Exercício

1. Uma tubulação de ferro fundido revestida com asfalto transporta água na vazão de 20 L/s. Sabe-se que o diâmetro do tubo é de 10 cm. Considerando o trajeto de 1,0 km de tubulação, calcule a perda de carga distribuída da seção. Dados: $\rho = 1000\ kg/m^3$, $\mu = 10^{-4} kgf \cdot s/m^2$)

Lembrete: $1\ \frac{kgf \cdot s}{m^2} \cong 10\ \frac{N \cdot s}{m^2}$

$k = 1{,}2 \times 10^{-4}\ m$

$[\nu] = \dfrac{\dfrac{\frac{kg \cdot m}{s^2} \cdot s}{m^2}}{\dfrac{kg}{m^3}} = \dfrac{\dfrac{\frac{kg \cdot m}{s}}{m^2}}{\dfrac{kg}{m^3}} = \dfrac{\dfrac{kg \cdot m}{s \cdot m^2}}{\dfrac{kg}{m^3}} = \dfrac{kg}{s \cdot m} \cdot \dfrac{m^3}{kg} = \dfrac{m^2}{s}$

Resposta: hf=73,0 m

$$hf = f \cdot \frac{L}{D_H} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g}$$

$$\mu = 10^{-4}\ \frac{kgf \cdot s}{m^2} = 10^{-3}\ \frac{N \cdot s}{m^2} \quad \left(\frac{kg \cdot m}{s^2}\right)$$

$$\left[\begin{array}{l} 1\,kgf = 9{,}8\ N \Rightarrow 1\,kgf = 9{,}8\ \frac{kg \cdot m}{s^2} \\ 1\,kgf \cong 10\ N \Rightarrow 1\,kgf \cong 10\ \frac{kg \cdot m}{s^2} \end{array}\right]$$

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{Q \cdot 4}{\pi \cdot D^2} \Rightarrow v = \frac{20 \cdot 10^{-3} \cdot 4}{\pi \cdot (10 \cdot 10^{-2})^2} \Rightarrow v = 2{,}55\ \frac{m}{s}$$

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \Rightarrow \nu = \frac{10^{-3}}{1000} \Rightarrow \nu = 10^{-6}\ m^2/s$$

$$Re = \frac{v \cdot D}{\nu} \Rightarrow Re = \frac{2{,}55 \cdot 0{,}1}{10^{-6}} \Rightarrow Re = 2{,}6 \cdot 10^5$$

$$\frac{D_H}{k} = \frac{0{,}1}{1{,}2 \cdot 10^{-4}} = 833$$

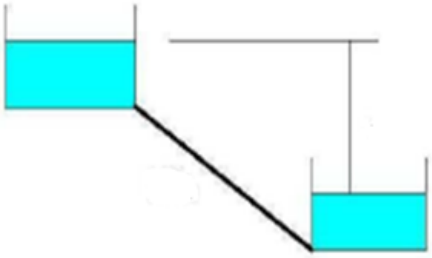
$$f(2{,}6 \cdot 10^5 ;\ 833) = 0{,}022$$

$$hf = f \cdot \frac{L}{D_H} \cdot \frac{v^2}{2g} \Rightarrow hf = 0{,}022 \cdot \frac{1000}{0{,}1} \cdot \frac{2{,}55^2}{2 \cdot 9{,}8}$$

$$hf = 73{,}0\ m$$

Exercício

2. Dois reservatórios são conectados por uma tubulação de concreto ($k=3{,}0\times10^{-4}$ m) 1100 m e 45 cm de diâmetro. Qual a perda de carga no duto, se a vazão é de 49 m^3/h? O fluido tem massa específica de 880 kg/m^3 e viscosidade dinâmica $2{,}7\times10^{-3}$ Pa.s.



Resposta: $hf=4{,}65\times10^{-4}$ m

$k = 3{,}0 \cdot 10^{-4}$ m

$L = 110$ m

$D = 45$ cm

$$Q = \frac{4{,}9}{3600} = 1{,}36\times10^{-3}\ \frac{m^3}{s}$$

$$v = \frac{Q}{A} \Rightarrow v = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot D^2} \Rightarrow v = \frac{4 \cdot 1{,}36\times10^{-3}}{\pi \cdot 0{,}45^2}$$

$$v = 8{,}55 \cdot 10^{-3}\ m/s$$

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \Rightarrow \nu = \frac{2{,}7\times10^{-3}}{880} \Rightarrow \nu = 3{,}07\times10^{-6}\ \frac{m^2}{s}$$

$$Re = \frac{v \cdot D}{\nu} \Rightarrow Re = \frac{8{,}55 \cdot 10^{-3} \cdot 0{,}45}{3{,}07 \cdot 10^{-6}} \Rightarrow Re = 1250$$

