

Nome: _____ NUSP: _____

Professor: _____

Questão 1 (5,0 pontos). Considere o sistema de duplo loop mostrado na figura, formado por um ciclo de refrigeração, acionado por um ciclo de potência acoplado.

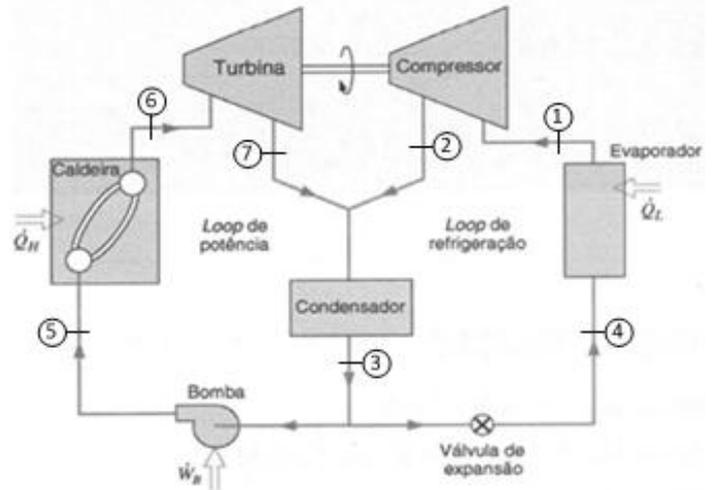
Os dois ciclos podem ser considerados ideais e utilizam R134a como fluido de trabalho.

Vapor saturado sai da caldeira a 95°C e é expandido na turbina até a pressão do condensador. Vapor saturado a -15°C sai do evaporador e é comprimido até a pressão de condensação.

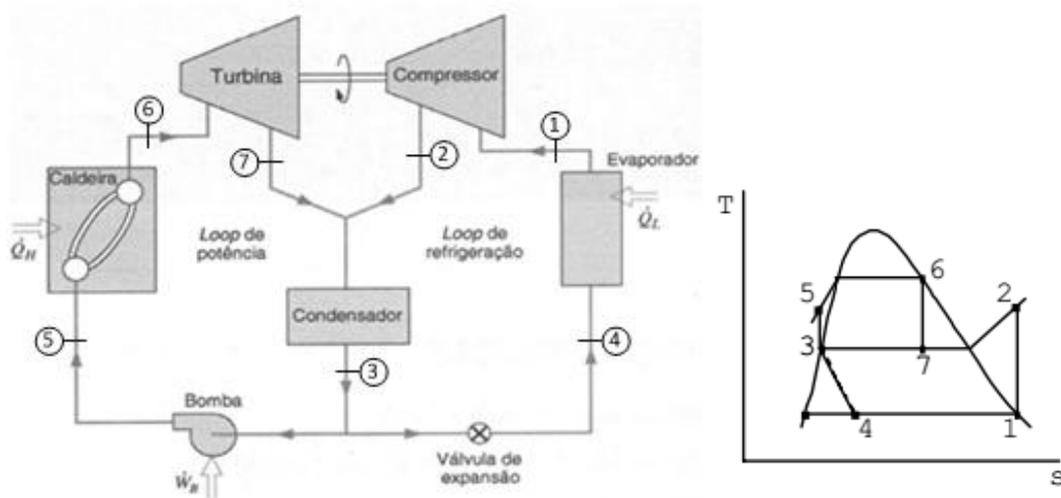
A razão entre as vazões mássicas nos dois loops é tal que a turbina produz exatamente a potência necessária para acionar o compressor.

As duas correntes, saindo da turbina e do compressor, se misturam e entram no condensador. O líquido saturado, saindo do condensador a 1.200kPa, é então separado em duas correntes nas proporções necessárias. Determine:

- a) a razão entre as vazões mássicas no loop de potência e no loop de refrigeração;
- b) o coeficiente de performance do ciclo.



