ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
PME3238 - FENÔMENOS DE TRANSPORTE - 2ª LISTA 06/07/2020
ENTREGA: 07/07/2020 ATÉ ÀS 08:00

1) (2,0 pontos) Para a instalação da Figura 1, determine qual deve ser a diferença de cota entre os reservatórios 1 e 2 para que se mantenha uma vazão de água constante de 0,10 m³/s.

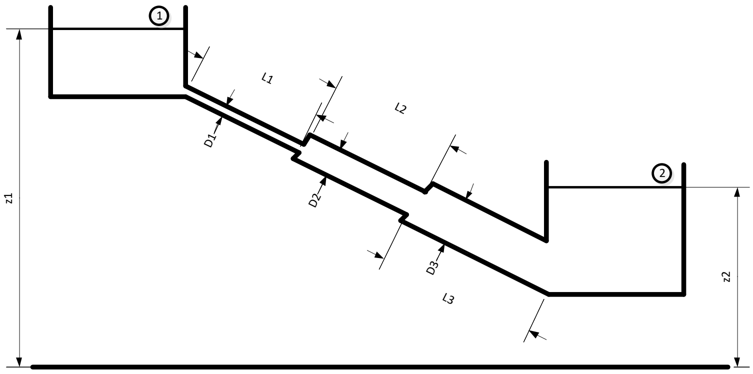
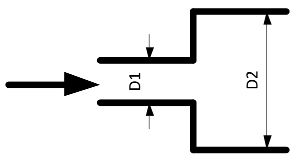


Figura 1

Dados:

L_1=600 m	L_2=900 m	L_3=1.500 m	ε= 0,26x10^{-3} m
D_1=0,3 m	D_2=0,4 m	D_3=0,45 m	μ=1,1 x10^{-3} Pa.s
p_1=p_2=100 kPa	$K_{entrada}$=0,5	$K_{saída}$=1,0	ρ= 1000 kg/m³
g=10m/s²			
$h_{m,expansão} = 0{,}1 * \left(\frac{D_2}{D_1}\right)^2 \frac{V_1^2}{2g}$	$h_{m,entrada} = K_{entrada} \frac{V_{entrada}^2}{2g}$	$h_{m,saída} = K_{saída} \frac{V_{saída}^2}{2g}$	



Solução:

Aplicando a equação de energia entre as seções 1 e 2:

$$\left(\frac{p_1}{\gamma} + \frac{\alpha_1 \bar{V}_1^2}{2g} + z_1\right) - \left(\frac{p_2}{\gamma} + \frac{\alpha_2 \bar{V}_2^2}{2g} + z_2\right) - \frac{\dot{W}_s}{\gamma \dot{Q}} = h_{LT}$$

Mas: p_1=p_2=100 kPa; V_1=V_2=0 (superfície livre) e não há máquina no circuito ($\dot{W}_s = 0$). Portanto:

$$h_{LT} = z_1 - z_2 = \sum h_m + \sum h_L$$

a) Saída do reservatório 1:

$$h_{m,saída} = K_{saída} \frac{V_{saída}^2}{2g}$$

$$\dot{Q} = V_{saída} A_{saída} \Rightarrow V_{saída} = \frac{\dot{Q}}{A_{saída}} = \frac{0{,}10}{\pi \frac{(0{,}3)^2}{4}} = 1{,}41\, m/s$$

$$h_{m,saída} = K_{saída} \frac{V_{saída}^2}{2g} = 1{,}0 \frac{(1{,}42)^2}{2 \times 10} = 0{,}101\, m$$

b) Entrada do reservatório 2:

$$h_{m,entrada} = K_{entrada}\frac{V_{entrada}^2}{2g}$$

$$\dot{Q} = V_{entrada}A_{entrada} \Rightarrow V_{entrada} = \frac{\dot{Q}}{A_{entrada}} = \frac{0{,}10}{\pi\frac{(0{,}45)^2}{4}} = 0{,}63\, m/s$$

