Transmissão de calor

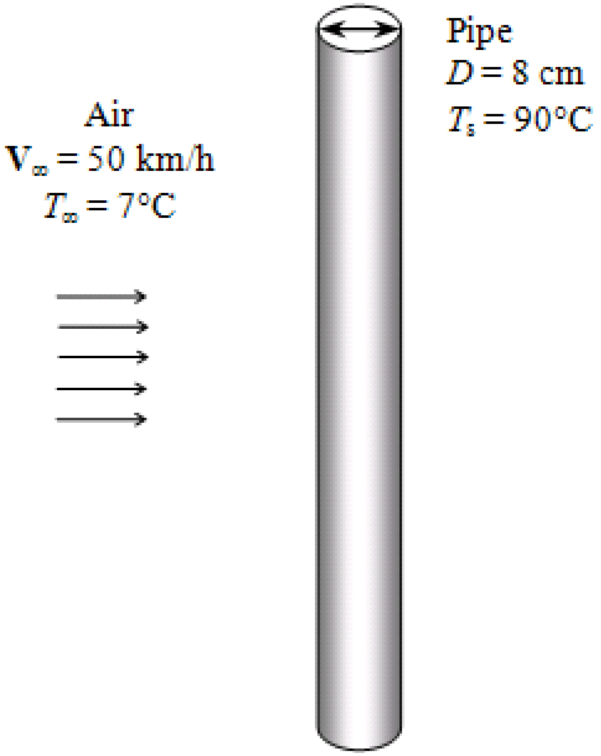
3º Ano

Aula 17 ▫ Aula Prática-6

- Convecção
- Escoamento interno e externo

Problema -17.1(I)

Uma conduta de transporte de vapor é exposta ao ar que escoa com velocidade de 50 km/h e temperatura de 7ºC. Determine a perda de calor do vapor, sabendo que a conduta tem de diâmetro 8 cm e a temperatura da superfície é de 90ºC.



Problema -17.1 (Resolução I)

Assume-se:

1.Escoamento estacionário;

2.Despresa-se a radiação;

3.O ar é um gás ideal com propriedades constantes (P_{ar} = 1 atm).

A temperatura média determina-se de:

$$T_m = \frac{T_s + T_\infty}{2} = \frac{90+7}{2} = 48,5\ ^{\circ}C$$

Da tabela A-15, para preessão do ar de 1 atm lê-se os valores:

$$k = 0,02724 \text{ W/m.°C}$$

$$\upsilon = 1,784 \times 10^{-5} \text{ m}^2\text{/s}$$

$$\Pr = 0,7232$$

Problema -17.1 (Resolução II)

O nº de Reynolds determina-se de:

$$\mathrm{Re} = \frac{\mathbf{V}_\infty D}{\upsilon} = \frac{[(50\ \text{km/h})(1000\ \text{m/km})/(3600\ \text{s/h})](0{,}08\ \text{m})}{1{,}784\times10^{-5}\ \text{m}^2/\text{s}} = 6{,}228\times10^{4}$$

E o nº de Nusselt correspondente a este nº de Reynolds será:

$$Nu = \frac{hD}{k} = 0{,}3 + \frac{0{,}62\,\mathrm{Re}^{0.5}\,\mathrm{Pr}^{1/3}}{\left[1+\left(0{,}4/\mathrm{Pr}\right)^{2/3}\right]^{1/4}}\left[1+\left(\frac{\mathrm{Re}}{282.000}\right)^{5/8}\right]^{4/5}$$

$$Nu = 0{,}3 + \frac{0{,}62(6{,}228\times10^{4})^{0.5}(0{,}7232)^{1/3}}{\left[1+\left(0{,}4/0{,}7232\right)^{2/3}\right]^{1/4}}\left[1+\left(\frac{6{,}228\times10^{4}}{282.000}\right)^{5/8}\right]^{4/5} = 159{,}1$$

Problema -17.1 (Resolução III)

O coeficiente de troca de calor por convecção será:

$$h = \frac{k}{D} Nu = \frac{0{,}02724\ \text{W/m.°C}}{0{,}08\ \text{m}}(159{,}1) = 54{,}17\ \text{W/m}^2\text{.°C}$$

