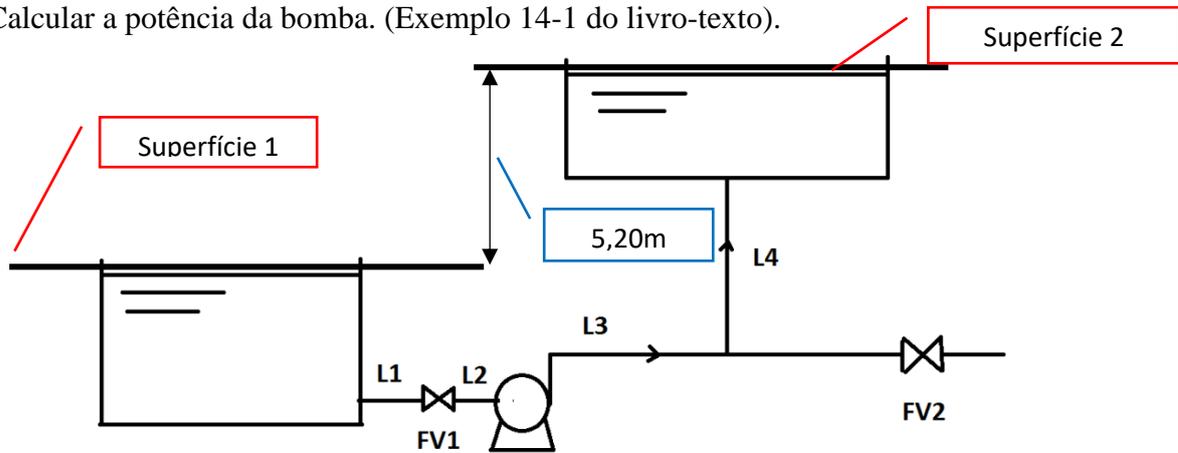


## PQI 3203 - EXERCÍCIOS

### LISTA 3 – EXERCÍCIO 1

(1) Água a 15°C é bombeada, à vazão de 380L/min, conforme o esquema mostrado a seguir. Os dois tanques estão abertos a atmosfera. Os níveis de líquido nos dois tanques são mantidos constantes. A diferença de cotas entre as superfícies livres é de 5,2m. Toda a tubulação é em aço carbono. O trecho de tubo antes da bomba é de 3" Schedule N° 40 e o trecho após a bomba é de 2" Schedule N° 40. Os comprimentos dos trechos retos são: L1= 6,10m, L2 = 9,14m, L3 = 30,48 m e L4 = 4,57m. A válvula FV1 é do tipo gaveta e está totalmente aberta; FV2 é uma válvula globo e está fechada. O tê é do tipo padrão. A ligação entre a base do tanque de alimentação e o tubo é uma "entrada de Borda" O rendimento da bomba é de 70 %.

Calcular a potência da bomba. (Exemplo 14-1 do livro-texto).



Resposta: Potência = - 1,48 HP

SOLUÇÃO:

Determinando o VC no qual se aplicará a eq de Bernoulli: superfícies 1 e 2 que correspondem às superfícies livres dos dois tanques.

Aplicando-se a eq de Bernoulli no VC determinado:

$$\frac{\Delta v_b^2}{2} + g\Delta z + \frac{\Delta p}{\rho} + \eta_p W_s + l_{wf} = 0$$

$$\frac{\Delta v_b^2}{2}$$

$$-v_1=0$$

$$-v_2=0$$

Tanques com superfícies grandes

$$g\Delta z$$

$$-z_1=0$$

$$-z_2=5,20\text{m}$$

O plano de referência para determinação das cotas corresponde à superfície livre do tanque 1.

$$\frac{\Delta p}{\rho}$$

$$\rho$$

$$-p_1=0$$

$$-p_2=0$$

Os dois tanques estão abertos à atmosfera.

$$\eta_p W_s$$

$$-\eta_p = 70\%$$

$$-W_s = ?$$

$$lwf_{total} = lwf_{(entrada\ de\ borda)} + lwf_{L1} + lwf_{FV1} + lwf_{L2} + lwf_{L3} + lwf_{Tê} + lwf_{L4} + lwf_{(expansão\ brusca)}$$

$$lwf_{tubos} = \frac{2fL v_b^2}{D}$$

$$lwf_{singularidade} = \frac{2fL_{equivalente} v_b^2}{D}$$

$$lwf_{singularidade} = \frac{k v_b^2}{2}$$

Determinação das velocidades nos dois trechos de tubo:

Vazão volumétrica: 380L/min = 0,00633m<sup>3</sup>/s.