$$h_{m,entrada} = K_{entrada}\frac{V_{entrada}^2}{2g} = 0{,}5\frac{(0{,}63)^2}{2\times 10} = 0{,}010\, m$$

c) Trecho 1:

$$\dot{Q}_1 = V_1A_1 \Rightarrow V_1 = \frac{\dot{Q}_1}{A_1} = \frac{0{,}1}{\frac{\pi(0{,}3)^2}{4}} = 1{,}41\, m/s$$

$$Re = \frac{\rho V_1 D_1}{\mu} = \frac{1000\times 1{,}41\times 0{,}3}{1{,}1x10^{-3}} = 3{,}85x10^5$$

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2{,}0log\left[\frac{\varepsilon/D_1}{3{,}7} - \frac{5{,}16}{Re}log\left(\frac{\varepsilon/D_1}{3{,}7} + \frac{5{,}09}{Re^{0{,}87}}\right)\right] \Rightarrow f = 0{,}0198$$

$$h_{l,1} = f\frac{L_1}{D_1}\frac{V_1^2}{2g} = 0{,}0198\frac{600}{0{,}3}\frac{(1{,}41)^2}{2\times 10} = 3{,}97\, m$$

$$h_{m,1} = 0{,}1 * \left(\frac{D_2}{D_1}\right)^2\frac{V_1^2}{2g} = 0{,}1\times\left(\frac{0{,}4}{0{,}3}\right)^2\times\frac{(1{,}41)^2}{2\times 10} = 0{,}02\, m$$

d) Trecho 2:

$$\dot{Q}_2 = V_2A_2 \Rightarrow V_2 = \frac{\dot{Q}_2}{A_2} = \frac{0{,}1}{\frac{\pi(0{,}4)^2}{4}} = 0{,}80\, m/s$$

$$Re = \frac{\rho V_2 D_2}{\mu} = \frac{1000\times 0{,}80\times 0{,}4}{1{,}1x10^{-3}} = 2{,}89x10^5$$

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2{,}0log\left[\frac{\varepsilon/D_2}{3{,}7} - \frac{5{,}16}{Re}log\left(\frac{\varepsilon/D_2}{3{,}7} + \frac{5{,}09}{Re^{0{,}87}}\right)\right] \Rightarrow f = 0{,}0191$$

$$h_{l,2} = f\frac{L_2}{D_2}\frac{V_2^2}{2g} = 0{,}0191\frac{900}{0{,}4}\frac{(0{,}80)^2}{2\times 10} = 1{,}36\, m$$

$$h_{m,2} = 0{,}1 * \left(\frac{D_3}{D_2}\right)^2\frac{V_2^2}{2g} = 0{,}1\times\left(\frac{0{,}45}{0{,}4}\right)^2\times\frac{(0{,}80)^2}{2\times 10} = 0{,}004\, m$$

e) Trecho 3:

$$\dot{Q}_3 = V_3A_3 \Rightarrow V_3 = \frac{\dot{Q}_3}{A_3} = \frac{0{,}1}{\frac{\pi(0{,}45)^2}{4}} = 0{,}63\, m/s$$

$$Re = \frac{\rho V_3 D_3}{\mu} = \frac{1000 \times 0{,}63 \times 0{,}45}{1{,}1x10^{-3}} = 2{,}57x10^5$$

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2{,}0 log\left[\frac{\varepsilon/D_3}{3{,}7} - \frac{5{,}16}{Re} log\left(\frac{\varepsilon/D_3}{3{,}7} + \frac{5{,}09}{Re^{0{,}87}}\right)\right] \Rightarrow f = 0{,}0189$$

$$h_{l,3} = f\,\frac{L_3}{D_3}\frac{V_3^2}{2g} = 0{,}0189\,\frac{1500}{0{,}45}\frac{(0{,}63)^2}{2 \times 10} = 1{,}24\ m$$

Logo:

$$h_{LT} = z_1 - z_2 = h_{m,saída} + h_{m,entrada} + h_{m,1} + h_{m,2} + h_{l,1} + h_{l,2} + h_{l,3}$$

$$z_1 - z_2 = 0{,}101 + 0{,}010 + 0{,}02 + 0{,}004 + 3{,}97 + 1{,}36 + 1{,}24 = 6{,}71\ m$$

2) (2,0 pontos) Para a instalação da Figura 2, determine qual deve ser o diâmetro da tubulação para que a vazão na saída do bocal seja de 0,02 m³/s. Despreze as perdas de carga localizadas.

