

Nome: _____ N° USP: _____ RG: _____

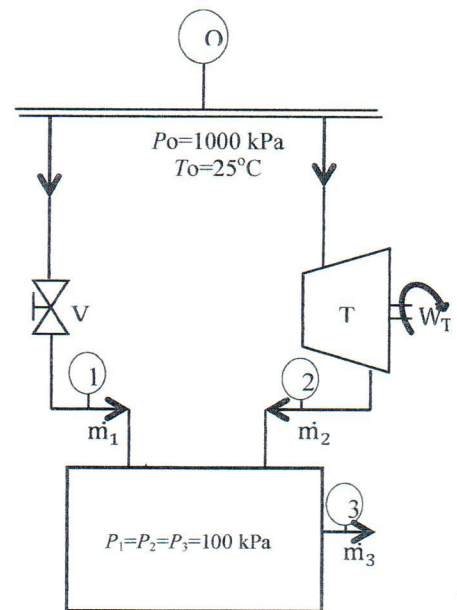
1ª Questão (5,0 pontos)

Considere o arranjo abaixo. Tanto a válvula como a turbina são alimentadas por uma linha de ar comprimido a 1000 kPa e 25°C e descarregam em uma câmara adiabática à pressão de 100 kPa. Os fluxos mássicos através da válvula e da turbina são iguais a 1 kg/s. A turbina pode ser considerada adiabática-reversível. A válvula é adiabática. Nessas condições, pede-se:

- As temperaturas nas saídas da válvula, da turbina e da câmara de mistura; (1 pt)
- A potência de eixo produzida pela turbina; (1 pt)
- A taxa temporal de produção de entropia na válvula, na turbina e na câmara de mistura; (1 pt)
- Trace o diagrama temperatura-entropia específica indicando os estados e processos, incluindo os valores numéricos da temp. (1 pt)
- Prove que a eficiência isoentrópica da turbina, η_s , é dada por (1 pt)

$$\eta_s = \frac{1 - \left(\frac{P_2}{P_0}\right)^{\frac{k-1}{k}} e^{\frac{s_{ger}}{C_P}}}{1 - \left(\frac{P_2}{P_0}\right)^{\frac{k-1}{k}}}$$

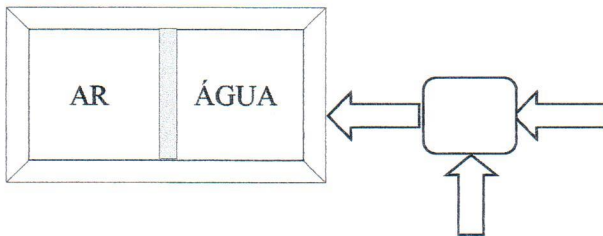
Nota: considere o ar como gás perfeito de calor específico constante.



Nome: _____ N° USP: _____ RG: _____

2ª Questão (5,0 pontos)

Considere uma câmara cilíndrica fechada, com um pistão que divide a câmara em duas regiões. Uma delas contém ar e a outra água. O cilindro está isolado termicamente do ambiente, exceto na extremidade da região que contém água. O pistão é adiabático e não apresenta atrito. Inicialmente, quando o pistão está em equilíbrio mecânico, o volume de cada região é de 300 litros, o ar está a $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ e a água está a $90\text{ }^{\circ}\text{C}$, apresentando título igual a 5%. Uma bomba de calor reversível, que extrai calor do ambiente ($T_0 = 27\text{ }^{\circ}\text{C}$), aquece a água até que a sua pressão atinja o valor de 500 kPa. Considerando-se que todos os processos são reversíveis e que os calores específicos do ar podem ser considerados constantes, determine: (a) A temperatura final do ar; (b) O trabalho realizado pelo a água sobre o ar; (c) O título final da água; (d) O calor fornecido à água pela bomba de calor; (e) A variação de entropia do sistema ar - água; (f) O trabalho necessário para acionar a bomba de calor.



