EXPERIÊNCIA # 2

PERDA de CARGA EM CONDUTAS

Objectivo

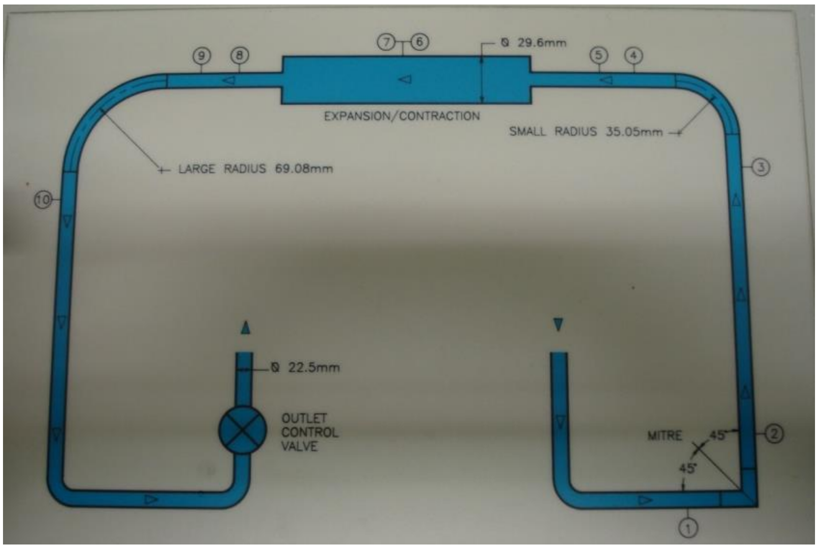
Verificação experimental da perda de carga/energia de escoamentos em condutas

Descrição geral do equipamento

Circuito hidráulico fechado composto por elementos rectos de tubo e por elementos adaptativos entre eles. O circuito é alimentado por uma bomba de água instalada no interior da bancada hidráulica e está equipado com 2 válvulas para controlo do caudal. Ao longo do circuito encontram-se instalados 10 manómetros. O fluxo ocorre da direita para a esquerda da bancada hidráulica.

Método experimental

Um caudal de água controlado é fornecido ao circuito hidráulico. São medidas as alturas piezométricas em várias secções do circuito localizadas a montante e a jusante dos diferentes elementos adaptativos. A experiência é repetida para diferentes valores do caudal.



TEORIA

Nos escoamentos de fluidos em condutas, a soma das energias específicas (J/kg=m^2s^{-2}) apresentadas na equação de Bernoulli é muitas vezes designada por carga total ("total head") $\mathcal{H}$

$$\mathcal{H} = \frac{P}{\rho} + \frac{V^2}{2} + gz = gh + \frac{V^2}{2} + gz \tag{1}$$

sendo h a altura medida num tubo piezométrico (manómetro). O valor da carga total $\mathcal{H}$, invariante nas condições enunciadas no princípio de Bernoulli (ver Experiência #1 – Princípio de Bernoulli. Tubo de Venturi), sofre geralmente redução devido ao atrito nas paredes das condutas e, também, devido à geração de movimentos turbulentos causados pelo ajustamento do escoamento do fluido a alterações na geometria dessas condutas, ou seja perda de carga por conversão de energia cinética do escoamento médio em energia cinética turbulenta.

Se considerarmos, por exemplo, dois pontos com igual cota z e pertencentes à mesma linha de corrente, localizados antes e depois de um estrangulamento que marca a redução do diâmetro da conduta de D_u ("upstream" = montante) para D_d ("downstream" = juzante), temos, de acordo com a figura abaixo,

