

INSTRUMENTAÇÃO INDUSTRIAL – MEDIÇÃO DE CAUDAL

1.ª PARTE – Classificação dos Caudalímetros; Pressão Diferencial: Placa de Orifício ou Diafragma

A medição fiável e precisa dos fluxos volumétricos e mássicos será sempre um factor crítico em qualquer processo pelos elevados custos de uma medição de fluxo errónea, quer sejam custos directos de produção, meio ambientais ou de manutenção. A crescente exigência no cumprimento da legislação vigente, tanto no que se refere a assuntos relativos à qualidade como a assuntos relativos ao meio ambiente, obriga a uma monitorização precisa e fiável dos processos.

DEFINIÇÃO DE CAUDAL

Caudal (ou fluxo) significa quantidade de líquido, gás, ou vapor, por unidade de tempo, que passa através duma determinada secção. O valor de caudal pode ser expresso em volume ou massa na unidade de tempo.

INSTRUMENTOS DE MEDIÇÃO

O caudal mede-se com instrumentos mecânicos de leitura local (rotâmetro, pressão diferencial, canal aberto, etc.) ou com Instrumentos mecânicos/ electrónicos de leitura indirecta e remota.

UNIDADES DE CAUDAL

1. m³/h ; dm³/h
2. ton/h ; Kg/h
3. Nm³/h ; Ndm³/h (gases)

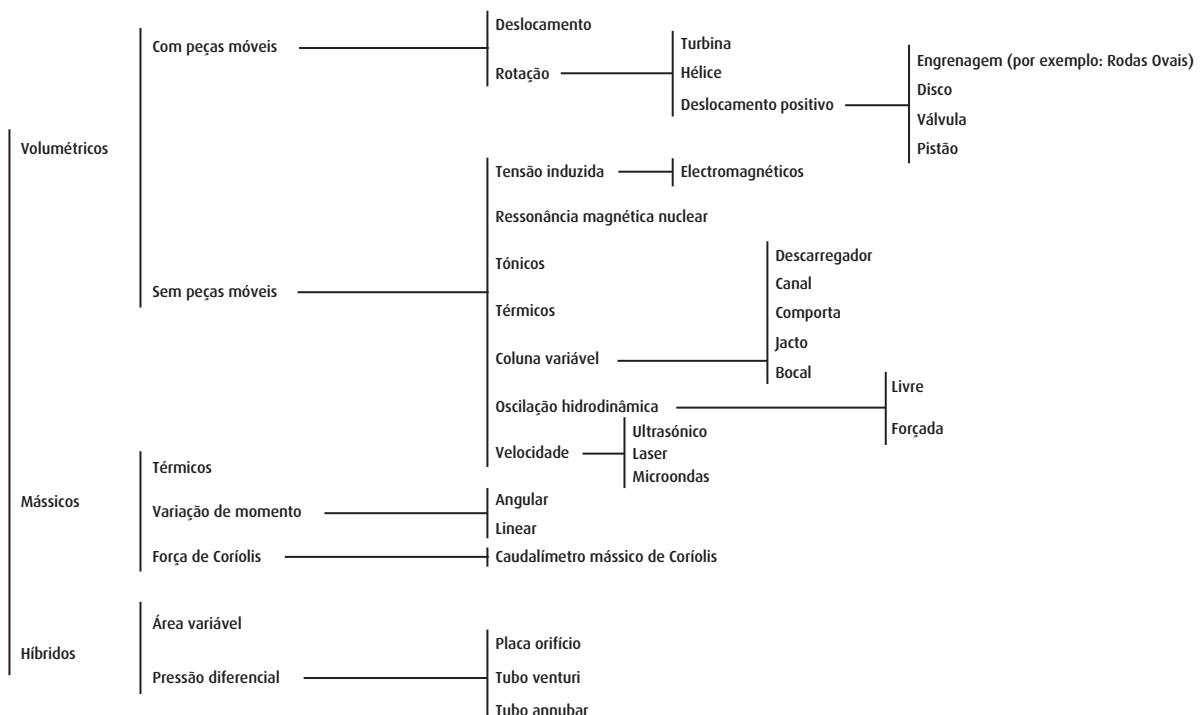
Nota: Em Portugal não se usam unidades inglesas ou americanas.

