



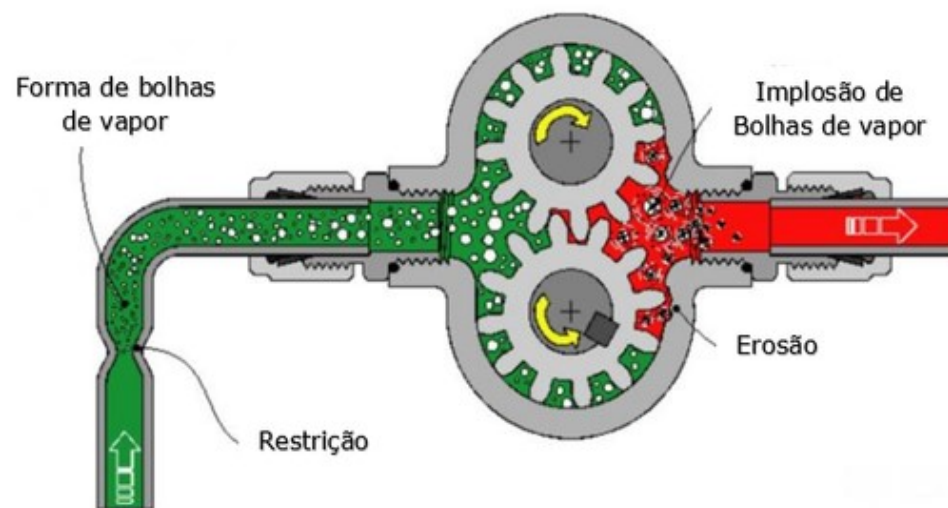
Universidade Federal do Paraná
Setor: Tecnologia
Departamento: Engenharia Química

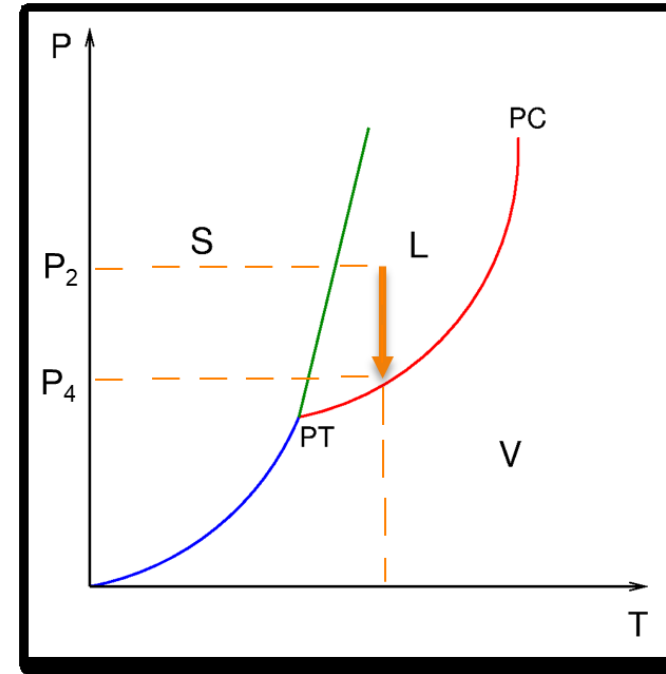
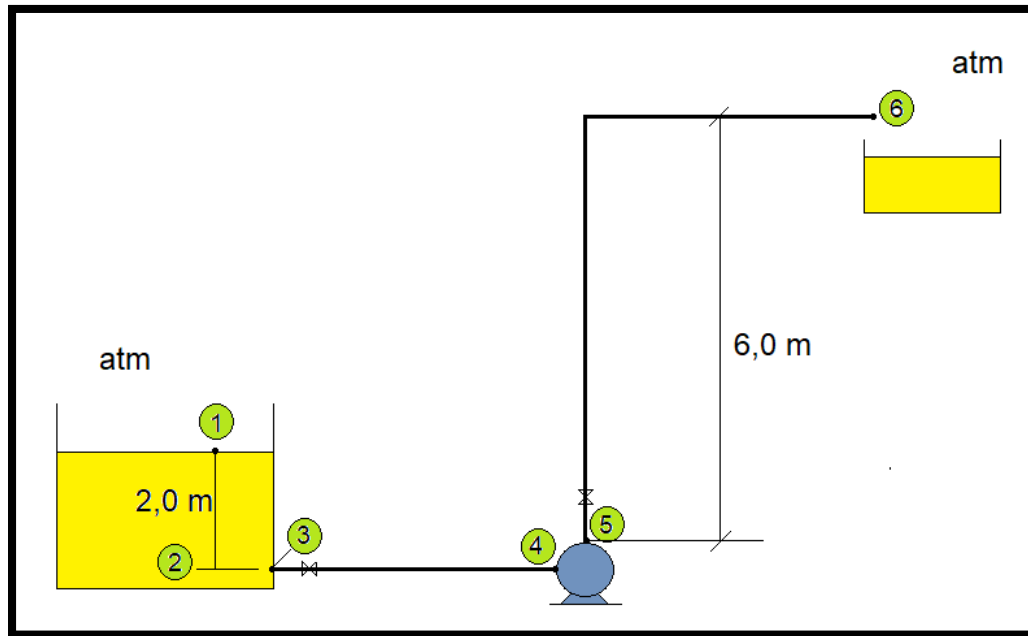
Cavitação e medidores de vazão

