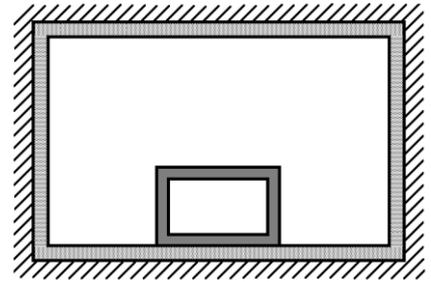


NOME: _____ PROFESSOR: _____

QUESTÃO 1 (4,0 pontos). Um reator nuclear com volume de $1,0 \text{ m}^3$, preenchido com água a 20 MPa e 360°C , é colocado dentro de uma sala de contenção como mostrado na figura. A sala de contenção é bem isolada e está inicialmente evacuada. Devido a uma falha mecânica, a parede do reator se rompe e a água preenche a sala de contenção.



- Qual o estado inicial (líquido, vapor, mistura) e a massa de água no interior do reator?
- Qual deve ser o volume mínimo para que a sala consiga conter a água e a pressão final não exceda 200 kPa ?
- Represente o processo pelo qual passa a água em um diagrama $P-v$.

Solução

Hipótese: - sistema composto pela sala de contenção e pelo reator;
 - variações de energia cinética e potencial desprezíveis;

- a partir da tabela para o vapor d'água na região de saturação (B.1.1), para $T_1 = 360^\circ\text{C}$ temos que

$$P_{sat}(360^\circ\text{C}) = 18,65 \text{ MPa} < 20 \text{ MPa}$$

Logo, o estado inicial no interior do reator é líquido comprimido.

A partir da Tabela de Propriedades para o líquido comprimido (B.1.4) a 20 MPa e 360°C :

$$v_1 = 0,001823 \text{ m}^3/\text{kg} \quad u_1 = 1702,8 \text{ kJ/kg}$$

como o volume V_1 do reator é $1,0 \text{ m}^3$, a massa no interior do reator é:

$$m_1 = \frac{V_1}{v_1} = \frac{1}{0,001823} = 548,5 \text{ kg} = m_2 = m$$

- Aplicando a Primeira Lei da Termodinâmica ao sistema composto pela sala de contenção e pelo reator:

$$m(u_2 - u_1) = \underbrace{Q_{1-2}}_0 - \underbrace{W_{1-2}}_0 = 0 \therefore u_2 = u_1$$

a partir da tabela para o vapor d'água na região de saturação (B.1.2), para $P_2 = 200 \text{ kPa}$ temos que:

$$u_l = 504,47 \text{ kJ/kg} \quad u_v = 2529,49 \text{ kJ/kg}$$

Assim, verifica-se que o estado 2 se encontra na saturação pois $u_l < u_2 < u_v$

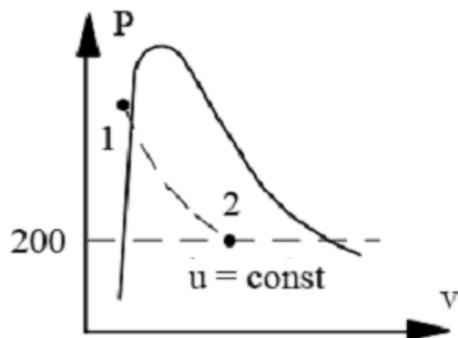
Determinando o título e o volume específico no estado 2:

$$x_2 = \frac{u_2 - u_l}{u_v - u_l} = 0,592$$

$$v_2 = v_l + x_2(v_v - v_l) = 0,001061 + 0,592(0,88573 - 0,001061) = 0,5246 \text{ m}^3/\text{kg}$$

Como $v_2 = V_2/m_2 \Rightarrow V_2 = m_2 v_2 = 548,5 \times 0,5246 = \underline{\underline{287,7 \text{ m}^3}}$

