

Instruções para o Experimento

HM 112 Bancada de Treinamento em Hidrodinâmica



Instruções para o Experimento

Última modificação realizada por: Dipl.-Ing. Peter Mittasch

Por favor, leia e cumpra as regulamentações de segurança antes da primeira instalação!

Índice

1	Introdução	1
2	Descrição do Equipamento	3
2.1	Layout da unidade experimental	5
2.2	Equipamentos da unidade experimental	6
2.2.1	Seções fixas da tubulação	6
2.2.2	Objetos de medição	6
2.3	Funcionamento da unidade experimental	7
2.4	Aquisição de dados com PC	8
3	Segurança	9
3.1	Segurança no trabalho.	9
3.2	Segurança operacional.	9
4	Software	11
4.1	Instalação do hardware e do software.	11
4.2	Iniciando o software.	11
4.2.1	A janela “Diagrama do Sistema”	13
4.2.2	A janela “Diagrama de Medições”.	14
4.2.3	Estrutura e comandos da barra de Menu.	16
4.2.4	A janela “Tubo de Venturi”.	18

HM 112 BANCADA DE TREINAMENTO EM HIDRODINÂMICA

5	Método Experimental	21
5.1	Teste de Vazamento	21
5.2	Manômetro de dois tubos	22
5.2.1	Medição da diferença de pressão	23
5.2.2	Cálculo da Pressão Absoluta	24
5.3	Conexão e operação do manômetro.	25
5.3.1	Sangramento	25
5.3.2	Ajustando o “ponto zero”	26
5.3.3	Desempenho da medição.	26
5.3.4	Encerramento da medição.	27
5.4	Manômetro de seis tubos	28
5.5	Medição Eletrônica da Pressão.	29
6	Experimentos	31
6.1	Fluxo em tubulação com atrito.	31
6.1.1	Princípios básicos.	31
6.1.2	Método experimental	35
6.1.3	Comparação com cálculos.	35
6.2	Coeficientes de resistência de componentes especiais	37
6.3	Princípios básicos	37
6.3.1	Tubo cotovelo.	39
6.3.2	Método experimental	40
6.3.3	Cálculo dos Coeficientes de Resistência	40
6.3.4	Variações da Seção Transversal	42
6.3.5	Método experimental	43
6.4	Coeficiente de resistência em encaixes de tubulação.	44
6.4.1	Método experimental	45
6.4.2	Cálculo dos coeficientes de resistência	47

HM 112 BANCADA DE TREINAMENTO EM HIDRODINÂMICA

6.5	Características de aberturas de dispositivos de interrupção	49
6.5.1	Método experimental	51
6.5.2	Avaliação do experimento.	52
6.6	Tubo de Pitot.	53
6.6.1	Método experimental	53
6.6.2	Comparação com cálculos.	54
6.7	Medição da vazão volumétrica com bocal/orifício.	56
6.7.1	Método experimental	56
6.7.2	Comparação com cálculos.	57
6.8	Bocal de Venturi.	60
6.8.1	Método experimental	60
6.8.2	Comparação com cálculos.	62
7	Apêndice	63
7.1	Dados Técnicos	63
7.2	Bibliografia.	65
7.3	Tabelas e Diagramas	65
7.4	Relação de Fórmulas	69
7.5	Índice Remissivo	72

HM 112 **BANCADA DE TREINAMENTO EM HIDRODINÂMICA****1** **Introdução**

A **BANCADA DE TREINAMENTO EM HIDRODINÂMICA G.U.N.T. HM 112** viabiliza a realização de experimentos para medição de fluxo e pressão e determinação das perdas de carga e características de pressão para tubos e vários componentes de tubulação. Os seguintes tópicos podem ser investigados detalhadamente nesta unidade experimental:

- Vários métodos de medição de fluxo e pressão;
- Função de bocal, orifício, tubo de venturi, etc.;
- Determinação dos coeficientes de perdas de carga;
- Perdas por curvas ou ângulos da tubulação, mudanças de secção e dispositivos de corte de fluxo;
- Medição de características de abertura de dispositivos de corte de fluxo;

Além disso, o estudante adquire habilidades na preparação e na realização de uma série de experimentos, como também conhecimento a respeito da utilização de equipamento de medição de pressão e taxa de fluxo.

A Unidade Experimental HM112 está equipada com um circuito fechado de água, o que significa que ela pode ser utilizada de forma independente do abastecimento de água da rede pública. Pode ser usada em diferentes locais de treinamento, seminários e salas de aula.