CLASSIFICAÇÃO DOS CAUDALÍMETROS

Existem dois tipos de medidores de caudal: Os *medidores volumétricos* determinam o caudal em volume do fluido, seja directamente (deslocamento), ou indirectamente por dedução ou inferência (pressão diferencial, velocidade, tensão induzida e deslocamento positivo); e os de *massa* que determinam o caudal massa. Reservam-se os medidores volumétricos para aplicações menos exigentes e o medidor de caudal mássico para aplicações em que a exactidão da medida é importante, por exemplo, na medição final do caudal do produto a facturar ao cliente.

De assinalar que a medida de caudal volumétrico na indústria é feita principalmente com elementos que dão lugar a uma pressão diferencial na passagem do fluido. Entre estes elementos temos a placa de orifício ou diafragma, o tubo Venturi e o tubo Annubar.

Existem diversas formas para classificar um caudalímetro. Sendo a classificação baseada no tipo de grandeza primária que se mede (volume ou massa) uma das mais correntes:



Esquema 1 · Classificação de Caudalímetro

PRINCÍPIO DE MEDIDA

1. Pressão Diferencial;
1. Velocidade (Rotação/Método Doppler);
2. Tensão Induzida;
3. Deslocamento Positivo;
4. Força de Coriolis.

PRESSÃO DIFERENCIAL:

Estes sensores são dispositivos mecânicos (estáticos) com duas tomadas de medida de pressão. Quando um fluido (líquido, gás ou vapor) atravessa qualquer um destes dispositivos gera uma pressão diferencial nas respectivas tomadas (HP e LP). O caudal é directamente proporcional à raiz quadrada da pressão diferencial, conforme mostra a equação:

$$Q = K \times \sqrt{\Delta P}$$

Estes equipamentos necessitam sempre de um transmissor de pressão diferencial para conversão do ΔP em leitura local (opção) e 4 ~ 20 mA DC para indicação remota.

PRESSÃO DIFERENCIAL: PLACA DE ORIFÍCIO OU DIAFRAGMA

A *placa de orifício ou diafragma* é o dispositivo de medição de fluxo mais utilizado devido à sua simplicidade, baixo custo de fabrico e facilidade de instalação. Também produz a mais elevada perda de carga, mas na maioria das medições de caudal esta perda não tem muita importância. As placas de orifícios, quando bem fabricadas e instaladas adequadamente, fornecem leituras precisas e, se usadas com coeficientes de correcção, podem ser tão precisas quanto a maioria dos medidores de caudal.

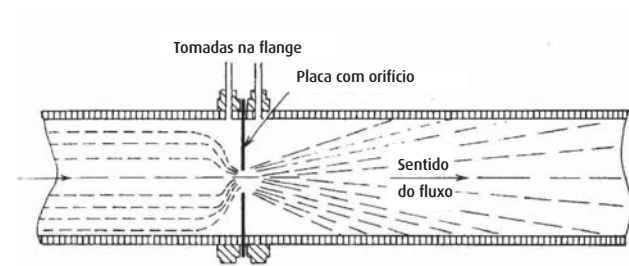


Figura 1 · Desenho em corte de uma instalação típica de placa de orifício

A placa de orifício consiste numa placa perfurada, onde se encontram gravados o nome do fabricante e as características do orifício. Esta placa é centrada pelos próprios parafusos de aperto das flanges, como se vê na Figura 1.

As placas de orifício exigem uma instalação cuidadosa e deverá ser dada atenção ao seguinte:

- Garantir que a placa de orifício está centralizada no tubo. É por isso que esta durante a instalação geralmente descansa sobre as cavilhas.
- Verificar que a placa do orifício não se encontra encurvada.
- Observar se o bisel interior do orifício não se encontra danificado.
- Garantir que a superfície biselada se encontra voltada para o lado correcto, normalmente para montante (ver indicação gravada na placa).

A disposição das tomadas de alta pressão, que está a montante, e a tomada de baixa pressão a jusante e que captam a pressão diferencial pode ver-se na Figura 2. Note-se que os fabricantes de placas de orifício fornecem tabelas com a indicação da melhor localização, baseadas na relação entre o orifício e o diâmetro da tubulação.

