EM461 MECÂNICA DOS FLUIDOS – PROVA 2 – 28/11/2007

NOME_____________________________________RA.____________TURMA____

1.(2,0 pontos) Um fabricante de válvulas forneceu a seguinte relação entre a vazão Q e a diferença de pressão Δp através da válvula: $Q = C\sqrt{\Delta p}$, quando a mesma está completamente aberta. O fabricante afirma que, para operação com água a 20°C, o coeficiente **C** se mantém *constante* e igual a **$1{,}32\text{x}10^{-5}$ $m^3 s^{-1}/Pa^{1/2}$** desde que o número de Reynolds no tubo de conexão (diâmetro **D = 7,5 cm**) seja superior a $5\text{x}10^4$. Se esta condição for satisfeita, o efeito da viscosidade pode ser desprezado e considera-se Q = f(Δp, ρ, D). Nessas condições, determine a diferença de pressão esperada se uma vazão de **10 L/s** de gasolina passar por essa válvula.
Dados: **$\rho_{água}$ = 1000 kg/m^3; $\rho_{gasolina}$ = 680 kg/m^3; $\mu_{gasolina}$=0,00029 N.s/m^2.**

Solução:

Uma vez que a viscosidade é desprezível, partirmos da relação: Q = f(ΔP, ρ , D) e obtemos um único grupo adimensional:

$$\Pi = \frac{Q}{D^2}\sqrt{\frac{\rho}{\Delta P}} = \text{const}\,,$$

ou seja, o grupo da vazão é constante desde que Re > $5\text{x}10^4$. A constante Π pode ser determinada por meio da igualdade:

$$Q = \underbrace{\Pi\frac{D^2}{\sqrt{\rho}}}_{C}\sqrt{\Delta P} = C\sqrt{\Delta P} \rightarrow \Pi = C\cdot\frac{\sqrt{\rho_A}}{D^2} = 1{,}32\text{x}10^{-5}\ \frac{\sqrt{1000}}{0{,}075^2} = 0{,}074\,.$$

A válvula operando com gasolina,

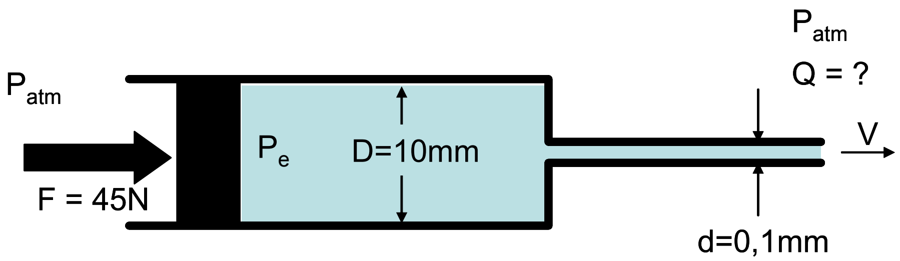
$$\Pi = \frac{Q}{D^2}\sqrt{\frac{\rho_G}{\Delta P}} \rightarrow \Delta P_G = \rho_G\cdot\left(\frac{Q}{\Pi\cdot D^2}\right)^2.$$

Substituindo a definição de Π em termos das propriedades da água encontra-se que:

$$\Delta P_G = \frac{\rho_G}{\rho_A}\cdot\left(\frac{Q}{C}\right)^2 = \frac{680}{1000}\cdot\left(\frac{10.10^{-3}}{1{,}32\text{x}10^{-5}}\right)^2 = 390\text{kPa}$$

Nota: Uma vez que a velocidade da gasolina no tubo de conexão é $V = \frac{4\text{x}0{,}010}{\pi\text{x}0{,}075^2} = 2{,}26\ m/s$, o número de Reynolds será $Re_D = \frac{680\text{x}2{,}26\text{x}0{,}075}{0{,}00029} = 4\text{x}10^5$ atendendo ao requisito do fabricante.

2.(2,0 pontos) Uma agulha hipodérmica com diâmetro interno de d=0,1mm e comprimento L=25mm é utilizada para injetar um líquido com densidade e viscosidade de 1000 kg/m^3 e 0,005 N.s/m^2. O diâmetro do êmbolo é D=10mm; a força máxima que pode ser exercida pelo polegar sobre o êmbolo é F=45N. Estime (a) pressão manométrica dentro da seringa, P_e e (b) vazão volumétrica em litros/minuto que a seringa pode produzir. Considera-se que não há queda de pressão no corpo da seringa, ela ocorre somente na agulha devido a razão de diâmetros ser de 1:100. Além disto, o comprimento da agulha é equivalente a 250D de forma que pode-se considerar o escoamento hidrodinamicamente desenvolvido.



