

Nombre del docente: Nedher Sanchez / Naudy Lopez

Alumno:

Apellidos: _____

Nombres: _____

Sección: _____ Fecha: 20/10/2025

Nota:



Indicaciones:

La Duración es de 105 minutos.

Se permite el uso de calculadora científica, tablas y una hoja de formulario escrita a mano (2 páginas). Se debe utilizar, por lo menos, 4 decimales en todos los cálculos.

Pregunta 1 (MAX. 20 puntos)

La Figura 1 muestra un ciclo que funciona con R22 como fluido de trabajo en estado estacionario. En este ciclo se aprovecha la energía contenida de los gases de combustión para hacer funcionar el compresor de un ciclo de refrigeración. En la siguiente tabla se muestran las condiciones de operación más resaltantes del ciclo:

Corriente	Componente	P (bar)	T (°C)	Observación
1	R22	1.00		vapor saturado
2	R22	12.00	80.00	
3	R22	12.00		líquido saturado
4	R22	1.00		
5	R22	24.00		
6	R22	24.00		vapor saturado
7	R22	12.00		
8	R22	12.00		
9	Gases de Combustión	1.50	160.00	
10	Gases de Combustión	1.50	95.00	
11	Aire	1.10	20.00	
12	Aire	1.10	25.00	

Consideraciones:

- Todos los equipos son de paredes externas adiabáticas, excepto el evaporador E101.
- Toda la potencia producida por la turbina T101 es utilizada por el compresor C101.
- Utilizar $c_p = 1.1 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$ para el aire (gas ideal) que circula por HX102.
- Los gases de combustión son una mezcla de CO_2 y H_2O cuya composición en masa es de 45% y 55% respectivamente. Considere las capacidades caloríficas del CO_2 y del H_2O constantes e iguales a 2.4R y 4.07R respectivamente, donde R es la constante del gas. $M_{\text{CO}_2} = 44.01 \text{ kg/kmol}$, $M_{\text{H}_2\text{O}} = 18.02 \text{ kg/kmol}$.

- Calcular la potencia consumida por el compresor C101 (kW) y la entalpía específica h_7 de la corriente 7 (kJ/kg). (4 puntos)
- Calcular la entalpía específica h_8 de la corriente 8 a la salida del mezclador M101(kJ/kg) y el flujo másico de aire que circula por el intercambiador HX102 (kg/s). (5 puntos)
- Si la bomba consume 4 kW de potencia, calcular la entalpía específica h_5 de la corriente 5 (kJ/kg) y el flujo másico de los gases de combustión que circula por el intercambiador HX101 (kg/s). (4 puntos)
- Calcular la calidad en el estado 4 y el calor absorbido en el evaporador E101 (kW). (4 puntos)
- El R22 se repone desde un tanque rígido de 8 m^3 de volumen (ver Figura 2). Durante cada reposición, R22 en fase de líquido saturado sale por el fondo del tanque y se suministra calor a fin de mantener todo el proceso a 0°C . Inicialmente, el líquido saturado en el tanque ocupa el 80% del volumen del tanque, y al finalizar la reposición el volumen del líquido saturado se reduce a 50%. Calcular la calidad al inicio y al final de cada proceso de reposición, y, además, calcular el calor transferido durante el proceso de reposición (kJ). (5 puntos)

