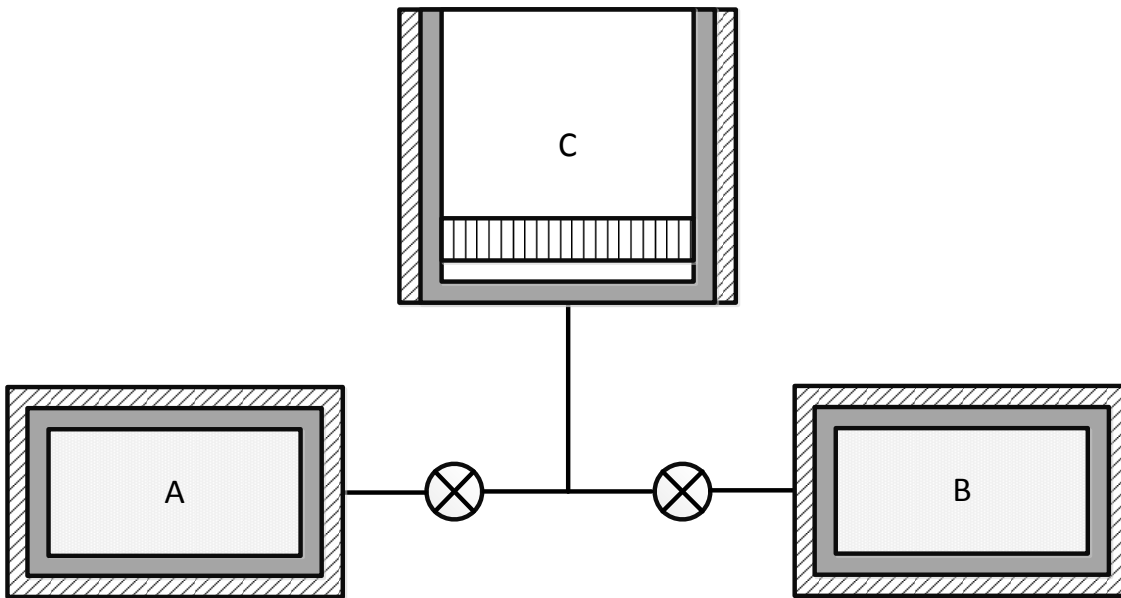


Questão 1. Os dois tanques da figura abaixo contém vapor d'água e estão conectados a um conjunto cilindro-pistão. A pressão atmosférica e a massa do pistão são tais que a pressão na câmara tem que ser igual a 1,4 MPa para que o pistão se mova. Inicialmente, o volume da câmara é nulo, o tanque A contém 4 kg de vapor a 8 MPa e 700°C e o tanque B contém 2 kg de vapor a 3 MPa e 350°C. As válvulas são abertas e espera-se que a água atinja um estado de equilíbrio no qual a temperatura é 400°C. Admitindo que a transferência de calor seja nula, determine o trabalho e a entropia gerada no processo.



Solução:

Hipóteses: variações desprezíveis de energia cinética e potencial

Dados:

Fluido: vapor d'água

Sistema: Tanques A, B e C

$$m_A = 4\text{kg}; p_{A,1} = 8\text{MPa}; T_{A,1} = 700^\circ\text{C}$$

$$m_B = 2\text{kg}; p_{B,1} = 3\text{MPa}; T_{B,1} = 350^\circ\text{C}$$

$$V_{C,1} = 0\text{m}^3; p_2 = p_{A,2} = p_{B,2} = p_{C,2} = 1,4\text{MPa}; T_2 = T_{A,2} = T_{B,2} = T_{C,2} = 400^\circ\text{C}; Q_{1-2} = 0$$

Pede-se: ${}_1W_2; \Delta S$

Aplicando o balanço de massa no sistema: $m_1 = m_2 \Rightarrow m_{A,1} + m_{B,1} = m_2 \Rightarrow m_2 = 4 + 2 = 6\text{kg}$

