

Nombre del docente: Nedher Sanchez / Naudy Lopez

Alumno:

Apellidos: _____ Nombres: _____

Sección: _____ Fecha: 02/12/2024

Nota:

Indicaciones:

La Duración es de 105 minutos.

La evaluación consta de 1 pregunta.

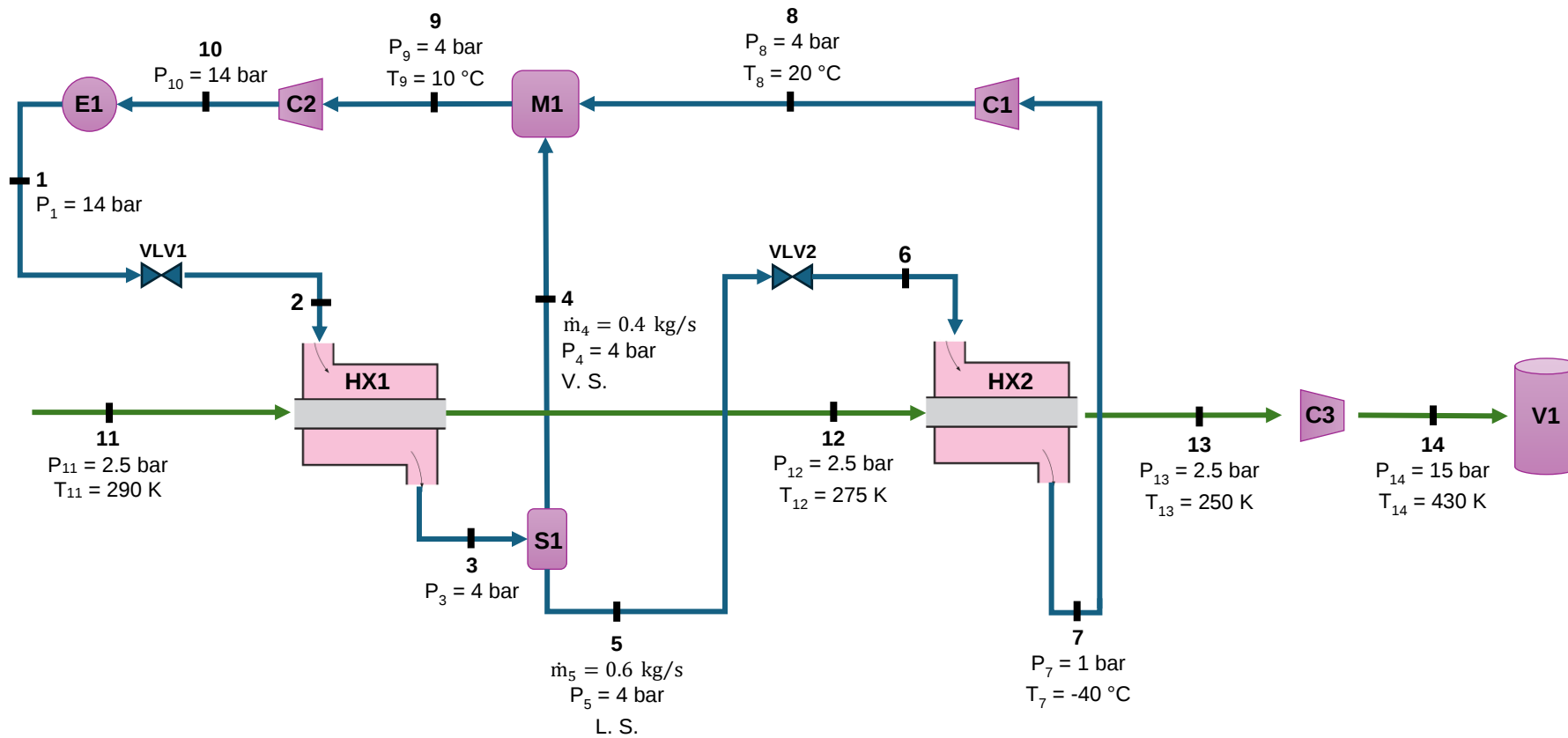
Se permite el uso de calculadora científica, tablas y una hoja de formulario escrita a mano (2 páginas). Se sugiere utilizar, por lo menos, 4 decimales en todos los cálculos.

