

FENÔMENOS DE TRANSPORTE

MEDIDORES DE VAZÃO

Há três métodos principais para medir a vazão de um fluido:

- a) método direto;
- b) método com base em pressão variável:
 - medidor venturi;
 - placa de orifício;
 - tubo de pitot.
- c) método com base em área variável.

a) método direto:

Emprega-se um recipiente graduado para medir volume.

Recolhe-se um determinado volume, ΔV , num determinado tempo, Δt .

Com $\Delta V / \Delta t$ tem-se a vazão volumétrica.

Este método é muito adequado para calibrar outras formas de se medir vazão.

b) método com base em pressão variável:

MEDIDOR VENTURI:

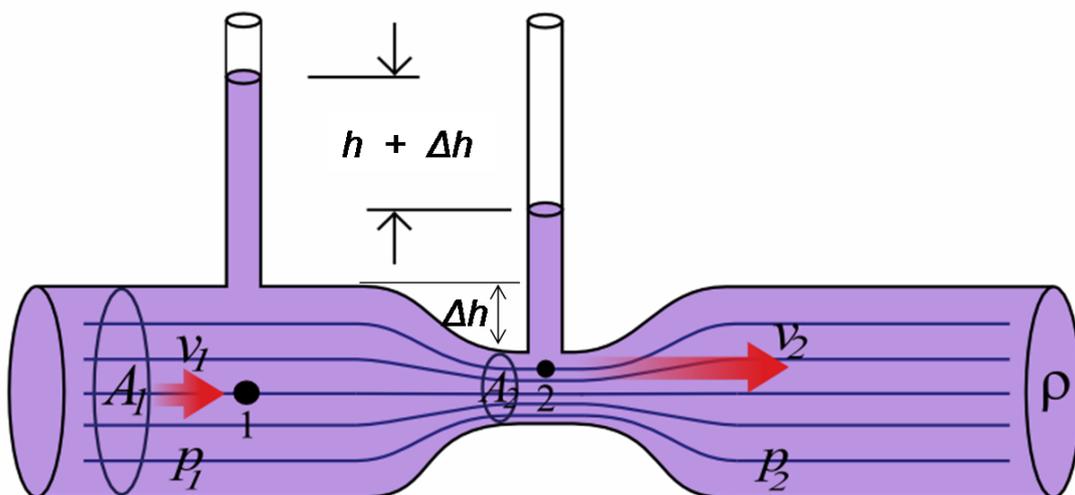


Figura 1

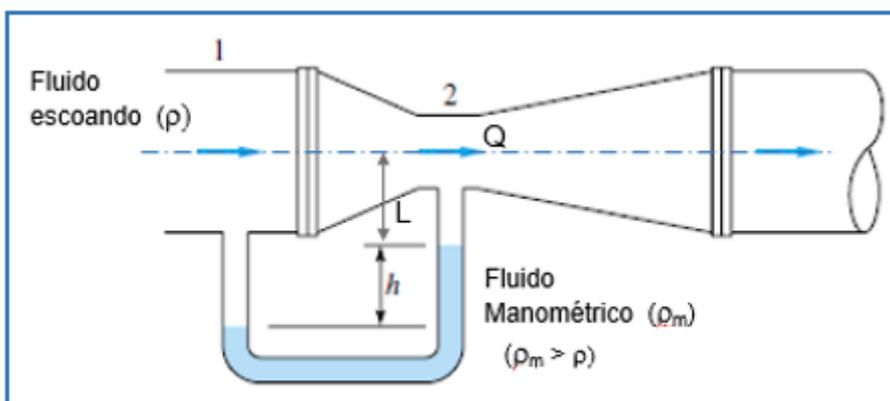


Figura 2

PLACA DE ORIFÍCIO:

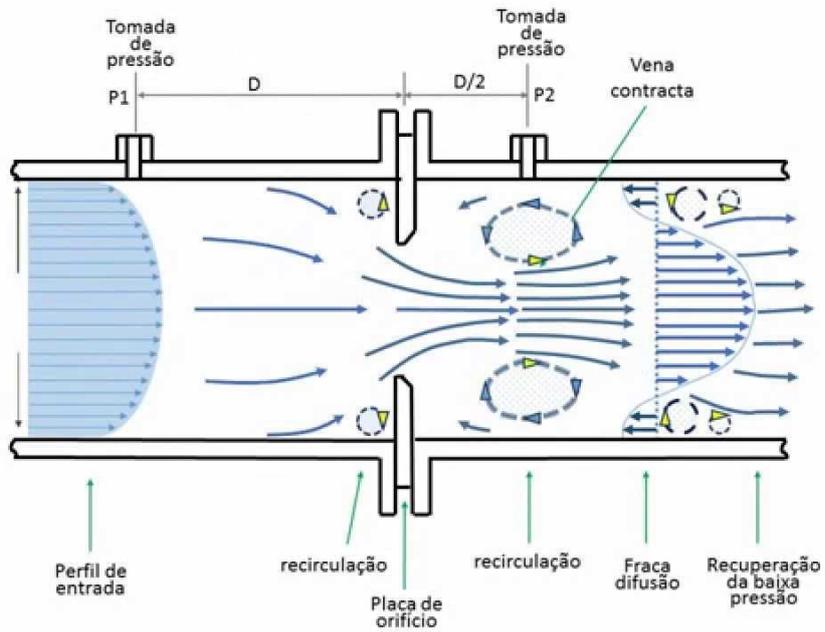


Figura 3

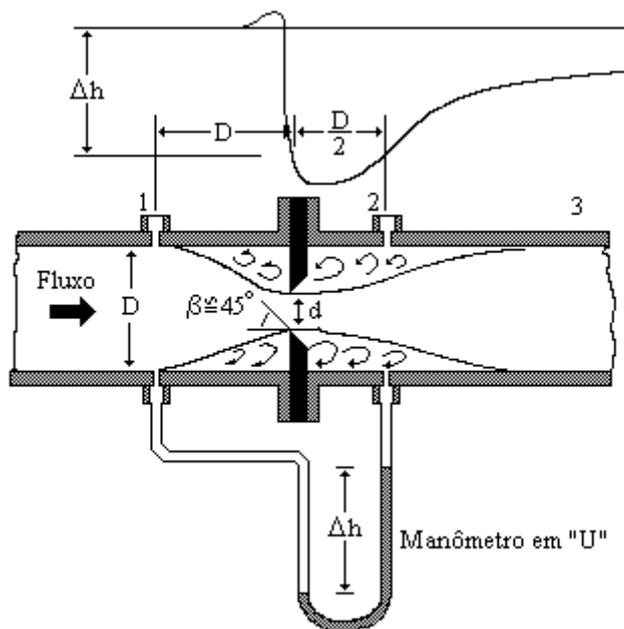


Figura 4

FENÔMENOS DE TRANSPORTE I

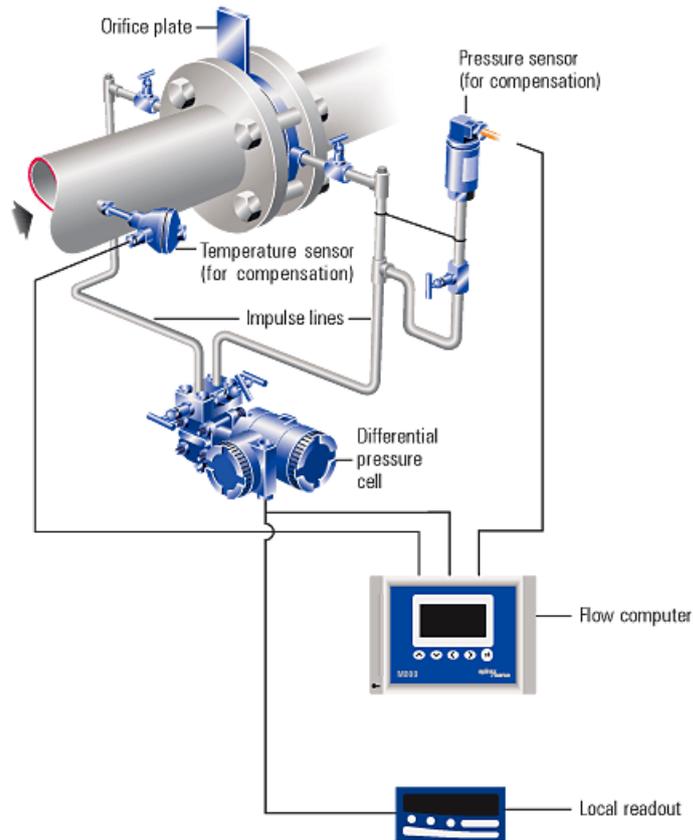


Figura 5

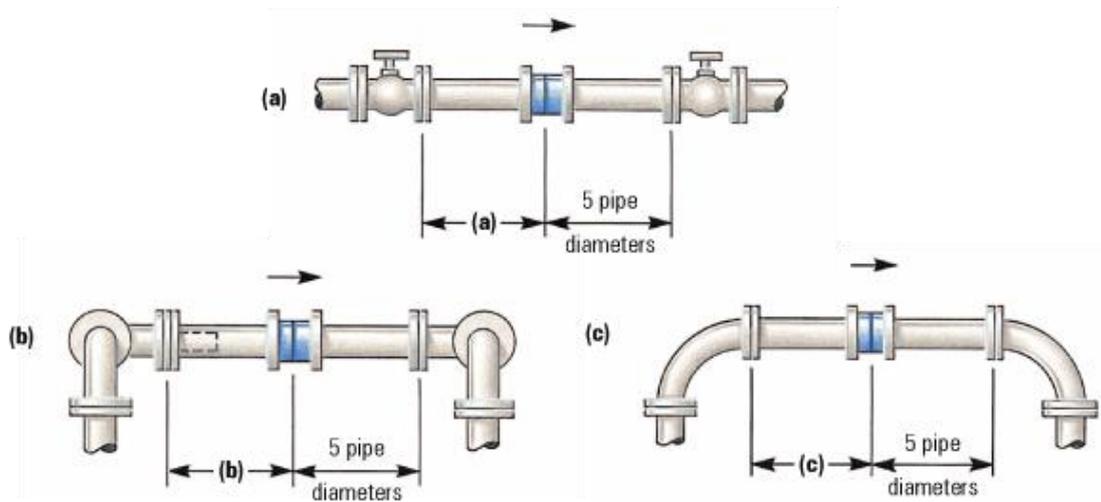


Figura 6

São dispositivos baratos, mas que induzem alta perda de carga.
Não são recomendados para baixas vazões

Aplicando-se a Equação de Bernoulli entre os pontos 1 e 2 das figuras 2 e 4:

$$\frac{vb1^2}{2} + gz1 + \frac{p1}{\rho} = \frac{vb2^2}{2} + gz1 + \frac{p2}{\rho} + lwf$$

* $z1=z2$

* $lwf=0$ (situação ideal)

Considerando-se o balanço de massa:

$$\begin{aligned} \dot{m}1 &= \dot{m}2 \\ A1vb1\rho1 &= A2vb2\rho2 \\ vb1 &= vb2 \left(\frac{d}{D}\right)^2 \end{aligned}$$

d=menor diâmetro no medidor,

D=maior diâmetro (da tubulação).