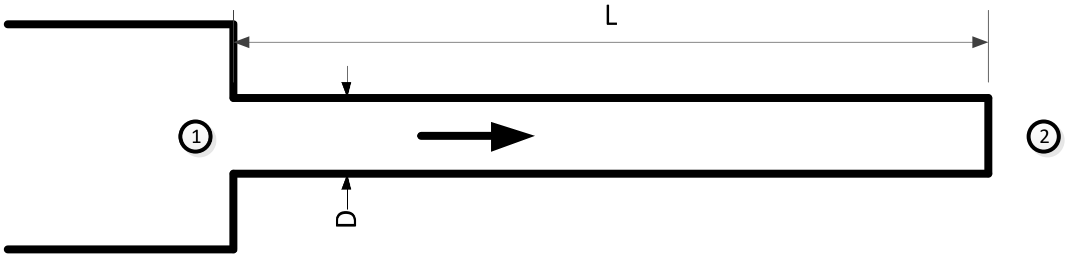


Figura 2.

Dados:

L=60 m	ε= 0,20x10⁻³ m
p_1=900 kPa	μ=1,0 x10⁻³ Pa.s
p_2=100 kPa	ρ= 1000 kg/m³
g=10m/s²	

Solução:

Aplicando a equação de energia entre as seções 1 e 2:

$$\left(\frac{p_1}{\gamma}+\frac{\alpha_1\bar{V}_1^2}{2g}+z_1\right)-\left(\frac{p_2}{\gamma}+\frac{\alpha_2\bar{V}_2^2}{2g}+z_2\right)-\frac{\dot{W}_s}{\gamma\dot{Q}}=h_{LT}$$

Mas: $V_1=V_2$; $z_1=z_2$ e não há máquina no circuito $\dot{W}_s=0$. Portanto:

$$h_{LT}=\left(\frac{p_1}{\gamma}-\frac{p_2}{\gamma}\right)=\frac{(900-100)x10^3}{1000\times 10}=80\ m$$

Como as perdas localizadas são desprezadas:

$$h_{LT}=\sum h_m+\sum h_L \Rightarrow h_{LT}=f\frac{L}{D}\frac{V^2}{2g}=80\ m$$

Mas:

$$\dot{Q}\ \ =V\ \ A\ \ \ \Rightarrow V\ \ =\frac{\dot{Q}}{\frac{\pi D^2}{4}}=\frac{4\dot{Q}}{\pi D^2}\Rightarrow f\frac{L}{D}\frac{\left(\frac{4\dot{Q}}{\pi D^2}\right)^2}{2g}=80\Rightarrow f\frac{8L\dot{Q}^2}{\pi^2D^5g}=80$$

$$f\frac{8L\dot{Q}^2}{\pi^2D^5g}=80\Rightarrow f\frac{8L\dot{Q}^2}{\pi^2D^5g}=80\Rightarrow f\frac{8\times(60)(0{,}02)^2}{\pi^2D^5 10}=80\Rightarrow\frac{f}{D^5}=41.123{,}35(1)$$

Sendo:

$$Re=\frac{\rho V\ \ D}{\mu}=\frac{\rho\frac{4\dot{Q}}{\pi D^2}D}{\mu}=\frac{\rho 4\dot{Q}}{\pi D\mu}=\frac{25464{,}8}{D}(2)$$

Utilizando as equações 1 e 2 em um processo iterativo pode-se avaliar o diâmetro da tubulação. A primeira estimativa do fator de atrito é dada por:

$$f_{cr} = \left[-2,0 log\left(\frac{\varepsilon/D}{3,7}\right)\right]^{-2}$$

Logo:

i	fi	D	Re	fi+1
0	0,024	0,057	449509	0,0276
1	0,0276	0,058	437095	0,0275
2	0,0275	0,058	437413	0,0275

Portanto o diâmetro a ser adotado é 0,058 m.