Pregunta 1 (20puntos)

En la Figura 1 se muestra un ciclo de refrigeración que funciona con propano como fluido de trabajo en estado estacionario. El objetivo del ciclo es enfriar una corriente de aire a $P_{11} = 2.5$ bar desde $T_{11} = 290$ K (estado 11) hasta $T_{13} = 250$ K (estado 13), antes de ser almacenado en el tanque V1 mediante el compresor C3. El propano sale del enfriador E1 a $P_1 = 14$ bar (estado 1), se expande hasta $P_2 = 4$ bar (estado 2) en la válvula VLV1 antes de ingresar al intercambiador HX1, donde se evapora parcialmente (estado 3, $P_3 = 4$ bar) antes de ingresar al separador S1. Del separador salen 0.4 kg/s de vapor saturado (estado 4, $P_4 = 4$ bar) y 0.6 kg/s de líquido saturado (estado 5, $P_5 = 4$ bar). El líquido se expande nuevamente en la válvula VLV2 (estado 6, $P_6 = 1$ bar) y se evapora completamente en el HX2, saliendo a $P_7 = 1$ bar y $T_7 = -40$ °C (estado 7). El vapor ingresa al compresor C1 y sale a $P_8 = 4$ bar y $T_8 = 20$ °C (estado 8), se mezcla con la corriente 4 para producir la corriente 9 ($P_9 = 4$ bar, $T_9 = 10$ °C) y se vuelve a comprimir hasta $P_{10} = 14$ bar (estado 10) en el compresor C2. Todos los equipos son de paredes externas adiabáticas, excepto el **condensador** E1 y el mezclador M1. Utilizar la tabla A22 para calcular las propiedades del aire (**NO UTILIZAR C_p CONSTANTE**). Con esta información, además de la detallada en la figura, se le pide:

- A) Tomando como V.C. el conjunto válvula VLV2 e intercambiador HX2, calcular el flujo másico de aire (kg/s) y la generación de entropía (kW/K). **(4 puntos)**
- B) Para el compresor C1: calcular la potencia (kW), la generación de entropía (kW/K) y la eficiencia isoentrópica. **(3.5 puntos)**
- C) Calcular el flujo de calor en el mezclador M1 (kW). **(2 puntos)**
- D) Para el compresor C2: Sabiendo que su eficiencia isoentrópica es 90%, calcular la potencia (kW) y la generación de entropía (kW/K). **(3.5 puntos)**
- E) Tomando como V.C. el conjunto válvula VLV1, intercambiador HX1 y separador S1; calcular la entalpía (kJ/kg) y entropía (kJ/kg. K) de la corriente 1. **(2.5 puntos)**. *Recuerde: las propiedades de líquidos comprimidos se aproximan a los del saturado entrando por la tabla de temperaturas.*
- F) Para el compresor C3: Calcule la generación de entropía (kJ/kg aire. K) y la eficiencia isoentrópica. **(2.5 puntos)**
- G) Para el tanque **rígido** V1: si al finalizar su llenado se contabiliza 80 kg de aire a 10 bar, calcular la generación de entropía durante el proceso de llenado (kJ/K). El tanque se encuentra completamente vacío al comienzo del llenado **(2 puntos)**
- H) Calcular la temperatura **de frontera** promedio (K) a la que el calor tendría que ser removido del **condensador** E1 para lograr un proceso internamente reversible. **(2 puntos)**

FIGURA 1



Solucionario EF 2024-2

A)

Flujo másico de aire

Propiedades del aire con la tabla A22

Estado 12 ($T_{12} = 275 \text{ K}$)

$$h_{12} = \frac{270.11 + 280.13}{2} = 275.12 \text{ kJ/kg}$$

$$s_{12}^0 = \frac{1.59634 + 1.63279}{2} = 1.614565 \text{ kJ/kgK}$$

Estado 13 ($T_{13} = 250 \text{ K}$)

$$h_{13} = 250.05 \text{ kJ/kg}$$

$$s_{13}^0 = 1.51917 \text{ kJ/kgK}$$

Propiedades del propano

Estado 5 (líquido saturado a 4 bar):

$$h_5 = 81.50 \text{ kJ/kg}$$

$$s_5 = 0.324 \text{ kJ/kgK}$$

Estado 7 ($P_7 = 1 \text{ bar}$, $T_7 = -40^\circ\text{C}$):

