

Nombre del docente: Nedher Sanchez / Naudy Lopez

Alumno:

Apellidos: _____

Nombres: _____

Sección: _____ Fecha: 01/12/2025

Nota:



Indicaciones:

La Duración es de 105 minutos.

Se permite el uso de calculadora científica, tablas y una hoja de formulario escrita a mano (4 páginas). Se debe utilizar, por lo menos, 4 decimales en todos los cálculos.

Pregunta 1

La figura 1 representa el esquema de funcionamiento de una instalación de potencia combinada (con aire y amoniaco) en estado estacionario. En la siguiente tabla se muestran las condiciones de operación más resaltantes del ciclo:

Corriente	Componente	P (bar)	T (°C)	Observación
1	Aire	1.10	6.85	Flujo másico = 0.8 kg/s
2	Aire	2.50		
3	Aire	2.50	206.85	
4	Aire	1.05	116.85	
5	Aire	1.05	6.85	
6	Amoniaco	20.00	200.00	
7	Amoniaco	8.00		
8	Amoniaco	8.00	140.00	
9	Amoniaco	3.50		
10	Amoniaco	3.50		Líquido saturado
11	Amoniaco	20.00		
12	Amoniaco	20.00	100.00	
13	Aire	3.00	-13.15	
14	Aire	2.97	21.85	

Consideraciones:

- Utilizar el aire como gas ideal con capacidad calorífica variable (tabla A22).
- La eficiencia isoentrópica del compresor C101 es 75%.
- La eficiencia isoentrópica de la bomba P101 es 65%.
- La expansión en la turbina T102 ocurre de forma internamente reversible y adiabática (proceso isoentrópico).
- La eficiencia isoentrópica de la turbina T103 es 90%.
- No hay pérdidas de calor al ambiente en ningún equipo.
- $T (K) = T (°C) + 273.15$

Delimitando los volúmenes de control respectivos, se le solicita:

- a) Calcular la entalpía específica de la corriente 2 (kJ/kg), la potencia consumida por el compresor C101 (kW), [4 puntos]**

Compresor C101

Corriente 1 ($P_1 = 1.10$ bar, $T_1 = 6.85 + 273.15 = 280$ K): $h_1 = 280.13$ kJ/kg, $p_{r1} = 1.0889$

$$p_{r2} = p_{r1} \frac{P_2}{P_1} \rightarrow p_{r2} = 1.0889 \times \frac{2.50}{1.10} = 2.4748$$

$$h_{2s} = \frac{360.58 - 350.49}{2.626 - 2.379} (2.4748 - 2.379) + 350.49 = 354.4034 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$\eta_{C101} = \frac{h_1 - h_{2s}}{h_1 - h_2}$$

$$0.75 = \frac{280.13 - 354.4034}{280.13 - h_2} \rightarrow \mathbf{h_2 = 379.1612 \frac{kJ}{kg}}$$

$$\frac{dE}{dt} = \dot{Q} - \dot{W}_{C101} + \dot{m}_a (h_1 - h_2)$$

$$0 = 0 - \dot{W}_{C101} + 0.8 \times (280.13 - 379.1612)$$

$$\mathbf{\dot{W}_{C101} = -79.2250 \text{ kW}}$$

b) Calcular la potencia de la turbina T101 (kW) y la eficiencia isoentrópica de la turbina T101.

Turbina T101:

Corriente 3 ($P_3 = 2.50$ bar, $T_1 = 206.85 + 273.15 = 480$ K): $h_3 = 482.49$ kJ/kg, $p_{r3} = 7.268$

$$\frac{dE}{dt} = \dot{Q} - \dot{W}_{T101} + \dot{m}_a(h_3 - h_4)$$

$$0 = 0 - \dot{W}_{T101} + 0.8 \times (482.4900 - 390.88)$$

$$\dot{W}_{T101} = 73.2880 \text{ kW}$$

$$p_{r4} = p_{r3} \frac{P_4}{P_3} \rightarrow p_{r4} = 7.268 \times \frac{1.05}{2.5} = 3.0526$$

$$h_{4s} = \frac{380.77 - 370.67}{3.176 - 2.892} (3.0526 - 2.892) + 370.67 = 376.3814 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$\eta_{T101} = \frac{h_3 - h_4}{h_3 - h_{4s}}$$

$$\eta_{T101} = \frac{482.4900 - 390.88}{482.4900 - 376.3814} \rightarrow \eta_{T101} = 0.8634$$

- c) Calcular la entalpía específica de la corriente 11 (kJ/kg), el flujo másico de amoníaco en el intercambiador HX101 (kg/s) y la potencia consumida en la bomba P101 (kW). **[4 puntos]**

