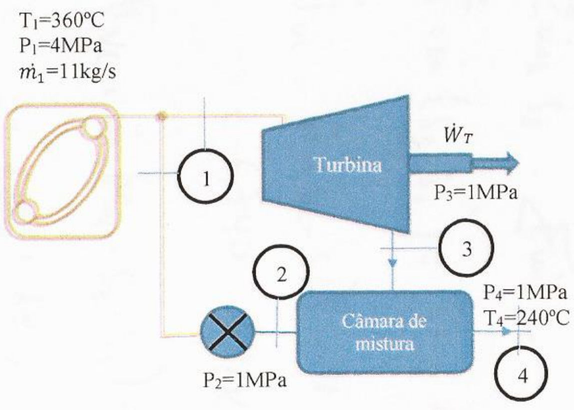
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA
TM-344 TERMODINÂMICA I
Prof. Luís Mauro Moura
3ª Prova

GABARITO

Aluno:______________________________

Observações:
(a) A interpretação das questões faz parte da avaliação;
(b) Todos os cálculos devem ser demonstrados, sob pena de anulação da questão;
(c) Os critérios de correção estão disponíveis no rodapé da última folha;
*(d) Calculadora com **tela gráfica** não é permitida;*
(e) Quando convier, o SISTEMA ou o VOLUME de CONTROLE deve ser definido. Caso contrário a questão pode ser anulada.

QUESTÃO 1 (VALOR 50) A figura ao lado fornece dados operacionais de regime permanente para uma válvula de estrangulamento isentálpica, operando em paralelo a uma turbina isentrópica. Os escoamentos que deixam a válvula e a turbina se misturam em uma câmara de mistura. Transferência de calor com a vizinhança e variações de energia cinética e potencial podem ser desprezadas. Determine, sabendo que o fluido que escoa no sistema é água:



(a) a potência produzida pela turbina, em kW; (20 pts)
(b) A vazão mássica através da válvula; (15 pts)
(c) as taxas de geração de entropia para a turbina, para a válvula e para a câmara de mistura, em kW/K. (15 pts)

QUESTÃO 2 (VALOR 50) Uma massa de 2 kg de água a 300°C e $x_1=0{,}5$ é submetido a dois processos distintos. Para cada caso, este fluido é levado do estado inicial ao estado de vapor saturado, enquanto o volume permanece constante. Para cada processo, determine a variação de Exergia da água, as transferências líquidas de Exergia por trabalho e calor e a quantidade de Exergia destruída, em kJ. Considere $T_o=300K$ e $p_o=1$ bar e ignore os efeitos de movimento e gravidade. Comente sobre os valores diferentes de destruição de Exergia para cada caso (10 pontos).

a) O processo ocorre adiabaticamente pela agitação de pás no interior deste sistema (20 pontos);
b) O processo é provocado pela transferência de calor de um reservatório térmico a 630K. A temperatura da água neste local que ocorre transferência de calor também é 630K. (20 pontos)

