

Laboratório de Engenharia Química I

Aula Prática 06

Determinação da perda de carga total e da potência de uma bomba centrífuga

Prof. Dr. Gilberto Garcia Cortez

1- Introdução

Nesta experiência iremos determinar a potência de uma máquina motriz (bomba centrífuga) a partir da equação da energia mecânica em regime permanente, utilizando um sistema hidráulico constituído de tubulações e acessórios e estudar os efeitos das perdas de carga em escoamentos internos de um fluido (água) incompressível.

Objetivos:

- Determinar a potência de uma bomba centrífuga a partir da vazão volumétrica e das perdas de carga distribuída e localizadas na linha de sucção e recalque de um sistema hidráulico constituído de um tanque de água, tubulações e acessórios.

2- Considerações de energia no escoamento em tubos

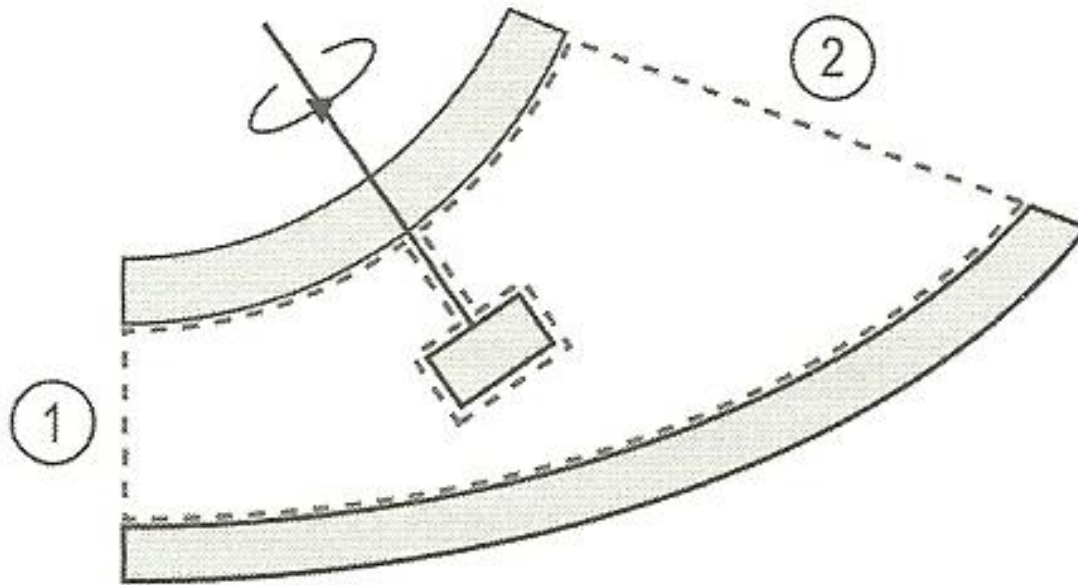
Num escoamento sem atrito (fluido ideal), a equação de *Bernoulli* poderia ser utilizada para calcular os efeitos das variações de elevação e velocidade em um linha de tubulação sem a presença de acessórios, válvulas ou máquinas motrizes (bombas ou turbinas).

No caso de escoamento reais, a preocupação principal são os efeitos do atrito na linha de tubulação. Estes “atritos” provocam a queda de pressão, causam uma diminuição na velocidade do escoamento, quando comparado com o caso do escoamento ideal ou sem atrito.

A partir da equação da energia, é possível obter esclarecimentos adicionais sobre a natureza das perdas por pressão, nos escoamentos viscosos internos e incompressível.

$$\dot{Q} - \dot{W}_s - \dot{W}_{cis} - \dot{W}_{outros} = \frac{\partial}{\partial t} \int_{VC} e \rho dV + \int_{SC} \left(u + \frac{P}{\rho} + \frac{v^2}{2} + gh \right) \rho \vec{v} \cdot d\vec{A} \quad (1)$$

Considere, por exemplo, o escoamento permanente através de um sistema de tubos, incluindo uma curva com expansão, como mostrado na figura a seguir. Entre as superfícies 1 e 2 existe uma máquina motriz. As fronteiras do volume de controle são mostradas como linhas tracejadas. Elas são perpendiculares ao escoamento nas seções 1 e 2 e coincidem com as superfícies interna nas outras partes.



Considerações:

- 1) Escoamento permanente;
- 2) Fluido incompressível, $\rho = \text{cte}$;
- 4) As áreas de SC em (1) e (2) são perpendiculares à velocidade;
- 5) Não há outros trabalhos;
- 5) Energia interna e pressão são uniformes através das seções de entrada e saída.

$$\dot{Q} - \dot{W}_s - \cancel{\dot{W}_{\text{cis}}} - \cancel{\dot{W}_{\text{outros}}} = \frac{\partial}{\partial t} \int_{\text{VC}} e p dV + \int_{\text{SC}} \left(u + \frac{P}{\rho} + \frac{v^2}{2} + gh \right) \rho \vec{v} \cdot d\vec{A}$$

$$\dot{Q} - \dot{W}_s = \int_{\text{SC}} \left(u + \frac{v^2}{2} + gh + \frac{p}{\rho} \right) \rho \vec{v} \cdot d\vec{A}$$

$$\dot{Q} - \dot{W}_s = \int_{SC} u \rho \vec{v} \cdot d\vec{A} + \int_{SC} gh \rho \vec{v} \cdot d\vec{A} + \int_{SC} \frac{p}{\rho} \rho \vec{v} \cdot d\vec{A} + \int_{SC} \frac{v^2}{2} \rho \vec{v} \cdot d\vec{A}$$

$$\dot{Q} - \dot{W}_s = (u_2 - u_1) \rho v A + (h_2 - h_1) g \rho v A + \left(\frac{p_2}{\rho} - \frac{p_1}{\rho} \right) \rho v A +$$

$$\int_{A_2} \frac{v_2^2}{2} \rho v dA_2 - \int_{A_1} \frac{v_1^2}{2} \rho v dA_1$$

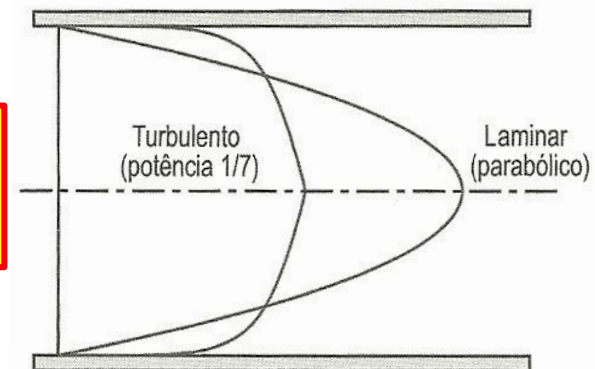
$$\dot{m} = \rho v A \text{ (vazão em massa)}$$

