

# PQI 3203: FENÔMENOS DE TRANSPORTE I

## MEDIDORES DE VAZÃO



# PQI 3203: FENÔMENOS DE TRANSPORTE I

## MEDIDORES DE VAZÃO

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

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.



# PQI 3203: FENÔMENOS DE TRANSPORTE I

## MEDIDORES DE VAZÃO

### a)método direto;

- Emprega-se um recipiente graduado para medir volume.
- Recolhe-se um determinado volume,  $\Delta V$ , num determinado tempo,  $\Delta t$ .
- Com  $\Delta V / \Delta t$  tem-se a vazão volumétrica.
- Este método é muito adequado para calibrar outras formas de se medir vazão.



# PQI 3203: FENÔMENOS DE TRANSPORTE I

## Medidores de Vazão - Critérios

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?



# PQI 3203: FENÔMENOS DE TRANSPORTE I

## MEDIDORES DE VAZÃO

### b) método com base em pressão variável:

Medidor Venturi:

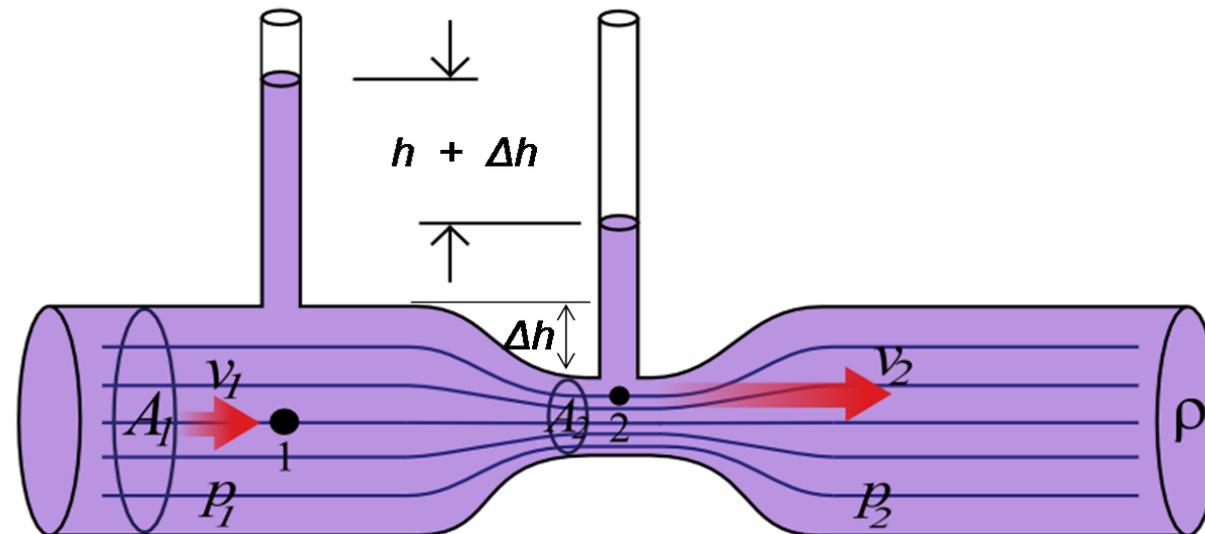


Figura 1



# PQI 3203: FENÔMENOS DE TRANSPORTE I

## MEDIDORES DE VAZÃO

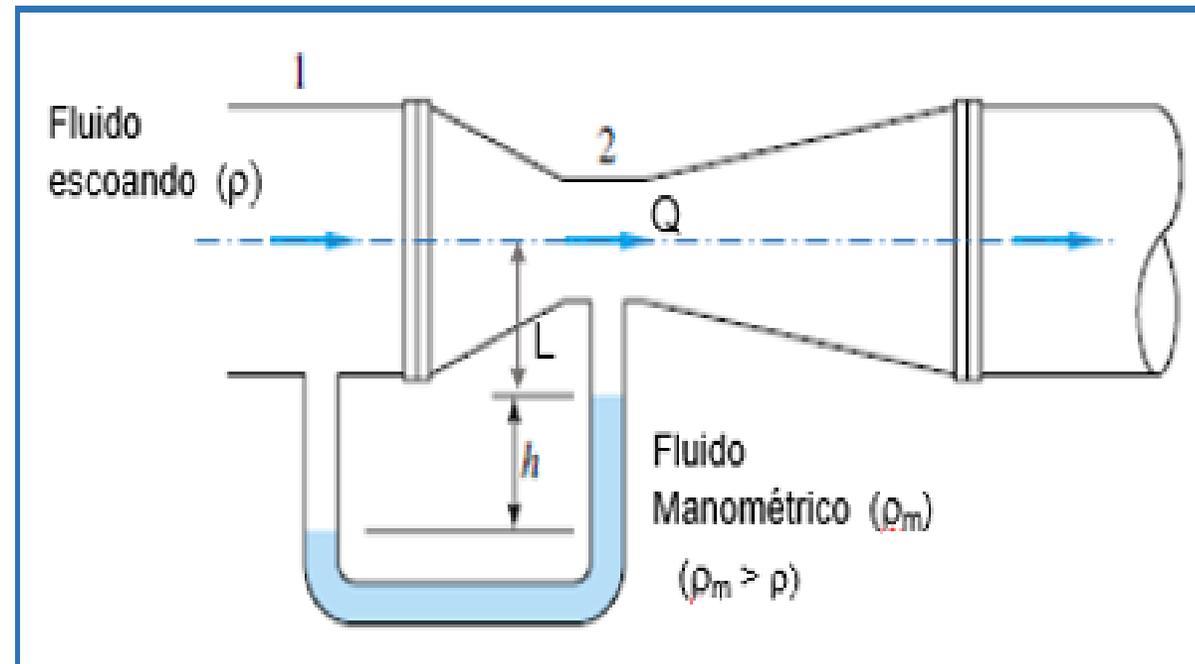


Figura 2



# PQI 3203: FENÔMENOS DE TRANSPORTE I

## MEDIDORES DE VAZÃO

Placa de orifício:

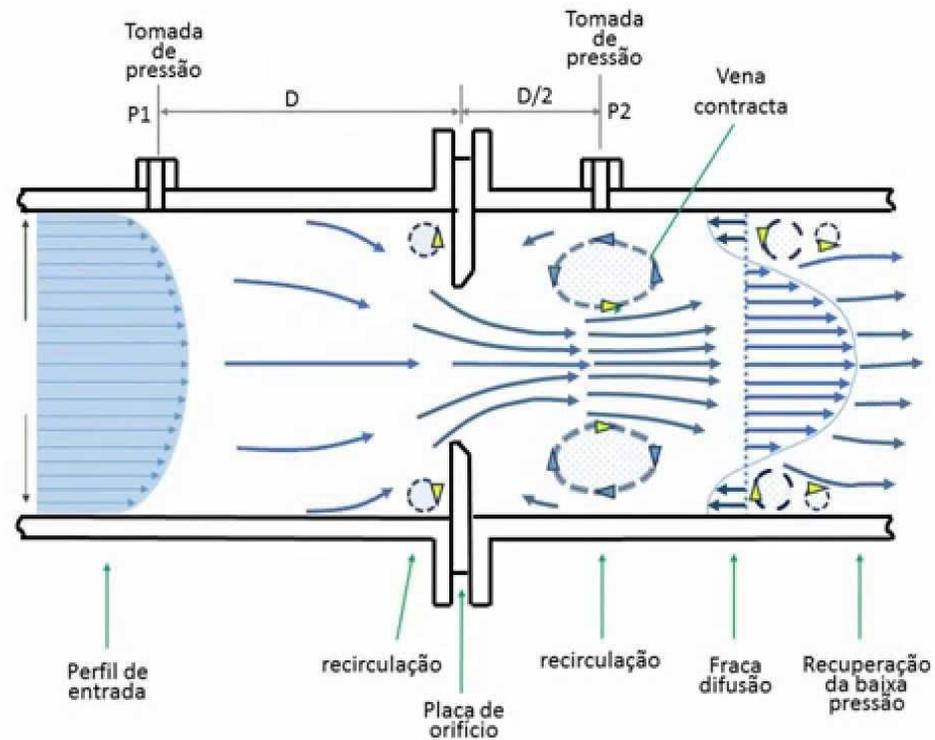


Figura 3



# PQI 3203: FENÔMENOS DE TRANSPORTE I

## MEDIDORES DE VAZÃO

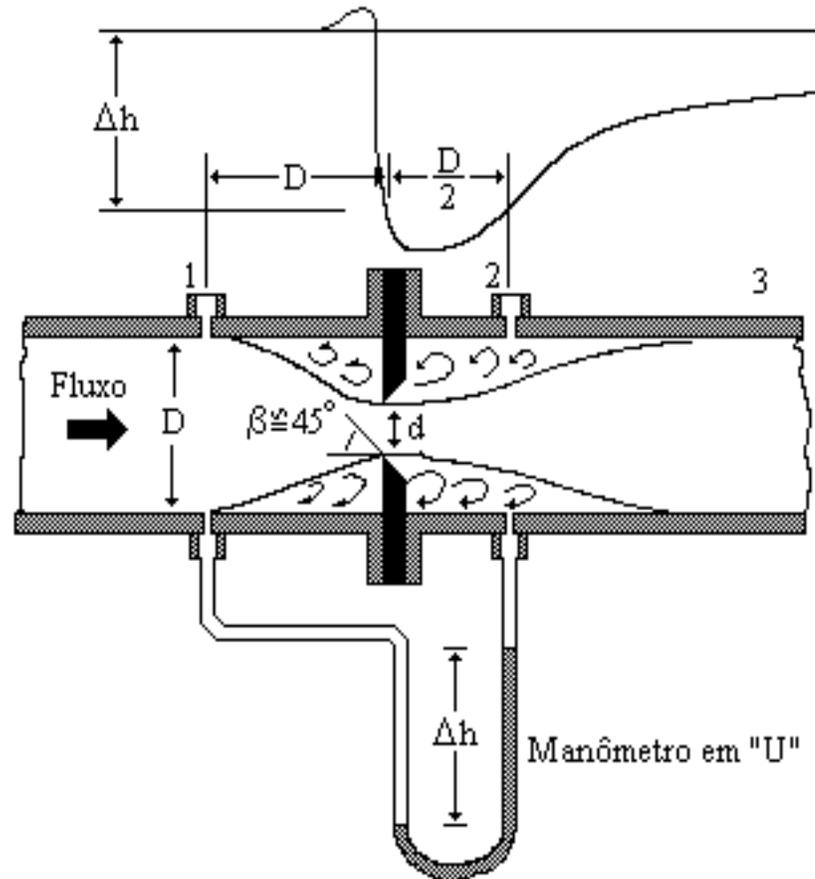
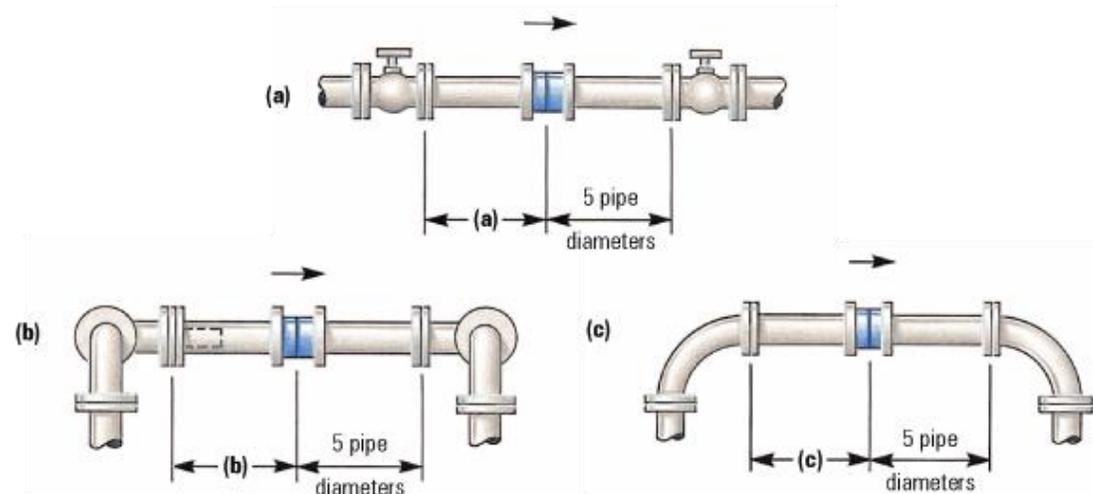
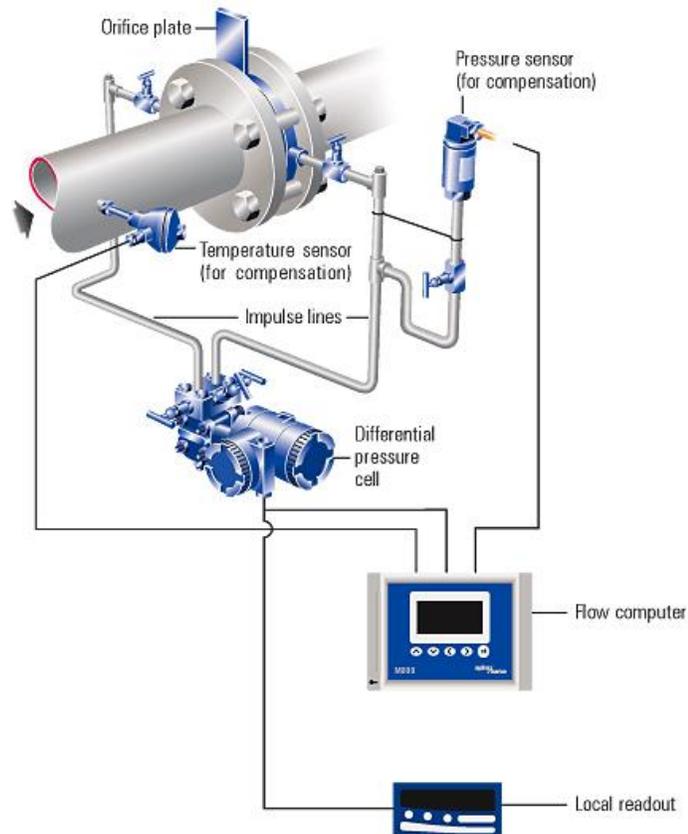


