

Painel Hidráulico Móvel Modelo 2007 / 2022

Manual de Utilização

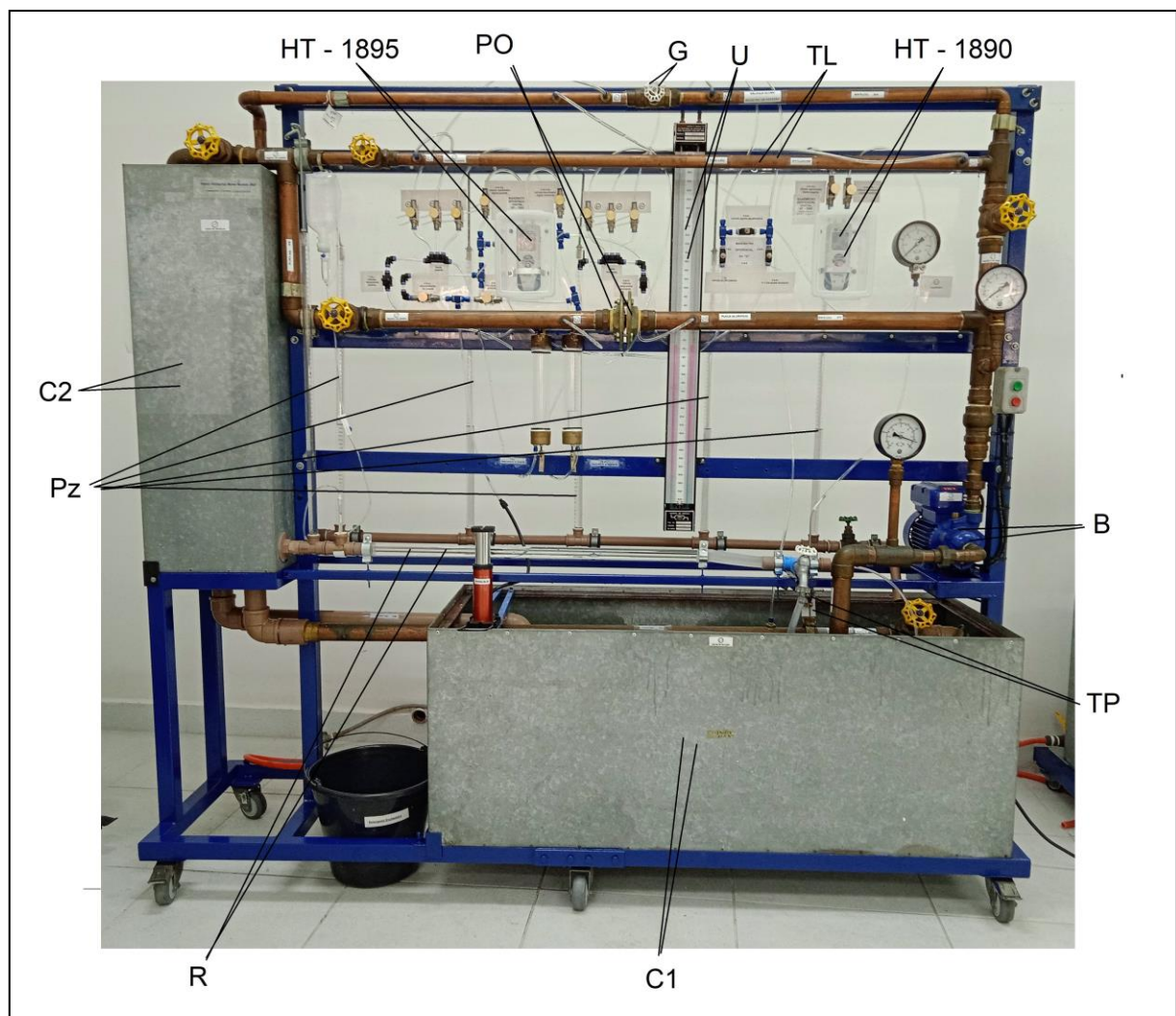


João Carlos Botelho Carrero

Painel Hidráulico Móvel Modelo 2007 / 2022

Com este Painel Hidráulico podem ser realizadas as seguintes práticas:

1. Experiência de Reynolds. Visualização de tipos de escoamentos.
2. Medida de pressão por manômetros Digital, em U e Piezômetro.
3. Tubo de Pitot: Perfil Parabólico de velocidades.
4. Medidor de vazão. Placa de Orifício.
5. Levantamento das curvas de uma Bomba Centrífuga.
6. Estudo de perdas de energia: distribuídas e localizadas.
7. Gradiente de energia.



Painel Hidráulico: C 1 – caixa de sucção; B – bomba d’água; PO – placa de orifício; TL – tubo liso (1”); G – válvula globo; C 2 – caixa de recalque; Pz – piezômetro; R – Reynolds; TP - Tubo de Pitot; HT-1895 – manômetro digital; HT 1890 – manômetro digital; U – manômetro diferencial em “U”

P r á t i c a 1

Experiência de Reynolds. Visualização de tipos de escoamentos.

Introdução

O escoamento de um fluido num conduto pode ser laminar ou turbulento. Osborne Reynolds (1842-1912), cientista e matemático britânico foi o primeiro a distinguir a diferença entre estes dois tipos de escoamentos.

A clássica experiência de Reynolds demonstra a diferença qualitativa entre os escoamentos laminar e turbulentos. Nessa experiência a água escoar de um reservatório grande através de um tubo transparente, que apresenta diâmetro interior D , com uma velocidade v . Um fino filamento de corante, de massa específica igual a da água, injetado na entrada do tubo permite a observação visual do fluxo. A baixas vazões, o corante permanece num único filamento, bem definido e apresenta somente alguns leves borrões provocados pela difusão molecular do corante na água. Portanto define-se escoamento laminar como aquele onde o fluido escoar em camadas e não há mistura macroscópica das camadas adjacentes do fluido.

Se aumentarmos a vazão a um valor intermediário (nem muito pequeno nem muito grande) o traço de corante flutua no tempo e no espaço, definindo um regime de transição.

À medida que a vazão através do tubo é aumentada o filamento de corante torna-se instável e parte-se num movimento confuso, a linha de corante é esticada e torcida numa infinidade de fios enovelados e rapidamente se dispersa por todo o campo de escoamento. Esse comportamento de escoamento turbulento é devido a flutuações de velocidade pequena e de alta frequência, superpostas ao movimento principal. A mistura de partículas de camadas adjacentes de fluido resulta numa rápida dispersão do corante.

Do ponto de vista quantitativo, estes regimes são definidos através do número de Reynolds, Re (equação 4), como homenagem a Osborne Reynolds.

Na engenharia se utilizam os seguintes valores para caracterizar os diferentes tipos de escoamentos.

$Re < 2000$: escoamento laminar.

$2000 < Re < 2300$: regime de transição.

$Re > 2300$: escoamento turbulento.

Na prática, estas faixas de valores não são muito nítidas dependendo de vários fatores, sendo o mais importante destes as perturbações do escoamento na entrada do tubo. Este parâmetro pode alterar o valor do número de Reynolds de transição. A literatura registra experimentos onde têm sido obtidos escoamentos laminares (determinados pelo comportamento qualitativo) para altos valores de Re .

Objetivos

1. Visualizar os diferentes tipos de escoamentos.
2. Comprovar os escoamentos visualizados com os valores obtidos do número de Reynolds.
3. Estimativa do número de Reynolds crítico, Re_c .

Procedimento Experimental

Condições iniciais para o experimento:

ABRIR TODOS os registros de gaveta e a válvula globo.

FECHAR TODAS as válvulas de agulha de todos os manômetros do painel

Encher a caixa (tanque) de sucção até cerca de 30 centímetros de coluna d'água.

Acione a bomba d'água (B), encher a caixa de recalque (tanque superior) (C 2). Esta caixa de recalque é dotada de um tubo de descarga automática para evitar transbordamento de água. Ao atingir o nível máximo, a água sai pelo Ladrão e retorna automaticamente para a caixa de sucção.

Com a bomba ligada, abra a torneira (T) do dispositivo de Reynolds de forma tal que se estabeleça uma vazão bem pequena. Posteriormente abre-se a válvula de fluido colorido (C 3) para visualizar pelo tubo de vidro a forma do filete de corante. Recomenda-se utilizar como corante o Etilenoglicol (Fluido Refrigerante de Radiador de Automóvel nas cores azul, verde ou rosa).

Coloque um balde embaixo da torneira (T) para recolher a água. Use uma proveta graduada de capacidade 1000 ml, para recolher um certo volume de fluido. Cronometrar o tempo gasto para encher a proveta. Meça a temperatura da água.

Posteriormente abra um pouco mais a torneira (T) repetindo-se o procedimento acima descrito.

Realizar-se-ão oito (8) ensaios. Planeje-os de modo que os 3 primeiros sejam em regime laminar; 2 ensaios na região de transição; 3 em regime turbulento. Sugestão: Faça o último ensaio com a torneira (T) totalmente aberta.

Procedimento de Cálculo

Determinação da vazão, Q

$$Q = \frac{\text{Vol prov.}}{t} \quad (\text{m}^3 / \text{s}) \quad (1)$$

Determinação da velocidade média na seção, v

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{4Q}{\pi D^2} \quad (\text{m/s}) \quad (2)$$

Determinação da viscosidade, ν

$$\nu = \frac{0.0178}{1 + 0.0337T + 0.000221T^2} 10^{-4} \quad (\text{m}^2 / \text{s}) \quad (3)$$

Determinação do número de Reynolds, Re

$$Re = \frac{v \cdot D}{\nu} = \frac{\rho v D}{\mu} \quad (4)$$

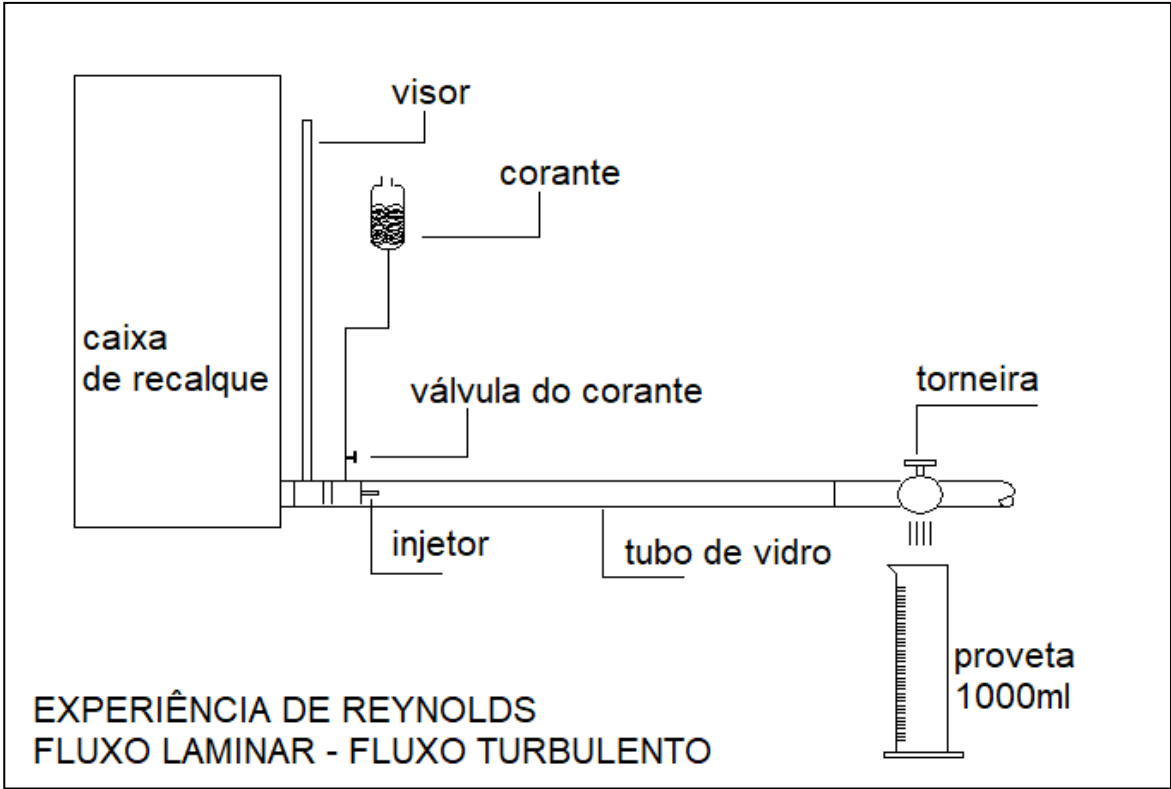


Tabela Rascunho

Grandezas	Proveta Vol.	Tempo <i>t</i>	Temperatura <i>T</i>	Desenho do escoamento visualizado
Unidades →	(l)	(s)	°C	
Ensaio ↓				
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				

Tabela de Desenvolvimento

Grandezas	Q	v	ν	Tipo de escoamento	
Unidades → Ensaio ↓	(L/s)	(m/s)	(m ² /s)	Calculado $f(Re)$	Visualizado (desenho)
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
Incertezas					
Incertezas Relativas (%)					

Relatório

Conforme requerimentos definidos na aula introdutória.