__Formulário__

$\frac{dm}{dt} = \sum \dot m_e - \sum \dot m_s$	Equação da conservação da massa
$v = \frac{\forall}{m}$	Volume específico
$\frac{dE}{dt} = \dot Q - \dot W + \sum \dot m_e \; h_e + \frac{V_e^2}{2} + gz_e \; - \sum \dot m_s \; h_s + \frac{V_s^2}{2} + gz_s$	Eq. cons. energia
$x = \frac{m_v}{m_{total}}$	Título
$\phi = \phi_{LS} + x \times (\phi_{VS} - \phi_{LS})$	Propriedade intensiva ϕ - mudança de fase
$\Delta E = \Delta E_c + \Delta E_p + \Delta U = Q - W$	Primeira lei da termodinâmica
$c_v = \frac{\partial u}{\partial T}_v$; $c_p = \frac{\partial h}{\partial T}_p$	Modelo de calor específico
$p.\forall = m.R.T$	Equação de estado de gás ideal
$R = \frac{\bar R}{M} = \frac{8{,}314 \left\lvert\frac{kJ}{kmol\,K}\right\rvert}{M}$	Constante particular do gás
$c_p = c_v + R$	Relação entre calores específicos - gás
$\phi(T,p) = \phi_{ls}(T)$	Modelo de líquido incompressível
$\eta_T = \frac{h_e - h_s}{h_e - h_{s(ideal)}}$	Eficiência isentrópica de turbina
$\eta_{C,B} = \frac{h_e - h_{s(ideal)}}{h_e - h_s}$	Efic. isentrópica compressor/bomba
$\frac{dS}{dt} = \frac{Q}{T} + \sigma$	Balanço de entropia fechado
$S_2 - S_1 = m(s_2 - s_1) = \frac{\dot Q}{T} + \dot\sigma$	Balanço de entropia fechado
$\frac{dS}{dt} = \frac{\dot Q}{T} + \sum_e \dot m_e s_e - \sum_s \dot m_s s_s + \dot\sigma$	Balanço de entropia volume de controle
$Tds = du + pdv$	1ª Equação Tds
$Tds = dh - vdp$	2ª Equação Tds
$s_2 - s_1 = c_v(T) \ln \frac{T_2}{T_1} + R ln \frac{v_2}{v_1}$	1ª equação Tds para cv constante
$s_2 - s_1 = c_p(T) \ln \frac{T_2}{T_1} - R ln \frac{p_2}{p_1}$	2ª equação Tds para cp constante
$s(T_2,P_2) - s(T_1,P_1) = s^0(T_2) - S^0(T_1) - R ln \frac{P_2}{P_1}$	Equação para gases ideais
$(h_s - h_e) = c_p(T_s - T_e)$	Calor específico a pressão constante
$E = (U - U_o) + p_o(V - V_o) - T_o(S - S_o) + EC + EP$	Exergia de um sistema
$E_2 - E_1 = E_q - E_w - E_d$	Balanço de Exergia para sistema fechado
$0 = \sum_i \; 1 - \frac{T_o}{T_j} \; \dot Q_j - \dot W - \dot E_d$	Balanço da taxa de Exergia para sistema fechado em Regime Permanente
$\frac{dE}{dt}_{VC} = \sum_j 1 - \frac{T_o}{T_j} \; \dot Q_j - \dot W_{VC} - p_o \frac{dV_{VC}}{dt} + \sum_e \dot m e_{fe} - \sum_s \dot m e_{fs} - \dot E_d$	Balanço de Taxa Exergia para Volume de Controle
$e_f = h - h_o - T_o(s - s_o) + \frac{V^2}{2} + gz$	Exergia específica de fluxo
$\varepsilon = \frac{\dot W_{VC}/\dot m}{e_{f1} - e_{f2}}$	Eficiência exergética da turbina
$\varepsilon = \frac{e_{f2} - e_{f1}}{(-\dot W_{VC}/\dot m)}$	Eficiência exergética da bomba

GABARITO

1ª QUESTÃO

a) $\dot W$
b) $\dot m$
c) $\dot \sigma$

① $\begin{cases} T_1 = 360°C \\ P_1 = 4 MPa \end{cases} \therefore \quad h_1 = 3117,2\ kJ/kg \quad s_1 = 6,6215\ kJ/kgK$

② $\begin{cases} P_2 = 1 MPa \\ h_2 = h_1 = 3117,2\ kJ/kg \\ S_2 : \begin{cases} 3178,9 - 7,3349 \\ 3093,9 - 7,1962 \end{cases} \end{cases}$

③ $\begin{cases} P_3 = 1 MPa \\ S_3 = S_1 = 6,6215\ kJ/kgK \end{cases}$

$h_3 = 2794\ kJ/kg$

④ $\begin{cases} h_4 : 2920,4\ kJ/kg \\ S_4 : 6,8817\ kJ/kgK \end{cases}$

$$\frac{3178,9 - 3117,2}{3178,9 - 3093,9} = \frac{7,3349 - S_2}{7,3349 - 7,1962}$$

$S_2 = 7,23422\ kJ/kgK$

$\dot W = \dot m (h_1 - h_3) = 11 \cdot (3117,2 - 2794,0) = 3555,2\ kJ \approx \underline{3,5 MW}$

se fizer todo o sistema considerando a câmara adiabática * A câmara não é adiabática pela alteração da condição ①.