$$\text{Laminar} \Rightarrow f = \frac{64}{Re} \Rightarrow f = \frac{64}{1250} \Rightarrow f = 0{,}051$$

$$hf = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2g} \Rightarrow hf = 0{,}051 \cdot \frac{1100}{0{,}45} \cdot \frac{(8{,}55 \cdot 10^{-3})^2}{2 \cdot 9{,}8}$$

$$hf = 0{,}000465 = 4{,}65 \cdot 10^{-4}\ m$$

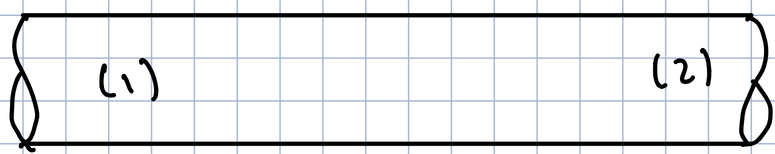
Exercício

3. Uma tubulação de cobre de 450 metros de comprimento e 15 cm de diâmetro transporta um fluido com $\gamma = 900\ kgf/m^3$ e $\nu = 0{,}5 \cdot 10^{-6}\ m^2/s$. A pressão no início da tubulação é de 3350 kgf/m², e a descarga é feita em um tanque aberto à atmosfera. Calcule a vazão do fluido.

Resposta: 23,6 L/s

$$3350\ \frac{kgf}{m^2} = 3{,}29 \times 10^4\ \frac{N}{m^2}$$

$$\gamma = 900\ \frac{kgf}{m^3} \cong 8{,}82 \cdot 10^3\ \frac{N}{m^3}$$



$$H_1 + H_m = H_2 + H_p$$

$$\frac{v_1^2}{2g} + z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + H_m = \frac{v_2^2}{2g} + z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + H_{p_{1,2}}$$

$$v_1 = v_2\ ;\quad z_1 = z_2\ ;\quad H_m = 0\ ;\quad p_2 = 0$$

$$\frac{p_1}{\gamma} = H_{p_{1,2}}$$

$$H_{p_{1,2}} = \frac{3{,}29 \cdot 10^4}{8{,}82 \cdot 10^3} \Rightarrow H_{p_{1,2}} = 3{,}73\ m$$

$$Re = \frac{v \cdot D_H}{\nu}\ ; \qquad h_f = f \cdot \frac{L}{D_H} \cdot \frac{v^2}{2g}$$

$$v = \frac{Re \cdot \nu}{D_H} \qquad v = \sqrt{\frac{2 \cdot g \cdot D_H \cdot h_f}{f \cdot L}}$$

$$\frac{Re \cdot \nu}{D} = \sqrt{\frac{2 \cdot g \cdot DH \cdot ht}{f \cdot L}}$$

$$Re \cdot \sqrt{f} = \frac{DH}{\nu} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot g \cdot DH \cdot ht}{L}}$$

$$Re \sqrt{f} = \frac{0{,}15}{0{,}5 \cdot 10^{-6}} \sqrt{\frac{2 \cdot 9{,}8 \cdot 0{,}15 \cdot 3{,}73}{450}}$$

$$\left.\begin{array}{l} Re \sqrt{f} = 4{,}68 \cdot 10^{4} \\ \text{Cobre} \Rightarrow \text{lisa} \end{array}\right\} \quad f = 0{,}13$$

(gráfico Moody-Rouse)

$$\left.\begin{array}{l} \dfrac{1}{\sqrt{f}} = 2 \cdot \log Re\sqrt{f} - 0{,}8 \\ \dfrac{1}{\sqrt{f}} = 2 \cdot \log \cdot 4{,}68 \cdot 10^{4} - 0{,}8 \\ f = 0{,}0137 \end{array}\right\}$$

Fórmula

$$\nu = \sqrt{\frac{2 \cdot g \cdot DH \cdot ht}{f \cdot L}} \Rightarrow \nu = \sqrt{\frac{2 \cdot 9{,}8 \cdot 0{,}15 \cdot 3{,}73}{0{,}0137 \cdot 450}}$$

$$\nu = 1{,}33 \ m/s$$

$$Q = \nu \cdot A \Rightarrow Q = 1{,}33 \cdot \frac{\pi \cdot 0{,}15^{2}}{4} \Rightarrow Q = 2{,}36 \times 10^{-2} \ m^3/s$$

$$Q = 23{,}6 \ l/s$$

Exercício

4. Em uma instalação hidráulica, dois manômetros distantes 30 metros indicam uma pressão na tubulação de, respectivamente, 1,53 kgf/cm² e 1,43 kgf/cm². O diâmetro interno da tubulação é de 8,0 cm e o fluido sendo transportado tem peso específico de 8500 N/m³ e $\nu = 0{,}5 \cdot 10^{-6}\ m^2/s$. O tubulação é de aço e apresenta ferrugem interna (k=0,6 mm) Determine a vazão do fluido.

