

TUBO DE PITOT

1 – INTRODUÇÃO

Em muitos estudos experimentais de escoamentos é necessário determinar o módulo e a direção da velocidade do fluido em alguns pontos da região estudada. Apesar de ser impossível a obtenção da velocidade num ponto, pode-se determinar a velocidade média numa pequena área ou volume através de instrumentos adequados.

Pode-se obter a velocidade medindo-se:

- o tempo que uma partícula identificável leva para percorrer uma distância conhecida;
- a variação da resistência elétrica pelo resfriamento de um condutor elétrico introduzido no escoamento (anemômetro de fio quente);
- a rotação de um hélice introduzido no escoamento (molinete e anemômetro);
- a diferença entre a pressão total e a estática, método introduzido por Henri Pitot em 1732, que é um dos mais utilizados.

O tubo de Pitot é empregado para medição de velocidades principalmente em escoamento de gases como, por exemplo, na aviação.

2 – FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1) Princípio de Funcionamento

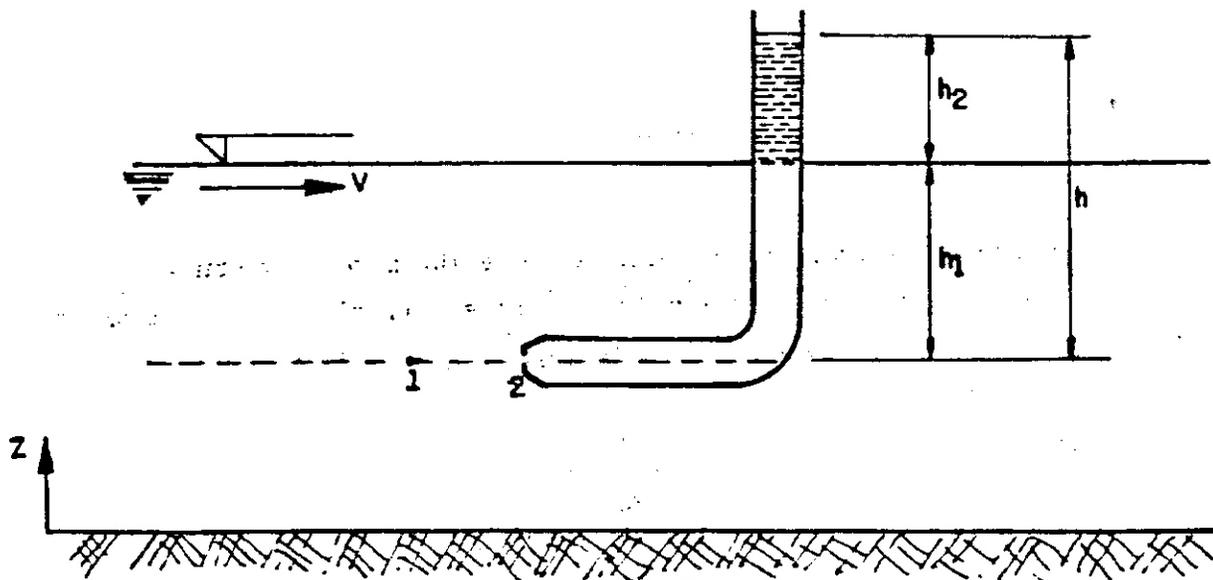


Fig. 1 Tubo de Pitot em canal aberto.

No ponto 1, da Figura 1, a energia total referida a unidade de peso é igual a:

$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} + z$, onde P_1 é a pressão estática em 1; v_1 é a velocidade do fluido em 1, γ seu peso específico e g a aceleração gravitacional.

No ponto 2, na entrada do tubo de Pitot, a partícula que estava no ponto 1 é desacelerada até a velocidade nula; então a energia total referida à unidade de peso é igual a:

$$\frac{P_2}{\gamma} + z$$

Devido à proximidade entre os pontos 1 e 2, pode-se considerar que não houve dissipação de energia, isto é, a energia total referida à unidade de peso é igual nos pontos 1 e 2.

