

Escoamentos Internos

Parte 2

Como Determinar h_f Rugosidade de Tubulações

Tabela 7-1 Rugosidade média superficial de tubos rugosos

Material(novo)	h_r mm	h_r in.
Aço rebitado	0,9-9,0	0,035-0,35
Concreto	0,3-3,0	0,012-0,12
Madeira arqueada	0,18-0,9	0,007-0,035
Ferro fundido	0,26	0,01
Ferro galvanizado	0,15	0,006
Ferro fundido asfaltado	0,12	0,005
Aço comum ou ferro batido	0,046	0,002
Aço trefilado	0,0015	0,0001
Vidro	"liso"	"liso"

$$[\text{rugosidade relativa}] = \frac{h_r}{d} = \frac{[\text{rugosidade mm}]}{[\text{diâmetro mm}]}$$

Como Determinar h_f ? Diagrama de Moody e o fator de Atrito f

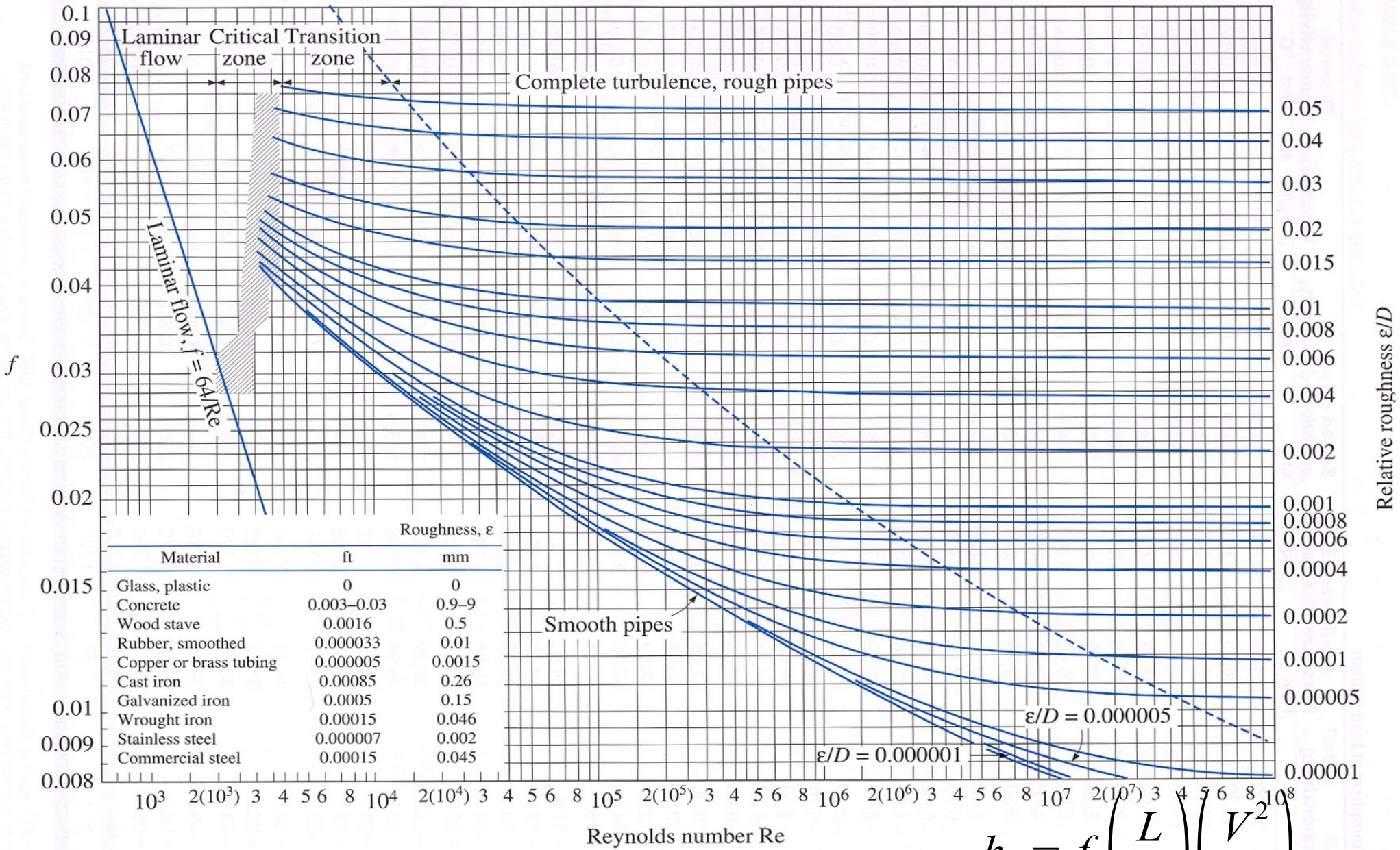


FIGURE A-27

The Moody chart for the friction factor for fully developed flow in circular tubes.

$$h_f = f \left(\frac{L}{D} \right) \left(\frac{V^2}{2g} \right)$$

Como Determinar h_m a constante K

Tabela 7-2 Coeficiente de perda de carga, $K = \frac{h_m}{V_A^2 / 2g}$ para válvulas abertas, cotovelos e tês.