Referências

Conforme requerimentos definidos na aula introdutória.

Destacar nas conclusões:

Facilidade de definir a transição de escoamento laminar para turbulento, correspondência entre o desenho do filete de tinta e o número de Reynolds calculado.

Prática 2

Medida de pressão por manômetros Digital, em U e Piezômetro

Conceito Teórico - Estática dos Fluidos

Um fluido é dito em repouso quando não existe velocidade diferente de zero em nenhum ponto em seu interior. O estudo dos fluidos na condição de repouso é conhecido pelo nome de Estática dos Fluidos ou Hidrostática e encontra extensa aplicação na área de Engenharia Hidráulica, principalmente em obras de armazenamento de água. A título de exemplo podem ser citados: cálculo de esforços em barragens, determinação de forças em tanques de armazenamento, cálculos de reações em comportas etc. Uma aplicação muito importante da estática dos fluidos é a manometria de coluna de fluido, uma excelente ferramenta de medida de pressão.

Pela equação geral da Estática dos Fluidos, onde p é a pressão e z é a altura:

$$\vec{\nabla}(p + \rho g z) = 0 \quad (1)$$

Considerando um fluido estático e sob ação do campo gravitacional na direção vertical (eixo z), pode-se considerar que não há variação de pressão nas direções x e y horizontais, mas há apenas variação de pressão vertical e devido à gravidade, ou seja:

$$\frac{\partial p}{\partial x} = 0 \quad (2)$$

$$\frac{\partial p}{\partial y} = 0 \quad (3)$$

$$\frac{\partial p}{\partial z} = -\rho \cdot g \quad (4)$$

Onde ρ é a densidade do fluido manométrico e $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ é a aceleração da gravidade.

Sendo a pressão constante em x e y , ela é, portanto, apenas função de z , o que permite reescrever a equação 4 em termos de derivada total como apresentada na equação 5.

$$\frac{dp}{dz} = -\rho \cdot g \quad (5)$$

Manometria

Uma das aplicações mais úteis da estática dos fluidos é, sem dúvida, a manometria de coluna fluida, que utiliza, como o próprio nome indica, colunas de fluido para quantificar a pressão em pontos de um escoamento ou reservatório. Um bom exemplo é o manômetro de coluna de água representado na Figura 1, por um esquema construtivo.

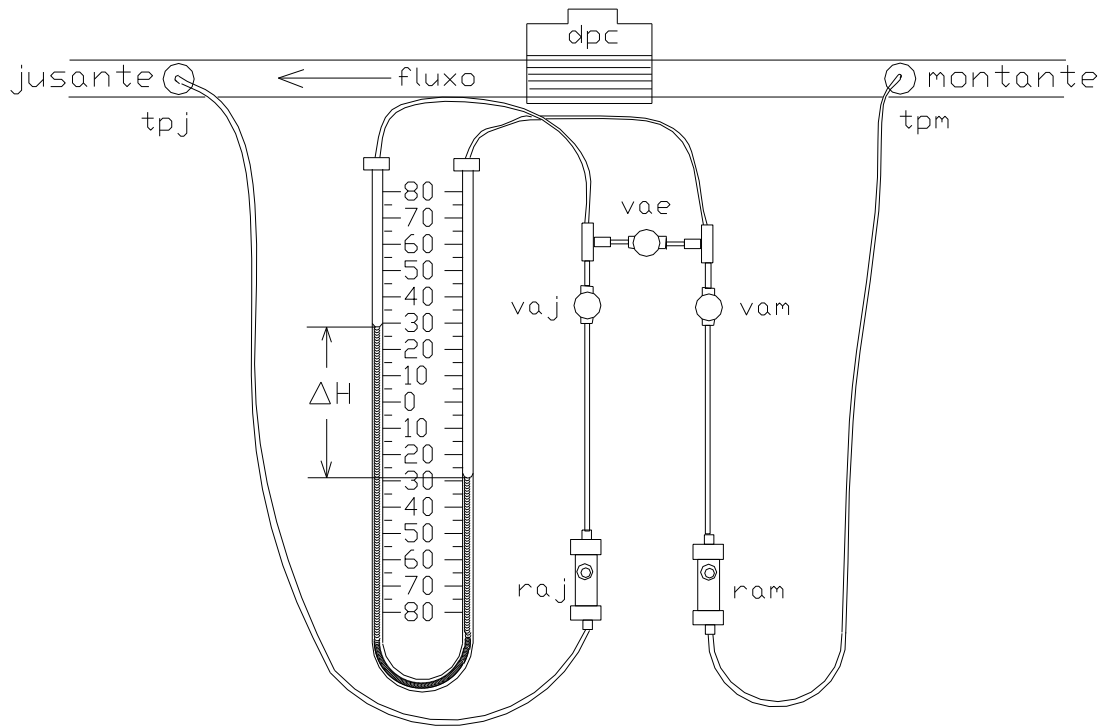


Figura 1: Manômetro em U de coluna de água. Onde: TPM – tomada de pressão montante; DPC – dispositivo de perda de carga; TPJ – tomada de pressão jusante; RAM – reservatório de ar montante; RAJ – reservatório de ar jusante; VAM – válvula de agulha montante; VAJ – válvula de agulha jusante; VAE – válvula de agulha de equalização.

Este manômetro é muito difundido nos diversos laboratórios de pesquisa das mais diferentes áreas do conhecimento.

O fluido usado como indicador da diferença de pressão, denominado fluido manométrico, deve ser um fluido imiscível com o fluido a ser medido, e apresentar uma superfície de separação bem definida, que é denominada menisco. Este tipo de medidor é do tipo de deflexão, isto é, a pressão a ser medida provoca o aparecimento de uma coluna de fluido que causa uma contrapressão equivalente quando se atinge o ponto de equilíbrio. A medida do comprimento dessa coluna representa uma medida da diferença das pressões exercidas nas extremidades dos dois ramos do manômetro. Denominando P_m e P_j as pressões nos ramos montante e jusante, respectivamente, pode-se escrever a equação abaixo, que fornece a diferença das pressões P_m e P_j em função da leitura ΔH .

$$P_m - P_j = (\gamma_{H_2O} - \gamma_{Ar}) \cdot \Delta H$$

Onde γ_{H_2O} é o peso específico da água e γ_{Ar} é o peso específico do ar.

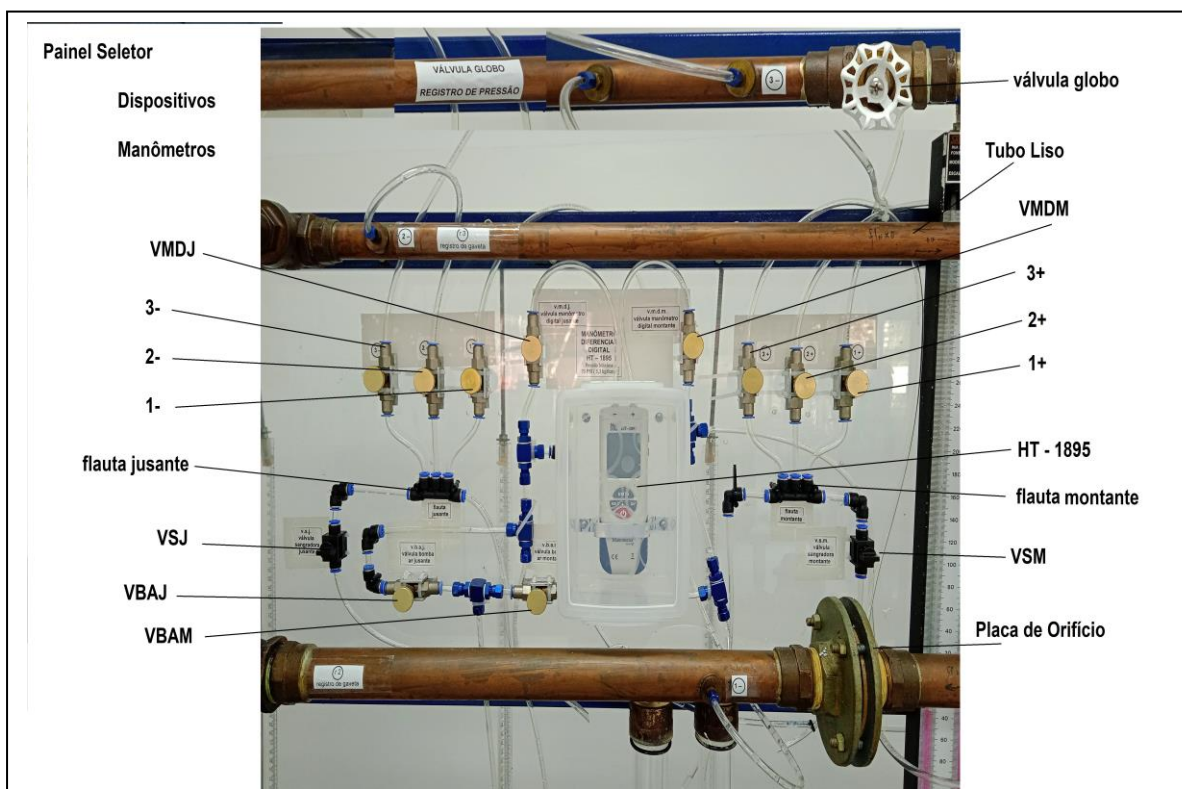
O peso específico do ar é pequeno, comparado à água, podendo ser escrito simplesmente que:

$$P_m - P_j = \gamma_{H_2O} \cdot \Delta H \quad (6)$$

Por longo tempo, o fluido manométrico mais comum foi o mercúrio, atualmente, pelas questões ambientais envolvendo contaminação por mercúrio, esse tipo de manômetro está sendo substituído por manômetros de coluna de água ou que utilizem outros fluidos manométricos.

Manômetro Digital – Dispositivos de Perda de Carga

Os Dispositivos de Perda de Carga estão acoplados através da tubulação que é pressurizada pela Bomba d'Água da marca KSB. O **manômetro digital HT – 1895** suporta até **150 PSI** de pressão máxima. Mas ele foi concebido para medir a pressão do ar. Por isto foram projetados, construídos e instalados: os Reservatórios de Ar da Montante (RAM) e da Jusante (RAJ), além de um sistema de sangria para expulsar a água e formar o necessário colchão de ar entre a água que flui pela tubulação pressurizada e o manômetro digital. Este sistema conta com Bomba de Ar e válvulas seletoras. Isto foi feito para os três dispositivos de Perda de Carga (Placa de Orifício, Tubo Liso e Válvula Globo). Sendo bem simples a sua seleção.



Todas as válvulas de controle em torno do manômetro HT – 1895 devem estar fechadas. Todas as válvulas da tubulação pressurizada (após a bomba KSB) devem estar abertas. Ligue a bomba através da botoeira (botão verde liga, botão vermelho desliga). Selecione qual é o dispositivo de perda de carga que pretende utilizar, abrindo:

Válvulas de Agulha 1- e 1+ : abra para selecionar a Placa de Orifício;

Válvulas de Agulha 2- e 2+ : abra para selecionar o Tubo Liso;

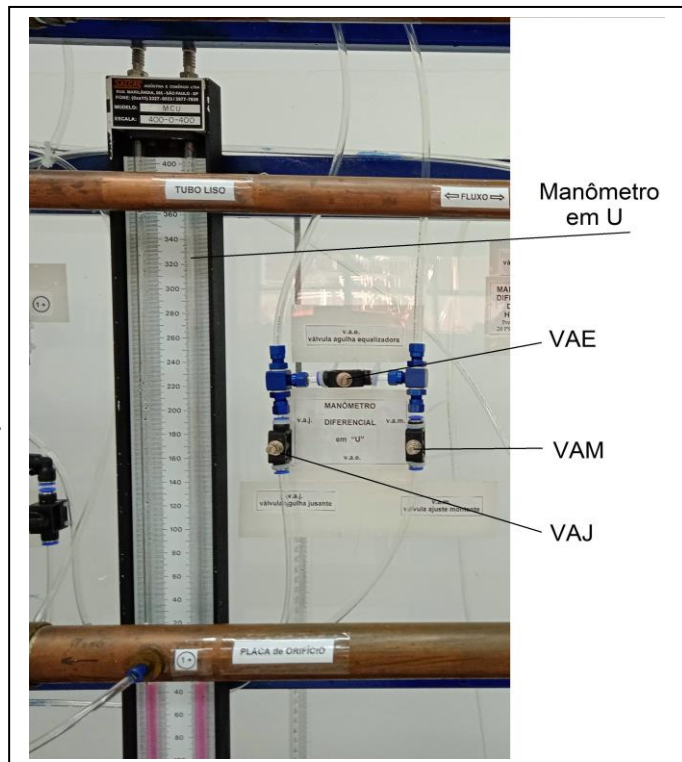
Válvulas de Agulha 3- e 3+ : abra para selecionar a Válvula Globo;

Válvulas de Agulha 3- e 1+ : abra para selecionar o circuito todo (PO, Cotovelos, TL e Válvula Globo)

Seleção do Manômetro para medir a diferença de pressão:

a) Para selecionar o Manômetro Digital HT – 1895 (máxima pressão 150 PSI), abrir a Válvula Manômetro Digital Jusante e abrir a Válvula Manômetro Digital Montante. Ligar o manômetro, selecionar a unidade de pressão desejada e pressionar a tecla DIF para medir a diferença de pressão causada pelo Dispositivo de Perda de Carga selecionado.

b) Para selecionar o Manômetro em “U”, abrir as duas válvulas: VAM e VAJ ao mesmo tempo. A seguir feche lentamente a válvula VAE.