2 Descrição do Equipamento

A unidade experimental apresenta as seguintes características:

- Todo o *setup* experimental é claramente apresentado em um **carrinho de laboratório**;
- Quatro rodízios fazem a unidade experimental **móvel** e fácil de manobrar;
- Circuito fechado de água permite operar de forma **independente de uma fonte de alimentação externa de água**;
- Medição da taxa de fluxo utiliza um medidor com área de seção variável medidor e medição eletrônica da posição do flutuador;
- 5 **sistemas independentes para medição de diferença de pressão** e de perda de carga;
- Placa de circuito USB-Multifunções para **aquisição de dados a partir de um PC**;
- **Tomada de pressão** sem interferências utilizando câmaras anelares;
- Fácil e rápida **conexão** entre pontos de medição e medidores de pressão, utilizando mangueiras com acoplamentos de ação rápida;
- Variedade de objetos de medição para mecânica dos fluidos;

- Alguns objetos de medição são transparentes, de modo que **seu funcionamento é completamente visível**;
- **Sete diferentes** tubos de seção constante;
- As seções de tubo são **intercambiáveis**, permitindo o uso de seções individuais;
- Fácil seleção de seção de tubo utilizando mangueiras com acoplamentos de ação rápida;
- Comprimento de **medição padrão de 1m** para medições de atrito no interior da tubulação.

HM 112 BANCADA DE TREINAMENTO EM HIDRODINÂMICA

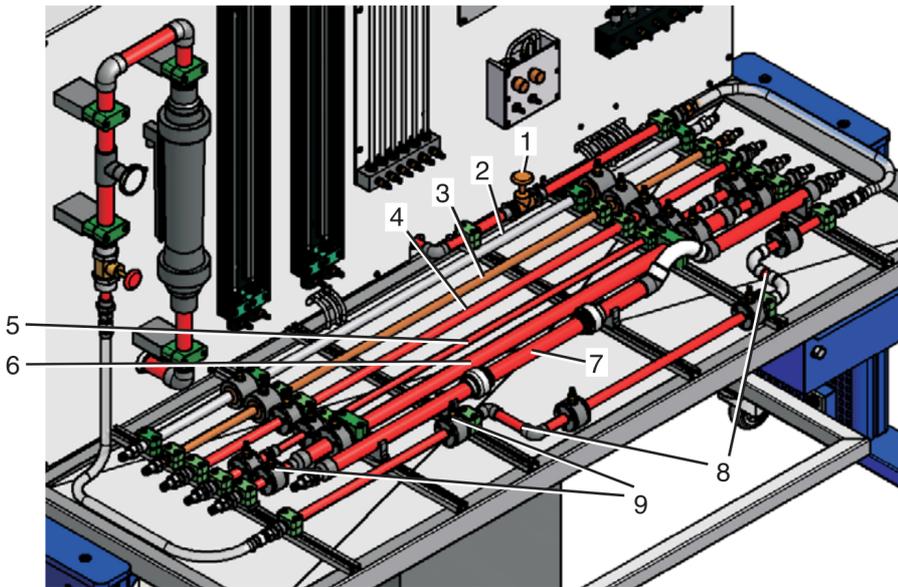
2.1 Layout da unidade experimental

- | | |
|--------------------------------------|---------------------------------------|
| 1 Mangueira de retorno | 10 Medidor de vazão tipo rotâmetro |
| 2 Sensor eletrônico de pressão | 11 Termômetro |
| 3 Distribuidor Principal | 12 Válvula de redução |
| 4 Interruptor para a bomba (coberto) | 13 Mangueira de alimentação |
| 5 Mostrador digital para a pressão | 14 Bomba |
| 6 Sensor de diferença de pressão | 15 Válvula de drenagem |
| 7 Válvula de retorno | 16 Variadas seções de medição |
| 8 Manômetro de 6 tubos | 17 Tanque de água |
| 9 Manômetro de 2 tubos | 18 Objetos de medição intercambiáveis |



2.2 Equipamentos da Unidade Experimental

2.2.1 Seções de tubo de área constante



1. Válvula de Retorno com mangueira para o tanque de água;
2. Tubo de aço galvanizado, $\varnothing 1/2"$;
3. Tubo de Cobre 18 x 1;
4. Tubo de PVC 20 x 1.5;
5. Contração de seção transversal PVC 20 – 16;
6. Expansão de seção transversal PVC 20 – 32;
7. Seção para objetos de medição intercambiáveis;
8. Tubo curvo, tubo angulado PVC 20 x 1.5;
9. Glândulas de medição de fechamento automático.