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} + z = \frac{P_2}{\gamma} + z$$

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{P_2}{\gamma}$$

ou

$$\frac{v_1^2}{2g} = \frac{(P_2 - P_1)}{\gamma}$$

A pressão estática P_1 (efetiva) é dada pela altura de coluna de fluido acima da linha com cota z , ou seja, “ h_1 ”. A pressão total efetiva P_2 (de estagnação) é dada pela altura “ h ”

como $h = h_1 + h_2$

$$h_1 = \frac{P_1}{\gamma}$$

$$h = \frac{P_2}{\gamma} = \frac{P_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g}$$

Tem-se $h_2 = \frac{v_1^2}{2g}$

Portanto através da leitura da altura de coluna de fluido no tubo de Pitot acima da superfície livre pode-se obter a velocidade do escoamento na cota z .

2.2) Determinação do perfil de velocidade em uma tubulação

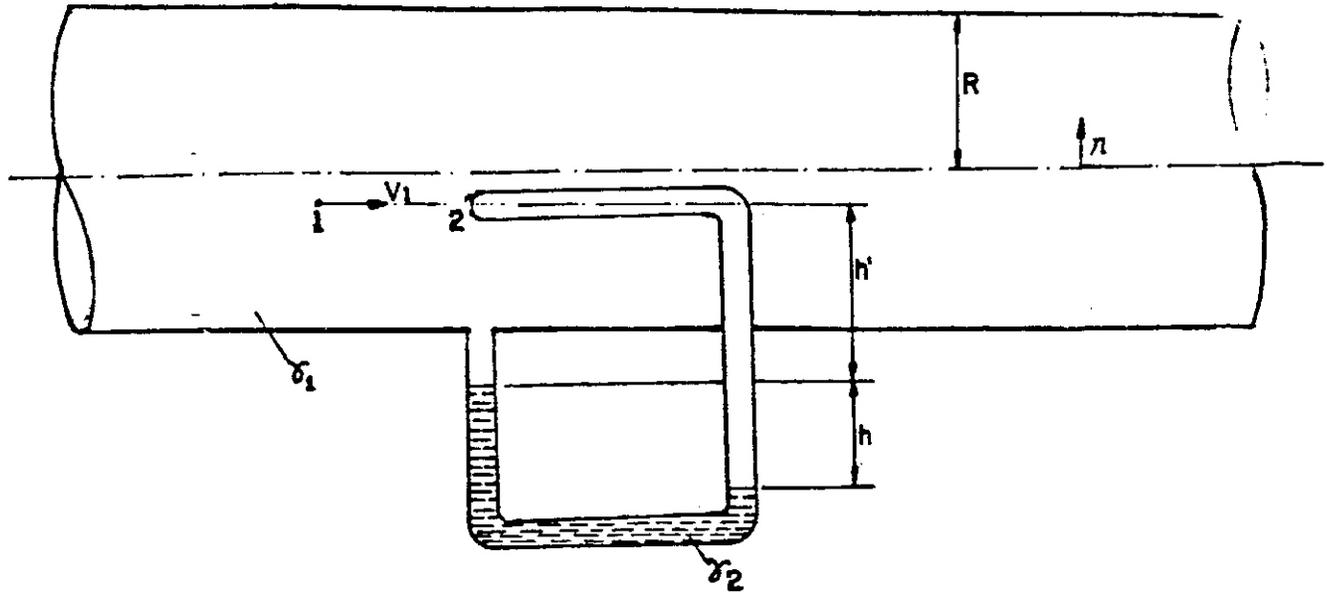


Fig.2.: Tubo de Pitot em uma tubulação

A equação de Bernoulli aplicada entre os pontos 1 e 2 :

$$\frac{v_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\gamma} = \frac{P_2}{\gamma} \rightarrow v_1 = \sqrt{2g \left(\frac{P_2 - P_1}{\gamma} \right)} \quad (1)$$

Sendo a equação do manômetro diferencial (Tubo de Pitot):

$$P_1 + \gamma_1 h' + \gamma_2 h = P_2 + \gamma_1 (h + h')$$

ou

$$\frac{P_2 - P_1}{\gamma} = h \left(\frac{\gamma_2 - 1}{\gamma_1} \right)$$

então de (1) e (2) vem que :

$$v_1 = \sqrt{2gh \left(\frac{\gamma_2 - 1}{\gamma_1} \right)}$$

Então, através do deslocamento radial do tubo de Pitot no interior da tubulação, pode-se levantar o diagrama de velocidades \$v(r)\$ na seção estudada (Figura 3a).

