TEA007 - TERMODINÂMICA AMBIENTAL
Curso de Graduação em Engenharia Ambiental
Departamento de Engenharia Ambiental, UFPR
P06, 01 Dezembro 2017
Prof. Michael Mannich

P06

NOME: GABARITO Assinatura: _____

---

1 [20] Responda cada um dos itens abaixo de forma objetiva.

a) [10] Quais são os 3 mecanismos que podem causar variação de entropia em um volume de controle?

b) [10] Considere o escoamento de um substância por uma turbina adiabática real. Responda o que acontece com a entalpia e a entropia na saída, se aumentará, diminuirá ou permanecerá a mesma.

SOLUÇÃO DA QUESTÃO:

a) A entropia em um volume de controle pode variar devido aos fluxos de entropia que cruzam a superfície de controle juntamente com o escoamento, devido à transferência de calor através da superfície de controle, e também devido à geração de entropia decorrente de irreversibilidades que ocorrem no interior do volume de controle.

b) Considerando que só há uma entrada e uma saída do volume de controle, e que variações de energia cinética e potencial são desprezíveis, a primeira lei para um volume de controle adiabático em regime permanente é

$$\cancel{q}^{\,0} + h_e + \frac{\cancel{V_e^2}^{\,0}}{2} + g\cancel{z_e}^{\,0} = h_s + \frac{\cancel{V_s^2}^{\,0}}{2} + g\cancel{z_s}^{\,0} + w \quad \Rightarrow \quad h_s = h_e - w.$$

Para uma turbina, $w > 0$, logo, a entalpia na saída diminui. Já a entropia neste volume de controle varia de acordo com

$$s_s - s_e = \cancel{\sum \frac{q}{T}}^{\,0} + \frac{\sigma}{\dot{m}} \quad \Rightarrow \quad s_s = s_e + \frac{\sigma}{\dot{m}}.$$

Como $\dot{m} > 0$ sempre e $\sigma > 0$ para um processo real, a entropia na saída aumenta.

Continue a solução no verso ⟹

2 [30] O nitrogênio entra em um bocal a 200 kPa e 500 K com velocidade de $10\,\mathrm{m\,s^{-1}}$. Ele sai a 100 kPa. Se a eficiência adiabática do bocal for de 90%, determine a velocidade de saída. Considere calores específicos constantes.

SOLUÇÃO DA QUESTÃO:
Considerando a energia cinética na entrada desprezível, a eficiência adiabática pode ser escrita como:

$$\eta = \frac{V_s^2/2}{V_{ss}^2/2} = \frac{h_e - h_s}{h_e - h_{ss}} = \frac{c_p\,(T_e - T_s)}{c_p\,(T_e - T_{ss})} = \frac{T_e - T_s}{T_e - T_{ss}}.$$

Para um processo reversível envolvendo um gás ideal, tem-se que

$$\frac{T_{ss}}{T_e} = \left(\frac{P_{ss}}{P_e}\right)^{(k-1)/k} \quad \Rightarrow \quad T_{ss} = 500\,\mathrm{K}\left(\frac{100\,\mathrm{kPa}}{200\,\mathrm{kPa}}\right)^{(0,400)/1,400} = 410{,}17\,\mathrm{K}.$$

em que $k = 1{,}400$ é dado na tabela A.5. A partir da eficiência adiabática, calcula-se a temperatura na saída:

$$T_s = T_e - \eta\,(T_e - T_{ss}) = 500\,\mathrm{K} - 0{,}90 \times (500\,\mathrm{K} - 410{,}17\,\mathrm{K}) = 419{,}15\,\mathrm{K}.$$

A primeira lei pode ser escrita como:

$$\cancel{q}^{\,0} + h_e + \frac{V_e^2}{2} + \cancel{gz_e}^{\,0} = h_s + \frac{V_s^2}{2} + \cancel{gz_s}^{\,0} + \cancel{w}^{\,0} \quad \Rightarrow \quad \frac{V_s^2}{2} = \frac{V_e^2}{2} + h_e - h_s = \frac{V_e^2}{2} + c_p\,(T_e - T_s)\,.$$

A velocidade na saída é dada por

$$V_s = \sqrt{V_e^2 + 2c_p\,(T_e - T_s)} = \sqrt{(10\,\mathrm{m\,s^{-1}})^2 + 2 \times 1042\,\mathrm{J\,kg^{-1}\,K^{-1}}\,(500\,\mathrm{K} - 419{,}15\,\mathrm{K})} = 410{,}6\,\mathrm{m\,s^{-1}},$$

em que c_p foi obtido da tabela A.5. Note que a hipótese $V_s \ll V_e$ se mostrou verdadeira.

