6.8 – Arremessador em um jogo de beisebol

* Desprezar os efeitos da rugosidade na superfície da bola

A bola é arremessada a 90 mph ; Ar à 60ºF ; d = 2,80 in

Qual a força de arrasto (D) sobre a bola?

Dados: $d = 2{,}8 \text{ in} = 7{,}11 \times 10^{-2} \text{ m}$; $U = 90 \text{ mph} = 40{,}2 \text{ m/s}$

Propriedades: $T = 60ºF = 15{,}6\ ºC \Rightarrow \nu = 14{,}96 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$; $\rho = 1{,}24 \text{ kg m}^3$

Solução:

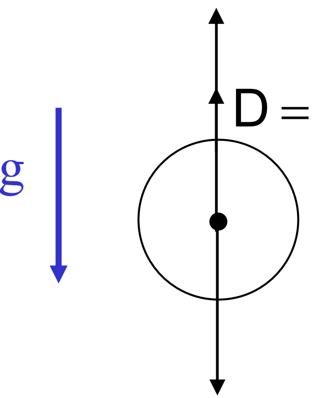
$$Re_d = \frac{u.d}{\nu} = \frac{(40).(7{,}11x10^{-2})}{14{,}96x10^{-6}} = 1{,}78x10^5 \Rightarrow C_D = 0{,}4 (pag. 199)$$

Força de Arrasto:

$$C_D = \frac{D}{\frac{1}{2}\rho u^2 A_{esf}} \Rightarrow D = C_D \rho u^2 \pi \frac{d^2}{2} \Rightarrow D = 6{,}30 \text{ N}$$

6.12 – Mostrar que $V_t = \dfrac{g.d^2.(\rho_s - \rho_f)}{18.\mu}$; Lei de Stokes: $C_D = \dfrac{24}{Re_d}$; onde $Re_d < 1$

$$E = \rho_f.Vol_s.g(\text{Empuxo})$$



$$D = C_D.\frac{1}{2}.\rho_f.V^2.A_s(\text{Arrasto})$$

$$P = m.g = \rho_s.Vol_s.g(\text{Peso})$$

Solução:

Equilíbrio: $\rho_s.Vol_s.g = \rho_f.Vol_s.g + \dfrac{1}{2}\rho_f.V^2.A_s.C_D$

Isolando V:

$$V^2 = \frac{2.Vol_s.g.(\rho_s - \rho_f)}{\rho_f.C_D.A_s} \quad ; \quad \frac{Vol_s}{A_s} = \frac{1}{6}d$$

$$V^2 = \frac{2.\frac{1}{6}d.g.(\rho_s - \rho_f)}{\rho_f.C_D} \text{ (I)}$$

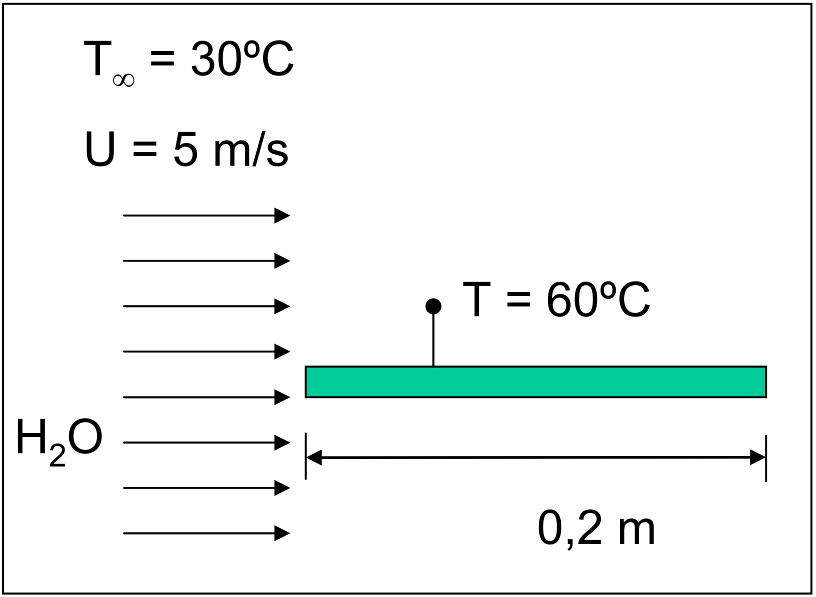
; onde C_D:

$$C_D = \frac{24}{Re_d} = \frac{24}{\frac{V.d}{\nu}} = \frac{24.\nu}{V.d} \text{ (II)}$$