O *coeficiente de energia cinética*, α , é definido como:

$$\int_A \frac{v^2}{2} \rho v dA = \alpha \int_A \frac{\bar{v}^{-2}}{2} \rho v dA = \alpha \dot{m} \frac{\bar{v}^{-2}}{2} \quad (3)$$

$$\alpha = \frac{\int_A \rho v^3 dA}{\dot{m} \bar{v}^2} \quad (4)$$

Para escoamento laminar em um tubo, $\alpha = 2$
Para escoamento turbulento em um tubo, $\alpha \approx 1$



$$-\frac{\delta W_s}{dm} = \left(\frac{p_2}{\rho} + \frac{\alpha_2 \bar{v}_2^2}{2} + h_2 g \right) - \left(\frac{p_1}{\rho} + \frac{\alpha_1 \bar{v}_1^2}{2} + h_1 g \right) + \left[(u_2 - u_1) - \frac{\delta Q}{dm} \right]$$

Perda de carga total

$$h_{\ell T} = \left[(u_2 - u_1) - \frac{\delta Q}{dm} \right]$$

$$-\frac{\delta W_s}{dm} = \left(\frac{p_2}{\rho} + \frac{\alpha_2 \bar{v}_2^2}{2} + h_2 g \right) - \left(\frac{p_1}{\rho} + \frac{\alpha_1 \bar{v}_1^2}{2} + h_1 g \right) + h_{\ell T} \quad (2)$$

O termo $\frac{p}{\rho} + \frac{\alpha \bar{v}^2}{2} + hg$ representa a energia mecânica por unidade de massa numa seção.

O termo $(u_2 - u_1) - \frac{\delta Q}{dm}$ é igual à diferença de energia mecânica por unidade de massa entre as seções 1 e 2. Este termo representa a conversão (irreversível) de energia mecânica na seção 1 em energia térmica indesejada $(u_2 - u_1)$ e perda de energia através de transferência de calor $(-\frac{\delta Q}{dm})$. Identificamos este grupo de termos como perda de carga total, $h_{\ell T}$, na linha da tubulação (acessórios + tubos).

O termo $\frac{\delta W_s}{dm}$ é o trabalho adicionado ou recebido pela máquina motriz (bomba ou turbina).

A equação 2 pode ser escrita para sistemas que contêm **bomba** na linha:

$$\frac{\delta W_s}{dm} = - \frac{\delta W_B}{dm} \quad (3)$$

É o trabalho mecânico fornecido pela bomba para o fluido

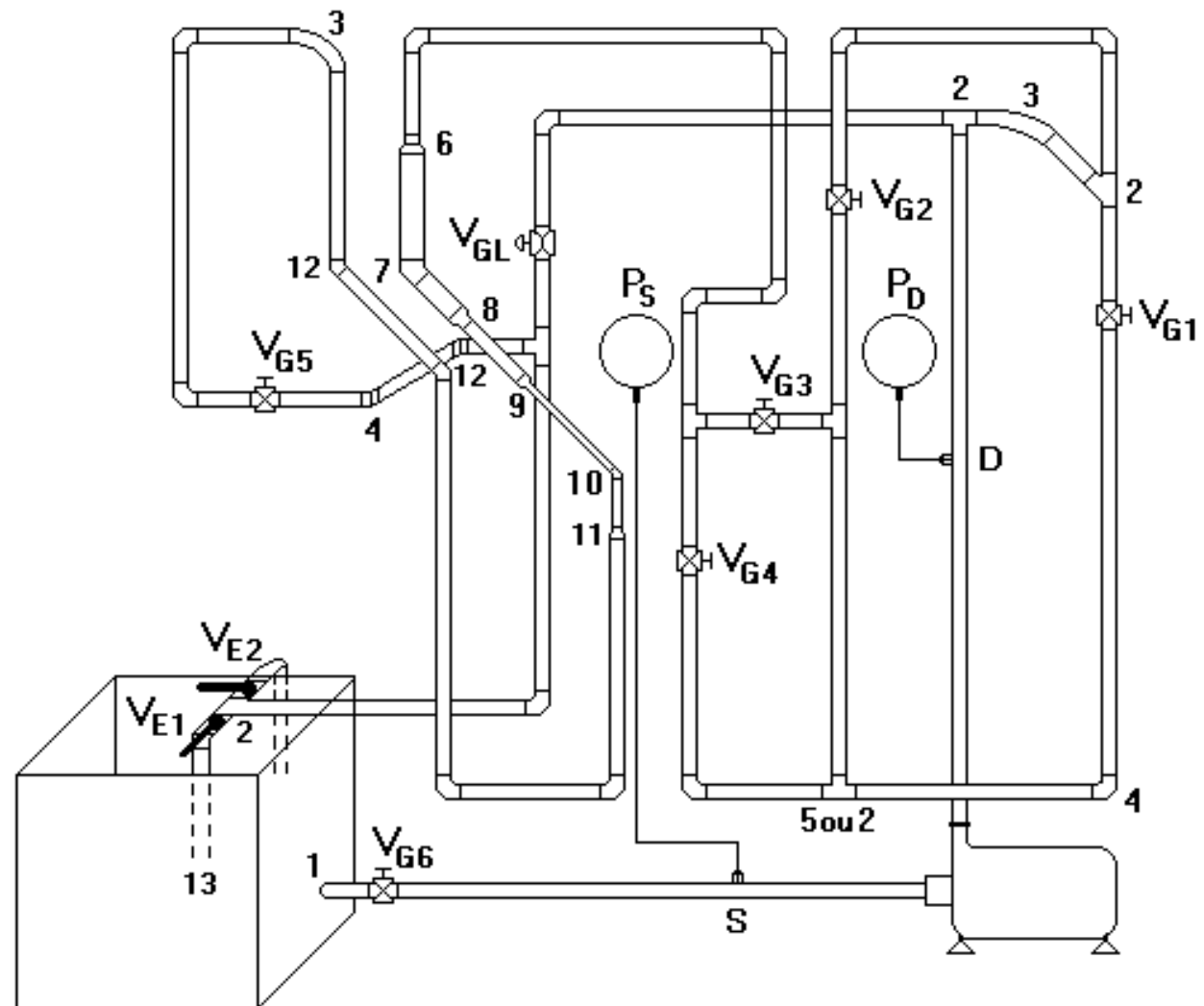
$$\frac{\delta W_B}{dm} = \left(\frac{p_2}{\rho} + \frac{\alpha_2 \bar{v}_2^2}{2} + h_2 g \right) - \left(\frac{p_1}{\rho} + \frac{\alpha_1 \bar{v}_1^2}{2} + h_1 g \right) + h_{\ell T} \quad (4)$$

$$\frac{\delta W_B}{dm} = (W_s)_B \quad (5)$$

$$\left(\frac{p_1}{\rho} + \frac{\alpha_1 \bar{v}_1^2}{2} + h_1 g \right) - \left(\frac{p_2}{\rho} + \frac{\alpha_2 \bar{v}_2^2}{2} + h_2 g \right) = h_{\ell T} - (W_s)_B \quad (6)$$