Diâmetro nominal, cm (in.)	Conexão com rosca				Conexão com flange				
	1,3 (0,5)	2,5 (1,0)	5,0 (2,0)	10 (4,0)	2,5 (1,0)	5 (2,0)	10 (4,0)	20 (8,0)	50 (20)
Válvulas (totalmente abertas):									
Globo	14,0	8,2	6,9	5,7	13,0	8,5	6,0	5,8	5,5
Gaveta	0,30	0,24	0,16	0,11	0,80	0,35	0,16	0,07	0,03
Giratória	5,1	2,9	2,1	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
Ângulo	9,0	4,7	2,0	1,0	4,5	2,4	2,0	2,0	2,0
Cotovelos:									
45° comum	0,39	0,32	0,30	0,29					
45° raio longo					0,21	0,20	0,19	0,16	0,14
90° comum	2,0	1,5	0,95	0,64	0,50	0,39	0,30	0,26	0,21
90° raio longo	1,0	0,72	0,41	0,23	0,40	0,30	0,19	0,15	0,10
180° comum	2,0	1,5	0,95	0,64	0,41	0,35	0,30	0,25	0,20
180° raio longo					0,40	0,30	0,21	0,15	0,10
Tês:									
Em linha	0,90	0,90	0,90	0,90	0,24	0,19	0,14	0,10	0,07
Perpendicular	2,4	1,8	1,4	1,1	1,0	0,80	0,64	0,58	0,41

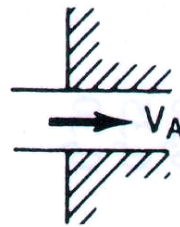
Como Determinar h_m , a constante K

Tabela 7-3 Perdas de válvulas parcialmente abertas.

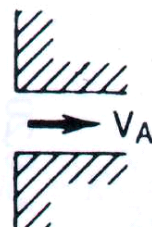
Condição	Razão K/K (condição aberta)	
	Válvula da porta	Válvula Globo
Aberta	1,0	1,0
Fechada, 25%	3,0-5,0	1,5-2,0
50%	12-22	2,0-3,0
75%	70-120	6,0-8,0