$$\Delta H = \Delta h + \frac{V_u^{\,2}}{2g} - \frac{V_d^{\,2}}{2g} \tag{2}$$

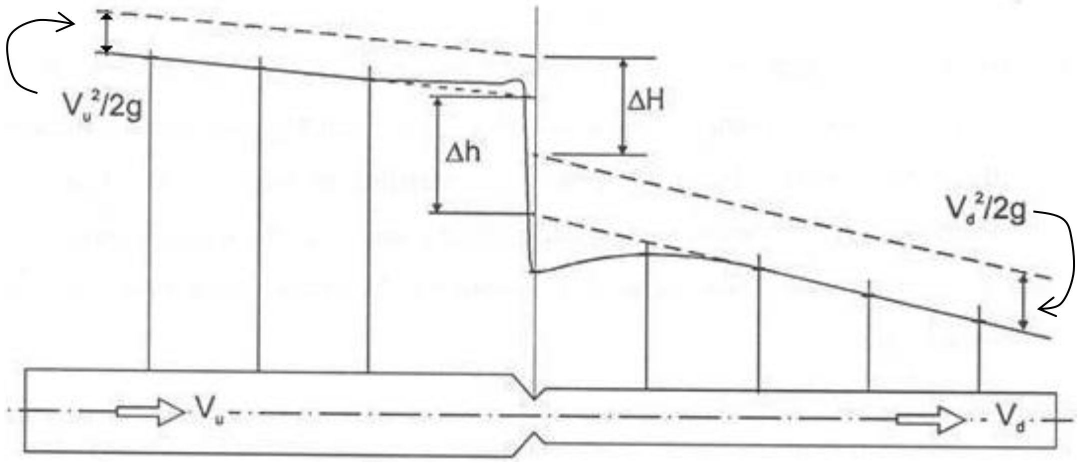
em que $H=\mathcal{H}/g$ (em metros) é a altura da carga total e $\Delta h = h_u - h_d$ é a variação da cota de montante para jusante. A variação (perda) da altura de carga total ΔH, é geralmente apresentada através de um coeficiente adimensional ***K*** de perda de carga

$$K = \frac{\Delta H}{V_u^{\,2}/2g} \quad \text{ou} \quad K = \frac{\Delta H}{V_d^{\,2}/2g} \tag{3}$$

Se $D_u=D_d$, ou seja as secções são iguais antes e depois do estrangulamento, então $V_u=V_d$ e podemos simplificar a expressão de K

$$K = \frac{\Delta H}{V^2/2g} \quad \text{ou} \quad K = \frac{\Delta h}{V^2/2g}\ , \qquad \text{pois } \Delta H = \Delta h\ . \tag{4}$$

Os tubos piezométricos, necessários para medir Δh, são colocados a montante e a jusante do estrangulamento (curvas, cotovelo e variações de secção) e a uma distância deste suficiente para que se possam evitar as perturbações do movimento que ocorrem na sua proximidade

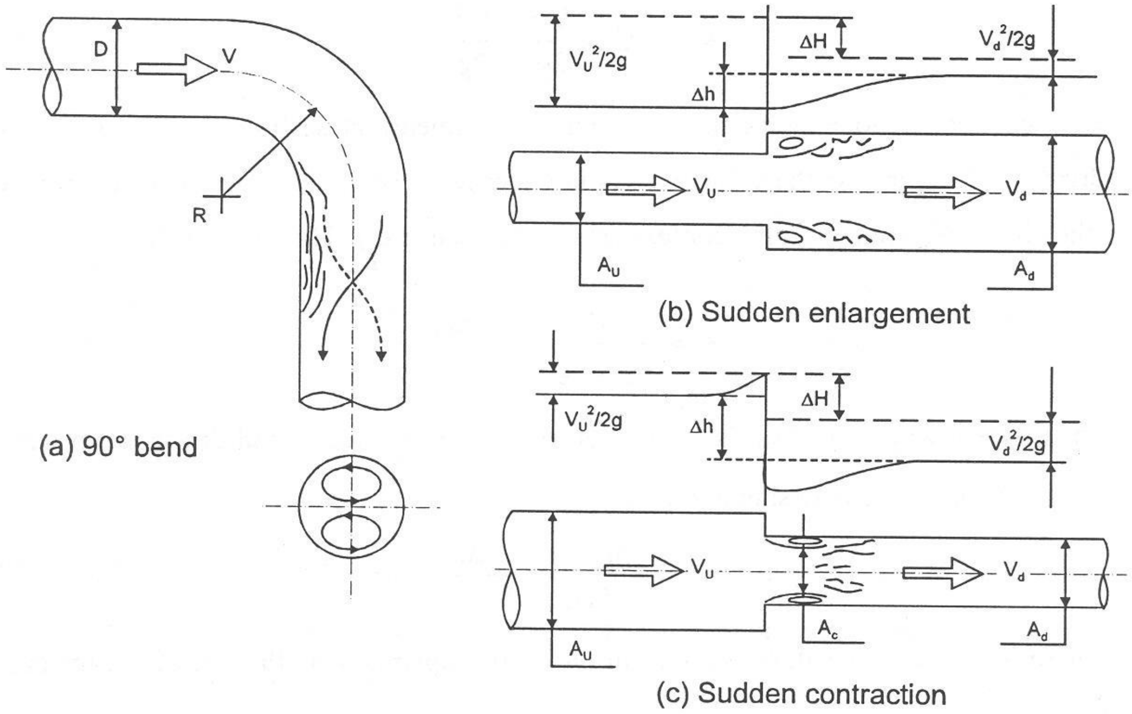


Na figura desta página, estão representados exemplos das alterações de geometria que ocorrem no circuito hidráulico utilizado nesta experiência, as quais implicam a perda de carga total do escoamento.