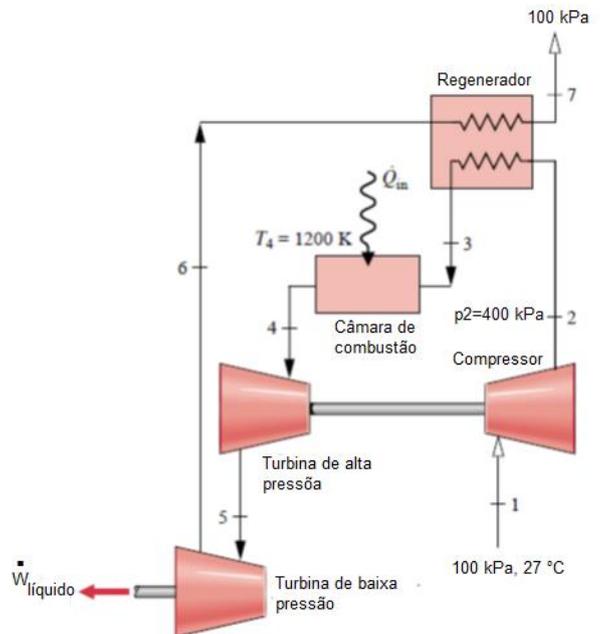
c)



NOME: _____ PROFESSOR: _____

QUESTÃO 2 (6,0 pontos). No ciclo da figura abaixo, ar entra em um compressor a 100 kPa e 27°C com uma vazão mássica de 0,562 kg/s e é comprimido até 400 kPa. A eficiência isoentrópica do compressor é de 80% e a efetividade do regenerador é de 90%. Toda a potência desenvolvida pela turbina de alta pressão é usada para movimentar o compressor. Cada turbina tem uma eficiência de 87% e a temperatura de entrada na turbina de alta pressão é 1200 K. Com estes dados e com base nas hipóteses que achar adequado, calcule:

- As temperaturas e entalpias específicas do ar nos estados 2, 3, 5, 6 e 7 em K (3,5 pontos)
- A potência líquida produzida em kW; (1,5 pontos)
- A eficiência térmica do ciclo (1,0 ponto)

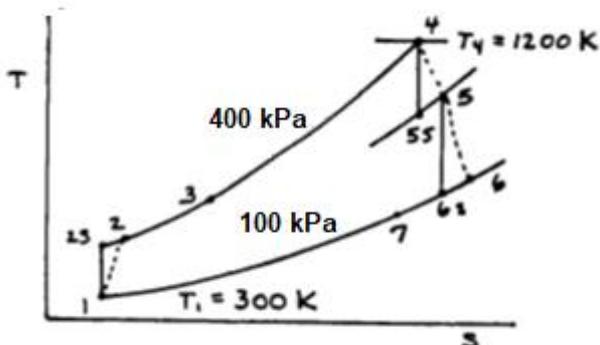


Solução:

Hipóteses:

- Regime permanente;
- Variações de energia cinética e potencial desprezíveis;
- Processo adiabático na câmara de combustão
- Ar considerado como gás perfeito

Pode-se apresentar o ciclo no diagrama Txs como:



Estado 1: $T_1=300\text{ K} \rightarrow h_1=300,47\text{ kJ/kg}$; $p_{r1}=1,1146$

Estado 2: Admitindo uma expansão isoentrópica:

$$\frac{p_{r,2s}}{p_{r,1}} = \frac{p_2}{p_1} \Rightarrow p_{r,2s} = p_{r,1} \frac{p_2}{p_1} = 1,1146 \times \frac{400}{100} = 4,46$$

Pela tabela: $T_{2s}=454,7\text{K}$; $h_{2s}=456,91\text{ kJ/kg}$

Como :

$$\eta_{compressor} = \frac{(h_{2s} - h_1)}{(h_2 - h_1)} \Rightarrow h_2 = h_1 + \frac{(h_{2s} - h_1)}{\eta_{compressor}} = 300,47 + \frac{(456,91 - 300,47)}{0,8} = 483,23\text{ kJ/kg}$$

Portanto: $T_2=480,41\text{K}$ e $p_{r2}=\dots$

Estado 4: $T_4=1200\text{ K} \rightarrow h_4=1277,81\text{ kJ/kg}$; $p_{r4}=191,17$

Estado 5:

Aplicando a 1ª Lei para o compressor tem-se:

$$\dot{W}_{compressor} = \dot{m}(h_1 - h_2)$$

Aplicando a 1ª Lei para a turbina tem-se:

$$\dot{W}_{turbina,alta\ pressão} = \dot{m}(h_4 - h_5)$$

Como o trabalho da turbina de alta pressão é usado para movimentar o compressor:

$$\dot{W}_{turbina,alta\ pressão} = -\dot{W}_{compressor}$$

$$(h_2 - h_1) = (h_4 - h_5) \Rightarrow h_5 = h_4 - (h_2 - h_1) = 1277,81 - (483,23 - 300,47) = 1095,05\text{ kJ/kg}$$

Como:

$$\eta_{turbina,alta} = \frac{(h_4 - h_5)}{(h_4 - h_{5s})}$$

$$h_{5s} = h_4 - \frac{(h_4 - h_5)}{\eta_{turbina,alta}} = 1277,81 - \frac{(1277,81 - 1095,05)}{0,87} = 1067,74\text{ kJ/kg}$$

Logo: $p_{r5s}=99,05$

$$\frac{p_{r,5s}}{p_{r,4}} = \frac{p_5}{p_4} \Rightarrow p_5 = p_4 \frac{p_{r,5s}}{p_{r,4}} = 400 \times \frac{99,05}{191,17} = 207,3\text{ kPa}$$

Como $h_5=1095,05\text{ kJ/kg} \rightarrow p_{r5}=108,45$ e $T_5=1042,64\text{K}$

Estado 6:

$$\frac{p_{r,6s}}{p_{r,5}} = \frac{p_6}{p_5} \Rightarrow p_{r,6s} = p_{r,5} \frac{p_6}{p_5} = 108,45 \times \frac{100}{207,3} = 52,3$$

Logo: $h_{6s}=951,05\text{ kJ/kg}$

Como:

$$\eta_{turbina,baixa} = \frac{(h_5 - h_6)}{(h_5 - h_{6s})} \Rightarrow h_6 = h_5 - \eta_{turbina,baixa} \times (h_5 - h_{6s})$$

$$h_6 = h_5 - \eta_{turbina,baixa} \times (h_5 - h_{6s}) \Rightarrow h_6 = 1095,05 - 0,87 \times (1095,05 - 951,05) = 969,77 \text{ kJ/kg}$$

Logo: $T_6=932,68\text{K}$

Estado 3:

Sendo que a efetividade do regenerador é dada por:

$$\varepsilon_{regenerador} = \frac{(h_3 - h_2)}{(h_6 - h_2)} \Rightarrow h_3 = h_2 + \varepsilon_{regenerador} \times (h_6 - h_2)$$

$$h_3 = h_2 + \varepsilon_{regenerador} \times (h_6 - h_2) \Rightarrow h_3 = 483,23 + 0,90 \times (969,77 - 483,23) = 921,12 \text{ kJ/kg}$$

Logo: $T_3=889,21 \text{ K}$

Estado 7:

Aplicando a conservação de massa e a 1ª Lei para o regenerador, tem-se:

$$0 = (h_2 - h_3) + (h_6 - h_7) \Rightarrow h_7 = h_6 + (h_2 - h_3)$$

$$h_7 = 969,77 + (483,23 - 921,12) = 531,89 \text{ kJ/kg}$$

Logo: $T_7=527,64\text{K}$

Aplicando a 1ª Lei na turbina de baixa pressão tem-se:

$$\dot{W}_{turbina,baixa\ pressão} = \dot{m}(h_5 - h_6) = 0,562 \times (1095,05 - 969,77) = 70,4\text{kW}$$

Logo:

$$\eta_{ciclo} = \frac{\dot{W}_{líquido}}{\dot{Q}_{combustão}} = \frac{\dot{W}_{líquido}}{\dot{m}(h_4 - h_3)} = \frac{70,4}{0,562 \times (1277,81 - 921,12)} = 0,351(35,1\%)$$

Ponto	T [K]	h [kJ/kg]	pr
1	300,00	300,47	1,1146
2	480,41	483,23	5,8655
3	921,12	889,21	66,5582
4	1200,00	1277,81	191,1700
5	1042,64	1095,05	108,4500
6	969,77	932,68	69,8632
7	527,64	531,89	8,2238