Fig. 2.3 Arranjo físico das seções da tubulação

2.2.2 Measuring objects

Os objetos de medição pode ser inseridos na seção de medição (7) utilizando uniões parafusadas. Os objetos de medição são equipados com câmaras anelares e conexões com mangueiras para medição de pressão.

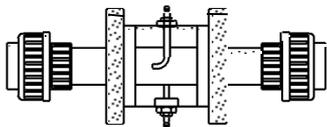


Fig. 2.1 Pitot tube

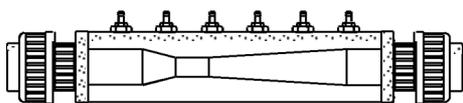


Fig. 2.2 Venturi tube

- Válvula de assento inclinado;
- Válvula de membrana;
- Torneira reguladora "ball cock";
- Válvula anti-retorno;
- Armadilha de impureza com insertos de filtragem;
- Tubo de Pitot;
- Orifício e bocal de medição;
- Tubo de Venturi.

2.3 Funcionamento da unidade experimental

Após a bomba (P), a água, antes de tudo, passa pela medição da taxa de fluxo e da temperatura (F1 e T1) e pela válvula redutora (V1). Se as mangueiras (6 e 7) estão desconectadas, a válvula redutora pode ser usada para desligar o abastecimento de água. É também utilizada para ajustar a taxa de fluxo.

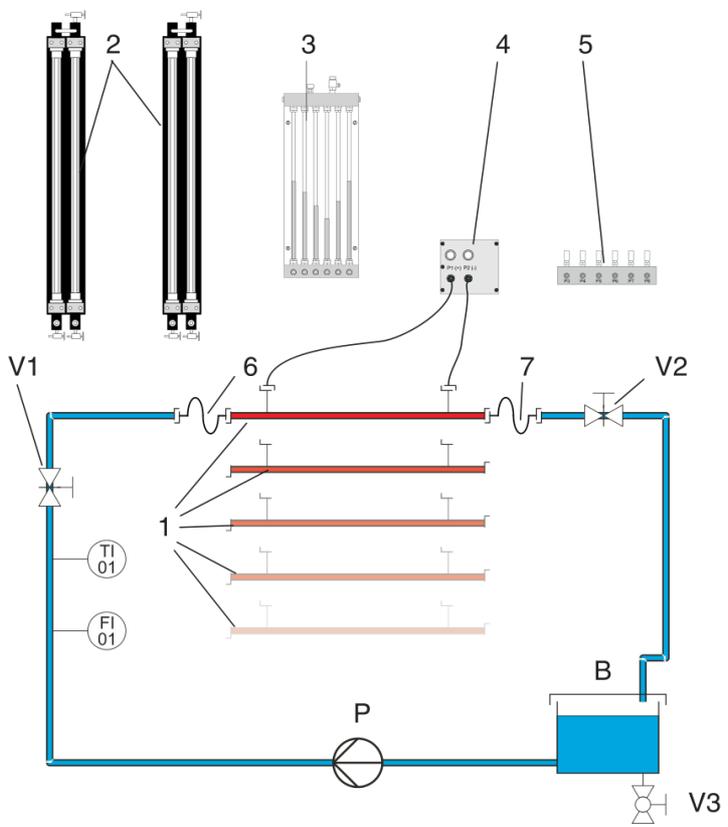
A água é, então, alimentada para a seção de tubo selecionada (1) através do tubo de alimentação (6).

A pressão é medida nas glândulas de medição ao início e ao fim da seção de medição.

Uma vez que a água escoou através da seção de tubo selecionada, retorna para o tanque de água através de um segundo tubo (7).

Uma válvula de retorno (V2) pode ser usada para restringir o escoamento.

Todos os Direitos Reservados por G.U.N.T. Gerätebau GmbH®, Barsbüttel, Alemanha 04/2013



- 1 Seções de medição
- 2 Manômetro de dois tubos
- 3 Manômetro de seis tubos
- 4 Sensor de diferença de pressão
- 5 Sensores de pressão
- 6 Mangueira de alimentação
- 7 Mangueira de retorno

- B Tanque de água
- P Bomba
- FI-01 Rotâmetro
- TI-01 Termômetro
- V1 Válvula de redução
- V2 Válvula de retorno
- V3 Válvula de drenagem

Fig. 2.4 Arranjo físico das seções de tubo

HM 112 **BANCADA DE TREINAMENTO EM HIDRODINÂMICA****2.4** **Aquisição de dados a partir do PC**

Esta unidade experimental é equipada para aquisição de dados através de um PC. Isso envolve a gravação da diferença de pressão medida, do excesso de pressão e da vazão por sensores eletrônicos. A tensão dos sinais de saída nos sensores varia na faixa de 0-10V. Com a exceção do sensor de taxa de fluxo, que funciona com uma resistência variável em até 5V. A pressão diferencial (1), e as pressões excessivas (2) estão indicados em mostradores digitais na caixa de distribuição.