Material	Rugosidade equivalente (mm)
Aço, revestimento asfalto quente	0,3 a 0,9
Aço, revestimento esmalte centrifugado	0,01 a 0,06
Aço enferrujado ligeiramente	0,15 a 0,3
Aço enferrujado	0,4 a 0,6
Aço muito enferrujado	0,9 a 2,4
Ferro galvanizado novo, com costura	0,15 a 0,2
Ferro galvanizado novo, sem costura	0,06 a 0,15
Ferro fundido revest. asfalto	0,12 a 0,20
Ferro fundido com crostas	1,5 a 3,0
PVC e Cobre	0,015
Cimento-amianto, novo	0,05 a 0,10

Resposta: 6,8 L/s

$$H_1 + H_m = H_2 + H_{p_{1,2}}$$

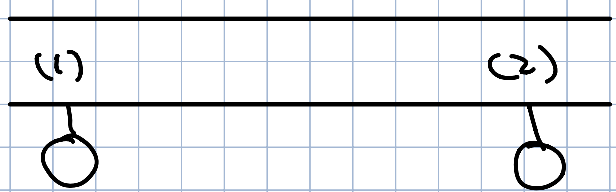
$$H = \frac{v^2}{2g} + z + \frac{p}{\gamma}$$

$v_1 = v_2 \quad z_1 = z_2 \quad H_m = 0$

$\therefore$

$$\frac{p_1}{\gamma} = \frac{p_2}{\gamma} + H_{p_{1,2}}$$

$$H_{p_{1,2}} = \frac{p_1 - p_2}{\gamma}$$



1,53 kgf/cm²   1,43 kgf/cm²

$$1{,}53\ \frac{kgf}{cm^2} = 1{,}53 \cdot \frac{9{,}8\ N}{\frac{m^2}{10.000}} = 1{,}53 \cdot 10.000 \cdot 9{,}8 = 1{,}5 \cdot 10^5\ \frac{N}{m^2}$$

$$1{,}43\ \frac{kgf}{cm^2} = 1{,}43 \cdot 10.000 \cdot 9{,}8 = 1{,}4 \cdot 10^5\ N/m^2$$

$$H_{p_{1,2}} = \frac{(1{,}5 - 1{,}4) \cdot 10^5}{8500} \Rightarrow H_{p_{1,2}} = 1{,}18\ m$$

$h_f = 1{,}18\ m$

$$Re\sqrt{f} = \frac{D_H}{\nu} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot g \cdot D_H \cdot h_f}{L}}$$

$$Re\sqrt{f} = \frac{0{,}08}{0{,}5\cdot 10^{-6}}\sqrt{\frac{2\cdot 9{,}8\cdot 0{,}08\cdot 1{,}18}{30}}$$

$$Re\sqrt{f} = 3{,}97\cdot 10^{4}$$

$$\frac{DH}{k} = \frac{0{,}08}{6\cdot 10^{-4}} = 133$$

$$f(3{,}97\cdot 10^{4};\ 133) = 0{,}038 \quad \text{(gráfico)}$$

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2\cdot \log\frac{DH}{k} + 1{,}14 \Rightarrow f = 0{,}034$$

adotada

$$hf = f\cdot\frac{L}{DH}\cdot\frac{v^2}{2g}$$

$$1{,}18 = 0{,}034\cdot\frac{30}{0{,}08}\cdot\frac{v^2}{2\cdot 9{,}8} \Rightarrow v = 1{,}35\ m/s$$

$$Q = v\cdot A \Rightarrow Q = 1{,}35\cdot\frac{\pi\cdot 0{,}08^2}{4} \Rightarrow Q = 6{,}77\times 10^{-3}\ \frac{m^3}{s}$$

$$Q = 6{,}77\ l/s \Rightarrow Q = 6{,}8\ L/s$$

Exercício

5. Um tubo de ferro galvanizado deverá transportar uma vazão de 1,9 L/s de um fluido ($\nu = 0{,}5 \cdot 10^{-6}\ m^2/s$) a uma distância de 250 metros. A perda de carga máxima admissível é de 3,0 metros. Calcule o diâmetro mínimo do tubo para atender a essa perda.