3) (1,0 ponto) Deseja-se calcular o diâmetro de um paraquedas que mantenha a velocidade terminal de queda de um homem com 120 kg em 6 m/s (Figura 3). Para as condições aqui analisadas, assuma que o coeficiente de arrasto do paraquedas é igual a 1,4, a massa específica do ar igual a 1,2 kg/m^3 e aceleração da gravidade igual a 10m/s^2.

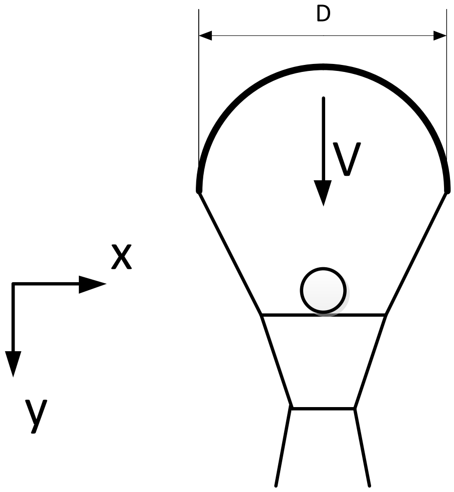


Figura 3

Solução:

Aplicando a 2ª Lei de Newton, temos:

$$\sum F_y = ma_y = P_{homem} - F_{arrasto}$$

Em condição de velocidade terminal: $a_y=0$

Logo:

$$P_{homem} = m_{homem}g = 120 \times 10 = 1200\ N$$

$$F_{arrasto} = C_D \frac{1}{2}\rho V^2 A_{paraquedas} = 1,4 \times \frac{1}{2} \times 1,2 \times (6)^2 \frac{\pi D^2}{4} = 23,75 D^2$$

$$1200 - 23,75 D^2 = 0 \Rightarrow D = 7,1\ m$$

4) (1,0 ponto) Uma torre de armazenamento de água pode ficar exposta a condições de velocidade de vento de 30 km/h (Figura 4). Nestas condições, deve-se avaliar o momento fletor que age na base da torre para efeito de dimensionamento da base da torre. Para as condições aqui analisadas, utilize o gráfico 1 para avaliação do coeficiente de arrasto do tanque de armazenamento esférico de diâmetro igual a 12 m e assuma: massa específica do ar igual a 1,2 kg/m^3 , aceleração da gravidade igual a 10m/s^2 , viscosidade cinemática do ar igual 1,6x10^{-5} m^2/s e que toda a força de arrasto é aplicada no centro do esfera e que os esforços na haste são desprezíveis.