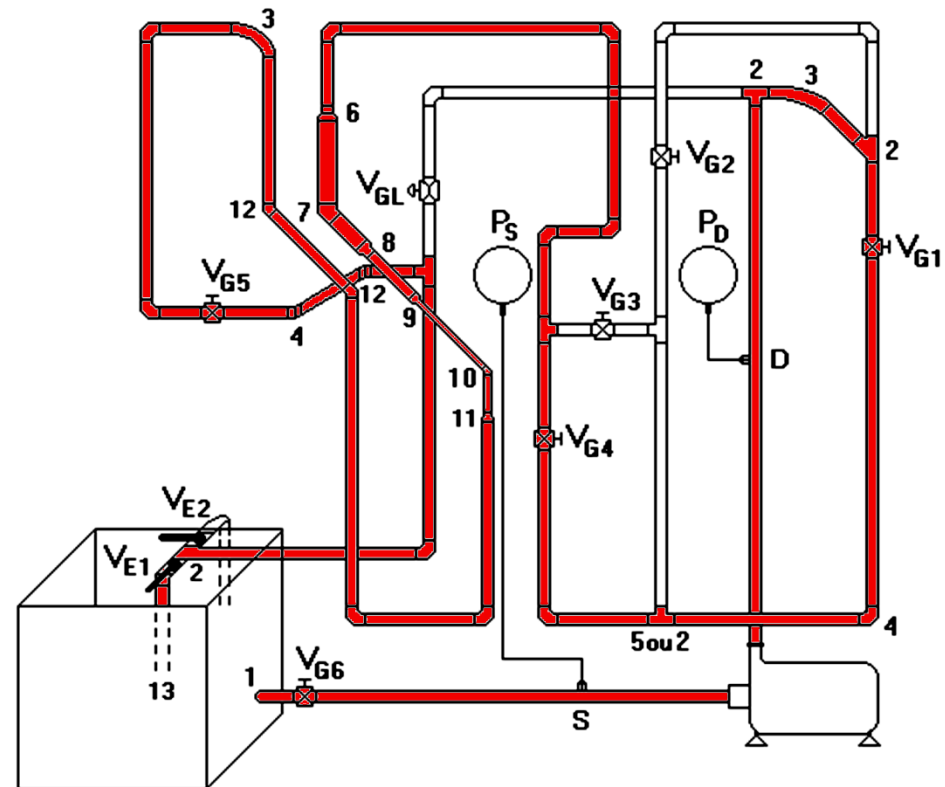
$\alpha = 1$ (regime turbulento) ; $\alpha = 2$ (regime laminar)

Arranjo físico



PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Escolher um determinado percurso.

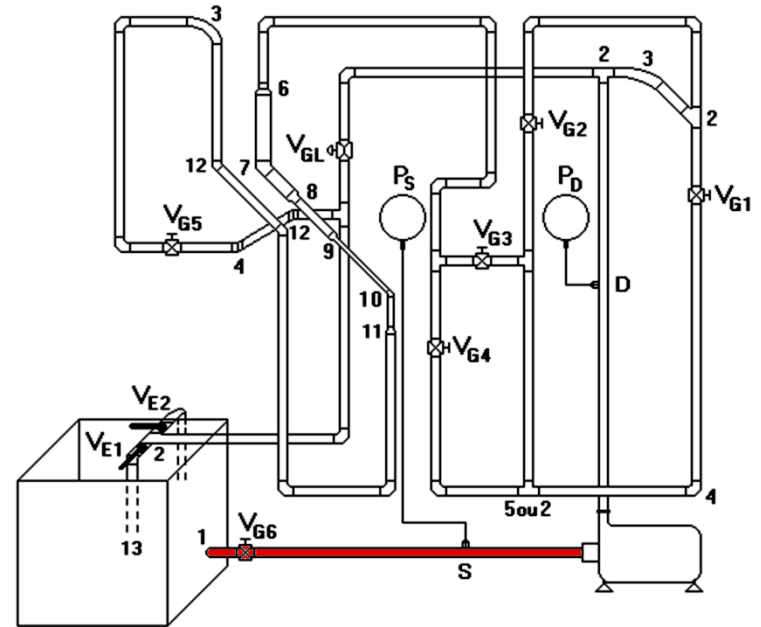


Diâmetros internos das tubulações

$$D_{(1/2'')} = 0,013\text{m}; D_{(3/4'')} = 0,019\text{m}; D_{(1'')} = 0,025\text{m}$$

PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

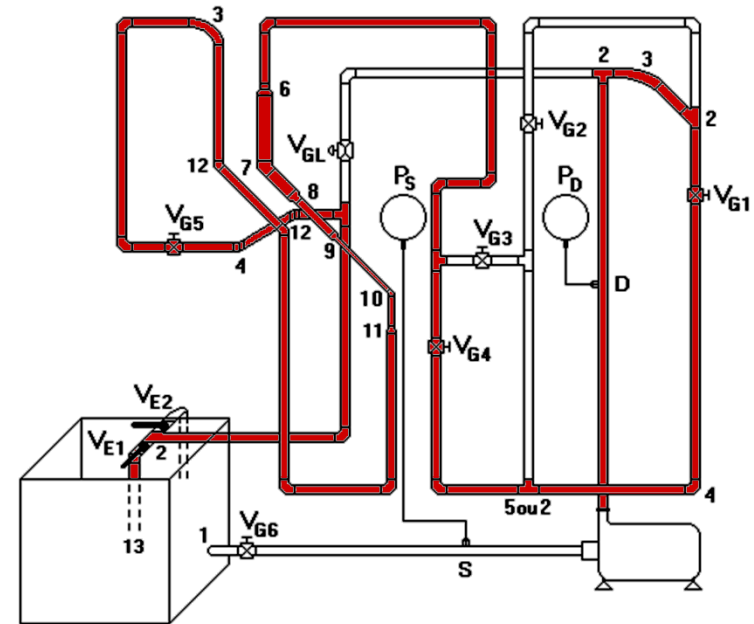
Calcular o comprimento equivalente na linha de sucção (tubo reto e acessórios).



Linha de Sucção		
Acessórios em PVC	Le (m)	K (constante)
Entrada de borda de 3/4"		
União de 3/4"		
Acessórios em Metal	Le (m)	K (constante)
Registro gaveta aberto 3/4"		
Tubo reto na linha de sucção (m)		
Diâmetro da tubulação: 3/4"		
Le =		

PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

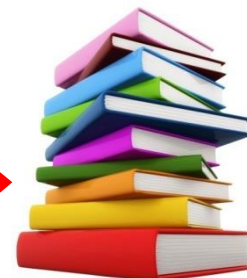
Linha de Recalque		
Acessórios em PVC	Le (m)	K (constante)
União de 3/4"		
Joelho 90° de 3/4"		
Curva 90° de 3/4"		
Joelho 45° de 3/4"		
Joelho 45° de 1/2"		
Joelho 45° de 1"		
Luva de 3/4"		
Tê passagem direta 3/4"		
Tê passagem lateral 3/4"		
Redução de 1" para 3/4"		
Redução de 3/4" para 1/2"		
Expansão de 3/4" para 1"		
Expansão de 1/2" para 3/4"		
Saída de canalização de 3/4"		
Acessórios em Metal	Le (m)	K (constante)
Registro gaveta aberto 3/4"		
Registro de esfera aberto 3/4"		
Tubo reto na linha de recalque (m)		
Diâmetro da tubulação: 3/4"		
Le =		
Diâmetro da tubulação: 1"		
Le =		
Diâmetro da tubulação: 1/2"		
Le =		



