



UNISANTA – FACULDADE DE ENGENHARIA INDUSTRIAL MECÂNICA
DISCIPLINA: TERMODINÂMICA APLICADA

PROVA P2 do 2º Semestre de 2007

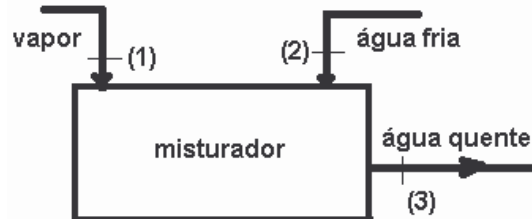
Prof. Antonio Santoro

Gabarito

Notas: Prova sem consulta; duração: 75 minutos.

Admitir as hipóteses necessárias para a solução das questões. Indicar claramente todo o desenvolvimento para se obter as soluções.

1ª Questão: (3,0) Uma indústria necessita de água quente para atender a um processo de sua planta. Sabe-se que o fluxo mássico de água quente necessário é de 20.000 kg/h e sua temperatura deve ser de 80° C à pressão de 200 kPa. Para esta finalidade é utilizado um misturador termicamente isolado que admite vapor d'água a 1000 kPa e 400° e água fria a 150 kPa e 30° C, conforme figura ao lado. O vapor e a água fria são misturados, obtendo-se na saída do equipamento a água quente desejada. Pede-se determinar as vazões (kg/h) da água fria e do vapor que alimentam o misturador.



Hipótese: regime permanente.

Aplicando a lei da conservação da massa ao volume de controle referente ao fluido no interior do misturador, tem-se:

$$\sum \dot{m}_e - \sum \dot{m}_s = \left(\frac{dm}{dt} \right)_{vc}$$

Com a hipótese de regime permanente, a equação acima se reduz a:

$$\sum \dot{m}_e - \sum \dot{m}_s = 0. \text{ Aplicando ao volume de controle específico, tem-se:}$$

$$\dot{m}_1 + \dot{m}_2 = \dot{m}_3 \quad (1)$$

A primeira lei da termodinâmica para o volume de controle é:

$$\sum \dot{Q}_{vc} + \sum \dot{m}_e \left(h_e + \frac{V_e^2}{2} + z_e g \right) = \sum \dot{W}_{vc} + \left(\frac{dE}{dt} \right)_{vc} + \sum \dot{m}_s \left(h_s + \frac{V_s^2}{2} + z_s g \right)$$

Para o volume de controle acima indicado em regime permanente e considerando-se desprezível a transferência de calor com o meio, bem como as variações de energia cinética e potencial, tem-se:

$$\dot{m}_1 h_1 + \dot{m}_2 h_2 = \dot{m}_3 h_3 \quad (2)$$

Da equação (1), conclui-se que:

$$\dot{m}_2 = \dot{m}_3 - \dot{m}_1$$

Substituindo a equação acima em (2), tem-se:

$$\dot{m}_1 h_1 + (\dot{m}_3 - \dot{m}_1) h_2 = \dot{m}_3 h_3$$

Rearranjando-se a equação acima, tem-se:

$$\dot{m}_1 h_1 + \dot{m}_3 h_2 - \dot{m}_1 h_2 = \dot{m}_3 h_3 \Rightarrow \dot{m}_1 (h_1 - h_2) = \dot{m}_3 (h_3 - h_2) \Rightarrow \dot{m}_1 = \dot{m}_3 \frac{h_3 - h_2}{h_1 - h_2}$$

$$\dot{m}_3 = 20\,000 \frac{\text{kg}}{\text{h}}; \quad h_2 = 126,0 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \quad (\text{líquido comprimido!})$$



UNISANTA – FACULDADE DE ENGENHARIA INDUSTRIAL MECÂNICA
DISCIPLINA: TERMODINÂMICA APLICADA

PROVA P2 do 2º Semestre de 2007

Prof. Antonio Santoro

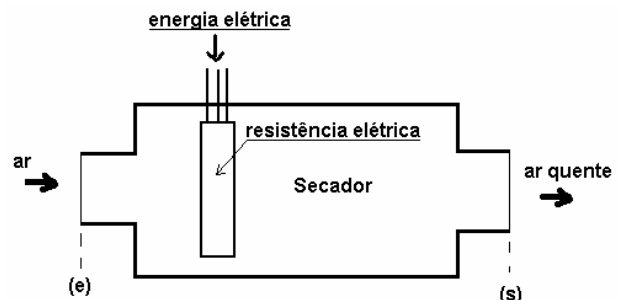
Gabarito

$$h_1 = 3263,88 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \quad (\text{vapor sup eraquecido}) \quad h_3 = 335 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \quad (\text{líquido comprimido})$$

$$\therefore \dot{m}_1 = 20000 \frac{335 - 126}{3263 - 126} \Rightarrow \dot{m}_1 = 1332,5 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \quad (\text{Re sposta}) \quad (\text{vapor})$$

$$\dot{m}_2 = 20000 - 1332,5 \Rightarrow \dot{m}_2 = 18667,5 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \quad (\text{Re sposta}) \quad (\text{água fria})$$