2.3) Determinação da vazão

Tem-se que a vazão em volume (\$Q\$) de um fluido escoando através de uma seção "S" é dada por:

$$Q = \int_S v \, dS$$

Conhecida a distribuição de velocidade v na seção (item 2.2),

$$\text{como } dS = \pi d(r^2)$$

tem-se

$$Q = \pi \int_0^R v d(r^2)$$

ou, considerando a área A_1 da Figura 3b chega-se a :

$$Q = \pi A_1$$

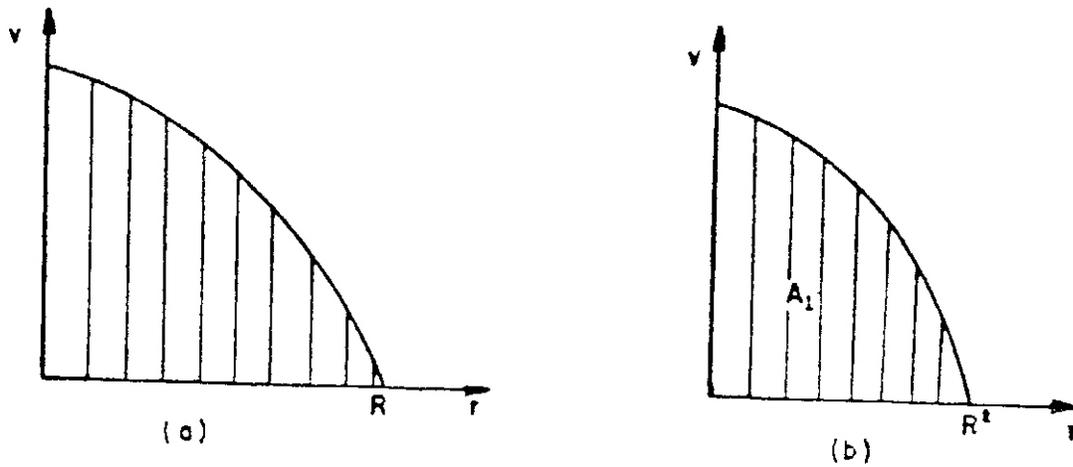


Fig.3 a) Curva $v = f(r)$; b) curva $v = f(r^2)$

2.4) Determinação da velocidade média (V) na secção.

Por definição:

$$V = \frac{Q}{S}$$

Ou conforme a figura 3b

$$V = \frac{\pi A_1}{\pi R^2} = \frac{A_1}{R^2}$$

2.5) Determinação do fluxo de energia cinética na secção (C)

$$C = \int_S \frac{1}{2} \rho v^2 v ds$$

$$\text{Como } C = \frac{1}{2} \rho \int_S v^3 ds = \frac{\pi}{2} \rho \int_0^R v^3 d(r^2)$$

$$\text{ou } C = \frac{\pi}{2} \rho A_2 \quad \text{onde } A_2 \text{ é a área mostrada na Figura 4a.}$$

2.6) Determinação do coeficiente da energia cinética (α)

Para conhecermos o valor real do fluxo da energia cinética numa secção de escoamento a partir da velocidade média na secção (V), torna-se necessário a introdução de um coeficiente de correção α , denominado coeficiente da energia cinética, de tal forma que:

$$C = \alpha \frac{1}{2} \rho v^3 S$$

$$\therefore \alpha = \frac{C}{\frac{1}{2} \rho V^3 S} = \frac{\frac{\pi}{2} \rho A_2}{\frac{1}{2} \rho V^3 \pi R^2}$$

$$\therefore \alpha = \frac{A_2}{V^3 R^2}$$

2.7) Determinação do fluxo de quantidade de movimento na secção (x)

$$x = \int_s \rho v \, v ds.$$

$$\text{Sendo } x = \int_s \rho v^2 \, ds = \pi \rho \int_0^{R^2} v^2 \, d(r^2)$$

$$\text{ou } X = \pi \rho A_3$$

Onde A_3 é a área mostrada na figura 4b.