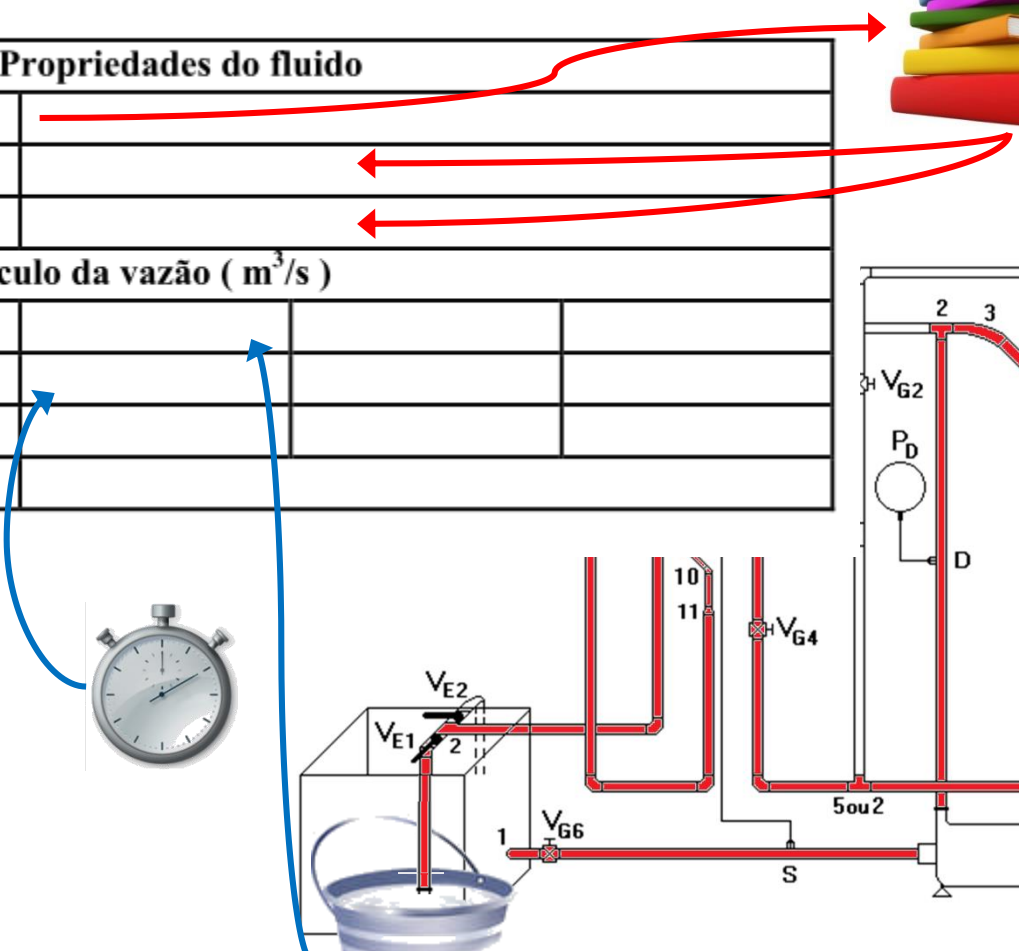
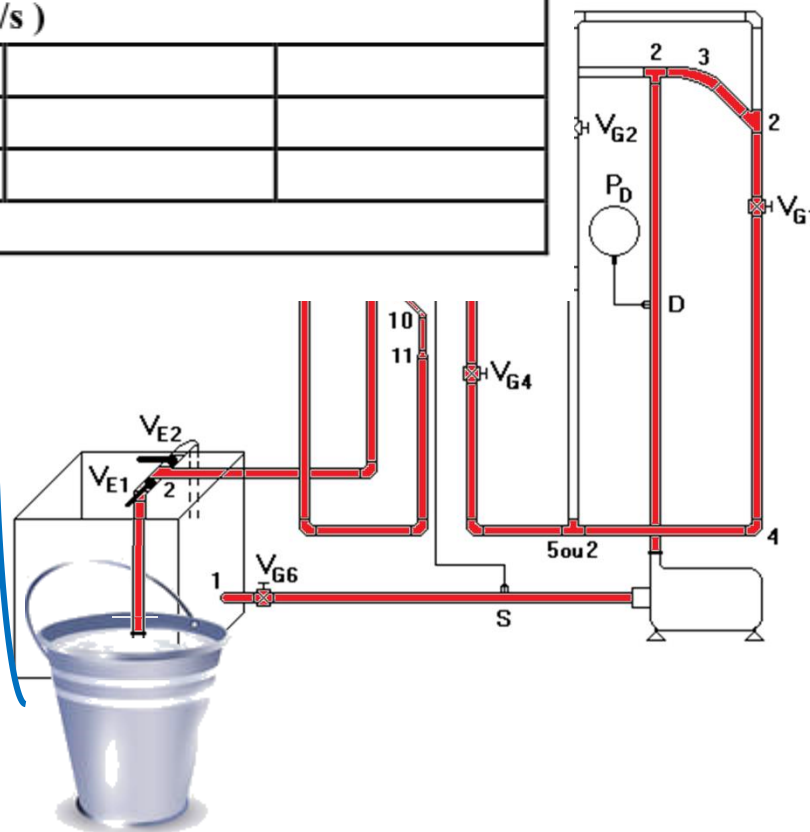
Calcular o comprimento equivalente na linha de recalque (tubo reto e acessórios).

PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Propriedades do fluido



Propriedades do fluido			
Temperatura da água (°C)			
Massa específica da água (kg/m ³)			
Viscosidade da água (kg/m.s)			
Cálculo da vazão (m ³ /s)			
Massa da água (kg)			
Tempo (s)			
Q (m ³ /s)			
Q médio (m ³ /s)			



EQUAÇÕES

Perda de carga total:

$$h_{\ell T} = h_{\ell m} + h_{\ell}$$

Perda de carga distribuída:

$$h_{\ell} = f \frac{L}{D} \frac{\bar{v}^2}{2}$$

Perda de carga localizada:

$$h_{\ell m} = f \frac{L_e}{D} \frac{\bar{v}^2}{2}$$

$$h_{\ell m} = K \frac{\bar{v}^2}{2}$$

Número de Reynolds:

$$R_e = \frac{\rho \bar{v} D}{\mu} = \frac{\rho 4Q}{\mu \pi D}$$

$$\bar{v} = \frac{4Q}{\pi D^2}$$

Vazão volumétrica:

$$Q = \frac{\text{Volume coletado}}{\text{Tempo}} = \frac{\text{Massa da água coletado}}{\rho_{\text{água}} \cdot \text{Tempo}}$$