Fig. 2.5 Caixa de distribuição com mostradores digitais

Os sinais são exibidos no monitor do PC usando um software de visualização que funciona em ambiente *Windows*®.

A unidade experimental também pode ser operada sem a conexão a um PC.

HM 112 BANCADA DE TREINAMENTO EM HIDRODINÂMICA**3 Segurança****3.1 Segurança no trabalho**

Sempre ler e de observar as seguintes instruções!



PERIGO, choque elétrico!

- O **quadro elétrico** deverá apenas ser aberto por pessoal técnico especializado;
- Antes de abrir a **caixa de distribuição**, desligue o equipamento da rede elétrica;
- Proteja a **caixa de distribuição e o PC** da água espirrada, pois isso pode danificar os componentes.

3.2 Segurança Operacional

CUIDADO, armazenar a unidade experimental, em um local livre de geada ou neve!

O reservatório de água deve ser esvaziado caso a unidade não seja utilizada por longos períodos.

CUIDADO, não sobrecarregue sensores de pressão!

A faixa de medição de pressão para os sensores é 0 - 200 mbar.

- Pressões mais de 600 mbar ou negativas podem danificar os sensores de pressão. As taxas de fluxo volumétrico devem, portanto, estar limitadas por meio de válvulas na entrada e à drenagem para assegurar que este valor não seja atingido.
- Assegurar a polaridade correta ao conectar o sensor de diferença de pressão.

4 Software

4.1 Instalação do hardware e do software

O cabo USB para o aplicativo em ambiente LabView® deve ser conectado e instalado na seguinte ordem:

- 1. Instalação do software;

Insira o CD na unidade, execute o Setup.exe e siga as instruções na caixa de diálogo

- 2. Conecte o cabo USB;

- 3. Inicie a o software do aplicativo.

4.2 Iniciando o software

Após o início do software, a janela "System Diagram" aparece.

Na primeira vez que o software for aberto, uma janela de seleção de idioma também aparece. O idioma pode ser alterado posteriormente utilizando o menu em "Language" na barra de menu.

Clicar em "Start" na barra de menu permite que a escolha entre a janela "System Diagram" e a janela "Measurement Diagram". A barra de menu também inclui a opção "EXIT" para sair do programa.

Na tela do diagrama de sistema, é possível escolher a seção de medição utilizada na configuração experimental.

Nota:

As opções do menu são sensíveis ao contexto, ou seja, nem todas as opções podem ser selecionadas em todos os momentos.

Gravação de valores medidos:

- Abrir a janela "*Measurement Diagram*" em "*Start*" na barra de menu.
- Criar uma nova série de medição ("*New Series*") em "*File*" na barra de menu.
- Se necessário, especificar os eixos para o diagrama. Esta configuração é feita usando "*View*" e "*Choose Axis*" na janela que é subsequentemente aberta. Você pode selecionar um máximo de quatro eixos y e um eixo x.
- Você pode então gravar os dados medidos utilizando o botão de gravação (Fig. 4.2, 3) ou selecionando a opção "*Take Record*" em "*Edit*" na barra de menu.
- Depois de gravar a série de medição, você pode salvá-la para o disco rígido ou para um meio alternativo usando o comando "*Save Series*" no menu "*File*".

4.2.1 A janela "System Diagram"

O diagrama de sistema é uma representação clara do layout experimental da medição. O botão inferior (1) pode ser usado para alternar entre diferentes tarefas de medição.

- Tubulação
- Bocal ou orifício
- Tubo de Pitot
- Acessórios de tubulação
- Bocal de Venturi

Pressões podem ser representadas como colunas de água ou utilizando um medidor de diferença de pressão. Para alterar a configuração, use a opção "View" (3) no menu. O fluxo, as pressões e temperaturas são apresentadas em tempo real (5).

A opção "Start" (2) conduz até a opção "Measurement Diagram". Esta janela pode ser usada para criar os diagramas.

A opção "Language" (4) pode ser usada para selecionar um dos quatro idiomas disponíveis.

