Escoamento Viscoso interno e incompressível

http://flyadvisor.blogspot.com.br/2011/08/bellagio-fascinating-fountains-on-earth.html

Escoamento Viscoso interno e incompressível

São aqueles cujo escoamento é limitado por superfícies sólidas. Exemplo: escoamento no interior de tubulações, dutos, bocais, difusores, contrações e expansões, válvulas, etc. Estes escoamentos podem ser laminar ou turbulentos.

Um escoamento é incompressível quando o número de Mach < 0,3. M = 0,3 no ar corresponde a uma velocidade de aproximadamente 100 m/s (por quê?).

Exemplo de um escoamento interno laminar no interior de um tubo (Re<2300)

Observe a figura abaixo:

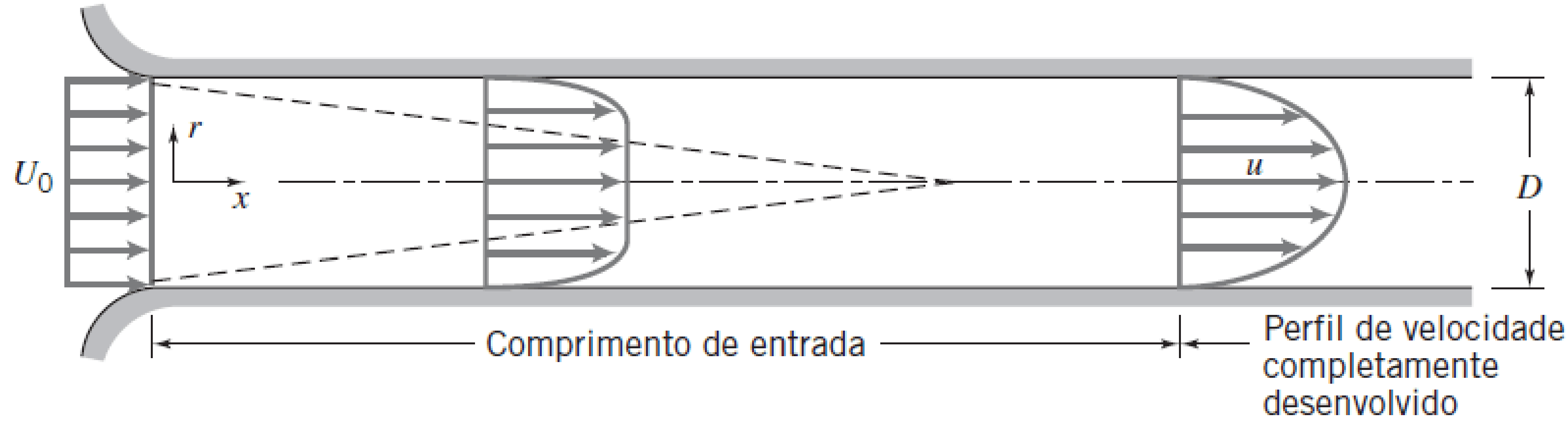


Fig. 8.1 Escoamento na região de entrada de um tubo.

Na entrada do tubo a velocidade é uniforme *Uo*. Uma camada limite desenvolve-se ao longo das paredes do tubo a partir da entrada. Como a superfície sólida exerce uma força cisalhante retardante sobre o escoamento, a velocidade do fluido próximo a superfície é reduzida (observe o perfil de velocidade) . Observe que este efeito é tanto maior à medida que o fluindo se afasta da região de entrada, até atingir um perfil de velocidade completamente desenvolvido. O comprimento entre a entrada até o ponto onde inicia o *escoamento completamente desenvolvido* chama-se *comprimento de entrada (L)*.