$0{,}5\times10^{-6}$

Resposta: 62 mm

Método de tentativa

1) Estimar f_1
2) Calcular D_1 e v_1
3) calcular Re e $\frac{DH}{k}$
4) Encontrar f_2
5) Comparar f_1 com f_2

$$hf = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g}$$

$$v = \frac{Q}{A} \Rightarrow v = \frac{Q \cdot 4}{\pi D^2} \Rightarrow v^2 = \frac{16 \cdot Q^2}{\pi^2 D^4}$$

$$hf = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{\overset{8}{\cancel{16}} \cdot Q^2}{\pi^2 D^4} \cdot \frac{1}{\cancel{2}g} \Rightarrow hf = \frac{8 \cdot f \cdot L \cdot Q^2}{\pi^2 D^5 g}$$

$$D^5 = \frac{8 \cdot f \cdot L \cdot Q^2}{\pi^2 \cdot hf \cdot g} \Rightarrow D = \sqrt[5]{\frac{8 \cdot f \cdot L \cdot Q^2}{\pi^2 \cdot hf \cdot g}}$$

p/ $f_1 = 0{,}020$

$$D_1 = \sqrt[5]{\frac{8 \cdot 0{,}02 \cdot 250 \cdot (1{,}9 \cdot 10^{-3})^2}{\pi^2 \cdot 3{,}0 \cdot 9{,}8}} \Rightarrow D_1 = 5{,}49\times10^{-2}$$

$$v_1 = \frac{4Q}{\pi D_1^2} \Rightarrow v_1 = \frac{4 \cdot 1{,}9 \cdot 10^{-3}}{\pi \cdot (5{,}49 \cdot 10^{-2})^2} \Rightarrow v_1 = 0{,}803\ \frac{m}{s}$$

$$Re = \frac{v \cdot D}{\nu} \Rightarrow Re = \frac{0{,}803 \cdot 5{,}49 \cdot 10^{-2}}{0{,}5 \cdot 10^{-6}} \Rightarrow Re = 8{,}82 \times 10^{4}$$

$$\frac{D_1}{k} = \frac{5{,}49 \cdot 10^{-2}}{1{,}52 \cdot 10^{-4}} \Rightarrow \frac{D_1}{k} = 361$$

$$f_2 \left(8{,}82 \cdot 10^{4} \, ; \, 361 \right) = 0{,}027$$

$$f_2 > f_1$$

2ª tentativa $\quad f_2 = 0{,}027$

$$D_2 = \sqrt[5]{\frac{8 \cdot f \cdot L \cdot Q^2}{\pi^2 \cdot h_f \cdot g}} \Rightarrow D_2 = \sqrt{\frac{8 \cdot 0{,}027 \cdot 250 \cdot (1{,}9 \cdot 10^{-3})^2}{\pi^2 \cdot 3 \cdot 9{,}8}} = 5{,}83 \cdot 10^{-2} \, m$$

$$v_2 = \frac{4Q}{\pi D_1^2} \Rightarrow v_2 = \frac{4 \cdot 1{,}9 \cdot 10^{-3}}{\pi \cdot (5{,}83 \times 10^{-2})^2} \Rightarrow v_2 = 0{,}712 \, \frac{m}{s}$$

$$Re = \frac{0{,}712 \cdot 5{,}83 \cdot 10^{-2}}{0{,}5 \cdot 10^{-6}} \Rightarrow Re = 8{,}3 \times 10^{4}$$

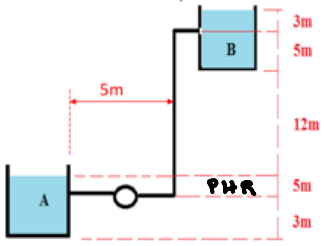
$$\frac{D_H}{k} = \frac{5{,}83 \cdot 10^{-2}}{1{,}52 \cdot 10^{-4}} \Rightarrow \frac{D_H}{k} = 384$$

$$f_3 \left(8{,}3 \cdot 10^{4} \, ; 384 \right) = 0{,}027$$

$$f_3 = f_2 \quad \therefore \quad D = 5{,}83 \times 10^{-2} \, m$$

Exercício

6. Um sistema de bombeamento deve ser projetado para retirar a água ($\gamma = 9810\ N/m^3$; $\nu = 10^{-6}\ m^2/s$) de um reservatório A e elevá-la para um reservatório B. A vazão de projeto do sistema é 90,0 m³/h, o diâmetro da tubulação no sistema é de 10,0 cm, e é de ferro galvanizado. Calcule a potência da bomba considerando uma eficiência de 60%. Utilizar o método das perdas localizadas.



Conexões flangeadas:
Entrada e saída
Dois cotovelos 90° raio longo
Duas válvulas de gaveta (não representadas)