Continue a solução no verso ⟹

3 [30] Um processo em regime permanente ocorre em um recipiente isolado que mistura $4\,\mathrm{kg\,s^{-1}}$ de vapor superaquecido de água a 400 °C e $6\,\mathrm{kg\,s^{-1}}$ de água líquida a 20 °C. Todas as pressões estão a 200 kPa.

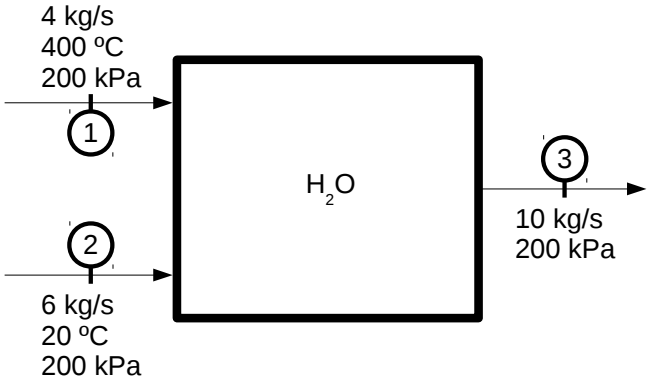
a) [10] Faça um esboço do dispositivo indicando as entradas e saídas.

b) [10] Determine o estado na saída. As duas propriedades podem ser entalpia e título.

c) [10] Determine a taxa de geração de entropia.

SOLUÇÃO DA QUESTÃO:

a)



b) Da conservação da massa,

$$\dot{m}_1 + \dot{m}_2 = \dot{m}_3.$$

Desprezando variações das energias cinética e potencial, e considerando que não há troca de calor nem realização de trabalho, a primeira lei para o dispositivo operando em regime permanente é:

$$\dot{m}_1 h_1 + \dot{m}_2 h_2 = \dot{m}_3 h_3 = (\dot{m}_1 + \dot{m}_2)\, h_3 \quad \Rightarrow \quad h_3 = \frac{\dot{m}_1 h_1 + \dot{m}_2 h_2}{\dot{m}_1 + \dot{m}_2}.$$

Da tabela B.1.3, $h_1 = 3276{,}55\,\mathrm{kJ\,kg^{-1}}$. Considerando que a entalpia no estado 2 é igual à entalpia da água líquida saturada a 20 °C, tem-se, da tabela B.1.1, $h_2 = 83{,}94\,\mathrm{kJ\,kg^{-1}}$. Logo,

$$h_3 = \frac{4\,\mathrm{kg\,s^{-1}} \times 3276{,}55\,\mathrm{kJ\,kg^{-1}} + 6\,\mathrm{kg\,s^{-1}} \times 83{,}94\,\mathrm{kJ\,kg^{-1}}}{4\,\mathrm{kg\,s^{-1}} + 6\,\mathrm{kg\,s^{-1}}} = 1360{,}984\,\mathrm{kJ\,kg^{-1}}.$$

O título é dado por

$$x_3 = \frac{h_3 - h_l}{h_{lv}} = \frac{1360{,}984\,\mathrm{kJ\,kg^{-1}} - 504{,}68\,\mathrm{kJ\,kg^{-1}}}{2201{,}96\,\mathrm{kJ\,kg^{-1}}} \approx 0{,}389,$$

em que os valores de h_l e h_{lv} foram obtidos da tabela B.1.2.

c) A equação para a entropia o volume de controle em questão é

$$\dot{m}_3 s_3 - \dot{m}_1 s_1 - \dot{m}_2 s_2 = \cancelto{0}{\sum \frac{\dot{Q}}{T}} + \dot{\sigma}.$$