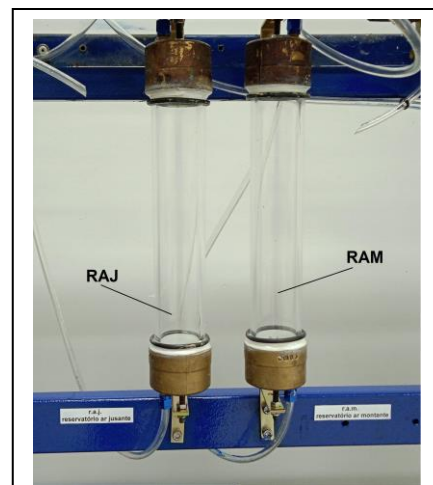


Sangria dos Reservatórios de Ar

Com a utilização do Painel Hidráulico, deverá ocorrer o enchimento dos Reservatórios de Ar com a água que flui pela tubulação pressurizada.

Sangria Reservatório Jusante

Para expulsar esta água, ou seja, fazer a sangria, do Reservatório de Ar Jusante fazer o seguinte:
 fechar a Válvula Manômetro Digital Jusante (VMDJ);
 fechar a Válvula Agulha Jusante (VAJ);
 abrir a Válvula Bomba Ar Jusante (VBAJ);
 abrir a Válvula Sangria Jusante (VSJ);
 soltar a trava da bomba de ar;
 com a mão, bombear o pistão da Bomba de Ar.
 A água sairá do RAJ e escapará pelo ladrão caindo na caixa de sucção (C1).
 Então, quando toda a água for expulsa do Reservatório de Ar, colocar a trava, baixando o pistão da bomba de ar, fechar VBAJ e fechar VSJ.



Sangria Reservatório Montante

Para expulsar esta água, ou seja, fazer a sangria, do Reservatório de Ar Montante fazer o seguinte:

fechar a Válvula Manômetro Digital Montante (VMDM); fechar a Válvula Agulha Montante (VAM);
abrir a Válvula Bomba Ar Montante (VBAM); abrir a Válvula Sangria Montante (VSM);
soltar a trava da bomba de ar; com a mão, bombear o pistão da Bomba de Ar.

A água sairá do RAM e escapará pelo ladrão caindo na caixa de sucção (C1).

Então, quando toda a água for expulsa do Reservatório de Ar, colocar a trava, baixando o pistão da bomba de ar, fechar VBAM e fechar VSM.

Medida de pressão por Piezômetros

Outro instrumento muito útil para a medida de pressão em escoamento de água é o piezômetro, um instrumento que utiliza uma coluna da própria água em escoamento para quantificar a pressão. O piezômetro é construído por um único tubo transparente vertical, ligado ao ponto onde se quer medir a pressão. A água é então forçada a subir pelo tubo vertical, construindo uma coluna de fluido que é uma medida da pressão no local.

Deve ser enfatizada a posição de leitura definida pela tangente ao menisco, que será um ponto de máximo na curva do menisco se o fluido for mercúrio (Hg) e um ponto de mínimo se for água (H₂O). Na figura 2 são ilustrados os tipos de menisco e a linha de leitura para um manômetro de mercúrio e para um manômetro de água ou para um piezômetro.

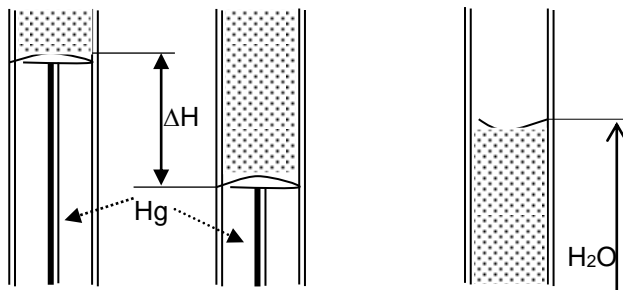
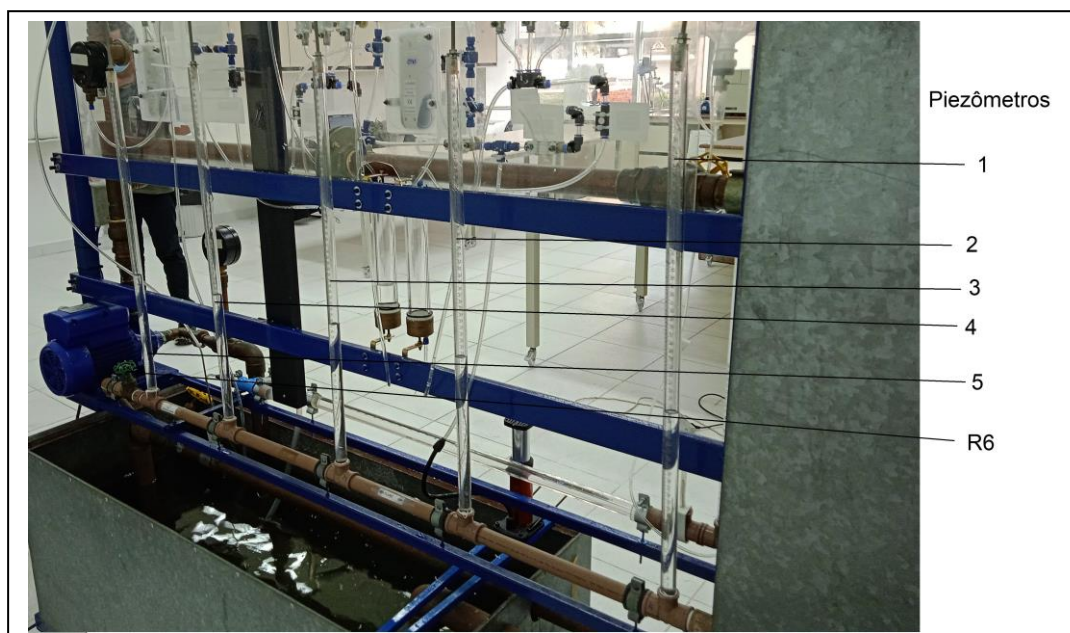


Figura 2:

Detalhes dos meniscos em um manômetro de mercúrio e em um de água.



Procedimento Experimental

Manômetro em U:

Encha o manômetro em U com o fluido manométrico (água etileno glicol rosa, verde ou azul) até a marca zero da escala. Faça o ajuste fino do zero da escala atuando na tarraxa de ajuste (parte inferior do manômetro). Conecte as mangueiras conforme indicado na figura 1.

Posição inicial das válvulas de controle do manômetro diferencial em U: VAM e VAJ – fechadas; vae – aberta.

Ajuste os registros para ter fluxo de água no ramal desejado. Ligue a bomba d'água KSB.

Caso a água vindo da tomada de pressão montante ou da jusante encha os reservatórios de ar RAM e RAJ, utilize a bomba de ar para expulsar a água dos reservatórios, deixando-os cheios de ar.

É necessário ter uma bolha de ar entre a tomada de pressão e o manômetro para poder utilizar a água como fluido manométrico.

Agora abra as duas válvulas: VAM e VAJ ao mesmo tempo. A seguir feche lentamente a válvula VAE. Feito este procedimento deverá aparecer uma diferença de altura nas colunas do manômetro em U, ΔH .

Objetivo do Experimento

Este experimento tem por finalidade o ensino-aprendizagem da medida de pressão através de manômetros de coluna de fluido. Como a maioria dos experimentos em hidráulica depende da medida de pressão, esta prática, apesar de sua simplicidade, é de fundamental importância.

Conclusão

Após a demonstração de como preparar e como efetuar as leituras, cada aluno deve efetuar suas medidas, e calcular as pressões indicadas, fornecendo-as em duas ou mais unidades de pressão.

Prática 3

Tubo de Pitot: Perfil Parabólico de Velocidades.

Introdução

Os fluidos considerados ideais, sem viscosidade, têm a característica de possuir perfis de velocidade uniforme. Ou seja, em qualquer ponto da seção transversal do escoamento, a velocidade é a mesma (Fig. 1a). Mas na prática estes fluidos não existem. Quando, na análise, a viscosidade do fluido é considerada, os chamados fluidos reais, este perfil é modificado devido à existência de tensões internas no campo de escoamento que criam resistência ao movimento do fluido. Estes perfis de velocidade, Fig. 1b, apresentam dois valores característicos.

Na parede o valor da velocidade é igual a zero pelo princípio de aderência e o valor máximo é atingido no eixo da tubulação, que é a região mais distante da superfície sólida, onde a influência do efeito da viscosidade é menor.

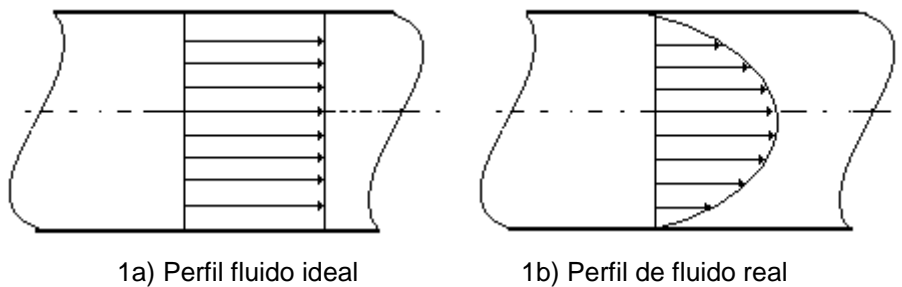


Figura 1: Tipos de perfis de velocidade.

Um dos instrumentos mais comuns para levantar o perfil de velocidades numa seção transversal de um conduto, circular ou não, é o tubo de Pitot. Este instrumento é fundamentalmente um tubo colocado com a abertura na direção das trajetórias das partículas do fluido, dobrando posteriormente em ângulo reto.

O princípio de funcionamento está baseado em que, a partícula de fluido ao chegar à abertura do tubo se estagna (velocidade igual a zero), sendo que a carga em velocidade se converte em carga em pressão, que pode ser medida por um piezômetro.

Observando a figura 2, se adotamos um ponto 1 muito próximo do ponto de estagnação (0), onde as perdas entre estes são desprezíveis e aplicando a equação da energia nos dará:

$$\frac{v_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\gamma} + z_1 = \frac{v_2^2}{2g} + \frac{P_2}{\gamma} + z_2 \quad (1)$$

mas $z_1 = z_2$ e $v_2 = 0$ (ponto de estagnação)

logo:

$$v_1 = \sqrt{\frac{2g(P_2 - P_1)}{\gamma_{H_2O}}} \quad (2)$$

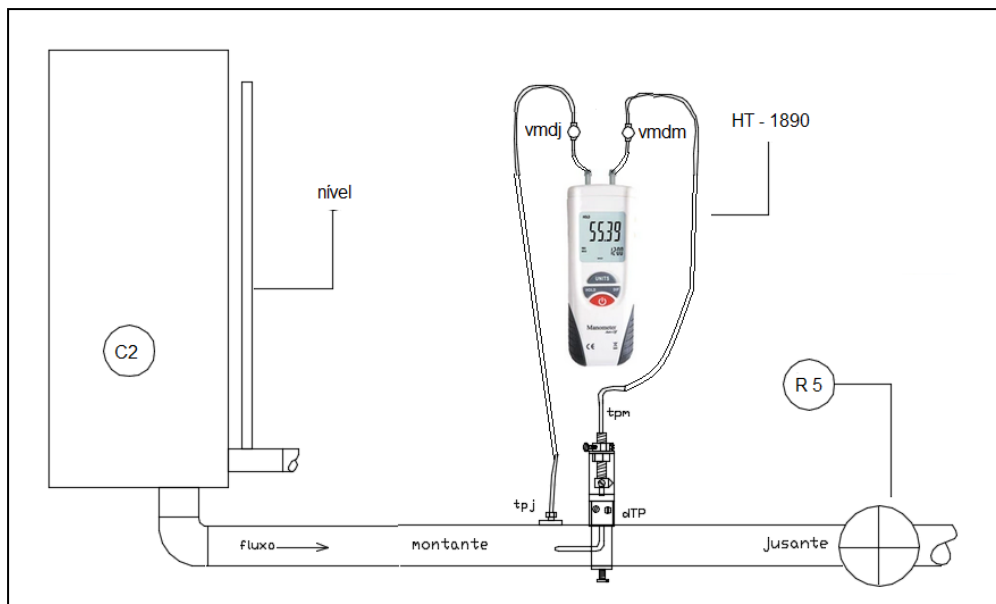


Figura 2: Montagem para o tubo de Pitot. Onde: tpm – tomada de pressão na montante; dTP – dispositivo do Tubo de Pitot; tpj – tomada de pressão na jusante; vmdm – válvula manômetro digital montante; vmdj – válvula manômetro digital jusante; manômetro digital HT - 1890; C2 – reservatório de água; indicador de nível da caixa C2; R5 – registro de descarga.