No caso ***a)*** (ver figura anexa) é apresentado um elemento curvo de tubo com um ângulo de 90º e um dado raio de curvatura *R* e que mantém uma secção constante de diâmetro *D*. Uma vez que não se verifica alteração da secção do tubo, a velocidade a montante e a jusante do elemento curvo mantém-se inalterada. Medindo $\Delta h = h_u - h_d$ podemos determinar a perda de altura de carga ΔH (eq. 2) e estudar a sua dependência com a razão geométrica *R/D*.

Nos casos ***b)*** e ***c)*** (ver figuras anexas) são apresentados, respectivamente, um alargamento e um estrangulamento súbito da secção do tubo. Medindo $\Delta h = h_u - h_d$ e conhecendo V_u e V_d podemos determinar a perda de altura de carga ΔH (eq. 2).

Em qualquer dos casos representados, verifica-se, imediatamente após a perturbação introduzida na geometria do circuito, uma separação no escoamento junto às fronteiras do tubo, com a formação de movimentos secundários (turbulentos). O escoamento volta a homogeneizar um pouco mais a jusante da perturbação. Esta separação/reagrupamento do escoamento produz forte mistura turbulenta responsável pela perda de energia (diminuição da altura de carga total *H*) do escoamento médio dentro do tubo.



(a) 90° bend

(b) Sudden enlargement

(c) Sudden contraction

Procedimento experimental

- ligue a bomba de água da bancada hidráulica (botão situado na parede esquerda do tanque hidráulico).
- abra a válvula de passagem da bancada hidráulica, colocada na parede lateral esquerda do tanque, rodando-a lentamente (no sentido direto) até que a leitura da altura piezométrica no 1º tubo manométrico (tubo antes da curva em cotovelo) esteja próxima de 300 mm. Meça e registe as alturas piezométricas de todos os tubos manométricos;
- com o objectivo de determinar o caudal que alimenta o circuito hidráulico, utilize a mangueira de descarga para encher o reservatório externo (balde) com 10 *l* de água e, meça o tempo T (em segundos) dessa operação.
- repita o conjunto de medições anteriores (alturas piezométricas e tempos de enchimento do balde) para mais 4 valores diferentes, e progressivamente maiores, do caudal debitado através do circuito hidráulico. Não ultrapasse o valor de 500 mm no 1º tubo manométrico;
- feche a válvula da bancada hidráulica, rodando no sentido horário. Desligue a bomba de água carregando de novo no botão inicial.

Cálculos

1. Para cada uma das 5 realizações experimentais (5 posições de abertura da torneira de passagem da bancada hidráulica):

   (a) - calcule o caudal médio observado ($Q=0.01m^3/T$) enchendo o balde até à linha marcada.

   (b) - calcule a velocidade v=Q/secção (em m^2), no interior do circuito hidráulico, considerando a secção do tubo com diâmetro "normal" (D_n=22,5 mm) e a secção com diâmetro "alargado" (D_a=29,6 mm).

   (c) - calcule a perda de altura de carga ΔH (eq. 2) em cada um dos 5 elementos adaptativos (5 pares de manómetros) que alteram a geometria do tubo.

2. Represente num mesmo gráfico e para os elementos em que o diâmetro da secção do tubo não varia ("cotovelo" e "curvas" com R= 35,05 mm e R= 69,08 mm), os valores de ΔH em função de $V^2/2g$.

3 – Repita o ponto anterior para os dois elementos em que o diâmetro da secção do tubo varia ("alargamento" e "estrangulamento"). Neste caso, os valores de $V^2/2g$ nas abcissas do gráfico, são calculados com a velocidade determinada na secção do tubo com diâmetro "normal" (D_n=22,5 mm).

4 – A partir dos gráficos obtidos, determine o coeficiente adimensional ***K*** de perda de carga (definido pelas eq. 3 ou 4) de cada um dos 5 elementos adaptativos que alteram a geometria do tubo. Discuta os resultados obtidos.

Valores medidos

Caudal **Alturas piezométricas (mm)**

Vol (m^3) 0.01	**T** (s)	**Q** (m^3/s)	**Cotovelo** (90º) *h_1 ; h_2 (mm)*	**Curva** (R=35,05 mm) *h_3 ; h_4(mm)*	**Alargamento** (D_5=22,5 mm D_6=29,6 mm) *h_5 ; h_6(mm)*	**Estrangulamento** (D_7=29,6 mm D_8=22,5 mm) *h_7 ; h_8(mm)*	**Curva** (R=69,08 mm) *h_9 ; h_{10}(mm)*