$$h_7 = 423.8 \text{ kJ/kg}$$

$$s_7 = 1.837 \text{ kJ/kgK}$$

Primera ley:

$$\frac{dE}{dt} = \dot{Q} - \dot{W} + \dot{m}_5(h_5 - h_7) + \dot{m}_a(h_{12} - h_{13})$$

$$0 = 0 - 0 + 0.6 \times (81.50 - 423.8) + \dot{m}_a(275.12 - 250.05)$$

$$\dot{m}_a = \mathbf{8.19226 \text{ kg/s}}$$

Segunda ley

$$\frac{dS}{dt} = \frac{\dot{Q}}{T_0} + \dot{m}_5(s_5 - s_7) + \dot{m}_a(s_{12} - s_{13}) + \dot{\sigma}$$

$$0 = 0 + 0.6 \times (0.324 - 1.837) + 8.19226 \times \left(1.614565 - 1.51917 - \frac{8.314}{28.97} \ln \frac{2.5}{2.5}\right) + \dot{\sigma}$$

$$\dot{\sigma} = \mathbf{0.1263 \text{ kW/K}}$$

B)

Estado 8 ($P_8 = 4 \text{ bar}$, $T_8 = 20^\circ\text{C}$):

$$h_8 = 507.9 \text{ kJ/kg}$$

$$s_8 = 1.909 \text{ kJ/kgK}$$

Estado isentrópico 8s

$$h_{8s} = \frac{490.3 - 472.9}{1.848 - 1.786} (1.837 - 1.786) + 472.9 = 487.2129 \text{ kJ/kg}$$

Primera ley:

$$\frac{dE}{dt} = \dot{Q} - \dot{W} + \dot{m}_7(h_7 - h_8)$$

$$0 = 0 - \dot{W} + 0.6 \times (423.80 - 507.9)$$

$$\dot{W} = \mathbf{-50.4600 \text{ kW}}$$

Segunda ley

$$\frac{dS}{dt} = \frac{\dot{Q}}{T_0} + \dot{m}_7(s_7 - s_8) + \dot{\sigma}$$

$$0 = 0 + 0.6 \times (1.837 - 1.909) + \dot{\sigma}$$

$$\dot{\sigma} = \mathbf{0.0432 \text{ kW/K}}$$

Eficiencia isentrópica

$$\eta = \frac{h_7 - h_{8s}}{h_7 - h_8} = \frac{423.8 - 487.2129}{423.8 - 507.9} = \mathbf{0.7540}$$

C)

Estado 4 ($P_4 = 4$ bar, vapor saturado)

$$h_4 = 463.5 \text{ kJ/kg}$$

$$s_4 = 1.751 \text{ kJ/kgK}$$

Estado 9 ($P_9 = 4$ bar, $T_9 = 10^\circ\text{C}$):

$$h_9 = 490.3 \text{ kJ/kg}$$

$$s_9 = 1.848 \text{ kJ/kgK}$$

Primera ley:

$$\frac{dE}{dt} = \dot{Q} - \dot{W} + \dot{m}_4 h_4 + \dot{m}_8 h_8 - \dot{m}_9 h_9$$

$$0 = \dot{Q} - 0 + 0.4 \times 463.5 + 0.6 \times 507.9 - 1 \times 490.3$$

$$\dot{Q} = 0.1600 \text{ kW}$$

D)

$$h_{10s} = \frac{574.6 - 552.9}{1.909 - 1.845} (1.848 - 1.845) + 552.9 = 553.9172 \text{ kJ/kg}$$

$$\eta = \frac{h_9 - h_{10s}}{h_9 - h_{10}}$$

$$0.9 = \frac{490.3 - 553.9172}{490.3 - h_{10}} \rightarrow h_{10} = 560.9858 \text{ kJ/kg}$$

$$s_{10} = \frac{1.909 - 1.845}{574.6 - 552.9} (560.9858 - 552.9) + 1.845 = 1.8688 \text{ kJ/kg}$$

Primera ley

$$\frac{dE}{dt} = \dot{Q} - \dot{W} + \dot{m}_9 (h_9 - h_{10})$$

$$0 = 0 - \dot{W} + 1 \times (490.3 - 560.9858)$$

$$\dot{W} = -70.6858 \text{ kW}$$

Segunda ley

$$\frac{dS}{dt} = \frac{\dot{Q}}{T_0} + \dot{m}_9 (s_9 - s_{10}) + \dot{\sigma}$$

$$0 = 0 + 1 \times (1.848 - 1.8688) + \dot{\sigma}$$

$$\dot{\sigma} = 0.0208 \text{ kW/K}$$

E)

