



CAPITULO VI

CÁLCULO DOS CONDUTOS SOB PRESSÃO

6.1 – Condutos Simples

Um conduto é Simples quando possui diâmetro constante e não apresenta derivações, isto é transporta até a extremidade o volume d' água que recebem à entrada; diz-se que a vazão é virgem.

Os problemas sobre o cálculo dos condutos simples se reduzem à aplicação das fórmulas de perda de carga e envolvem o conhecimento de quatro grandezas (Q, D, J V), porém conhecendo duas delas, pode-se determinar as demais.

De acordo com as grandezas conhecidas e desconhecidas, podem-se apresentar problemas:

Dados	Cálculos
Q,D	V, J
Q,V	D,J
D,V	Q,J
J,Q	D,V
J,D	Q,V
J,V	Q,D

HAZZEN-WILLIAMS

$$h_p = f \frac{l}{D} \frac{V^2}{2g}$$

$$h_p = K \frac{V^2}{2g}$$

$$Q = VA$$

$$V = 0,355 CD^{0,63} J^{0,54}$$

$$Q = 0,2785 CD^{2,63} J^{0,54}$$



6.2 – Velocidades Empregadas nas Canalizações

Quanto maior a velocidade menor o diâmetro

Velocidades elevadas \Rightarrow $\left\{ \begin{array}{l} \text{Grande perda de carga} \\ \text{Diminuição da pressão disponível} \\ \text{Grande perda de potência} \end{array} \right.$

Sistemas de Abastecimento d' água $\left\{ \begin{array}{l} \text{Canalizações principais} \rightarrow 1,0 \text{ a } 2,0 \text{ m/s} \\ \text{Redes distribuição} \rightarrow 0,6 \text{ a } 0,9 \text{ m/s} \end{array} \right.$

Azevedo Neto propõe que a velocidade máxima nas canalizações de distribuição d' água seja calculada pela fórmula:

$$V = 0,6 + 1,5 D$$

Entre nós são muito usados os limites de velocidade aconselhados por Leon Bonnet.

<i>D até</i>		Limites de L. BONNET		Limites de prática norte-americana*	
		V	Q	V	Q
2"	0,050m	0,60 m/s	0,98	-	-
	0,060	0,70 m/s	1,7	-	-
3"	0,075	0,70	3,1	-	-
	0,100	0,75	5,9	0,95	7,5
6"	0,150	0,70	14,1	1,20	21,2
	0,200	0,90	28,3	1,35	42,4
10"	0,250	1,00	49,1	1,50	73,6
	0,300	1,10	77,7	1,65	116,6
14"	0,350	1,20	115,4	1,75	168,4
	0,400	1,25	157,0	1,80	226,2
18"	0,450	1,30	206,7	1,90	302,2
	0,500	1,40	274,9	2,00	392,7
22"	0,550	1,50	356,4	2,05	487,0
	0,600	1,60	452,4	2,10	593,8
24"	0,700	1,70	654,2	2,10	808,2
	0,750	1,80	795,2	2,15	949,8
30"	0,800	1,80	904,8	-	-
	0,900	1,90	1208,7	-	-
	1,00	2,00	1570,8	-	-

* Extraídos do Manual de Hidráulica do Eng. AZEVEDO NETTO



Instalações Prediais de Distribuição de Água:

$$ABNT \rightarrow V = 14\sqrt{D} \quad ; \quad V < 4m/s$$

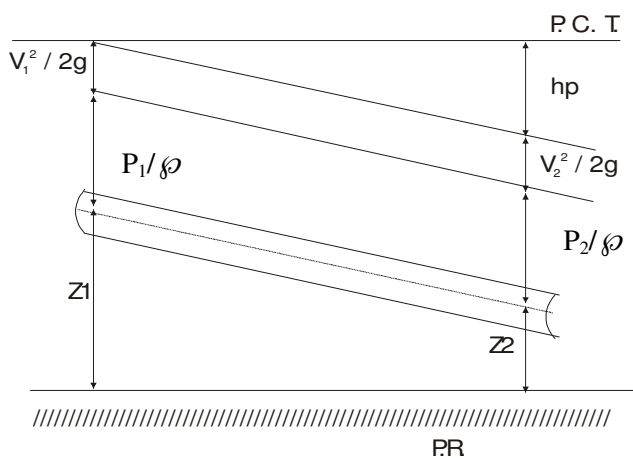
Instalações de recalque em edifícios:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Sucção} \rightarrow V = 1,0 \text{ m/s} \\ \text{Recalque} \rightarrow V = 2,0 \text{ m/s} \end{array} \right.$$

6.3 – Traçado da Linha Piezométrica

A linha piezométrica é uma linha imaginária situada acima (ou em alguns casos abaixo) do conduto, e cuja distância vertical ao mesmo representa a altura piezométrica em qualquer ponto.

a) Para condutos retilíneos e de diâmetro uniforme, a linha piezométrica é uma reta de inclinação constante ($J = h_p / l$), sendo a perda de carga entre dois pontos quaisquer igual a diferença das cotas piezométricas respectivas.