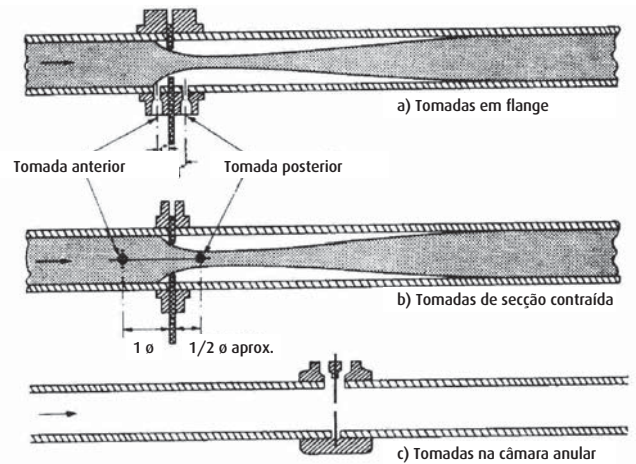


Figura 2 · Disposição das tomadas de pressão diferencial

Tomadas na flange (flange taps) (Figura 2a). É bastante utilizada porque a sua instalação é cómoda uma vez que as tomadas estão furadas nas flanges que suportam a placa e estão situadas a 1" de distância da mesma.

Tomadas na câmara anular (corner taps) (Figura 2c). As tomadas estão situadas imediatamente antes e depois do diafragma e requerem a aplicação de uma câmara anular especial. Aplica-se muito na Europa.

Quando se deseja obter uma pressão diferencial máxima, aplicam-se *tomadas na secção contraída (vena contracta taps)* (figura 2b). Em que a tomada posterior está situada no ponto onde a secção alcança o seu diâmetro mais pequeno, que depende da razão dos diâmetros e está aproximadamente a 1/2 do diâmetro da tubagem. A tomada anterior situa-se a 1 diâmetro da tubagem.

Assim o orifício provoca uma redução no diâmetro do fluido mas o diâmetro mínimo ocorre após a passagem por este, onde a secção do fluido tem o seu valor mínimo e, conseqüentemente a velocidade atinge o seu máximo.

A aplicação das leis da Física conduz, para o caso dos fluidos reais em regime variável, à equação de *Bernoulli*:

$$\frac{\partial}{\partial s} \times \left(\frac{v^2}{2 \times g} + \frac{p}{\gamma} + z \right) = -\frac{1}{g} \times \frac{\partial v}{\partial t} - J$$

em que:

p - pressão estática, gravítica ou manométrica;

γ - peso volúmico do fluido;

z - altura do fluido (cota);

J - trabalho das forças resistentes por unidade de peso e de percurso, ou perda de carga;

v - velocidade do fluido;

g - aceleração da gravidade, 9,80 m/s²;

s - direcção da linha de corrente.

Para o caso de escoamentos em regime permanente é $\frac{\partial v}{\partial t} = 0$. Para um fluido ideal tem-se $J=0$. Neste caso será então:

$$\frac{\partial}{\partial s} \times \left(\frac{v^2}{2 \times g} + \frac{p}{\gamma} + z \right) = 0$$

o que equivale a dizer que ao longo de uma linha de corrente é constante a soma:

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

Este valor é constante ao longo de uma linha de corrente mas difere de linha para linha.

O teorema de Bernoulli aplica-se também a um tubo de fluxo horizontal, desde que v seja substituído por $\partial \times v$, em que:

\bar{v} - velocidade média do fluido numa secção de tubo;

∂ - coeficiente de Coriolis, é um parâmetro tal que $1,05 < \partial < 1,10$.

Assim para um tubo de fluxo horizontal, a aplicação do teorema de Bernoulli conduz a:

$$\frac{\bar{v}^2}{2 \times g} + \frac{P}{\gamma} = K$$

A equação indica que à medida que a velocidade do fluido começa a aumentar, para que a soma dos dois termos se mantenha constante deverá haver uma diminuição da pressão.