Figura 1

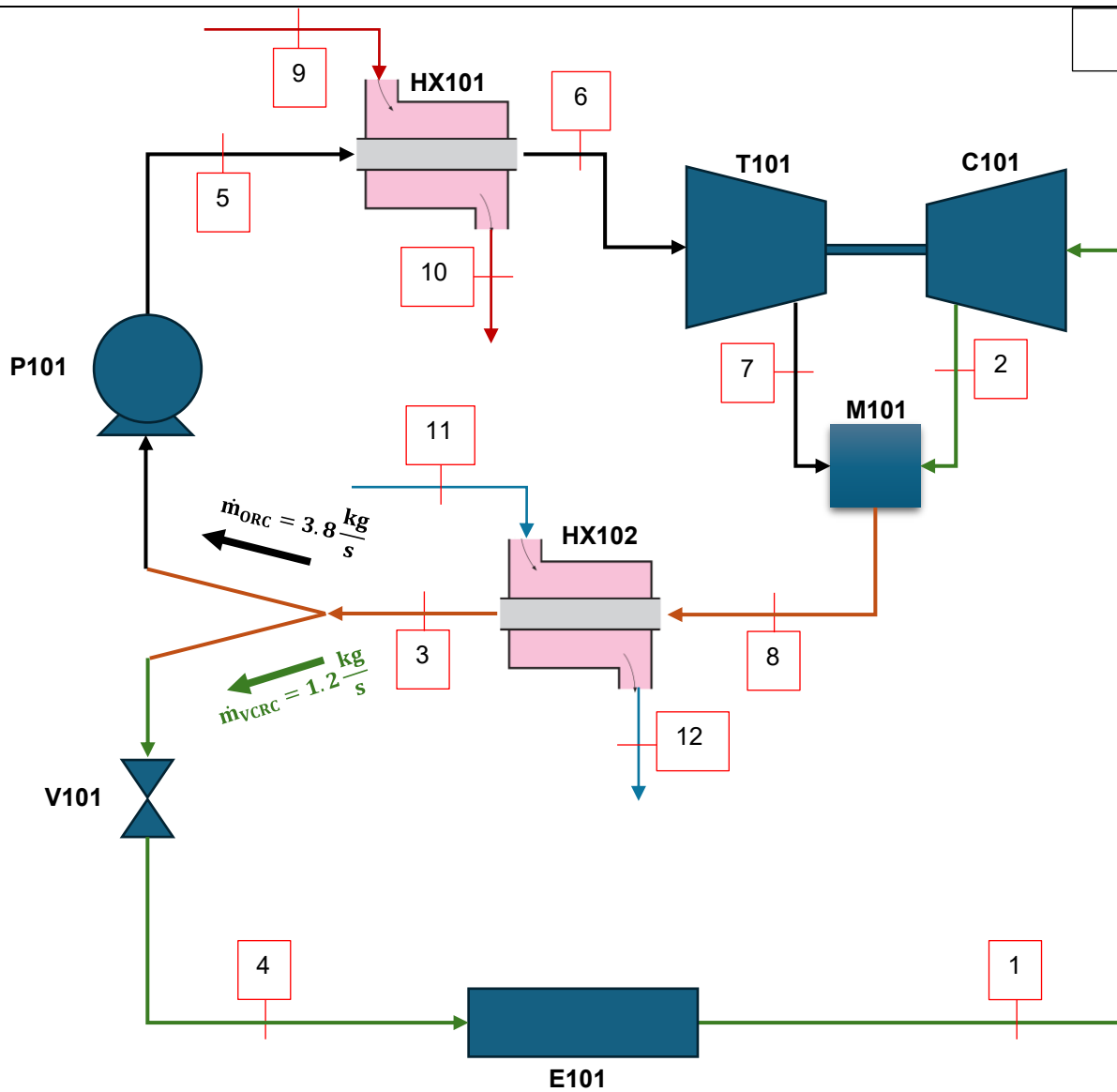


Figura 2



Tanque de almacenamiento de R22 que abastece el proceso. Al inicio se tiene 80% del volumen como líquido, y al final el 50% del volumen. El R22 que se retira sale como líquido saturado. Todo el proceso ocurre a 0°C

a) Potencia consumida por el compresor

$$\begin{aligned}\frac{dE}{dt} &= \dot{Q} - \dot{W} + \dot{m}_{VCRC}(h_1 - h_2) \\ \dot{W} &= \dot{m}_a(h_1 - h_2) \\ \dot{W} &= 1.2 \times (232.77 - 300.66) = -81.468 \text{ kW}\end{aligned}$$

Entalpía específica en la corriente 7

$$\begin{aligned}\frac{dE}{dt} &= \dot{Q} - \dot{W} + \dot{m}_{ORC}(h_6 - h_7) \\ 81.468 &= 3.8 \times (261.99 - h_7) \\ h_7 &= 240.55105 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}\end{aligned}$$

b) Entalpía de la corriente 8

$$\begin{aligned}\frac{dE}{dt} &= \dot{Q} - \dot{W} + \dot{m}_{ORC}h_7 + \dot{m}_{VCRC}h_2 - (\dot{m}_{ORC} + \dot{m}_{VCRC})h_8 \\ h_8 &= \frac{\dot{m}_{ORC}h_7 + \dot{m}_{VCRC}h_2}{\dot{m}_{ORC} + \dot{m}_{VCRC}} \\ h_8 &= \frac{3.8 \times 240.55105 + 1.2 \times 300.66}{3.8 + 1.2} \\ h_8 &= 254.97720 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}\end{aligned}$$