Prof^a. Dra. Alessandra Cristina Pedro

Cavitação

Ocorre quando um líquido que está sendo bombeado vaporiza ou entra em ebulição. Se isso ocorrer, as bolhas de vapor que são formadas causam diminuição na eficiência e, frequentemente, danos estruturais na bomba.

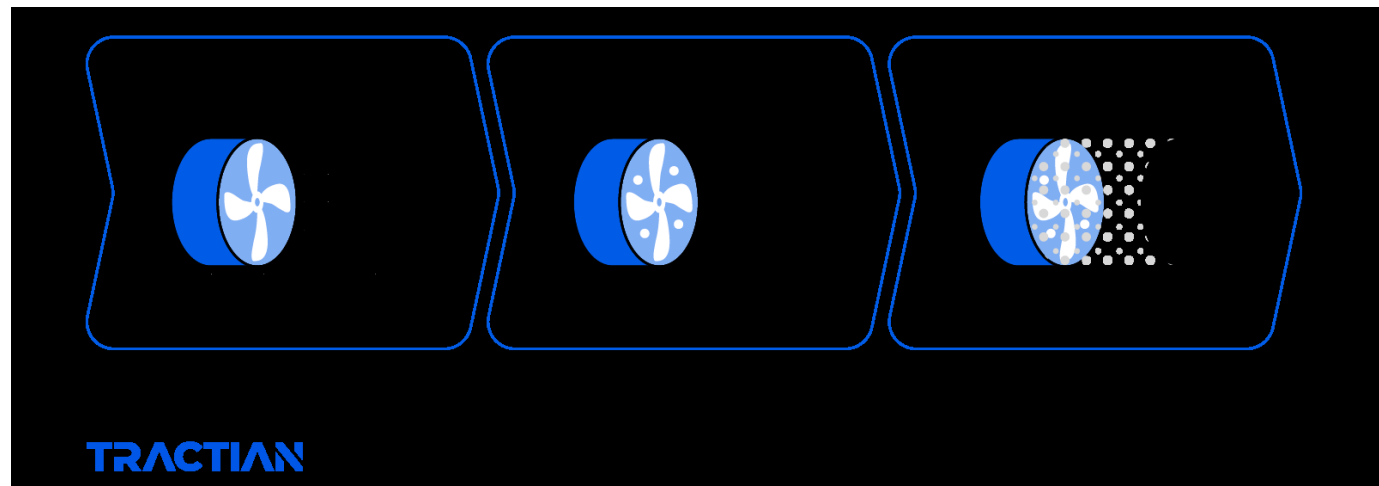




Se P_4 atingir P_4^{sat} → formação de fluxo **bifásico** no interior da bomba → reduz a capacidade de bombeamento da água em função do volume ocupado pela fase gás = **CAVITAÇÃO!**

No interior da bomba → líquido recebe energia → P_4 aumenta → líquido volta a ser subresfriado → condensação das bolhas de vapor no interior da bomba → efeito de múltiplas implosões.