Entradas

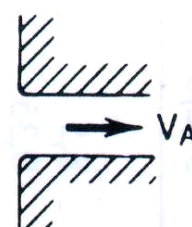
$$K \equiv \frac{h_m}{V_A^2/2g}$$



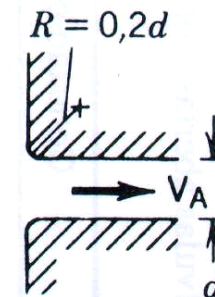
Saliente:
 $K = 0,78$



Canto vivo:
 $K = 0,45$



Levemente
arredondada:
 $K = 0,2$



Bem
Arredondada:
 $K = 0,05$

Saídas

$K = 1,0$ Para todas as saídas

Como Determinar h_m , a constante K

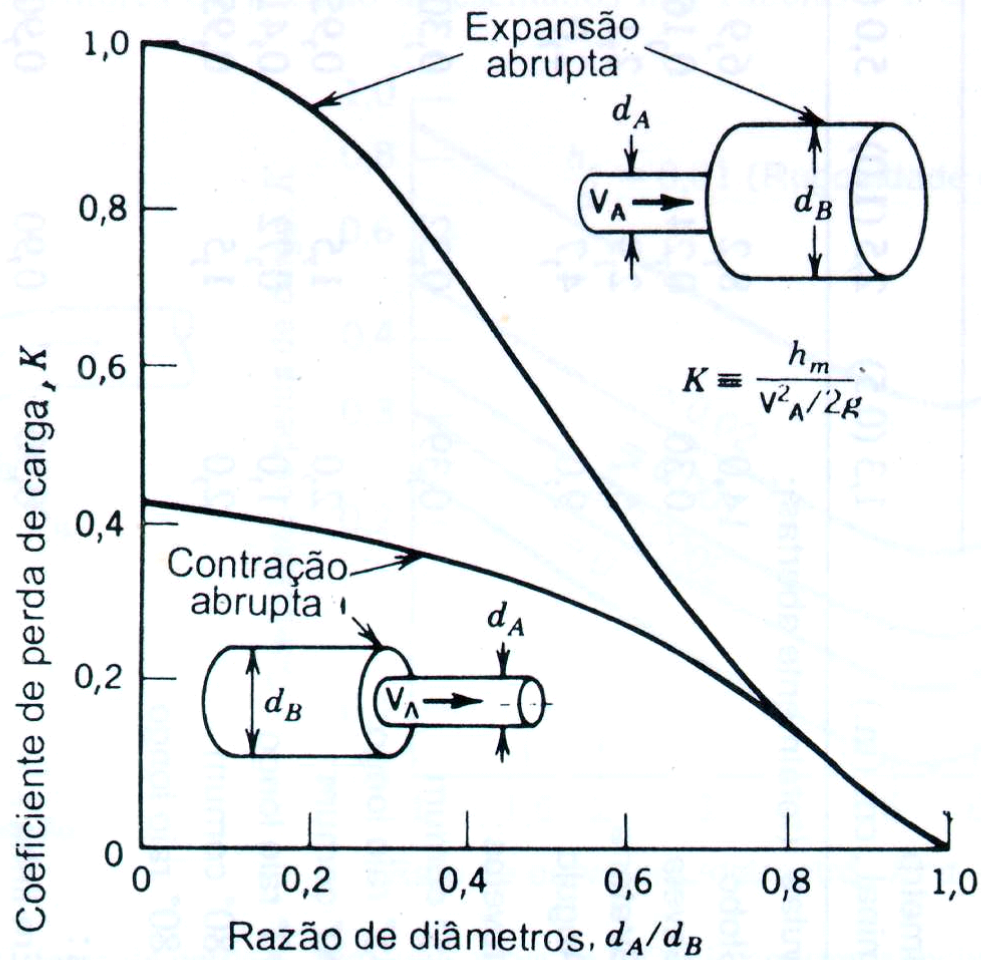
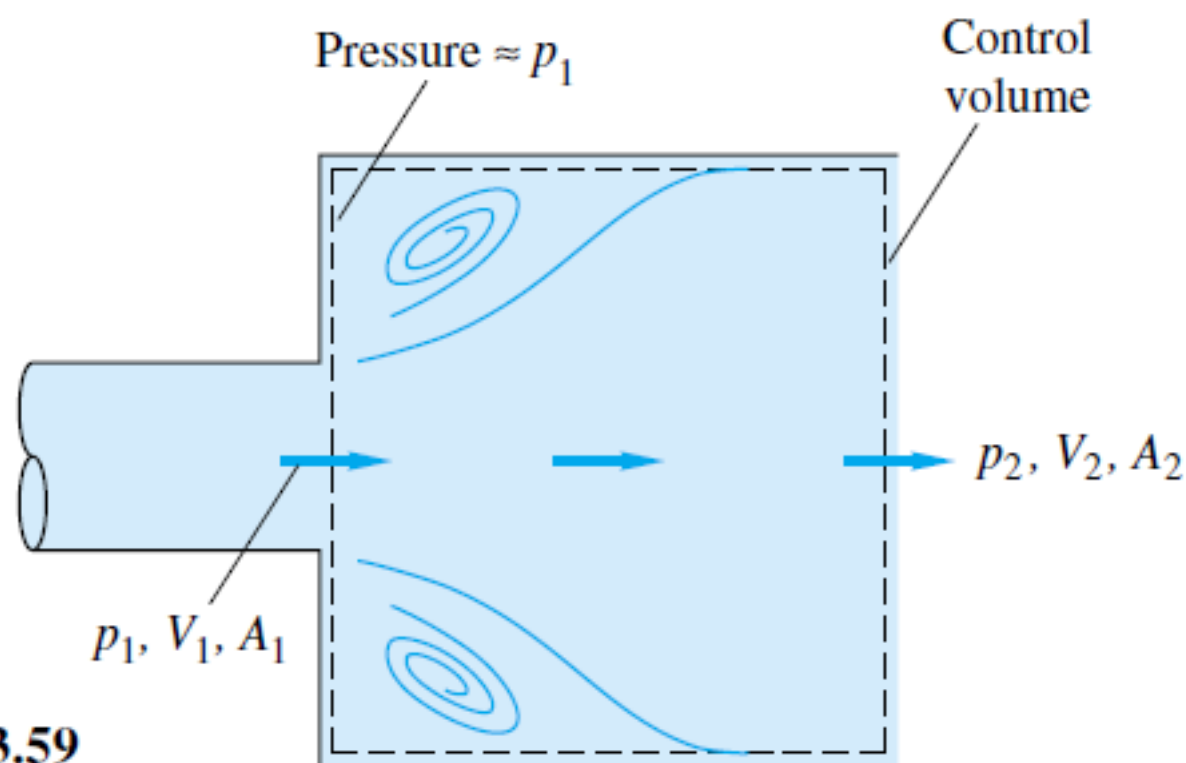


Figura 7-7 Coeficiente de perda K para contrações e expansões abruptas.

When a pipe flow suddenly expands from A_1 to A_2 , as in Fig. P3.59, low-speed, low-friction eddies appear in the corners and the flow gradually expands to A_2 downstream. Using the suggested control volume for incompressible steady flow and assuming that $p \approx p_1$ on the corner annular ring as shown, show that the downstream pressure is given by

$$p_2 = p_1 + \rho V_1^2 \frac{A_1}{A_2} \left(1 - \frac{A_1}{A_2} \right)$$



P3.59

Verify that Bernoulli's equation is not valid for the sudden expansion of Prob. 3.59 and that the actual head loss is given by

$$h_f \approx \frac{V_1^2}{2g} \left(1 - \frac{A_1}{A_2} \right)^2$$

Questão

- Água a 10°C escoia através de um tubo de ferro galvanizado a uma vazão de 0.3 m³/s. O diâmetro interno do tubo vale 190mm. Determine o coeficiente de atrito de Darcy e a correspondente a queda de pressão por unidade de comprimento do duto.

$$D = 190\text{mm}$$

Tab. 7.1 → rugosidade = 0.15 mm



$Q = 0.3 \text{ m}^3/\text{s}$ 

$$\textit{rugosidade relativa} = 0.15 / 190 = 0.0008$$

Tab. A-9, $\rho = 998 \text{ kg/m}^3$ & $\nu = 1.308 \cdot 10^{-6} \text{m}^2/\text{s}$