2ª Questão (2,5) Em uma indústria alimentícia necessita-se de ar quente à temperatura de 60° C e velocidade de 20 m/s. Para esta finalidade é utilizado um aquecedor elétrico de ar, cuja seção de saída é de 100 cm². O ar entra no aquecedor à temperatura de 25° C, pressão de 1,0 bar e em baixa velocidade. Pede-se determinar a potência elétrica aquecedor (kW).



Primeira Lei da Termodinâmica para o V.C. composto pelo ar no interior do aquecedor, regime permanente:

$$\dot{W} = \dot{m} \left[(h_e - h_s) + \left(\frac{\bar{V}_e^2}{2} - \frac{\bar{V}_s^2}{2} \right) \right]$$

Determinação do fluxo mássico:

$$\dot{m} = \frac{1}{v_e} \bar{V}_e A_e = \frac{1}{v_s} \bar{V}_s A_s$$

$$\text{gás ideal} \Rightarrow v_s = \frac{R_{ar} T_s}{P_s} = \frac{287(60 + 273,15)}{100000} = 0,9561 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \therefore$$

$$\dot{m} = \frac{1}{0,95618} 20(100 \times 10^{-4}) = 0,209 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

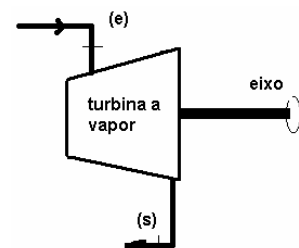
Aproximação:

$$h_e - h_s = c_p(T_e - T_s) = 1,0(25 - 60) = -35 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \therefore$$

$$\dot{W} = 0,209 \left(-35 + \frac{0^2}{2 \times 1000} - \frac{20^2}{2 \times 1000} \right) \Rightarrow$$

$$\dot{W} = -7,357 \text{ kW} \quad (\text{Resposta})$$

3ª Questão (2,5) Uma turbina a vapor de uma usina termoelétrica destina-se à produção de uma potência em seu eixo de 10,0 MW (megawatt), conforme figura ao lado. Na entrada da turbina tem-se vapor d'água a 3,5 MPa e 400° C e na saída tem-se vapor úmido de água a 50,0 bar e título de 20%. Desprezando-se a perda de calor pelas paredes externas da turbina, pede-se o fluxo mássico de vapor (kg/h).



Aplicando-se a conservação da massa para o volume de controle envolvendo a turbina, tem-se:



UNISANTA – FACULDADE DE ENGENHARIA INDUSTRIAL MECÂNICA
DISCIPLINA: TERMODINÂMICA APLICADA

PROVA P2 do 2º Semestre de 2007

Prof. Antonio Santoro

Gabarito

$$\sum \dot{m}_e - \sum \dot{m}_s = \left(\frac{dm}{dt} \right)_{VC}$$

Considerando regime permanente e uma única entrada e saída:

$$\dot{m}_e = \dot{m}_s = \dot{m}$$

Primeira Lei da Termodinâmica para o volume de controle:

$$\sum \dot{Q}_{VC} + \sum \dot{m}_e \left(h_e + \frac{\bar{V}_e^2}{2} + Z_e g \right) = \sum \dot{W}_{VC} + \left(\frac{dE}{dt} \right)_{VC} + \sum \dot{m}_s \left(h_s + \frac{\bar{V}_s^2}{2} + Z_s g \right)$$

Considerando desprezíveis as perdas de calor pelas paredes da turbina, as variações de energia cinética e potencial e regime permanente, tem-se:

$$\dot{m} h_e = \dot{W} + \dot{m} h_s \Rightarrow \dot{m} = \frac{\dot{W}}{h_e - h_s}$$

Determinação de h_e :

O estado de entrada está a 3,5 MPa e 400° C. Da Tabela fornecida em anexo, tem-se:

- para 2,0 MPa, 400° C, entalpia: 3247,60 $\frac{kJ}{kg}$;

- para 4,0 MPa, 400° C, entalpia: 3213,51 $\frac{kJ}{kg}$. Interpolando linearmente,

para a pressão de 3,5 MPa, 400° C, tem-se $h_e = 3223,03 \frac{kJ}{kg}$.