Para escoamento laminar L é dado por:

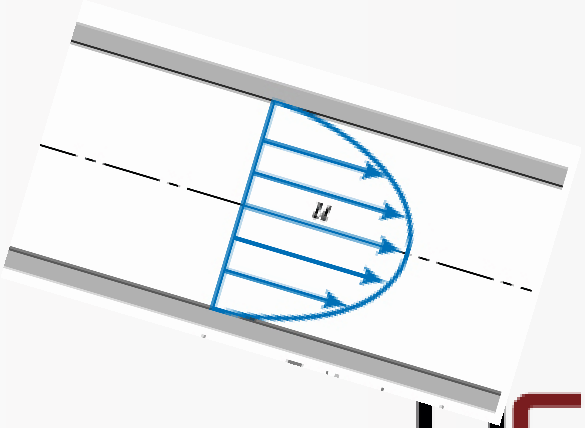
$$\frac{L}{D} \cong 0{,}06 \frac{\rho \bar{V} D}{\mu}$$

ESCOAMENTO LAMINAR COMPLETAMENTE DESENVOLVIDO EM UM TUBO

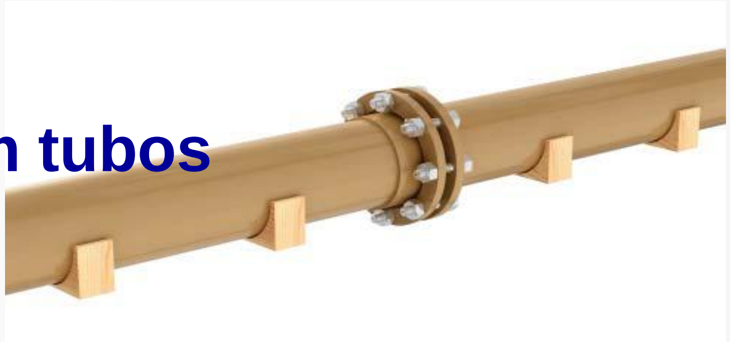
Este tipo de escoamento apresenta certo comportamento podendo, portanto, ser modelado por meio de equações diferenciais que permite calcular:

$$Q = \frac{\pi.\Delta p.D^4}{128.\mu.L}$$

$$\frac{u}{U} = 1 - \left(\frac{r}{R}\right)^2$$



Escoamento de fluidos real em tubos



Durante o escoamento de fluidos no interior de tubos verifica-se queda de pressão (perdas de pressão) devido ao atrito. Estas perdas são divididas em:

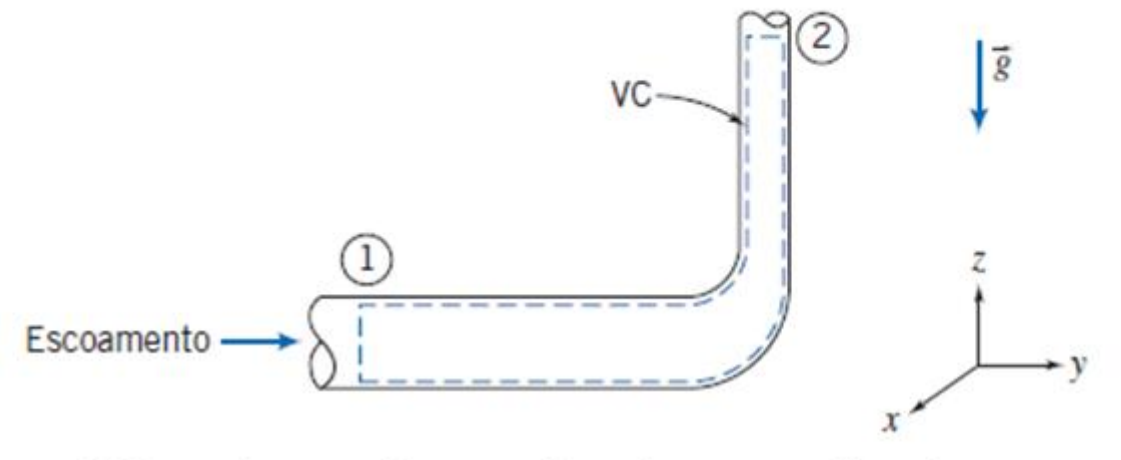
Perda maiores ou principal (h_l): causada pelo atrito ao longo do comprimento da tubulação de área constante num escoamento completamente desenvolvido;

Perdas menores ou secundárias (h_{lm}): causadas devido a presença de joelhos, derivações, registros, válvulas, tês, etc.

