



TÍTULO: DETERMINAÇÃO DO PERFIL DE VELOCIDADES PARA O
ESCOAMENTO EM DUTO CILÍNDRICO – TUBO DE PITOT

1 - Objetivo

Determinar experimentalmente, utilizando o tubo de Pitot, os perfis de velocidade de um fluido no regime permanente, em dutos cilíndricos de secção uniforme constante e hidraulicamente lisos.

2 – Fundamentos Teóricos

Para medidas de velocidade local em sistemas de escoamento de fluidos, diferentes equipamentos podem ser utilizados, entre os quais destacam-se: o tubo de Pitot, anemômetro de fio quente, Efeito Doppler com raio laser, etc. Apesar desse último dispositivo citado ser o mais moderno e o mais intensamente utilizado em trabalhos recentes, pode-se dizer que o tubo de Pitot, historicamente o mais antigo, apresenta desempenho satisfatório e continua sendo utilizado com bastante frequência, notadamente em trabalhos que não necessitam apresentar resultados com precisão elevada.

Apesar de sua pequena relevância comercial, o tubo de Pitot é um instrumento útil para a pesquisa acadêmica. Não é aplicável a escoamentos de fluidos com sólidos em suspensão, possui faixa de operação limitada e baixa sensibilidade.

O tubo de Pitot clássico, possui dois pontos de tomada de pressão:

- Um que está voltado para o escoamento e registra a pressão de estagnação do fluido: pressão estática mais pressão dinâmica;
- Outro, posicionado perpendicularmente ao eixo do escoamento que é sensível apenas à pressão estática.

Reynolds (Sir Osborne Reynolds) constatou através da técnica de injeção de um filete de corante o escoamento turbilhonar ou turbulento. Reynolds constatou ainda que as perturbações inerentes do escoamento turbulento são de caráter aleatório, ou seja, não se pode a priori determinar o local em que aparecem e muito menos a sua amplitude. Isso nos leva a antecipar que será uma tarefa difícil determinar o perfil de velocidade de um fluido em escoamento turbulento.

Como o escoamento turbulento é o tipo mais encontrado na prática, ele tem sido extensivamente estudado tanto do ponto de vista prático quanto do ponto de vista teórico. Diversos perfis de velocidade foram determinados experimentalmente e muitas tentativas foram feitas até se chegar a um perfil universal (turbulento) de velocidade como se chegou no caso de escoamento laminar. A forma do perfil de velocidade turbulento é sensivelmente diferente da forma do perfil laminar. As Figuras 1 e 2 a seguir ilustram esta diferença.

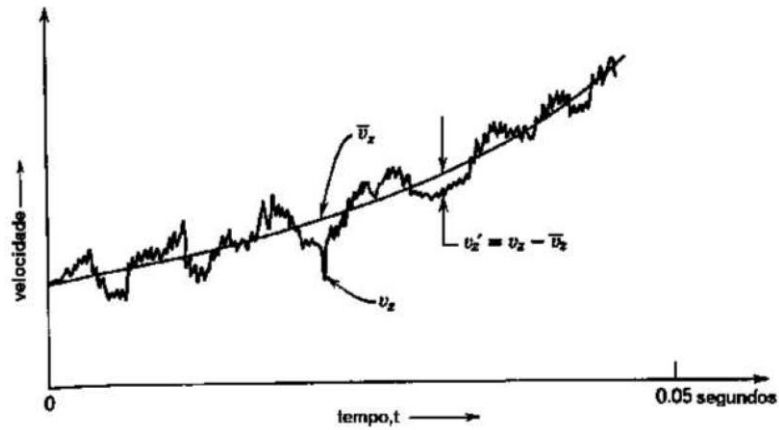


Figura 1 – Oscilações do comportamento da velocidade em torno do valor médio.

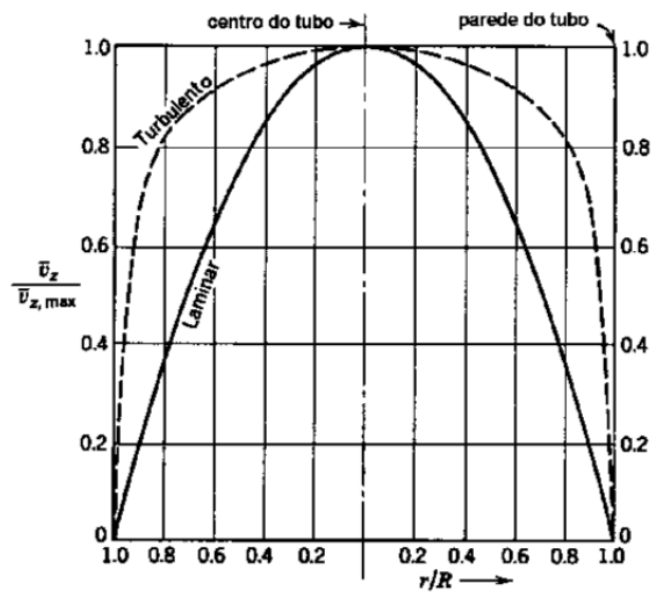


Figura 2 – Comparação qualitativa das distribuições de velocidade: laminar e turbulento.