Aplicando a equação manométrica do manômetro inclinado:

$$P_2 - P_1 = \gamma_{H_2O} \cdot \Delta H \quad (3)$$

Substituindo (3) em (2) temos que:

$$v_1 = \sqrt{2g\Delta H} \quad (4)$$

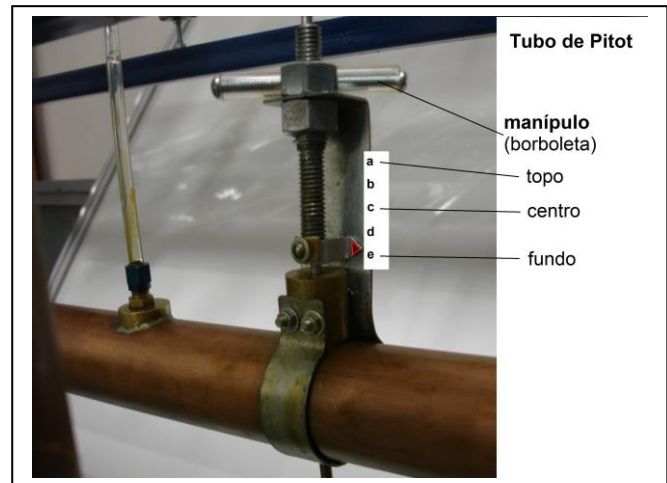
A equação (4) permite obter o valor da velocidade de aproximação do fluido, ou seja, a velocidade do ponto para o qual está direcionado o tubo. Se nós movimentarmos este tubo em vários pontos de uma seção podemos determinar a velocidade em cada um deles e, portanto, o perfil de velocidades nesta região.

Objetivos

1. Levantamento do perfil de velocidades em uma seção transversal do escoamento. Comparação dos perfis de velocidades para escoamentos laminares e turbulentos.
2. Comparação do perfil de velocidades experimental, por integração numérica e pela Lei da potência 1/7 em escoamentos turbulentos.

Figura 3:

Detalhe do Tubo de Pitot: girando o manípulo, Pode-se ajustar a tomada de pressão montante no Interior da tubulação de modo a verificar o perfil Parabólico de velocidades em regime laminar. O ponteiro indica a posição da tomada de pressão.



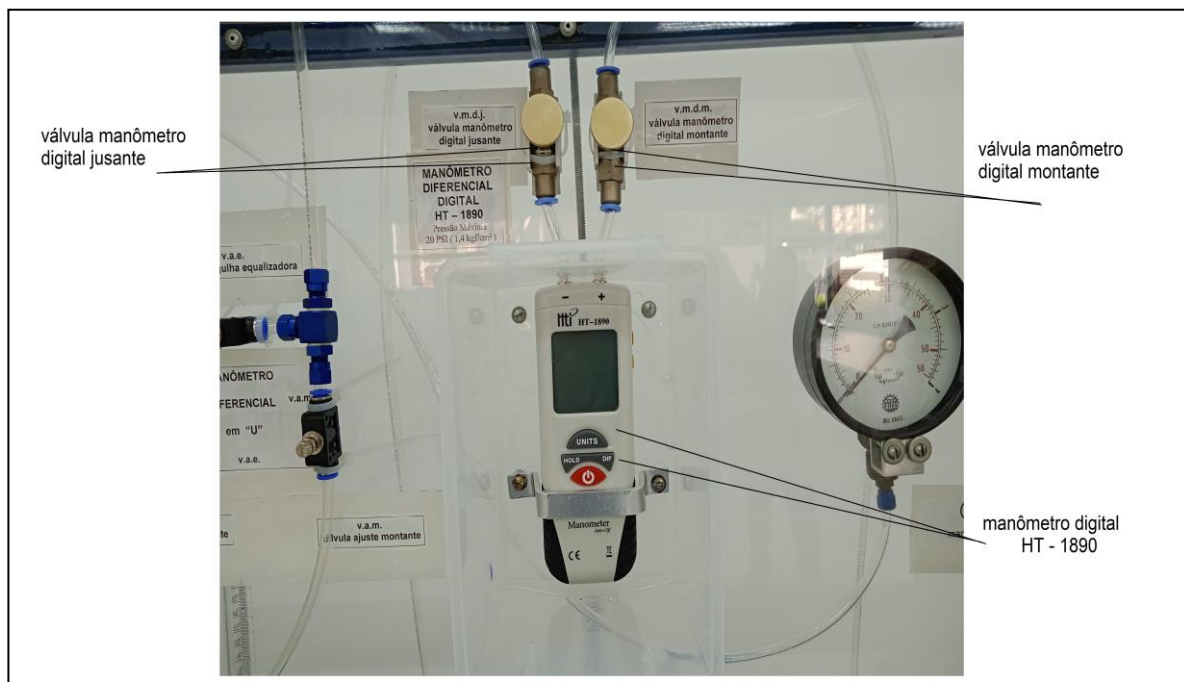
Procedimento Experimental

Medida de pressão por manômetro Digital – Tubo de Pitot

Os manômetros digitais montados no Painel Hidráulico são para o ar, não para a água. Então é necessário ter um colchão de ar entre a água que flui pela tubulação e o manômetro digital. Para o Tubo de Pitot isto ocorre naturalmente uma vez que a pressão é devido à altura da coluna de água da caixa de recalque, sendo este nível, inferior à altura das válvulas de controle do manômetro do tubo de Pitot.

O tubo de Pitot exige uma maior sensibilidade do manômetro. Então, está instalado o **manômetro digital HT – 1890**. É muito fácil de operar.

Abrir a válvula manômetro digital montante (VMDM); abrir a válvula manômetro digital jusante (VMDJ). Ligar o manômetro, seleccionar a unidade de pressão desejada e pressionar a tecla DIF para medir a diferença de pressão.

**Figura 4:** Manômetro Digital HT-1890 (máxima pressão 10 PSI).

Condições iniciais para o experimento:

Com a caixa C2 cheia, e o registro R5 totalmente aberto. Lê-se o valor da diferença de pressão Δp no manômetro digital HT - 1890. Divide-se este valor por 5, escolhendo-se o menor valor e aquele correspondente à máxima abertura do registro R5. A idéia desta seleção é realizar os ensaios para os dois tipos de escoamentos: laminar e turbulento.

Encher a caixa C2 e abrir o registro R5 até o menor valor de Δp selecionado. Nestas condições medem-se simultaneamente a temperatura, T e o tempo t que demora a água em passar de um nível a outro, Δh no visor do tanque (C2). Sugere-se que este valor pare de ser medido quando o nível seja menor do que 25 cm para diminuir erros de leitura. Da mesma forma, realizam-se as leituras no manômetro digital (HT - 1890) para as diferentes posições do tubo de Pitot na seção transversal da tubulação.

Uma vez concluído este procedimento encher novamente o tanque (C2) e repete-se o procedimento para a válvula R5 totalmente aberta.

Para cada um dos ensaios realizados mede-se a vazão utilizando o cronômetro e o balde ou a proveta.

Procedimento de Cálculo**Tabela Rascunho**

Ensaio	Posição	Δp (cmH ₂ O)		
1				
2				
3				
4				
5				
Δh	t	T	Q (cronômetro)	

Ensaio	Posição	Δp (cmH ₂ O)		
6				
7				
8				
9				
10				
Δh	t	T	$Q=$ (cronômetro)	

Determinação da vazão, Q:

$$Q = \frac{\Delta h \cdot A_{tan\ que}}{t} \quad (5)$$

Determinação da velocidade média local em cada ponto da seção, por meio da equação (6)

Cálculo da velocidade média e da vazão por Integração Numérica

Determinação do perfil de velocidades para escoamentos laminares utilizando a equação de Hagen-Poiseuille:

$$v = \frac{1}{4\mu} \cdot \left(\frac{\Delta p}{L} \right) \cdot (R^2 - r^2) \quad (6)$$

onde μ é a viscosidade da água; $\Delta p = p_a - p_i$ é a diferença de pressão medida no Manômetro Diferencial Digital na borda do tubo (a) e em cada ponto da seção (i); L é o comprimento do tubo
Faça um gráfico para demonstrar o perfil parabólico. Ajuste uma curva teórica.

Relatório

Conforme requerimentos definidos na aula introdutória

Referências utilizadas

Destacar nas conclusões: Como ocorrem as diferenças entre os perfis de velocidades para escoamentos laminares e turbulentos?

Relação entre r e R para a medição da velocidade.

<u>Ponto</u>	r (mm)	p (Pa)	Δp (Pa)	v (m/s)
a	15			
b	7			
c	0			
d	-7			
e	-15			

P r á t i c a 4

Medidor de Vazão. Placa de Orifício.

Introdução

O princípio de funcionamento dos medidores de vazão de uso comum nas indústrias e laboratório é baseado em uma diminuição na seção transversal do escoamento que provoca um aumento na velocidade que é acompanhada por uma diminuição da pressão. A correlação entre a diferença de pressão com a velocidade fornece um meio para medir a vazão. Os medidores mais comuns são: Placa Orifício, Venturi e Bocal. A figura 1, mostra a placa de orifício utilizada neste Painel:

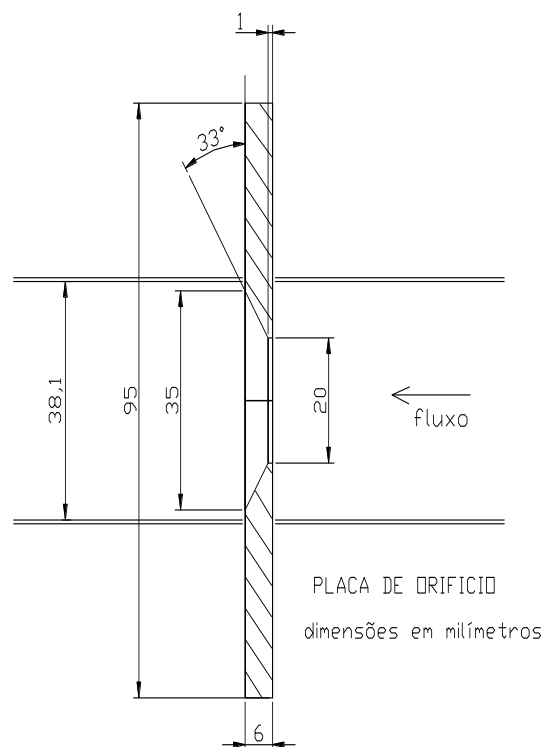


Figura 1: Desenho mecânico da placa de orifício. Note que o escoamento ocorre da direita para a esquerda.

A figura 2 apresenta o esquema geral de um elemento medidor de vazão, do tipo placa de orifício. A diferença de pressão provoca um desnível h no fluido manométrico que está relacionado com a vazão que está passando. Tomando-se a situação representada nesta figura e aplicando-se a equação da energia entre as tomadas de pressão tpm (1) e tpj (2).

$$\frac{v_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\gamma} + z_1 = \frac{v_2^2}{2g} + \frac{P_2}{\gamma} + z_2 \quad (1)$$

como $z_1 = z_2$ (mesma altura), a equação (1) pode ser rearranjada da seguinte forma

$$v_2^2 - v_1^2 = 2g \frac{P_1 - P_2}{\gamma} \quad (2)$$

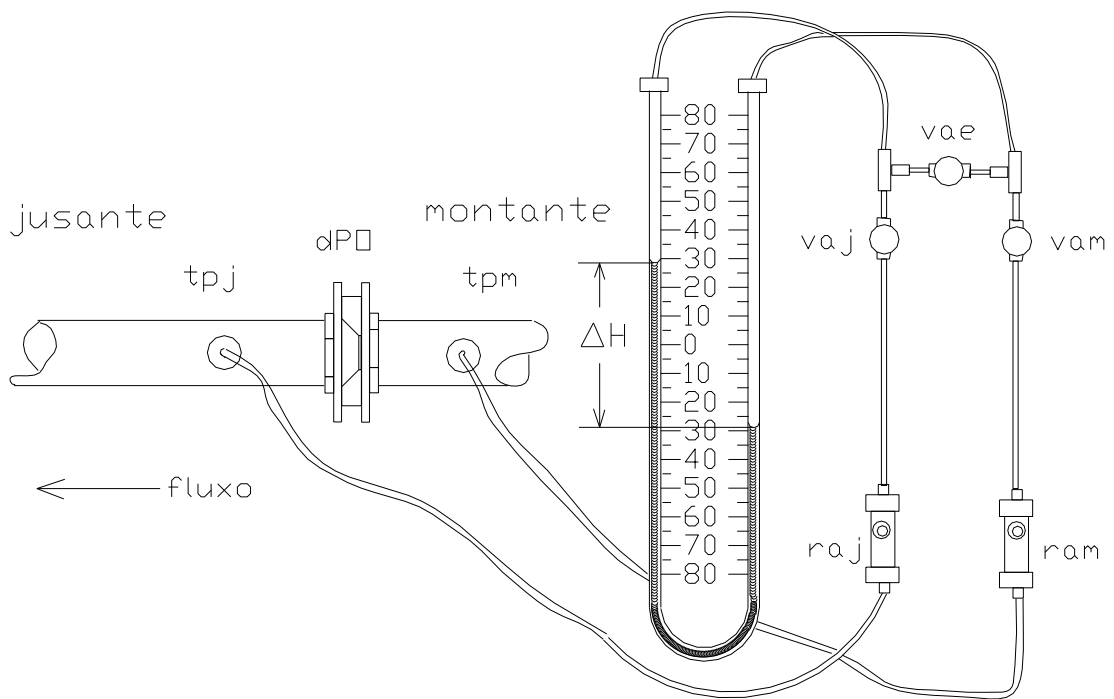


Figura 2: Esquema do medidor de vazão do tipo Placa de Orifício. Onde: TPM – tomada de pressão na montante; DPO – Placa de Orifício; TPJ – tomada de pressão na jusante; RAM – reservatório de ar da montante; RAJ – reservatório de ar da jusante; VAM – válvula de agulha da montante; VAJ – válvula de agulha da jusante; VAE – válvula de agulha de equalização.

