

# EXPERIÊNCIA # 1

## PRINCÍPIO de BERNOULLI TUBO de VENTURI

**Objectivo:** verificação experimental da equação de Bernoulli.

**Descrição geral do equipamento:**

- Sistema de bombas hidráulicas e reservatório;



- Tubo de Venturi, cuja secção decresce progressivamente para um valor mínimo recuperando depois suavemente a secção inicial, equipado com manómetros em posições seleccionadas.



**Método experimental:**

Um caudal de água controlado é fornecido ao tubo de Venturi. São medidas as alturas piezométricas em duas secções do tubo localizadas, respectivamente, no seu início (zona de secção máxima) e na zona onde a secção é mínima. O fluxo de água fornecido é determinado a partir da medição do tempo necessário para encher um dado volume fixo (10 litros). A experiência é repetida para 5 valores diferentes do caudal.

## TEORIA

A equação de Bernoulli é obtida a partir da integração da equação de conservação do momento linear ( $\vec{F} = m\vec{a}$ ) ao longo duma linha de corrente sob determinadas condições físicas: movimento estacionário e sem atrito e fluido incompressível. Resulta então, que ao longo de uma linha de corrente se verifica a igualdade:

$$\frac{P_1}{\rho} + \frac{(V_1)^2}{2} + gz_1 = \frac{P_2}{\rho} + \frac{(V_2)^2}{2} + gz_2 \quad (1)$$

O 1º e o 3º termo representam, respectivamente, o trabalho realizado sobre a partícula de fluido num dado ponto pela pressão  $P$  e pela força gravítica  $g$ . O 2º termo representa a energia cinética da partícula nesse ponto. Os termos têm dimensões físicas de energia específica ( $\text{J/kg} = \text{m}^2\text{s}^{-2}$ ).

Sendo  $z_1 = z_2$  (dois pontos da linha de corrente com igual cota  $z$ ), temos

$$\frac{P_1}{\rho} + \frac{(V_1)^2}{2} = \frac{P_2}{\rho} + \frac{(V_2)^2}{2} \quad (2)$$

$$P_1 - P_2 = \rho \frac{(V_2^2 - V_1^2)}{2} \quad (3)$$

Sendo o fluido incompressível, a equação da continuidade (conservação da massa) pode ser representada por

$$\rho \cdot V_1 \cdot A_1 = \rho \cdot V_2 \cdot A_2 \quad \text{onde } A_1 \text{ e } A_2 \text{ são as áreas das secções nos pontos } 1 \text{ e } 2.$$

$$A = \pi \frac{(D)^2}{4} \quad \text{sendo } A \text{ uma secção circular.}$$

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{A_1}{A_2} = \left( \frac{D_1}{D_2} \right)^2 \quad (4)$$

Então a equação (3) pode ser reescrita

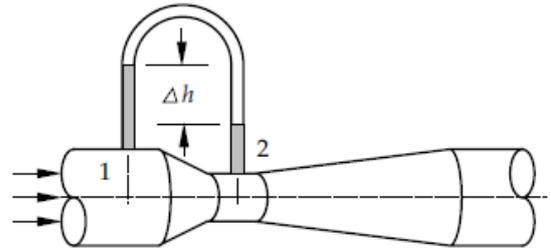
$$P_1 - P_2 = \rho V_1^2 \frac{\left( \left( \frac{V_2}{V_1} \right)^2 - 1 \right)}{2} = \rho V_1^2 \frac{\left( \left( \frac{D_1}{D_2} \right)^4 - 1 \right)}{2} \quad (5)$$

$$V_1^2 = 2(P_1 - P_2) \frac{1}{\rho \left( \left( \frac{D_1}{D_2} \right)^4 - 1 \right)} \quad (6)$$

As pressões  $P_1$  e  $P_2$  podem ser medidas nos manómetros do tubo de Venturi. Com  $P = \rho g h$ , sendo  $h$  a altura medida no manómetro, vem

$$V_1^2 = \frac{2g}{\left(\left(\frac{D_1}{D_2}\right)^4 - 1\right)} (h_1 - h_2) = K(h_1 - h_2) \quad (7)$$

No caso do aparato experimental utilizado  $D_1=26$  mm,  $D_2=16$  mm, pelo que  $K=3,2815$  ms<sup>-2</sup>.



## Procedimento experimental

- com a torneira de passagem do tubo de Venturi fechada, ligue as bombas hidráulicas do circuito;
- verifique se o nível de água dentro dos tubos manométricos é igual em todos eles e se não existem bolhas de ar no seu interior;
- abra a torneira de passagem do tubo de Venturi até atingir um caudal máximo que aproveite a quase totalidade da escala dos tubos manométricos;
- meça as alturas  $h_1$  (1º manómetro) e  $h_2$  (4º manómetro);
- determine o caudal que alimenta o tubo de Venturi ( $Q_{obs} = \text{volume}/\text{tempo}$ ) medindo com o cronómetro o tempo  $T$  que leva a encher um reservatório externo (balde) com 10 l de água.
- repita o conjunto de medições anteriores (alturas e tempos) para mais 4 valores diferentes do caudal fornecido ao tubo de Venturi, fechando progressivamente a válvula de passagem, rodando-a no sentido horário. As variações do caudal devem ser suficientemente pequenas para que haja lugar a 5 caudais no total.
- Atenção: Nunca retire a mangueira de admissão de água do reservatório.

### Valores medidos

| $h_1$ (mm) | $h_2$ (mm) | $T$ (s) |
|------------|------------|---------|
|            |            |         |
|            |            |         |
|            |            |         |
|            |            |         |
|            |            |         |

**Cálculos**

- Para cada um dos 5 caudais fornecidos ao tubo de Venturi, utilize a relação (7), que foi deduzida a partir da equação de Bernoulli, para determinar o caudal  $Q_{Venturi}$  ( $m^3/s$ ) no tubo de Venturi.
- Calcule para cada um desses 5 caudais o coeficiente  $C$  de descarga do tubo de Venturi

$$C = \frac{Q_{obs}}{Q_{Venturi}}$$

em que  $Q_{obs}$  é o caudal determinado a partir dos tempos de enchimento do reservatório com 10 l.

- Represente graficamente  $Q_{obs}$  em função  $Q_{Venturi}$  e determine o valor de  $C$  por ajuste linear dos pontos experimentais.
- Discuta os resultados obtidos nesta experiência laboratorial, estimando sempre que possível os erros associados.