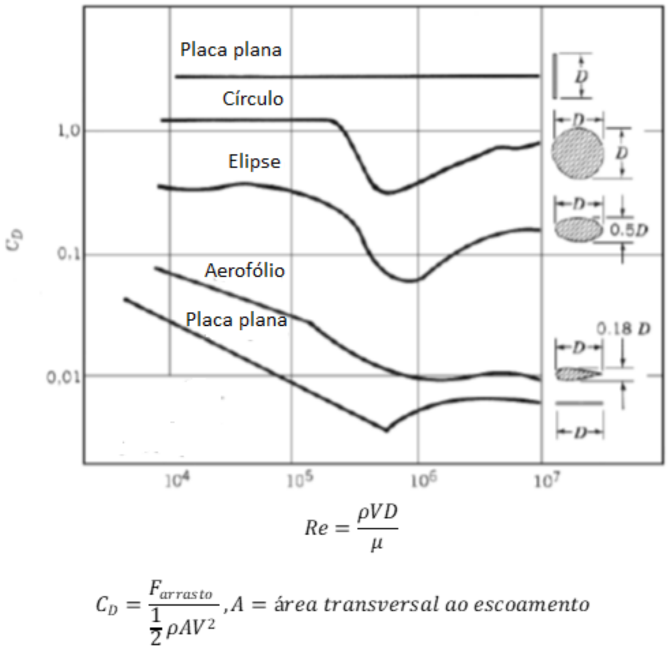


Gráfico 1

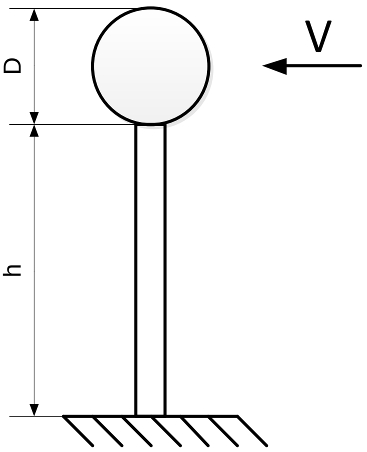


Figura 4

Solução:

O momento fletor é dado por:

$$M = F_{arrasto} * \left(h + \frac{D}{2}\right)$$

Para avaliar a força de arrasto, tem-se:

$$F_{arrasto} = C_D \frac{1}{2} \rho A V^2$$

Para avaliar o coeficiente de arrasto temos:

$$Re = \frac{VD}{\nu} = \frac{\left(\frac{30x10^3}{3600}\right) 12}{1,6x10^{-5}} = 6,25x10^6 \Rightarrow C_D = 0,9$$

Logo:

$$F_{arrasto} = C_D \frac{1}{2} \rho A V^2 = 0,9 \times \frac{1}{2} \times 1,2 \times \pi \frac{(12)^2}{4} \times \left(\frac{30x10^3}{3600}\right)^2 = 4241\ N$$

$$M = F_{arrasto} * \left(h + \frac{D}{2}\right) = 4241 \times \left(h + \frac{12}{2}\right) = (4241h + 25447)\ N.m$$

5) (1,5 ponto) Elemento de combustível nuclear de espessura 2L é coberto por revestimento de aço de espessura b (Figura 5). Energia é gerada no elemento a uma taxa de geração volumétrica de q''' que é removida por um fluido a T_f com coeficiente de convecção h. Sabendo-se que a condutividade térmica do elemento combustível é k_c e a do revestimento de aço é k_a, determine:

a) Faça um esboço do gráfico que apresenta a distribuição de temperatura no conjunto elemento combustível+revestimento de aço. Justifique identificando a posição dos valores máximos e mínimos desta distribuição de temperatura

b) Determine a maior e a menor temperatura no elemento combustível assumindo que: $\dot{q}$=2,0x10^7 W/m^3; T_f =200ºC; h=10.000 W/m^2; k_c = 60 W/m.K ; k_a = 15 W/m.K; L=15 mm e b=3 mm