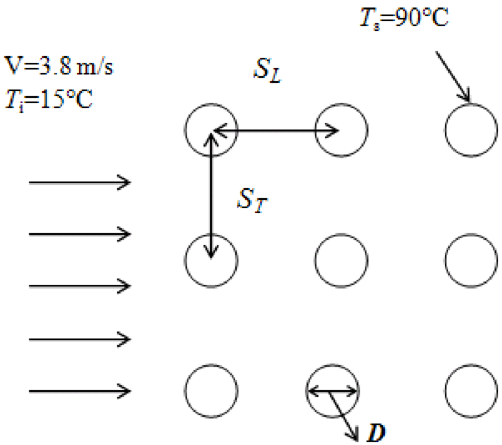
E a taxa de transferência de calor numa unidade de comprimento da conduta será:

$$A_s = \pi DL = \pi(0{,}08\ \text{m})(1\ \text{m}) = 0{,}2513\ \text{m}^2$$

$$\dot{Q}_{conv} = hA_s(T_s - T_\infty) = (54{,}17\ \text{W/m}^2\text{.°C})(0{,}2513\ \text{m}^2)(90-7)\text{°C} = \mathbf{1130\ W}$$

Problema -17.2 (I)

Ar é pre-aquecido num banco de tubos de água e utilizado em seguida na combustão. O ar escoa a velocidade de 3,8 m/s e temperatura de 15ºC. O diâmetro dos tubos é de 0,021 m e a temperatura da superfície de 90 ºC. O passo longitudinal e transversal do banco de tubos é $S_L=S_T=$ 0,05 m. O numero de linhas de tubos e de 8 e o numero de tubos por linha e também de 8. Determine a taxa de calor transferida para o ar e a queda de pressão na passagem do ar pelo banco de tubos.



Problema -17.2 (Resolução I)

Assume-se:

1. Escoamento estacionário;
2. Temperatura da água igual a temperatura da superfície do tubo;
3. Ar escoa a pressão 1 atm.

Não sendo conhecida a temperatura média, assume-se uma temperatura do ar de 20ºC que depois deverá ser verificada e da tabela A-15 lê-se os valores:

$k = 0{,}02514$ W/m-K

$C_p = 1{,}007$ kJ/kg-K

$\mu = 1{,}825\times10^{-5}\ kg/m\text{-}s$

$\rho = 1{,}204$ kg/m^3

$\mathrm{Pr} = 0{,}7309$

$Pr_s = Pr_{@\ Ts} = 0{,}7132$

Problema -17.2 (Resolução II)

A densidade do ar à entrada (T_i = 15°C) que sera usada para cálculo doi fluxo massico a entrada é ρ_i = 1,225 kg/m^3.

A velocidade máxima ar determina-se de :

$$V_{\max} = \frac{S_T}{S_T - D} V = \frac{0,05}{0,05 - 0,021} (3,8 \text{ m/s}) = 6,552 \text{ m/s}$$

E o nº de Reynolds será:

$$\mathrm{Re}_D = \frac{\rho V_{\max} D}{\mu} = \frac{(1,204 \text{ kg/m}^3)(6,552 \text{ m/s})(0,021 \text{ m})}{1,825 \times 10^{-5} \text{ kg/m} \cdot \text{s}} = 9075$$

O nºde Nusselt determina-se da relação da tabela 7-2

$$\begin{aligned} \mathrm{Nu}_D &= 0,27 \,\mathrm{Re}_D^{0,63} \,\mathrm{Pr}^{0,36} (\mathrm{Pr}/\mathrm{Pr}_s)^{0,25} \\ &= 0,27(9075)^{0,63} (0,7309)^{0,36} (0,7309/0,7132)^{0,25} = 75,59 \end{aligned}$$

Problema -17.2 (Resolução III)

Este nº de Nusselt é aplicável para bancos de tubos com $N_L >$ 16. Neste caso o nº de linhas é $N_L = 8$ sendo necesário recorrer a um factor de correcção da tabela 7-3 ($F = 0{,}967$). Portanto o nº de Nusselt será:

$$\mathrm{Nu}_{D,N_L} = F\mathrm{Nu}_D = (0{,}967)(75{,}59) = 73{,}1$$

E o coefiente de troca de calor será:

$$h = \frac{Nu_{D,N_L} k}{D} = \frac{73{,}1(0{,}02514\ \mathrm{W/m\cdot °C})}{0{,}021\ \mathrm{m}} = 87{,}5\ \mathrm{W/m^2\cdot °C}$$

O nº total de tubos no banco é de: $N = N_L \times N_T = 8\times 8 = 64$.