GABRIEL
2ª PROVA

a) válvula
 $1 \text{ kg} : q - w = \Delta h$

$\Delta h = 0 \Rightarrow h_2 = h_0$
 ou $T_1 = T_0 = 25^\circ\text{C}$

turbina
 Processo Isentrópico

$\frac{T_2}{T_0} = \left(\frac{P_2}{P_0}\right)^{\frac{k-1}{k}}$
 $T_2 = 298,15 \left(\frac{100}{1000}\right)^{\frac{1,4-1}{1,4}} = 154,4 \text{ K} = T_2$

câmara

$\dot{m}_1 h_1 + \dot{m}_2 h_2 = \dot{m}_3 h_3, \quad \dot{m}_1 = \dot{m}_2 = \frac{\dot{m}_3}{2}$
 ou $T_1 + T_2 = 2T_3 \Rightarrow T_3 = \frac{T_1 + T_2}{2} = \frac{298,15 + 154,4}{2} = 226,3 \text{ K} = T_3$

b) $\dot{W}_{TV} = \dot{m}_2 c_p (T_0 - T_2) = 1 * 1,0035 (298,15 - 154,4)$

$\dot{W}_{TV} = 144,25 \text{ kW}$

c) válvula
 $\dot{S}_{ger} = \dot{m}_1 (\Delta_1 - \Delta_0)$
 $\dot{S}_{ger} = \dot{m}_1 R \ln\left(\frac{P_0}{P_1}\right)$
 $\dot{S}_{ger} = 1 * 0,287 \ln(10)$
 $\dot{S}_{ger} = 0,6608 \text{ kW/K}$

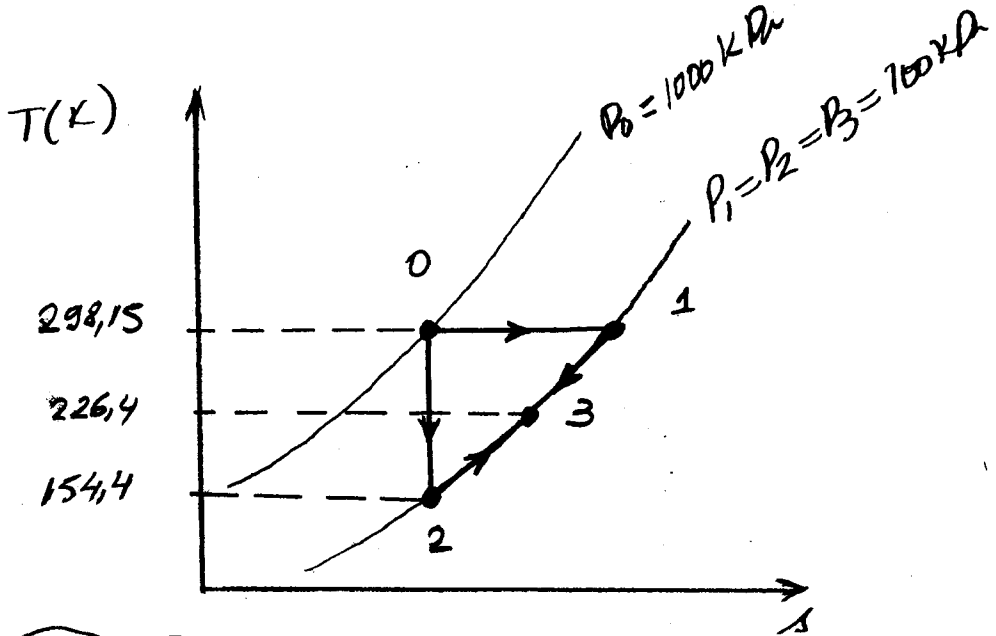
turbina
 Isentrópica $\dot{S}_{ger} = 0 \text{ kW/K}$

CÂMARA
 $\dot{S}_{ger} = \dot{m}_3 \Delta_3 - \dot{m}_1 \Delta_1 - \dot{m}_2 \Delta_2 = \dot{m}_1 \left[\underbrace{(\Delta_3 - \Delta_1)}_{c_p \ln\left(\frac{T_3}{T_1}\right)} + \underbrace{\Delta_3 - \Delta_2}_{c_p \left(\frac{T_3}{T_2}\right)} \right]$
 $\dot{S}_{ger} = \dot{m}_1 c_p \left[\ln\left(\frac{T_3}{T_1}\right) + \ln\left(\frac{T_3}{T_2}\right) \right]$
 $\dot{S}_{ger} = 1 * 1,0035 \left[\ln\left(\frac{226,3}{298,15}\right) + \ln\left(\frac{226,3}{154,4}\right) \right]$
 $\dot{S}_{ger} = 0,1070 \text{ kW/K}$

29/05/2017

a) $\dot{S}_{ger} =$

d)



e)

$$\eta_s = \frac{w_R}{w_s} = \frac{h_0 - h_2}{h_0 - h_{2s}}$$

ou, (GP)

$$\eta_s = \frac{T_0 - T_2}{T_0 - T_{2s}} = \frac{1 - T_2/T_0}{1 - T_{2s}/T_0}$$

obtenção das razões de Temp.