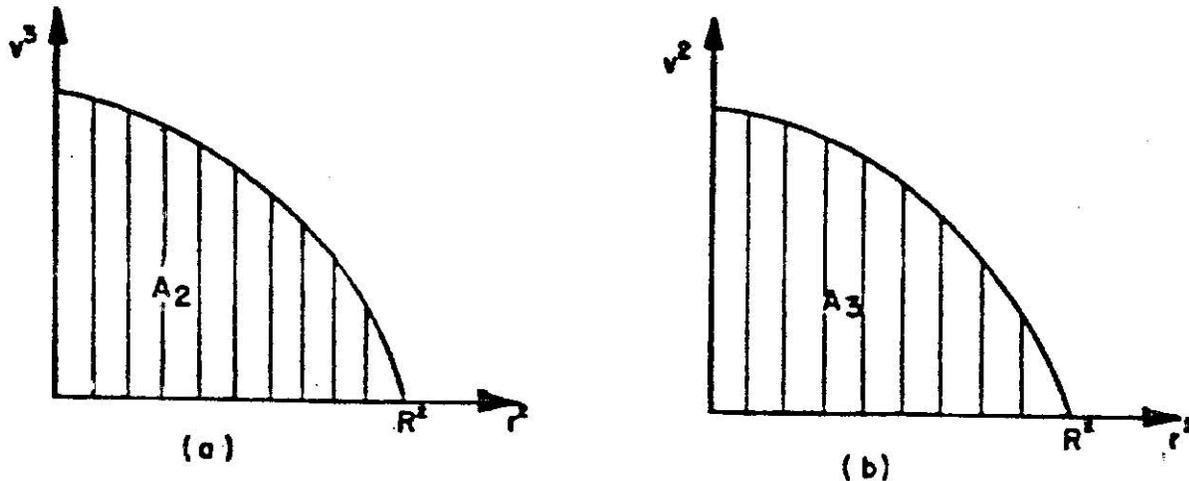


Fig.4 a) curva $v^3 = f(r^2)$; b) curva $v^2 = f(r^2)$

2.8) Determinação do coeficiente da quantidade de movimento (β).

Para calcular o valor real do fluxo da quantidade de movimento na secção a partir da velocidade média, deve-se introduzir um coeficiente de correção β , ou seja:

$$X = \beta \rho V^2 S$$

Onde β = coeficiente da quantidade de movimento

$$\therefore \beta = \frac{x}{\rho V^2 S} = \frac{\pi \rho A_3}{\rho V^2 \pi R^2}$$

$$\beta = \frac{A_3}{R^2 V^2}$$

3) PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

O equipamento é constituído por:

- dez tubos de Pitot, distribuídos radialmente numa secção transversal da tubulação superior da bancada (ver Fig. 5);
- uma tomada de pressão estática na mesma secção da tubulação φ