Agora, aplicando a equação manométrica.

$$P_1 + h(\gamma_{\text{ar}} - \gamma_{\text{água}}) = P_2 \quad (3)$$

ou

$$P_1 - P_2 = h(\gamma_{\text{água}} - \gamma_{\text{ar}}) \quad (4)$$

Substituindo (4) em (2), temos

$$v_2^2 - v_1^2 = \frac{2gh}{\gamma_{\text{ar}}} (\gamma_{\text{água}} - \gamma_{\text{ar}}) = 2gh \left(\frac{\gamma_{\text{água}}}{\gamma_{\text{ar}}} - 1 \right) \quad (5)$$

Considerando a equação da continuidade para um fluido incompressível:

$$v_1 = v_2 \left(\frac{D_2}{D_1} \right)^2 \quad (6)$$

onde D_1 e D_2 são os diâmetros das seções onde é feita a tomada de pressão (tpm) e (tpj).

Substituindo (6) em (5) e manipulando matematicamente pode-se obter a equação da velocidade teórica (v_{2t}):

$$v_{2t} = \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{D_2}{D_1}\right)^4}} \sqrt{2gh \left(\frac{\gamma_{\text{água}}}{\gamma_{\text{ar}}} - 1 \right)} \quad (7)$$

A vazão teórica pode então ser determinada multiplicando a velocidade obtida pela sua respectiva área:

$$Q_t = \frac{A_2}{\sqrt{1 - \left(\frac{D_2}{D_1}\right)^4}} \sqrt{2gh \left(\frac{\gamma_{\text{água}}}{\gamma_{\text{ar}}} - 1 \right)} \quad (8)$$

A equação (8) fornece a relação entre a vazão e a queda de pressão, sendo esta proporcional à raiz quadrada da diferença de pressões. Uma das limitações ao uso desta equação é que a área efetiva de escoamento ($\neq A_2$) é desconhecida.

Para se resolver isto, considera-se a relação entre a vazão teórica à vazão real através do coeficiente de vazão, C_D , definido por:

$$C_D = \frac{v_{\text{real}}}{v_{\text{teor.}}} = \frac{Q_{\text{real}}}{Q_{\text{teor.}}} \quad (9)$$

A literatura registra, para os diferentes tipos de medidores de vazão, valores típicos do coeficiente C_D , geralmente como função da relação de diâmetros ($D_2/D_1 = \beta$) e da posição das tomadas de pressão (no canto ou a determinada distância da entrada e saída do dispositivo).

Para o caso em análise, como temos a possibilidade de determinarmos a vazão real e a vazão teórica poderemos determinar o valor deste coeficiente para a placa de orifício em estudo.

Se analisarmos detalhadamente a equação (8), veremos que os valores de D_2 , D_1 , $\gamma_{\text{água}}$ e γ_{ar} são conhecidos. Deste modo, pode-se escrevê-los como uma constante k .

$$k = \frac{A_2}{\sqrt{1 - \left(\frac{D_2}{D_1}\right)^4}} \sqrt{2g \left(\frac{\gamma_{\text{água}}}{\gamma_{\text{ar}}} - 1 \right)} \quad (10)$$

ficando finalmente:

$$C_D = \frac{Q_{\text{real}}}{k\sqrt{h}} \quad (11)$$

É importante destacar que para que possam ser utilizados, estes medidores devem ter uma curva que represente a relação entre a leitura do manômetro (h) e a vazão (Q). Esta curva ou é fornecida pelo fabricante ou deve ser obtida através de ensaios de laboratórios.

Objetivos

1. Construir a curva de calibração $Q = f(h)$
2. Construir a curva característica universal $C_D = f(Re)$
3. Comparar os resultados da vazão obtidos por duas vias: Experimental e pelo Cronômetro.

Procedimento Experimental



Condições iniciais para o experimento:

Válvulas e registros abertos: R4 e R3

Válvulas e registros fechados: todos os demais e todas as válvulas do painel de controle.

Com o registro 4 aberto cerca de 1,16 volta, acionar a bomba d'água KSB. Depois ajustar o registro 4 para que o Manômetro de Bourdon (M1) meça 2 kgf/cm^2 de pressão. Então, mede-se o desnível h no manômetro diferencial em U e a diferença de pressão no manômetro digital HT-1895, ligados à placa de orifício (PO) que seria o maior valor de vazão no sistema. Desliga-se a bomba. Divide-se o valor de h obtido na leitura anterior pelo número de ensaios a serem realizados. Nesta experiência propõe-se que se efetuem seis (6) ensaios.

Acionar novamente a bomba KSB e abrir, lentamente, a válvula de gaveta (R4) até o menor valor de h . Nestas condições mede-se o tempo t que a água demora em passar de um nível a outro, Δh no visor de nível da caixa de recalque (C2), a temperatura, T . Simultaneamente realizam-se medições da vazão utilizando o cronômetro.

Depois de realizada a medição, abrir o registro (R5) para esvaziar a caixa de recalque (C2). Uma vez feito isto, fechar os mesmos e repetir o procedimento acima para os valores restantes de h .

Sugere-se que o valor de Δh comece a ser medido quando o nível da água no visor seja maior que 25 cm, para diminuir erros de leitura conforme explicado na aula introdutória e que o tempo de leitura seja o maior possível.

Procedimento de Cálculo

Determinação da vazão real, Q_r ,

$$Q_r = \frac{\Delta h \cdot A_{\text{tanque}}}{t}$$

Determinação da vazão teórica, Q_t , por meio da equação (8),

Determinação do coeficiente, k , por meio da equação (10),

Determinação do coeficiente de vazão, C_D , por meio da equação (11),

Determinação do número de Reynolds, Re .

$$Re = \frac{vD}{\nu}$$

Tabela Rascunho

Grandezas	Leitura no visor Δh .	Tempo t	Temperatura T	Leitura no manômetro digital P	Leitura no manômetro U h
Unidades → Ensaio ↓	(cm)	(s)	°C	cmH ₂ O	(cmH ₂ O)
1					
2					
3					
4					
5					
6					

Tabela de Desenvolvimento

Grandezas	Q_r	Q_t	C_D	$Q_{\text{cronômetro}}$	Re
Unidades → Ensaio ↓	(m ³ /s)	(m ³ /s)	(-)	(m ³ /s)	(-)
1					
2					
3					
4					
5					
6					
Incertezas					
Incertezas Relativas (%)					

Relatório

Conforme requerimentos definidos na aula introdutória

Referências consultadas:**Conclusões:**

Destacar nas conclusões: Valores do coeficiente de vazão, C_D e seu significado com respeito a outros tipos de medidores de orifício com diferentes valores de orifício.

Dados importantes para os cálculos

$$\gamma_{\text{água}} = 1000 \text{ kgf/m}^3$$

$$\gamma_{\text{ar.}} = 1,1 \text{ kgf/m}^3$$

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$L_{\text{tanque}} = 0,30 \text{ m}; A_{\text{tanque}} = 0,09 \text{ m}^2$$

$$D_{\text{tub.}} = 0,038 \text{ m (1,5 in)}$$

$$D_{\text{orif.}} = 0,020 \text{ m}$$

$$v_{\text{água}} = 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

P r á t i c a 5

Levantamento das curvas de uma bomba centrífuga

Introdução

As máquinas que fornecem ou extraem energia de um fluido de modo contínuo, sob forma de um conjugado de um eixo rotativo, são denominadas de **máquinas de fluxo**.

Várias são as formas de se classificarem as máquinas de fluxo. Citaremos apenas duas:

- 1) Conforme o sentido de transferência de energia:
 - 1.1) o fluido cede energia à máquina, que a transforma em trabalho mecânico
 - 1.2) a máquina cede energia ao fluido, resultando um aumento de energia do fluido
- 2) Conforme a direção do escoamento
 - 2.1) Radiais: o escoamento é predominantemente radial
 - 2.2) Axiais: o escoamento é axial
 - 2.3) Mistos: o escoamento é dito diagonal, isto é, parte axial e parte radial.

Dos muitos tipos de máquinas de fluxo que existem uma das mais utilizadas no dia-a-dia (doméstico e industrial) é a **bomba centrífuga**.

As bombas são dispositivos mecânicos que adicionam energia ao fluido (classificação 1.2), ou seja, realizam trabalho sobre este, que normalmente se manifesta na capacidade do fluido escoar numa tubulação ou subir de um nível a outro mais alto. Frequentemente (e erroneamente) esta adição de energia é interpretada como “adição de pressão”.

A bomba utilizada nesta experiência é uma bomba centrífuga radial de deslocamento não positivo, ou seja, o fluido é expulso do rotor na direção do raio e não existe nenhuma vedação separando a entrada da saída. Isto permite que ao fecharmos completamente a seção de saída, o fluido possa recircular dentro da bomba sem perigo da pressão aumentar excessivamente. Desta forma não há necessidade de válvula de segurança, que é obrigatória em outros tipos de bombas.

Numa bomba centrífuga o fluido entra pelo centro da bomba e encontra o rotor, que é acionado pelo motor elétrico através de eixo. O fluido passa pelos canais do rotor é lançado para a periferia, e conduzido pelo caracol até o bocal da saída.

Para a sua comercialização, os fabricantes de bombas apresentam no catálogo, as curvas características das mesmas. Todas elas são importantes, sendo que nesta experiência, estudaremos as seguintes:

Curva característica $H_B=f(Q)$

É considerada a principal característica. Para recalcar um fluido de um reservatório para outro, com uma determinada vazão o fluido precisará receber uma certa energia. Esta curva mostra a energia que pode ser fornecida por uma bomba em função da vazão recalçada. Com ela o projetista determina o ponto de funcionamento da bomba, quando opera numa dada instalação.

Curva universal $\psi=f(\phi)$

Esta curva, levantada com os dados da bomba do laboratório, não servirá apenas para a mesma, e sim para todas as bombas geometricamente semelhantes à bomba do laboratório, mesmo que tenham tamanhos diferentes.

As leis de semelhança ajudam muito as aplicações práticas pois se os coeficientes de vazão, ϕ e manométrico, ψ são adimensionais, quando calculados para uma bomba pequena podem servir a uma bomba de tamanho maior, desde que sejam completamente semelhantes. Desta forma, se conhecermos tudo a respeito de determinada bomba, e quisermos alterar algo em seu funcionamento, por exemplo, a rotação, podemos, utilizando os adimensionais, determinar as novas características, não havendo necessidade de um novo ensaio.

Curva de rendimento $\eta_g=f(Q)$

Esta curva mostra a variação do rendimento global do conjunto motor/bomba, com a variação da vazão.

Em geral se apresenta nos catálogos a curva de rendimento da bomba, η_B em função da vazão Q , excluindo o motor, pois uma bomba pode trabalhar com diferentes motores. A determinação do rendimento da bomba exigirá a medida da potência no eixo da mesma, excluindo as perdas de energia do motor, o que exige um equipamento complicado para a medida de potência. A inclusão do motor na medida das perdas facilita, pois pode-se medir a potência elétrica induzida, por meio de um wattímetro.

Apesar de possíveis diferenças entre as medidas e a curva traçada, o andamento das curvas indica que o rendimento máximo corresponde ao ponto nominal da bomba, isto é, aquele ponto para o qual a mesma foi projetada. Para vazões maiores ou menores daquela de projeto, o rendimento cai, em consequência de movimentações inadequadas no percurso do fluido no interior do rotor e no estator da bomba, que causam perdas na energia fornecida pelo rotor.

Objetivos

1. Levantar as curvas principais da bomba:

- Curva característica $H_B = f(Q)$
- Curva universal $H_B = f(Q)$
- Curva de rendimento $\eta_g = f(Q)$

Procedimento experimental

Condições iniciais para o experimento:

Válvulas e registros abertos: R1, R2, R3, R4 e VG;

Válvulas e registros fechados: todos os demais e todas as válvulas do painel de controle.