$$\Delta s_{ger} = \Delta s = c_p \ln\left(\frac{T_2}{T_0}\right) - R \ln\left(\frac{P_2}{P_0}\right)$$

$$\Delta s_{ger} = \ln\left(\frac{T_2}{T_0}\right)^{c_p} - \ln\left(\frac{P_2}{P_0}\right)^R$$

$$\Delta s_{ger} = c_p \ln\left[\frac{T_2/T_0}{\left(\frac{P_2}{P_0}\right)^{R/c_p}}\right] \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{\Delta s_{ger}}{c_p} = \ln\left[\frac{T_2/T_0}{\left(\frac{P_2}{P_0}\right)^{R/c_p}}\right]$$

$$\frac{T_2}{T_0} = \left(\frac{P_2}{P_0}\right)^{\frac{R}{c_p}} e^{\frac{\Delta s_{ger}}{c_p}} \quad \alpha$$

também, p/ó caso isentropico:

$$\frac{T_{2s}}{T_0} = \left(\frac{P_2}{P_0}\right)^{\frac{k-1}{k}} \quad (b)$$

subst. (a) e (b) na expressão da eficiência isentropica, vem:

$$\eta_s = \frac{1 - \left(\frac{P_2}{P_0}\right)^{\frac{k-1}{k}} e^{\frac{\Delta s_{ger}}{c_p}}}{1 - \left(\frac{P_2}{P_0}\right)^{\frac{k-1}{k}}}$$

comentários:

→ se $\Delta s_{ger} = 0 \Rightarrow \eta_s = 1$
(caso isentropico)

→ se $\Delta s_{ger} = R \ln\left(\frac{P_0}{P_2}\right) \Rightarrow \eta_s = 0$
(caso de máxima geração de entropia, quando a turbina se comporta como uma válvula e $w = 0$)

25/05/2017

PME-2321 # TERMODINÂMICA

PROVA P2

02/06/2017

Gabarito P2 - 2017 - Q2 = 2a Lei Sistema = Fluido - Água + Ar

2a Questão (Valor: 5,0 pontos). Considere uma câmara cilíndrica fechada, com um pistão que divide a câmara em duas regiões. Uma delas contém ar e a outra água. O cilindro está isolado termicamente do ambiente, exceto na extremidade da região que contém água. O pistão é adiabático e não apresenta atrito. Inicialmente, quando o pistão está em equilíbrio mecânico, o volume de cada região é de 300 litros, o ar está a 50 °C e a água está a 90 °C, apresentando título igual a 5%. Uma bomba de calor reversível, que extrai calor do ambiente ($T_0 = 27$ °C), aquece a água até que a sua pressão atinja o valor de 500 kPa. Considerando-se que todos os processos são reversíveis e que os calores específicos do ar podem ser considerados constantes, determine: (a) A temperatura final do ar; (b) O trabalho realizado pela água sobre o ar; (c) O título final da água; (d) O calor fornecido à água pela bomba de calor; (e) A variação de entropia do sistema ar - água; (f) O trabalho necessário para acionar a bomba de calor.

$$T_{ag;1} = 90 + 273,15 \quad x_{ag;1} = 0,05 \quad Vol_{ag;1} = 0,3 \quad P_2 = 500$$

$$Vol_{ar;1} = 0,3 \quad T_{ar;1} = 50 + 273,15 \quad T_0 = 27 + 273,15$$

$$R_{ar} = 0,287 \quad C_{var} = 0,7165 \quad k = 1,4$$

$$v_{ag;1} = v \left[\text{Steam}; T = T_{ag;1}; x = x_{ag;1} \right] \quad P_1 = P_{\text{sat}} \left[\text{Steam}; T = T_{ag;1} \right] \quad m_{ag} = \frac{Vol_{ag;1}}{v_{ag;1}}$$

$$m_{ar} = \frac{P_1 \cdot Vol_{ar;1}}{R_{ar} \cdot T_{ar;1}} \quad T_{ar;2} = T_{ar;1} \cdot \left[\frac{P_2}{P_1} \right]^{\frac{k-1}{k}} \quad m_{ar} = \frac{P_2 \cdot Vol_{ar;2}}{R_{ar} \cdot T_{ar;2}}$$