Solução:



Hipóteses:

- Regime permanente em todos os processos
- Processos na turbina e compressor: adiabáticos e reversíveis
- Variações de energia cinética e potencial são desprezíveis
- Não há perda de pressão nas tubulações que ligam os equipamentos e nem nos trocadores de calor

Aplicando a equação de conservação de massa para o volume de controle da turbina+compressor:

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 \text{ e } \dot{m}_6 = \dot{m}_7$$

Aplicando a 1ª Lei da termodinâmica para o volume de controle da turbina+compressor:

$$\dot{m}_1 h_1 + \dot{m}_6 h_6 = \dot{m}_2 h_2 + \dot{m}_7 h_7$$

Logo:

$$\dot{m}_1 h_1 + \dot{m}_6 h_6 = \dot{m}_1 h_2 + \dot{m}_6 h_7 \Rightarrow \dot{m}_1 (h_1 - h_2) = \dot{m}_6 (h_7 - h_6)$$

$$\frac{\dot{m}_1}{\dot{m}_6} = \frac{(h_7 - h_6)}{(h_1 - h_2)}$$

Para o estado 1 tem-se: $T_1 = -15^\circ\text{C}$ e vapor saturado $\rightarrow p_1 = p_4 = 165,0 \text{ kPa}$; $h_1 = 389,20 \text{ kJ/kg}$ e $s_1 = 1,7200 \text{ kJ/kg}\cdot^\circ\text{C}$

Para o estado 6 tem-se: $T_6 = 95^\circ\text{C}$ e vapor saturado $\rightarrow p_5 = p_6 = 3591,5 \text{ kPa}$; $h_6 = 420,81 \text{ kJ/kg}$ e $s_6 = 1,6498 \text{ kJ/kg}\cdot^\circ\text{C}$

Para avaliar o estado 7 tem-se que o processo na turbina é adiabático e reversível logo: $s_7 = s_6$. Logo:

$$s_7 = s_6 = 1,6498 = x_7 s_{v,7} + (1-x_7) s_{l,7}$$

Para o estado 7 temos que $p_7=p_3$ e o estado 3 é dado por: $p_2=p_3=p_7=1.200$ kPa e liquido saturado:

- $s_{l,7} = 1,2205$ kJ/kg.°C e $s_{v,7}=1,7102$ kJ/kg.°C
- $h_{l,7} = 266,06$ kJ/kg e $h_{v,7} = 422,45$ kJ/kg

Portanto:

$$1,6498 = x_7 s_{v,7} + (1-x_7) s_{l,7} = x_7 * 1,7102 + (1-x_7) * 1,2205 \Rightarrow x_7 = 0,88$$

$$h_7 = x_7 h_{v,7} + (1-x_7) h_{l,7} = 0,88 * 422,45 + (1-0,88) * 266,06 = 403,68 \text{ kJ / kg}$$

Para avaliar o estado 2, tem-se que o processo na turbina é adiabático e reversível logo: $s_2=s_1$.

Para o estado 2 temos que $p_7=p_3=p_2= 1.200$ kPa e $s_2=s_1=1,7200$ kJ/kg.°C → estado de vapor superaquecido. Portanto: $h_2=425,65$ kJ/kg.

$$\frac{\dot{m}_1}{\dot{m}_6} = \frac{(h_7 - h_6)}{(h_1 - h_2)} \Rightarrow \frac{\dot{m}_1}{\dot{m}_6} = \frac{(403,68 - 420,81)}{(389,20 - 425,65)} = 0,470$$

Para avaliar o coeficiente de performance (COP) tem-se:

$$COP = \frac{\dot{Q}_L}{\dot{Q}_H}$$

Aplicando a 1ª Lei da Termodinâmica para o volume de controle definido pelo evaporador tem-se:

$$\dot{Q}_L = \dot{m}_1 (h_1 - h_4)$$

Para o estado 4 temos: $p_4=165$,kPa e $h_4=h_3$ (processo adiabático na válvula) → $p_3= 1.200$ kPa e liquido saturado → $h_3= 266,06$ kJ/kg. Logo:

$$\dot{Q}_L = \dot{m}_1 (389,20 - 266,06) = 123,14 \dot{m}_1$$

Aplicando a 1ª Lei da Termodinâmica para o volume de controle definido pela caldeira tem-se:

$$\dot{Q}_H = \dot{m}_6 (h_6 - h_5)$$

Para a bomba pode-se adotar que :

$$\dot{W}_{bomba} = \dot{m}_6 (h_5 - h_3) \Rightarrow \dot{W}_{bomba} = \frac{\dot{W}_{bomba}}{\dot{m}_6} = (h_5 - h_3) = v_3 (p_5 - p_3)$$

Como $v_3 = v_{l,p=1.200 \text{ kPa}} = 0,000895 \text{ m}^3/\text{kg}$:

$$h_5 = h_3 + v_3 (p_5 - p_3) = 266,06 + 0,000895 * (3591,5 - 1160,2) = 268,24 \text{ kJ / kg}$$