Resposta: 10 kW

$$H_1 + H_B = H_2 + Hp_{1,2}$$

$$z_1 = 5\ m$$

$$z_2 = 25\ m$$

$$Q = \frac{90}{3600} = 2{,}5 \cdot 10^{-2}\ \frac{m^3}{s}$$

$$\cancelto{0}{\frac{v_1^2}{2g}} + z_1 + \cancelto{0}{\frac{P_1}{\gamma}} + H_B = \cancelto{0}{\frac{v_2^2}{2g}} + z_2 + \cancelto{0}{\frac{P_2}{\gamma}} + Hp_{1,2}$$

$$P_1 = P_2 \ ; \quad v_1 = v_2 = 0$$

$$z_1 + H_B = z_2 + Hp_{1,2}$$

$$H_B = z_2 - z_1 + Hp_{1,2}$$

$$H_B = 25 - 5 + Hp_{1,2} \Rightarrow H_B = 20 + Hp_{1,2}$$

cálculo das perdas, Trecho reto, hf

$$hf = f \cdot \frac{L}{D_H} \cdot \frac{v^2}{2g}$$

$$L = 5 + 5 + 12 + 5 = 27\ m$$

$$D_H = 10{,}0\ cm = 0{,}10\ m$$

$$v = \frac{Q}{A} \Rightarrow v = \frac{4 \cdot 2{,}5 \cdot 10^{-2}}{\pi \cdot 0{,}1^2} \Rightarrow v = 3{,}18\ m/s$$

$$Re = \frac{v \cdot D_H}{\nu} \Rightarrow Re = \frac{3{,}18 \cdot 0{,}10}{10^{-6}} \Rightarrow Re = 3{,}18 \cdot 10^5$$

$$\frac{D_H}{k} = \frac{0{,}10}{1{,}52 \cdot 10^{-4}} \Rightarrow \frac{D_H}{k} = 658$$

$$f\,(3{,}18 \cdot 10^4 ;\ 658) = 0{,}023$$

$$hf = 0{,}023 \cdot \frac{27}{0{,}10} \cdot \frac{3{,}18^2}{2 \cdot 9{,}8} \Rightarrow hf = 3{,}21 \text{ m}$$

Perdas localizadas (flangeadas, 10 cm)

ks_1 - entrada = 0,5

ks_2, ks_3 - curvas 90° = 2 x 0,19

ks_4, ks_5 - válvulas gav. = 2 x 0,16

ks_6 - saída = 1,0

$\sum ks = 2{,}20$

$$hs = \sum ks \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g}$$

$$hs = 2{,}2 \cdot \frac{3{,}18^2}{2 \cdot 9{,}8} \Rightarrow hs = 1{,}14 \text{ m}$$

Perda de carga total

$$Hp_{1,2} = hf + hs = 3{,}21 + 1{,}14 \Rightarrow Hp_{1,2} = 4{,}35 \text{ m}$$

Potência da bomba

$$H_B = 20 + H_{p1,2}$$

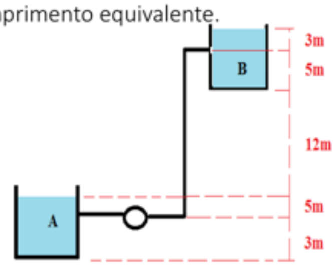
$$H_B = 20 + 4{,}35 \Rightarrow H_B = 24{,}4 \text{ m}$$

$$N_B = \frac{\gamma \cdot Q \cdot H_B}{\eta_B} \Rightarrow N_B = \frac{9810 \cdot 2{,}5 \cdot 10^{-2} \cdot 24{,}4}{0{,}6}$$

$$N_B = 9{,}97 \times 10^{3} \text{ W} \Rightarrow N_B \cong 10 \text{ kW}$$

Exercício

7. Um sistema de bombeamento deve ser projetado para retirar a água ($\gamma = 9810\ N/m^3$; $\nu = 10^{-6}\ m^2/s$) de um reservatório A e elevá-la para um reservatório B. A vazão de projeto do sistema é 9,0 m³/h, o diâmetro da tubulação no sistema é de 10,0 cm. Calcule a potência da bomba considerando uma eficiência de 60%. Utilizar o método do comprimento equivalente.



Dados:
Entrada normal
Saída, Le=3,5 m
Dois cotovelos 90° raio longo
Duas válvulas de gaveta (não representadas)

R/D 1½

- usando os resultados do exercício anterior

Trecho reto = 27 m

conexões

Entrada normal	:	1,6 m
2 curvas 90° 1½	:	2 x 1,3 m
2 válvulas gav.	:	2 x 0,7 m
1 saída	:	3,2 m

$$\Sigma L_{e_s} = 8{,}8 \text{ m}$$

$$L_e = L_{Liso} + L_{es} = 27 + 8{,}8 = 35{,}8\,m$$

$$hf = f \cdot \frac{L_e}{D_H} \cdot \frac{v_1^2}{2g}$$

$$hf = 0{,}023 \cdot \frac{35{,}8}{0{,}1} \cdot \frac{3{,}18^2}{2 \cdot 9{,}8} \Rightarrow hf = 4{,}25\,m$$

$$H_{P1,2} = 4{,}25\,m$$

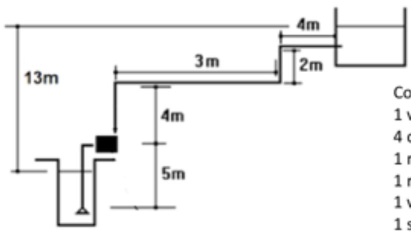
$$H_B = 20 + H_{P1,2} = 20 + 4{,}25 = 24{,}25\,m$$