ENERGIA NO ESCOAMENTO EM TUBOS

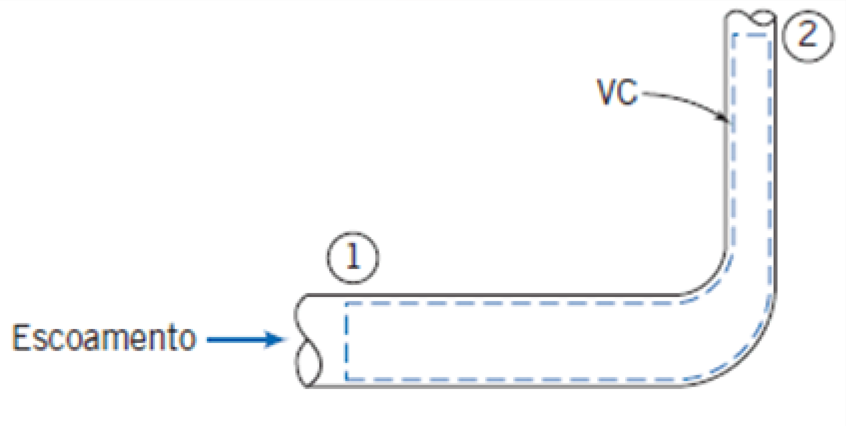
Durante o escoamento viscoso a energia mecânica do fluido diminui devido ao atrito, fazendo com que a LE (que representa a energia mecânica total do fluido - “de pressão”, cinética e potencial) diminui na direção do escoamento.

Aplicação da equação da Primeira Lei da Termodinâmica num escoamento viscoso



Volume de controle e coordenadas para análise de energia de escoamento através de um cotovelo redutor de 90°.

$$\dot{Q} - \dot{W}_s - \dot{W}_{shear} = \frac{\partial}{\partial t}\int_{CV} e\,\rho\, d\forall + \int_{CS}\left(u + pv + \frac{V^2}{2} + gz\right)\rho\vec{V}\cdot d\vec{A}$$



Considerações:

1 – $W_s = 0$; $W_{outros} = 0$
2 – $W_{cis} = 0$
3 – Escoamento permanente
4- Escoamento incompressível
5- Energia interna e pressão uniformes nas seções 1 e 2;
6- Velocidade **não uniformes** nas seções 1 e 2. **Por quê?**

$$\dot{Q} - \cancel{\dot{W}_s} - \cancel{\dot{W}_{\text{shear}}} = \frac{\partial}{\partial t}\int_{\text{CV}} \cancel{e}\,\rho\, d\forall + \int_{\text{CS}} \left(u + pv + \frac{V^2}{2} + gz\right)\rho\vec{V}\cdot d\vec{A}$$

$$\dot{Q} = \dot{m}(u_2 - u_1) + \dot{m}\left(\frac{p_2}{\rho} - \frac{p_1}{\rho}\right) + \dot{m}g(z_2 - z_1)$$

$$+ \int_{A_2} \frac{V_2^2}{2}\rho V_2\, dA_2 - \int_{A_1} \frac{V_1^2}{2}\rho V_1\, dA_1$$

Como resolver a integral se a velocidade não é uniforme?