2,0

$\dot W = 2\dot m (h_1 - h_4) = \underline{4,32 MW}$

b) $\dot m_2 = \dot m_1 = 11\ kg/s$

c) $\cancel{\frac{dS}{dt}}\Big|_{vc}^{0} = \cancel{\sum_j \frac{\dot Q_j}{T_j}}^{0} + \sum \dot m_e s_e - \sum_s \dot m_s s_s + \dot\sigma_{vc}$

$\dot\sigma = \sum \dot m_s s_s - \sum \dot m_e s_e$

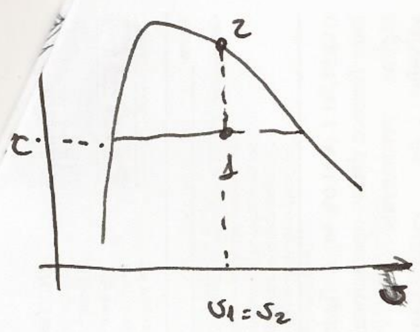
p/ a turbina $\dot\sigma = \dot m (s_3 - s_1) = 0$

p/ a válvula: $\dot\sigma_{vc} = \dot m (s_2 - s_1) = 11(7,23422 - 6,6215)$
$= 6,740\ kW/K$

p/ a câmara: $\dot\sigma_{vc} = \dot m (2 s_4 - s_2 - s_3) = 11(2 \cdot 6,8817 - 7,23422 - 6,6215)$
$= -1,016\ kW/K$; impossível. Há transf. de calor nesta câmara!

$Q = \dot m (h_4 - h_2 - h_3)$
$= 11 (2 \cdot 2920,4 - 3117,2 - 2794)$
$= \boxed{-774\ kW}$

PERGUNTAS



$v_1 = v_l + x\Delta v = 1{,}4036\times10^{-3} + 0{,}5(0{,}02167 - 1{,}4036\times10^{-3})$

$v_1 = 0{,}01154\ m^3/kg = v_2$

$u_1 = u_l + x\Delta u = 1332{,}0 + 0{,}5(2563 - 1332{,}0)$

$u_1 = 1947{,}5\ kJ/kg$

$s_1 = s_l + x\Delta s = 3{,}2534 + 0{,}5(5{,}7045 - 3{,}2534)$

$s_1 = 4{,}479\ kJ/kgK$

p/ $v_2 = 0{,}01154\ m^3/kg$ e $x = 1 \Rightarrow T_2 = 336{,}8°C$

$u_{2v} = 2474{,}2\ kJ/kg$

$s_{2v} = 5{,}3673\ kJ/kgK$

a) Adiabático e v = cte $\quad \boxed{E_q = 0}$ 3

1ª Lei: $\cancel{Q}^{\,0} - W = \Delta U = m(u_2 - u_1) = 2(2474{,}2 - 1947{,}5)$

$\underline{W = -1053{,}4\ kJ = E_w}$ 3

$\Delta E = E_2 - E_1 = U_2 - U_1 + \cancel{p_0(V_2 - V_1)} - T_0(S_2 - S_1)$

$= 1053{,}4 - 2\cdot300(5{,}3673 - 4{,}479) = \underline{520{,}42\ kJ}$ 10

$\Delta E = \cancel{E_q} - E_w - E_d \therefore E_d = -\Delta E - E_w = -520{,}42 + 1053{,}4 = \underline{+532{,}98\ kJ}$

4

b) $W = 0 \therefore \quad Q = 1053{,}4\ kJ$ (1ª lei)

$\Delta E = E_2 - E_1 = \underline{520{,}42\ kJ}$ 10

$\underline{E_w = 0}$ 3

$E_q = \left(1 - \frac{T_0}{T_b}\right)Q = \left(1 - \frac{300}{630}\right)1053{,}4 = \underline{551{,}78\ kJ}$ 3

$E_d = E_q - \Delta E = 551{,}78 - 520{,}42 = \underline{31{,}36\ kJ}$ 4

No segundo a destruição de exergia é menor pois foi aproveitado o calor da vizinhança, ao contrário do primeiro caso, onde se forneceu o trabalho.

10