$$N_B = \frac{\gamma \cdot Q \cdot H_B}{\eta} \Rightarrow N_B = \frac{9810 \cdot 2{,}5 \cdot 10^{-2} \cdot 24{,}25}{0{,}6}$$

$$N_B = 9{,}91 \times 10^3\ W \qquad N_B \cong 10\,kW$$

Exercício

8. A vazão da instalação abaixo é de 4,0 L/s de água ($\gamma = 9810\ N/m^3$; $\nu = 10^{-6}\ m^2/s$). O diâmetro da tubulação é de 2", de ferro galvanizado. Determinar a potência da bomba, considerando um rendimento de 70%. Utilizar o método dos comprimentos equivalentes.



Conexões:
1 válvula de pé com crivo
4 curvas 90° R/D 1
1 registro de gaveta
1 registro globo
1 válvula de retenção leve
1 saída flangeada

Sugestão: para f, usar fórmula para valores altos de Re.

$$H_1 + H_B = H_2 + H_{p_{1,2}}$$

$z_1 = 0 \quad m$

$z_2 = 13 \quad m$

$P_1 = P_2 = 0 \quad N/m^2$

$v_1 = v_2 = 0 \quad m/s$

$k = 1{,}52 \times 10^{-4} \quad m$

$$\cancel{\frac{v_1^2}{2\cdot g}} + z_1 + \cancel{\frac{P_1}{\gamma}} + H_B = \cancel{\frac{v_2^2}{2g}} + z_2 + \cancel{\frac{P_2}{\gamma}} + H_{p_{1,2}}$$

$$z_1 + H_B = z_2 + H_{p_{1,2}}$$

$$H_B = z_2 - z_1 + H_{p_{1,2}} \Rightarrow H_B = 13 + H_{p_{1,2}}$$

$$H_{p_{1,2}} = h_f \qquad h_f = f \cdot \frac{L_e}{D_H} \cdot \frac{v^2}{2\cdot g}$$

$$D_H = 2'' = 5{,}08 \times 10^{-2} \ m$$

$$v = \frac{Q}{A} \Rightarrow v = \frac{Q \cdot 4}{\pi \cdot D^2} \Rightarrow v = \frac{40 \cdot 10^{-3} \cdot 4}{\pi \cdot (5{,}08 \cdot 10^{-2})^2} = 1{,}97 \ m/s$$

$$Re = \frac{v \cdot D_H}{\nu} \Rightarrow Re = \frac{1{,}97 \times 5{,}08 \cdot 10^{-2}}{10^{-6}} \Rightarrow Re = 10^5$$

$$\frac{D_H}{k} = \frac{5{,}08 \cdot 10^{-2}}{1{,}52 \cdot 10^{-4}} \Rightarrow \frac{D_H}{k} = 334$$

$$f(10^6;\ 334) = 0{,}026 \quad \text{(fórmula p/ Re alto)}$$

Comprimentos equivalentes:

Trechos retos: $L_r = 5+4+3+2+4 = 18 \ m$

Conexões

válvula de pé c/ crivo = 14,0 m

4 curvas 90° B/D 1 = $4 \times 0,9$ = 3,6 m

1 registro gaveta = 0,4 m

1 registro globo = 17,4 m

1 válvula de retenção tipo leve = 4,2 m

1 saída = 1,5 m

$L_c = 41,1 \ m$

$L_e = L_r + L_c \Rightarrow L_e = 18 + 41,1 \Rightarrow L_e = 59,1 \ m$

$$h_f = f \cdot \frac{L_e}{D_H} \cdot \frac{v^2}{2g} \Rightarrow h_f = 0,026 \cdot \frac{59,1}{5.08 \cdot 10^{-2}} \cdot \frac{1,97^2}{2 \cdot 9,8}$$

$h_f = 5,99 \ m = H_{p\,1,2}$

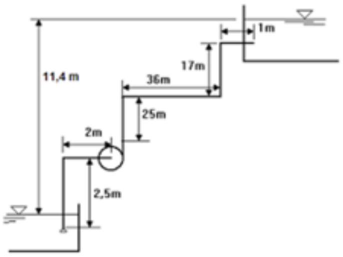
$H_B = 13 + H_{p\,1,2} \Rightarrow H_B = 13 + 5,99 \Rightarrow H_B = 19,0 \ m$

$$N_B = \frac{\gamma \cdot Q \cdot H_B}{\eta_B} \Rightarrow N_B = \frac{9810 \cdot 40 \cdot 10^{-3} \cdot 19}{0,7}$$

$N_B = 1,07 \ kW$

Exercício

9. A vazão da instalação abaixo é de 12,8 L/s de água ($\gamma = 9810\ N/m^3$; $\nu = 10^{-6}\ m^2/s$). O diâmetro da tubulação é de 4", de ferro galvanizado. Determinar a potência da bomba, considerando um rendimento de 75%. Utilizar o método das perdas localizadas.