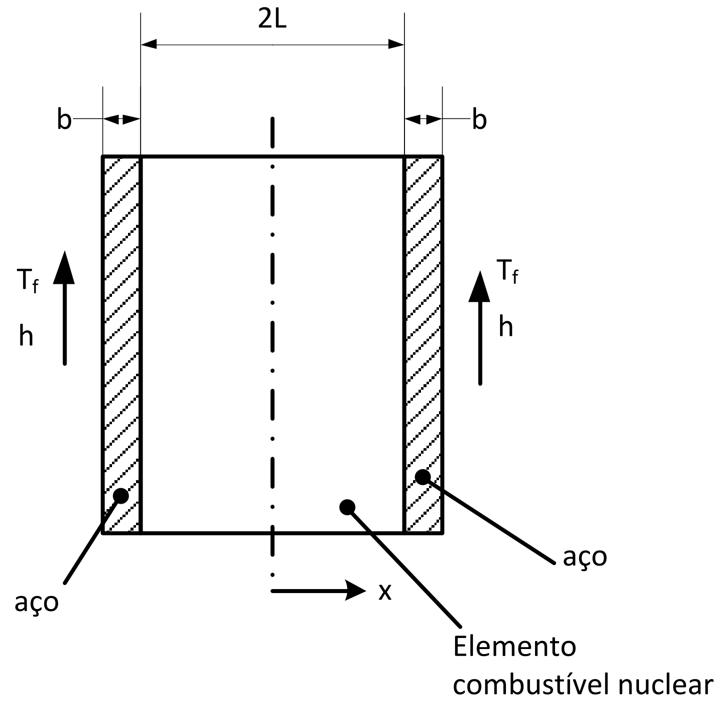


Figura 5

Solução:

Item a) A distribuição de temperatura no elemento de combustível é uma função de segundo grau que é a solução típica de fenômeno de condução com geração de calor. O ponto máximo no centro do elemento e a temperatura da superfície do elemento é o valor mínimo e que deve ser maior que a temperatura do fluido como mostra Figura S5.

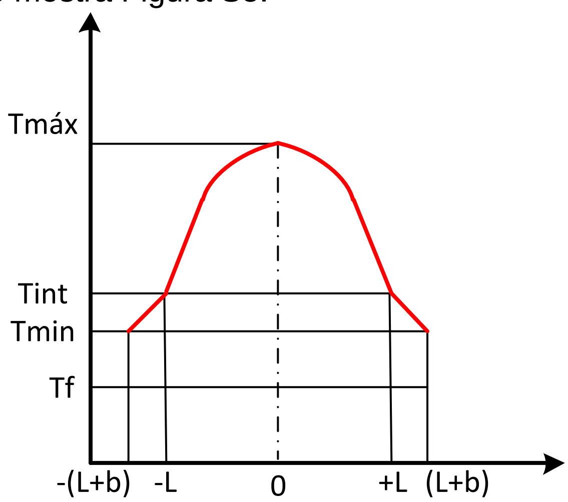


Figura S5.

Item b)

Para determinar as temperaturas no elemento temos que, para fenômeno de condução cm geração de calor, o perfil de temperatura é dado por:

$$T(x) = -\frac{q'''}{2k_c}x^2 + C_1x + C_2$$

Sendo o problema simétrico e que as condiçoes e controno para o elemento combustível nuclear são:

- Para x=L →T(L)=Tint
- Para x=0 →$\frac{\partial T}{\partial x} = 0$

Logo:

$$\frac{\partial T}{\partial x}(0) = -\frac{2q'''}{2k_c}(0)^2 + C_1 = 0 \Rightarrow C_1 = 0$$

$$T(L) = -\frac{q'''}{2k_c}(L)^2 + C_2 = T_{int} \Rightarrow C_2 = \left(T_{int} + \frac{q'''L^2}{2k_c}\right)$$

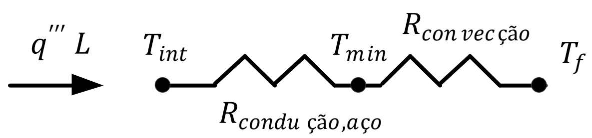
$$T(x) = -\frac{q'''}{2k_c}x^2 + \left(T_{int} + \frac{q'''L^2}{2k_c}\right)$$

Portanto:

$$T_{máx} = T(0) = -\frac{q'''}{2k_c}0^2 + \left(T_{int} + \frac{q'''L^2}{2k_c}\right) \Rightarrow T_{máx} = T_{int} + \frac{q'''L^2}{2k_c}$$

$$T_{min} = T(L) = -\frac{q'''}{2k_c}L^2 + \left(T_{int} + \frac{q'''L^2}{2k_c}\right) \Rightarrow T_{min} = T_{int}$$