Os perfis de velocidade representados na Figura 2 podem ser expressos pelas equações dispostas na Tabela 1 abaixo.

Tabela 1 – Distribuição da velocidade no fluido.

Laminar:	Turbulento:
$\frac{v_z}{v_{z, \max}} = \left[1 - \left(\frac{r}{R} \right)^2 \right]$	$\frac{\bar{v}_z}{v_{z, \max}} = \left(1 - \frac{r}{R} \right)^n$
$\frac{\langle v_z \rangle}{v_{z, \max}} = \frac{1}{2}$	$\frac{\langle \bar{v}_z \rangle}{v_{z, \max}} = \frac{4}{5}$

Obs: No regime turbulento: $n=1/7 = 0,1428$; $1.10^4 < Re < 1.10^5$

Um balanço de Energia Mecânica (BEM) define a equação do “Tubo de Pitot”, a partir da qual pode-se determinar experimentalmente a velocidade pontual para cada posição radial (u):

$$\frac{u^2}{2g} = \frac{\Delta P}{g\rho} \quad (1)$$

$$u = \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho}} \quad (2)$$

sendo,

$$\Delta P = (\rho_{Hg} - \rho_{H_2O}) g \Delta h \quad (3)$$

sendo Δh a diferença de altura manométrica.

O número de Reynolds é dado pela seguinte equação:

$$R_e = \frac{D \langle \bar{u} \rangle \rho}{\mu} \quad (4)$$

sendo $\langle \bar{u} \rangle$ a velocidade média do fluido.

3 – Materiais

No desenvolvimento da prática sobre a distribuição de velocidade em um tubo, empregando o tubo de Pitot, os seguintes materiais e equipamento serão utilizados, a Figura 3, mostra a unidade experimental:

- reservatório (caixa d’ água) de 100 litros;
- bomba centrífuga (1,5 HP);
- tubo de latão de seção circular ($D_i = 7/8'' = 2,2 \text{ cm}$);
- tubo de Pitot instalado verticalmente no tubo de latão no sentido para baixo, contrário ao sentido do fluido;
- manômetro diferencial tipo tubo em “U” confeccionado em vidro (fluido manométrico: Hg);
- Termômetro para medida da temperatura da água;
- Cronômetro.

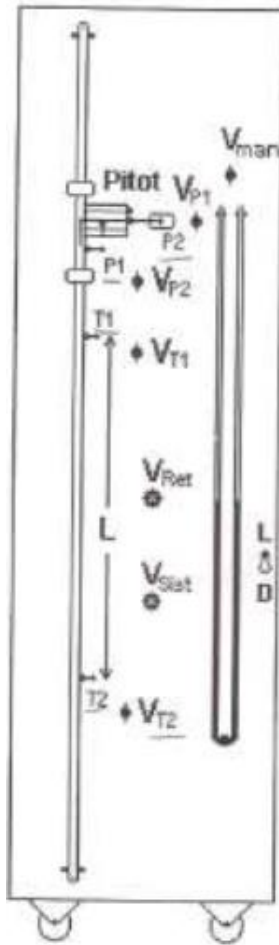


Figura 3 - Vista frontal do conjunto didático experimental

O sistema (**Tubo de Pitot**) confeccionado em latão apresenta um sistema de cremalheira com botão de ajuste que permite movimentar o Tubo de Pitot posicionando-o radialmente no interior do tubo de latão, para que seja possível medidas pontuais de velocidades.

Na descarga da bomba, a tubulação é dividida, fazendo a água bombeada passar por duas válvulas do tipo gaveta, uma que permite a admissão de água no sistema (V_{Sist}) e outra que faz a água retornar ao reservatório (V_{Rec}). O caminho do fluido (água) pelo sistema se inicia com o mesmo passando pela válvula V_{Sist} , adentrando o sistema pela extremidade inferior do tubo. O fluido escoar “para cima”, passa pelas duas tomadas de pressão T_1 e T_2 , pelo “Tubo de Pitot” e deixa o sistema pela extremidade inferior do tubo, retornando ao reservatório. O sistema experimental apresenta no total 5 válvulas do tipo esfera, V_{P1} , V_{P2} , V_{T1} , V_{T2} e V_{man} , localizadas no painel frontal e uma válvula para drenagem das bolhas, localizada na parte traseira do equipamento. Essas válvulas comandam o sistema de manômetros e devem estar posicionadas totalmente fechadas (posição vertical ao fluxo) ou totalmente abertas (posição horizontal ao fluxo), nunca em posição intermediária.