Primera ley

$$\frac{dE}{dt} = \dot{Q} - \dot{W} + \dot{m}_1 h_1 - \dot{m}_4 h_4 - \dot{m}_5 h_5 + \dot{m}_a (h_{11} - h_{12})$$

$$0 = 0 - 0 + 1 \times h_1 - 0.4 \times 463.50 - 0.6 \times 81.50 + 8.19226 \times (290.16 - 275.12)$$

$$h_1 = 111.0884 \text{ kJ/kg}$$

$$s_1 = \frac{0.446 - 0.410}{115.5 - 105.3} (111.0884 - 105.3) + 0.410 = 0.43043 \text{ kJ/kg}$$

F)

Estado 14: $h_{14} = 431.43 \text{ kJ/kg}$, $s_{14}^0 = 2.06533 \text{ kJ/kgK}$

$$p_{r14} = \frac{P_{14}}{P_{13}} p_{r13}$$

$$p_{r14} = \frac{15}{2.5} \times 0.7329 = 4.3974$$

$$h_{14s} = \frac{421.26 - 411.12}{4.522 - 4.153} (4.3974 - 4.153) + 411.12 = 417.8360 \text{ kJ/kg}$$

Segunda ley

$$\frac{dS}{dt} = \frac{\dot{Q}/\dot{m}_a}{T_0} + (s_{13} - s_{14}) + \frac{\dot{\sigma}}{\dot{m}_a}$$

$$0 = 0 + \left(1.51917 - 2.06533 - \frac{8.314}{28.97} \ln \frac{2.5}{15} \right) + \frac{\dot{\sigma}}{\dot{m}_a}$$

$$\dot{\sigma}/\dot{m}_a = \mathbf{0.0319 \text{ kJ/kg.K}}$$

Eficiencia isoentrópica

$$\eta = \frac{h_{13} - h_{14s}}{h_{13} - h_{14}} = \frac{250.05 - 417.8360}{250.05 - 431.43} = \mathbf{0.9251}$$

G)

$$m_{final} = m_{in}$$

Primera ley en estado transitorio

$$m_{final}u_{final} - m_{inicial}u_{inicial} = Q - W + m_{in}h_{in} - m_{out}h_{out}$$

$$m_{final}u_{final} - 0 = 0 - 0 + m_{in}h_{in} - 0$$

$$u_{final} = h_{in} = 431.43 \text{ kJ/kg}$$

$$s_{final}^0 = \frac{2.40902 - 2.39140}{434.78 - 427.15} (431.43 - 427.15) + 2.39140 = 2.40128 \frac{\text{kJ}}{\text{kg.K}}$$

Segunda ley en estado transitorio

$$m_{final}s_{final} - m_{inicial}s_{inicial} = \frac{Q}{T_0} + m_{in}s_{in} - m_{out}s_{out} + \sigma$$

$$m_{final}s_{final} - 0 = 0 + m_{in}s_{in} - 0 + \sigma$$

$$\sigma = m_{final}(s_{final} - s_{in})$$

$$\sigma = 80 \times \left(2.40128 - 2.06533 - \frac{8.314}{28.97} \ln \frac{10}{15} \right)$$

$$\sigma = 36.1853 \frac{\text{kJ}}{\text{K}}$$

H)

Primera ley en el enfriador

$$\frac{dE}{dt} = \dot{Q} - \dot{W} + \dot{m}_{10}(h_{10} - h_1)$$

$$0 = \dot{Q} - 0 + 1 \times (560.9858 - 111.0884)$$

$$\dot{Q} = -449.8974 \text{ kW}$$

Segunda ley en el enfriador

$$\frac{dS}{dt} = \frac{\dot{Q}}{T_0} + \dot{m}_{10}(s_{10} - s_1) + \dot{\sigma}$$

$$0 = \frac{-449.8974}{T_0} + 1 \times (1.8688 - 0.43043) + 0$$

$$\mathbf{T_0 = 312.7724 \text{ K} = 39.6224 ^\circ\text{C}}$$