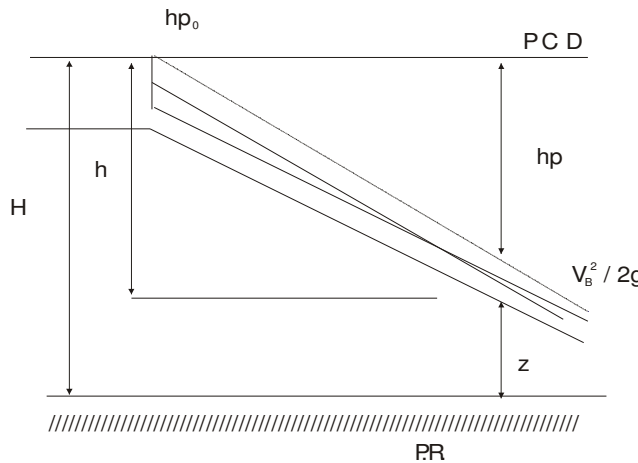


$$h_p = \left(z_1 + \frac{P_1}{\rho} \right) - \left(z_2 + \frac{P_2}{\rho} \right)$$



b) Seja um conduto de diâmetro constante e comprimento l , que sai de um reservatório e descarrega, a jusante, na atmosfera.

Aplicando Bernoulli ao nível do reservatório e a seção de saída:



$$H = z + \frac{V^2}{2g} + h_p$$

$$h_p = K_o \frac{V^2}{2g} + J l$$

$$J^{0,54} = \frac{V}{0,355 C D^{2,63}} \therefore J = \frac{V^{1,852}}{0,1469 C^{1,852} D^{4,87}}$$

$$J = \frac{V^{1,852}}{0,1469 C^{1,852} D^{4,87}} \rightarrow \text{HAZEN - WILLIAMS}$$

$$J = 4 b \frac{V^2}{D}$$

**FORMULA
DE DEPUIT**

$$h = H - z = \frac{V^2}{2g} + K_o \frac{V^2}{2g} + \frac{4bV^2}{D} l$$

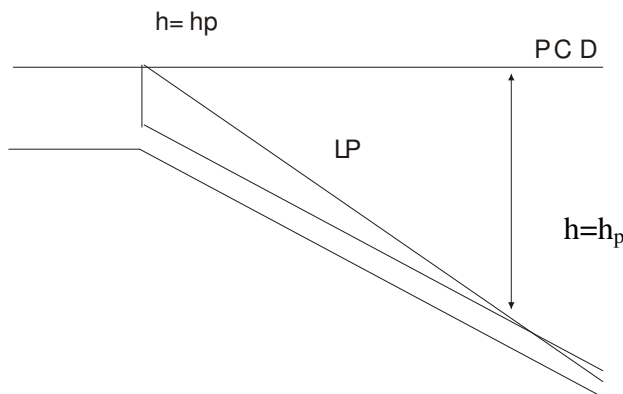
Por esta expressão calcula-se V e depois Q .

c) Condutos com trechos de diâmetros diferentes e perdas localizadas.

Aplica-se Bernoulli ao nível do reservatório e ao jato que sai do conduto.

Em quaisquer dos casos citados, o ponto de partida é a aplicação do teorema de Bernoulli, recorrendo-se depois as fórmulas de perda de carga para calcular os elementos incógnitos.