Figura 4



# PQI 3203: FENÔMENOS DE TRANSPORTE I

## Placa de Orifício



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



# PQI 3203: FENÔMENOS DE TRANSPORTE I

## MEDIDORES DE VAZÃO

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

$$\frac{vb_1^2}{2} + gz_1 + \frac{p_1}{\rho} = \frac{vb_2^2}{2} + gz_2 + \frac{p_2}{\rho} + l_{wf}$$

$$*z_1=z_2$$

$$*l_{wf}=0 \text{ (situação ideal)}$$

Considerando-se o balanço de massa:

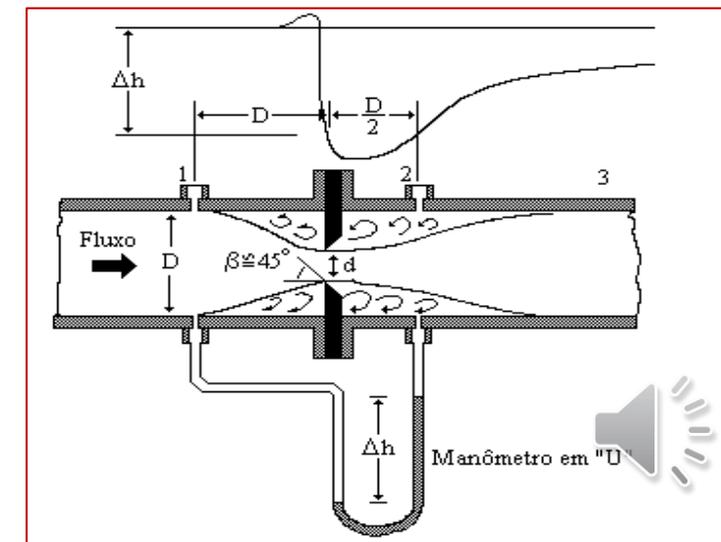
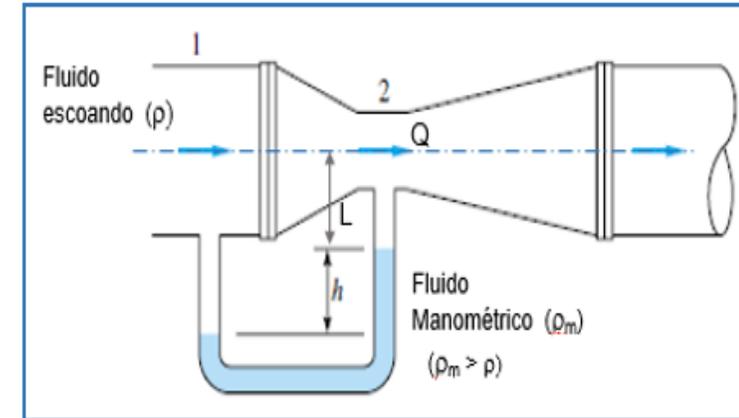
$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2$$

$$A_1 v b_1 \rho_1 = A_2 v b_2 \rho_2$$

$$v b_1 = v b_2 \left(\frac{d}{D}\right)^2$$

d=menor diâmetro no medidor,

D=maior diâmetro (da tubulação).



# PQI 3203: FENÔMENOS DE TRANSPORTE I

## MEDIDORES DE VAZÃO

Substituindo-se esta última equação na equação de Bernoulli simplificada e resolvendo-se para  $v_{b2}$ , obtém-se:

$$v_{b2} = \sqrt{\frac{2(p_1 - p_2)}{\rho(1 - \beta^4)}}$$

$$\beta = d/D$$

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

$\rho_m$  = densidade do fluido manométrico

$\rho$  = fluido que escoar.