Definição de Reynolds $\rightarrow \text{Re}_D = V \cdot D/\nu$

Em termos da vazão volumétrica \rightarrow

$$\text{Re}_D = 4Q/\pi D\nu = 1.54 \cdot 10^6$$

$ReD = 1.54 \cdot 10^6$ & $\epsilon/D = 0.0008$

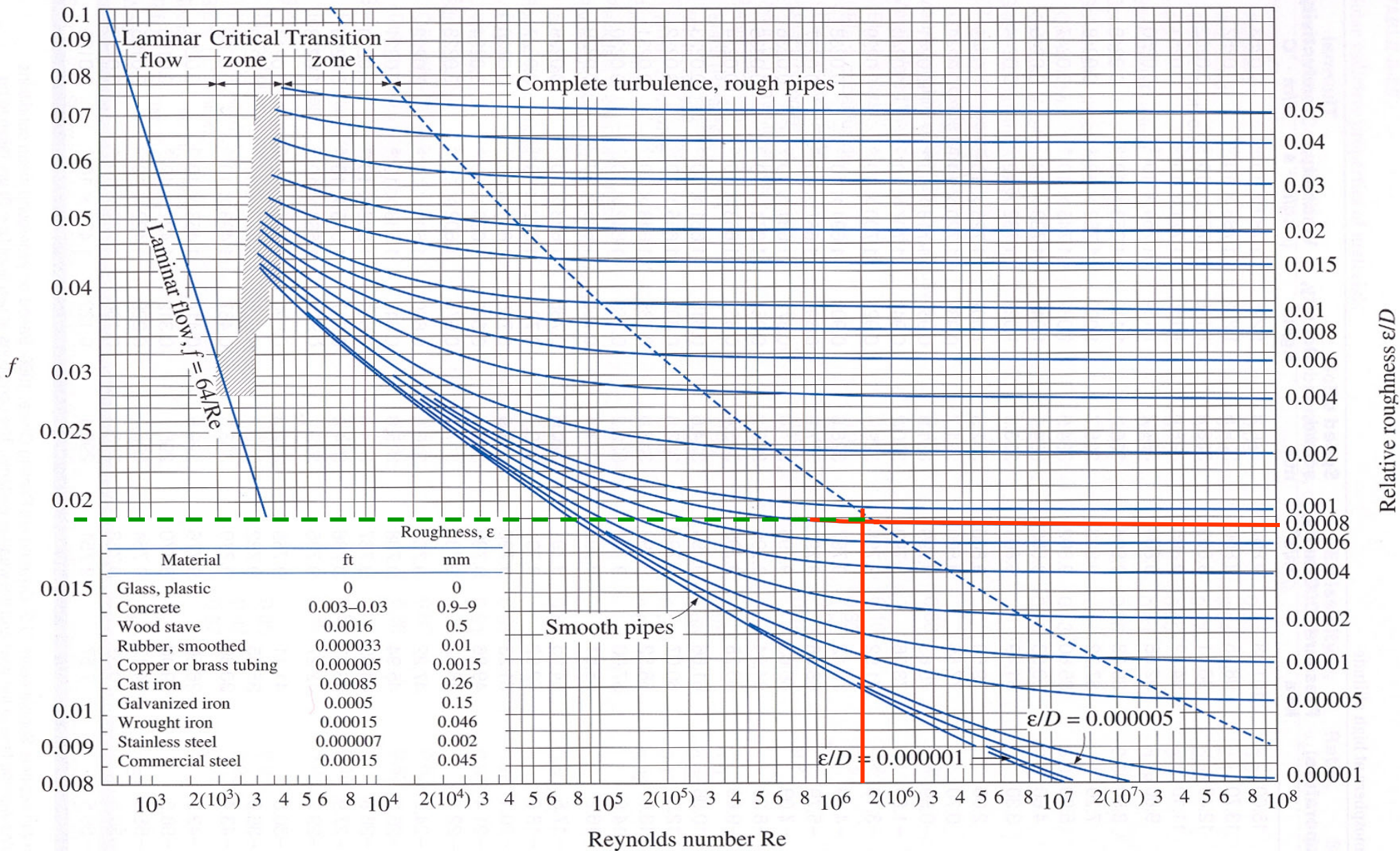


FIGURE A-27

The Moody chart for the friction factor for fully developed flow in circular tubes.

- O fator de atrito é $f = 0.019$
- A queda de pressão é:

$$\Delta P = \rho \cdot g \cdot h_L$$

$$\Delta P = \rho \cdot g \cdot f \cdot \left(\frac{L}{D} \right) \cdot \left(\frac{v^2}{2g} \right)$$

ou

$$\frac{\Delta P}{L} = 8 \cdot f \cdot \frac{\rho \cdot Q^2}{\pi^2 \cdot D^5} = 5.5 \text{ kPa/m}$$