Potência na máquina motriz (Bomba):

Unidades: SI

$$P_m = \dot{m}|W_s| \equiv [\text{Watt}] ; W_s \equiv \left[\frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} \right]$$

$$1 \text{ hp} = 745,6 \text{ Watt}$$

$$P_m = \frac{\dot{m}|W_s|}{745,6} \equiv [\text{hp}] ; \dot{m} = \rho_{\text{fluido}} \cdot Q \equiv \left[\frac{\text{Kg}}{\text{s}} \right]$$

ρ = massa específica do fluido (kg/m^3)

Q = vazão volumétrica do fluido (m^3/s)

W_s = Trabalho no eixo (bomba) (m^2/s^2)

Viscosidade e massa específica da água:

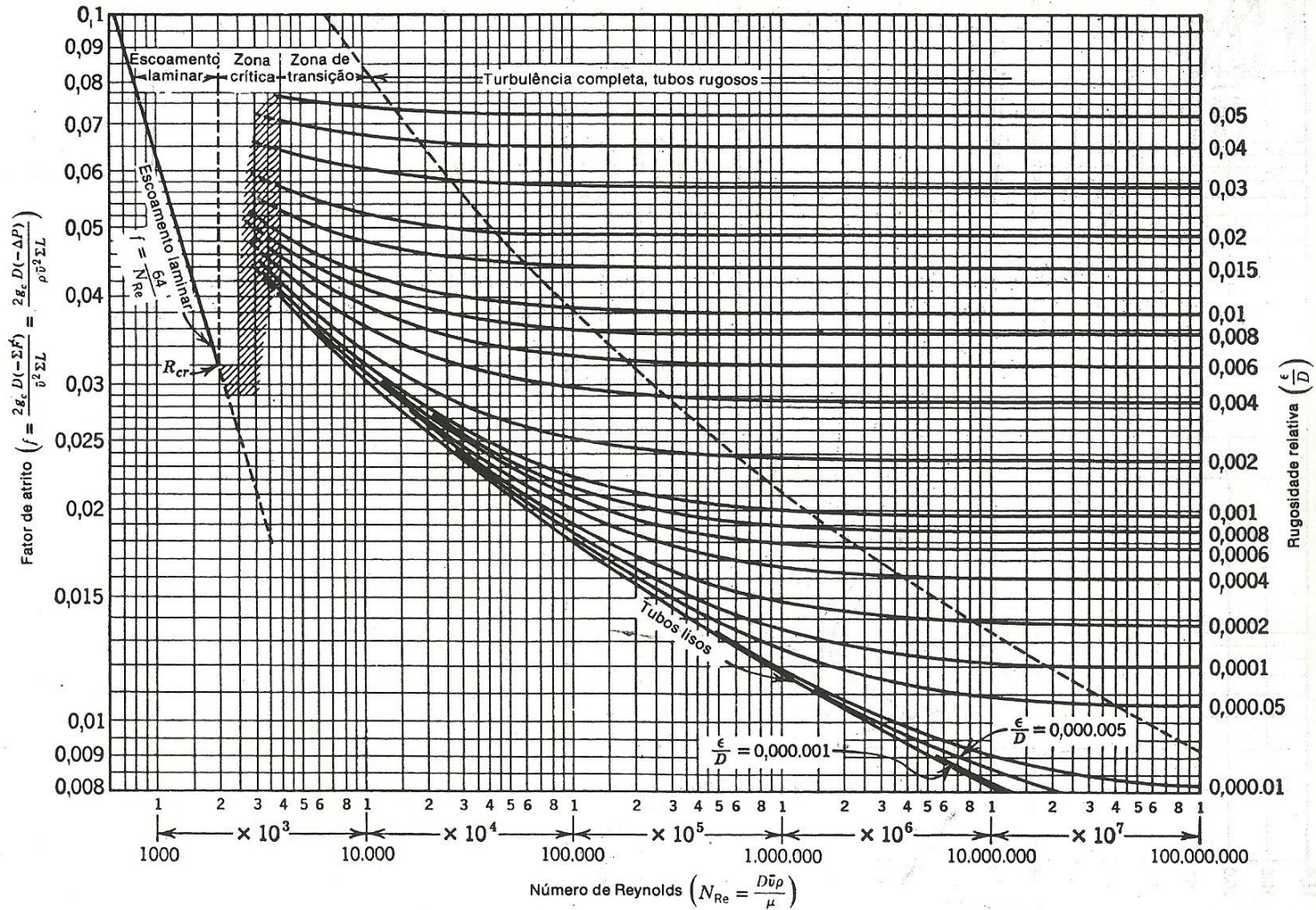
$$\mu_{\text{água}} = \frac{1,78 \times 10^{-3}}{1 + 0,0337T + 0,000221T^2} \quad \left[\frac{\text{kg}}{\text{m.s}} \right]$$

$$\rho_{\text{água}} = 999,71704 + 0,07894 \times T - 0,00864 \times T^2 + 5,6752 \cdot 10^{-5} \times T^3 - 1,94502 \cdot 10^{-7} \times T^4 \quad \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right]$$

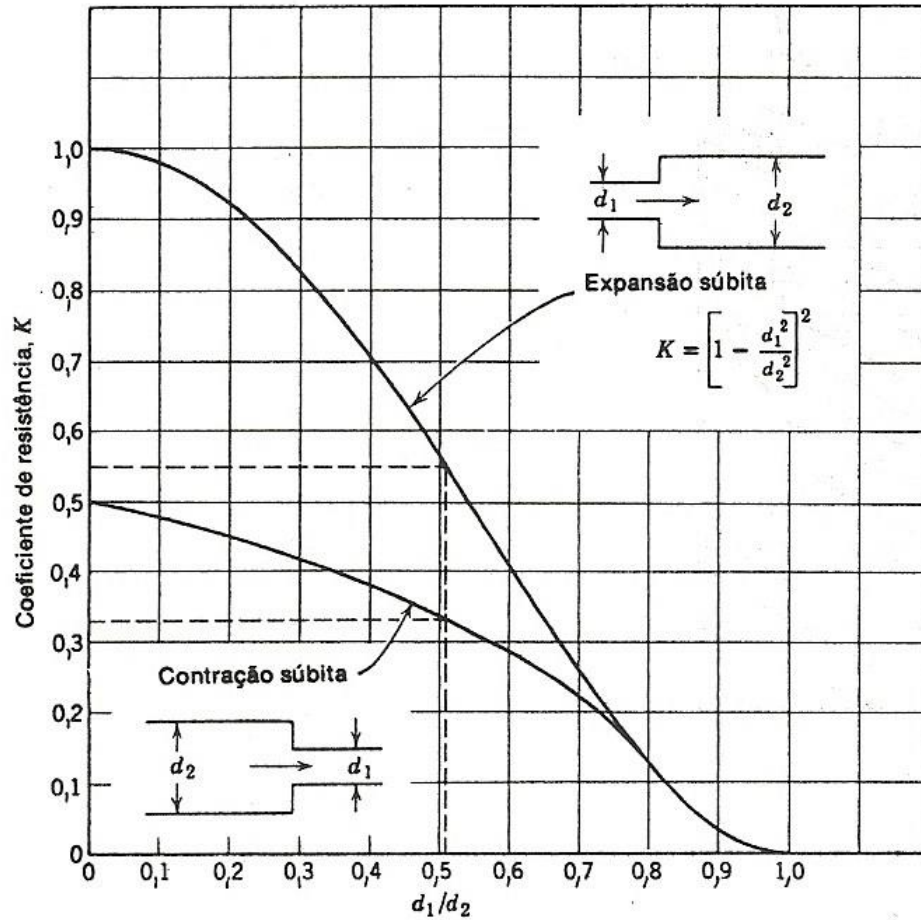
$$T \equiv [^{\circ}\text{C}]$$

FIGURAS E TABELAS

Diagrama de Moody



Determinação do coeficiente de resistência, K:



$K = 0,78$
Entrada
com tubo
afluente
inserido



$K = 0,50$
Entrada
com borda
nivelada



$K = 0,23$
Entrada
com borda
ligeiramente
arredondada



$K = 0,004$
Entrada com
borda bem
arredondada



$K = 1,0$
Tubo de
saída
saliente



$K = 1,0$
Saída com
bordas
niveladas



$K = 1,0$
Saída com
borda
arredondada

Comprimentos equivalentes (L_e) a perdas de cargas localizadas em metros de canalização retilínea em PVC rígido ou cobre (NB-92).
































DIÂMETRO NOMINAL		JOELHO 90°	JOELHO 45°	CURVA 90°	CURVA 45°	TÊ 90° PASSAGEM DIRETA	TÊ 90° SAÍDA DE LADO	TÊ 90° SAÍDA BILATERAL	ENTRADA NORMAL	ENTRADA DE BORDA	SAÍDA DE CANALIZ.	VÁLVULA DE PÉ E CRIVO	VALV. RETENÇÃO		REGISTRO GLOBO ABERTO	REGISTRO GAVETA ABERTO	REGISTRO ÂNGULO ABERTO
DN mm	(Ref) (-)																
15	(1/2)	1,1	0,4	0,4	0,2	0,7	2,3	2,3	0,3	0,9	0,8	8,1	2,5	3,6	11,1	0,1	5,9
20	(3/4)	1,2	0,5	0,5	0,3	0,8	2,4	2,4	0,4	1,0	0,9	9,5	2,7	4,1	11,4	0,2	6,1
25	(1)	1,5	0,7	0,6	0,4	0,9	3,1	3,1	0,5	1,2	1,3	13,3	3,8	5,8	15,0	0,3	8,4
32	(1 1/4)	2,0	1,0	0,7	0,5	1,5	4,6	4,6	0,6	1,8	1,4	15,5	4,9	7,4	22,0	0,4	10,5
40	(1 1/2)	3,2	1,3	1,2	0,6	2,2	7,3	7,3	1,0	2,3	3,2	18,3	6,8	9,1	35,8	0,7	17,0
50	(2)	3,4	1,5	1,3	0,7	2,3	7,6	7,6	1,5	2,8	3,3	23,7	7,1	10,8	37,9	0,8	18,5
60	(2 1/2)	3,7	1,7	1,4	0,8	2,4	7,8	7,8	1,6	3,3	3,5	25,0	8,2	12,5	38,0	0,9	19,0
75	(3)	3,9	1,8	1,5	0,9	2,5	8,0	8,0	2,0	3,7	3,7	26,8	9,3	14,2	40,0	0,9	20,0
100	(4)	4,3	1,9	1,6	1,0	2,6	8,3	8,3	2,2	4,0	3,9	28,6	10,4	16,0	42,3	1,0	22,1
125	(5)	4,9	2,4	1,9	1,1	3,3	10,0	10,0	2,5	5,0	4,9	37,4	12,5	19,2	50,9	1,1	26,2
150	(6)	5,4	2,6	2,1	1,2	3,8	11,1	11,1	2,8	5,6	5,5	43,4	13,9	21,4	56,7	1,2	28,9

Fig. 1.25 Perdas de cargas localizadas — sua equivalência em metros de tubulação de PVC rígido ou cobre (NB-92).

Comprimentos equivalentes (L_e) a perdas de cargas localizadas em metros de canalização retilínea em PVC rígido ou metal.

Tabela de perdas de cargas localizadas em conexões, considerando-se os comprimentos equivalentes em metros de canalização										
CONEXÃO	Diâmetro nominal X Equivalência em metros de canalização									
	MATERIAL	3/4"	1"	1 1/4"	1 1/2"	2"	2 1/2"	3"	4"	5"
Curva 90° 	PVC	0,5	0,6	0,7	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,9
	Metal	0,4	0,5	0,6	0,7	0,9	1,0	1,3	1,6	2,1
Curva 45° 	PVC	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1
	Metal	0,2	0,2	0,3	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,9
Joelho 90° 	PVC	1,2	1,5	2,0	3,2	3,4	3,7	3,9	4,3	4,9
	Metal	0,7	0,8	1,1	1,3	1,7	2,0	2,5	3,4	4,2
Joelho 45° 	PVC	0,5	0,7	1,0	1,3	1,5	1,7	1,8	1,9	2,5
	Metal	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	0,9	1,2	1,5	1,9
Tê de passagem direta 	PVC	0,8	0,9	1,5	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	3,3
	Metal	0,4	0,5	0,7	0,9	1,1	1,3	1,6	2,1	2,7
Tê de saída lateral 	PVC	2,4	3,1	4,6	7,3	7,6	7,8	8,0	8,3	10,0
	Metal	1,4	1,7	2,3	2,8	3,5	4,3	5,2	6,7	8,4
Tê de saída bilateral 	PVC	2,4	3,1	4,6	7,3	7,6	7,8	8,0	8,3	10,0
	Metal	1,4	1,7	2,3	2,8	3,5	4,3	5,2	6,7	8,4
União 	PVC	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,15	0,2	0,25
	Metal	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,03	0,04
Saída de canalização 	PVC	0,9	1,3	1,4	3,2	3,3	3,5	3,7	3,9	4,9
	Metal	0,5	0,7	0,9	1,0	1,5	1,9	2,2	3,2	4,0
Luva de redução (*) 	PVC	0,3	0,2	0,15	0,4	0,7	0,8	0,85	0,95	1,2
	Aço	0,29	0,16	0,12	0,38	0,64	0,71	0,78	0,9	1,07
Registro de gaveta ou esfera aberto 	PVC	0,2	0,3	0,4	0,7	0,8	0,9	0,9	1,0	1,1
	Metal	0,1	0,2	0,2	0,3	0,4	0,4	0,5	0,7	0,9
Registro de globo aberto 	Metal	6,7	8,2	11,3	13,4	17,4	21,0	26,0	34,0	43,0
Registro de ângulo aberto 	Metal	3,6	4,6	5,6	6,7	8,5	10,0	13,0	17,0	21,0
Válvula de pé com crivo 	PVC	9,5	13,3	15,3	18,3	23,7	25,0	26,8	28,8	37,4
	Metal	5,6	7,3	10,0	11,6	14,0	17,0	22,0	23,0	30,0
Válvula de Retenção 	Horizontal	Metal	1,6	2,1	2,7	3,2	4,2	5,2	6,3	10,4
	Vertical	Metal	2,4	3,2	4,0	4,8	6,4	8,1	9,7	16,1

OBSERVAÇÕES:

a - Os valores acima estão de acordo com a NBR 5626/82 e Tabela de Perda de Targa da Tigre para PVC rígido e cobre, e NBR 92/80 e Tabela de Perda de Carga Tupy para ferro fundido galvanizado, bronze ou latão.