$\Delta h$  = diferença de altura observada no fluido manométrico.



# PQI 3203: FENÔMENOS DE TRANSPORTE I

## MEDIDORES DE VAZÃO

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

Para o medidor Venturi:

$$v_{b2} = C_v \sqrt{\frac{2(p_1 - p_2)}{\rho(1 - \beta^4)}}$$

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

Para a placa de orifício:

$$v_{b2} = C_{po} \sqrt{\frac{2(p_1 - p_2)}{\rho(1 - \beta^4)}}$$

$C_{po}$  é aproximadamente 0,61 para  $Re > 10^4$  no orifício.



# PQI 3203: FENÔMENOS DE TRANSPORTE I

Observa-se que  $v_{b2}$  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:

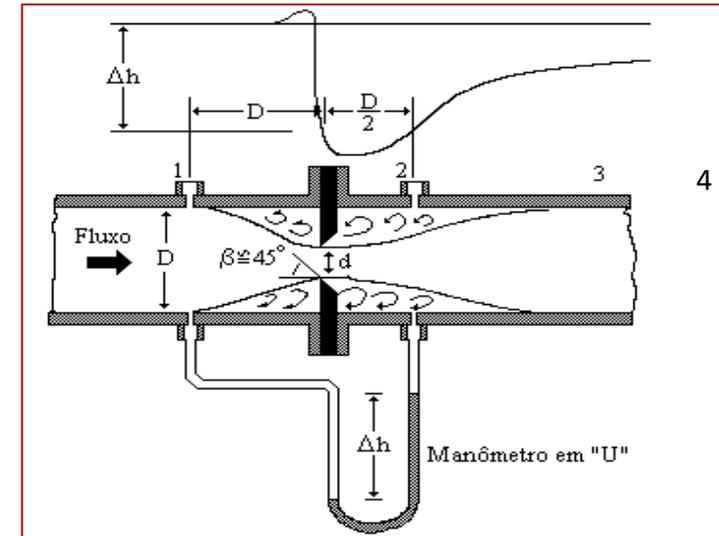
Considerando-se a figura 4 e os pontos 1, 2 e 3:

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

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

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.



# PQI 3203: FENÔMENOS DE TRANSPORTE I

## MEDIDORES DE VAZÃO

### *Tubo de Pitot*

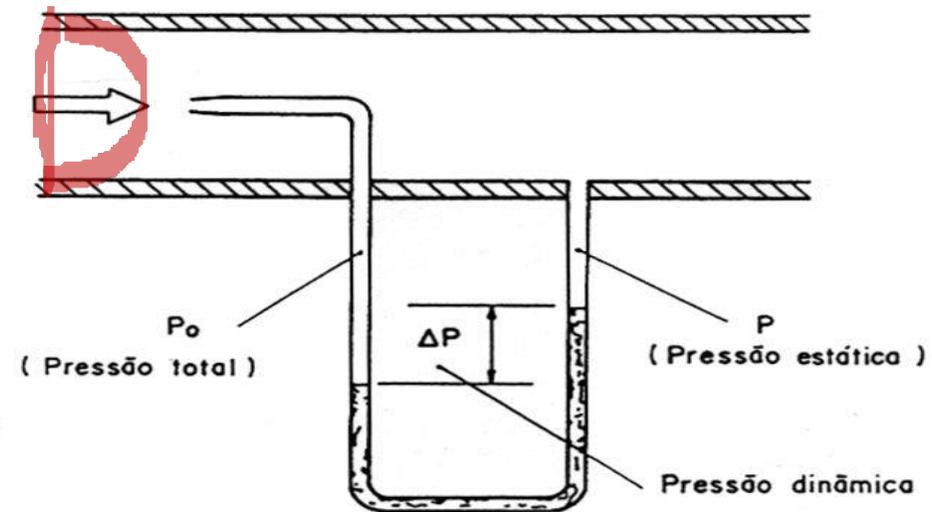


Figura 6



# PQI 3203: FENÔMENOS DE TRANSPORTE I

## MEDIDORES DE VAZÃO

Tubo de Pitot.