Efeitos da cavitação



- ✓ Ruídos e vibrações;
- ✓ Erosão do material;
- ✓ Redução da eficiência da bomba.





Carga Líquida Positiva de Sucção (NPSH)

Existe um limite inferior de pressão em que se pode atingir na sucção de uma bomba, abaixo desse limite ocorre o fenômeno da *cavitação*.

Para evitar a cavitação

Garantir que o fluido chegue ao bocal da bomba a uma $P > P^{\text{sat}}$, além de P suportar a queda adicional da P provocada pela aceleração centrífuga do fluido na entrada do rotor, evitando que $P = P^{\text{sat}}$.

Margem de segurança para evitar cavitação
→ NPSH (*Net Positive Suction Head*)

Carga Líquida Positiva de Sucção ou **Altura de Sucção Disponível**: avalia a possibilidade de cavitação de uma bomba.

Carga Líquida Positiva de Sucção (NPSH)

A função do NPSH é impor limitações às condições de sucção, de modo a manter a pressão na entrada do rotor da bomba acima da pressão de vapor do líquido bombeado.

$$NPSH_{sistema} = \frac{(P_1 - P_v)}{\rho g} - \Delta y - H_L$$

Se: $NPSH_{sistema} \text{ (ou disponível)} \leq NPSH_{bomba} \text{ (ou requerido)}$, ocorre **CAVITAÇÃO!**

Fornecido pelo fabricante para cada bomba!

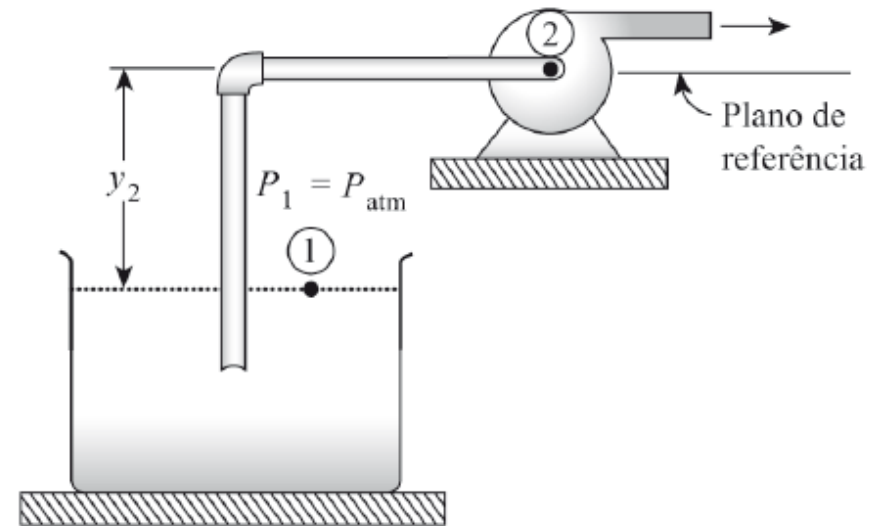
Carga Líquida Positiva de Sucção (NPSH)

$$NPSH_{sistema} = \frac{(P_1 - P_v)}{\rho g} - \Delta y - H_L$$

- Pode ser utilizada para estabelecer um valor máximo para altura y_2 .