Aplicando a 1ª Lei para o sistema definido temos:

$$\Delta U = {}_1Q_2 - {}_1W_2$$

$$m_2 u_2 - (m_{A,1} u_{A,1} + m_{B,1} u_{B,1}) = -{}_1W_2 \Rightarrow {}_1W_2 = (m_{A,1} u_{A,1} + m_{B,1} u_{B,1}) - m_2 u_2$$

Para o estado 1 em A: $p_{A,1} = 8 \text{ MPa}; T_{A,1} = 700^\circ \text{ C} \Rightarrow$ vapor superaquecido
 $u_{A,1} = 3442,81 \text{ kJ/kg}; s_{A,1} = 7,2800 \text{ kJ/kg.K};$

Para o estado 1 em B: $p_{B,1} = 3 \text{ MPa}; T_{A,1} = 350^\circ \text{ C} \Rightarrow$ vapor superaquecido
 $u_{B,1} = 2843,19 \text{ kJ/kg}; s_{B,1} = 6,7420 \text{ kJ/kg.K};$

Para o estado 2 em B: $p_2 = 1,4 \text{ MPa}; T_{A,1} = 400^\circ \text{ C} \Rightarrow$ vapor superaquecido
 $u_2 = 2952,41 \text{ kJ/kg}; s_2 = 7,3024 \text{ kJ/kg.K};$

Logo:

$${}_1W_2 = (m_{A,1}u_{A,1} + m_{B,1}u_{B,1}) - m_2u_2 = (4*3442,81 + 2*2843,19) - 6*2952,41 = 1743,14 \text{ kJ}$$

Aplicando a 2ª Lei para o sistema definido temos:

$$\Delta S = \int_1^2 \frac{\delta Q}{T} + S_{gerada} \Rightarrow S_{gerada} = \Delta S = m_2s_2 - (m_{A,1}s_{A,1} + m_{B,1}s_{B,1})$$

Portanto:

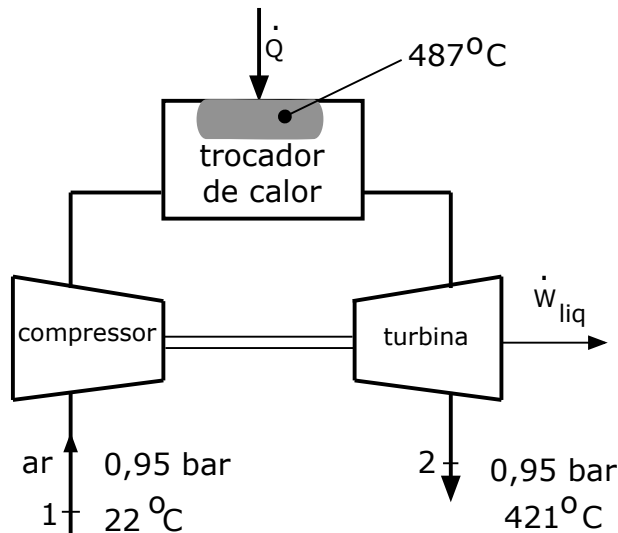
$$S_{gerada} = 6*7,3024 - (4*7,2800 + 2*6,7420) = 1,21 \text{ kJ/kg.K}$$

Versões da questão 01

Versão	Dados de entrada	Valores obtidos
01	$p_2 = 1,4 \text{ MPa}; T_2 = 400^\circ \text{ C}$	$u_2 = 2952,41 \text{ kJ/kg}; s_2 = 7,3024 \text{ kJ/kg.K};$ ${}_1W_2 = 1743,14 \text{ kJ}$ $S_{gerada} = 1,21 \text{ kJ/kg.K}$
02	$p_2 = 2,5 \text{ MPa}; T_2 = 500^\circ \text{ C}$	$u_2 = 3112,22 \text{ kJ/kg}; s_2 = 7,3235 \text{ kJ/kg.K};$ ${}_1W_2 = 784,33 \text{ kJ}$ $S_{gerada} = 1,34 \text{ kJ/kg.K}$
03	$p_2 = 1,2 \text{ MPa}; T_2 = 350^\circ \text{ C}$	$u_2 = 2871,85 \text{ kJ/kg}; s_2 = 7,2115 \text{ kJ/kg.K};$ ${}_1W_2 = 2226,54 \text{ kJ}$ $S_{gerada} = 0,67 \text{ kJ/kg.K}$