Logo:

$$\dot{Q}_H = \dot{m}_6 (420,81 - 268,24) = 152,57 \dot{m}_6$$

Dessa forma:

$$COP = \frac{\dot{Q}_L}{\dot{Q}_H} = \frac{123,14 \dot{m}_1}{152,57 \dot{m}_6} = \frac{125,09}{154,54} * 0,470 = 0,38$$

Nome: _____ NUSP: _____

Professor: _____

Questão 2 (5,0 Pontos). Um pequeno balão, esférico e construído com material elástico, contém 0,1 kg de amônia a -10°C e 300 kPa. Admita que a pressão interna neste balão é proporcional ao seu volume ($p=A+Bv$). O balão é deixado ao sol e passa a absorver 75 W de radiação solar e a transferir 25 W para o ambiente (solo e ar atmosférico). Após um certo tempo, a temperatura e a pressão na amônia passam a ser iguais a 30°C e 1.000 kPa. Calcule o tempo necessário para que esse processo ocorra. Determine, também, o trabalho realizado nesse processo.

Solução:

Hipóteses:

- Variações de energia cinética e potencial são desprezíveis

Aplicando a equação da conservação da massa entre os estados 1 (inicial) e 2 (final) para sistema constituído pela massa de amônia tem-se:

$$m_1 = m_2 = m_{\text{amônia}} = 0,1\text{kg}$$

Aplicando a 1ª Lei da Termodinâmica para sistema constituído pela massa de amônia temos:

$${}_1Q_2 - {}_1W_2 = U_2 - U_1 = m_{\text{amônia}} (u_2 - u_1)$$

Para o estado 1 tem-se que: $p_1=300$ kPa e $T_1=-10^{\circ}\text{C}$ → líquido comprimido, logo:

- $v_1 = v_{l,T_1=-10^{\circ}\text{C}} = 0,001534$ m³/kg
- $u_1 = u_{l,T_1=-10^{\circ}\text{C}} = 133,96$ kJ/kg

Para o estado 2 tem-se que: $p_2=1.000$ kPa e $T_2=30^{\circ}\text{C}$ → vapor superaquecido, logo:

- $v_2 = 0,13206$ m³/kg
- $u_2 = 1347,1$ kJ/kg

Como a pressão interna neste balão é proporcional ao seu volume ($p=A+Bv$) tem-se que:

- para $p_1=300$ kPa → $V_1 = m_{\text{amônia}} * v_1 = 0,1 * 0,001534 = 0,0001534$ m³;

- para $p_2=1.000 \text{ kPa} \rightarrow V_2=m_{\text{amônia}} * v_2=0,1*0,13026=0,013206 \text{ m}^3$;

Logo:

$$1000=A+B*0,013206 \text{ e}$$

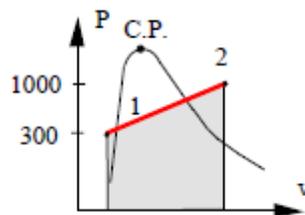
$$300 =A+B*0,0001534$$

Portanto: $A=291,77 \text{ kPa}$ e $B=53629,16 \text{ kPa/m}^3$.

Como:

$${}_1W_2 = \int_1^2 p dV = \int_{0,0001534 \text{ m}^3}^{0,013206 \text{ m}^3} (A + BV) dV = AV + \frac{BV^2}{2} \Big|_{0,0001534 \text{ m}^3}^{0,013206 \text{ m}^3} = 8,49 \text{ kJ}$$

O trabalho também pode ser calculado como a área abaixo do gráfico do processo em um diagrama p-V como mostrado abaixo:



Logo:

$${}_1W_2 = \frac{(300+1000)}{2} (0,013206 - 0,0001534) = 8,48 \text{ kJ}$$

Portanto:

$${}_1Q_2 - {}_1W_2 = m_{\text{amônia}} (u_2 - u_1) \Rightarrow {}_1Q_2 = 8,48 + 0,1 * (1347,1 - 133,96) = 129,79 \text{ kJ}$$

Como a taxa líquida de transferência de calor é dada por:

$$\dot{Q}_{\text{líquida}} = \frac{{}_1Q_2}{\Delta t} = 75 - 25 = 50 \text{ W}$$

Logo:

$$\Delta t = \frac{{}_1Q_2}{\dot{Q}_{\text{líquida}}} = \frac{129,79 \times 10^3}{50} = 2596 \text{ s} = 43,3 \text{ minutos}$$