



Hidráulica Geral (ESA024A)

Prof. Homero Soares

2º semestre 2012
Terças de 10 às 12 h
Quintas de 08 às 10h

Golpe de Aríete

→ Conceito

-Denomina-se golpe de aríete ou transiente hidráulico à variação da pressão acima e abaixo do valor de funcionamento normal dos condutos forçados, em consequência das mudanças das bruscas na velocidade do líquido, decorrentes de manobras dos registros de regulação das vazões.

→ Situações em que normalmente ocorrem:

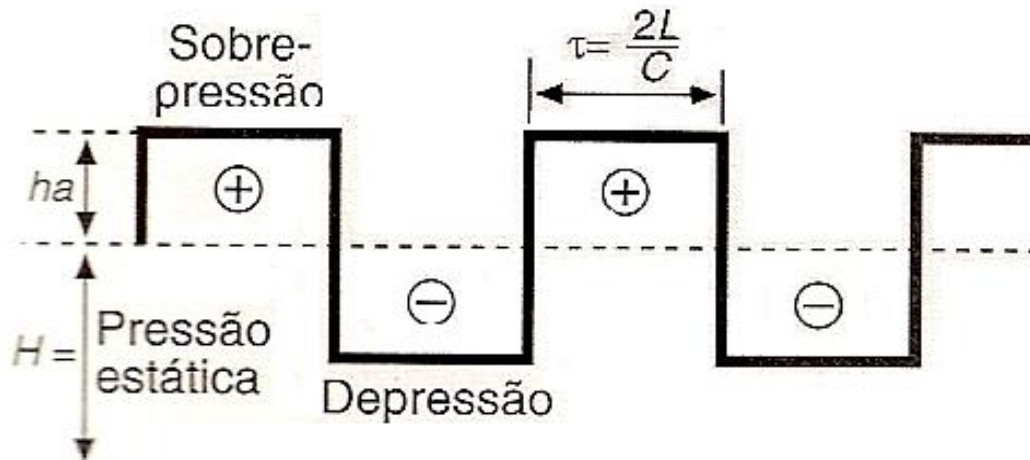
- Fechamento de válvulas ou registros;
- Partida ou parada de bombas

→ Consequências:

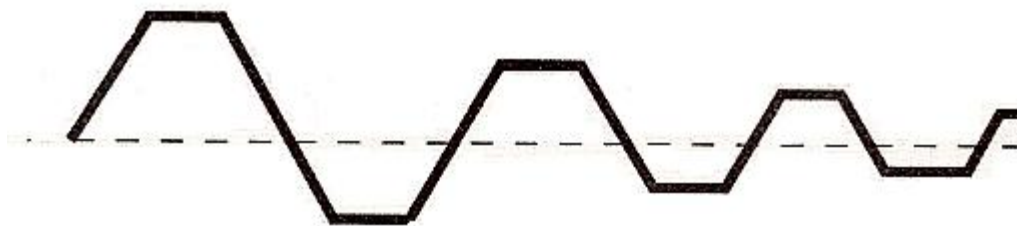
- Som (Ruídos ou marteladas)
- Rompimento das tubulações causadas pelas ondas de sobrepressão
- Estrangulamento das tubulações causadas pelas ondas de depressão

Energia de Propagação das Ondas de Pressão

Caso Ideal



Caso Real



Celeridade (a)

Conceito

- É a velocidade média de propagação das ondas de pressão.
- Depende das características do fluido e da canalização.

$$a = \frac{9.900}{\sqrt{48,3 + \frac{K \cdot D}{e}}}$$

Onde:

A = celeridade (m/s);

K = Coeficiente do material (da tubulação);

D = diâmetro (mm);

e = espessura do tubo (mm).

Valores de K $\longrightarrow K = \frac{10^{10}}{E}$

E = módulo de elasticidade do material

Material	K	E
Aço	0,5	2×10^{10}
FoFo	1,0	10^{10}
Concreto	5,0	2×10^9
PVC	18,0	$5,6 \times 10^8$

Período do Fase da Canalização

Conceito

-É o tempo que as ondas de pressão levam para ir e voltar de uma extremidade à outra da canalização.

$$\zeta = \frac{2L}{a}$$

Onde:

ζ = período / fase (s);
L = Comprimento da tubulação;
a = celeridade (m/s).