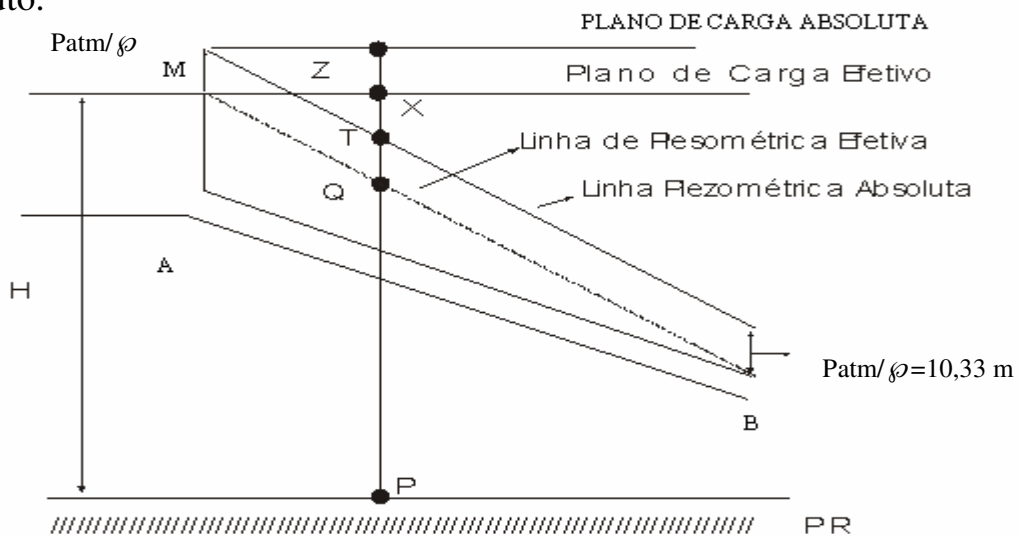
O efeito das perdas acidentais pode ser desprezado quando a canalização é de grande comprimento em relação ao diâmetro, ($l > 1000D$); quando a velocidade da água não é grande, ($V < 1,0 \text{ m/s}$), sendo $V^2 / 2g$ pequeno, pode-se admitir que a linha pizométrica coincide com a linha de energia.



$$h_p = 4b \frac{V^2}{D} l = K \frac{Q^2}{D^5} l$$

6.4 – Pressão Absoluta e Pressão Efetiva

Seja um conduto AB, alimentado por um reservatório e descarregando na atmosfera; a linha piezométrica é MB, já feita a simplificação de considerá-la coincidente com a linha de energia e incluindo o efeito das perdas acidentais no comprimento virtual do conduto.



Considerando-se o efeito da pressão atmosférica (em média $P_{atm} = 10330 \text{ Kgf} / \text{m}^2$), deve-se adicionar ao valor de H a altura correspondente a pressão atmosférica, e obtém-se, assim, um segundo plano de carga, 10,33m acima do nível do reservatório, denominado “plano de carga absoluto”.



As pressões em todos os pontos do conduto são aumentadas de igual valor, obtendo-se uma segunda linha paralela à anterior, que é a linha das pressões absolutas, ou linha piezométrica absoluta.

Em um ponto P do conduto ter-se-á, portanto:

PX = pressão estática

PZ = pressão estática absoluta

PQ = pressão dinâmica efetiva

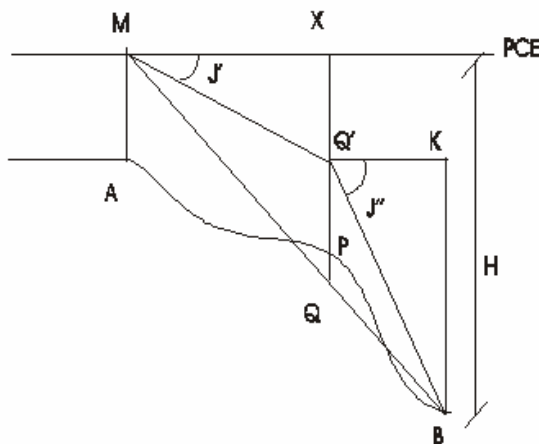
PT = pressão dinâmica absoluta

Posições do Conduto em Relação a Linha Piezométrica

a) Para que a tubulação funcione em boas condições, deve ficar localizada abaixo da linha de pressão efetiva, pois então a pressão é positiva (maior que a atmosférica) em todos os pontos da canalização.

Conduto coincide com a linha de pressão efetiva \Rightarrow todos os seus pontos estão à pressão atmosférica \Rightarrow CANAIS.

b) Condutos com trechos acima da linha de pressão efetiva, porém abaixo da linha de pressão absoluta e abaixo do plano carga efetivo.



$$AP = L_1$$

$$PB = L_2$$

$$AB = L$$

PQ \rightarrow pressão negativa

menor que a atmosférica

MQB \rightarrow linha piezométrica



b.1) – O escoamento estabelece-se independente do escorvamento se o conduto é bem vedado de modo que nele não penetre ar, e a velocidade bastante alta para arrastar o ar contido na água e que se desprende nas baixas pressões. O movimento se dá sob a carga “H”.

b.2) – Se a velocidade não é bastante alta o ar que se desprende vai-se acumulando na parte mais alta do contudo, adquirindo pressão, de modo que a linha piezométrica deixa de ser MQB para ser MQ'B sendo PQ' a pressão do ar acumulado.

