

## 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

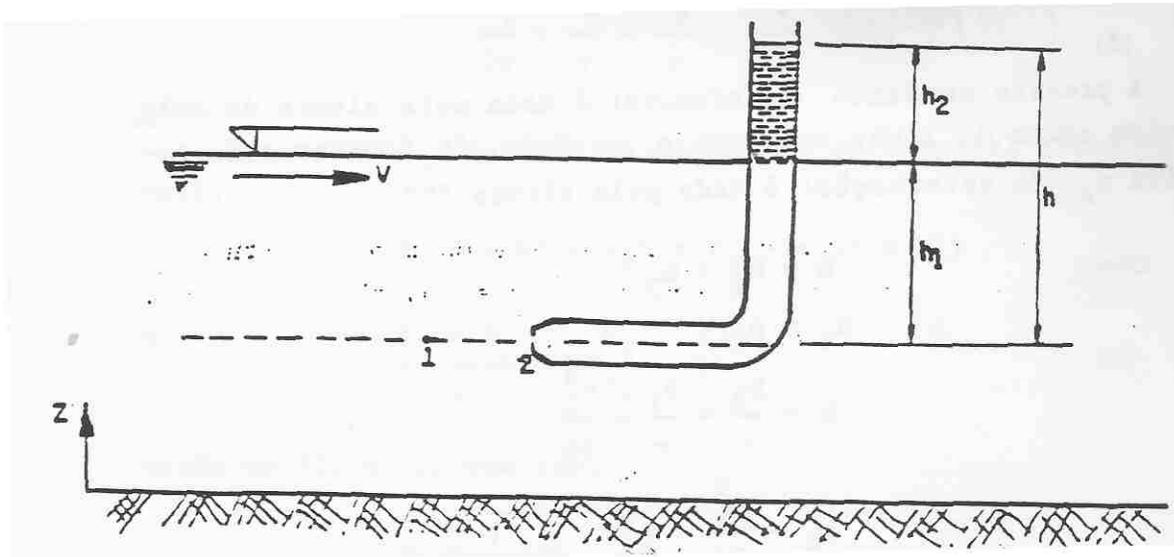


Fig. 1 Tubo de Pitot em canal aberto

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,  $\gamma$  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

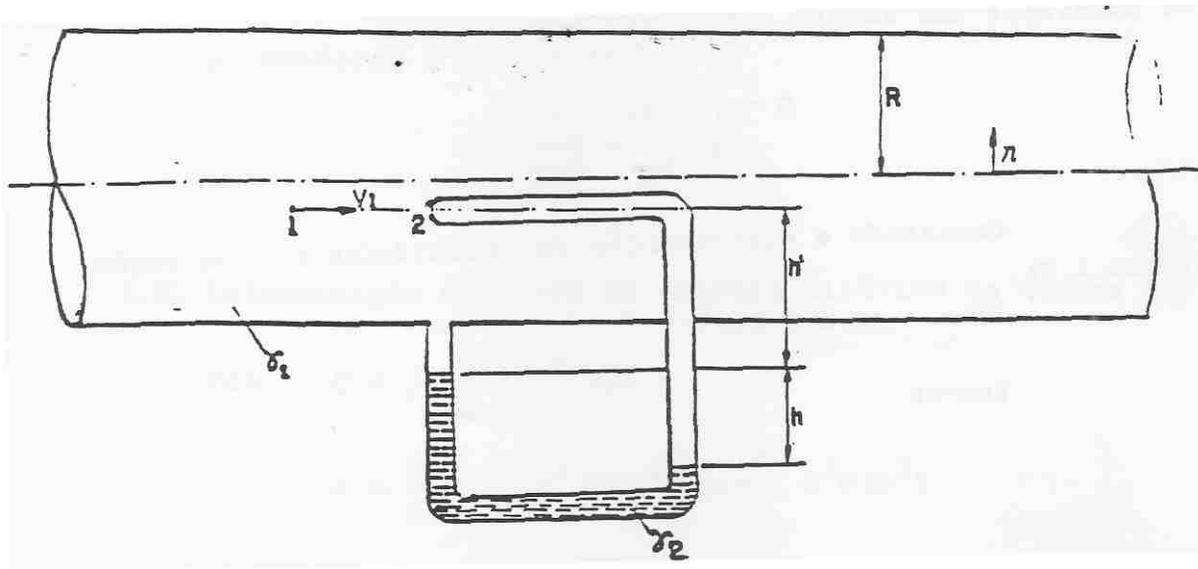


Fig. 2: Tubo de Pitot em uma tubulação

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 secção “  $S$  “ é dada por:

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

Conhecida a distribuição de velocidade  $v$  na secção (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 :

$$Q = \pi A_1$$

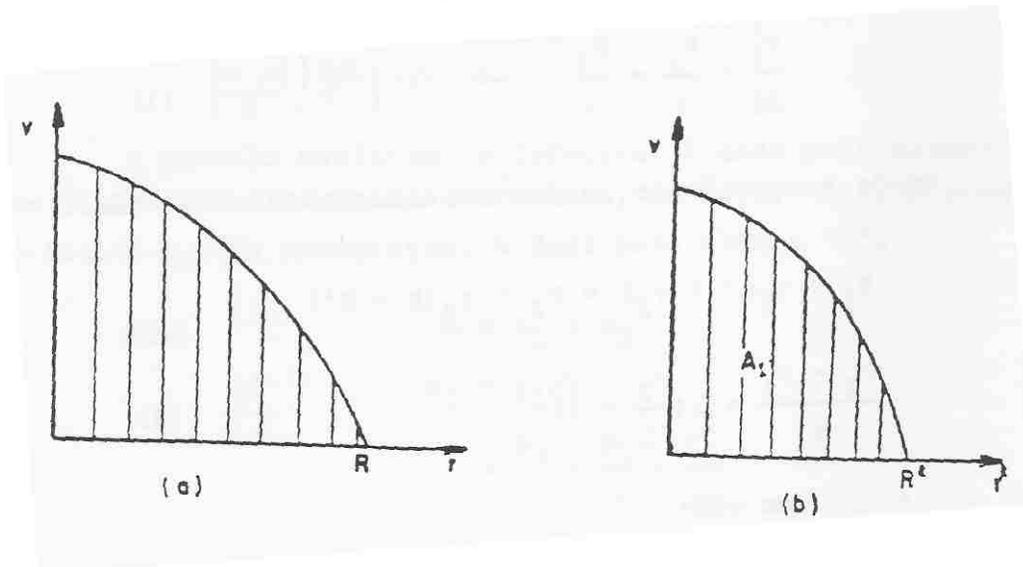


Fig. 3 a) curva  $v = f(r)$  ;

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 )

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

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

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

2.6) Determinação do coeficiente da energia cinética (  $\alpha$  )

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  $\alpha$ , 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 )

$$x = \int_S \rho v v ds.$$

Sendo 
$$x = \int_S \rho v^2 ds = \pi \rho \int_0^R v^2 d(r^2)$$

ou 
$$X = \pi \rho A_3$$

Onde  $A_3$  é a área mostrada na figura 4b.

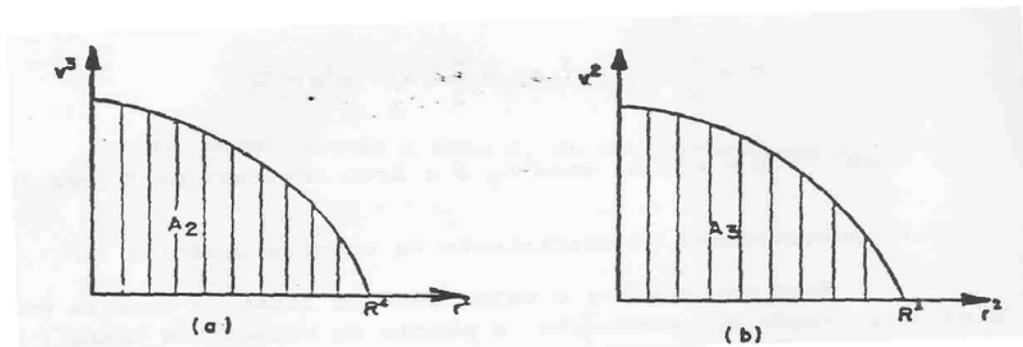


Fig.4 a) curva  $v^3 = f(r^2)$  ;

b) curva  $v^2 = f(r^2)$

2.8) Determinação do coeficiente da quantidade de movimento ( $\beta$ ).