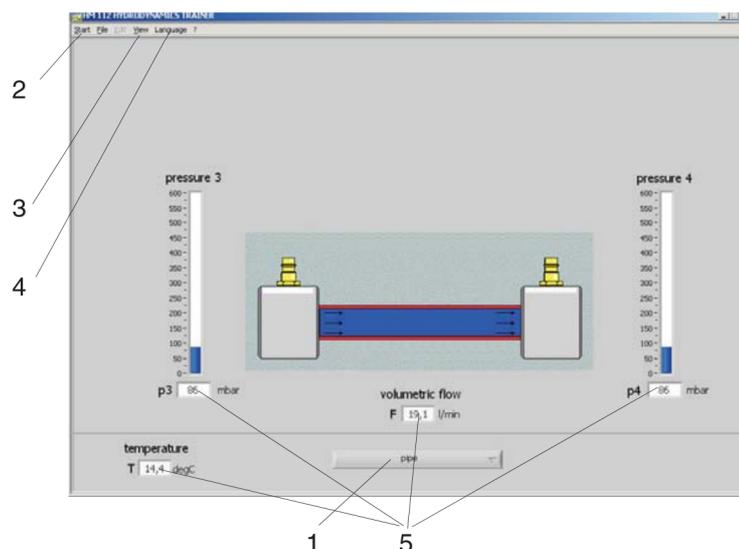


Fig. 4.1 Janela "System Diagram"

4.2.2 A janela "Measurement Diagram"

Na janela "Measurement Diagram", clique em "Start" na barra de menu para gravar, carregar e salvar uma curva.

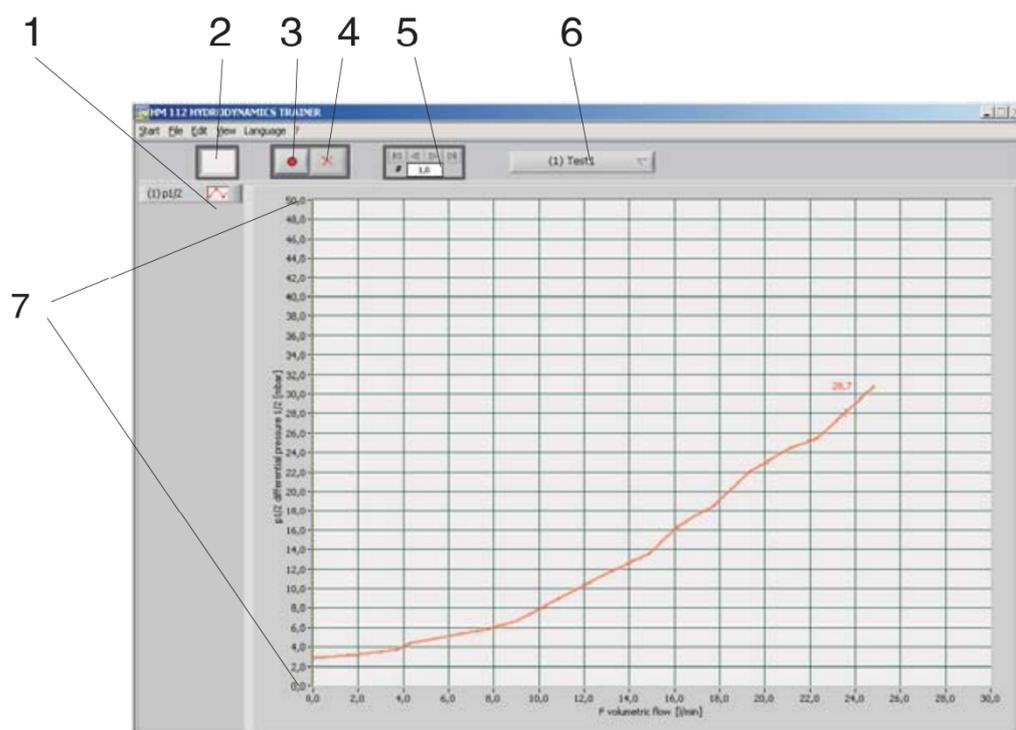


Fig. 4.2 Janela "Measurement Diagram"

As opções nesta janela são ativas somente se uma série de medição foi efetivamente carregada ou criada.

Plano de Fundo / Curva

Clique com o botão esquerdo sobre os botões para a configuração do fundo (2) e da curva (1), para definição da cor desses elementos.

Gravação dos valores medidos

Ao clicar no botão de ponto vermelho (3), dados medidos são gravados e adicionados à série de dados ativa.