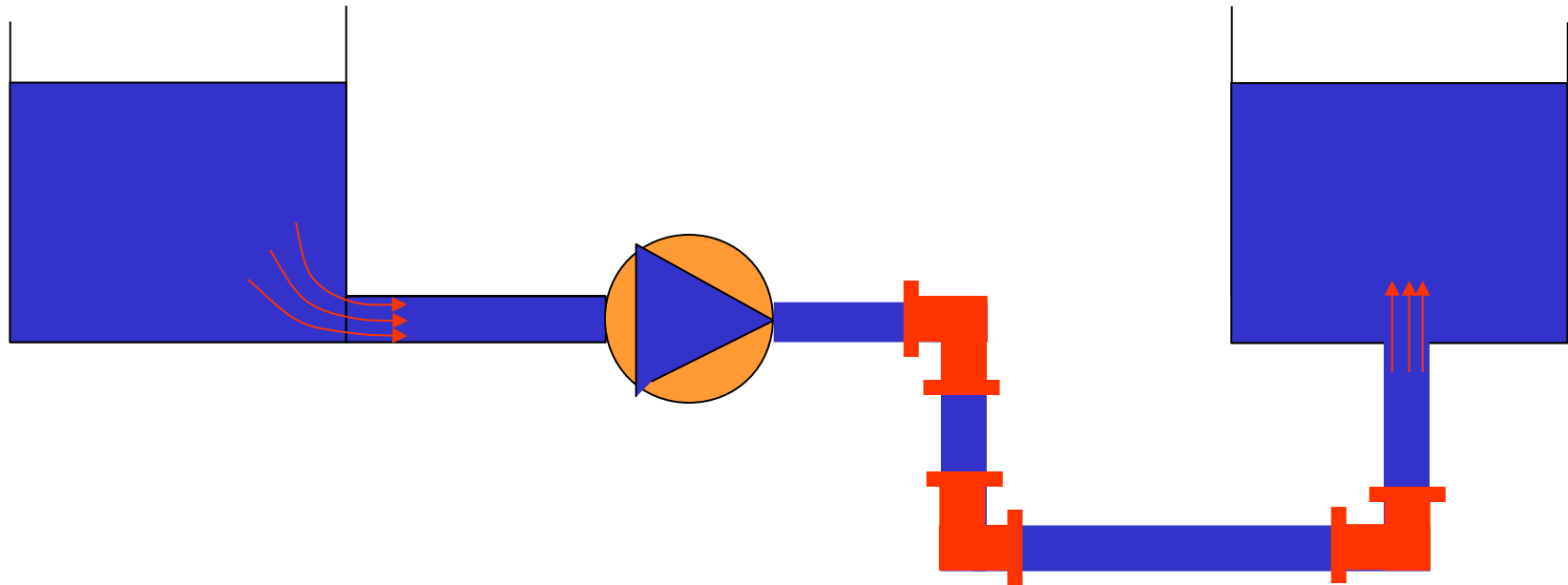
Questão

- Uma bomba é necessária para movimentar óleo a 310K de um terminal de descarga marítimo ao nível do mar para o tanque de armazenamento de uma refinaria que se encontra a 200 m de distância. O diâmetro interno do tubo é 20 cm, é feito de ferro fundido e contém três cotovelos flangeados de 90°. A vazão de operação é 0.356 m³/s. Determine:
- A potência de eixo da bomba se sua eficiência é de 85%;
- Se a entrada e saída dos tubos são do tipo ‘abruptas’, estime as perdas de carga em cada uma;

Óleo, tab. A-10 & 310K, $\rho = 877.9 \text{ kg/m}^3$ @ $\nu = 288.10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$

Comprimento, $L = 200\text{m}$, vazão $Q = 0.356 \text{ m}^3/\text{s}$ ($\sim 200000\text{bpd}$)

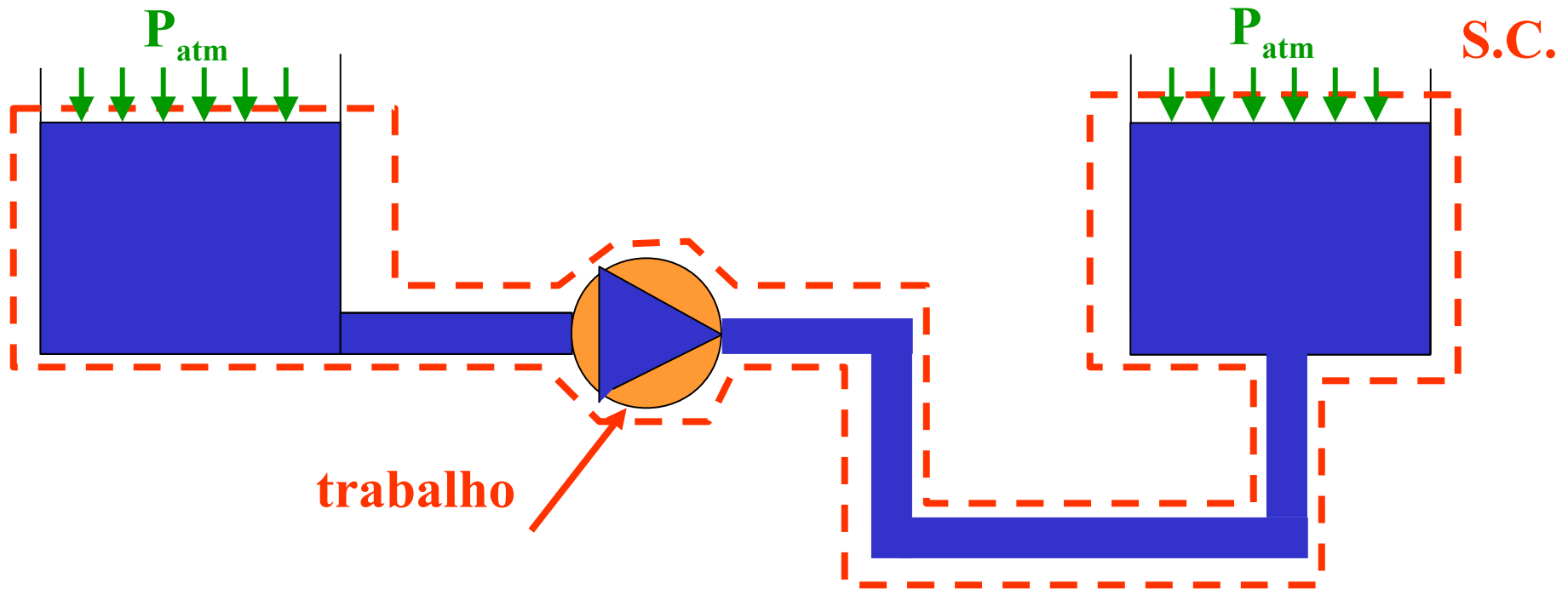
Tubo ferro fundido, diâmetro = 0.2m & rugosidade (tab. 7.1) $\varepsilon = 0.26 \text{ mm}$