; substituindo (II) em (I) fica:

$$V_t = \frac{g.d^2.(\rho_s - \rho_f)}{18.\mu}$$

Ex 6.24 – Escoamento de água sobre uma placa plana isotérmica. Qual a taxa de transferência de calor?



Propriedades:

As propriedades são obtidas à T∞

$$C_p = 4{,}180 \text{kJ/kg}^\circ\text{C} \ ; \ \rho = 995{,}7 \text{kg/m}^3$$

$$\mu = 0{,}7978 \text{x} 10^{-3} \text{kg/m.s}$$

$$\nu = 0{,}8012 \text{x} 10^{-6} \text{m}^2/\text{s}$$

$$k = 0{,}61580 \text{W/m}^\circ\text{C} ; \Pr = 5{,}42$$

Solução:

$$Re_L = \frac{U.L}{\nu} = \frac{5.0{,}2}{0{,}8012 \text{x} 10^{-6}} = 1{,}25 \text{x} 10^{-6} > 5 \text{x} 10$$

Portanto, regime turbulento.

Nessas condições, usa-se a eq. 6.37

$$\overline{Nu} = \frac{0{,}037 Re_L^{0,8} \Pr}{1 + 2{,}443 Re_L^{-0,1} (\Pr^{2/3} - 1)} = 6720$$

$$\bar{h} = \overline{Nu} \frac{k}{L} = 20658 \text{ W/m}^2{}^\circ\text{C}$$

$$Q = (L.b).\bar{h}.(T_p - T_\infty)$$

$$\frac{Q}{b} = 0{,}2.20658 .(60 - 30) = 124 \text{ kW /m}$$

Ex 6.25 – Piscina em uma estação de esqui.

Determinar: A quantidade de energia que deve ser fornecida à água da piscina durante 8 horas para manter a temperatura da piscina constante.

Dados:

$T_{Ar} = 0\ ^{o}F$ $\qquad$ $L = 50\ ft$

$u = 5\ mph$ $\qquad$ $C = 100\ ft$

$T_s = 80\ ^{o}F$ $\qquad$ $E \rightarrow \text{Qtde de Energia} = ?$

$Tempo = 8h$

Propriedades para $T_{AR} = 0^{o}F$:

$Pr = 0{,}72$

$\rho = 8{,}630x10^{-2}\ lbm/ft^3$

$\mu = 3{,}974x10^{-2}\ lbm/ft.h$

$\nu = 0{,}4574\ ft^2/h$

$k = 1{,}31x10^{-2}\ btu/h.ft^{o}F$

$$u = 5\ mph = 5 * 5280 = 26400\ ft/h$$

$$Re_L = \frac{(26400).(100)}{0{,}4574} = 5{,}76x10^6$$

O escoamento é turbulento.

$$\overline{Nu} = \frac{0{,}037 Re_L^{0,8} Pr}{1 + 2{,}443 Re_L^{-0,1}(Pr^{2/3} - 1)} \qquad \text{Eq. 6-37}$$

$$\overline{Nu} = \frac{0{,}037(5{,}76x10^6)_L^{0,8}(0{,}72)}{1 + 2{,}443(5{,}76x10^6)_L^{-0,1}((0{,}72)^{2/3} - 1)}$$

$$\overline{Nu} = 76{,}31x10^2$$

$$\bar{h} = \frac{\overline{Nu}.k}{L} \Rightarrow \bar{h} = \frac{(76x10^2).(1{,}31x10^{-2})}{50}$$