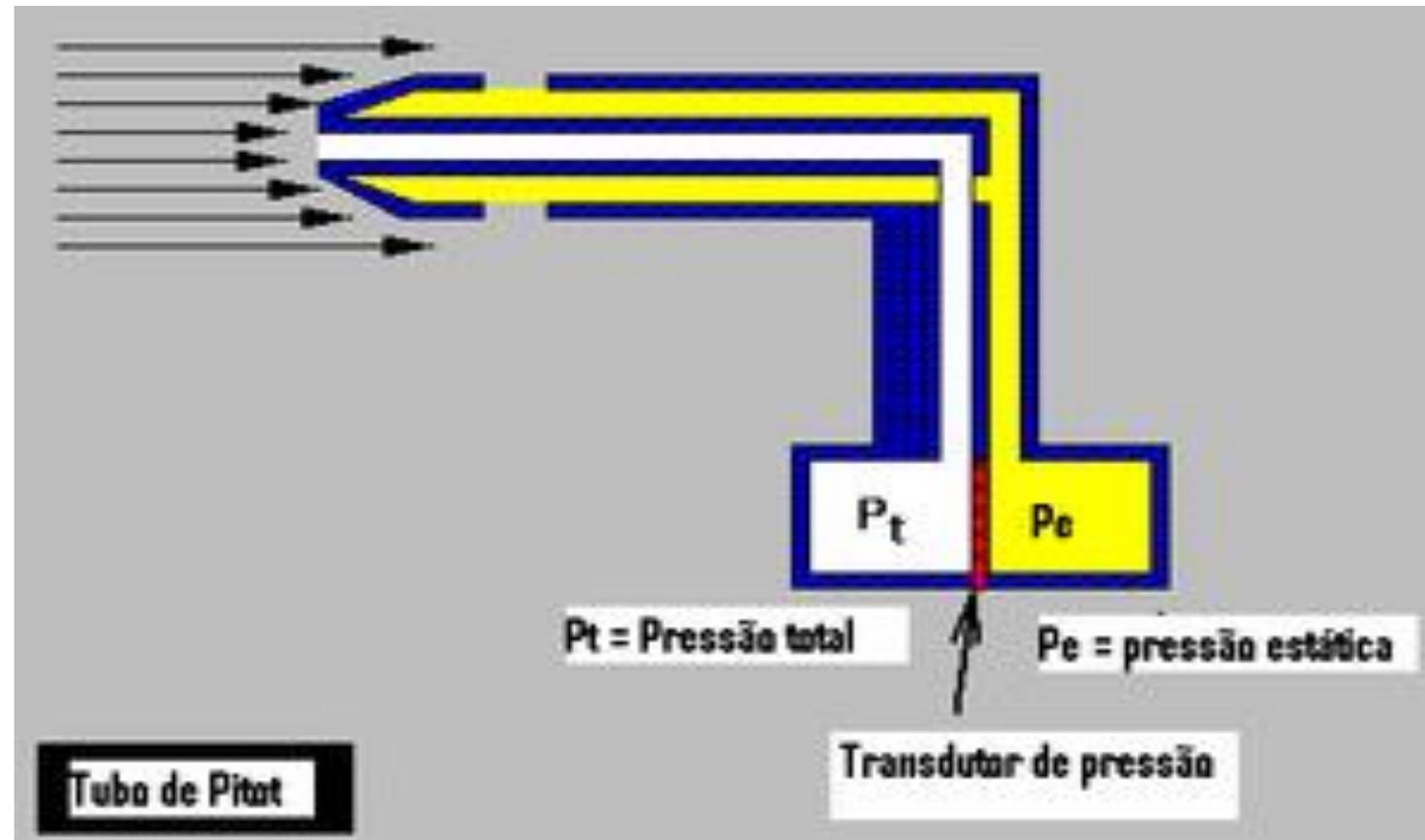
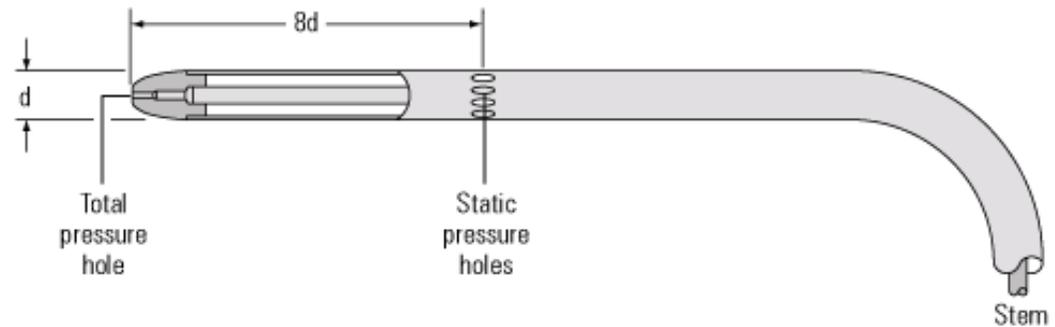
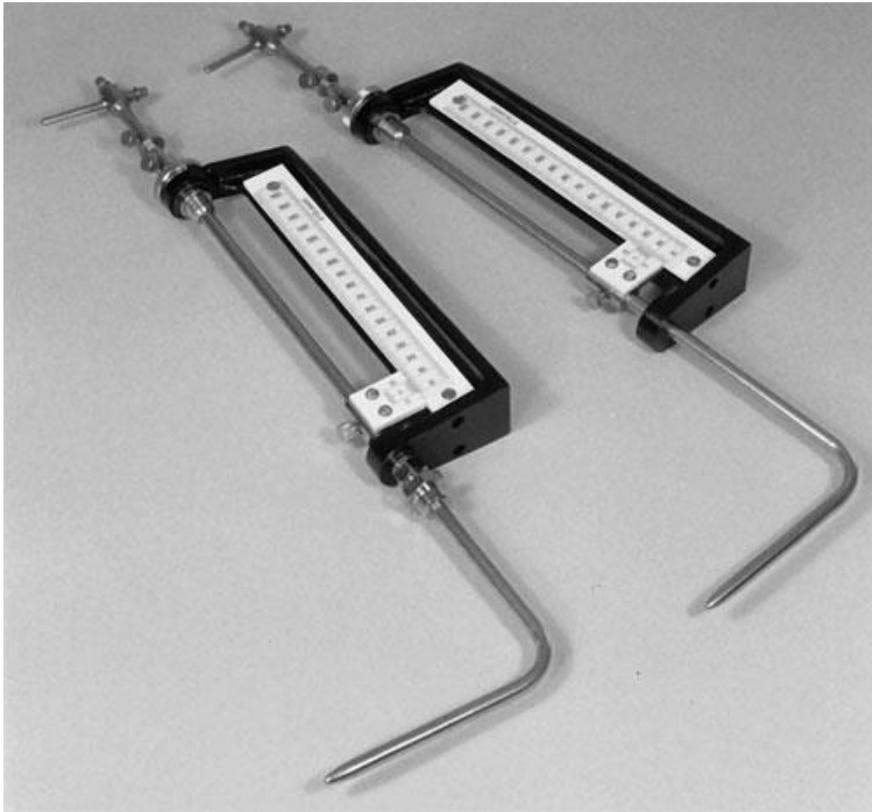


Figura 5



# PQI 3203: FENÔMENOS DE TRANSPORTE I

## Tubo de Pitot



# PQI 3203: FENÔMENOS DE TRANSPORTE I

## MEDIDORES DE VAZÃO

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

Observando-se a figura 7, 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:

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

\* $z_1 = z_2$ .

\* $l_w f$  é desprezível.

