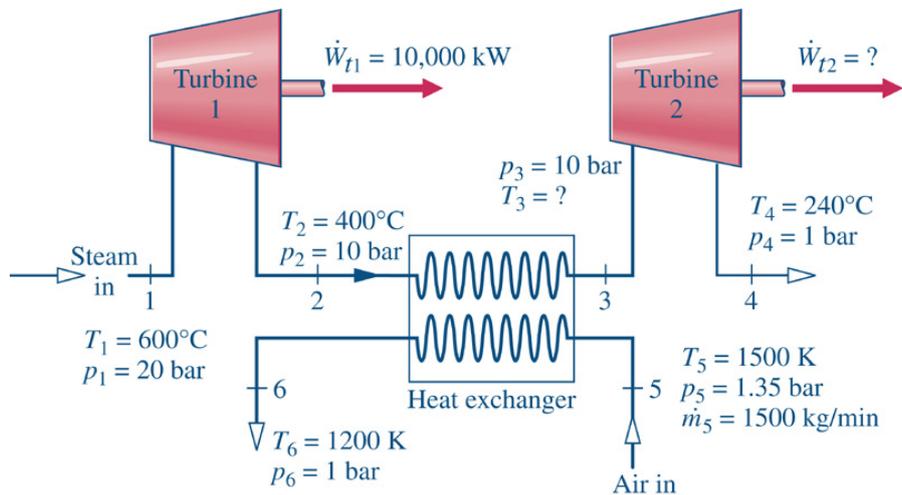


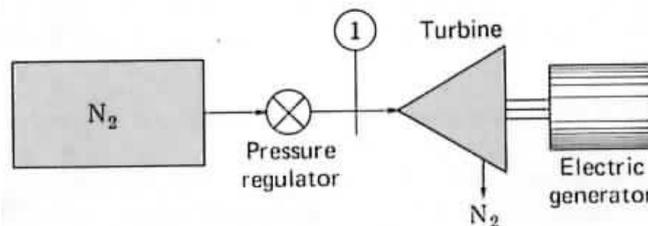
Lista de exercícios resolvidos 04 – 1ª Lei para Volumes de Controle

1- Fluxos separados de vapor e ar escoam ao longo do conjunto turbinas-trocador de calor mostrado na figura. Nela estão mostrados os dados da operação em regime permanente. A transferência de calor para o ambiente pode ser desprezada, assim como todos os efeitos das energias cinética e potencial. Determine:

- a temperatura T_3 ;
- a potência da segunda turbina, \dot{W}_{t2} .



2- Um sistema de potência auxiliar utiliza uma micro turbina conforme mostrado na figura. O tanque inicialmente contém nitrogênio a 14 MPa e 20 °C e está conectado à turbina, admitida adiabática, através de uma tubulação com uma válvula reguladora de pressão, que mantém a pressão no ponto 1 constante e igual a 700 kPa. O potência gerada pelo sistema é de 75 W e o nitrogênio na descarga da turbina se encontra a 100 kPa e -100 °C. Qual volume o tanque deve ter para que seja possível produzir esta potência durante o período de 1 h? Admita que a temperatura do nitrogênio no interior do tanque permaneça constante e igual a 20 °C e que o funcionamento do sistema seja interrompido quando a pressão no tanque atinge o valor de 700 kPa.

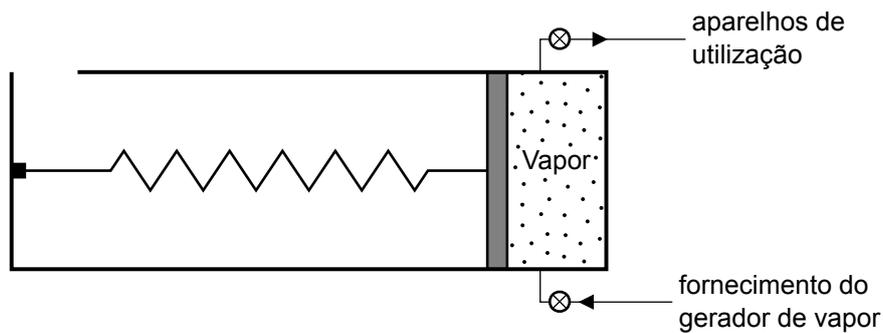


3- Um balão esférico, que suporta uma pressão interna proporcional ao diâmetro, apresenta inicialmente diâmetro igual a 0,4m e contém ar a 200kPa e 17°C. O balão está ligado, através de uma tubulação com válvula, a uma linha onde escoar ar a 400kPa e 137°C. A válvula é aberta e o ar escoar para o balão até que a sua pressão atinja 320kPa, quando, então, a válvula é fechada. Sabendo que a temperatura final do ar no interior do balão é 80°C, determine:

- a massa de ar que entra no balão;
- o trabalho realizado;
- o calor transferido.