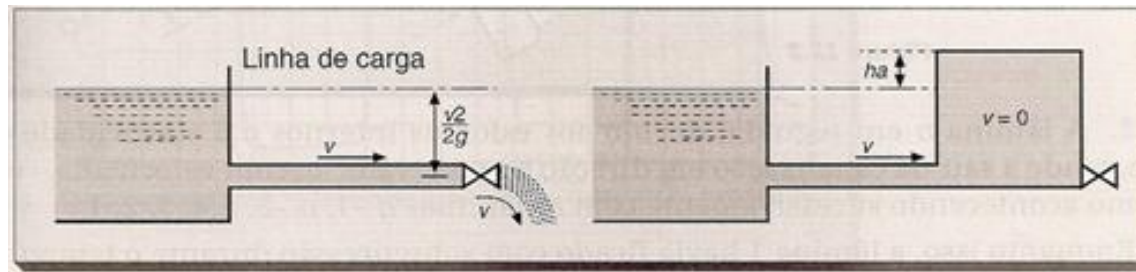
Classificação das Manobras

Manobra Lenta $\rightarrow t > \zeta$

Manobra Rápida $\rightarrow t < \zeta$

Cálculo da sobrepressão (h_a)

É a pressão adicional, ora positiva ora negativa, à pressão estática, que aparece na tubulação quando o movimento do fluido em um sistema por gravidade ou por recalque é modificado bruscamente.



Manobra Rápida ($t < \zeta$)

$$h_a = \frac{aU}{g}$$

Onde:

h_a = sobrepressão;
 a = celeridade (m/s);
 U = velocidade média do escoamento (m/s);
 g = aceleração da gravidade (m/s²).

Manobra Lenta ($t > \zeta$)

$$h_a = \frac{aU}{g} \cdot \frac{\zeta}{t} \quad \text{ou} \quad h_a = \frac{2LU}{gt}$$

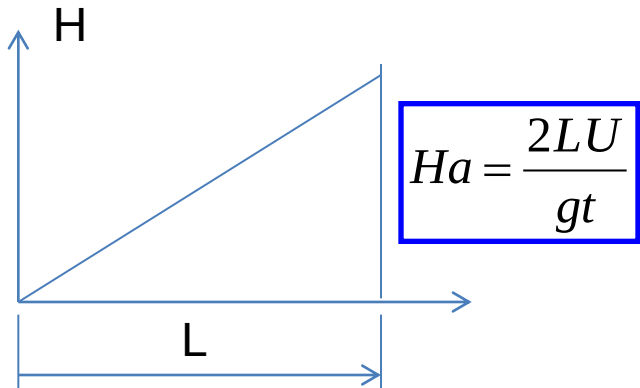
Onde:

h_a = sobrepressão;
 a = celeridade (m/s);
 U = velocidade média do escoamento (m/s);
 g = aceleração da gravidade (m/s²);
 t = tempo de manobra da válvula (registro). (s);
 L = Comprimento da canalização (m).

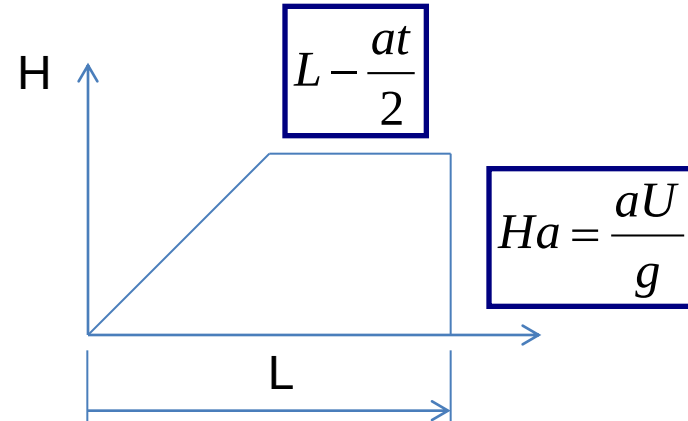
OBSERVAÇÃO:

Distribuição das sobrepressão ao longo da tubulação:

-1) MANOBRA LENTA: ($t > \zeta$)