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

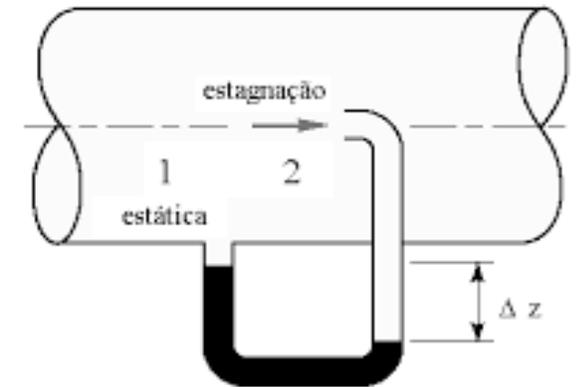


Figura 7



# PQI 3203: FENÔMENOS DE TRANSPORTE I

## MEDIDORES DE VAZÃO

Resolvendo-se para  $v_1$ :

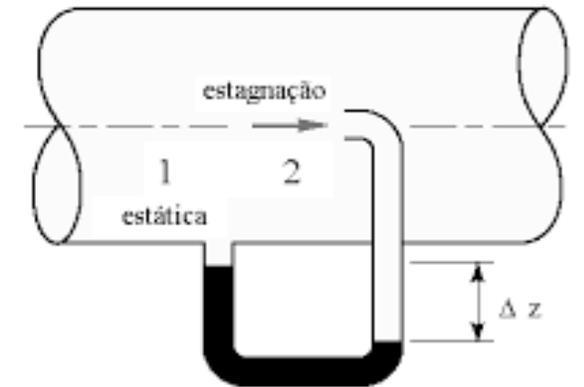
$$v_1 = \sqrt{\frac{2(p_2 - p_1)}{\rho}}$$

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

$\rho_m$  = densidade do fluido manométrico

$\rho$  = fluido que escoia.

$\Delta h$  = diferença de altura observada no fluido manométrico.



# PQI 3203: FENÔMENOS DE TRANSPORTE I

## MEDIDORES DE VAZÃO

c) método com base em área variável:



# PQI 3203: FENÔMENOS DE TRANSPORTE I

## MEDIDORES DE VAZÃO

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

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

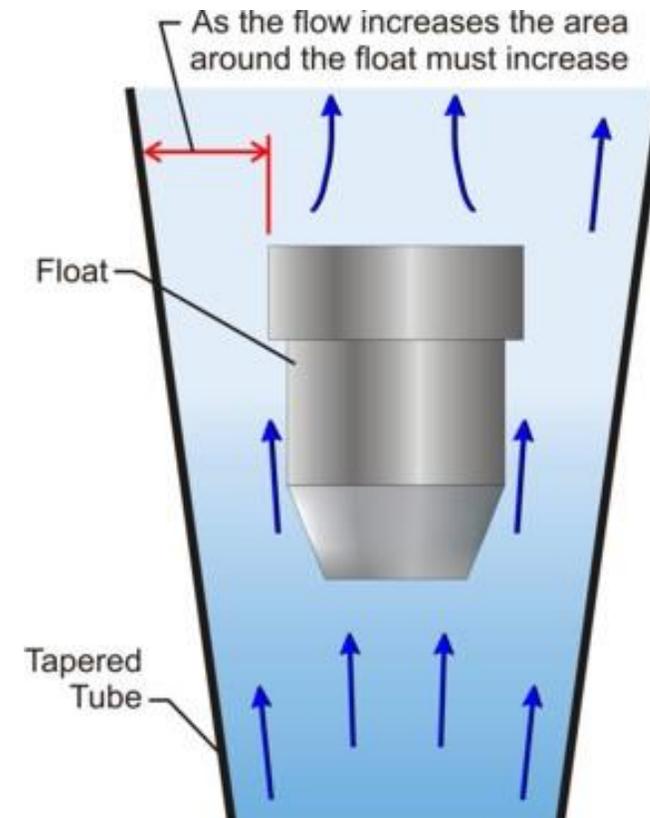
O flutuador permite ler a vazão em função de um equilíbrio de forças (resultante nula) que atuam sobre o flutuador:



# PQI 3203: FENÔMENOS DE TRANSPORTE I

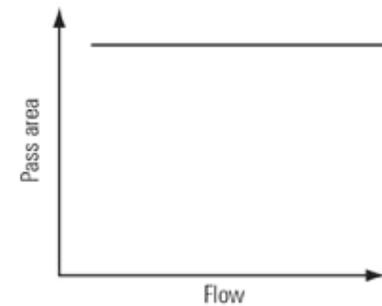
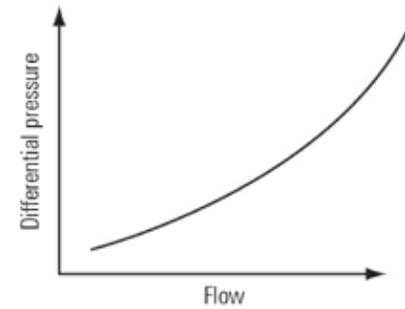
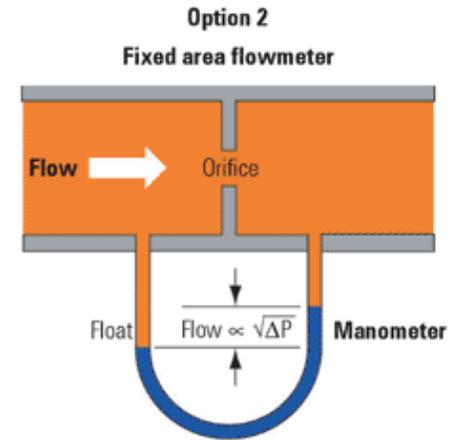
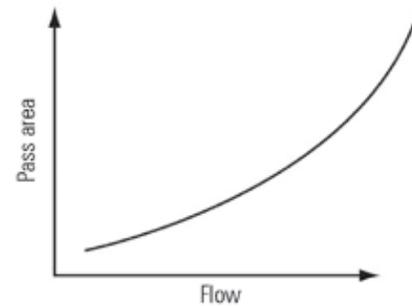
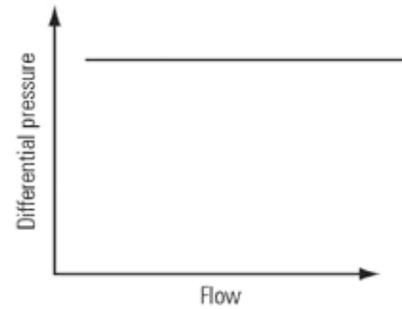
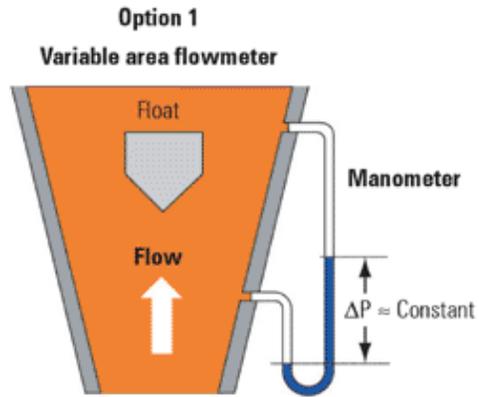
## Rotâmetro