Substituindo-se esta última equação na equação de Bernoulli simplificada e resolvendo-se para $vb2$, obtém-se:

$$vb2 = \sqrt{\frac{2(p1 - p2)}{\rho(1 - \beta^4)}}$$

$\beta=d/D$

$$p1 - p2 = (\rho_m - \rho)g\Delta h$$

ρ_m = densidade do fluido manométrico

ρ = fluido que escoar.

Δh = diferença de altura observada no fluido manométrico.

Como foi considerada a situação ideal ($lwf = 0$), e sabendo-se que lwf não é zero e é de difícil quantificação, introduz-se um fator de correção:

Para o medidor Venturi:

$$vb2 = Cv \sqrt{\frac{2(p1 - p2)}{\rho(1 - \beta^4)}}$$

Cv é aproximadamente 0,98 para $Re > 10^4$ no orifício.

Para a placa de orifício:

$$vb2 = Cpo \sqrt{\frac{2(p1 - p2)}{\rho(1 - \beta^4)}}$$

Cpo é aproximadamente 0,61 para $Re > 10^4$ no orifício.

Observa-se que $vb2$ é a velocidade na menor área do medidor. Para se obter a velocidade na tubulação, faz-se o balanço de massa e obtém-se a equação já apresentada:

$$v_{b1} = v_{b2} \left(\frac{d}{D} \right)^2$$

Para a placa de orifício:

Considerando-se a figura 4 e os pontos 1, 2 e 3:

$$\frac{p_3 - p_2}{p_1 - p_2} = R \text{ (fator de recuperação de pressão)}$$

$$\frac{p_1 - p_3}{p_1 - p_2} = 1 - R \text{ (fração de perda de pressão permanente)}$$

O jato que se forma após o fluido passar pelo orifício é denominada de “vena contracta”. Verifica-se um perfil de pressão na placa de orifício, à medida que o fluido se aproxima e atravessa a placa de orifício. Esse perfil está mostrado acima da placa de orifício na figura 4.

TUBO DE PITOT.