$$Vol_{ar;1} + Vol_{ag;1} = Vol_{ar;2} + Vol_{ag;2}$$

$$W_{ar} = \frac{P_2 \cdot Vol_{ar;2} - P_1 \cdot Vol_{ar;1}}{1 - k} \quad W_{ag} = -W_{ar}$$

$$v_{ag;2} = \frac{Vol_{ag;2}}{m_{ag}} \quad x_{ag;2} = x \left[\text{Steam}; P = P_2; v = v_{ag;2} \right]$$

$$u_{ag;1} = u \left[\text{Steam}; T = T_{ag;1}; x = x_{ag;1} \right] \quad u_{ag;2} = u \left[\text{Steam}; P = P_2; x = x_{ag;2} \right]$$

$$Q = m_{ag} \cdot [u_{ag;2} - u_{ag;1}] + m_{ar} \cdot C_{var} \cdot [T_{ar;2} - T_{ar;1}] \quad Q_{\text{verif}} = m_{ag} \cdot [u_{ag;2} - u_{ag;1}] + W_{ag}$$

$$s_{ag;1} = s \left[\text{Steam}; T = T_{ag;1}; x = x_{ag;1} \right] \quad s_{ag;2} = s \left[\text{Steam}; P = P_2; x = x_{ag;2} \right]$$

$$DS_{ag} + DS_{\text{meio}} = 0 \quad W_{\text{bomba}} = Q - Q_L$$

$$DS_{ag} = m_{ag} \cdot [s_{ag;2} - s_{ag;1}] \quad DS_{\text{meio}} = \frac{-Q_L}{T_0}$$

Critério de Correção

$$(a) T_{ar;2}=0,8 \quad (b) W=0,8$$

$$(c) x_{ag;2}=0,8 \quad (d) u_{ag} = 0,2 \quad Q=0,6$$

$$(e) DS_{\text{sist}}=0,6 \quad (f) W_{\text{bomba}}=1,2$$

Equacionamento correto, implementação incorreta = 25% da nota do item

Equacionamento correto, cálculo incorreto = 50% da nota do item

Equacionamento correto, cálculo correto = 100% da nota do item.

SOLUTION

Unit Settings: SI K kPa kJ mass deg

$$C_{var} = 0,7165 \text{ [kJ/kg-K]}$$

$$k = 1,4 \text{ [-]}$$

$$P_1 = 70,12 \text{ [kPa]}$$

$$Q_L = 2353 \text{ [kJ]}$$

$$s_{ag,1} = 1,507 \text{ [kJ/kg-K]}$$

$$T_{ag,1} = 363,2 \text{ [K]}$$

$$u_{ag,1} = 482,7 \text{ [kJ/kg]}$$

$$Vol_{ag,2} = 0,5263 \text{ [m}^3\text{]}$$

$$v_{ag,1} = 0,1191 \text{ [m}^3\text{/kg]}$$

$$W_{ar} = -39,59 \text{ [kJ]}$$

$$x_{ag,2} = 0,5559 \text{ [-]}$$

$$DS_{ag} = 7,84 \text{ [kJ/K]}$$

$$m_{ag} = 2,52 \text{ [kg]}$$

$$P_2 = 500 \text{ [kPa]}$$

$$Q_{verif} = 3127 \text{ [kJ]}$$

$$s_{ag,2} = 4,618 \text{ [kJ/kg-K]}$$

$$T_{ar,1} = 323,2 \text{ [K]}$$

$$u_{ag,2} = 1708 \text{ [kJ/kg]}$$

$$Vol_{ar,1} = 0,3 \text{ [m}^3\text{]}$$

$$v_{ag,2} = 0,2089 \text{ [m}^3\text{/kg]}$$

$$W_{bomba} = 773,3 \text{ [kJ]}$$

$$DS_{meio} = -7,84 \text{ [kJ/K]}$$

$$m_{ar} = 0,2268 \text{ [kg]}$$

$$Q = 3126 \text{ [kJ]}$$

$$R_{ar} = 0,287 \text{ [kJ/kg-K]}$$

$$T_0 = 300,2 \text{ [K]}$$

$$T_{ar,2} = 566,4 \text{ [K]}$$

$$Vol_{ag,1} = 0,3 \text{ [m}^3\text{]}$$

$$Vol_{ar,2} = 0,07374 \text{ [m}^3\text{]}$$

$$W_{ag} = 39,59 \text{ [kJ]}$$

$$x_{ag,1} = 0,05 \text{ [-]}$$

No unit problems were detected.