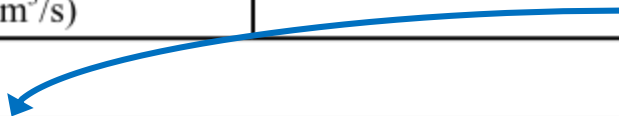
b - (*) Os diâmetros indicados referem-se à menor bitola de reduções concêntricas, com fluxo da maior para a menor bitola, sendo a bitola maior uma medida acima da menor.

Ex.: 1.1/4" x 1" - 1.1/2" x 1.1/4"

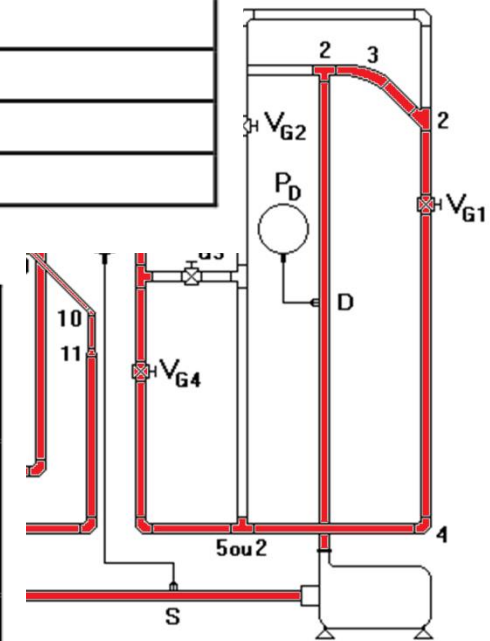
CÁLCULOS

Propriedades do fluido

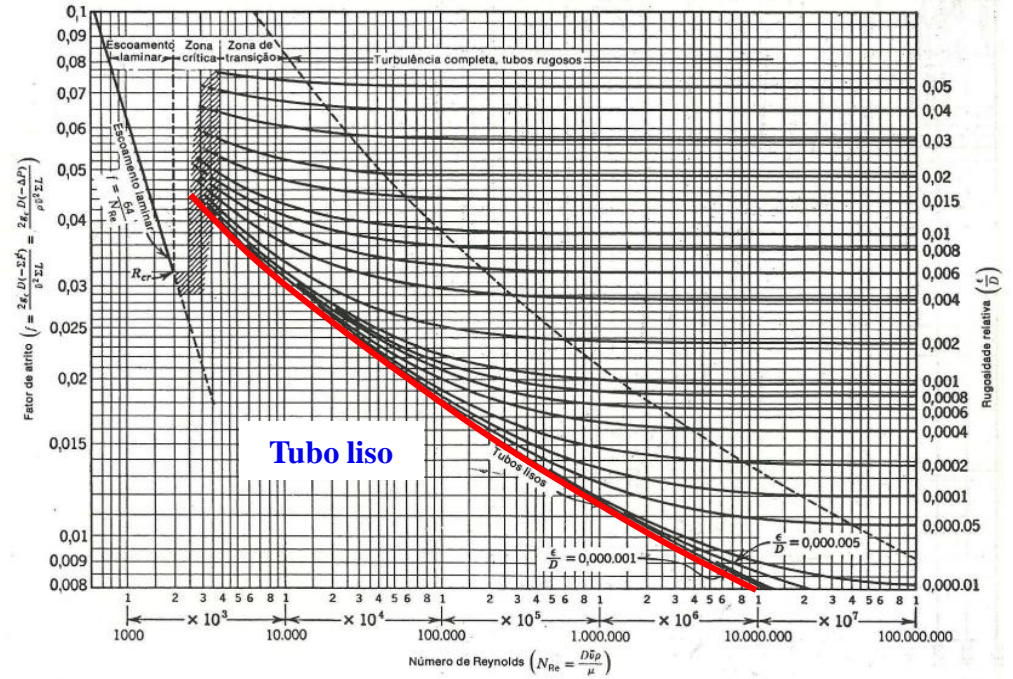
Propriedades do fluido			
Temperatura da água (°C)			
Massa específica da água (kg/m ³)			
Viscosidade da água (kg/m.s)			
Cálculo da vazão (m ³ /s)			
Massa da água (kg)			
Tempo (s)			
Q (m ³ /s)			
Q médio (m ³ /s)			



$R_{e(3/4'')} = \frac{\rho 4Q}{\mu \pi D_{3/4''}}$		$f_{(3/4'')}$	
$R_{e(1'')} = \frac{\rho 4Q}{\mu \pi D_{1''}}$		$f_{(1'')}$	
$R_{e(1/2'')} = \frac{\rho 4Q}{\mu \pi D_{1/2''}}$		$f_{(1/2'')}$	



CÁLCULOS

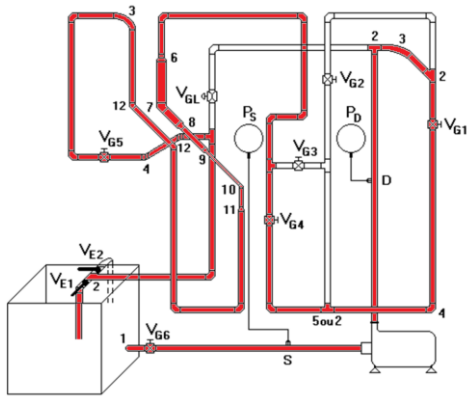


$Re_{(3/4'')} = \frac{\rho 4Q}{\mu \pi D_{3/4''}}$		$f_{(3/4'')}$	
$Re_{(1'')} = \frac{\rho 4Q}{\mu \pi D_{1''}}$		$f_{(1'')}$	
$Re_{(1/2'')} = \frac{\rho 4Q}{\mu \pi D_{1/2''}}$		$f_{(1/2'')}$	

$$h_l = f \frac{L}{D} \frac{\bar{v}^2}{2}$$

$$h_{lm} = f \frac{L_e}{D} \frac{\bar{v}^2}{2}$$

CÁLCULOS



$$h_{\ell m} = k \frac{\bar{v}^2}{2}$$

$$h_{\ell m} = f \frac{L_e}{D} \frac{\bar{v}^2}{2}$$

$$h_\ell = f \frac{L}{D} \frac{\bar{v}^2}{2}$$

$$\left(\frac{p_1}{\rho} + \frac{\bar{v}_1^2}{2} + h_1 g \right) - \left(\frac{p_2}{\rho} + \frac{\bar{v}_2^2}{2} + h_2 g \right) = h_{\ell T} - (W_s)_B$$