No trecho \overline{AP} o conduto funciona sob perda de carga unitária $J' = \frac{\overline{Q'X}}{L_1}$

No trecho \overline{PB} sob uma perda de carga unitária $J'' = \frac{\overline{BK}}{L_2}$

Mas $Q = K\sqrt{JD^5} \Rightarrow$ vazão no trecho $\overline{PB} > \overline{AP} \Rightarrow$

\Rightarrow *descarga interminante ou trecho PB não funciona a plena seção.*

Para evitar esses inconvenientes é aconselhável colocar uma ventosa para extrair o ar da parte superior da canalização ou empregar diâmetros diferentes nos dois trechos.

b) Conduitos com trechos acima do plano de carga efetivos, mas abaixo da linha absoluta.

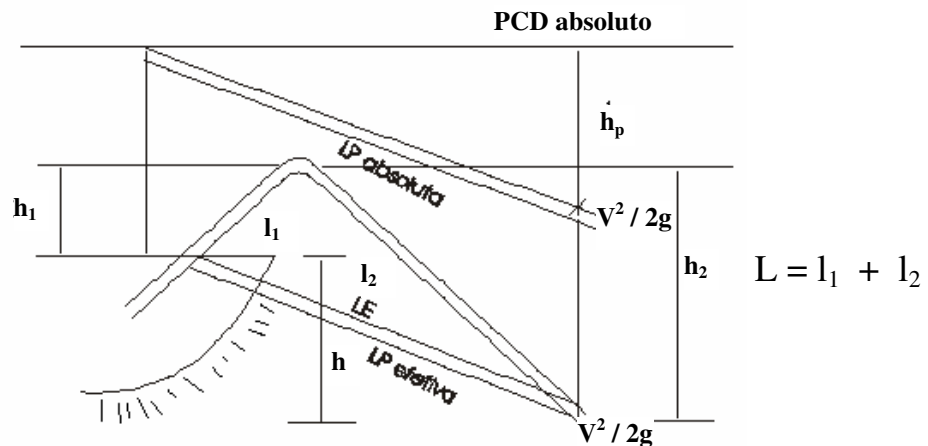
O movimento só pode ser estabelecido depois de escorvada a canalização.



6.5 – Condutos em Sifão

Sifões são os condutos em que parte da canalização se encontra acima do nível do reservatório que o alimenta, de modo que o líquido é elevado acima daquele nível e depois descarregado em um ponto mais abaixo que o mesmo. Uma vez escorvado o sifão, a pressão atmosférica faz o líquido subir no ramo ascendente e se estabelece um regime permanente de escoamento.

Para que a canalização funcione normalmente é necessário que a pressão no ponto mais alto da tubulação seja, no máximo, igual a tensão do vapor d'água, condição que deve ser considerada como limite.



Bernoulli entre o nível do reservatório e a seção de saída.

$$z_1 + \frac{P_1}{\rho} + \frac{V_1^2}{2g} = z_2 + \frac{P_2}{\rho} + \frac{V_2^2}{2g} + h_p$$

$$h + \frac{P_{atm}}{\rho} + 0 = 0 + \frac{P_{atm}}{\rho} + \frac{V^2}{2g} + h_p$$

$$h = \frac{V^2}{2g} + \sum K \frac{V^2}{2g} + 4b \frac{V^2}{D} l = \frac{V^2}{2g} \left(1 + \sum K + \frac{8bgl}{D} \right)$$

$$\frac{V^2}{2g} = \frac{h}{1 + \sum K + \frac{8bgl}{D}} \therefore V = \frac{1}{\sqrt{1 + \sum K + \frac{8bgl}{D}}} \sqrt{2gh}$$

$$Q = VA$$



Calculada a velocidade de escoamento, deve-se verificar a pressão no ponto mais alto do sifão.

Bernoulli entre a superfície e o ponto mais alto

$$0 + \frac{P_{atm}}{\rho} + 0 = h_1 + \frac{P}{\rho} + \frac{V^2}{2g} + \sum K \frac{V^2}{2g} + 4b \frac{V^2}{D} l_1$$
$$\frac{P}{\rho} = \frac{P_{atm}}{\rho} - \left(h_1 + \frac{V^2}{2g} + \sum K \frac{V^2}{2g} + 4b \frac{V^2}{D} l_1 \right)$$

$P/\rho \rightarrow$ diminui com o aumento de h_1 e de $V^2/2g$, e não pode ser menor que a tensão de vapor.

