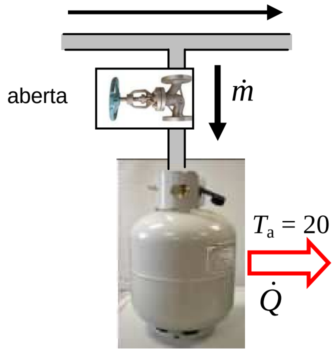
PROVA 2

Solução

Questão 1 [5 pts] **Vapor d'água** a 700 kPa e 320 °C escoa por uma tubulação. Um **tanque** de 2 m³, contendo inicialmente vapor d'água a 100 kPa e 200 °C, está conectado a esta tubulação por uma válvula fechada. A válvula é aberta, permitindo a entrada do vapor da tubulação no interior do tanque, até que a pressão final no tanque alcance 700 kPa. Durante este processo, **calor** é transmitido *do tanque para o ambiente* de modo a manter o conteúdo do tanque a temperatura constante de 200 °C. O ambiente encontra-se a 20 °C.

(a) Calcule a massa total de vapor d'água que entra no tanque [1 pt];
(b) Calcule o calor total transmitido ao longo do processo [2 pt];
(c) Calcule a variação total da entropia no interior do tanque durante o processo [1 pt]; e mostre que o processo não viola a segunda lei da termodinâmica [1 pt].

P_v = 700 kPa
T_v = 320 °C



isotérmico: T_t = 200 °C
início: P_t = 100 kPa
fim: P_t = 700 kPa

TANQUE T = 200 °C

P kPa	υ m³/kg	u kJ/kg	h kJ/kg	s kJ/kg
100	2,17	2658	2875	7,834
700	0,2999	2635	2845	6,886

LINHA T = 320 °C

P kPa	υ m³/kg	u kJ/kg	h kJ/kg	s kJ/kg
700	0,3852	2831	3101	7,370

MASSA

$m_i = V / \upsilon_i$ = 2 / 2,17 = **0,922 kg**
$m_f = V / \upsilon_f$ = 2 / 0,2999 = **6,67 kg**

dif.: $\frac{dm}{dt} = \dot{m}_e$ integr.: $m_f - m_i = m_e$ 6,67 – 0,92 = m_e m_e = **5,75 kg** **(1 pt)**

ENERGIA

$U_i = m_i \,.\, u_i$ = 0,922 × 2658 = **2450,7 kJ**
$U_f = m_f \,.\, u_f$ = 6,67 × 2635 = **17.575,5 kJ**

dif.: $\frac{dU}{dt} = \dot{Q} + \dot{W} + \dot{m}_e h_e$ integr.: $U_f - U_i = Q + W + m_e h_e$ 17.575 – 2451 = Q + 5,75 × 3101

Q = **–2706 kJ** **(2 pt)**

ENTROPIA

$S_i = m_i \,.\, s_i$ = 0,922 × 7,834 = **7,223 kJ/K**
$S_f = m_f \,.\, s_f$ = 6,67 × 6,886 = **45,93 kJ/K**

ΔS = $S_f - S_i$ = 45,93 – 7,22 = **38,71 kJ/K** **(1 pt)**

dif.: $\frac{dS}{dt} = \frac{\dot{Q}}{T_S} + \dot{m}_e s_e + \dot{\mathbf{P}}_S$ integr.: $S_f - S_i = \frac{Q}{T_S} + m_e s_e + \mathbf{P}_S$ 38,71 = –2706/473 + 5,75 × 7,37 + $\mathbf{P}_S$

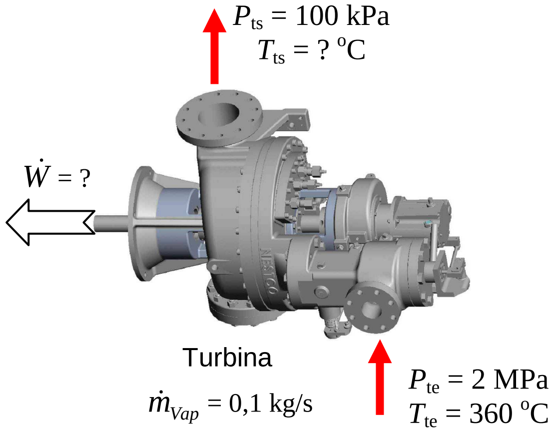
$\mathbf{P}_S$ = **2,05 kJ/K** **(1 pt)**

$\mathbf{P}_S > 0$ – *positivo*! **Não** viola a 2ª Lei da Termodinâmica.