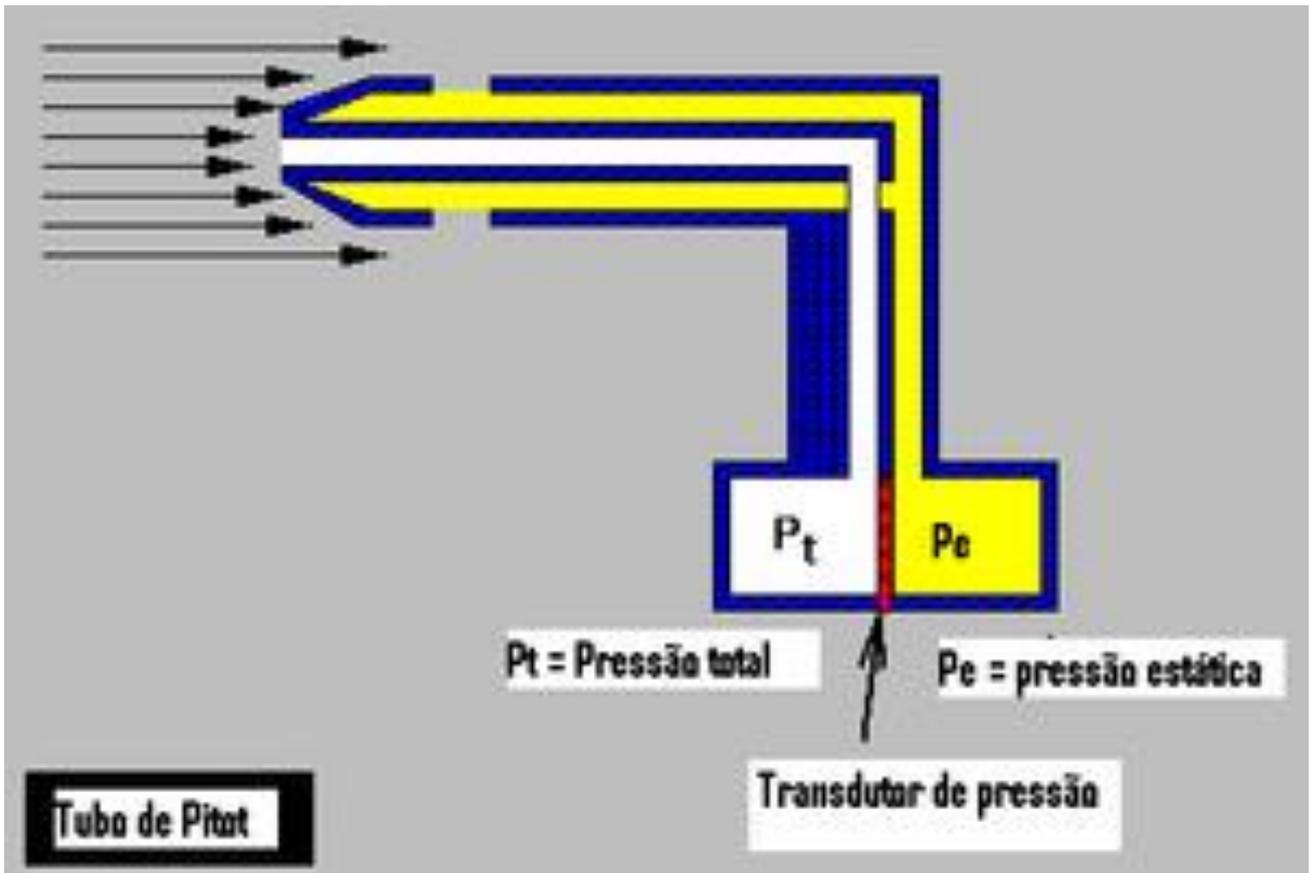


Figura 7

Tubo de Pitot

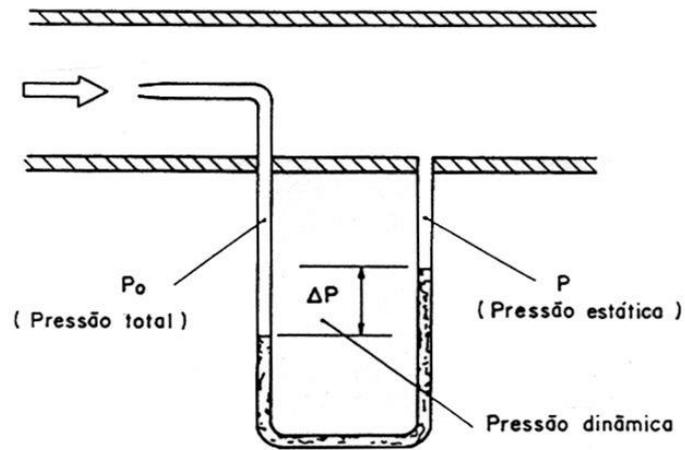


Figura 8

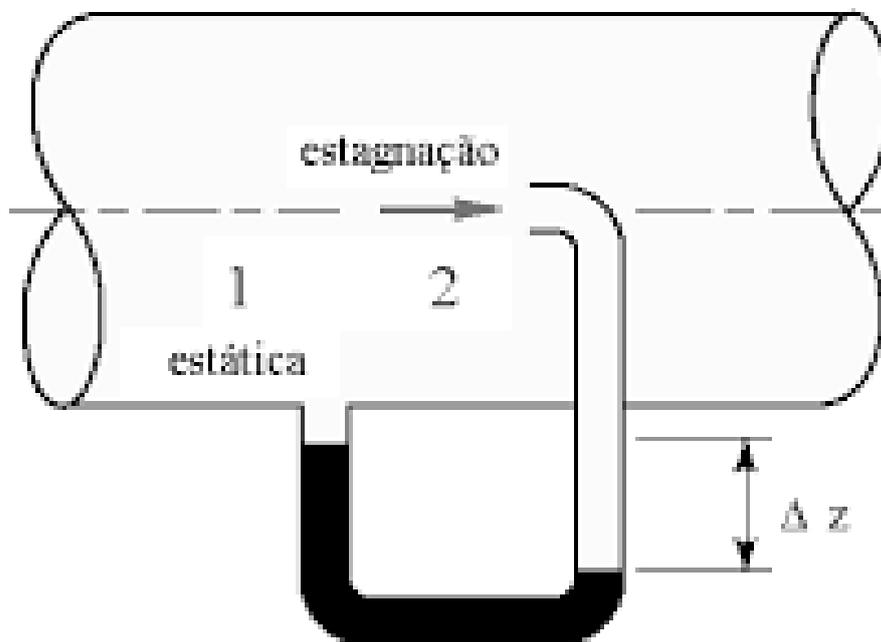


Figura 9

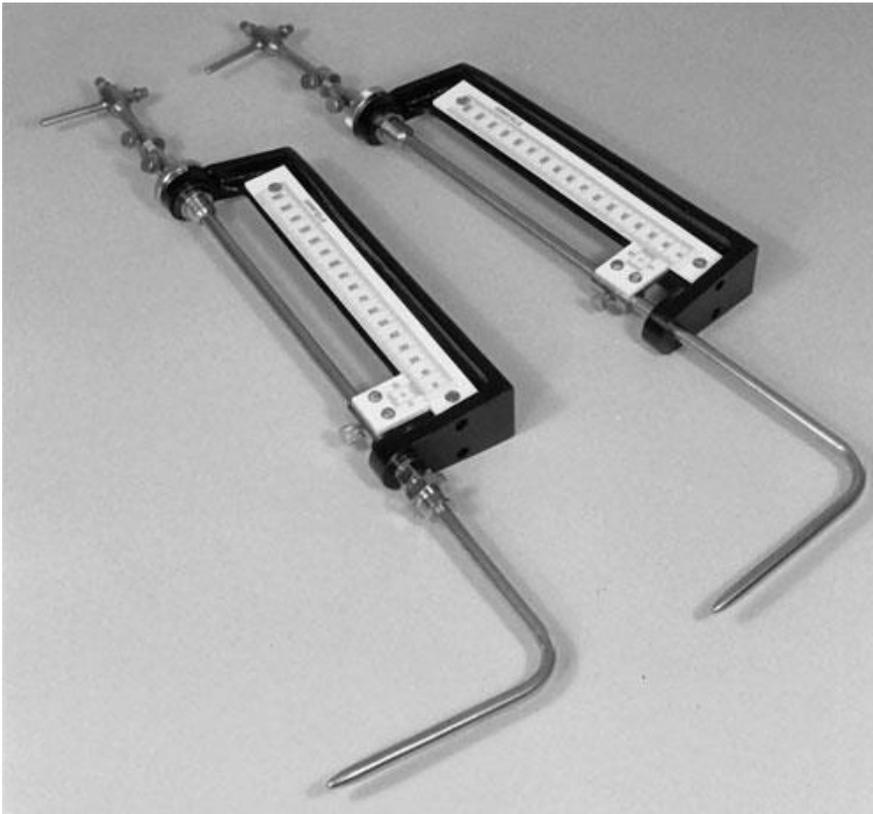


Figura 10

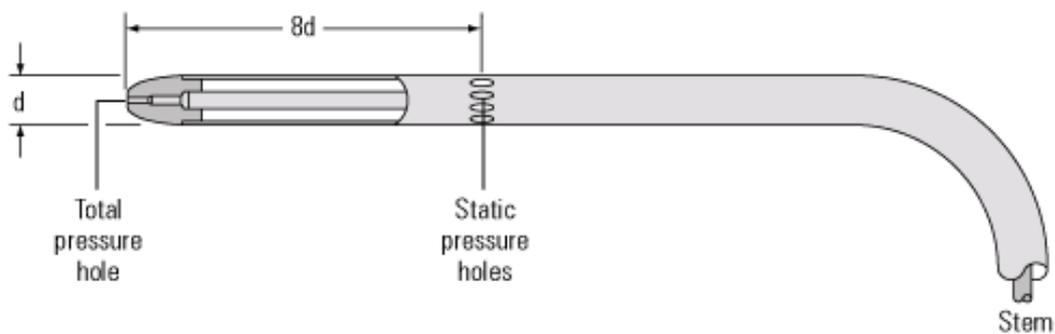


Figura 11

O tudo de Pitot é colocado na tubulação de forma a varrer toda a seção da tubulação.