Determinação de h_s :

Na saída da turbina tem-se vapor úmido a 50,0 bar e título de 20%. Da Tabela anexa, tem-se:

$h_L = 1154,20 \frac{kJ}{kg}$ e $h_G = 2794,30 \frac{kJ}{kg}$. Então:

$$h_s = h_L + x_s (h_G - h_L) = 1154,20 + 0,20 (2794,30 - 1154,20) = 1482,22 \frac{kJ}{kg}$$

Então, o fluxo mássico será:

$$\dot{m} = \frac{\dot{W}}{h_e - h_s} = \frac{10 \times 1000}{3223,03 - 1482,22} \Rightarrow \dot{m} = 5,74788 \frac{kg}{s} = 0,7898 * 3600 = 2843 \frac{kg}{h}$$
$$\dot{m} = 20692 \frac{kg}{h} \text{ (Resposta)}$$



UNISANTA – FACULDADE DE ENGENHARIA INDUSTRIAL MECÂNICA
DISCIPLINA: TERMODINÂMICA APLICADA

PROVA P2 do 2º Semestre de 2007

Prof. Antonio Santoro

Gabarito

4ª Questão (2,0) Uma residência deve ser mantida aquecida no inverno, utilizando-se uma bomba de calor. Os cálculos de perda de calor através das paredes e teto do imóvel indicam um valor de 40,0 kW. A temperatura deve ser mantida em 23,5° C no interior da residência. Pede-se a mínima potência para acionar o compressor da bomba de calor, quando a temperatura externa for de 0° C (kW).

$$(\text{COP})_{\text{BC Carnot}} = \frac{T_H}{T_H - T_L} = \frac{23,5 + 273,15}{23,5 - 0} = 12,62$$

$$\dot{W}_{\min} = \frac{\dot{Q}_H}{(\text{COP})_{\text{BC Carnot}}} = \frac{40}{12,62} \Rightarrow \dot{W}_{\min} = 3,17 \text{ kW}$$

(Resposta)



UNISANTA – FACULDADE DE ENGENHARIA INDUSTRIAL MECÂNICA
DISCIPLINA: TERMODINÂMICA APLICADA

PROVA P2 do 2º Semestre de 2007

Prof. Antonio Santoro

Gabarito

Dados:

Propriedades da água subresfriada:

P(kPa)	T(°C)	v(m³/kg)	h(kJ/kg)
150	30	0,001	126,00
200	80	0,001	335,00

Propriedades do vapor d'água saturado a 50,0 bar:

$$h_L = 1154,2 \text{ kJ / kg}; \quad h_v = 2794,3 \text{ kJ / kg}$$

Propriedades do vapor d'água superaquecido:

P(MPa)	T(°C)	v(m³ / kg)	h(kJ / kg)
0,5	250	0,47436	2960,68
1,0	400	0,30659	3263,88
2,0	400	0,15120	3247,60
4,0	400	0,07341	3213,51

Equação da Conservação da massa para volume de controle em regime permanente:

$$\sum \dot{m}_e - \sum \dot{m}_s = 0$$

Fluxo mássico através de seções transversais:

$$\dot{m} = \frac{1}{v} \bar{V} \frac{\pi D^2}{4}$$

Equação da Primeira Lei da Termodinâmica para o regime permanente, em volume de controle:

$$\dot{Q}_{VC} + \sum \dot{m}_e \left(h_e + \frac{\bar{V}_e^2}{2} + z_e g \right) = \sum \dot{W}_{VC} + \sum \dot{m}_s \left(\frac{\bar{V}_s^2}{2} + z_s g + h_s \right)$$

Gás ideal: $P V = m R T$; $R_{ar} = 0,287 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}}$; $\Delta h = c_p \Delta T$;

$$c_{p \text{ ar}} = 1,0 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}}$$

Propriedades do vapor saturado de amônia a 25º C:

$v_L(\text{m}^3/\text{kg}) \times 10^3$	$v_v(\text{m}^3/\text{kg})$	$h_L(\text{kcal/kg})$	$h_v(\text{kcal/kg})$
1,6588	0,1283	128,11	278,53

Título:

$$v = v_L + x(v_v - v_L) \quad \text{ou} \quad h = h_L + x(h_v - h_L)$$

Coeficiente de performance de bomba de calor: $(COP)_{BC} = \frac{\dot{Q}_H}{\dot{W}_C}$;

Coeficiente de performance Carnot: $(COP)_{BC \text{ Carnot}} = \frac{T_H}{T_H - T_L}$

fim.