$$h_{\ell T} = h_{\ell m} + h_\ell$$

$$(W_s)_B = h_{\ell T}$$

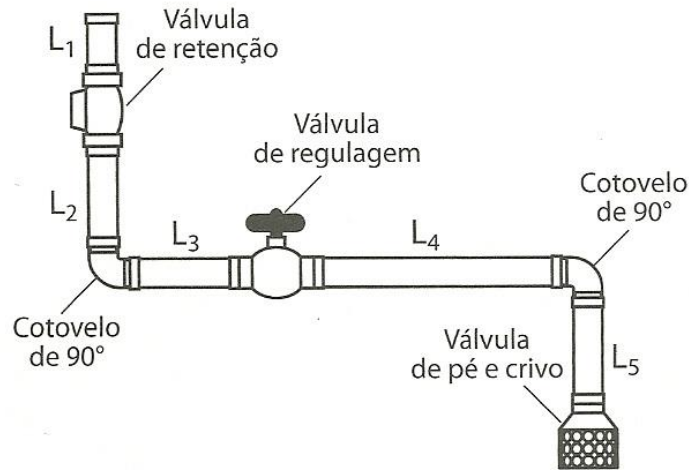
$$\dot{m} = \rho_{\text{fluido}} \cdot Q$$

$$P_m = \frac{\dot{m} |W_s|}{745,6} \equiv [\text{HP}]$$

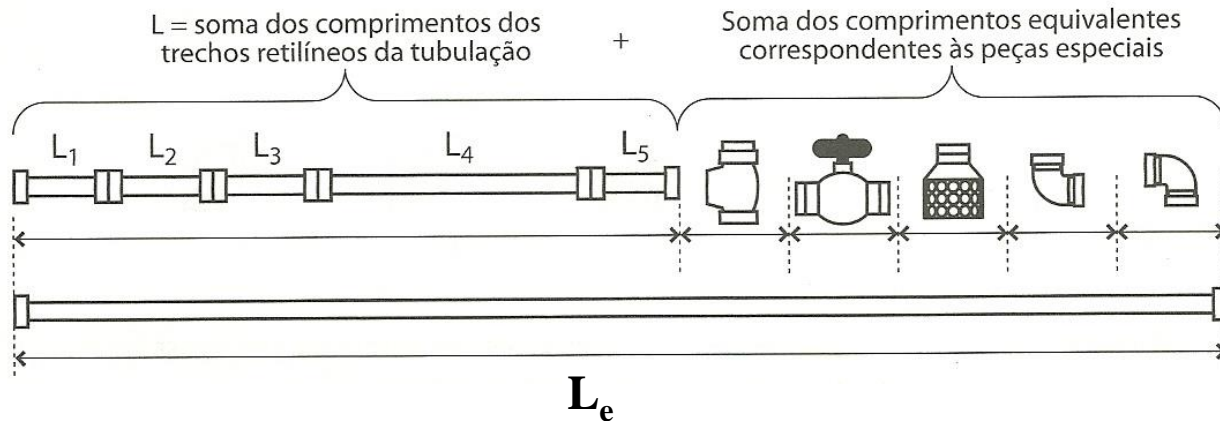
Determinação da perda de carga total (h_{lT})

Método do comprimento equivalente (L_e)

Define-se L_e como o comprimento de duto (fictício) no qual o fluxo sofre a mesma perda que no acidente, sob as mesmas condições; ou seja: é o comprimento de tubo que apresentaria perda de carga igual a do acessório em questão.



$$L_e = L_{\text{trecho reto}} + L_{\text{acessórios}}$$



Linha de sucção (Tubulação de entrada da bomba)

Tubulação e Acessórios de 3/4"

$$h_{\text{sucção}, 3/4"} = f_{3/4"} \frac{L_{e, 3/4"} \bar{V}_{3/4"}^2}{D_{3/4"} \cdot 2}$$

$$L_{e, 3/4"} = L_{e(\text{tubo reto})} + L_{e(\text{acessórios})}$$

$$\bar{V}_{3/4"} = \frac{4Q}{\pi D_{3/4"}^2} \rightarrow R_{e, 3/4"} = \frac{\rho \cdot \bar{V}_{3/4"} \cdot D_{3/4"}}{\mu} \rightarrow f_{3/4"} \text{ (tubo liso)}$$

Linha de recalque (tubulação de saída da bomba)

Tubulação e Acessórios de 1"

$$h_{recalque,1''} = f_{1''} \frac{L_{e,1''}}{D_{1''}} \frac{\bar{v}_{1''}^2}{2}$$

$$L_{e,1''} = L_{e(\text{tubo reto})} + L_{e(\text{acessórios})}$$

$$\bar{v}_{1''} = \frac{4Q}{\pi D_{1''}^2} \rightarrow R_{e,1''} = \frac{\rho \cdot \bar{v}_{1''} \cdot D_{1''}}{\mu} \rightarrow f_{1''} \text{ (tubo liso)}$$

Linha de recalque (tubulação de saída da bomba)

Tubulação e acessórios de 3/4"

$$h_{\text{recalque}, 3/4"} = f_{3/4"} \frac{L_{e, 3/4"} \bar{V}_{3/4"}^2}{D_{3/4"} \cdot 2}$$

$$L_{e, 3/4"} = L_{e(\text{tubo reto})} + L_{e(\text{acessórios})}$$

$$\bar{V}_{3/4"} = \frac{4Q}{\pi D_{3/4"}^2} \rightarrow R_{e, 3/4"} = \frac{\rho \cdot \bar{V}_{3/4"} \cdot D_{3/4"}}{\mu} \rightarrow f_{3/4"} \text{ (tubo liso)}$$

Linha de recalque (tubulação de saída da bomba)

Tubulação e Acessórios de 1/2"

$$h_{recalque,1/2"} = f_{1/2"} \frac{L_{e,1/2"} \bar{V}_{1/2"}^2}{D_{1/2"} \cdot 2}$$

$$L_{e,1/2"} = L_{e(\text{tubo reto})} + L_{e(\text{acessórios})}$$

$$\bar{V}_{1/2"} = \frac{4Q}{\pi D_{1/2"}^2} \rightarrow R_{e,1/2"} = \frac{\rho \cdot \bar{V}_{1/2"} \cdot D_{1/2"}}{\mu} \rightarrow f_{1/2"} \text{ (tubo liso)}$$

$$h_{recalque} = h_{recalque,1"} + h_{recalque,3/4"} + h_{recalque,1/2"}$$

$$h_{\ell T} = h_{sucção} + h_{recalque}$$

RESULTADOS

- Apresentar o valor da perda de carga total para o arranjo escolhido.**
- Apresentar o valor da potência calculada para a bomba centrífuga.**