Considerando: $NPSH_{sistema}$ (ou disponível) = $NPSH_{bomba}$ (ou requerido)



Início da cavitação = ponto limite

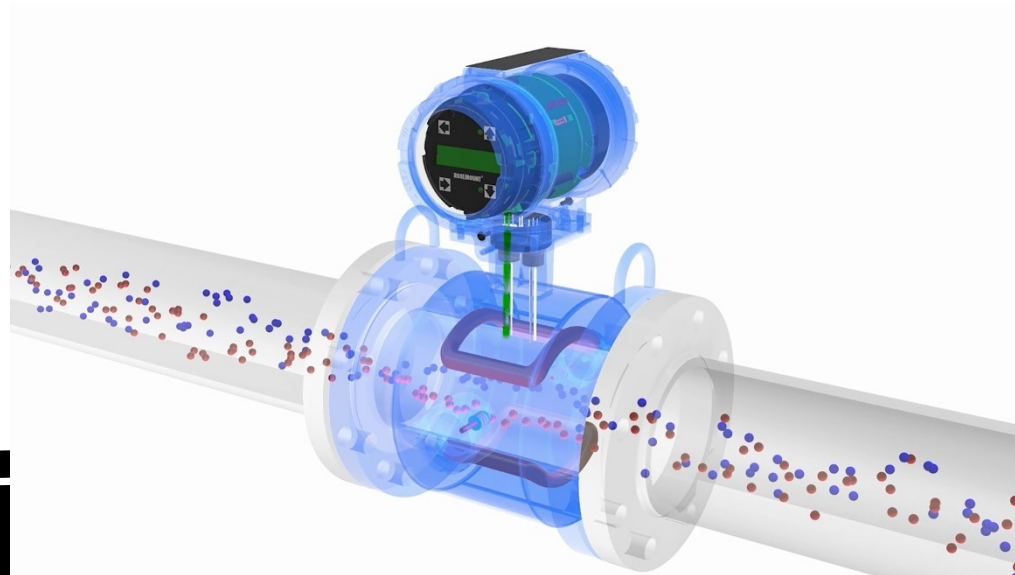


EXERCÍCIOS - Cavitação

Medidores de vazão

A medição da vazão de um fluido no interior de uma tubulação constitui uma importante aplicação do balanço de massa e de energia (Equação de Bernoulli).

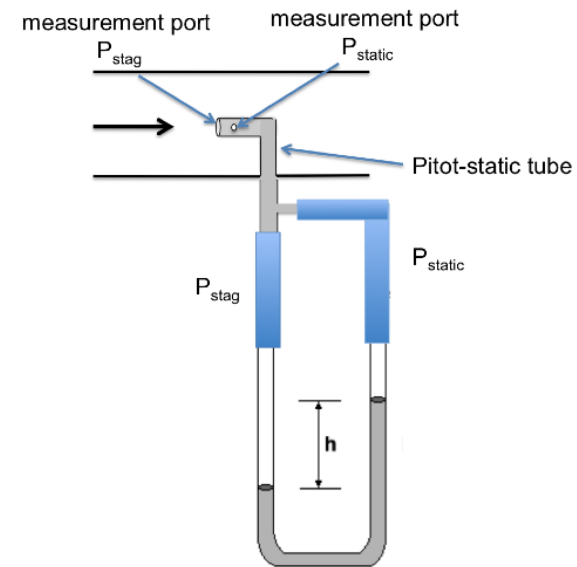
Medidores de vazão: são projetados para provocar uma queda de pressão que pode ser medida e relacionada com a vazão volumétrica.