Para uma unidade de comprimento a área de troca de calor determina-se de:

$$A_s = N\pi DL = 64\pi(0{,}021\ \mathrm{m})(1\ \mathrm{m}) = 4{,}222\ \ \mathrm{m}^2$$

Problema -17.2 (Resolução IV)

O fluxo mássico de ar determina-se de:

$$\dot{m} = \dot{m}_i = \rho_i V (N_T S_T L) = (1{,}225\ \text{kg/m}^3)(3{,}8\ \text{m/s})(8)(0{,}05\ \text{m})(1\ \text{m}) = 1{,}862\ \text{kg/s}$$

Portanto a temperatura do fluído à saída será:

$$T_e = T_s - (T_s - T_i)\exp\left(-\frac{A_s h}{\dot{m} C_p}\right) = 90 - (90 - 15)\exp\left(-\frac{(4{,}222\ \text{m}^2)(87{,}5\ \text{W/m}^2 \cdot {}^\circ\text{C})}{(1{,}862\ \text{kg/s})(1007\ \text{J/kg} \cdot {}^\circ\text{C})}\right) = 28{,}42^\circ\text{C}$$

A temperatura média pode ser verificada:

$$T_m = \frac{T_i + T_e}{2} = \frac{15 + 28{,}42}{2} = 21{,}71\ {}^\circ C$$

Portanto foi correcto assumir 20 ºC.

Problema -17.2 (Resolução V)

A temperatura média logarítmica será:

$$\Delta T_{\ln} = \frac{(T_s - T_i) - (T_s - T_e)}{\ln[(T_s - T_i)/(T_s - T_e)]} = \frac{(90-15)-(90-28,42)}{\ln[(90-15)/(90-28,42)]} = 68,07°\text{C}$$

E resulta que:

$$\dot{Q} = hA_s \Delta T_{\ln} = (87,5\ \text{W/m}^2\cdot°\text{C})(4,222\ \text{m}^2)(68,07°\text{C}) = \mathbf{25,148\ W}$$

Para um banco de tubo quadrado, o coeficiente de fricção correspondente ao nº de Reynolds Re_D = 9075 e a relação S_L/D =5/2,1=2,38 lê-se da figura 7-27a, (f = 0,22), sendo χ = 1 (arranjo quadrado). Portanto a queda de pressão no banco determina-se de:

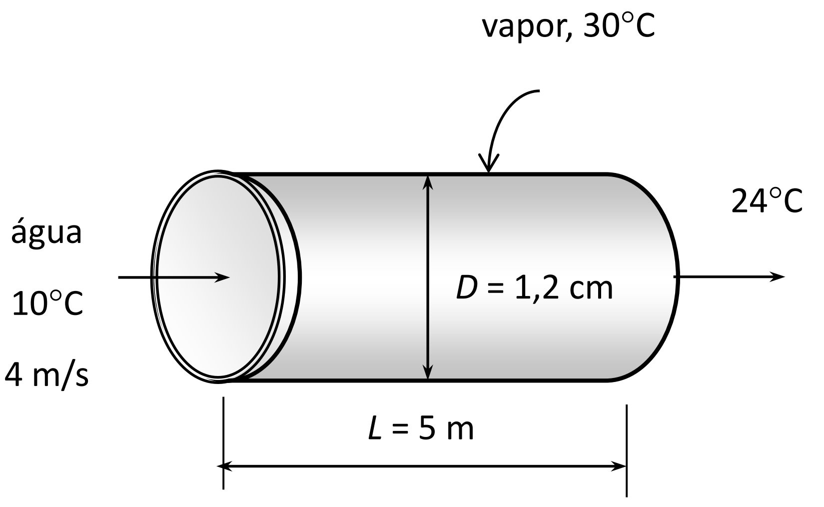
$$\Delta P = N_L f \chi \frac{\rho V_{max}^2}{2} = 8(0,22)(1)\frac{(1,204\ \text{kg/m}^3)(6,552\ \text{m/s})^2}{2}\left(\frac{1\ \text{N}}{1\ \text{kg}\cdot\text{m/s}^2}\right) = \mathbf{45,5\ \ Pa}$$

Problema -17.3 (I)

Água de resfriamento disponível a 10° C é usada para condensar vapor a 30° C no condensador de uma usina a taxa de 0,15 kg/s, circulando a água de resfriamento através de um banco de tubos finos de cobre com 5 m de comprimento e 1,2 cm de diâmetro interno. A água entra nos tubos a velocidade média de 4 m/s e sai a temperatura de 24° C. Os tubos são quase isotérmicos e estão a 30° C.