Apresenta boa precisão – em torno de 1%.



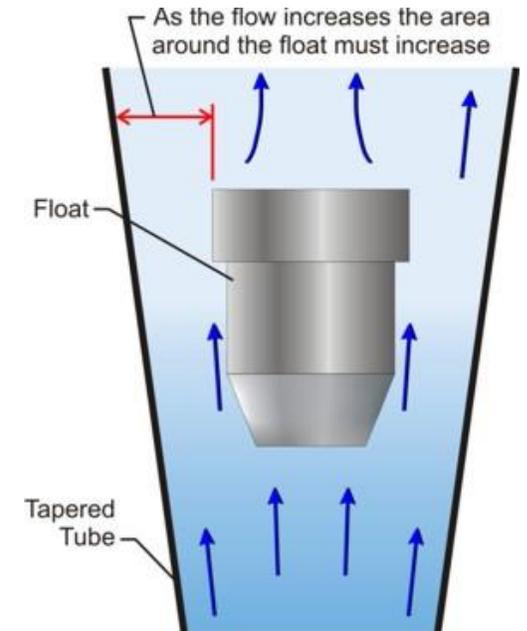
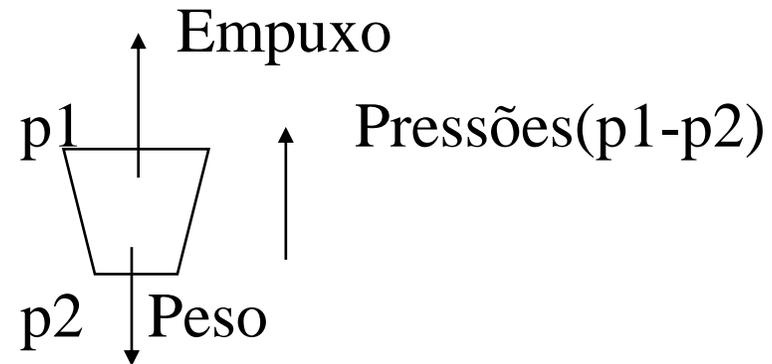
# PQI 3203: FENÔMENOS DE TRANSPORTE I

## Placa de Orifício x Rotâmetro



# PQI 3203: FENÔMENOS DE TRANSPORTE I

## MEDIDORES DE VAZÃO



# PQI 3203: FENÔMENOS DE TRANSPORTE I

## MEDIDORES DE VAZÃO

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.



# PQI 3203: FENÔMENOS DE TRANSPORTE I

## 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.



# PQI 3203: FENÔMENOS DE TRANSPORTE I

## Medidor Vortex

S – número de Strouhal

velocidade  $V$  do fluido, a frequência da vibração do sólido  $f_v$  e a dimensão do sólido  $D_c$  :

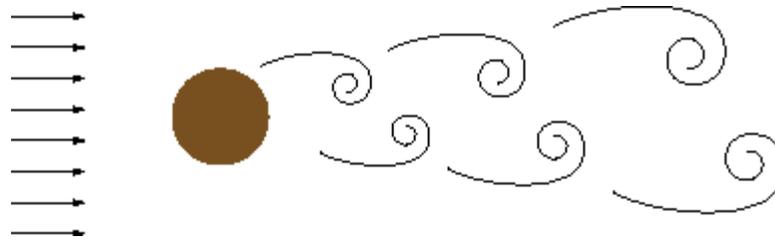
$$S = \frac{f_v D_c}{V}$$

$S = 0,18$  para cilindro  $300 < Re < 10^7$ .

A velocidade pode ser calculada por:

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

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



# PQI 3203: FENÔMENOS DE TRANSPORTE I

## Medidor Vortex



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

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

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



# PQI 3203: FENÔMENOS DE TRANSPORTE I

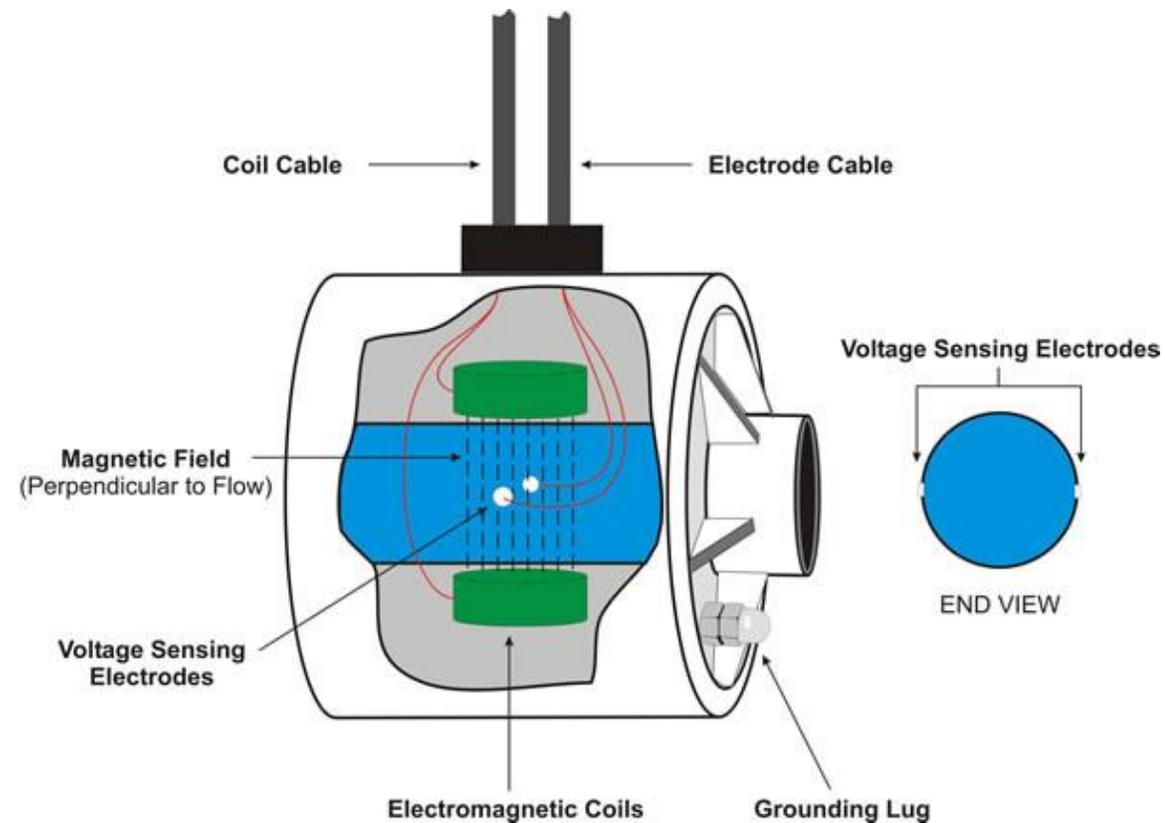
## Medidor Vortex

- 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 muito baixa apresenta leitura nula.



# PQI 3203: FENÔMENOS DE TRANSPORTE I

## Medidor Eletromagnético



# PQI 3203: FENÔMENOS DE TRANSPORTE I

## Medidor Eletromagnético

- Opera segundo a lei de indução de Faraday.
- 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.



# PQI 3203: FENÔMENOS DE TRANSPORTE I

## 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.



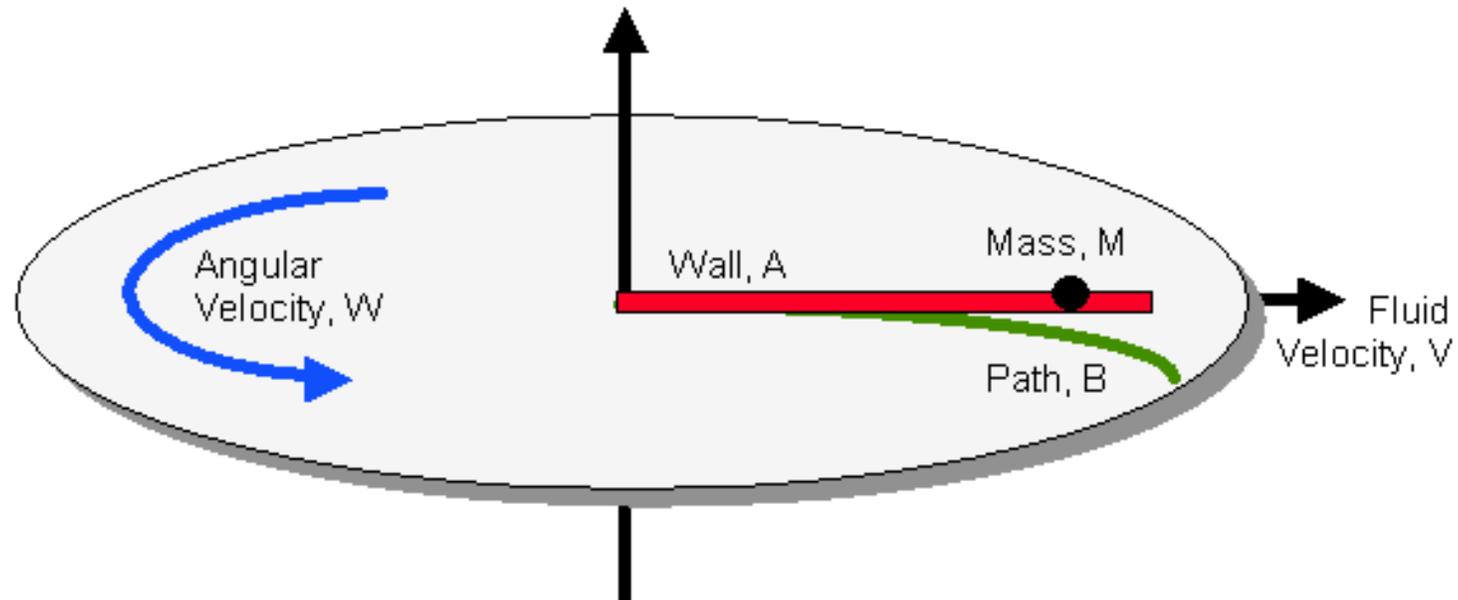
# PQI 3203: FENÔMENOS DE TRANSPORTE I

## Medidor Coriolis



# PQI 3203: FENÔMENOS DE TRANSPORTE I

## Coriolis



Fluido (massa  $M$ ) com velocidade  $V$

Tubo girando com rotação  $W$

O fluido deflete o tubo

$$\text{FORÇA DE CORIOLIS : } F_c = -2 M \cdot V \cdot W$$



# PQI 3203: FENÔMENOS DE TRANSPORTE I

## Medidor Coriolis