4 – Procedimento Experimental

A operação deste equipamento permite determinações de perfis de velocidade radial para diferentes regimes de escoamento, operando o sistema com diferentes vazões de operação.

Para a determinação de um perfil radial de velocidade numa dada condição de escoamento (Re) no tubo de seção circular do conjunto experimental ilustrado na Figura 3, o seguinte procedimento experimental será utilizado:

- Deve-se inicialmente, manipular as válvulas V_{rec} e V_{sist} de modo a estabelecer uma dada vazão volumétrica (Q) no sistema;
- A vazão mássica (ω) de água através do sistema é medida com o auxílio de um recipiente (balde) e de um cronometro. Medindo-se a temperatura da água (T) através de um termômetro, pode-se obter sua densidade (ρ) e calcular a respectiva vazão volumétrica (Q). Pesa-se inicialmente o recipiente vazio obtendo-se sua massa (m_{rec}). Manipulando o dispositivo divisor de fluxo, coletasse uma quantidade de água durante um intervalo de tempo conhecido (Δt) e pesa-se novamente o recipiente agora com água obtendo-se a massa correspondente ($m_{rec+água}$). Calcula-se a vazão mássica (ω) pela equação que segue:

$$\omega = \frac{m_{rec+água} - m_{rec}}{\Delta t} \quad (5)$$

A partir da temperatura da água medida no reservatório ($T_{água}$), encontra-se o valor de sua densidade (ρ) e calcula-se a vazão volumétrica (Q):

$$Q = \frac{\omega}{\rho} \quad (6)$$

- Fazer as anotações da queda de pressão para cada posição radial (r);
- Alterar a posição radial do tubo de Pitot, ajustando a porca do dispositivo montado para “varrer” a parte inferior do tubo ($0 \leq r < R$), a partir do centro da tubulação;

5– Resultados

No tratamento dos dados experimentais, os seguintes procedimentos serão utilizados:

- Com os valores de queda de pressão (ΔP) versus posição radial do Pitot (r) montar os perfis de velocidade para cada uma das vazões;
- Por razões técnicas relacionados à dificuldade de posicionamento do tubo de Pitot ao longo de toda a seção da tubulação, o perfil experimental de velocidade será obtido na metade inferior do tubo. Entretanto, sabe-se que as distribuições de velocidade são simétricas, ou seja, a mesma situação se verifica na metade superior da tubulação. Assumir que as velocidades exatamente na parede da tubulação é nula (condição de não deslizamento);
- Ajustar uma curva aos dados de velocidade versus posição radial e realizar uma integração na área da seção do tubo para a medida da velocidade média ($\langle \bar{u} \rangle$) e, conseqüentemente, da vazão volumétrica (Q);

$$Q = \langle \bar{u} \rangle A_c \quad (7)$$

- Verificar se o escoamento é laminar ou turbulento. Caso o escoamento seja turbulento, encontrar o valor de n através de uma regressão não linear utilizando a equação presente na Tabela 1;
- Comparar os valores de vazão volumétrica medida pelo método da pesagem e pela integração dos perfis de velocidade;

Vazão 1: método da pesagem

Temperatura do fluido = _____, densidade = _____

Medida	Massa (kg)	t (segundos)	Q (m ³ /s)
Média			
Desvio padrão			

Vazão 1 = _____

Δh (cm) para ΔP

Medida	r (cm)	Δh (cm)	v (m/s)
1			
2			
3			
4			
5			
6			

Vazão 2: método da pesagem

Temperatura do fluido = _____, densidade = _____

Medida	Massa (kg)	t (segundos)	Q (m ³ /s)
Média			
Desvio padrão			

Vazão 2 = _____

Δh (cm) para ΔP

Medida	r (cm)	Δh (cm)	v (m/s)
1			
2			
3			
4			
5			
6			

Vazão 3: método da pesagem

Temperatura do fluido = _____, densidade = _____

Medida	Massa (kg)	t (segundos)	Q (m ³ /s)
Média			
Desvio padrão			

Vazão 3 = _____

Δh (cm) para ΔP

Medida	r (cm)	Δh (cm)	v (m/s)
1			
2			
3			
4			
5			
6			

6 – Referências Bibliográficas

KNUDSEN, J.G. e KATZ, D.L. (1958), Fluid Dynamics and Transfer, McGraw-Hill.

SCHLICHTING, H. (1979), Boundary Layer Theory, McGraw-Hill.

CROSBY, E.J. (1968), Experimentos sobre Fenômenos de Transporte, Editorial Hispano Américas S/A.