Tubo de Pitot

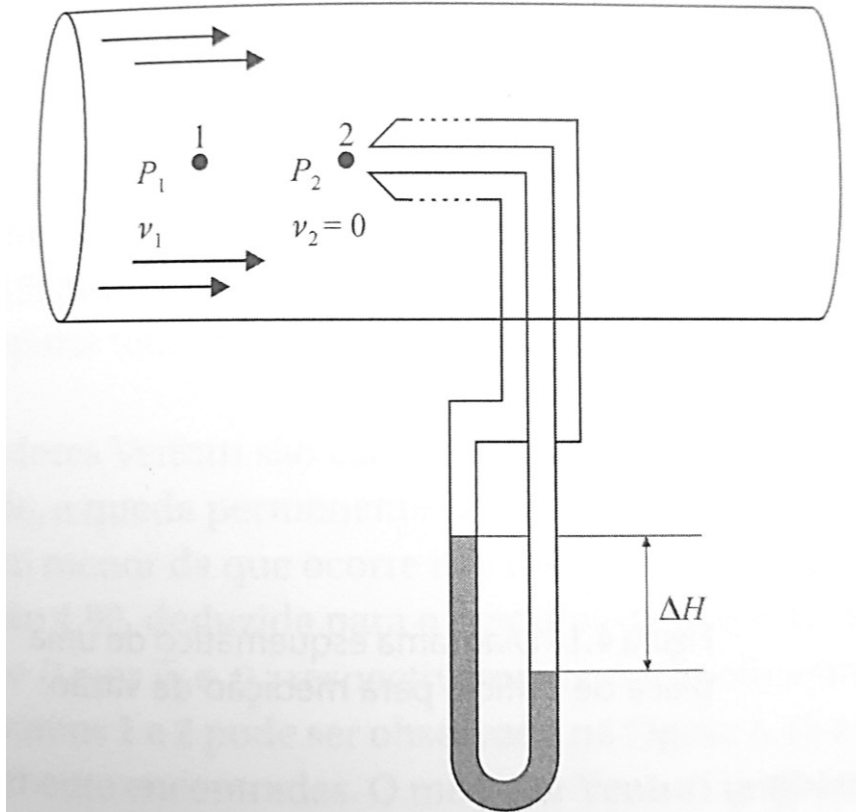
Utilizado para determinar a velocidade local em determinado ponto na seção transversal.

Consiste em 2 tubos concêntricos dispostos paralelamente ao escoamento.



- O tubo externo é perfurado com pequenos orifícios paralelos aos escoamento;
- O tubo interno tem uma pequena abertura normal à direção do escoamento;

Tubo de Pitot



Da equação de Bernoulli:

$$\frac{P_2 - P_1}{\rho \cdot g} + \cancel{\frac{v_2^2 - v_1^2}{2g}} + (\cancel{z_2 - z_1}) = 0$$

Sendo: $v_2 = 0$ (ponto de estagnação) e $y_2 = y_1$

$$\frac{v_1^2}{2g} = \frac{P_2 - P_1}{\rho \cdot g}$$

$$v_1 = \sqrt{\frac{2(P_2 - P_1)}{\rho}}$$

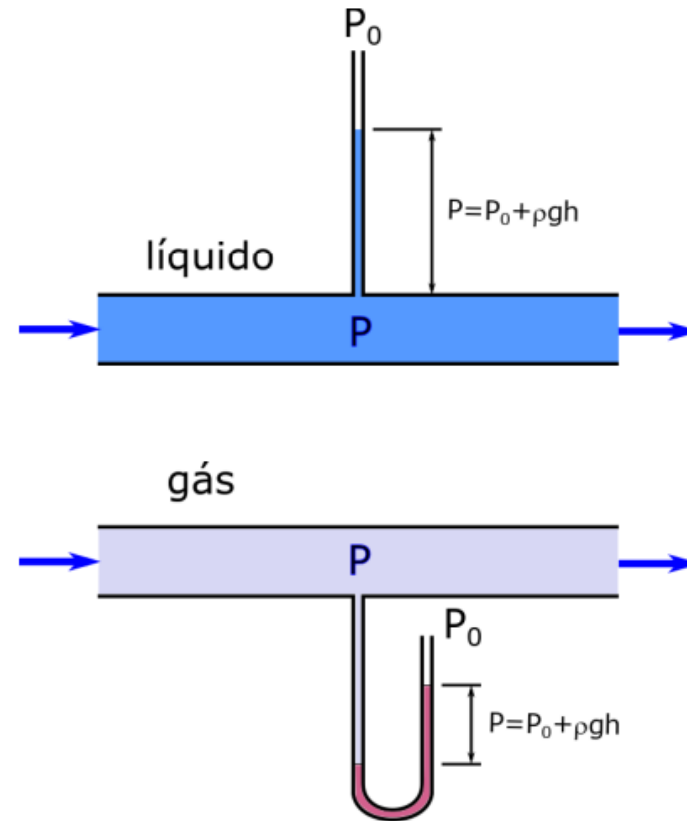


$$\Delta P = \rho g h$$

(fluido manométrico)