Para determinar a temperatura de interface, aplica-se a analogia elétrica a partir da interface entre o elemento combustível e o revestimento de aço:



Logo:

$$R_{condução,aço} = \frac{b}{k_a} = \frac{0{,}003}{15} = 2x10^{-4}\,m^2.K/W$$

$$R_{convecção} = \frac{1}{h} = \frac{1}{10.000} = 1x10^{-4}\,m^2.K/W$$

Como:

$$q'''L = \frac{T_{int} - T_f}{R_{condução,aço} + R_{convecção}} \Rightarrow 2{,}0x10^7 \times 15x10^{-3} = \frac{T_{int} - 200}{2x10^{-4} + 1x10^{-4}} \Rightarrow T_{int} = T_{min} = 290°C$$

Portanto:

$$T_{máx} = T_{int} + \frac{q'''L^2}{2k_c} = 290 + \frac{2{,}0x10^7(15x10^{-3})^2}{2 \times 60} = 327{,}5°C$$

6) (1,5 ponto) Placas quadradas de aço de lado L=1 m são transportadas para um processo de tratamento térmico sendo resfriadas por um escoamento de ar com velocidade de 10m/s e temperatura de 20°C Figura 6). Calcule a transferência de calor entre uma placa e o ar, sabendo que as placas estão a uma temperatura uniforme de 300 °C. Assuma que a velocidade do ar é muito maior que a velocidade do sistema de transporte por correntes das placas e que a troca de calor por radiação entre as placas é desprezível.

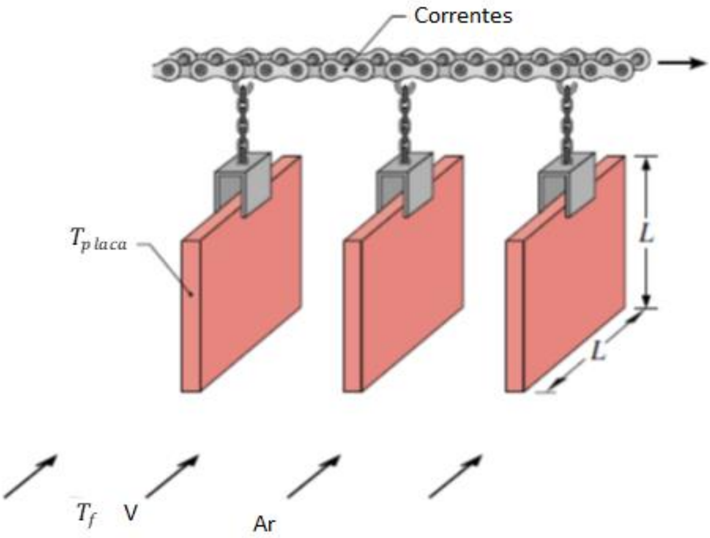


Figura 6

Dados:

Regime	Número de Reynolds	Número de Nusselt
Laminar	$Re \leq 10^4$	$\overline{Nu_L} = \frac{\bar{h}L}{k} = 0{,}664 Re_L^{1/2} Pr^{1/3}$
Misto	$10^4 > Re \leq 5x10^5$	$\overline{Nu_L} = \frac{\bar{h}L}{k} = \left(0{,}037 Re_L^{4/5} - 871\right) Pr^{1/3}$
Turbulento	$Re > 5x10^5$	$\overline{Nu_L} = \frac{\bar{h}L}{k} = 0{,}037 Re_L^{4/5} Pr^{1/3}$

(propriedades avaliadas na temperatura de filme)

Solução:

Para avaliar a transferência de calor das placas tem-se:

$$q = 2\bar{h}A_{placa}\left(T_{placa} - T_f\right) = 2\bar{h}L^2\left(T_{placa} - T_f\right)$$

Portanto para avaliar o coeficiente médio de convecção tem-se:

$$Re = \frac{\rho V L}{\mu}$$

Com a temperatura de filme é dada por:

$$T_{filme} = \frac{T_f + T_{placa}}{2} = \frac{20 + 300}{2} = 160°C = 433\ K$$

Dessa forma, as propriedades do ar avaliadas na temperatura de filme são: ρ=0,807 kg/m^3; μ=2,43x10^{-5} Pa.s, k=0,0361 W/m.K e Pr= 0,687.