- 4- Um acumulador de vapor é constituído por um reservatório isolado termicamente ligado a um dispositivo, chamado de gerador de vapor, que lhe fornece vapor saturado ou superaquecido para ser misturado ao vapor contido inicialmente no acumulador. Durante o processo de carga, a temperatura e a pressão do conteúdo do acumulador aumentam progressivamente. Chega um momento em que a pressão no acumulador é igual à pressão do vapor sendo fornecido pelo gerador. Nesse momento diz-se que o acumulador está carregado. Quando, no decorrer da descarga, se deixa escoar o vapor do acumulador para os aparelhos de utilização, a pressão e a temperatura baixam progressivamente no acumulador.

Considere o acumulador ilustrado na figura, que apresenta um mecanismo de pistão e mola linear sem atrito. Ao fim da descarga, a mola está distendida e resta no acumulador 1 m^3 de vapor saturado a pressão de 100 kPa . A recarga efetua-se por meio de vapor a $1,6 \text{ MPa}$ e $340 \text{ }^\circ\text{C}$. Ao fim da recarga, o volume interno do acumulador é de 10 m^3 . Qual é a massa de vapor que é utilizada neste processo de carga?



Soluções da Lista de Exercícios 04

1) Volumes de controle, regime permanente. Sem trocas de calor com o ambiente, efeitos de energia cinética e potencial desprezíveis. Vamos fazer a análise de cada um dos equipamentos separadamente.

Turbina 1

Substância: água (tabelas). 1ª Lei: $\dot{m}_1(h_1 - h_2) = \dot{W}_{t1}$

Estado 1: $T_1 = 600^\circ\text{C}$, $p_1 = 2\text{ MPa}$ → vapor superaquecido. Tabela: $h_1 = 3690,14\text{ kJ/kg}$.

Estado 2: $T_2 = 400^\circ\text{C}$, $p_2 = 1\text{ MPa}$ → vapor superaquecido. Tabela: $h_2 = 3263,88\text{ kJ/kg}$.

$$\dot{m}_1 = \frac{\dot{W}_{t1}}{(h_1 - h_2)} = \frac{10000}{(3690,14 - 3263,88)} = 23,46\text{ kg/s}$$

Trocador de calor

Substâncias: água (tabelas) e ar (gás perfeito, $R = 0,287\text{ kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$, calores específicos variáveis). 1ª Lei: $\dot{m}_1(h_3 - h_2) = \dot{m}_5(h_5 - h_6)$

Estado 5: $T_5 = 1500\text{ K}$, $p_5 = 135\text{ kPa}$. Tabela: $h_5 = 1635,80\text{ kJ/kg}$.

Estado 6: $T_6 = 1200\text{ K}$, $p_6 = 100\text{ kPa}$. Tabela: $h_6 = 1277,81\text{ kJ/kg}$.

$$h_3 = h_2 + \frac{\dot{m}_5}{\dot{m}_1}(h_5 - h_6) = 3263,88 + \frac{1500/60}{23,46} \times (1635,80 - 1277,81) = 3645,37\text{ kJ/kg}$$

Estado 3: $p_3 = 1\text{ MPa}$, $h_3 = 3645,37\text{ kJ/kg}$ → vapor superaquecido. Tabela: $T_3 = 576^\circ\text{C}$

Turbina 2

Substância: água (tabelas). 1ª Lei: $\dot{m}_1(h_3 - h_4) = \dot{W}_{t2}$

Estado 4: $T_4 = 240^\circ\text{C}$, $p_4 = 100\text{ kPa}$ → vapor superaquecido. Tabela: $h_4 = 2954,52\text{ kJ/kg}$.

$$\dot{W}_{t2} = \dot{m}_1(h_3 - h_4) = 23,46 \times (3645,37 - 2954,52) = 16207\text{ kW}$$

2) Volumes de controle. Regime uniforme no tanque e regime permanente na turbina. Substância: N_2 (gás ideal com $R = 0,2968\text{ kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ e calores específicos variáveis).