Cursor

Os botões de seta (5) permitem que o cursor seja movido ao longo dos pontos de medição já gravados. Os valores medidos são exibidos na posição do cursor.

Deleção de valores medidos

O botão com a cruz vermelha (4) exclui pontos de medição individuais da série de dados ativa. O registro de dados no qual o cursor está localizado será apagado.

Seleção da série de dados ativa

Em um arquivo contendo várias séries de dados de medição, este botão (6) pode ser usado para selecionar a série ativa. Um arquivo pode conter apenas uma ou várias séries de medição. O número de séries de medição por arquivo é limitado a um máximo de 10.

Escalonamento

O escalonamento pode ser alterado por clicando com o botão esquerdo do mouse diretamente sobre os valores limites.

Dados medidos também podem ser gravados e apagados através do menu ("*Edit - Take Record*" ou "*Edit - Delete Record*"). A abscissa associada é exibida na posição do cursor. Várias curvas podem ser plotadas no diagrama. Uma nova curva pode ser criada usando o comando "*file*". Uma curva também pode ser salva em um arquivo por meio deste mesmo comando. A curva ativa pode ser selecionada usando "*select curve*".

4.2.3 Estrutura e comandos da barra de menu

- **Start**
 - **measurement diagram**

Abre a janela contendo gráficos x/y para gravação, edição e registro de séries de medição.
 - **system diagram**

Abre uma janela na qual a configuração experimental e os valores relevantes medidos são exibidos em tempo real.
 - **EXIT**

Sai do programa.
- **File**
 - **print window**

Imprime a janela na impressora padrão.
 - **open file** (“measurement diagram” apenas) Abre um arquivo salvo anteriormente.
 - **new series** (“measurement diagram” apenas) Cria um novo arquivo para, pelo menos, uma série de dados.

As seguintes opções ficam ativas somente se uma série de dados é carregada na janela “measurement diagram”.

 - **save series**

Salva uma série de medições a partir da memória temporária de trabalho para um arquivo (por exemplo, no disco rígido).
 - **delete series**

Exclui uma série de medição da memória temporária em trabalho.

- **save all series**
Salva todas as séries de medição da memória de trabalho para um arquivo.
- **delete all series**
Exclui todas as séries de medição da memória de trabalho.
- **print Graph**
Emite o x / y gráfico na impressora padrão.
- **print table**
Gera uma tabela para a série de medição atual na impressora padrão.
- **Edit**
 - **take record**
Adiciona um ponto de medição para a série.
 - **delete record**
Exclui um ponto de medição (na posição do cursor) da série.
- **View**
 - **choose axis** (“measurement diagram” apenas) Abre uma janela para selecionar até 4 eixos y e um eixo x.
 - **graph** (“measurement diagram” apenas) Exibe o gráfico x/y.
 - **table** (“measurement diagram” apenas) Exibe a tabela para a série de medições.
 - **pressure** (“measurement diagram” apenas) Exibe a diferença de pressão para o ambiente.

- **differential pressure** (“system diagram” apenas) Exibe a diferença de pressão entre P1 e P2.
- **Language**
Possibilita a escolha de uma das quatro línguas abaixo.
 - **German (Alemão)**
 - **English (Inglês)**
 - **French (Francês)**
 - **Spanish (Espanhol)**
- **?**
 - **About GUNT**
Informação sobre a GUNT®

4.2.4 A janela “Venturi Nozzle”

A janela “Venturi Nozzle” representa a progressão da pressão e da velocidade ao longo do bocal de Venturi. Esta representação ilustra claramente a lei de Bernoulli.