Observando-se a figura 9, encontram-se as seguintes pressões:

- no ponto 1 = pressão estática;
- no ponto 2 = pressão de estagnação

Aplicando-se a equação de Bernoulli entre os pontos 1 e 2:

$$\frac{v_1^2}{2} + gz_1 + \frac{p_1}{\rho} = \frac{v_2^2}{2} + gz_2 + \frac{p_2}{\rho} + l_{wf}$$

* $z_1 = z_2$.

* l_{wf} é desprezível.

* $v_2 = 0$ (o fluido para nesse ponto).

Resolvendo-se para v_1 :

$$v_1 = \sqrt{\frac{2(p_2 - p_1)}{\rho}}$$

$$p_2 - p_1 = (\rho_m - \rho)g\Delta h$$

ρ_m = densidade do fluido manométrico

ρ = fluido que escoa.

Δh = diferença de altura observada no fluido manométrico.

c) método com base em área variável.

ROTÂMETRO



Figura 12



Figura 13

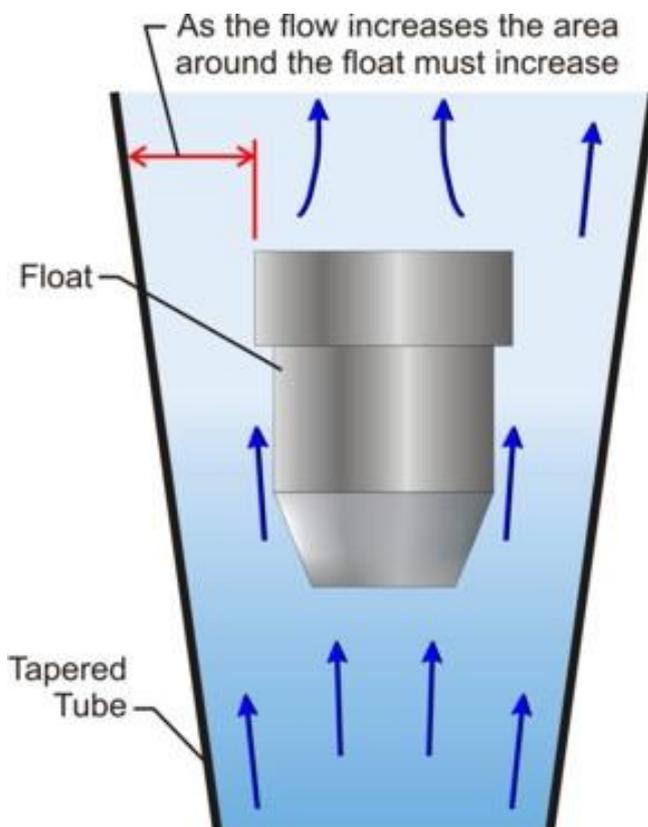


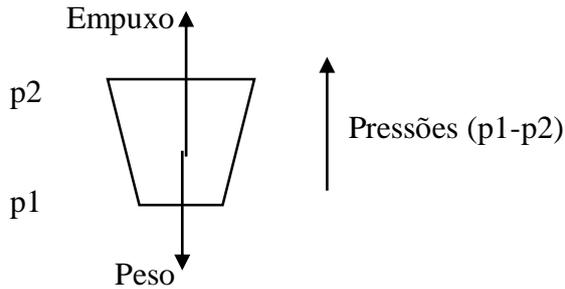
Figura 14

O rotâmetro é instalado, normalmente, no final da tubulação e mede diretamente a vazão de fluido que escoia.

A leitura de vazão é feita na maior área do flutuador (peça que se desloca no interior do tubo que apresenta área variável).

O flutuador permite ler a vazão em função de um equilíbrio de forças (resultante nula) que atuam sobre o flutuador:

Apresenta boa precisão – em torno de 1%.



Como as áreas da parte inferior e superior variam em função da posição do flutuador no tubo do Rotâmetro, a força de pressão varia conforme a posição do flutuador no tubo. Quando se tem:

$$\text{Peso} = \text{Empuxo} + (\text{Forças de Pressão})$$

O Flutuador para e pode-se ler a vazão na escala associada ao rotâmetro.

A seleção do medidor de vazão adequado para um dado processo envolve a definição de vários critérios, tais como: confiabilidade, robustez, custo, manutenção, etc

Qual o fluido ?
Deseja-se a vazão instantânea e/ou a quantidade totalizada?
Qual a viscosidade do fluido?
O fluido é limpo?
Deseja-se um mostrador (display) no campo e/ou um sinal de saída?
Qual a faixa de vazão (mínima e máxima)?
Qual a faixa de pressão (mínima e máxima)?
Qual a faixa de temperatura (mínima e máxima)?
O fluido é quimicamente compatível com as partes do medidor em contato com o mesmo?
Qual o diâmetro da tubulação?