Cotovelos, tab. 7.2 (conexão flangeada 90°) $K = 0.26$

Contração abrupta, Fig. 7-7, $K = 0.4$

Expansão abrupta, Fig. 7-7, $K = 1.0$

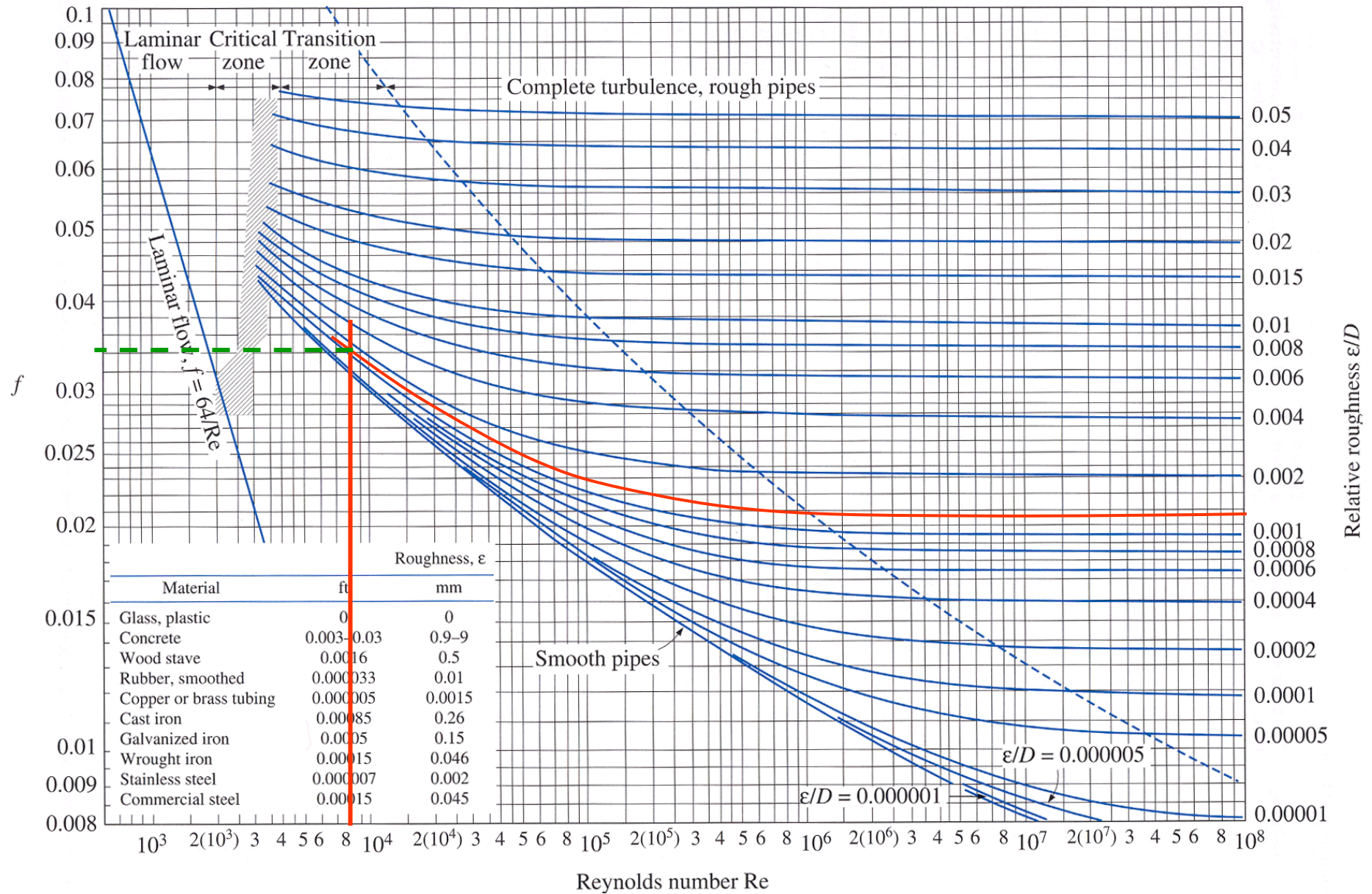


$$\left(\frac{p}{\rho g} + \frac{v^2}{2g} + z \right)_e - \left\{ \left(\frac{p}{\rho g} + \frac{v^2}{2g} + z \right)_s + h_L \right\} = \frac{w}{g} \quad \rightarrow \quad h_L = -\frac{w}{g}$$