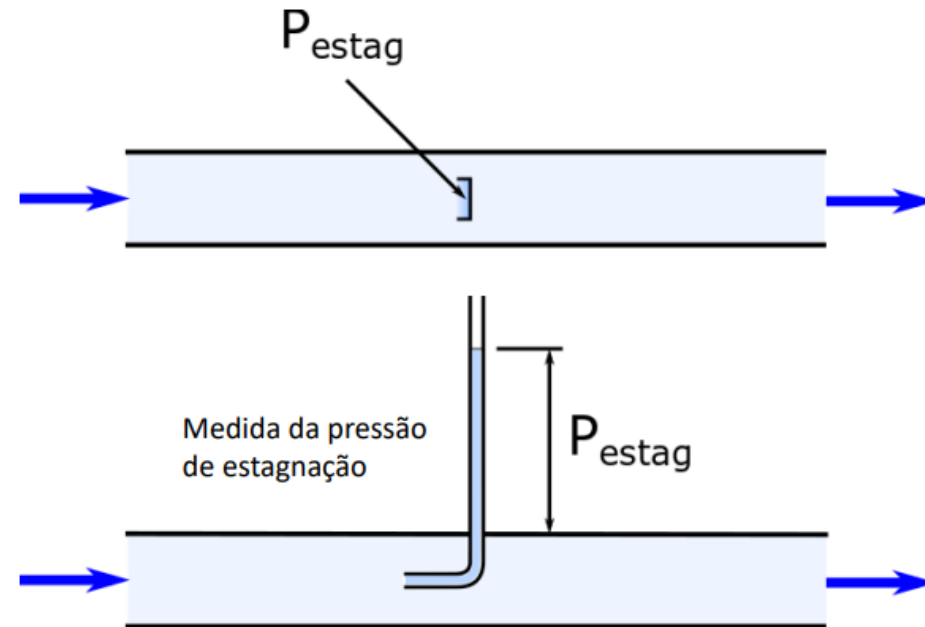
Tubo de Pitot

Pressão estática: é a pressão
“real”, termodinâmica do fluido.



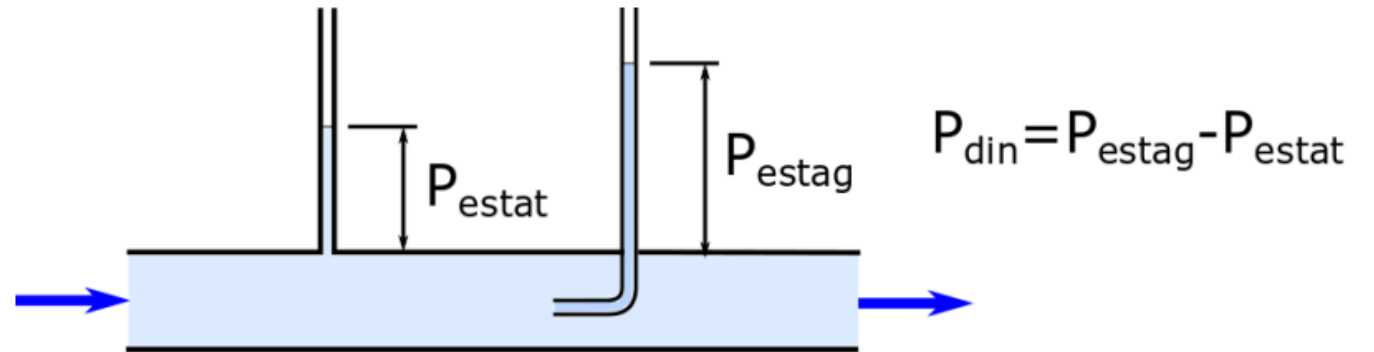
Tubo de Pitot

Pressão de estagnação: é a pressão do fluido quando o mesmo é levado à estagnação (velocidade zero).