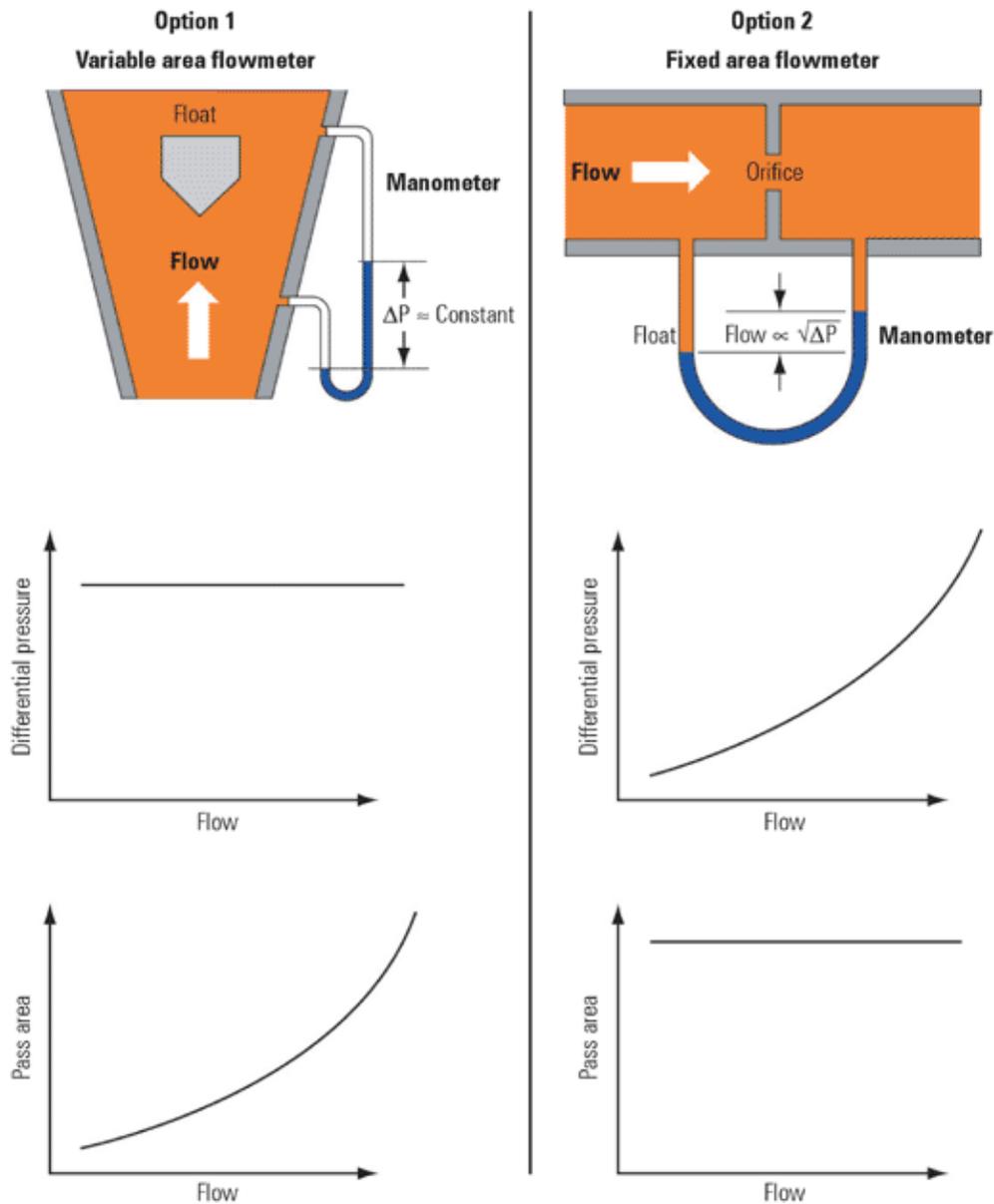


Figura 15

MEDIDOR VORTEX

- A frequência de geração de vórtices é bem definida e relacionada ao **número de Reynolds**, que por sua vez relaciona uma dimensão do sólido, velocidade, densidade e viscosidade do fluido.
- A frequência de geração de vórtices é a mesma que a frequência de vibração do corpo sólido, induzida pelo escoamento.

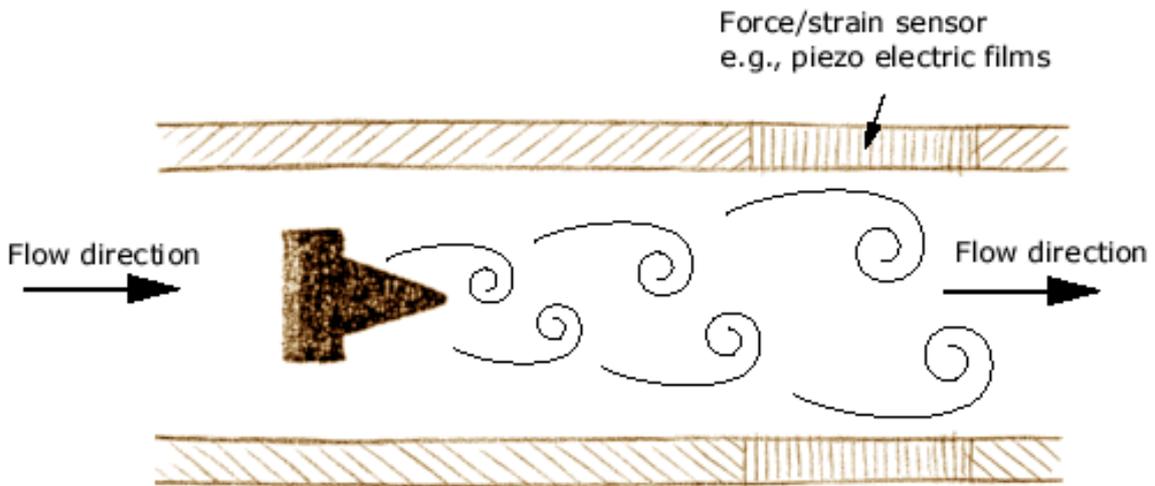


Figura 16

$$S = \frac{f_v D_c}{V}$$

S – número de Strouhal
 velocidade V do fluido,
 a frequência da vibração do sólido f_v
 e a dimensão do sólido D_c :