Solução:

Propriedades		
Viscosidade Líquido	μ (Pa.s)	0,005
Densidade Líquido	ρ (kg/m^3)	1000
Comprimento agulha	L (mm)	25
Diâmetro agulha	d (mm)	0,1
Diâmetro seringa	D (mm)	10
Área agulha	a (mm)^2	7,854E-03
Área seringa	A (mm)^2	7,854E+01

(a) A pressão dentro da seringa é transmitida pela pressão exercida pelo êmbolo. Neste caso:

$$\left(P_e - P_{atm}\right) = F/A = 45/7.854\text{E-}05 = 572{,}96 \;\; \text{KPa}$$

(b) Considera-se o escoamento na agulha em regime laminar, hipótese 'ad hoc', a ser posteriormente verificada. Para regime laminar a vazão e a queda de pressão estão relacionadas pela Eq. 8.13c do livro texto:

$$Q = \frac{\pi \Delta p d^4}{128 \cdot \mu \cdot L} = \frac{\pi \cdot (572958) \cdot \left(10^{-4}\right)^2}{128 \cdot 0{,}005 \cdot 0{,}025} = 1{,}125 \times 10^{-8} \left(\frac{m^3}{s}\right)$$

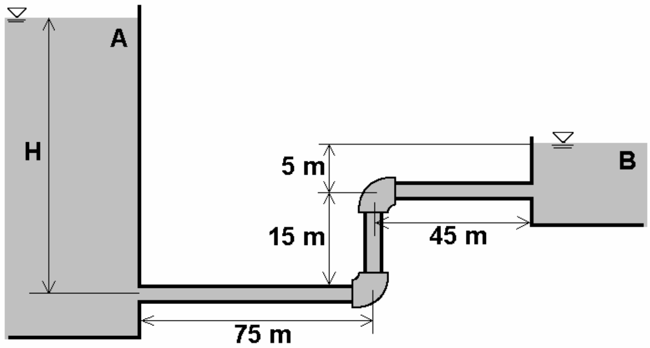
Convertendo m^3/s para litros/min encontra-se Q = 0.000675 l/min. Resta agora verificar se o regime de escoamento na agulha é laminar ou não. Para isto basta calcular o Reynolds baseado no diâmetro da agulha. A velocidade do líquido na agulha é V = Q/a = 1,43 m/s, e Reynolds:

$$Re_d = \frac{\rho \cdot V \cdot d}{\mu} = \frac{1000 \cdot 1.43 \cdot 0{,}0001}{0{,}005} = 28{,}6\,.$$

Como $Re_d < 2300$ o regime é laminar, a hipótese 'ad hoc' é válida e a vazão Q estimada está correta.

3.(2,0 pontos) Água escoa do reservatório “A” para o reservatório “B” através de uma tubulação de aço comercial com diâmetro interno de **50 cm**. Qual deve ser a profundidade “**H**” no revervatório “A” para que a vazão na tubulação seja de **2000** litros por segundo?

Dados: $\rho_{água}$ **= 999 kg/m³; $\mu_{água}$=1,14x10⁻³ Pa.s; $K_{entrada}$=0,5; $K_{saída}$=1,0 e $K_{cotovelo\ 90°}$=0,75.**



<u>Solução:</u>

$$D = 50cm = 0,5m$$

$$Q = 2000\, l/s = 2\, m^3/s$$

Aço comercial $\rightarrow \quad e = 0,046mm = 0,046\times10^{-3}m \quad (Tabela\ 8.1)$

$$L = 75 + 15 + 45 = 135m$$

Ponto 1 = superfície livre do reservatório A
Ponto 2 = superfície livre do reservatório B

$$\left(\cancel{\frac{p_1}{\rho}} + \alpha_1 \cancel{\frac{\bar{V}_1^2}{2}} + gz_1\right) - \left(\cancel{\frac{p_2}{\rho}} + \alpha_2 \cancel{\frac{\bar{V}_2^2}{2}} + gz_2\right) = h_{l_T} + \cancel{\frac{\dot{W}_s}{\dot{m}}}$$

$$g\left(z_1 - z_2\right) = \frac{\bar{V}^2}{2}\left(f\frac{L}{D} + K_{ent} + 2K_{\cot} + K_{said}\right)$$