Bomba P101

Corriente 10 (P10 = 3.50 bar, L.S.): $h_{10} = 155.20$ kJ/kg, $v_{10} = 1.5484 \times 10^{-3}$ m³/kg

$$w_{s-P101} = v_{10}(P_{10} - P_{11})$$

$$w_{s-P101} = 1.5484 \times 10^{-3} \times (350 - 2000) = -2.5549 \text{ kJ/kg}$$

$$w_{P101} = \frac{\dot{W}_{P101}}{\dot{m}_{NH_3}} = \frac{w_{s-P101}}{\eta_{P101}} = \frac{-2.5549}{0.65} = -3.9306 \text{ kJ/kg}$$

$$\frac{dE}{dt} = \dot{Q} - \dot{W}_{P101} + \dot{m}_{NH_3}(h_{10} - h_{11})$$

$$h_{11} = h_{10} - \frac{\dot{W}_{P101}}{\dot{m}_{NH_3}} = 155.20 - (-3.9306) = \mathbf{159.1306 \frac{kJ}{kg}}$$

Intercambiador de calor HX101

$$\frac{dE}{dt} = \dot{Q} - \dot{W} + \dot{m}_a(h_4 - h_5) + \dot{m}_{NH_3}(h_{11} - h_{12})$$

$$0 = 0 - 0 + 0.8 \times (390.88 - 280.13) + \dot{m}_{NH_3}(159.1306 - 1630.86)$$

$$\dot{m}_{NH_3} = \mathbf{0.0602 \frac{kg}{s}}$$

Potencia en Bomba P101

$$\dot{W}_{P101} = \dot{m}_{NH_3} w_{P101} = 0.0602 \times -3.9306 = \mathbf{-0.2366 \text{ kW}}$$

d) Calcular la entalpía específica de la corriente 7 (kJ/kg), la potencia en la turbina T102 (kW), **[4 puntos]**

Turbina T102

Corriente 6 (20 bar, 200 °C): $h_6 = 1893.64 \text{ kJ/kg}$, $s_6 = 5.8530 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$

$$\frac{dS}{dt} = \frac{\dot{Q}}{T_0} + \dot{m}_{\text{NH}_3}(s_6 - s_7) + \dot{\sigma}_{\text{T102}}$$

$$0 = 0 + 0.0602 \times (5.8530 - s_7) + 0$$

$$s_7 = 5.8530 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$$

$$h_7 = \frac{1718.48 - 1670.37}{5.8801 - 5.7545} (5.8530 - 5.7545) + 1670.37 = \mathbf{1708.0996 \frac{kJ}{kg}}$$

$$\frac{dE}{dt} = \dot{Q} - \dot{W}_{\text{T102}} + \dot{m}_{\text{NH}_3}(h_6 - h_7)$$

$$0 = 0 - \dot{W}_{\text{T102}} + 0.0602 \times (1893.64 - 1708.0996)$$

$$\mathbf{\dot{W}_{\text{T102}} = 11.1695 \text{ kW}}$$

- e)** Calcular la entalpía específica de la corriente 9 (kJ/kg), la entropía específica de la corriente 9 (kJ/kg. K) y la potencia en la turbina T103 (kW).

Turbina T103

Corriente 8 (8 bar, 140 °C): $h_8 = 1766.61 \text{ kJ/kg}$, $s_8 = 5.9995 \text{ kJ/kg. K}$

$$h_{9s} = \frac{1638.18 - 1592.32}{6.0586 - 5.9249} (5.9995 - 5.9249) + 1592.32 = 1617.9083 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$\eta_{T103} = \frac{h_8 - h_9}{h_8 - h_{9s}}$$

$$0.90 = \frac{1776.61 - h_9}{1776.61 - 1616.3648} \rightarrow h_9 = 1632.7785 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$\frac{dE}{dt} = \dot{Q} - \dot{W}_{T103} + \dot{m}_{NH_3}(h_8 - h_9)$$

$$0 = 0 - \dot{W}_{T103} + 0.0602 \times (1766.61 - 1632.3893)$$

$$\dot{W}_{T103} = 8.0567 \text{ kW}$$

$$s_9 = \frac{6.0586 - 5.9249}{1638.18 - 1592.32} (1632.3893 - 1592.32) + 5.9249 = 6.0417 \frac{\text{kJ}}{\text{kg. K}}$$

f) Calcular el flujo másico de aire (kg/s) y la generación de entropía en el intercambiador HX102 (kg/s). **[4 puntos]**

Intercambiador HX102

$$\frac{dE}{dt} = \dot{Q} - \dot{W} + \dot{m}_{\text{NH}_3}(h_9 - h_{10}) + \dot{m}_{\text{a2}}(h_{13} - h_{14})$$

$$0 = 0 - 0 + 0.0602 \times (1632.3893 - 155.20) + \dot{m}_{\text{a2}}(260.09 - 295.17)$$

$$\dot{m}_{\text{a2}} = 2.5350 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

$$\frac{dS}{dt} = \dot{m}_{\text{NH}_3}(s_9 - s_{10}) + \dot{m}_{\text{a2}}(s_{13} - s_{14}) + \dot{\sigma}_{\text{HX102}}$$

$$0 = 0.0602 \times (6.0417 - 0.6186) + 2.5350 \times \left(1.55848 - 1.68515 - \frac{8.314}{28.97} \ln \frac{3}{2.97} \right) + \dot{\sigma}_{\text{HX102}}$$

$$\dot{\sigma}_{\text{HX102}} = 0.00195 \frac{\text{kW}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$