O líquido ferve quando a sua pressão é igual à tensão do vapor, a qual é função da temperatura.

TENSÃO DE VAPOR DA ÁGUA

20°C – 0,237 MCA

25°C – 0,320 MCA

30°C - 0,428 MCA

Quando não é conhecido o diâmetro do conduto, pode-se calculá-lo pela fórmula:

$$D^5 = 0,004 \frac{Q^2}{h} l$$

e depois fazer o cálculo de verificação com o diâmetro encontrado.

O sifão não trabalha de modo satisfatório quando a pressão no ponto mais alto é próxima da tensão do vapor, pois o ar e os gases dissolvidos na água desprendem-se nas baixas pressões.



6.6 – Condutos Equivalentes

Dois ou mais condutos são equivalentes quando fornecem a mesma descarga, sob a mesma perda de carga.

$$h_P = K \frac{Q^2}{D_1^5} l_1 = K \frac{Q^2}{D_2^5} l_2$$

Condição de equivalência: $\frac{L_1}{L_2} = \frac{D_1^5}{D_2^5}$

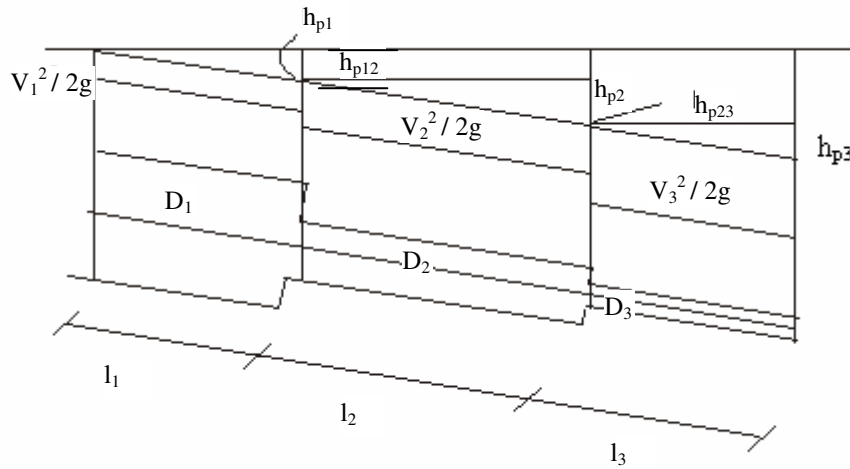
Diâmetros até 350 mm \Rightarrow referência = \varnothing 200 mm

Diâmetros \geq 400 mm \Rightarrow referência = \varnothing 600 mm

Relação de Equivalência			Relação de Equivalência		
D	$(0,2/D)^5$	$(0,2/D)^{4,87}$	D	$(0,2/D)^5$	$(0,2/D)^{4,87}$
0,05	1024	855	0,400	7,59	7,20
0,06	411	352	0,450	4,21	4,05
0,0765	135	119	0,500	2,49	2,43
	32	29,2	0,550	1,55	1,52
0,125	10,3	9,86	0,600	1,00	1,00
0,150	4,21	4,05	0,650	0,67	0,68
0,175	1,95	1,92	0,700	0,463	0,472
0,200	1,00	1,00	0,750	0,327	0,337
0,225	0,555	0,563	0,800	0,237	0,246
0,250	0,327	0,337	0,900	0,132	0,139
0,350	0,133	0,139	1,000	0,078	0,083
0,350	0,061	0,066	1,200	0,031	0,034



6.7 – Condutos Mistos



$$h_P = h_{P_1} + h_{P_{12}} + h_{P_2} + h_{P_{23}} + h_{P_3}$$

Usualmente se despreza a influência da taquicarga e da perda localizada.