Questão 2 [5 pts] Uma **turbina** movida a **vapor d'água**, com eficiência de 70 %, aciona um **compressor** de **ar**, cuja eficiência é de 80 %. Consideradas as condições especificadas na figura abaixo, calcule:

(a) o trabalho desenvolvido no eixo da turbina, em kW [2 pt];
(b) a descarga de ar, em kg/s, que pode ser comprimida [2 pt];
(c) a temperatura da água na saída da turbina T_{ts} [0,5 pt]
e a temperatura do ar na saída do compressor T_{cs} [0,5 pt].

Dados do ar: R = 0,287 kPa.m^3/kg.K ; c_p = 1,00 kJ/kg.K ; c_v = 0,717 kJ/kg.K



TURBINA

Entrada: P_{te} = 2 MPa , T_{te} = 360 °C

T_{sat} (2 MPa) = 212 °C < T_{te} ∴ **fase gás**

h_e = 3159 kJ/kg , s_e = 6,992 kJ/kg.K

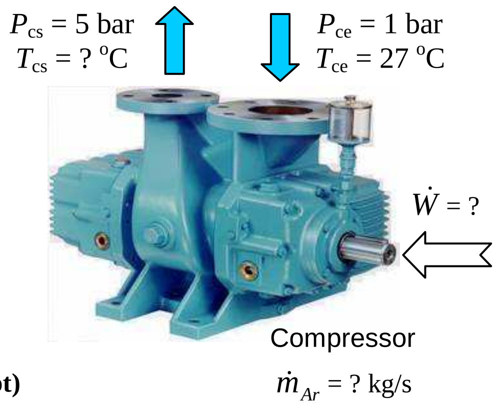
* Processo ideal: *adiabático reversível* – **isoentrópico $s_s = s_e$**

Saída: P_{ts} = 100 kPa , s_s = 6,992 kJ/kg.K s_{ls} = 1,303 kJ/kg.K , s_{gs} = 7,36 kJ/kg.K

$s_{ls} < s_s < s_{gs}$ ∴ **mistura bifásica** $x_g = (s_s - s_{ls}) / (s_{gs} - s_{ls})$ = (6,99 – 1,303)/(7,36 – 1,303) = **0,94**

$h_s = x_g\, h_{gs} + (1\text{-}x_g)\, h_{ls}$ h_{ls} = 417,5 kJ/kg , h_{gs} = 2675,5 kJ/kg h_s = 0,94 × 2675,5 + 0,06 × 417,5 = 2540 kJ/kg

Potência: $\dot{W}_T = \eta_t \times \dot{m}_{Vap}\left(h_e - h_{s,ideal}\right)$ = 0,7 × 0,1 (3159 – 2540) = **43,4 kW (2 pt)**



COMPRESSOR

Potência: $\dot{W}_C = \frac{1}{\eta_c} \times \dot{m}_{Ar}\left(h_{s,ideal} - h_e\right) = \frac{1}{\eta_c} \times \dot{m}_{Ar}\, c_p\left(T_{s,ideal} - T_e\right)$

* Processo ideal: *adiabático reversível* – **isoentrópico $s_s = s_e$**

$\frac{T_{cs}}{T_{ce}} = \left(\frac{P_{cs}}{P_{ce}}\right)^{R/c_p}$ T_{cs} = 300 × (5/1)^{0,287} = 476 K (**203 °C**)

$\dot{m}_{Ar} = \frac{\eta_c\, \dot{W}_C}{c_p\left(T_{s,ideal} - T_e\right)}$ = 0,8 × 43,4 / 1,0 × (476 – 300) = **0,197 kg (2 pt)**

Temperatura na saída da turbina:

$\dot{W}_T = \dot{m}_{Vap}\left(h_e - h_s\right)$ $\therefore h_s = h_e - \frac{\dot{W}_T}{\dot{m}_{Vap}}$ = 3159 – 43,4/0,1 = 2726 > h_{gs} ∴ **fase gás**

Na tabela de vapor, com P = 100 kPa, esta entalpia corresponde a... T_{ts} = **125 °C (0,5 pt)**

Temperatura na saída do compressor:

$\dot{W}_C = \dot{m}_{Ar}\, c_p\left(T_s - T_e\right)$ $\therefore T_s = T_e + \frac{\dot{W}_C}{\dot{m}_{Ar}\, c_p}$ = 300 + 43,4/0,197 = 520 K (**247 °C**) **(0,5 pt)**