Coeficiente de energia cinética (α)

$$\int_A \frac{V^2}{2} \rho V \, dA = \alpha \int_A \frac{\bar{V}^2}{2} \rho V \, dA = \alpha \dot{m} \frac{\bar{V}^2}{2} \tag{8.26a}$$

$$\alpha = \frac{\int_A \rho V^3 dA}{\dot{m} \bar{V}^2} \tag{8.26b}$$

✓Para escoamento laminar no interior de um tubo α = 2;

✓Para escoamento turbulento na maioria dos casos α = 1.

UFV

Escoamento de fluidos real em tubos

Durante o escoamento de fluidos no interior de tubos verifica-se queda de pressão (perdas de pressão) devido ao atrito. Estas perdas são divididas em:

Perda maiores ou principal (h_l): causada pelo atrito ao longo do comprimento da tubulação de área constante num escoamento completamente desenvolvido;

Perdas menores ou secundárias (h_{lm}): causadas devido a presença de joelhos, derivações, registros, válvulas, tês, etc.

Perda de carga

Durante o escoamento de um fluido parte da energia mecânica é convertida em calor devido ao atrito e perdida para o meio. Esta perda é denominada perda de energia total. Quando expressa por unidade de massa é representada pelo símbolo h_{lT} (head loss total = perda de carga total). Então, entre duas seções de um tubo verifica-se pela equação da energia que:

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

Na equação da energia, quais termos estão sendo representados por h_{lT}?

É comum expressar a perda de carga por unidade de peso do líquido escoando. Neste caso basta dividir a equação anterior por “g”:

$$\left(\frac{p_1}{\rho g}+\alpha_1\frac{\bar{V}_1^2}{2g}+z_1\right)-\left(\frac{p_2}{\rho g}+\alpha_2\frac{\bar{V}_2^2}{2g}+z_2\right)=\frac{h_{l_T}}{g}=H_{l_T}$$

Cálculo da perda de carga

Fator de atrito (f)

Para um escoamento completamente desenvolvido numa tubulação de seção constante, a perda de carga pode ser determinada aplicando a equação da energia. Note que neste caso $h_{lm} = 0$ e V_1 e V_2 são iguais, e caso o tubo esteja na horizontal ($z_1 = z_2$), logo a equação se reduz a:

$$p_1 - p_2 = \frac{\Delta p}{\rho} = h_l$$

Ou seja, a perda de carga principal (maior) pode ser expressa como a perda de pressão entre duas seções do escoamento.

Perda de carga em escoamento laminar

Como este tipo de escoamento possui certo comportamento, a perda de carga pode ser calculada analiticamente a partir da equação (veja dedução na página 303):

$$\Delta p = \frac{128\mu L Q}{\pi D^4} = \frac{128\mu L \bar{V}(\pi D^2/4)}{\pi D^4} = 32\frac{L}{D}\frac{\mu \bar{V}}{D}$$

Como $h_l = \Delta p/\rho$

Então:

$$h_l = 32\frac{L}{D}\frac{\mu \bar{V}}{\rho D} = \frac{L}{D}\frac{\bar{V}^2}{2}\left(64\frac{\mu}{\rho \bar{V} D}\right) = \left(\frac{64}{Re}\right)\frac{L}{D}\frac{\bar{V}^2}{2}$$

$$h_l = \left(\frac{64}{Re}\right)\frac{L}{D}\frac{\bar{V}^2}{2}$$

Perda de carga distribuída, principal ou maior para escoamento laminar

Perda de carga em escoamento turbulento

Neste tipo de escoamento, na maioria dos casos, é impossível determinar a perda de carga analiticamente. A determinação é feita utilizando dados de ensaios experimentais. A experiência mostra que num escoamento turbulento completamente desenvolvido, a Δp depende de:

$$\boxed{\Delta p = \Delta p(D, L, e, \overline{V}, \rho, \mu)}$$

Tais experiências mostraram que a perda de carga é proporcional ao número de Reynold, L/D, e a rugosidade relativa e/D, podendo ser escrita como:

$$\boxed{h_l = \frac{V^2}{2}\frac{L}{D}\phi_2\left(R_e \frac{e}{D}\right)}$$

A função desconhecida $\boxed{\varphi_2(R_e, \frac{e}{D})}$ é definida como o fator de atrito f.