$S = 0,18$ para cilindro $300 < Re < 10^7$.
 A velocidade pode ser calculada por:

$$V = \frac{f_v D_c}{S}$$

$$Q = \frac{f_v \pi D^3}{4S} \left(\frac{w}{D} \right) \left(1 - \frac{4}{\pi} K \frac{w}{D} \right)$$

Q = vazão volumétrica em função
 W = largura do sólido w
 D = diâmetro do duto D
 f_v = frequência
 K = fator de ajuste do perfil de velocidades

w/D	S
0,1	0,18
0,3	0,26
0,5	0,44

FENÔMENOS DE TRANSPORTE I

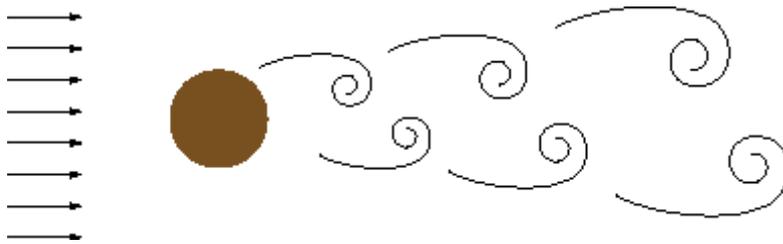


Figura 17

- O equacionamento considera o escoamento em regime permanente.
- Perturbações a jusante podem afetar a frequência da esteira de vórtices, causando erros de medida.
- Não se recomenda a aplicação deste tipo de medidor no caso de líquidos corrosivos ou contendo resíduos (sujeira).
- Aplica-se a uma ampla faixa de diâmetros (de 10 a 1000 mm de diâmetro)
- Aplica-se para medidas de vazão de gases ou líquidos.
- Praticamente não é afetado por temperatura, pressão e viscosidade.
- Não tem partes móveis.
- Apresenta baixa perda de carga.
- Precisão de 1% para $Re > 30000$ e de 10% para $Re < 10000$.
- Para vazão muita baixa apresenta leitura nula.

MEDIDOR ELETROMAGNÉTICO

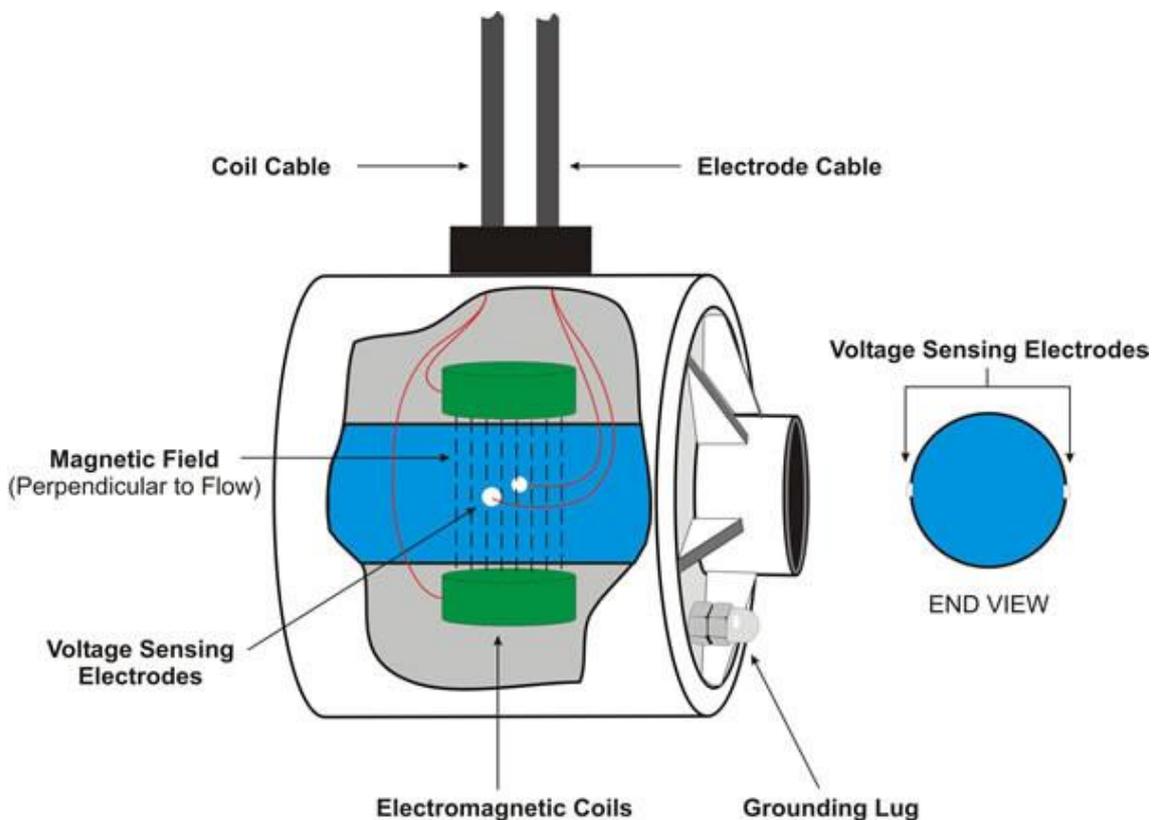


Figura 18

- Opera segundo a lei de indução de Faraday.