~ 0 (indicated by red arrows pointing to the velocity terms in the equation above)

Em módulo: $\dot{W}_{VC} = \dot{m} g h_L = (\rho Q) g h_L$

$$\text{Re}_D = 4Q/\pi Dv = 7869 \quad \& \quad \epsilon/d = 0.0013 \quad \rightarrow \quad f = 0.034$$



- **Perda de carga distribuída:**

$$h_f = f \cdot \left(\frac{L}{d} \right) \cdot \left(\frac{V^2}{2g} \right) = 0.034 \cdot \left(\frac{200}{0.2} \right) \cdot \left(\frac{11.3^2}{2g} \right) = 227.8\text{m}$$

- **Perda de carga localizada:**

$$h_m = \sum K \cdot \frac{V^2}{2g} = (3 \cdot 0.26 + 0.4 + 1) \cdot \left(\frac{11.3^2}{2g} \right) = 14.2 \text{ m}$$

- **Perda de carga total:**

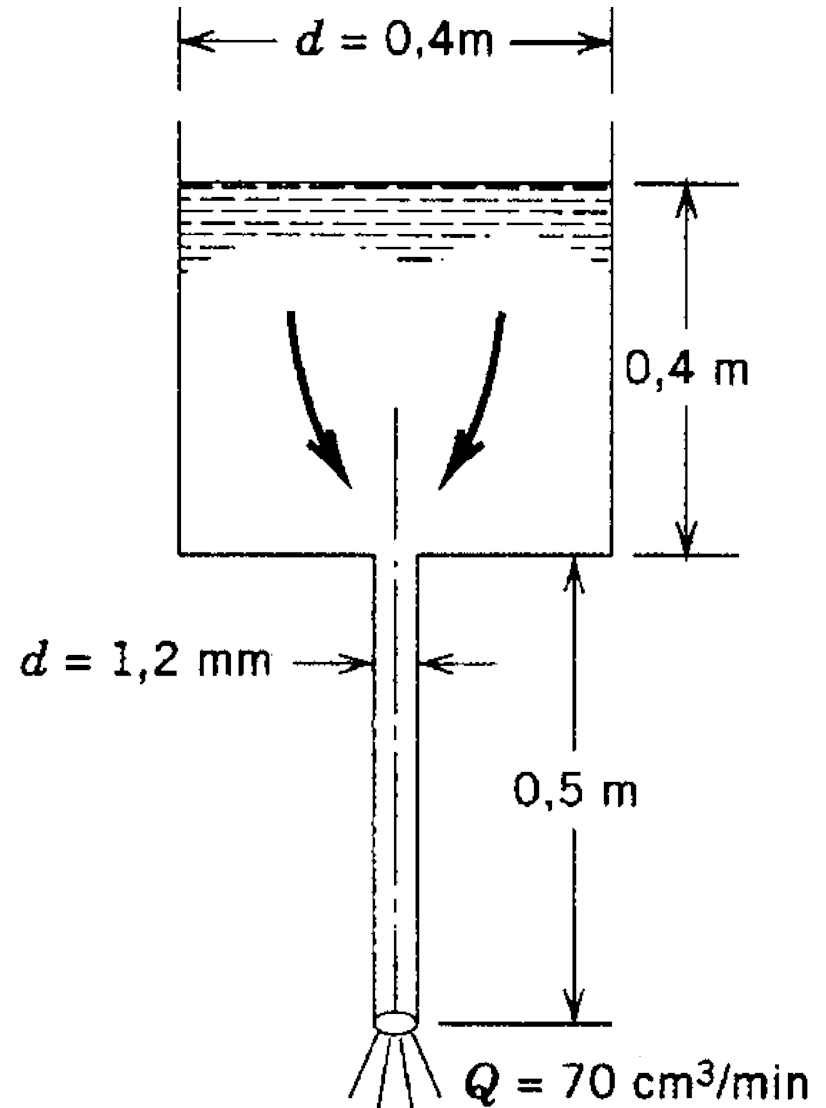
$$h_L = h_f + h_m = 242\text{m}$$

- Potência da bomba:

$$\dot{W} = \frac{Q \cdot (\rho \cdot g \cdot h_L)}{\eta} = \frac{0.356 \cdot 877.9 \cdot g \cdot 242}{0.85} = 873\text{kW}$$

Questão

- Um líquido escoar de um tanque grande ($d=0.4\text{m}$) para um tubo pequeno ($d=1.2\text{ mm}$) instalado no centro da base do tanque. Há uma coluna de $0,4\text{ m}$ de líquido no tanque grande e o comprimento do tubo capilar é 0.5m . O tanque é aberto para a atmosfera e o tubinho também descarrega num ambiente a P_{atm} . O escoamento é mantido apenas por força gravitacional, e o nível de líquido no tanque grande permanece constante. Calcule a viscosidade cinemática do líquido em (m^2/s)



$$\left(\frac{p}{\rho g} + \frac{V^2}{2g} + z \right)_e - \left\{ \left(\frac{p}{\rho g} + \frac{V^2}{2g} + z \right)_s + h_L \right\} = \frac{w}{g}$$