Determine o coeficiente médio de transferência de calor entre a água e os tubos, e o número de tubos necessários para atingir a taxa de transferência de calor indicada no condensador.

Problema -17.3 (II)



Problema -17.3 (Resolução I)

Assume-se

1. Escoamento estacionário;
2. A temperatura na superfície do tubo é constante;
3. Despresa-se a resistência térmica da conduta.

A temperatura média determinam-se de.

$$T_m = \frac{T_i + T_e}{2} = \frac{10+24}{2} = 17\ ^{o}C$$

Da tabela A-9 lê-se os valores de:

$$\rho = 998{,}7\ \text{kg/m}^3$$
$$C_p = 4184{,}5\ \text{J/kg.°C}$$

Problema -17.3 (Resolução II)

A entalpia do vapor de água a 30°C é:

$$h_{fg} = 2431\,\text{kJ/kg}$$

O caudal mássico de água determina-se de:

$$\dot{m} = \rho A_c \mathbf{V}_m = \rho \left(\frac{\pi D^2}{4} \right) \mathbf{V}_m$$

$$= (998,7\ \text{kg/m}^3) \frac{\pi (0{,}012\ \text{m})^2}{4} (4\ \text{m/s}) = 0{,}4518\ \text{kg/s}$$

A taxa de transferência de calor para um tubo será:

$$\dot{Q} = \dot{m} C_p (T_e - T_i) = (0,4518\ \text{kg/s})(4184,5\ \text{J/kg.°C})(24 - 10\text{°C}) = 26.468\ \text{W}$$

Problema -17.3 (Resolução III)

A temperature media logarítmica determina-se de:

$$\Delta T_{\ln} = \frac{T_e - T_i}{\ln\left(\dfrac{T_s - T_e}{T_s - T_i}\right)} = \frac{24-10}{\ln\left(\dfrac{30-24}{30-10}\right)} = 11{,}63°\text{C}$$

A área de troca de calor e o coeficiente de troca de calor determinam-se de:

$$A_s = \pi D L = \pi(0{,}012\ \text{m})(5\ \text{m}) = 0{,}1885\ \text{m}^2$$

$$\dot{Q} = h A_s \Delta T_{\ln}$$

$$h = \frac{\dot{Q}}{A_s \Delta T_{\ln}} = \frac{26.468\ \text{W}}{(0{,}1885\ \text{m}^2)(11{,}63°\text{C})} = \mathbf{12{,}1\ kW/m^2.°C}$$

Problema -17.3 (Resolução IV)

A taxa total de transferência de calor determina-se de:

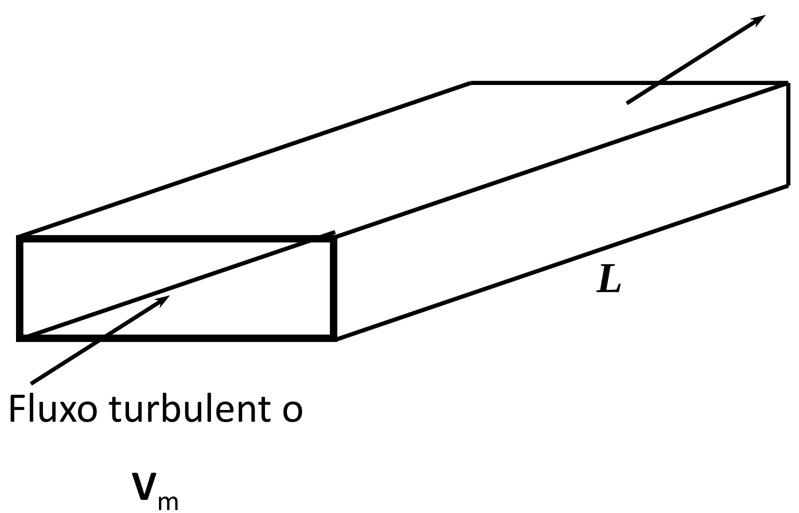
$$\dot{Q}_{total} = \dot{m}_{cond} h_{fg} = (0{,}15 \text{ kg/s})(2431 \text{ kJ/kg}) = 364{,}65 \text{ kW}$$

Portanto o nº de tubos será:

$$N_{tube} = \frac{\dot{Q}_{total}}{\dot{Q}} = \frac{364.650 \text{ W}}{26.468 \text{ W}} = \mathbf{13{,}8 \approx 14}$$

Problema -17.4 (I)

Considere um escoamento turbulento de um fluído através de um tubo isotérmico de secção quadrangular com velocidade V. Determine a taxa de variação da pressão e a taxa de variação do fluxo de calor se a velocidade do fluido passar para 2V.