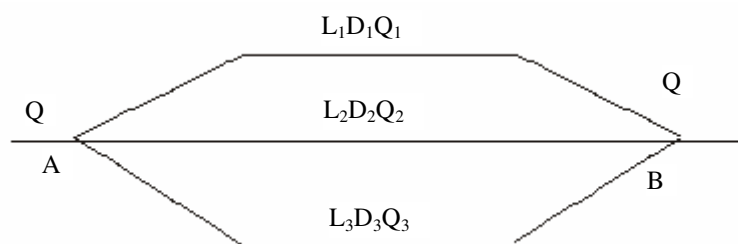
$$h_P = h_1 + h_2 + h_3 = K \frac{Q^2}{D_1^5} l_1 + K \frac{Q^2}{D_2^5} l_2 + K \frac{Q^2}{D_3^5} l_3$$

Para substituir este sistema por um conduto simples equivalente, teremos que encontrar um diâmetro D e comprimento L tais que a sua vazão e a perda de carga sejam iguais às do sistema.

$$h_P = K \frac{Q^2}{D^5} L$$

$$\frac{L}{D^5} = \frac{l_1}{D_1^5} + \frac{l_2}{D_2^5} + \frac{l_3}{D_3^5}$$

6.8 – Conduto em Paralelo



$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3$$



Cotas piezométricas em A e B são comuns a todos os condutos, logo:

$$h_p = K \frac{Q_1^2}{D_1^5} l_1 = K \frac{Q_2^2}{D_2^5} l_2 = K \frac{Q_3^2}{D_3^5} l_3$$

① Substituindo os condutos em paralelo por um equivalente:

$$h_p = K \frac{Q_1^2}{D_1^5} L \therefore Q = \sqrt{\frac{h_p D^5}{KL}}$$

$$* Q_1 = \sqrt{\frac{h_p D_1^5}{K l_1}} \quad Q_2 = \sqrt{\frac{h_p D_2^5}{K l_2}} \quad Q_3 = \sqrt{\frac{h_p D_3^5}{K l_3}}$$

$$* \sqrt{\frac{h_p}{K}} \sqrt{\frac{D^5}{l_1}} = \sqrt{\frac{h_p}{K}} \left(\sqrt{\frac{D_1^5}{l_1}} + \sqrt{\frac{D_2^5}{l_2}} + \sqrt{\frac{D_3^5}{l_3}} \right)$$

$$\sqrt{\frac{D^5}{l_1}} = \sqrt{\frac{D_1^5}{l_1}} + \sqrt{\frac{D_2^5}{l_2}} + \sqrt{\frac{D_3^5}{l_3}}$$

② Cálculo da vazão em cada trecho (Thiem)

a) Atribui-se para cada diâmetro uma unidade de descarga (q_i)

$$q_i = 10 \sqrt{\frac{D^5}{100^5}}$$

b) Vazão em cada trecho

$$Q_i = q_i \frac{Q}{q}$$

Sendo $Q = \Sigma Q_i$
 $q = \Sigma q_i$



6.9 – Potência de Instalação de Recalque

Um conduto de recalque leva água de um ponto a outro de cota mais elevada graças a energia que lhe é comunicada por uma bomba.

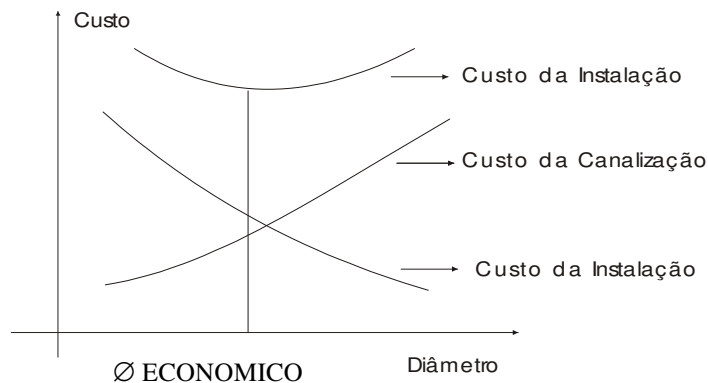
$$\left| \begin{array}{l} \text{Energia do Líquido} \\ \text{Reservatório Inferior} \end{array} \right| - \left| \begin{array}{l} \text{Perda de Carga} \\ \text{Sucção} \end{array} \right| + \left| \begin{array}{l} \text{Energia fornecida} \\ \text{Pela bomba} \end{array} \right| - \left| \begin{array}{l} \text{Perda no} \\ \text{Recalque} \end{array} \right|$$
$$= \left| \begin{array}{l} \text{Energia do líquido no} \\ \text{reservatório superior} \end{array} \right|$$

Potência da Instalação:

$$N = \frac{\rho Q H m}{75 \eta} \quad (C.V.) \quad \eta = \eta_B \times \eta_\mu$$

A perda de carga é calculada pelas fórmulas já conhecidas, em função da vazão, do diâmetro e do comprimento do conduto.

Embora muitas vezes sejamos obrigados a usar um determinado diâmetro de um conduto, sempre que possível deve-se procurar empregar o chamado “diâmetro econômico” que é aquele que torna mínimo o custo da instalação.