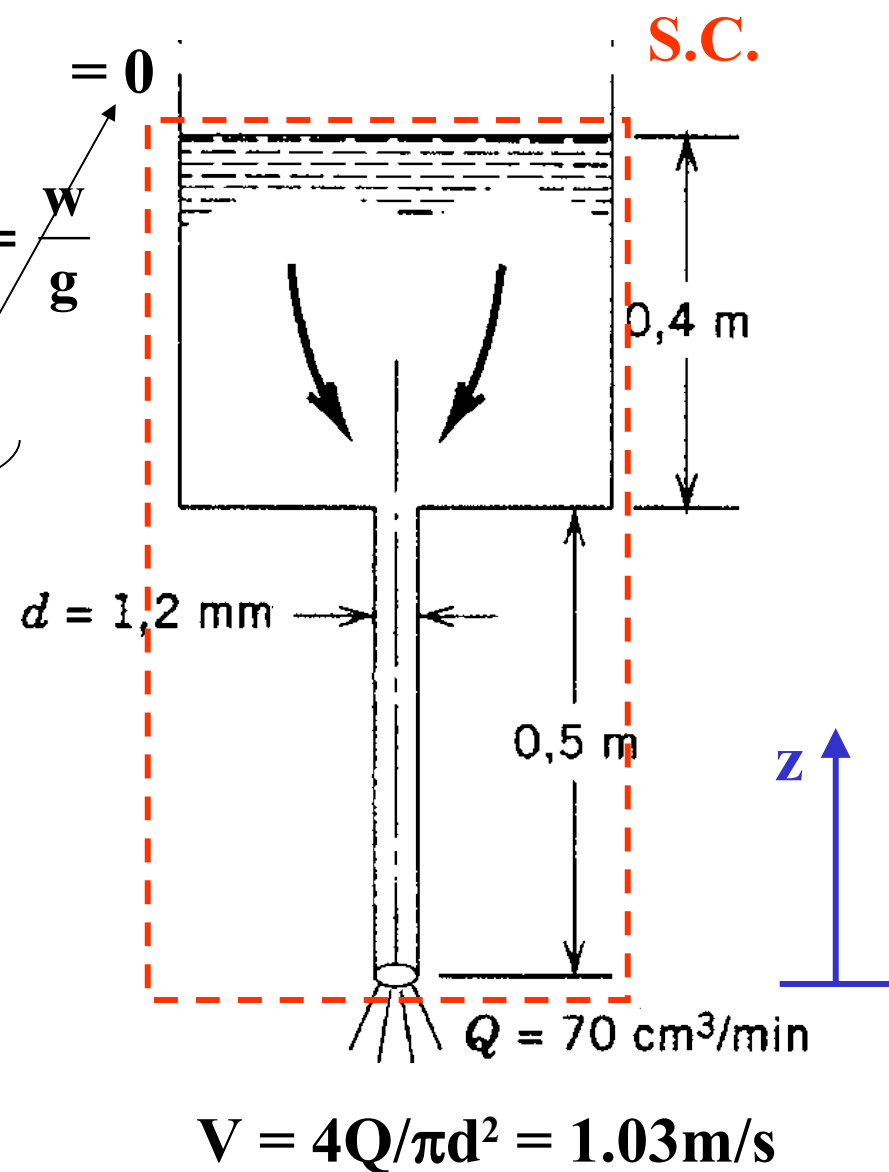
$\sim 0 = 0.9\text{m}$ (red arrow pointing to $\frac{V^2}{2g}$)
 $\sim 4Q/\pi d^2 = 0$ (red arrow pointing to $\frac{V^2}{2g}$)
 $= 0$ (blue arrow pointing to z)

P_{atm} (green line under the first term)

$$0.9 - \left(\frac{1.03^2}{2 \cdot g} \right) = h_L \rightarrow h_L = 0.8457\text{m}$$

- Perda distribuída:

$$h_f = f \cdot \left(\frac{L}{d} \right) \cdot \left(\frac{V^2}{2g} \right)$$



- Como h_f , L , d e V são conhecidos (0.8457 m, 0.5m, 1.2 mm e 1.03 m/s) pode-se determinar f :

$$f = \frac{h_f}{\left(\frac{L}{d}\right) \cdot \left(\frac{V^2}{2g}\right)} = 3.745 \cdot 10^{-2}$$

- Se considerarmos ‘ad hoc’ que o regime no tubo capilar seja laminar, então $f = 64/Re$;

$$f = \frac{64}{Re} \rightarrow v = \frac{f \cdot d \cdot V}{64} = 7.247 \cdot 10^{-7}$$

- Vamos verificar se a hipótese de escoamento laminar é válida uma vez determinado o valor da viscosidade do líquido:

$$Re_d = \frac{V \cdot d}{\nu} = \frac{1.03 \cdot (1.2/1000)}{7.247 \cdot 10^{-7}} = 1709$$

- Como $Re_d < 2300$ o escoamento está em regime laminar e portanto a hipótese ‘ad hoc’ é válida.

Exemplo: circuito fechado

- Água circula a partir de um grande tanque através de um filtro e volta ao tanque. A potência adicionada à água pela bomba é de 271 W. Determine a vazão volumétrica através do filtro. Considere o tubo com 0.03 m de diâmetro, rugosidade relativa de 0.01 e comprimento total de 61 m.