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  $\beta$ , ou seja:

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

Onde  $\beta$  = 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;

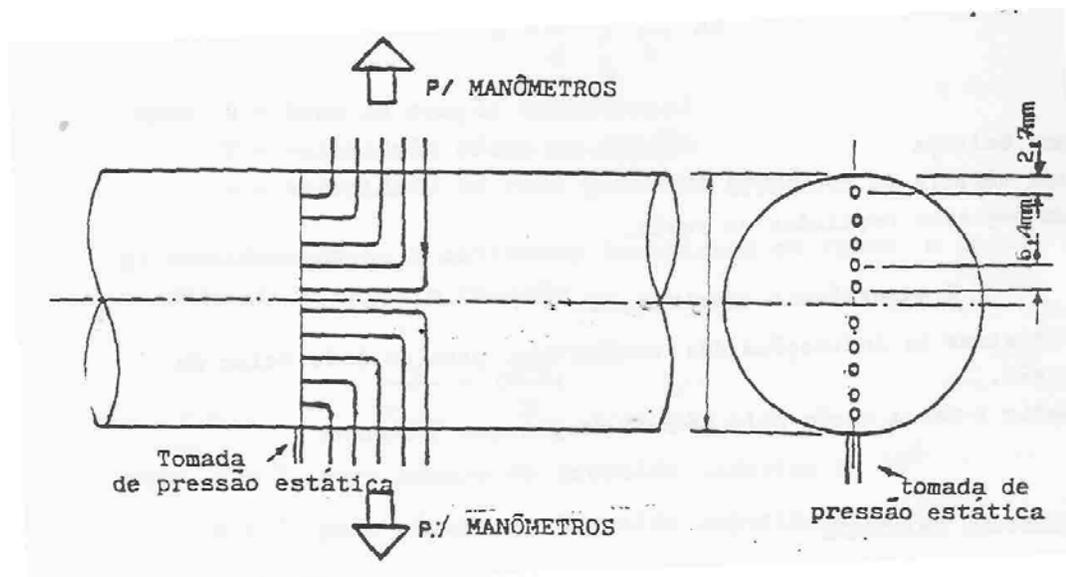


Fig. 5: Esquema do posicionamento dos Pitots na tubulação.

- 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).

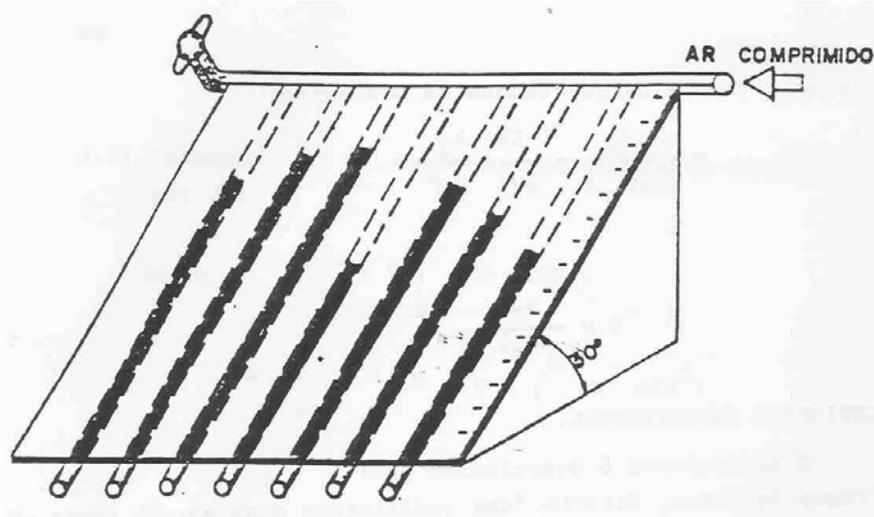


Fig. 6: Esquema dos manômetros

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

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 ( 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) levantar a curva  $v^2 = v^2(r^2)$  para calcular o fluxo da quantidade de movimento na secção ( item 2.7 ) e o coeficiente da quantidade de movimento ( item 2.8 );
- f) demonstrar que os coeficientes “  $\alpha$  ” e “  $\beta$  ” podem ser obtidos através das seguintes relações.

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

$$\beta = \frac{1}{S} \int_s \left( \frac{v}{v} \right)^2 ds$$

onde S = área da secção transversal  
V = velocidade média na secção  
v = velocidade em cada ponto da secção

g) 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 bilogarítimo:  $\log (V/V_{\max}) \times 1/n \log ((R-r)/R)$ .

## 5 ) BIBLIOGRAFIA

Citar a bibliografia utilizada.