Problema -17.4 – Resolução (I)

A queda de pressão do fluído para escoamento turbulento determina-se de :

$$\Delta P_1 = f\frac{L}{D}\frac{\rho \mathbf{V}_m^{\ 2}}{2} = 0.184\,\mathrm{Re}^{-0.2}\frac{L}{D}\frac{\rho \mathbf{V}_m^{\ 2}}{2} = 0.184\frac{\mathbf{V}_m^{\ -0.2} D^{-0.2}}{\upsilon^{-0.2}}\frac{L}{D}\frac{\rho \mathbf{V}_m^{\ 2}}{2}$$

$$= 0.092\mathbf{V}_m^{\ 1.8}\left(\frac{D}{\upsilon}\right)^{-0.2}\frac{L\rho}{D}$$

Duplicando a velocidade a queda de pressão do fluído será:

$$\Delta P_2 = f\frac{L}{D}\frac{\rho(2\mathbf{V}_m)^2}{2} = 0.184\,\mathrm{Re}^{-0.2}\frac{L}{D}\frac{\rho 4\mathbf{V}_m^{\ 2}}{2} = 0.184\frac{(\mathbf{2V}_m)^{-0.2} D^{-0.2}}{\upsilon^{-0.2}}\frac{L}{D}\frac{\rho 4\mathbf{V}_m^{\ 2}}{2}$$

$$= 0.368(2)^{-0.2}\mathbf{V}_m^{\ 1.8}\left(\frac{D}{\upsilon}\right)^{-0.2}\frac{L\rho}{D}$$

Problema -17.4 – Resolução (II)

A razão entre as quedas de pressão é:

$$\frac{\Delta P_2}{\Delta P_1} = \frac{0.368(2)^{-0.2}\,\mathbf{V}_m^{\;1.8}}{0.092 V_m^{\;1.8}} = 4(2)^{-0.2} = \mathbf{3.48}$$

A taxa de transferência de calor entre entre o fluído e o tubo determina-se de:

$$\dot{Q}_1 = hA\Delta T_{\ln} = \frac{k}{D} NuA\Delta T_{\ln} = \frac{k}{D} 0.023\,\mathrm{Re}^{0.8}\,\mathrm{Pr}^{1/3}\,A\Delta T_{\ln}$$

$$= 0.023\mathbf{V}_m^{\;0.8}\left(\frac{D}{\upsilon}\right)^{0.8}\frac{k}{D}\,\mathrm{Pr}^{1/3}\,A\Delta T_{\ln}$$

Problema -17.4 – Resolução (III)

Quando a velocidade é duplicada a taxe será:

$$\dot{Q}_2 = 0.023(2\mathbf{V}_m)^{0.8}\left(\frac{D}{\upsilon}\right)^{0.8}\frac{k}{D}\Pr^{1/3} A\Delta T_{\ln}$$

A razão entre as taxas de transfência de calor é:

$$\frac{\dot{Q}_2}{\dot{Q}_1} = \frac{(2\mathbf{V}_m)^{0.8}}{\mathbf{V}_m{}^{0.8}} = 2^{0.8} = \mathbf{1.74}$$

Portanto, duplicando a velocidade, a queda de pressão aumenta 3,8 vezes mas o aumento da taxa de troca de calor será de apenas 74%.

Trabalho Para Casa 06

Uma esfera de aço inoxidável (ρ=8055 kg/m^3, Cp = 480 J/kg ºC) de diâmetro D = 20 cm é removida de um forno à temperatura uniforme de 450 ºC. A esfera é então submetida a um fluxo de ar à pressão de 1 atm e temperatura de 25 ºC. A temperatura da superfície da esfera cai para 250 ºC. Investigue o efeito da velocidade do ar no coeficiente médio de transferência de calor por convecção e no tempo de arrefecimento. Faça a velocidade do ar variar de 1 m/s a 10 m/s com o incremento de 1 m/s. Plote no mesmo gráfico as curvas do coeficiente de transferência de calor e do tempo de arrefecimento da esfera em função da velocidade do ar e apresente as conclusões.

Enviar até a 0 hora de segunda-feira dia 29 de Abril com o “subject:” TPCT06