Questão 2. Na figura é mostrada uma usina térmica operando em regime permanente. O conjunto é formado por um compressor, um trocador de calor e uma turbina. O ar entra no compressor com vazão mássica de 3,9 kg/s a 0,95 bar e 22 °C, e deixa a turbina a 0,95 bar e 421 °C. A transferência de calor para o ar que flui através do trocador de calor ocorre a uma temperatura média de 487°C. O compressor e a turbina operam de forma adiabática. Determine o valor teórico máximo para a potência útil que pode ser desenvolvido pela usina. Considere calores específicos constantes.

Dados para o ar: $R = 0,287 \text{ kJ/kg.K}$, $C_p = 1,03 \text{ kJ/kg.K}$, $C_v = 0,743 \text{ kJ/kg.K}$. 1 bar = 100 kPa.



Solução:

Hipóteses: Regime permanente, compressor, turbina e tubulação adiabáticos, variações desprezíveis de energia cinética e potencial, o ar comporta-se como gás perfeito com calores específicos constantes avaliados em T média.

Volume de controle: tubulação, compressor, trocador de calor e turbina

Conservação da massa: $\dot{m} = \dot{m}_1 = \dot{m}_2$

1ª Lei: $\dot{W}_{liq} = \dot{m}(h_1 - h_2) + \dot{Q}$

Maximizar a potência é sinônimo de minimizar h_2 .

2ª lei para o VC: $\dot{m}(s_2 - s_1) = \frac{\dot{Q}}{T} + \dot{S}_{ger}$ $\dot{Q} = \dot{m}T(s_2 - s_1) - T\dot{S}_{ger}$

Combinando as duas expressões: $\dot{W}_{liq} = \dot{m}(h_1 - h_2) + \dot{m}T(s_2 - s_1) - T\dot{S}_{ger}$

Observe que a potência será máxima quando a taxa de geração de entropia for nula:

$$\dot{W}_{liq} = \dot{m}[(h_1 - h_2) + T(s_2 - s_1)]$$

$$\dot{W}_{liq} = \dot{m}C_p \left[(T_1 - T_2) + T \ln \frac{T_2}{T_1} \right]$$

$$\dot{W}_{liq} = 3,9 \cdot 1,03 \left[(22 - 421) + 760 \ln \frac{694}{295} \right] = 1009 \text{ kW}$$

Versões da questão 02

Versão	Dados de entrada	Valores obtidos
01	$p_1 = 0,95\text{bar}; T_1 = 22^\circ\text{C}$ $p_2 = 0,95\text{bar}; T_2 = 421^\circ\text{C}$ $T_{\text{trocador}} = 487^\circ\text{C}; \dot{m} = 3,9\text{kg/s}$	${}_1W_2 = 1009\text{ kW}$
02	$p_1 = 0,95\text{bar}; T_1 = 22^\circ\text{C}$ $p_2 = 0,95\text{bar}; T_2 = 521^\circ\text{C}$ $T_{\text{trocador}} = 587^\circ\text{C}; \dot{m} = 3,9\text{kg/s}$	${}_1W_2 = 1416\text{ kW}$
03	$p_1 = 0,95\text{bar}; T_1 = 22^\circ\text{C}$ $p_2 = 0,95\text{bar}; T_2 = 321^\circ\text{C}$ $T_{\text{trocador}} = 387^\circ\text{C}; \dot{m} = 3,9\text{kg/s}$	${}_1W_2 = 655\text{ kW}$