Assumindo processo adiabático na válvula reguladora de pressão, com efeitos de energia cinética e potencial desprezíveis, temos $h_t = h_1$, onde h_t é a entalpia do gás no tanque. Como o tanque permanece com temperatura constante e para um gás perfeito a entalpia é função exclusiva da temperatura, temos que para toda a duração do processo

$$h_1 = h_t = h|_{T=293,15\text{ K}} = 304,55\text{ kJ/kg (tabela)}$$

Turbina

$$1^{\text{a}} \text{ Lei: } \dot{m}(h_1 - h_2) = \dot{W}_t$$

Estado 1 (entrada): $h_1 = 304,55 \text{ kJ/kg}$.

Estado 2 (saída): $T_2 = -100^\circ\text{C} = 173,15 \text{ K}$. Tabela (extrapolação): $h_2 = 179,85 \text{ kJ/kg}$.

$$\dot{m} = \frac{\dot{W}_t}{(h_1 - h_2)} = \frac{0,075}{(304,55 - 179,85)} = 6,014 \times 10^{-4} \text{ kg/s}$$

Portanto, em 1 h serão consumidos $m_s = \dot{m}\Delta t = 6,014 \times 10^{-4} \times 3600 = 2,165 \text{ kg}$ de N_2 .

Tanque

Conservação de massa: $m_1 - m_2 = m_s = 2,165 \text{ kg}$

Como tanto o volume quanto a temperatura permanecem constantes durante o processo, temos:

$$m = \frac{pV}{RT} \Rightarrow \frac{V}{RT}(p_1 - p_2) = m_s$$

$$V = \frac{m_s RT}{(p_1 - p_2)} = \frac{2,165 \times 0,2968 \times 293,15}{14000 - 700} = 0,01416 \text{ m}^3$$

3) Substância: ar - modelo de gás perfeito, calor específico variável. Volume de controle, regime uniforme, ΔEC e ΔEP nulos. Da 1ª Lei:

$$m_2 u_2 - m_1 u_1 = Q_{\forall C} - W_{\forall C} + m_e h_e$$

E da Conservação da Massa:

$$m_2 - m_1 = m_e$$

Hipótese: processo quase estático,

$$\therefore W_{\forall C} = \int_{V_1}^{V_2} p \cdot dV$$

Além disso sabe-se, pelo enunciado, que a pressão é proporcional ao diâmetro. Determinando propriedades dos estados:

Estado 1: $p_1 = 200 \text{ kPa}$, $T_1 = 290 \text{ K}$, $d_1 = 0,4 \text{ m}$.

$$V_1 = \frac{4\pi r_1^3}{3} = \frac{\pi d_1^3}{6} = \frac{\pi \times 0,4^3}{6} = 0,03351 \text{ m}^3$$

$$m_1 = \frac{p_1 V_1}{RT_1} = \frac{200 \times 0,03351}{0,287 \times 290} = 0,08052 \text{ kg}$$

$$u_1 = 207,02 \text{ kJ/kg (Tabela A.7)}$$

Estado 2: $p_2 = 320 \text{ kPa}$, $T_2 = 353 \text{ K}$

$$p \propto d \rightarrow \frac{p_1}{d_1} = \frac{p_2}{d_2} \rightarrow d_2 = \frac{p_2}{p_1} d_1 = \frac{320}{200} \times 0,4 = 0,64 \text{ m}$$

$$V_2 = \frac{\pi d_2^3}{6} = \frac{\pi \times 0,64^3}{6} = 0,13726 \text{ m}^3$$

$$m_2 = \frac{p_2 V_2}{RT_2} = \frac{320 \times 0,13726}{0,287 \times 353} = 0,43355 \text{ kg}$$

$$u_2 = 252,48 \text{ kJ/kg (Interpolado da Tabela A.7)}$$

(a) Estado 2 na entrada: $p_e = 400 \text{ kPa}$, $T_e = 410 \text{ K}$, $h_e = 411,44 \text{ kJ/kg}$ (Interpolado da Tabela A.7). Assim,

$$m_e = m_2 - m_1 = 0,43355 - 0,08052 = 0,35303 \text{ kg}$$

(b) Trabalho Realizado:

$$V = \frac{\pi d^3}{6} \rightarrow d = \left(\frac{6}{\pi} V \right)^{1/3}$$

Além disso,

$$p \propto d \rightarrow p = CV^{1/3}$$

Segue-se que

$$W_{VC} = \int_{V_1}^{V_2} CV^{1/3} dV = C \left(\frac{V^{4/3}}{4/3} \right) \Big|_{V_1}^{V_2} = C \frac{(V_2^{4/3} - V_1^{4/3})}{4/3}$$

$$C = \frac{p_1}{V_1^{1/3}} = \frac{p_2}{V_2^{1/3}} \Rightarrow W_{VC} = \frac{p_2 V_2 - p_1 V_1}{4/3}$$

$$W_{VC} = \frac{320 \times 0,13726 - 200 \times 0,03351}{4/3} = 27,92 \text{ kJ}$$