$$f \equiv \varphi_2(R_e, \frac{e}{D})$$

logo, a perda de carga distribuída por unidade de massa pode ser escrita como:

$$h_l = f\,\frac{L}{D}\,\frac{V^2}{2}$$

Onde f é conhecido como fator de atrito de DARCY (determinado experimentalmente)

A perda de carga pode ser expressa em m dividindo a expressão anterior por "g".

$$H_l = f\,\frac{L}{D}\,\frac{V^2}{2g}$$

O fator de atrito f é obtido no diagrama de Moody a partir do número de Re e da rugosidade relativa (e/D).

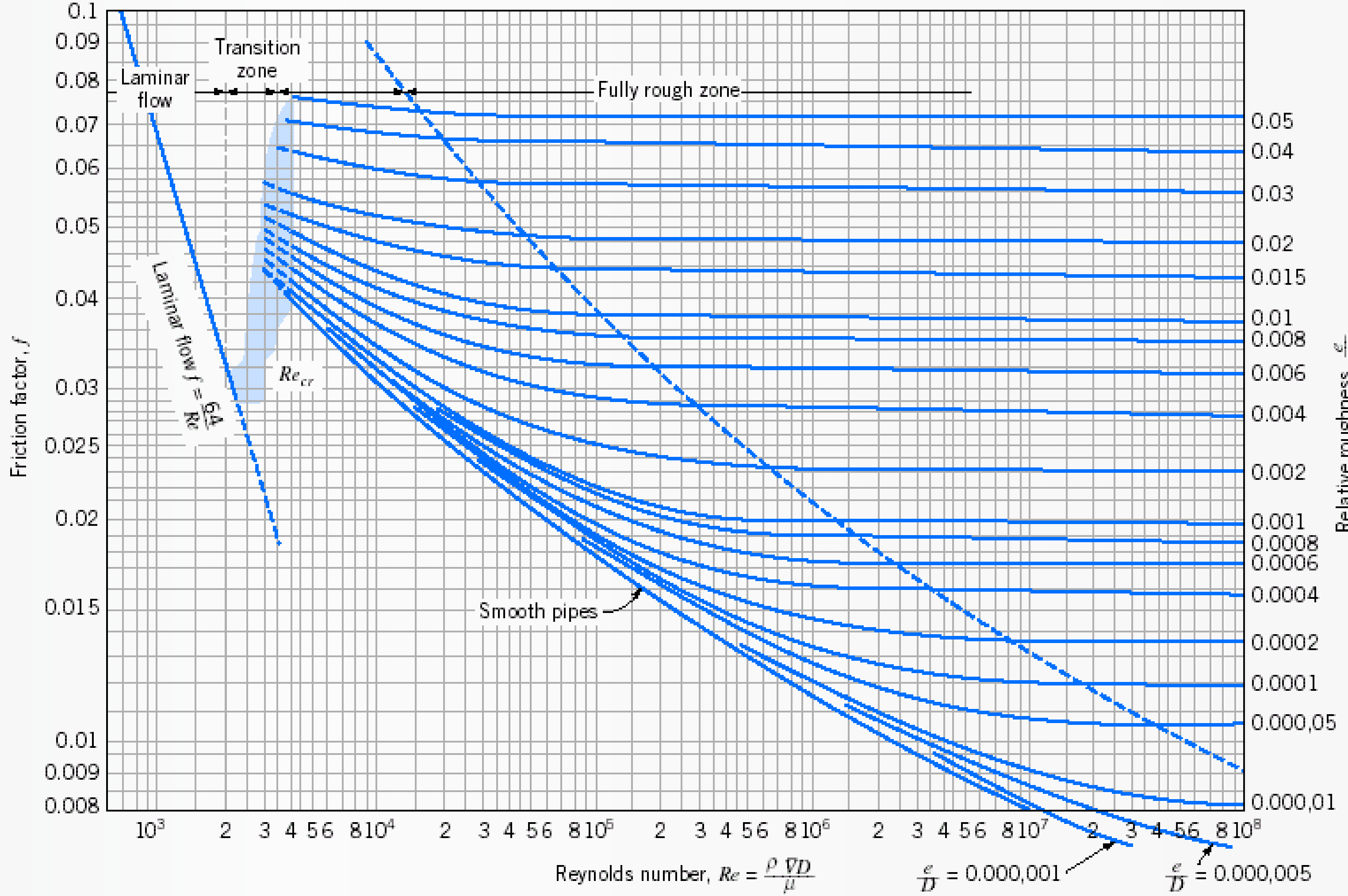


Fig. 8.12 Friction factor for fully developed flow in circular pipes. (Data from [8], used by permission.)

Para um escoamento laminar, o fator de atrito pode ser obtido comparando as equações:

$$h_l = \left(\frac{64}{Re}\right)\frac{L}{D}\frac{\bar{V}^2}{2} \longleftrightarrow h_l = f\,\frac{L}{D}\frac{V^2}{2}$$

onde, então:

$$f_{\text{laminar}} = \frac{64}{\text{Re}}$$

Equação de Colebrook

Em vez do uso de gráfico f pode ser calculado pela expressão:

$$\frac{1}{f} = -2.\log\left(\frac{\frac{e}{D}}{3{,}7} + \frac{2{,}51}{R_e\sqrt{f}}\right)$$

Perdas de cargas localizadas - h_{lm} (perdas menores)

A presença de curvas, joelhos, expansões, reduções, registros ao longo de uma tubulação causam perdas de carga no escoamento devido a separação do escoamento. Estas perdas são relativamente menores que a distribuídas quando se condisera longos trechos retos de tubos de seção constante. As perdas localizadas são calculadas aplicando-se um coeficiente de perda (k) sobre a energia cinética do fluido.

$$h_{lm} = k\frac{V^2}{2}$$

onde

h_{lm} – perda de carga secundária (head loss minor);

K – coeficiente de perda de carga (determinado experimentalmente para cada tipo de acessório);