Tubo de Pitot

Pressão dinâmica: é a diferença entre a pressão de estagnação e a pressão estática



A pressão dinâmica está diretamente relacionada à energia cinética do fluido, e pode ser usada para medir a sua velocidade.



Medidores de vazão por restrição


Os medidores de vazão por restrição baseiam-se no princípio de que, quando se provoca uma restrição à passagem de um fluido, o aumento de velocidade do fluido causa uma diminuição na sua pressão. Ao medir a **variação de pressão**, é possível saber **quanto fluido está escoando** (Ex.: placa de orifício, bocal e venturi).



Coeficiente de descarga

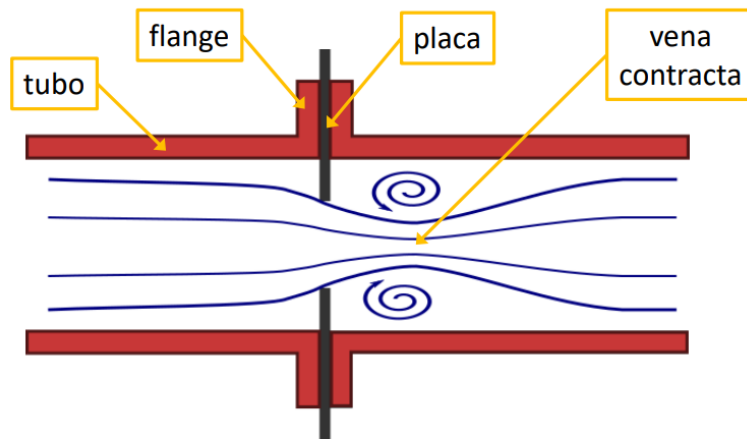
A velocidade é obtida considerando que não haja nenhuma perda de carga. Para fazer a correção da velocidade medida, usa-se um **coeficiente de descarga (C_d)**.

O C_d depende: do tipo de orifício, excentricidade (β), tipo de tomada de pressão e regime de escoamento (Re).



Placa de orifício

- Dispositivo simples, mais barato que o Venturi, porém, a perda de carga é mais elevada em decorrência do desarranjo provocado no escoamento por:
 - súbito obstáculo representado pela placa ao movimento do fluido;
 - descarga do fluido em forma de janto na saída da placa, gerando turbulência.



$$C = 0,5959 + 0,0312\beta^{2,1} - 0,184\beta^8 + \frac{91,71\beta^{2,5}}{Re_{D1}^{0,75}}$$

$$0,2 < \beta < 0,75$$

$$10^4 < Re_{D1} < 10^7$$

$$Re_{D1} = \frac{\rho v_1 D_1}{\mu}$$

Diâmetro do bocal

Bocal

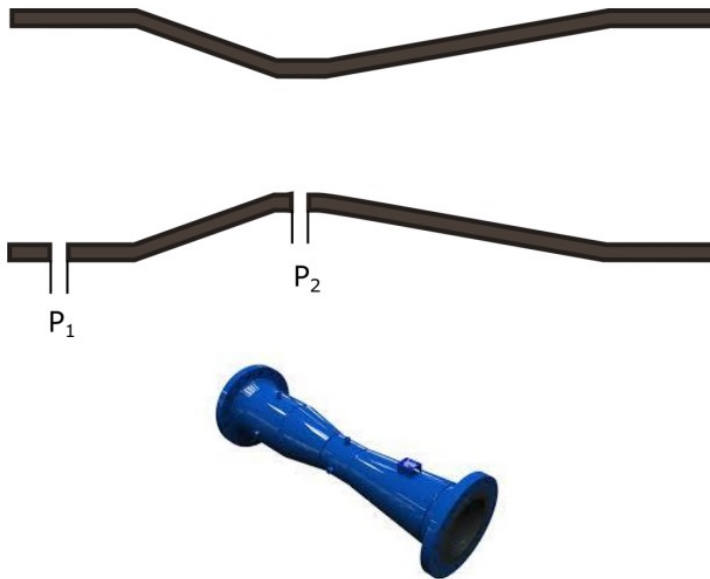
O bocal gera menor perda de carga que a placa de orifício, porém tem um custo maior.