ϕ pequeno $\left\{ \begin{array}{l} \text{Custo canalização baixo} \\ \text{Grande perda de carga} \Rightarrow \text{maior potência instalação} \end{array} \right.$

$$\text{Fórmula de Bress : } D = K \sqrt{Q} \quad \left\{ \begin{array}{l} Q = m^3 / s \\ D = m \end{array} \right.$$

$$1,3 \leq k \leq 1,7$$

Quando o funcionamento da instalação não é contínuo (ABNT):

$$D = 1,3 X^{0,25} \sqrt{Q} \quad X = \frac{n.^{\circ} \text{ de horas trabalhadas}}{24}$$

Cálculo de Instalação de Recalque – Roteiro

- 1- Determinar a Vazão da Instalação
- 2- Calcular o diâmetro econômico (de recalque) ou empregar aquele que, por motivos especiais, deva ser utilizado
- 3- Diâmetro de sucção é usado um ponto acima do de recalque
- 4- Cálculo das perdas de carga na sucção e recalque
- 5- Cálculo da Altura Manométrica $H_m = H + h_{pr} + h_{ps}$
- 6- Cálculo da potência da instalação



6.10 – Instalação de Recalque

1 – O Sistema de recalque esquematizado abaixo trabalha nas seguintes condições:

vazão – 45 l/s com adução contínua

comprimento da canalização de recalque = 2200 m

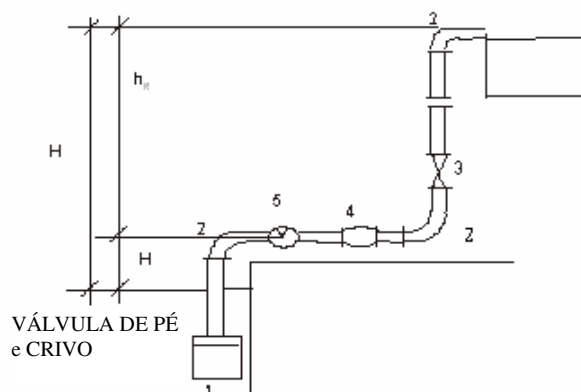
comprimento da canalização de sucção = 10,0 m

altura de sucção = 2,30 m

altura de recalque = 42,70 m

canalização de FF com $C = 100$

rendimento do conjunto elevatório (η) = 70 %



- 1 – Válvula de pé e crivo
- 2 – Curva 90° (R/D = 1)
- 3 – Registro gaveta aberto
- 4 – Válvula de retenção
- 5 - Bomba

Calcular :

- a) Diâmetro econômico da tubulação de recalque (D_R)
- b) Diâmetro da canalização de sucção (D_S)
- c) Altura geométrica de recalque (H_g)
- d) Altura manométrica total (H_m)
- e) Potência do conjunto elevatório (N)



Solução:

I – Usando a fórmula das perdas de carga acidentais

$$\lambda = K \frac{V^2}{2g}$$

a) Cálculo do diâmetro econômico da tubulação de recalque (D_R)

$$D_R = 1,5\sqrt{Q} = 1,5\sqrt{0,045} = 0,3182 m$$

$$D_R = 300 mm$$

b) Diâmetro da tubulação de sucção (D_S)

$$D_R = 300 mm \Rightarrow D_S = 350 mm$$

c) Altura Geométrica de recalque (H)

$$H = h_R + h_S = 45,0 m$$

d) Altura Manométrica total (H_M)

$$H_m = H + (h_p + \lambda)_S + (h_p + \lambda)_R$$

d1) Perda de Carga na sucção – $Q = VA \therefore V = 0,4677 m/s$

$$\frac{V^2}{2g} = 0,0111 m$$

d.1.1 – Perda localizada

$$\text{- Válvula de pé} \rightarrow \lambda = K \frac{V^2}{2g} = 1,75 \frac{(0,4677)^2}{2 \times 9,81} = 0,0195$$

$$\text{- Crivo} \rightarrow \lambda = K \frac{V^2}{2g} = 0,75 \frac{(0,4677)^2}{2 \times 9,81} = 0,0195$$



$$\begin{aligned} & - \text{Curva } 90^\circ \quad \lambda = K \frac{V^2}{2g} = 0,49 \times 0,0111 = 0,0054m \\ & \quad \quad \quad \sum \lambda = 0,0333 \quad m \end{aligned}$$