A perda de carga secundária (localizadas) pode ser calculada em termos de um comprimento equivalente de um tubo reto (L_e) que causaria a mesma perda de carga do acessório:

$$\boxed{h_{lm} = f \frac{L_e}{D} \frac{V^2}{2}}$$

Fitting Type	Equivalent Length,[a] L_e/D
Valves (fully open)	
Gate valve	8
Globe valve	340
Angle valve	150
Ball valve	3
Lift check valve: globe lift	600
angle lift	55
Foot valve with strainer: poppet disk	420
hinged disk	75
Standard elbow: 90°	30
45°	16
Return bend, close pattern	50
Standard tee: flow through run	20
flow through branch	60

UFV

Equação da energia aplicada a uma bomba

Para um escoamento onde uma bomba fornece energia mecânica para o fluido, de modo aumentar a energia mecânica do escoamento, a equação da energia permite escrever (desprezando a transferência de calor e variação de energia interna):

$$\dot{W}_{bomba} = \dot{m}\left[\left(\frac{p}{\rho} + \frac{\overline{V^2}}{2} + gz\right)_{descarga} - \left(\frac{p}{\rho} + \frac{\overline{V^2}}{2} + gz\right)_{sucção}\right]$$

Considere que:

-os diâmetros de sucção e recalque são iguais;
- a diferença de nível entre a entrada e saída da bomba é insignificante;

$$\dot{W}_{bomba} = Q.\Delta p$$

Equação de Bernoulli aplicada a Bombeamento

Para um escoamento onde uma bomba fornece energia mecânica para o fluido, de modo aumentar a energia mecânica do escoamento, a equação de Bernoulli pode ser escrita como:

$$\left(\frac{p_1}{\rho} + \alpha_1 \frac{\bar{V}_1^2}{2} + g z_1\right) - \left(\frac{p_2}{\rho} + \alpha_2 \frac{\bar{V}_2^2}{2} + g z_2\right) = h_{l_T} - \Delta h_{\text{bomba}}$$

Onde

Δh_{bomba} é a altura de carga correspondente à energia mecânica que é transferida da bomba para o escoamento para compensar a perda de carga.