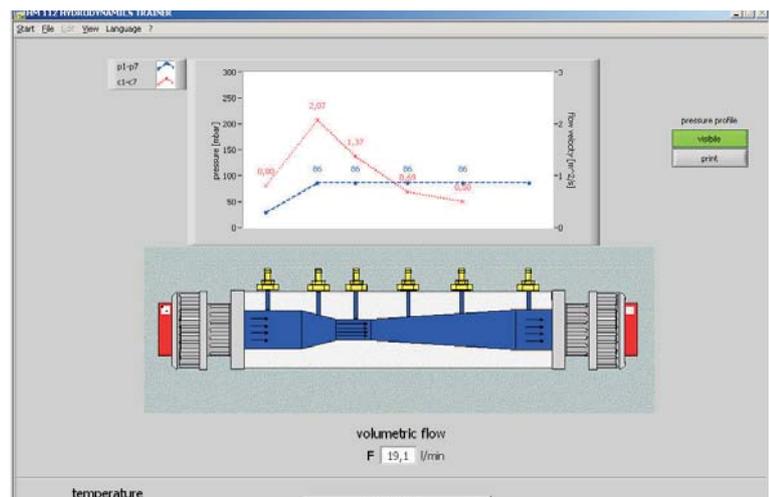
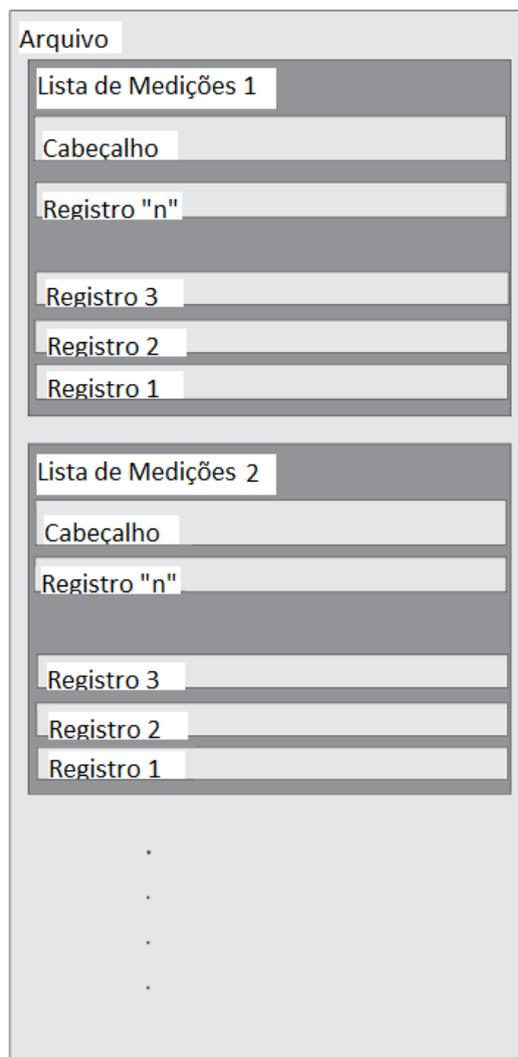


Fig. 4.3 Janela "Venturi Nozzle"

Informação básica sobre a estrutura do arquivo com os dados da medição:



O arquivo de dados medidos pode consistir de várias séries de medição.

Cada série de medição tem um cabeçalho separado, que é seguido pelo registro de dados medidos.

Um registro de dados de medição é constituído pelos dados que são gravados em um ponto específico no tempo.

Uma série de medição contém os registros de dados para vários pontos no tempo, os quais são utilizados para traçar as curvas.

Fig. 4.4 Estrutura do arquivo

HM 112 **BANCADA DE TREINAMENTO EM HIDRODINÂMICA****5 Método experimental**

Antes de iniciar o experimento:

- Posicionar a unidade experimental sobre uma superfície plana e segura contra deslizamento (freios acionados);
- Encher o tanque de água;
- Conectar o equipamento à fonte de alimentação elétrica.

Se você pretende trabalhar com aquisição de dados via PC, as etapas a seguir também deve ser concluídas:

- Conectar a unidade experimental e a placa de aquisição de dados para o PC com o cabo *Sub D* de 37 pinos;
- Ligar a unidade experimental usando o interruptor principal (monitores digitais na caixa de distribuição agora mostram valores);
- Ligar o PC;
- Iniciar o *Windows™*;
- Abrir o grupo de programas **GUNT** e iniciar o **HM112**.

5.1 Teste de Vazamento

Antes de ligar a unidade experimental e de iniciar qualquer experimento, um teste de vazamento deve ser realizado. O procedimento para isto é o seguinte:

- Verificar o aperto das glândulas de medição de fechamento automático, procedendo com remoção de possíveis partículas;
- Conectar a seção de tubo às mangueiras de alimentação e retorno;
- Abrir a válvula de retorno;
- Ligar a bomba;

- Abrir lentamente a válvula redutora e sangrar seção de tubulação;
- Aumentar lentamente a pressão por meio do fechamento da válvula de retorno;
- Verificar todas as linhas, mangueiras e conexões para vazamentos;
- Repetir o procedimento para todas as seções da tubulação.