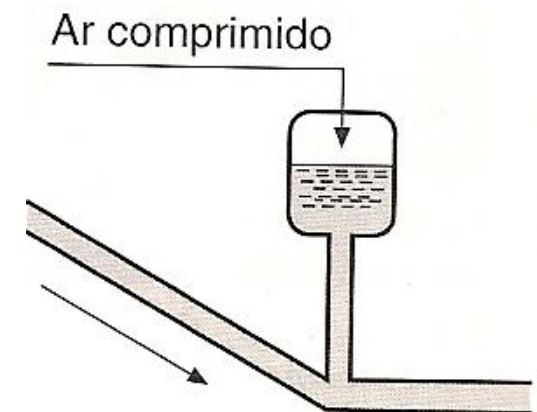
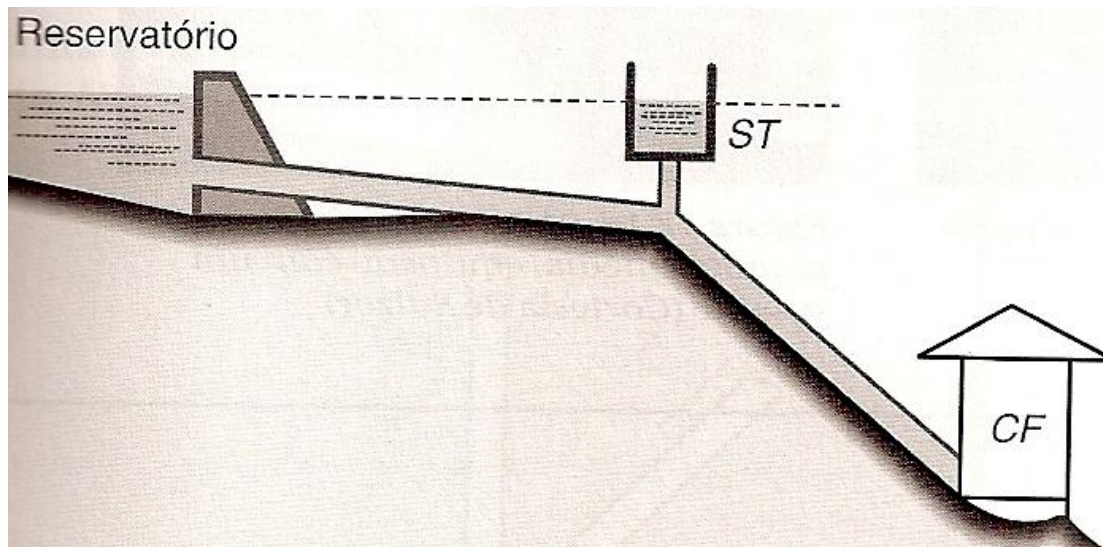
Manobra Rápida ($t < \zeta$)



Medidas Gerais contra o Golpe de Aríete

- a) Limitação da velocidade nos encanamentos, de modo a manter $U_{\text{máx}} = 0,6 + 1,5D$;
- b) Fechamento lento de válvulas e registros;
- c) Emprego de válvulas ou dispositivos mecânicos especiais cujas descargas impedem valores excessivos da pressão, como “válvulas de alívio”.
- d) Construção de “chaminés de equilíbrio” (stand-pipe) ou “câmaras de ar comprimido”.

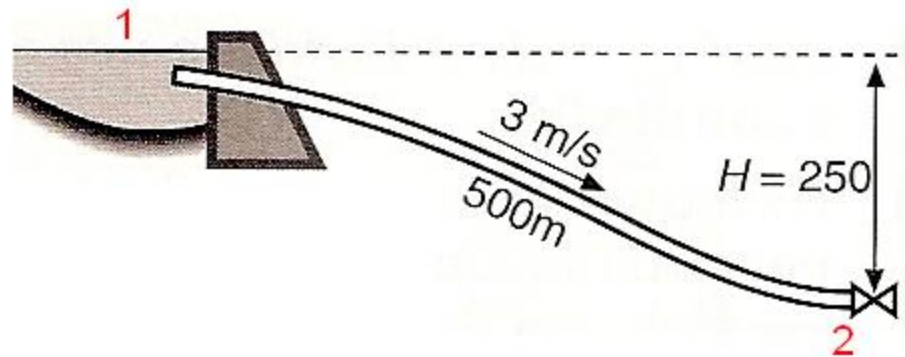
Chaminés de Equilíbrio



Problema VI.1 (CVI-p4a)

Um conduto forçado de aço com 500m de comprimento, 800mm de diâmetro e 12 mm de espessura, está assentado conforme a figura abaixo. O registro localizado no ponto mais baixo é manobrado em 8 s. Desconsiderando-se as perdas de carga e sabendo-se que a velocidade média do fluido é de 3 m/s, pede-se, para a seção junto ao registro:

- a) Pressão em “2” com registro fechado;
- b) Pressão em “2” com registro aberto;
- c) Sobrepressão;
- d) Pressão máxima;
- e) Pressão mínima.