Analisando somente a bomba, suponha que:

-os diâmetros de sucção e recalque são iguais;
- a diferença de nível entre a entrada e saída da bomba é insignificante;
- transferência de calor e variação de energia interna no fluido são desprezíveis;

Então $V_1 = V_2$, $z_1 = z_2$ e

$$\left(\frac{p_2}{\rho} - \frac{p_1}{\rho}\right) = \Delta h_{\text{bomba}}$$

$$\Delta h_{\text{pump}} = \frac{\Delta p_{\text{pump}}}{\rho}$$

Multiplicando ambos membros por ρQ:

$$\Delta p.Q = \rho.Q.\Delta h_{bomba}, \text{ onde } \dot{\mathrm{W}} = \mathrm{Q}.\Delta \mathrm{p}$$

ou

$$\dot{\mathrm{W}} = \dot{m}.\Delta h_{bomba}$$

$$\eta = \frac{\dot{W}_{\text{pump}}}{\dot{W}_{\text{in}}}$$

UFV

8.149

Um grande reservatório fornece água para a comunidade. **Uma parte** do sistema de abastecimento de água é mostrada. A água é bombeada de um reservatório para um grande tanque de armazenagem antes de ser enviada para a instalação de tratamento de água. O sistema é projetado para fornecer 1310 L/s de água a 20º C. De B para C, o sistema consiste de uma entrada de borda viva, 760 m de tubo, três válvulas de gaveta e quatro cotovelos de 45º e dois de 90º. A pressão manométrica em C é 197KPa. O sistema entre F e G contem 760m de tubo, duas válvulas de gaveta e quatro cotovelos de 90^0. Todo o tubo é de ferro fundido de 508mm de diâmetro. **Calcule a velocidade média da água do tubo, a pressão manométrica na seção transversal em F e a potência de acionamento da bomba (sua eficiência é 80%)**

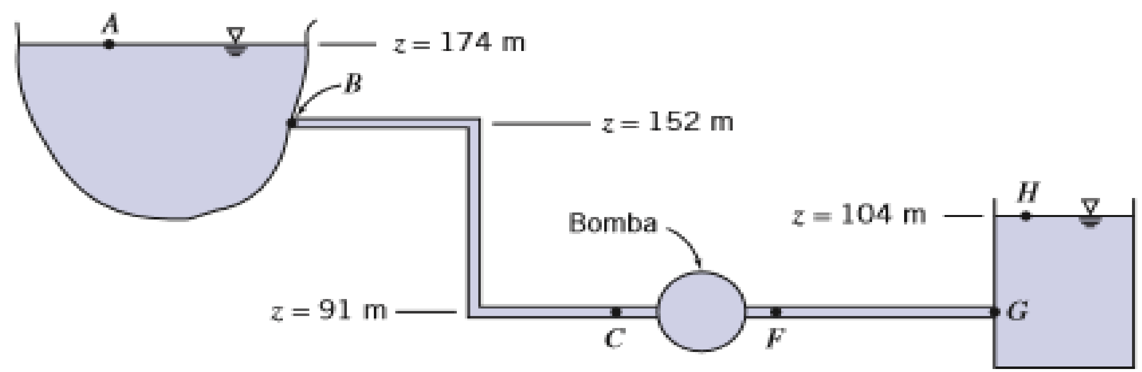


Fig. snº 42 Pág. 366