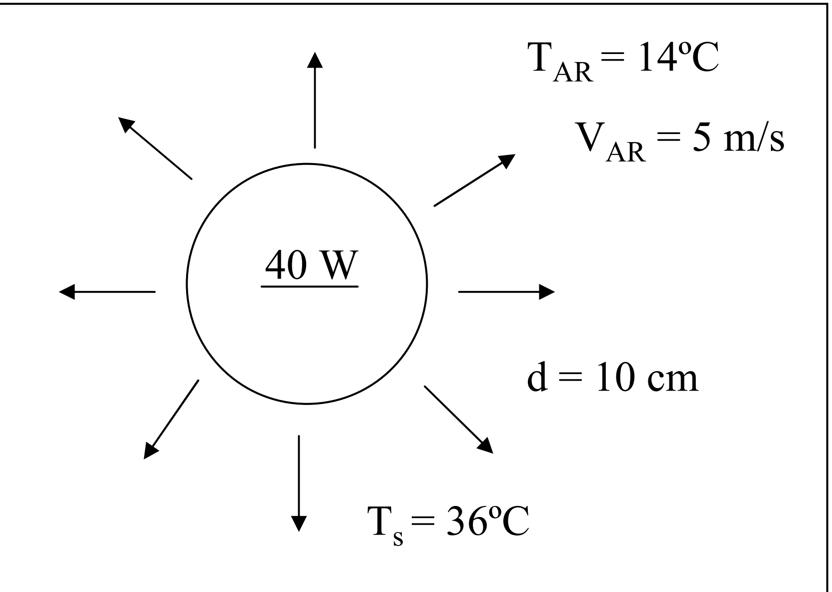
$$\bar{h} = 1{,}0\ Btu/h.ft^{2\,o}F$$

$$\dot{Q} = \frac{E}{t} \Rightarrow E = \dot{Q}.t$$

$$E = \bar{h}.A(T_P - T_\infty).t \Rightarrow E = (1{,}0).(50).(100).(80 - 0$$

$$E = 32x10^5\ Btu$$

Ex 6.34 – Troca de calor por convecção em uma lâmpada



$$Re_D = \frac{v.d}{\nu} \Rightarrow Re_D = \frac{5.0{,}1}{13{,}31x10^{-6}} = 3{,}8x10^4$$

Eq. 6.45: $\overline{Nu} = \overline{Nu}_0 + \sqrt{\overline{Nu}_L^2 + \overline{Nu}_T^2}$

$\overline{Nu}_0 \rightarrow$ Tabela 6.5

Eq. 6.30: $\overline{Nu}_L = 0{,}664(Re_L)^{1/2}\,Pr^{1/3}$

Eq. 6.37: $\overline{Nu}_T = \dfrac{0{,}037\,Re_L^{0,8}\,Pr}{1 + 2{,}443\,Re_L^{-0,1}(Pr^{2/3} - 1)}$

Propriedades do AR à T_{AR}:

$C_P = 1005\,J/kg^oC$

$\rho = 1{,}246\,kg/m^3$

$\mu = 17{,}20x10^{-6}\,kg/m.s$

$k = 24{,}87x10^{-3}\,W/m^oC$

$\nu = 13{,}31x10^{-6}\,m^2/s$

$Pr = 0{,}716$

Portanto:

$$\overline{Nu}_0 = 2{,}0$$

$$\overline{Nu}_L = 0{,}664(3{,}8x10^4)^{1/2}\,0{,}716^{1/3} \Rightarrow \overline{Nu}_L = 115{,}8$$

$$\overline{Nu}_T = \frac{0{,}037.(3{,}8x10^4)_L^{0,8}.0{,}716}{1 + 2{,}443.(3{,}8x10^4)_L^{-0,1}.(0{,}716^{2/3} - 1)} = 147$$

$$\overline{Nu}_{Tot} = 2 + \sqrt{(115{,}8)^2 + (147)^2} = 189$$

Ex 6.34 – Continuação...