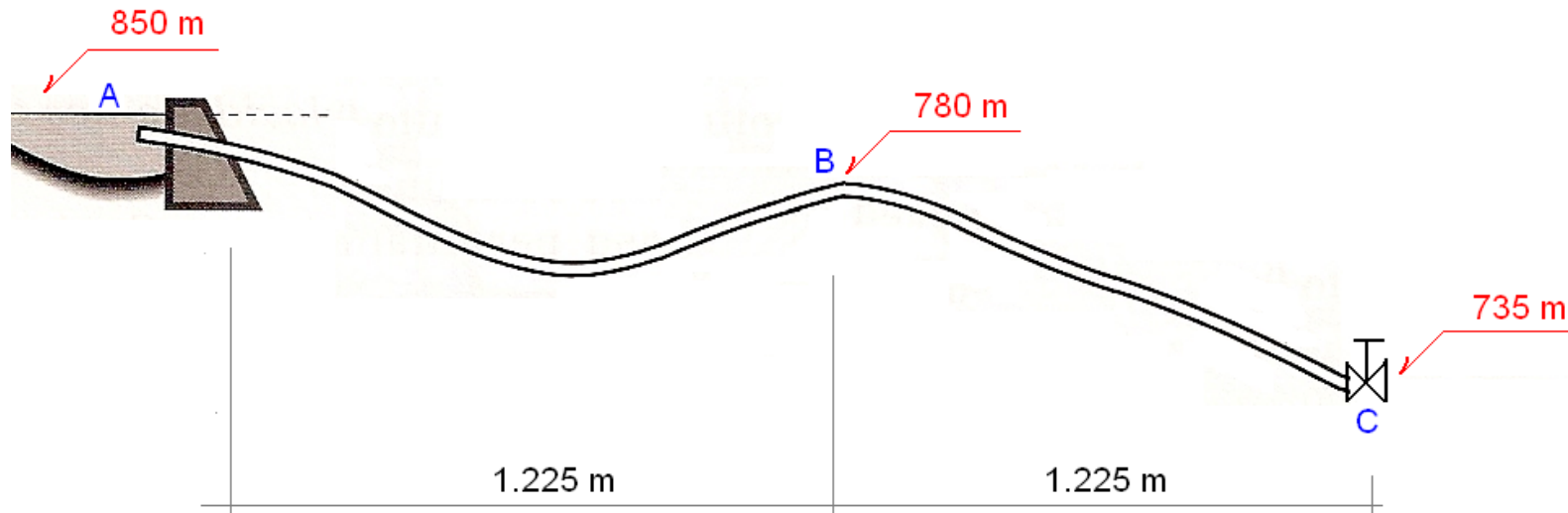


Problema VI.2 (CVI-p5)

Através de uma adutora que funciona por gravidade construída com FoFo, **comprimento** igual a **2.450m** e **diâmetro 250mm**, escoa uma **vazão** de **70 l/s**. Em sua extremidade de jusante encontra-se instalado um registro de gaveta. Sabe-se que:

- tempo de fechamento do registro = 58 s;
- espessura do tubo = 10 mm e 250 mm de diâmetro;
- elevação do NA à montante da adutora = 850 m;
- elevação do ponto médio da adutora = 780 m;
- elevação do eixo do registro de gaveta = 735 m.

Desconsiderando-se todas as perdas de carga, verificar se o tubo sofrerá colapso, sabendo-se que a pressão máxima de serviço é de 3,5 Mpa (=350mca).