Ligar a bomba (KSB) com a válvula de globo (VG) totalmente aberta, estabelecendo a vazão máxima na instalação. Lê-se o valor da pressão de saída (P_{ms}) no manômetro mecânico (M1) que será a pressão mínima ($P_s \text{ mín}$). Posteriormente fecham-se os registros: R4 e R1, zerando a vazão, e repete-se de novo a leitura no manômetro (M1) que será o máximo valor da pressão ($P_s \text{ máx}$). Com estes dois valores, estabelece-se a faixa útil, ΔP a qual será dividida segundo o número de ensaios a serem realizados. Propõem-se seis (6) ensaios. Daqui fica:

$$P_{\text{ensaio}} = \frac{\Delta P}{6} = \frac{P_{\text{smáx}} - P_{\text{smín}}}{6} \quad (1)$$

Uma vez feito isto, abrir o registro (R5) até que o tanque superior (C2) se esvazie. Fechar novamente este registro.

Com a programação de P_{ensaio} , começa-se o experimento pelo menor valor da pressão ($P_s \text{ mín}$) para o qual as válvulas R1, R2, R3, R4 e VG estão totalmente abertas. Depois de ligada a bomba (KSB), procede-se à leitura simultânea dos valores no vacuômetro (V1) e da potência do motor, ou seja, a potência retirada da rede por este, N_r . Nestas condições também se medem o tempo t que a água demora em passar de um nível a outro, Δh no visor do tanque (C2) e a temperatura T . Desliga-se a bomba e esvazia-se o tanque de recalque (C2) abrindo o registro (R5). Fecha-se novamente este registro.

Repete-se o procedimento acima descrito para os restantes valores de P_{ensaio} .

Procedimento de cálculo

Tabela rascunho

Grandeza	Leitura no visor Δh	Tempo t	Temp. T	Pressão saída P_s	Pressão ent. P_e	Pot. Motor N_r
Unidades → Ensaio ↓	(cm)	(s)	(°C)	(Kgf/cm ²)	(mm Hg)	(W)
1						
2						
3						
4						
5						
6						

A figura 1 representa o esquema da bomba, com as características geométricas da mesma.

Determinação da vazão, Q

$$Q = \frac{A_{\text{tanque}} \Delta h}{t} \quad [\text{m}^3/\text{s}] \quad (2)$$

Determinação das velocidades de entrada e saída da bomba

$$v_s = \frac{Q}{A_s} = \frac{4Q}{\pi D_s^2} \quad [\text{m/s}] \quad (3)$$

$$v_e = \frac{Q}{A_e} = \frac{4Q}{\pi D_e^2} \quad [\text{m/s}] \quad (4)$$

Determinação da carga da bomba, H_B

Aplicando a equação da energia entre as seções de entrada e saída da bomba, tem-se:

$$\frac{P_e}{\gamma} + \frac{\alpha v_e^2}{2g} + z_e + H_B = \frac{P_s}{\gamma} + \frac{\alpha v_s^2}{2g} + z_s \quad (5)$$

Isolando H_B em (5), considerando que $z_e=0$ por considerar que nesse plano está o PHR, fica:

$$H_B = \frac{\alpha v_s^2 - \alpha v_e^2}{2g} + \frac{P_s - P_e}{\gamma} + z_s \quad [\text{m}] \quad (6)$$

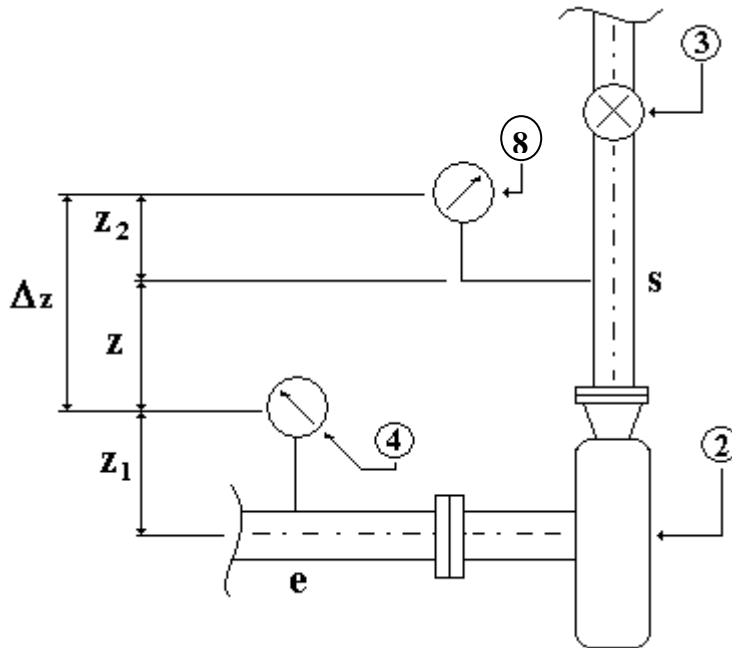


Figura 1: Esquema das seções de entrada e saída da bomba.

Da Fig. (1) podemos ver que o segundo e terceiro termos do lado direito da equação (6) representam a variação de carga em pressão e a variação da carga potencial. Considerando as distâncias entre os pontos das tomadas de pressões, para determinarmos as pressões de entrada e saída, aplicamos as equações manométricas. De tal forma, obtemos:

$$P_s = P_{ms} + \gamma h_2 \quad (7)$$

$$P_e = P_{me} + \gamma h_1 \quad (8)$$

sendo P_m a leitura do manômetro.

Substituindo agora as equações (7) e (8) na equação (6) e considerando os aspectos geométricos da figura 1 temos finalmente:

$$H_B = \frac{\alpha v_s^2 - \alpha v_e^2}{2g} + \frac{P_{ms} - P_{me}}{\gamma} + \Delta z \quad (10)$$

Alerta-se ter cuidado com a conversão de unidades e com o valor da pressão na sucção da bomba.

Determinação do coeficiente manométrico, ψ .

$$\psi = \frac{g.H_B}{n^2 D_r^2} \quad (7)$$

Determinação do coeficiente de vazão, φ .

$$\varphi = \frac{Q}{n D_r^3} \quad (8)$$

Cálculo da potência útil recebida pelo fluido, N .

$$N = \gamma Q H_B \quad [W] \quad (9)$$

Rendimento global do sistema, η_g .

$$\eta_g \frac{N}{N_m} = \frac{\gamma Q H_B}{N_m} \quad (10)$$

Relatório

Conforme requerimentos definidos na aula introdutória.

Referências Consultadas:

Destacar nas conclusões

Variações na curva característica da bomba com variações da vazão ou da curva característica do sistema, que representam as mesmas, como usar os resultados obtidos para uma família de bombas determinada, como influem estas mudanças no rendimento global da bomba.

Prática 6

Estudo de perdas de energia: distribuídas e localizadas

Introdução

As instalações industriais e domésticas são compostas, em geral, por trechos retos de diferentes comprimentos e por acessórios de diferentes tipos.

Em trechos retos, o princípio de aderência provoca a formação, nas diferentes seções, de perfis de velocidades que como é bem conhecido apresentam valores típicos: zero na parede e valor máximo no eixo da tubulação. A existência destes perfis significa que as partículas de fluido se deslizam umas sobre as outras, provocando um atrito interno (tensões de cisalhamento) e conseqüentemente uma queda irreversível de carga.

Quando analisamos o escoamento em tubulações entre duas seções quaisquer, podemos observar que se verifica uma perda de carga, a que depende de fatores próprios do fluido e da geometria do sistema. Por análise dimensional chega-se à conclusão que a perda de carga pode ser escrita como:

$$\text{perda de carga} = f(v, D, l, \varepsilon, \mu, \rho) \quad (1)$$

onde, v é a velocidade média do fluido, l é o comprimento do trecho de tubo e ε é uma medida da rugosidade da parede do duto. Os outros parâmetros (observe-se que são propriedades físicas do fluido) são uma função da tensão de cisalhamento na parede, τ_p , que sabidamente exercem uma significativa importância na queda de pressão, tanto em escoamentos laminares quanto turbulentos.

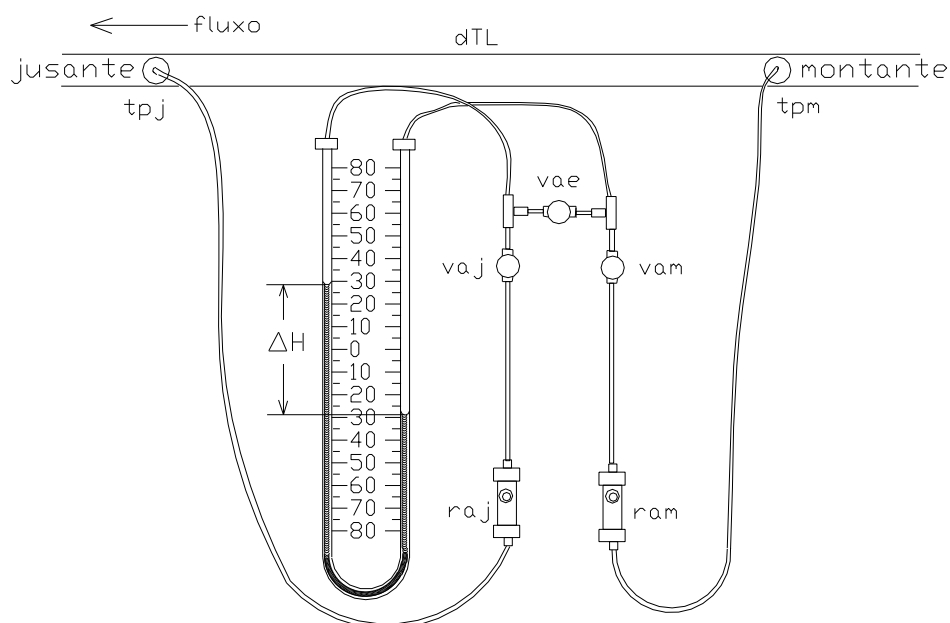


Figura 1: Esquema da instalação utilizada para o estudo das perdas de energia distribuída.

A perda de carga que ocorre nestes trechos retos de tubulação é denominada “**perda de carga distribuída**” e se representa com o símbolo h_f . Considere a figura 1, que representa o esquema de tubulação em análise, e apliquemos a equação de energia para escoamento real e incompressível em regime permanente, entre as seções tpj e tpm.

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{\alpha v_1^2}{2g} + z_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{\alpha v_2^2}{2g} + z_2 + h_f \quad 2)$$

Na equação acima, α é chamado coeficiente cinético de energia, com valores ~ 2 para escoamentos laminares, e ~ 1 em regime turbulento.

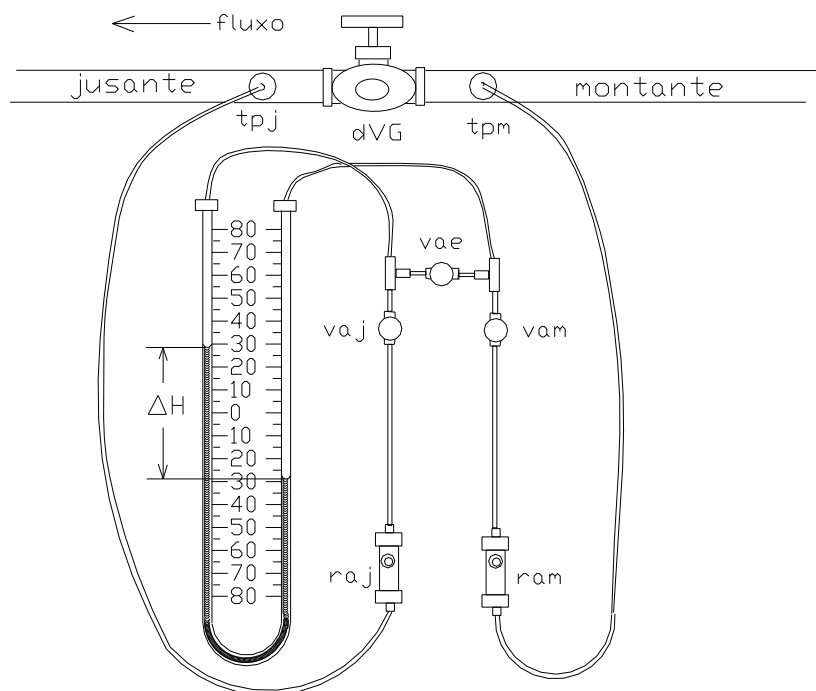


Figura 2: Esquema da instalação utilizada para o estudo das perdas de energia localizadas.

Se considerarmos que neste caso a tubulação é horizontal de seção constante, tem-se que:

$$h_f = \frac{P_1 - P_2}{\gamma} \quad [\text{m}] \quad (3)$$

Esta equação representa que a perda de carga distribuída pode ser determinada através da diferença de pressões entre tpm e tpj.

Para estabelecer uma expressão empírica para determinar h_f , podemos combinar as expressões (1) e (3) obtendo-se:

$$h_f = f \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g} \quad [\text{m}] \quad (4)$$

onde f é o coeficiente de perda de carga

A equação (4) é conhecida como a equação de Darcy-Weisbach e é válida para qualquer escoamento incompressível em regime permanente e plenamente desenvolvido, não importando se o tubo é horizontal ou inclinado.