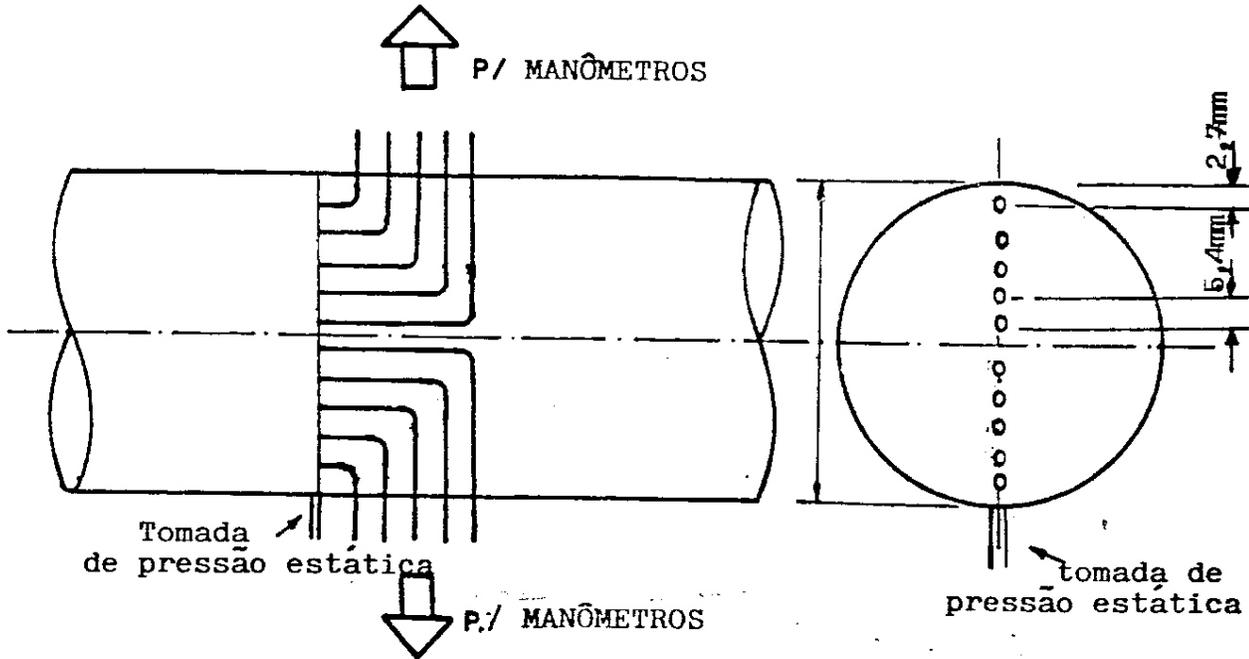


Fig.: 5 Esquema do posicionamento dos Pitots na tubulação.

- onze manômetros inclinados conectados na parte inferior aos tubos de Pitot e à tomada de pressão estática, e na parte superior à uma linha de ar comprimido a fim de deslocar os meniscos para uma altura conveniente de coluna d'água (ver Fig. 6).

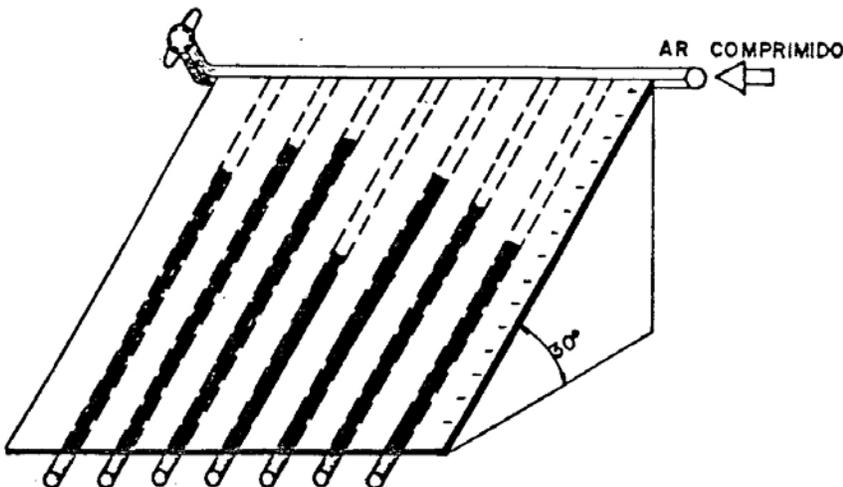


Fig.:6 Esquema dos manômetros

- d) uma balança
- e) uma válvula de três vias
- f) um registro regulador de vazão.
- g) um cronômetro

A experiência consiste em:

- a) registrar as indicações dos manômetros para um dado valor de vazão.
- b) Medir a mesma vazão pelo método de pesagem (utilizando a balança).

4) QUESTÕES PROPOSTAS

- a) levantar o perfil de velocidade na secção transversal de leitura;
- b) levantar a curva $v = v(r^2)$ para calcular a vazão (item 2.3) e confrontar este valor com o resultado obtido através do método das pesagens;
- c) calcular a velocidade média na secção através do perfil de velocidade (item 2.4) e confrontar com a velocidade média obtida com o método das pesagens;
- d) levantar a curva $v^3 = v^3(r^2)$ para calcular o fluxo de energia cinética na secção (item 2.5) e o coeficiente de energia cinética (item 2.6);
- e) demonstrar que o coeficiente “ α ” podem ser obtidos através da seguinte relação.

$$\alpha = \frac{1}{S} \int_S \left(\frac{v}{V} \right)^3 ds$$

onde

S = área da secção transversal

V = velocidade média na secção

v = velocidade local em cada ponto da secção

- f) considerando-se o movimento turbulento em tubos, o perfil de velocidade segue a relação

$$\frac{v}{v_{\max}} = \left(\frac{R-r}{R} \right)^{\frac{1}{n}}$$

Onde $n = 7$ para número de Reynolds inferior a 10^5

$n > 7$ para número de Reynolds superiores a 10^5

À partir das velocidades obtidas no ensaio, determinar o valor de “n” representativo para o perfil. Sugere – se utilizar gráfico bilogarátmico: $\log (v/v_{\max})$ por $1/n \log ((R-r)/R)$.

5) BIBLIOGRAFIA

Citar a bibliografia utilizada.