Flujo másico de aire

$$\begin{aligned}\frac{dE}{dt} &= \dot{Q} - \dot{W} + (\dot{m}_{ORC} + \dot{m}_{VCRC})(h_8 - h_3) + \dot{m}_a c_p(T_{11} - T_{12}) \\ \dot{m}_a &= \frac{(\dot{m}_{ORC} + \dot{m}_{VCRC})(h_3 - h_8)}{c_p(T_{11} - T_{12})} \\ \dot{m}_a &= \frac{5 \times (81.9 - 254.97720)}{1.1 \times (20 - 25)} = 157.34291 \frac{\text{kg}}{\text{s}}\end{aligned}$$

c) Entalpía en la corriente 5

$$\begin{aligned}\frac{dE}{dt} &= \dot{Q} - \dot{W} + \dot{m}_{ORC}(h_3 - h_5) \\ -4 &= 3.8 \times (81.9 - h_5) \\ h_5 &= 82.95263 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}\end{aligned}$$

Flujo de gases de combustión

$$\begin{aligned}c_p &= f_{m_{CO_2}}c_{p,CO_2} + f_{m_{H_2O}}c_{p,H_2O} \\ c_p &= 0.45 \times 2.4 \times \frac{8.314}{44.01} + 0.55 \times 4.07 \times \frac{8.314}{18.02} \\ c_p &= 1.23682 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}\end{aligned}$$

Flujo másico de gases de combustión

$$\frac{dE}{dt} = \dot{Q} - \dot{W} + \dot{m}_{\text{ORC}}(h_5 - h_6) + \dot{m}_{\text{GC}}c_p(T_9 - T_{10})$$

$$\dot{m}_{\text{GC}} = \frac{\dot{m}_{\text{ORC}}(h_6 - h_5)}{c_p(T_9 - T_{10})}$$

$$\dot{m}_{\text{GC}} = \frac{3.8 \times (261.99 - 82.95263)}{1.23682 \times (160 - 95)} = 8.46270 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

d) La calidad en el estado 4

$$x_4 = \frac{h_4 - h_f}{h_g - h_f}$$

$$x_4 = \frac{81.9 - (-1.19)}{232.77 - (-1.19)}$$

$$x_4 = 0.35515$$

Calor en el evaporador

$$\frac{dE}{dt} = \dot{Q} - \dot{W} + \dot{m}_{\text{VCRC}}(h_4 - h_1)$$

$$\dot{Q} = \dot{m}_{\text{VCRC}}(h_1 - h_4)$$

$$\dot{Q} = 1.2 \times (232.77 - 81.9)$$

$$\dot{Q} = 181.04400 \text{ kW}$$

e) Proceso transitorio

$$V_{f,i} = 0.8 \times 8 = 6.4 \text{ m}^3$$

$$m_{f,i} = \frac{V_{f,i}}{v_f} = \frac{6.4}{0.7803 \times 10^{-3}} = 8201.97360 \text{ kg}$$

$$m_{g,i} = \frac{V_{g,i}}{v_f} = \frac{1.6}{0.047} = 34.04255 \text{ kg}$$

$$m_i = m_{f,i} + m_{g,i} = 8236.01615 \text{ kg}$$

$$x_i = \frac{m_{g,i}}{m_i} = \frac{34.04255}{8236.01615} = 0.00413$$

$$u_i = u_f + x_i(u_g - u_f)$$

$$u_i = 44.73 + 0.00413(226.50 - 44.73)$$

$$u_i = 45.48132 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$V_{f,f} = 0.5 \times 8 = 4 \text{ m}^3$$

$$m_{f,f} = \frac{V_{f,f}}{v_f} = \frac{4}{0.7803 \times 10^{-3}} = 5126.23350 \text{ kg}$$

$$m_{g,f} = \frac{V_{g,f}}{v_f} = \frac{4}{0.047} = 85.10638 \text{ kg}$$

$$m_f = m_{f,f} + m_{g,f} = 5211.33988 \text{ kg}$$

$$x_f = \frac{m_{g,f}}{m_f} = \frac{85.10638}{5211.33988} = 0.01633$$

$$u_{\text{final}} = u_f + x_f(u_g - u_f)$$

$$u_{\text{final}} = 44.73 + 0.01633(226.50 - 44.73)$$

$$u_{\text{final}} = 47.69849 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

Balance de energía para el calor

$$\begin{aligned}m_f u_{\text{final}} - m_i u_i &= \dot{Q} - m_{\text{out}} h_{\text{out}} \\ \dot{Q} &= m_f u_{\text{final}} - m_i u_i + m_{\text{out}} h_{\text{out}} \\ Q &= 5211.33988 \times 47.69849 - 8236.01615 \times 45.48132 + (8236.01615 - 5211.33988) \times 45.12 \\ Q &= 10461.49609 \text{ kJ}\end{aligned}$$