3"Sch40:

$$D_{int}=7,792\text{cm}$$

$$\text{Área} = 0,0048\text{m}^2.$$

$$v_{b3"}=1,32\text{m/s}$$

2"Sch40

$$D_{int}=5,25\text{cm}$$

$$\text{Área}=0,02165\text{m}^2.$$

$$v_{b2"}=2,93\text{m/s}.$$

Para o trecho de 3":

$$lwf_{tubos} = \frac{2fL v_b^2}{D}$$

-determinação do fator de atrito: f

$$-Re = \frac{D v_b \rho}{\mu}$$

-sendo  $D_{int}=7,792 \times 10^{-2}\text{m}$ ;  $v_b=1,32\text{m/s}$ ;  $\rho=1000\text{kg/m}^3$ ;  $\mu=1,140^{-3}\text{Pa.s}$ .

- $Re=90235$  (regime turbulento)

-na apostila, página 90, obtém-se a rugosidade do aço comercial.

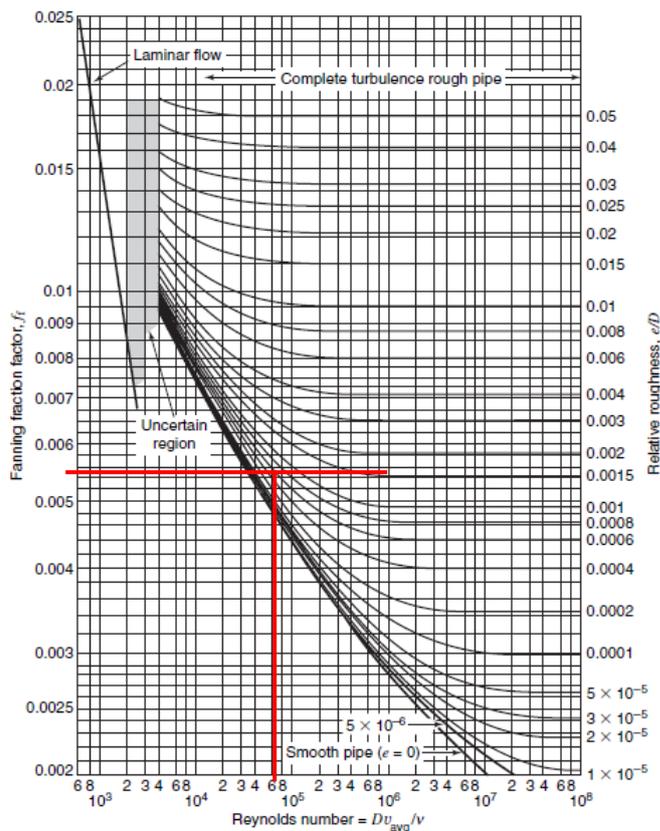
### Equivalent Roughness for New Pipes [from Moody and Colebrook]

Pipe	Equivalent Roughness (mm)
Riveted steel	0,9 – 9,0
Concrete	0,3 – 3,0
Wood Stave	0,18 – 0,9
Cast iron	0,26
Galvanized iron	0,15
<b>Commercial steel</b>	<b>0,045</b>
Wrought iron	0,045
Drawn tubing	0,0015
Plastic	0 (smooth)
Glass	0 (smooth)

Referência: MUNSON, B.R.; YOUNG, D.F.; OKIISHI, T.H. Fundamentals

-rugosidade relativa:  $e/D = 0,054\text{mm}/77,92\text{mm} = 0,000577 = 0,0006$

-com  $Re = 90235$  e  $e/D = 0,0006$ , no Diagrama de Moody:

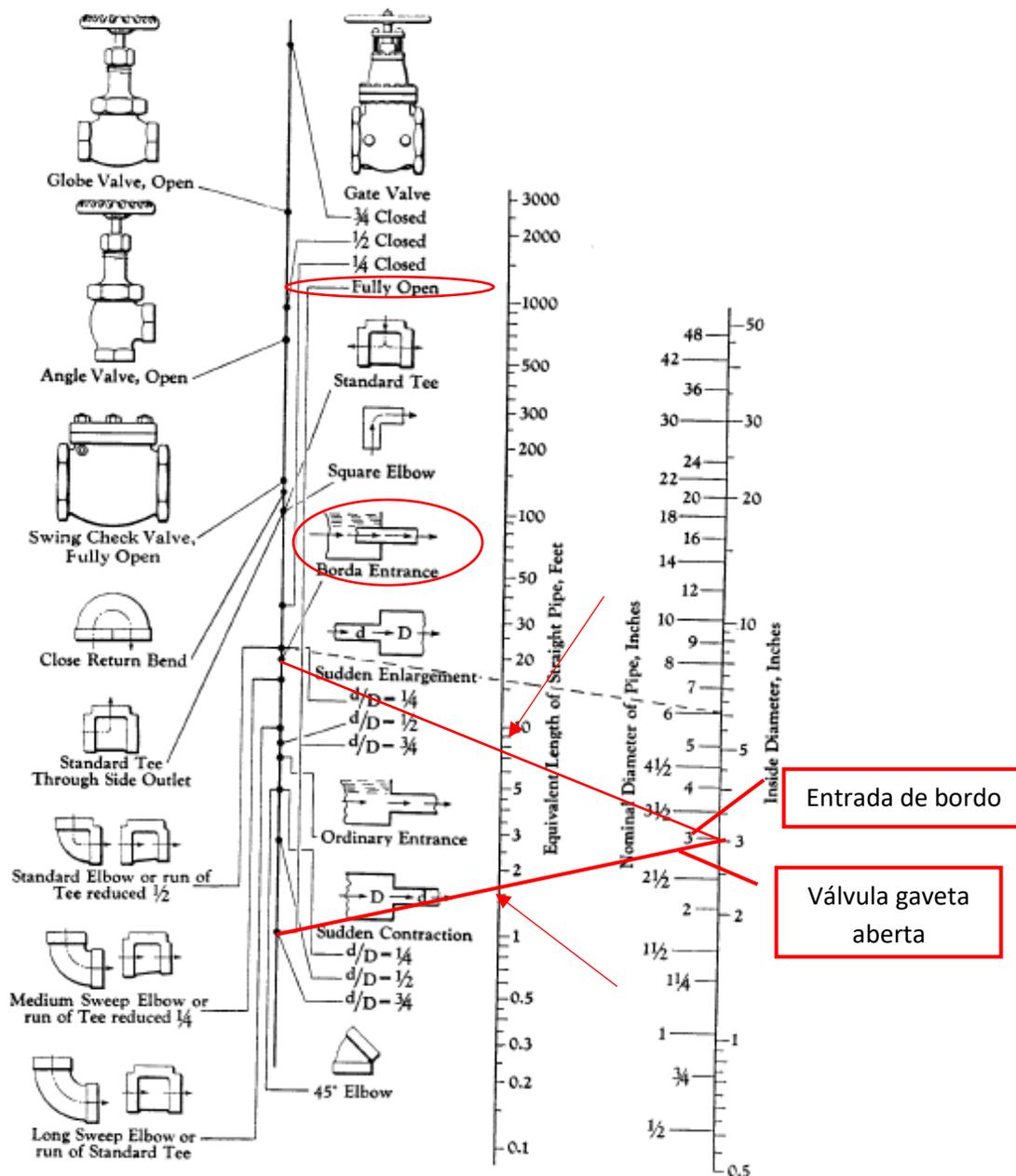


$f = 0,0055$

Como na expressão para  $lw_{tubo}$ , se  $v_b$ ,  $f$  e  $D$  são constantes, podem ser somados os comprimentos de tubos e comprimentos equivalentes de singularidades com esses fatores em comum. Assim, no comprimento  $L$ , ter-se-á:

$$L = L_1 + Leq_{(borda\ de\ entrada)} + L_2 + Leq_{FV1}$$

Para os comprimentos equivalentes da borda de entrada e da válvula gaveta, utiliza-se o gráfico de alinhamento a seguir:



$$Leq(\text{borda de entrada}) = 8\text{ft} = 2,44\text{m}$$

$$Leq_{FV1} = 1,7\text{ft} = 0,518\text{m}$$

Então, para o trecho de tubulação de 3" com as singularidades presentes nesse trecho:

$$lwf_{3''} = \frac{2 \times 0,0055 \times 1,32^2 \times (6,10 + 0,518 + 9,14 + 2,44)}{7,792 \times 10^{-2}} = 4,48 \frac{\text{j}}{\text{kg}}$$

Para o trecho de 2'', o procedimento é semelhante e são obtidos:

$$w_{2''} = 2,93\text{m}$$

$$Re=134934$$

$$e/D=0,0008$$

$$f=0,0047$$

$$Leq(\text{Tê com saída lateral})=12ft=3,657m$$

O lwf total para o trecho de 2" será:

$$lwf_{2"}=59,5j/kg$$

Para a expansão brusca (entrada do tubo de 2" no segundo tanque):

$$lwf_e = \frac{vb^2}{2} \left[ 1 - \frac{A_1}{A_2} \right]$$

Sendo A1 a menor área e A2 a maior área.

Como  $A1/A2 \sim 0$

$$lwf_e = \frac{vb^2}{2} = \frac{2,93^2}{2} = 4,29j/kg$$

$lwf_{total}$  da tubulação:

$$lwf_{total} = 4,48 + 59,5 + 4,29 = 68,28j/kg$$

Retomando a equação de Bernoulli:

$$9,8(5,20 - 0) + 0,70w_s + 68,28 = 0$$

Assim:

$$w_s = -170,34j/kg$$

Para a potência da bomba:

$$\dot{w}_s = w_s \dot{m} = w_s \dot{q} \rho = (-170,34) \times 0,00633 \times 1000 = -1078,3w = -1,45CV$$

$$\dot{w}_s = -1078,3w = -1,45CV$$