Conexões:
Todas flangeadas
1 válvula de pé com crivo, k_s=1,75
4 cotovelos 90° comuns
1 válvula globo
1 válvula gaveta
1 válvula rentenção
1 descarga

Resposta: 0,66 kW

$$Q = 1{,}28 \cdot 10^{-2}\ m^3/s$$

$$D_H = 0{,}102\ m \qquad (4")$$

$$k = 1{,}52 \cdot 10^{-4}\ m$$

$$\eta_B = 0{,}75$$

$$H_1 + H_B = H_2 + H_{P_{1,2}}$$

$$z_1 = 0\ ;\ z_2 = 11{,}4\ m\ ;\ P_1 = P_2 = 0\ ;\ v_1 = v_2 = 0$$

$$H_B = z_2 - z_1 + H_{P_{1,2}} \Rightarrow H_B = 11{,}4 + H_{P_{1,2}}$$

Trecho reto

$$h_f = f \cdot \frac{L}{D_H} \cdot \frac{v^2}{2g}$$

$$L = 2{,}5 + 2 + 25 + 36 + 17 + 1 = 83{,}5\ m$$

$$v = \frac{Q}{A} \Rightarrow v = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot D^2} \Rightarrow v = \frac{4 \cdot 1{,}28 \times 10^{-2}}{\pi \cdot 0{,}102^2} \Rightarrow v = 1{,}57\ m/s$$

$$Re = \frac{v \cdot D_H}{\nu} \Rightarrow Re = \frac{1{,}57 \cdot 0{,}102}{10^{-6}} \Rightarrow Re = 1{,}6 \cdot 10^5$$

$$\frac{D_H}{k} = \frac{0{,}102}{1{,}52 \cdot 10^{-4}} \Rightarrow D_H = 671$$

$$f(1{,}6 \cdot 10^5\ ;\ 671) = 0{,}023$$

$$hf = f \cdot \frac{L}{DH} \cdot \frac{v^2}{2g} \Rightarrow hf = 0{,}023 \cdot \frac{83{,}5}{0{,}102} \cdot \frac{1{,}57^2}{2 \cdot 9{,}8} \Rightarrow hf = 2{,}37\ m$$

Perdas localizadas: (k_s) Flangeadas

1 válvula de pé com crivo : 1,75
4 cotovelos 90° comum : 4 x 0,3
1 válvula globo : 6,0
1 válvula gaveta : 0,16
1 válvula de retenção : 2,5
1 descarga turbulenta = 1,0

$$\sum k_s = 12{,}6$$

$$h_s = \sum k_s \cdot \frac{v^2}{2g} \Rightarrow h_s = 12{,}6 \cdot \frac{1{,}57^2}{2 \cdot 9{,}8} \Rightarrow h_s = 1{,}58\ m$$

$$H_{B\,1,2} = hf + h_s \Rightarrow H_{B\,1,2} = 2{,}37 + 1{,}58 \Rightarrow H_{B_{1,2}} = 3{,}95\ m$$

$$N_B = \frac{\gamma \cdot Q \cdot H_B}{\eta_B} \Rightarrow N_B = \frac{9810 \cdot 1{,}28 \cdot 10^{-2} \cdot 3{,}95}{0{,}7}$$

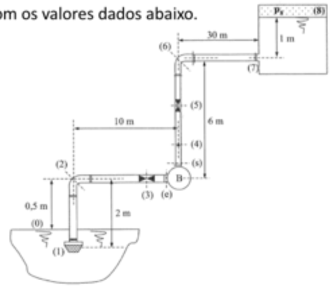
$$N_B = 6{,}6 \times 10^2\ W$$

Exercício

10. A vazão da instalação abaixo é de 40 L/s de água ($\gamma = 9810\ N/m^3$; $\nu = 10^{-6}\ m^2/s$). O diâmetro da tubulação de sucção é de 15 cm e a de recalque é de 10 cm, ambas de ferro galvanizado. A pressão no reservatório superior é mantida constante a 532 kPa. Determinar a potência da bomba, considerando um rendimento de 70%. Utilizar o método das perdas localizadas, com os valores dados abaixo.