Da tabela B.1.3, $s_1 = 8{,}2217\,\mathrm{kJ\,kg^{-1}\,K^{-1}}$. Considerando que a entropia no estado 2 é igual à entropia da água líquida saturada a 20 °C, tem-se, da tabela B.1.1, $s_2 = 0{,}2966\,\mathrm{kJ\,kg^{-1}\,K^{-1}}$. A entropia no estado 3 é dada por

$$s_3 = s_l + x_3 s_{lv} = 1{,}5300\,\mathrm{kJ\,kg^{-1}\,K^{-1}} + 0{,}389 \times 5{,}5970\,\mathrm{kJ\,kg^{-1}\,K^{-1}} = 3{,}7066\,\mathrm{kJ\,kg^{-1}\,K^{-1}},$$

em que os valores de s_l e s_{lv} foram obtidos da tabela B.1.2. Portanto,

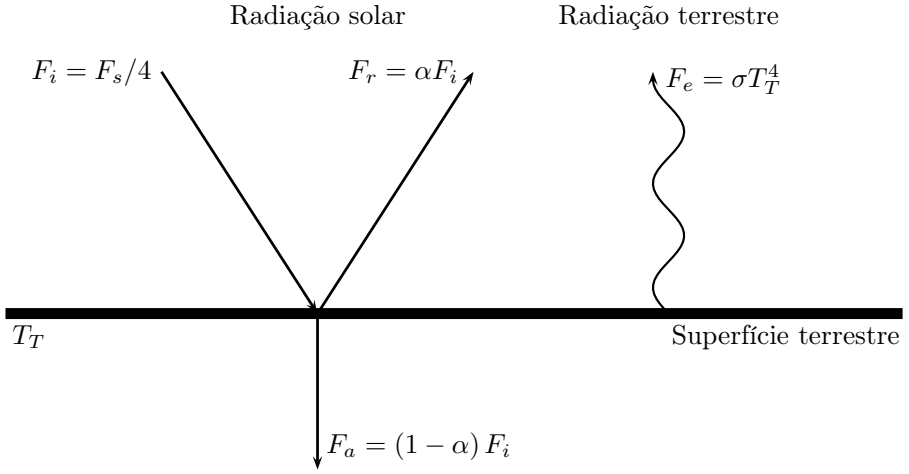
$$\dot{\sigma} = 10\,\mathrm{kg\,s^{-1}} \times 3{,}7066\,\mathrm{kJ\,kg^{-1}\,K^{-1}} - 4\,\mathrm{kg\,s^{-1}} \times 8{,}2217\,\mathrm{kJ\,kg^{-1}\,K^{-1}} - 6\,\mathrm{kg\,s^{-1}} \times 0{,}2966\,\mathrm{kJ\,kg^{-1}\,K^{-1}} = 2{,}40\,\mathrm{kW\,K^{-1}}.$$

Continue a solução no verso ⟹

4 [20] Com relação aos processos de transferência de calor que ocorrem na Camada-Limite Atmosférica, responda às seguintes questões:

a) [10] Em um dia de verão no centro de Curitiba, a temperatura do asfalto é igual a 60 °C. Na altura dos calcanhares (cerca de 10 cm acima do solo), a temperatura do ar é igual a 30 °C. Dada a condutividade térmica do ar $\kappa = 0{,}026\,\mathrm{W\,m^{-1}\,K^{-1}}$, calcule o módulo do fluxo de calor específico por condução.

b) [10] A Terra troca calor com o Sol por radiação. Realize um balanço de energia e determine qual seria a temperatura da Terra se não houvesse uma atmosfera. A constante solar para a Terra é igual a $F_s = 1367\,\mathrm{W\,m^{-2}}$, o albedo planetário terrestre é $\alpha = 0{,}28$, e a constante de Stefan-Boltzmann é $\sigma = 5{,}67 \times 10^{-8}\,\mathrm{W\,m^{-2}\,K^{-4}}$.



SOLUÇÃO DA QUESTÃO:

a) A componente vertical do vetor fluxo de calor específico é

$$q_z = -\kappa \frac{\partial T}{\partial z} \approx -0{,}026\,\mathrm{W\,m^{-1}\,K^{-1}}\,\frac{(30-60)\,\mathrm{K}}{(0{,}1-0)\,\mathrm{m}} = 7{,}8\,\mathrm{W\,m^{-2}}.$$

b) A energia emitida pela Terra é igual à energia absorvida. Assim,

$$\sigma T_T^4 = \frac{F_s\,(1-\alpha)}{4} \quad \Rightarrow \quad T_T = \left[\frac{F_s\,(1-\alpha)}{4\sigma}\right]^{1/4} = \left[\frac{1367\,\mathrm{W\,m^{-2}}\,(1-0{,}28)}{4 \times 5{,}67 \times 10^{-8}\,\mathrm{W\,m^{-2}\,K^{-4}}}\right]^{1/4} \approx 257\,\mathrm{K} \approx -16\,^\circ\mathrm{C}.$$

Continue a solução no verso ⟹