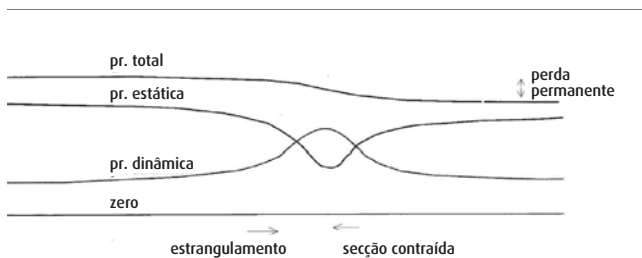


Figura 3 · Evolução longitudinal das pressões ao longo de uma tubagem com estrangulamento

A Figura 3 representa a evolução longitudinal dos termos $\frac{\bar{v}^2}{2 \times g}$ (pressão dinâmica), $\frac{P}{\gamma}$ (pressão estática ou pressão manométrica) e da soma $\frac{\bar{v}^2}{2 \times g} + \frac{P}{\gamma}$ (pressão total).

Na maioria das aplicações o orifício da placa é *concêntrico*, mas em determinadas aplicações poderá ser necessário ter variantes em que o orifício da placa é *excêntrico* ou de *segmento circular* (Figura 4).

Como por exemplo, quando o fluido a ser medido contém material suspenso que se acumula atrás da placa concêntrica, do lado montante, e que leva a leituras falsas.

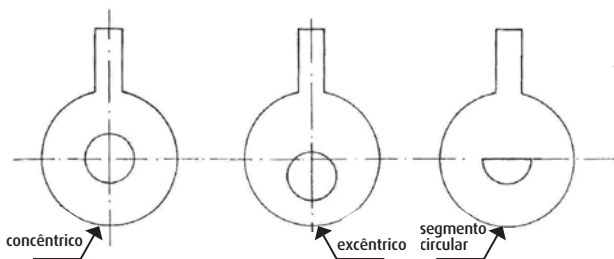


Figura 4 · Placa de orifício ou diafragma

Para o *dimensionamento do orifício* é necessário instalar juntamente com a placa de orifício um manómetro (tubo em U) que permite a leitura da pressão diferencial entre os lados anterior e posterior da placa, e da equação apropriada que permite obter o valor de caudal em função do tipo de placa

de orifício utilizada, e deve ser corrigida por um coeficiente de caudal C obtido na Figura 5, que resulta de uma relação entre a área do orifício A_0 , a secção transversal do tubo A_1 , e o número de Reynolds R_e .

$$Q = C \times A_0 \sqrt{\frac{2 \times \Delta_p}{\rho}}$$

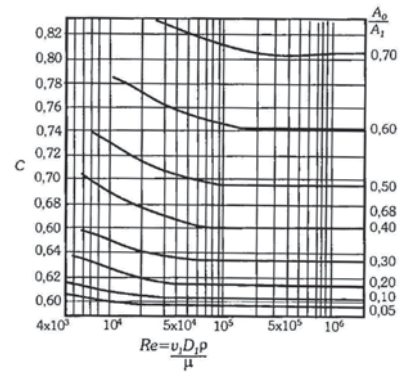


Figura 5 · Coeficiente de Caudal C

Se, entretanto, a placa de orifício estiver equipada com um manómetro em U que utiliza no seu interior um fluido de densidade maior que o fluido circulante na tubulação, a equação de descarga será:

$$Q = C \times A_0 \sqrt{2 \times g \times h \left(\frac{\rho_0}{\rho} - 1 \right)}$$

Em que,

- ρ_0 = massa específica do fluido manométrico (Kg/m³);
- ρ = massa específica do fluido circulante na tubagem (Kg/m³);
- h = altura manométrica (m);
- g = aceleração da gravidade 9,80 (m/s²);
- A_0 = área do orifício da placa (m²);
- R_e = número de Reynolds;
- v_i = velocidade do fluido na tubagem (m/s);
- D_i = diâmetro interno da tubagem (m);
- μ = viscosidade do fluido (N.s/m²).

Note-se que é vulgar o utilizador industrial depender do fabricante para o dimensionamento do orifício. Uma vez que o fabricante indica o orifício adequado a partir das especificações que o utilizador fornece da sua aplicação, que são:

- Diâmetro interno da conduta;
- Tipo de fluido;
- Temperatura e pressão;
- Velocidade máxima do fluido;
- Caudais máximo e mínimo;
- Perda de carga permanente admissível;
- Valor desejado para pressão diferencial (valor corrente: 30 kPa, para Q_{max}).

[Continua na próxima edição]