Conexões:

(1) Válvula de pé com crivo, k_{s1}=15
(2) e (6) Cotovelos, k_{s2}=k_{s6}=0,9
(3) e (5) Registros globo, k_{s3}=k_{s5}=10
(4) Válvula de retenção, k_{s4}=0,5
(7) Alargamento brusco, k_{s7}=1,0



S ⇒ Sucção ; R ⇒ recalque

$$H_0 + H_B = H_8 + H_{p_{0,8}}$$

$v_0 = 0\ m/s$; $z_0 = 0$; $P_0 = 0$ $\therefore$ $H_0 = 0\ m$

$$H_8 = \frac{v_8^2}{2\cdot g} + z_8 + \frac{P_8}{\gamma} \quad ; \quad H_B = H_8 + H_{p_{0,8}}$$

$v_8 = 0\ m/s$; $z_8 = 7,5\ m$; $P_8 = 532\times10^3$

$$H_8 = 0 + 7,5 + \frac{532\times10^3}{10^4} \Rightarrow H_8 = 60,7\ m$$

Perdas ⇒ $H_{p_{0,8}} = h_{f_S} + h_{f_R} + h_{s_S} + h_{s_R}$

a) h_{f_S} (trecho reto sucção)

$$v_S = \frac{Q}{A} \Rightarrow v_S = \frac{4\cdot Q}{\pi\cdot D^2} \Rightarrow v_S = \frac{4\cdot 40\cdot10^{-3}}{\pi\cdot 0,15^2} = 2,26\ m/s$$

$$Re = \frac{v\cdot D_H}{\nu} \Rightarrow Re = \frac{2,26\cdot 0,15}{10^{-6}} \Rightarrow Re = 3,4\cdot10^5$$

$$\frac{D_H}{k} = \frac{0,15}{1,52\cdot10^{-4}} \Rightarrow \frac{D_H}{k} = 987$$

$f = 0,021$

$$hfs = f \cdot \frac{Ls}{DH} \cdot \frac{v^2}{2g} \Rightarrow hfs = 0{,}021 \cdot \frac{12}{0{,}15} \cdot \frac{2{,}26^2}{2 \cdot 9{,}8} = 0{,}44$$

b) $h_{s_s} \Rightarrow$ Perdas singulares sucção

$$h_{s_s} = \sum k_s \cdot \frac{v_s^2}{2g} \Rightarrow h_{s_s} = (k_{s_1} + k_{s_2} + k_{s_3}) \cdot \frac{v_s^2}{2 \cdot g}$$

$$h_{s_s} = (15 + 0{,}9 + 10) \cdot \frac{2{,}26^2}{2 \cdot 9{,}8} \Rightarrow h_{s_s} = 6{,}75 \text{ m}$$

$$\therefore \; h_{sucção} = 0{,}44 + 6{,}75 = 7{,}19 \text{ m}$$

c) hf_R (trecho relo recalque)

$$v = \frac{Q}{A} \Rightarrow v = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot D^2} \Rightarrow v = \frac{4 \cdot 40 \cdot 10^{-3}}{\pi \cdot 0{,}1^2} = 5{,}09 \text{ m/s}$$

$$Re = \frac{v \cdot DH}{\nu} \Rightarrow Re = \frac{5{,}09 \cdot 0{,}1}{10^{-6}} \Rightarrow Re = 5{,}09 \cdot 10^5$$

$$\frac{DH}{k} = \frac{0{,}1}{1{,}52 \cdot 10^{-4}} \Rightarrow \frac{DH}{k} = 658$$

$f = 0{,}022$

$$hf_R = f \cdot \frac{L_R}{DH_R} \cdot \frac{v_R^2}{2g} \Rightarrow hf_R = 0{,}022 \cdot \frac{36}{0{,}1} \cdot \frac{5{,}09^2}{2 \cdot 9{,}8}$$

$$hf_R = 10{,}5 \text{ m}$$

d) h_{sR} (perdas singulares recalque)

$$h_{sR} = \sum k_s \cdot \frac{v_R^2}{2g} \Rightarrow h_{sR} = (k_{s4} + k_{s5} + k_{s6} + k_{s7}) \cdot \frac{v_R^2}{2 \cdot g}$$

$$h_{sR} = (0{,}5 + 10 + 0{,}9 + 1) \cdot \frac{5{,}09^2}{2 \cdot 9{,}8} \Rightarrow h_{sR} = 16{,}4 \text{ m}$$

Perda no recalque

$$h_{recalque} = 10{,}5 + 16{,}4 = 26{,}9 \text{ m}$$

Perda total $\quad H_{P0,8} = 7{,}19 + 26{,}9$

$$H_{P0,8} = 34{,}1 \text{ m}$$

Potência da bomba:

$$H_B = H_8 + H_{P0,8}$$

$$H_B = 60{,}7 + 34{,}1 \Rightarrow H_B = 94{,}8 \text{ m}$$

$$N_B = \frac{\gamma \cdot Q \cdot H_B}{\eta_B} \Rightarrow N_B = \frac{9810 \cdot 40 \cdot 10^{-3} \cdot 94{,}8}{0{,}7}$$

$$N_B = 5{,}31 \times 10^4 \text{ W}$$