Conhecendo o Nu total, podemos determinar o coeficiente de troca de calor médio da seguinte forma:

$$\bar{h} = \frac{\overline{Nu}_{Tot}.k}{L_C} \Rightarrow \bar{h} = \frac{189.24{,}87x10^{-3}}{0{,}1} \Rightarrow \bar{h} = 51{,}3\,W/m^2\,{}^oC$$

Dessa forma, a taxa de perda de calor por convecção é:

$$\dot{q} = \bar{h}A(T_P - T_\infty) \Rightarrow \dot{q} = 51{,}3.4\pi r^2.(36-14) \Rightarrow \dot{q} = 35{,}5\ W$$

Ex 6.38 – Parede de uma sala em convecção natural

<u>Determinar:</u> A taxa de transferência de calor

Dados:

$C = 7\,m \quad T_S = 5°C$

$L = 3\,m \quad T_{Ar} = 20°C$

Propriedades a:

$$T_f = \frac{T_S + T_\infty}{2} = 12{,}5\,°C \rightarrow 10°C$$

$Pr = 0{,}71$

$\rho = 1{,}2467\,kg/m^3$

$\nu = 14{,}19x10^{-6}\,m^2/s$

$k = 24{,}87x10^{-3}\,W/m.°C$

$\beta = 1/286 \quad 1/°K$

$$Ra_L = Gr_L.\Pr = \frac{g\beta(T_S - T_\infty).L^3}{\nu^2}.\Pr$$

$$Ra_L = \frac{9{,}81.(3{,}49x10^{-3}).(20-5).3^3}{(14{,}19x10^{-6})^2}.(0{,}71) = 4{,}93x10$$

Escoamento turbulento

$$\overline{Nu} = Nu_x = 0{,}15.[Ra.\Psi(\Pr)]^{1/3}$$ Eq. 6-54

$$\Psi(\Pr) = \left[1 + \left(\frac{0{,}492}{\Pr}\right)^{9/16}\right]^{-16/9}$$ Eq. 6-53

Dessa forma:

$$\overline{Nu} = 387{,}3 \rightarrow \bar{h} = \frac{(387{,}3).(24{,}87x10^{-3})}{3}$$

$$\bar{h} = 3{,}21\,W/m^2°C$$

Assim: $\dot{Q} = \bar{h}.A(T_S - T_\infty) = 1011\,W = 1\,kW$

Ex 6.39 – Placa vertical imersa em um tanque

Determinar: Temperatura máxima na superfície da placa

Dados: $T_{H_2O} = 5^oC$

$T_{Propriedades} = 32{,}2^oC$

$A = 25x25cm$

Propriedades da água à 32ºC

$C_P = 4180 J/kg^oC$

$\rho = 995{,}7 kg/m^3$

$\mu = 0{,}7978x10^{-3} kg$

$\nu = 0{,}8012x10^{-6} m^2/s$

$k = 0{,}6150 W/m^oC$

$Pr = 5{,}42$

$\beta = 0{,}306^oK^{-1}$

Eq. 6.58:

$$Ra_L = \frac{g\rho^2 C_P \beta \dot{q}'' x^4}{\mu k^2} \Rightarrow Ra_L = 1{,}62x10^{13} > 10^9 \rightarrow \text{Turbulento}$$

Eq. 6.61: $\overline{Nu} = Nu_x = 0{,}241[Ra_L^* \phi(Pr)]^{1/4}$

Eq. 6.62: $\phi(Pr) = \left[1 + \left(\frac{0{,}437}{Pr}\right)^{9/16}\right]^2$

$\overline{Nu} = 97{,}4$

$$\bar{h} = \frac{97{,}4.0{,}6150}{0{,}25} \Rightarrow \bar{h} = 239{,}6 W/m^2{}^oC$$

$$\dot{q} = \bar{h}A(T_P - T_S)$$

$$6{,}25x10^3 = 239{,}5.0{,}625.(T_P - 5)$$

$$T_P \cong 422{,}5^oC$$