Logo:

$$Re = \frac{\rho V L}{\mu} = \frac{0{,}807 \times 10 \times 1}{2{,}43x10^{-5}} = 3{,}32x10^{5}(regime\ misto)$$

$$\overline{Nu}_L = \frac{\bar{h}L}{k} = \left(0{,}037Re_L^{4/5} - 871\right)Pr^{1/3} = \frac{\bar{h} \times 1}{0{,}0361} = \left(0{,}037 \times (3{,}32x10^{5})^{4/5} - 871\right)(0{,}687)^{1/3}$$

$$\bar{h} = 3{,}02\ W/m^2 . K$$

Portanto:

$$q = 2\bar{h}L^2\left(T_{placa} - T_f\right) = 2 \times 3{,}02 \times (1)^2 \times (300 - 20) = 1.692\ W$$

7) (1,0 ponto) Placas quadradas são borrifadas com uma tinta epóxi e devem ser curadas a 140°C por um longo período. As placas são posicionadas em um grande ambiente e aquecidas por um banco de lâmpadas infravermelhas como mostra a Figura 7. O topo da superfície de cada placa tem uma emissividade ε=0,8 e estão expostas a ventilação de ar que fornece um coeficiente de convecção h=20 W/m^2.K a uma temperatura de 27°C. A irradiação que é emitida pelas paredes do ambiente é estimada em G_{parede}=450W/m^2. Nestas condições, determine qual deve ser a irradiação que deve ser fornecida pelas lâmpadas. Assuma que as lâmpadas e as paredes do ambiente podem ser consideradas corpos negros e a superfície inferior das placas está isolada.

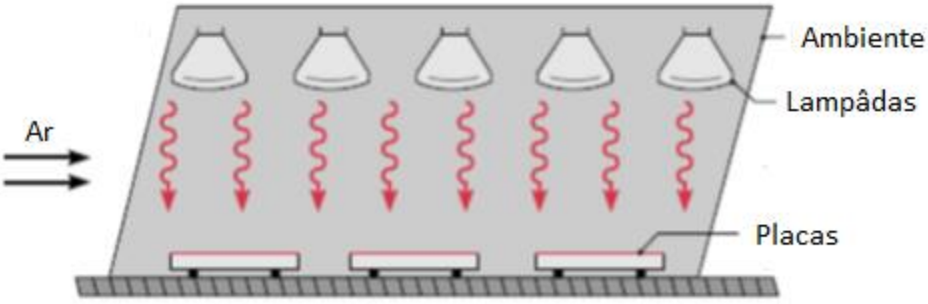


Figura 7.

Solução:

Fazendo um balanço de energia na superfície das placas temos:

$$\dot{q}''_{entrada} - \dot{q}''_{saída} = 0 \Rightarrow G_{parede} + G_{lampadas} - \dot{q}''_{convecção} - \dot{q}''_{radiação} = 0$$

$$\dot{q}''_{convecção} = h\left(T_{placa} - T_{ar}\right) = 20 \times (140 - 27) = 2.260\ W/m^2$$

$$\dot{q}''_{radiação} = \varepsilon\sigma T_{placa}^4 = 0{,}8 \times 5{,}67x10^{-8}(140 + 273)^4 = 1.320\ W/m^2$$

$$G_{parede} + G_{lampadas} - \dot{q}''_{convecção} - \dot{q}''_{radiação} = 0$$

$$450 + G_{lampadas} - 2.260 - 1.320 = 0 \Rightarrow G_{lampadas} = 3.130\ \ W/m^2$$