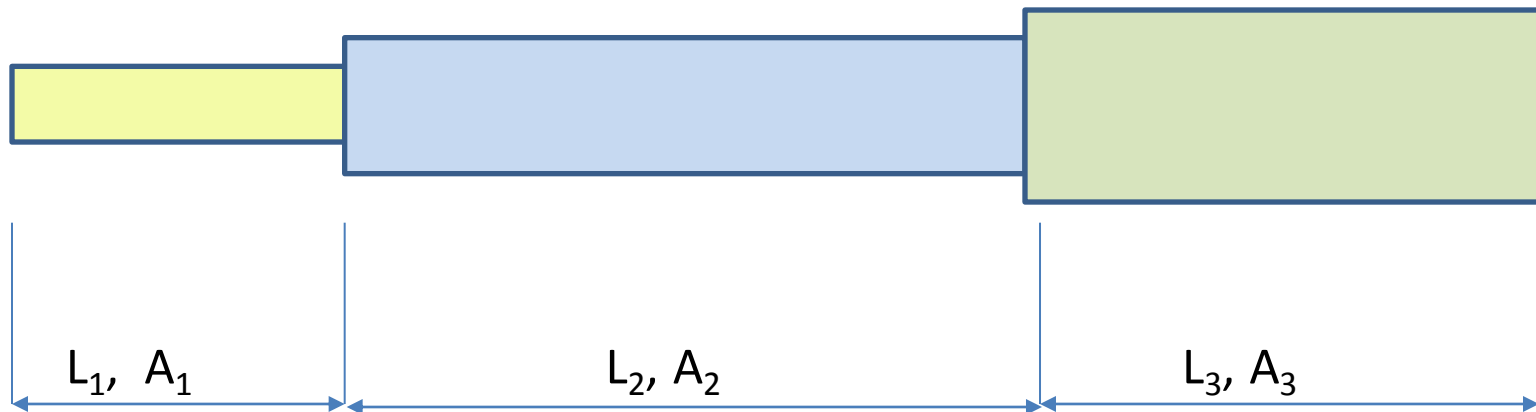


Problema VI.3 (CVI – p6v)

Uma tubulação de FoFo com $L = 250\text{m}$, $D = 700\text{mm}$ e “ e ” = 6,25mm transporta água à velocidade $U = 3,6 \text{ m/s}$. Junto à válvula montada na extremidade de jusante da tubulação a pressão estática é de 50 mca. Sabendo-se que a válvula fecha-se completamente em 3,25 s e que o tubo resiste à 25 gf/cm², verifique se há risco de ruptura. Caso a tubulação seja segura, calcule o fator de segurança.

Condições de Equivalência

Conduto associados em série com diferentes comprimentos ($L_1, L_2, L_3...$) ou seções transversais ($A_1, A_2, A_3,...$).



Os efeitos do GA são calculados sobre um conduto equivalente de comprimento L :

$$L = L_1 + \frac{L_2 A_1}{A_2} + \frac{L_3 A_1}{A_3} + \frac{L_4 A_1}{A_4} + \dots$$

Condições de Equivalência

Condutos associados em série com trechos com diferentes celeridades ($a_1, a_2, a_3, \dots$) ou diferentes espessuras ($e_1, e_2, e_3, \dots$). Os efeitos de GA são aplicados a um conduto equivalente com celeridade dada por:

$$\frac{L}{a} = \frac{L_1}{a_1} + \frac{L_2}{a_2} + \frac{L_3}{a_3} + \frac{L_4}{a_4} + \dots$$

$$\text{Onde } L = L_1 + L_2 + L_3 + L_4$$

Outros Modelos de Avaliação de Sobrepressão

Spane

$$ha = \frac{2LU}{gt} \cdot \frac{1}{2 \left(1 - \frac{LU}{2gtH} \right)}$$

Teoria Inelástica (Johnson)

$$ha = \frac{LU}{2g^2 H t^2} \cdot \left(LU + \sqrt{4g^2 \cdot H^2 t^2 + L^2 U^2} \right)$$

Onde:

ha = sobrepressão

H = carga de pressão a que está sujeita a canalização

Problema VI.4 (CVI-p7)

Seja a tubulação de aço com $D = 700$ mm e “e” = 6,35 mm, sendo $L = 250$ m, $U = 3,6$ m/s, $t = 2,1$ s, com pressão estática sobre a válvula igual a 50 m. Calcule a sobrepressão para os diversos modelos.

Tempo de Parada dos Sistemas de Recalque

$$t = \frac{1}{2K} \longrightarrow \text{Tempo de parada da bomba em s}$$

Onde:

K = constante da bomba

$$K = \frac{450.Q.Hm}{\eta.W_R^2.n^2}$$

Onde:

Q (l/s)

Hm (m)

η = eficiência do conjunto MB

W_R = Momento de inércia da bomba e do motor (kg x m²)

n = rotação (rpm)

$$W_R = 150.\left(\frac{P}{n}\right)^{1,435}$$

P = Potência (CV)

Problema VI.5 (CVI-p10)

Um sistema de recalque foi dimensionado para vazão de 260 L/s e sua tubulação de recalque é de aço, com 600,5 m de comprimento, diâmetro 550 mm e paredes de 14 mm de espessura. A altura manométrica é 35 m. O conjunto funciona com a rotação de 1770 rpm e a eficiência de 80%. Na saída da bomba existe uma válvula de retenção que impede a sua rotação em sentido inverso. Calcule:

- O regime de pressões no início do conduto de recalque, quando interrompe a energia elétrica.
- O fator de segurança do material caso seja 27kgf/cm² sua tensão de ruptura.