Fazendo $h = z_1 - z_2$, temos:

$$h = \frac{\bar{V}^2}{2g}\left(f\frac{135}{0,5} + 0,5 + 1,5 + 1,0\right)$$

$$\bar{V} = \frac{Q}{A} = \frac{2}{\frac{\pi}{4}(0,5)^2} = 10,2\, m/s \qquad \text{->} \qquad \mathrm{Re}_D = \frac{\rho\bar{V}D}{\mu} = \frac{999\times10,2\times0,5}{1,14\times10^{-3}} = 4.469.211 = 4,5\times10^6$$

$$\frac{e}{D} = \frac{0,046\times10^{-3}}{0,5} = 0,000092$$

pelo Diagrama de Moody, obtemos que $f \approx 0,0122$, pela fórmula de Haaland:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} \approx -1,8\log\left[\frac{6,9}{\mathrm{Re}_D} + \left(\frac{e/D}{3,7}\right)^{1,11}\right] \quad \rightarrow \quad f \approx 0,0122$$

Assim,

$$h = \frac{(10,2)^2}{2\times9,81}\left(0,0122\frac{135}{0,5} + 3,0\right) = 33,4m$$

Portanto,

$$\boxed{H = 15 + 5 + h = 53,4m}$$

4.(2,0 pontos) Um avião de transporte a jato voa a 12 km de altitude em vôo estável nivelado, a **820 km/h.** Modele a fuselagem do avião como um cilindro circular de diâmetro **D=4 m** e comprimento **L=40 m**. Desprezando efeitos de compressibilidade, estime a força de arrasto de atrito superficial sobre a fuselagem. Avalie a potência necessária para vencer essa força. Considere a altitude de 12km as propriedades: ρ_{ar} **= 0,312 kg/m³;** μ_{ar}**=1,42x10⁻⁵ kg/m.s**

Solução:

$$V = 820\,km/h = 227,8\,m/s$$

$$\mathrm{Re}_L = \frac{0,312 \times 227,8 \times 40}{1,42 \times 10^{-5}} = 2,0 \times 10^8$$

Como $x_{trans} = 5 \times 10^5 \dfrac{\mu}{\rho V} = 0,01m$ << L e $10^7 < \mathrm{Re}_L < 10^9$, portanto, uso a equação dada por Schlichting:

$$C_D = \frac{0,455}{\left(\log \mathrm{Re}_D\right)^{2,58}} = 0,001935$$

$$F_D = C_D \frac{1}{2} \rho V^2 A = C_D \frac{1}{2} \rho V^2 \pi D L = \frac{1}{2} \times 0,001935 \times 0,312 \times \left(227,8\right)^2 \times \pi \times 4 \times 40$$

$$\boxed{F_D = 7873,1N}$$

Portanto,

$$Pot = F_D \times V = 7873,1 \times 227,8 = 1.793.492,2\,W$$

$$\boxed{Pot = 1,8\;MW}$$

5.(2,0 pontos) Um avião está em vôo de cruzeiro a 250 km/h através do ar na condição padrão. O coeficiente de sustentação para essa velocidade é de 0,4 e o coeficiente de arrasto é de 0,065. A massa do avião é de 850 kg. Calcule a área efetiva de sustentação para o avião, assim como o empuxo e a potência requeridos do motor. Dado: ar na condição padrão $\rho_{ar} = 1{,}23\, kg/m^3$.

Solução:

Quando o avião está em vôo estável de cruzeiro a uma altitude constante, a força de sustentação deve ser igual ao peso do avião. Então:

$$F_s = \frac{1}{2}\rho V^2 A C_s = W$$

$$A = \frac{2W}{\rho V^2 C_s} = \frac{2 \cdot 850 \cdot 9{,}81}{1{,}23 \cdot \left(250 \cdot \dfrac{1000}{3600}\right)^2 \cdot 0{,}4} = 7{,}03\, m^2$$

Em vôo de cruzeiro a força resultante que age no avião é zero, logo o empuxo produzido pelo motor deve ser igual a força de arrasto:

$$F_A = \frac{1}{2}\rho V^2 A C_A$$

$$F_A = \frac{C_A}{C_s} F_s = \frac{C_A}{C_s} W = \frac{0{,}065}{0{,}4} \cdot 850 \cdot 9{,}81$$

$$F_A = 1355\, N$$

Por fim, a potência necessária para vencer este arrasto é igual ao empuxo multiplicado pela velocidade de cruzeiro:

$$Potência = Empuxo \cdot Velocidade = F_A \cdot V = 1355 \cdot \left(250 \cdot \frac{1000}{3600}\right) = 94097{,}7\, Watts$$

ou

$$Potência = 126{,}2\, hp$$