FENÔMENOS DE TRANSPORTE I

- Uma voltagem é induzida quando tem-se a condução de corrente (elétrica) perpendicular a um campo magnético.
- No caso o líquido é o condutor e o campo magnético é criado através de bobinas colocadas no entorno do tubo de escoamento.
- A voltagem gerada é diretamente proporcional à velocidade (corrente) e conseqüentemente à vazão, sendo medida através de eletrodos instalados na parede do tubo.
- Aplica-se apenas para líquidos condutores e é bastante aplicado no caso de fluidos corrosivos e suspensões.
- Tem um consumo significativo de eletricidade e não tem perda de carga.

MEDIDOR CORIOLIS

- Mede a vazão mássica, independente da viscosidade e densidade do fluido.
- Ampla aplicação em processos industriais.
- Medida de vazão de líquidos, gases e suspensões.
- A medida é bastante precisa e a faixa de vazões é bastante ampla.



Figura 19

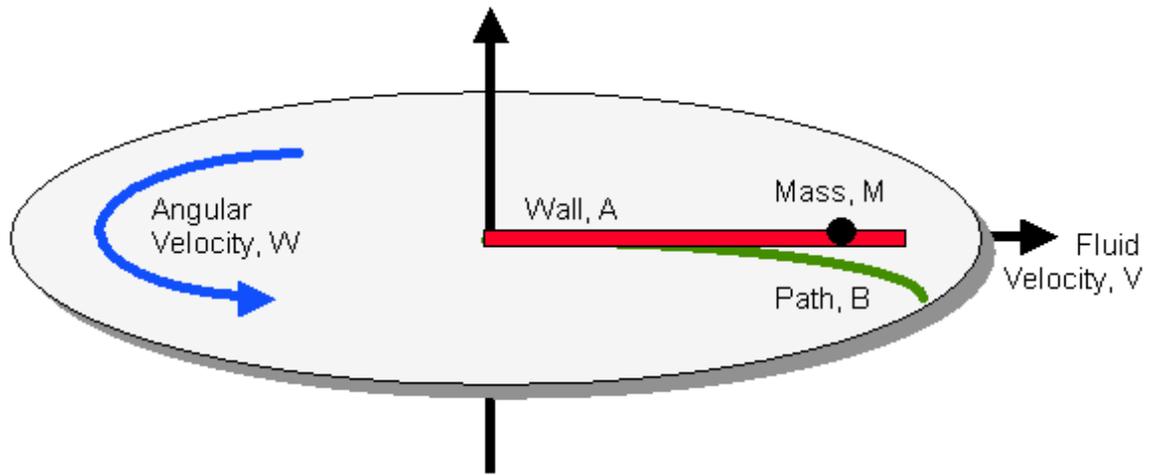


Figura 20

Fluido (massa M) com velocidade V
 Tubo girando com rotação W
 O fluido deflete o tubo

$$\text{Força de Coriolis: } F_c = -2M \times V \times W$$

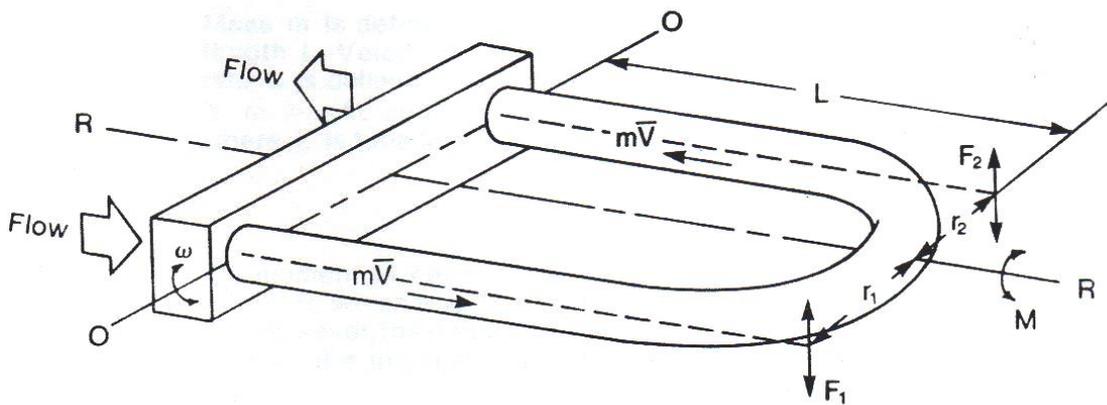


Figura 21

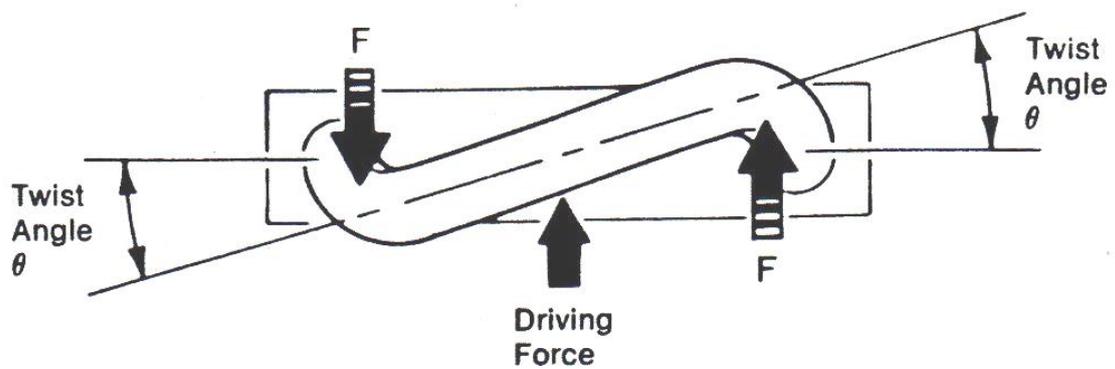


Figura 22