Devemos destacar que o coeficiente de perda carga distribuída, f é uma função do número de Reynolds, Re . Para escoamentos laminares ($Re < 2300$) f pode ser determinado pela relação:

$$f = \frac{64}{Re} \quad (5)$$

Note-se que nesta faixa f independe da rugosidade relativa, ε / D .

A dependência funcional entre o coeficiente f , o número de Reynolds, baseado no diâmetro, e a rugosidade relativa, $f = f(Re, \varepsilon / D)$, nos escoamentos turbulentos ($Re > 2300$), é tão complexa que não pode ser obtida através de análise teórica. Assim, esta dependência funcional foi determinada a partir de um conjunto imenso de experimentos que, geralmente, apresentavam os resultados experimentais na forma gráfica ou como uma equação ajustada a partir dos dados experimentais. Para estes casos o coeficiente f é determinado no conhecido diagrama de Moody.

Para o caso em estudo a diferença de pressões é obtida através de um manômetro em U de água, mediante a equação:

$$\Delta P = h(\gamma_{\text{água}} - \gamma_{\text{ar}}) \quad [\text{Pa}] \quad (6)$$

A maioria das tubulações apresenta outros componentes além dos trechos de condutos retos. Estes componentes adicionais (válvulas, cotovelos, tê e outros) também contribuem para a perda de carga na tubulação. Normalmente estas perdas são denominadas de “**perdas localizadas ou singulares**”.

De forma geral estes componentes têm diferentes propósitos: ou controlar vazão (válvulas e registros), ou mudanças na direção de escoamento (cotovelos) ou ambos os efeitos simultaneamente (tês). A resistência ao escoamento, ou a perda de carga, através destes acessórios pode ser uma parte significativa da resistência do sistema. Se considerarmos, por exemplo, o caso de uma válvula, observa-se que quando totalmente fechada, a resistência ao escoamento é infinita pois o fluido não pode escoar. Neste caso as perdas singulares são muito importantes. Já com a válvula totalmente aberta a resistência extra devido à presença da mesma pode ou não ser desprezível.

Não é difícil imaginar que ainda não foi desenvolvida uma análise teórica que nos indique os detalhes básicos do escoamento nestes acessórios e nos forneça a perda de carga provocada pelos mesmos. Desta forma, estes resultados geralmente são obtidos de forma experimental e fornecidos na forma

adimensional. O método mais comum para determinar estas perdas de carga ou perdas de pressão é baseado no coeficiente de perda, K_l .

Na Fig. (2), se aplicarmos a equação da energia entre as seções tpm e tpj, para estudar a perda de pressão que introduz a válvula tipo globo (15) teremos que:

$$\frac{P_3}{\gamma} + \frac{\alpha v_3^2}{2g} + z_3 = \frac{P_4}{\gamma} + \frac{\alpha v_4^2}{2g} + z_4 + h_s \quad (7)$$

Se considerarmos que o sistema é horizontal e as seções de entrada (3) e saída (4) são de diâmetros iguais, a equação (7) pode ser reduzida a:

$$h_s = \frac{P_3 - P_4}{\gamma} \quad (8)$$

Nesta equação o termo h_s (também representado na literatura como h_l) representa as perdas singulares devido ao componente (válvula neste caso). As perdas locais se representam pela equação:

$$h_s = K_l \frac{v^2}{2g} \quad (9)$$

sendo K_l o coeficiente de perda de carga singular e seu valor real depende da geometria do componente considerado e também pode ser influenciado pelas propriedades do fluido.

As perdas de carga singulares às vezes são fornecidas em termos de comprimento equivalente, $l_{eq.}$. Isto significa que a perda é representada em termos do comprimento de um conduto que produz a mesma perda de carga que o componente. Isto se representa da seguinte forma:

$$h_l = K_l \frac{v^2}{2g} = f \frac{l_{eq.}}{D} \frac{v^2}{2g} \quad (10)$$

ou equivalentemente

$$l_{eq.} = \frac{K_l D}{f} \quad (11)$$

A partir destas considerações estabelecem-se os seguintes objetivos:

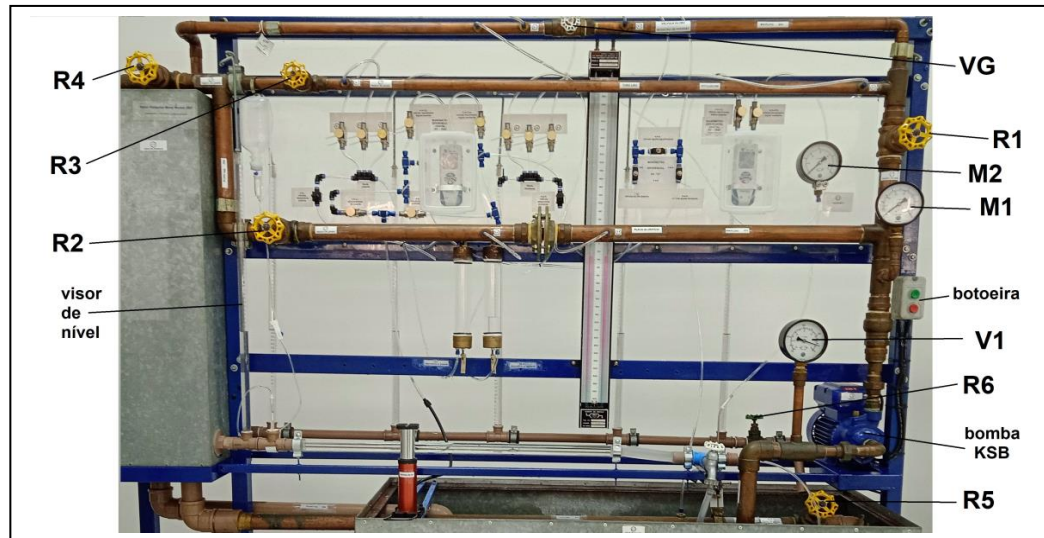
- 1) Levantar os gráficos h_f vs Q e h_s vs. Q .
- 2) Representar em um diagrama de Moody-Rouse a relação entre o coeficiente de perda de carga f e o número de Reynolds, Re .
- 3) Levantar o gráfico $K_s = f(Re)$.

Procedimento Experimental (perda de carga distribuída – tubo liso)

Condições iniciais para o experimento:

Válvulas e registros abertos: todos

Válvulas e registros fechados: todas as válvulas do painel de controle.



Acionando a bomba (KSB), fechar lentamente o registro (R1) até que a bomba trabalhe com 2 kgf/cm², indicada no manômetro M1. Lê-se o valor de h no manômetro diferencial e a diferença de pressão no manômetro digital, selecionado no painel de controle o tubo liso. Divide-se o valor h pelo número de ensaios a serem efetuados. Neste caso propõem-se 6 ensaios. Desliga-se a bomba e abre-se o registro (R5) até que o tanque de recalque se esvazie totalmente. Fecham-se estes registros.

Liga-se a bomba fechando a válvula (5) até que o valor de h no manômetro em U corresponda ao menor valor conforme acima determinado. Nestas condições medem-se simultaneamente os valores de h no manômetro em U, a temperatura, T e o tempo t , em que a água passa de um nível a outro, Δh no visor de nível da caixa C2. Desligar a bomba e da forma acima descrita esvaziar o tanque (C2).

Repete-se este procedimento para os restantes valores de h , previamente determinados. Sugere-se que a leitura do valor de Δh comece ser feita quando o nível da água no tanque seja maior que 25 cm, para diminuir os erros durante os ensaios.

Tabela rascunho (**Tubo Liso**)

Grandeza	Leitura no visor Δh	Tempo t	Temperatura T	Leitura no manômetro digital P	Leitura no manômetro U h
Unidades → Ensaio ↓	(cm)	(s)	(°C)	cmH ₂ O	(cmH ₂ O)
1					
2					
3					
4					
5					
6					

Condições iniciais para o experimento: (**perda de carga localizada – válvula Globo**)

Condições iniciais para o experimento:

Válvulas e registros abertos: todos

Válvulas e registros fechados: todas as válvulas do painel de controle.

Observação: Para utilizar um manômetro de água em U compatível com as dimensões do Painel Hidráulico, será adotado o procedimento de desviar parte do fluxo da bomba pela placa de orifício. A placa já está calibrada pela Prática 4. Então, a vazão através da válvula globo será calculada pela vazão na caixa C2 subtraída a vazão que passa pela placa de orifício, determinada pelo manômetro diferencial.

Acionando a bomba (KSB), fechar lentamente o registro (R1) até que a bomba trabalhe com 2 kgf/cm², indicada no manômetro M1. A seguir, abrir o registro R1 até o manômetro M1 indicar 1 kgf/cm². Então fechar lentamente o registro 7 até o manômetro 8 indicar 2 kgf/cm². Nesta condição, lê-se o valor de h no manômetro diferencial da válvula globo que deve ser ~ 540mm e no manômetro diferencial da placa de orifício deve indicar ~140mm. Divide-se o valor h pelo número de ensaios a serem efetuados. Neste caso propõem-se 6 ensaios. Desliga-se a bomba e abre-se o registro (R5) até que o tanque de recalque se esvazie totalmente. Fecham-se estes registros.

Liga-se a bomba fechando a válvula (5) até que o valor de h no manômetro em U corresponda ao menor valor conforme acima determinado. Nestas condições medem-se simultaneamente os valores de h no manômetro em U, a temperatura, T e o tempo t em que a água passa de um nível a outro, Δh no visor de nível. Desliga-se a bomba e da forma acima descrita esvazia-se o tanque (C2).

Repete-se este procedimento para os restantes valores de h , previamente determinados. Sugere-se que a leitura do valor de Δh comece ser feita quando o nível da água no tanque seja maior que 25 cm, para diminuir os erros durante os ensaios.

Tabela rascunho (**Válvula Globo**)

Grandeza	Leitura no visor Δh	Tempo t	Temperatura T	Leit. Manôm. U H (válvula globo)	Leit. Manôm. U H (placa orifício)
Unidades → Ensaio ↓	(cm)	(s)	(°C)	(mm)	(mm)
1					
2					
3					
4					
5					
6					

Determinação da vazão

$$Q = \frac{A_{\text{tanque}} h}{t} \quad [\text{m}^3/\text{s}] \quad (9)$$

Determinação da queda de pressão no trecho reto, ΔP por meio da equação (6). Da equação (3) podemos ver que, com este valor, pode-se determinar o valor da perda de carga distribuída, h_f .

Determinação da viscosidade cinemática do fluido, ν

Determinação do número de Reynolds, Re

Determinação da coeficiente de perda de carga, f pela equação (5) ou pelo diagrama de Moody-Rouse

Determinação do valor da rugosidade relativa da tubulação no diagrama de Moody.

Determinação da queda de pressão na válvula tipo globo (VG), por meio da equação (6). Observe-se que com este valor pode-se determinar a perda de carga singular, h_s .

Determinação do coeficiente de perda de carga singular, K_s por meio da equação (9).

Determinação do comprimento equivalente l_{eq} por meio da equação (11)

Ajustar a curva obtida no gráfico h_f vs. Q a uma parábola da forma:

$$h_f = AQ^2 + BQ + C$$

Ajustar a curva obtida no gráfico h_s vs. Q a uma parábola da forma:

$$h_s = DQ^2 + EQ + F$$

Relatório

Conforme requerimentos definidos na aula introdutória.

Referências utilizadas

Destacar nas conclusões

Aspectos relacionados com os ajustes de curvas no gráfico h_f vs. Q para os diferentes valores de Q e sua relação com o número de Reynolds, Re , posição dos valores de f no diagrama de Moody-Rouse, comparação dos valores de K_s com a literatura,

P r á t i c a 7

Gradiente de energia

Introdução

Recentemente foram estudadas as características do escoamento de fluidos reais. Foi analisada a forma de podermos aplicar (e interpretar) as principais leis: conservação de massa, da quantidade de movimento, de energia entre outras.

Porém, com frequência é desejável representar graficamente o valor da energia mecânica de um escoamento. A equação da energia na forma:

$$\frac{P}{\gamma} + \frac{v^2}{2g} + z = C = \text{constante} \quad (1)$$

nos sugere esta representação. Observe-se que cada termo da equação (1) apresenta dimensões de comprimento ou carga do fluido. Cada um destes termos representa:

$\frac{P}{\gamma}$ carga devida à pressão estática;

$\frac{v^2}{2g}$ carga devida à pressão dinâmica, ou seja, a energia cinética por unidade de peso;

z carga geométrica devido à posição do ponto em relação ao PHR;

C carga total num determinado ponto, constante.

A figura 1 mostra a representação gráfica dos termos acima descritos para escoamentos reais e ideais.

A Fig. (1a) mostra o caso de um fluido ideal. Como este fluido escoar sem atrito a linha de energia (LE), que representa a altura de carga total, permanece constante. Observe-se que não estamos considerando nenhum tipo de trabalho efetuado por ou sobre o fluido.

A linha de carga efetiva (LCE) representa a soma dos termos de altura geométrica e de pressão estática. Se colocássemos uma tomada de pressão estática num ponto qualquer no conduto, o fluido elevar-se-á até a altura correspondente ao valor da LCE. Daqui pode-se notar que a diferença entre estas duas curvas representa a carga dinâmica da velocidade.