d.1.2 – Perda Linear

$$Q = 0,2785 \quad CD^{2,63} \quad J^{0,54} \quad \therefore J^{0,54} = \frac{Q}{0,2785 \quad CD^{2,63}}$$

$$J^{0,54} = \frac{0,045}{0,2785 \times 100 \times (0,350)^{2,63}} \quad \therefore J = (0,0256)^{10,54} \quad \therefore J = 0,0011m/m$$

$$J = \frac{h_p}{l} \quad \therefore h_p = 0,011m$$

$$\text{Perda Total} = h_p + Z\lambda = 0,0443m$$

d.2 – Perda de Carga no Recalque

$$Q = VA \quad \therefore V = 0,6366 \quad m/s \quad \rightarrow \quad \frac{V^2}{2g} = 0,0207 \quad m$$

d.2.1 – Perda localizada

$$- \text{Válvula de retenção} \quad - \lambda = K \frac{V^2}{2g} = 2,50 \times 0,0207 = 0,0518 \quad m$$

$$- 02 \text{ curva } 90^\circ \quad - \lambda = 2K \frac{V^2}{2g} = 2,00 \times 0,49 \times 0,0207 = 0,0203 \quad m$$

$$- \text{Registro gaveta aberto} \quad - \lambda = K \frac{V^2}{2g} = 0,2 \times 0,0207 = 0,0041 \quad m$$

$$\sum \lambda = 0,0762$$



d.2.2 – Perda Linear

$$Q = 0,2785 \quad CD^{2,63} \quad J^{0,54} \quad \therefore J = \left(\frac{Q}{0,2785 \quad D^{2,63} \quad C} \right)^{1,8519}$$

$$J = \left(\frac{0,045}{0,2785 \times 100 \times (0,250)^{2,63}} \right)^{1,8519} \quad \therefore J = 0,0058 \text{ m / m}$$

$$h_p = J l = 12,734 \text{ m} \quad \therefore h_p = 12,734 \text{ m}$$

$$\text{Perda Total} = h_p + \sum \lambda = 12,8102$$

$$Hm = H + (h_p + \lambda)_S + (h_p + \lambda)_R$$

$$Hm = 45,00 + 0,0443 + 12,8102 = 57,8545 \text{ m}$$

$$Hm = 57,8545 \text{ m}$$

e) Potência do Conjunto

$$N = \frac{\rho Q H m}{75 \eta} = \frac{1000 \times 0,045 \times 57,8545}{75 \times 0,7} = 49,5896 \text{ HP}$$

$$N = 50 \text{ HP}$$

II – Usando Método dos Comprimentos Virtuais

a) Diâmetro de recalque

$$D_r = 1,5 \sqrt{Q} \quad \therefore D_r = 300 \text{ mm}$$

b) Diâmetro de sucção

$$D_r = 300 \text{ mm} \Rightarrow D_s = 350 \text{ mm}$$



c) Altura Geométrica

$$h = h_s + h_r = 45,0 \text{ m}$$

d) Altura manométrica total (Hm)

$$Hm = H + (h_p + \lambda)_s + (h_p + \lambda)_r$$

d.1 – Perda na sucção ($D_s = 350 \text{ mm}$)

- Válvula de pé de crivo	90,00 m
- Curva 90° (R/10) = 1)	5,40 m
- Comp. Tubulação	10,00 m
- Comp. Virtual	105,40 m

$$J = \left(\frac{Q}{0,2785 D^{2,63} C} \right)^{1,8519} \therefore J = 0,0011 \text{ m / m}$$

$$h_p = Jl \therefore h_p = 0,1159 \text{ m}$$

d.2 – Perda no recalque ($D_r = 300 \text{ mm}$)

Válvula de retenção leve	- 24,0m
Registro aberto	- 2,1 m
02 curvas 90° (R D = 1)	- 2 x 4,8 = 9,6 m
Comp. Tubulação	- 2.200,0
Comp. Virtual	- 2.235,70



$$J = \left[\frac{Q}{0,2785CD^{2,63}} \right]^{1,852} \therefore J = 0,0058m/m$$

$$h_p = j\ell \therefore h_p = 0,0058 \times 2.1235,70$$

$$h_p = 12,9671m$$

$$Hm = H + h_{pS} + h_{Pr} = 45,0 + 0,1159 + 12,9671$$

$$Hm = 58,083m$$

f) Potência

$$N = \frac{\rho QHm}{75\eta} = \frac{1000 \times 0,045 \times 58,083}{75 \times 0,7} = 49,7854HP \therefore N = 50HP$$