(c) Calor Transferido:

$$Q_{VC} = m_2 u_2 - m_1 u_1 + W_{VC} - m_e h_e$$

$$Q_{VC} = 0,43355 \times 252,48 - 0,08052 \times 207,02 + 27,92 - 0,35303 \times 411,44$$

$$Q_{VC} = -24,54 \text{ kJ}$$

4) Volume de controle, regime uniforme. Substância: água (tabelas).

Hipóteses: processo quase estático, ΔEC e ΔEP desprezíveis.

$$1^a \text{ Lei: } m_1 u_1 - m_2 u_2 = \cancel{Q_{VC}} - W_{VC} + m_e h_e$$

Conservação de massa: $m_2 - m_1 = m_e$

Trabalho em processo quase estático: ${}_1W_{VC}{}_2 = \int_1^2 p dV$

Estado inicial (1): $p_1 = 100 \text{ kPa}$, $x_1 = 1,0$, $V_1 = 1 \text{ m}^3$.

Tabelas: $v_1 = 1,69400 \text{ m}^3/\text{kg}$, $u_1 = 2506,06 \text{ kJ/kg}$

$$m_1 = \frac{V_1}{v_1} = \frac{1}{1,69400} = 0,5903 \text{ kg}$$

Estado final (2): $V_2 = 10 \text{ m}^3$, $p_2 = p_e = 1,6 \text{ MPa}$.

Estado na entrada (e): $T_e = 340^\circ\text{C}$, $p_e = 1,6 \text{ MPa} \rightarrow$ vapor superaquecido.

Tabela: $h_e = 3123,25 \text{ kJ/kg}$

Como a mola é linear, a pressão varia linearmente com o volume. Portanto o trabalho pode ser calculado por:

$${}_1W_{\forall C 2} = \int_1^2 p d\forall = \frac{(p_2 + p_1)(\forall_2 - \forall_1)}{2} = \frac{(1600 + 100) \times (10 - 1)}{2} = 7650 \text{ kJ}$$

Substituindo a equação da conservação de massa na 1ª Lei:

$$m_2 u_2 - m_1 u_1 = -W_{\forall C} + (m_2 - m_1) h_e \quad \Rightarrow \quad u_2 = h_e - \left[\frac{W_{\forall C} + m_1 (h_e - u_1)}{m_2} \right]$$
$$u_2 = 3123,25 - \frac{8014,3}{m_2} \quad (1)$$

Temos duas incógnitas e uma equação. A outra relação vem do fato de que sabendo o valor de u_2 , o estado 2 fica determinado e podemos obter v_2 e calcular $m_2 = \forall_2/v_2$. Portanto, o problema tem solução, mas precisamos usar um procedimento iterativo para obtê-la. O procedimento será o seguinte:

Estimar m_2

laço iterativo

Calcular u_2 pela eq. (1)

Obter v_2 das tabelas, a partir dos valores de u_2 e p_2

Calcular uma nova estimativa de $m_2 = \forall_2/v_2$

fim do laço iterativo

Começaremos com uma estimativa de $m_2 = 8000 \text{ kg}$. A tabela a seguir traz os resultados do procedimento.

$m_2(\text{kg})$	$u_2(\text{kJ/kg})$	$v_2(\text{m}^3/\text{kg})$	$m'_2(\text{kg})$
8000	3122,22	0,22076	45,3
45,3	2946,3	0,18935	52,8
52,8	2971,5	0,19387	51,6
51,6	2967,9	0,19323	51,7

Na última iteração a massa variou menos do que 1%, então tomamos o valor $m_2 = 51,7 \text{ kg}$. Repare que a estimativa inicial estava bastante distante da resposta final, o que demonstra a robustez do método. A massa de vapor utilizada no processo de carga, m_e , é

$$m_e = m_2 - m_1 = 51,7 - 0,5903 = 51,1 \text{ kg}$$