Quando reproduzimos a análise anterior para o caso de fluido reais, Fig. (1b), observamos que a LE não permanece constante devido as perdas de energia no sistema. Neste sentido a LE é uma linha decrescente no sentido de escoamento sendo que, esta diminuição, representa a perda de carga total.

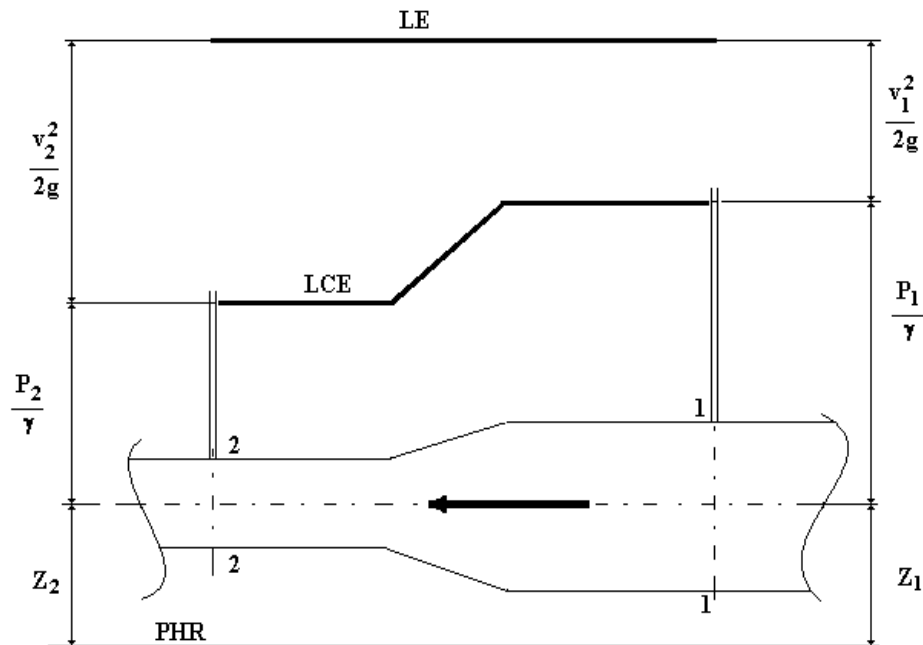


Fig. (1a) Fluido ideal

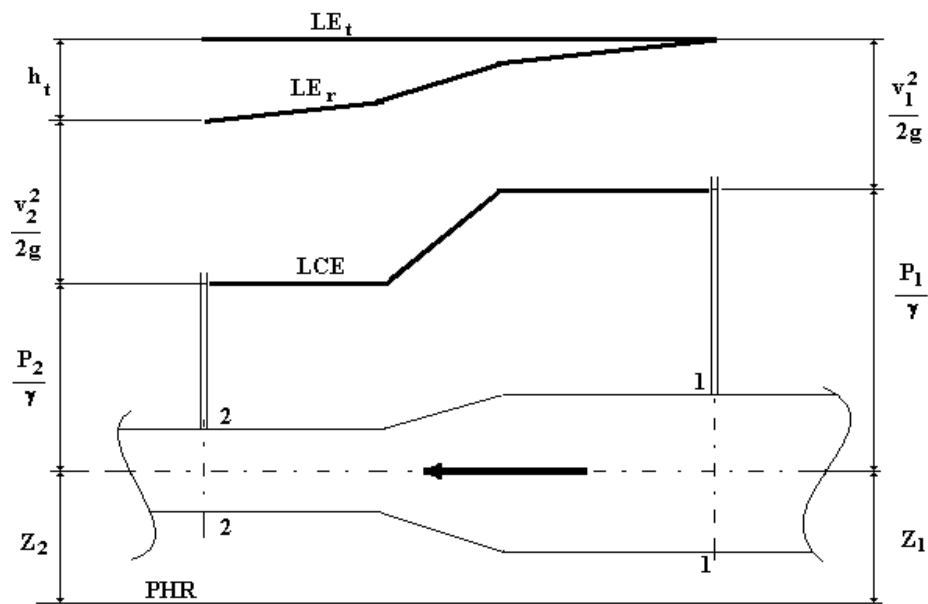


Fig. (1b) Fluido real

Figura 1: Representação gráfica da carga total de um fluido em escoamento.

A figura 2 representa a instalação que será utilizada nesta experiência. Observe-se que representa o caso muito mais simples de ser analisado: tubulação horizontal de seção constante.

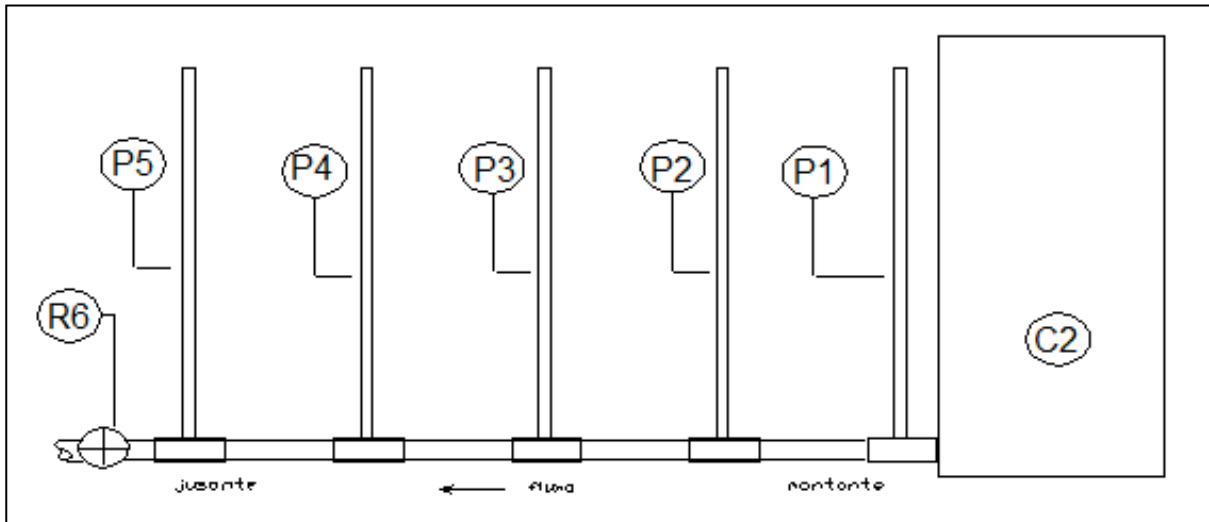


Figura 2: esquema da instalação experimental.

Da avaliação detalhada da figura 2 vemos que neste caso as linhas de energia (LE) e de carga efetiva (LCE) devem ser retas paralelas sendo que a diferença entre elas corresponde ao termo da carga dinâmica. Entre duas seções quaisquer a diferença entre as cotas da LE corresponderá à perda de carga distribuída.

Objetivos

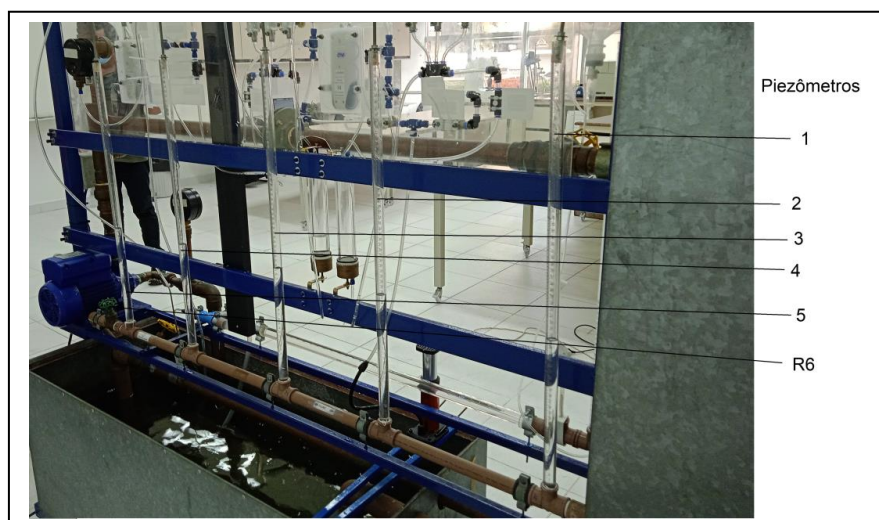
1. Traçar as linhas de carga efetiva (LCE) e de energia (LE)
2. Determinação do coeficiente de perda de carga, f . Comprovação do valor obtido por duas vias: pela equação de Darcy-Weisbach e pelo diagrama de Moody-Rouse.

Procedimento Experimental

Condições iniciais para o experimento:

Válvulas e registros abertos: todos

Válvulas e registros fechados: R5, R6, T e todas as válvulas do painel de controle.



Acionando a bomba (KSB), encher o tanque superior (C2) até que o nível no visor atinja um valor entre 60 e 65 cm. Desligando a bomba. Deve-se verificar que todos os Piezômetros indicam o mesmo nível.

Abre-se o registro (R6) de forma tal que se estabeleça uma vazão bem pequena. Utilizando uma proveta graduada de 1000ml embaixo do tubo após o registro R6, espera-se que o escoamento se estabeleça e medem-se simultaneamente o nível de água nos medidores (V1), (V2), (V3), (V4) e (V5), a temperatura, T . Utilizando um tubo graduado de capacidade 1000 ml, recolhe-se um certo volume de fluido cronometrando o tempo gasto para isto.

Posteriormente abre-se um pouco mais o registro (R6) repetindo-se o procedimento acima descrito.

Serão realizados oito (8) ensaios sendo o último ensaio com o registro (R6) totalmente aberto. Para manter as condições o mais estável possível, após encher o tanque (C2) desligue a bomba d'água KSB, antes de uma nova abertura do registro (R6).

Procedimento de Cálculo

Determinação da vazão, Q

$$Q = \frac{\text{Vol. prov.}}{t} \quad [\text{m}^3/\text{s}] \quad (2)$$

Determinação da viscosidade do fluido, ν

Determinação do número de Reynolds, Re

Determinação da carga em pressão estática para cada medidor de nível, $\frac{P}{\gamma}$

Determinação da carga dinâmica para cada medidor de nível, $\frac{v^2}{2g}$

Determinação da carga total em cada ponto,

$$\frac{P}{\gamma} + \frac{v^2}{2g} + z$$

Determinação do coeficiente de perda de carga universal, f utilizando a equação:

$$f = \frac{(LE_4 - LE_1)2gD}{lv^2}$$

Determinação do coeficiente de perda de carga universal, f a partir do número de Reynolds e do tipo de material da tubulação utilizando o diagrama de Moody-Rouse.

Relatório

Conforme requerimentos definidos na aula introdutória.

Referências utilizadas:

Destacar nas conclusões:

Declividade das linhas de energia e de carga efetiva, o porquê deste comportamento, comparação entre os coeficientes de perda de carga, f obtidos.

Tabela Rascunho

Grandeza	<i>Vol. Prov. Vol.</i>	<i>Tempo t</i>	<i>Temp. T</i>	<i>Altura h_{23}</i>	<i>Altura h_{24}</i>	<i>Altura h_{25}</i>	<i>Altura h_{26}</i>
Unidades → Ensaio ↓	(l)	(s)	(°C)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							

Painel Hidráulico Móvel Modelo 2007/2022

Características:

Flexibilidade e Racionalidade: concebido numa estrutura metálica compacta e móvel (rodízios direcionais e com freio) permite uma utilização flexível e racional do espaço disponível no Laboratório.

Segurança: para evitar o derramamento de água no laboratório, mesmo em regime de máxima vazão da bomba, foi concebido um tubo de descarga (ladrão) no tanque de recalque.

Economia: o painel trabalha em circuito fechado, evitando desperdício de água.

Durabilidade e manutenção: são utilizados materiais nobres e de boa qualidade em sua construção (tubulação de cobre, bomba KSB, válvulas Deca, conexões FESTO e manômetros SALCAS).

Tomadas de pressão: desenvolvidas de modo a evitar turbulências indesejáveis que prejudicam a leitura da pressão tanto na jusante como na montante dos dispositivos.

Circuito: em paralelo ou em série: permite que os vários dispositivos de perda de carga sejam estudados individualmente ou interagindo mutuamente uns com os outros.

Ficha técnica:

Dimensões externas: (C x L x A): 2,00m x 0,50m x 1,90m;

Capacidade da caixa de recalque: 70 litros;

Capacidade da caixa de sucção: 250 litros;

Bomba d'água, com motor de 1 h.p. 220 V, 1" x 1", da marca KSB;

Diâmetros da tubulação de cobre: 1", 1 ½" e 2 ½";

Placa de orifício: diâmetro interno de 20 mm;

Tubo de Pitot: construído em tubo de inox de 3 mm de diâmetro;

Garantia contra defeitos de montagem: 01 ano.

Fabricantes: J C B Carrero e A J Marthos.

tel. 011-7225-2201; e-mail: jbcarrero@yahoo.com