$$C = 0,9975 - \frac{6,53\beta^{0,5}}{Re_{D1}^{0,5}}$$

Venturi

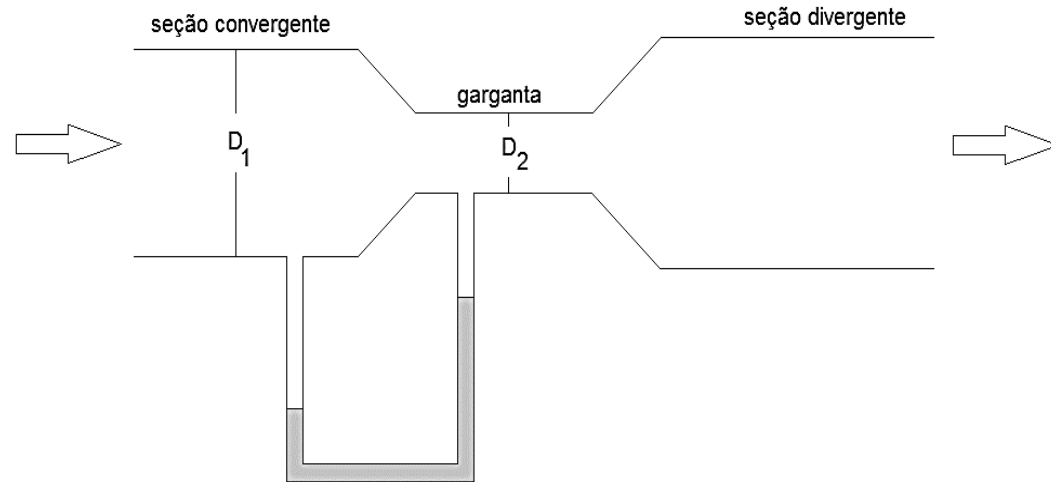
Perda de carga praticamente desprezível, porém são de custo maior.



$$C = 0,980 \text{ a } 0,995 \quad p / Re_{D1} > 2 \times 10^5$$

$$\text{Recomendado: } C = 0,99 \quad p / Re_{D1} > 10^5$$

Medidores de vazão por restrição



Da equação de Bernoulli:

$$\cancel{z_1} + \frac{v_1^2}{2g} + \frac{P_1}{g\rho_1} = \cancel{z_2} + \frac{v_2^2}{2g} + \frac{P_2}{g\rho_2}$$

$$\frac{v_2^2 - v_1^2}{2g} = \frac{P_1 - P_2}{g\rho}$$

Isolando v_2 , temos:

$$v_2^2 = \frac{P_1 - P_2}{\rho} + v_1^2$$

Medidores de vazão por restrição

Nessa caso v_1 e v_2 são diferentes de zero, do balanço de massa:

$$\cancel{\rho} \bar{v}_2 A_2 = \cancel{\rho} \bar{v}_1 A_1$$

$$\bar{v}_2 A_2 = \bar{v}_1 A_1$$

$$\bar{v}_1 = \bar{v}_2 \frac{A_2}{A_1} = \bar{v}_2 \frac{D_2^2}{D_1^2}$$

$$v_2^2 = \frac{P_1 - P_2}{\rho} + v_1^2$$

$$v_2 = \sqrt{\frac{2(P_1 - P_2)}{\rho \left[1 - \left(\frac{D_2}{D_1} \right)^4 \right]}}$$

$$\Delta P = \rho g h$$

(fluido manométrico)



EXERCÍCIOS – Medidores de vazão