5.2 Manômetro de dois tubos

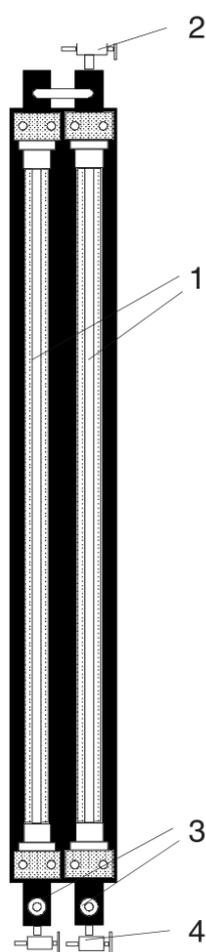


Fig. 5.1 Manômetro de dois tubos

O manômetro de dois tubos permite que ambas as pressões diferenciais e as pressões em excesso possam ser medidas em *mm de coluna de água*; pressões em excesso podem ser convertidas em pressões absolutas levando em conta a pressão atmosférica.

- A faixa de medição é de 0 - 680 milímetros de coluna de água.
- O manômetro compreende dois tubos nivelados de vidro (1) com uma escala de metal milimetrada atrás dos mesmos.
- Os dois tubos são ligados conjuntamente no mesmo nível na parte superior e têm uma válvula de purga comum (2).
- A diferença de pressão é medida com a válvula de purga fechada e o excesso de pressão com a válvula de purga aberta.
- Os pontos de medição estão ligados à parte inferior dos tubos de nível utilizando acoplamentos de mangueira de ação rápida (3).
- Cada tubo de nível tem uma válvula de drenagem (4) inferior.

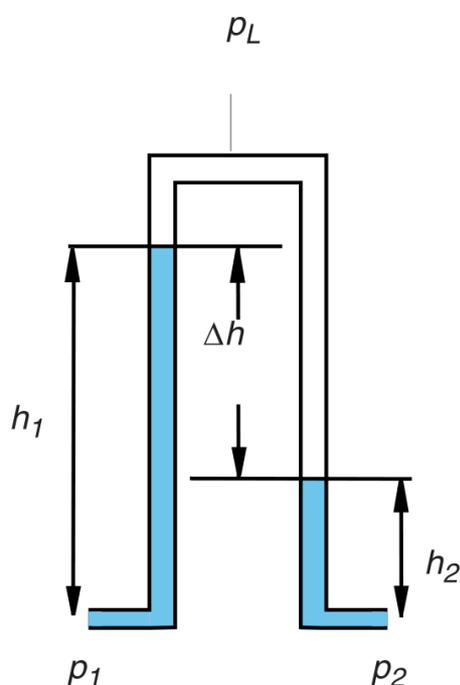
5.2.1 Medição da diferença de pressão


Fig. 5.2 Medição da diferença de pressão

Aqui, a válvula de drenagem é fechada. Uma “almofada” de ar é formada ao longo das duas colunas de água com a pressão p_L . Isto significa que as pressões a serem medidas p_1 e p_2 são

$$\begin{cases} p_1 = p_L + h_1 \rho g \\ p_2 = p_L + h_2 \rho g \end{cases}$$

A diferença de pressão é, portanto:

$$\Delta p = p_1 - p_2 = p_L + h_1 \rho g - p_L - h_2 \rho g$$

A pressão p_L é cancelada e a seguinte expressão é encontrada:

$$\Delta p = \Delta h \rho g$$

Com $\Delta h = h_1 - h_2$.

Utilizando a pressão p_L , o ponto de referência (“*ponto zero*”) para a medição da diferença de pressão pode ser ajustado. Para uma faixa de medição maior possível, o melhor é posicionar o “*ponto zero*” ou valor médio $\left(\frac{h_1+h_2}{2}\right)$ no meio da escala de medição $\left(\frac{h_{max}}{2}\right)$.

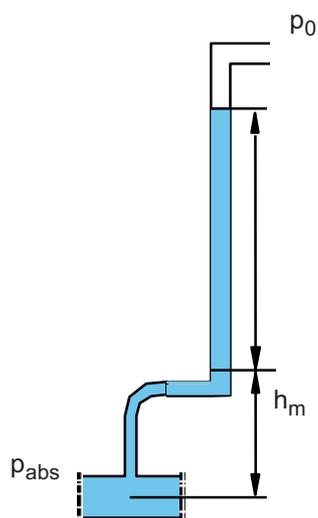
$$\left(\frac{h_1+h_2}{2}\right) = \left(\frac{h_{max}}{2}\right) = \frac{p_1 - p_L + p_2 - p_L}{2\rho g}$$

A pressão da “almofada” de ar é, portanto, dada por:

$$p_L = \frac{p_1 + p_2 - h_{max} \rho g}{2}$$

A pressão pode ser também ajustada por meio da válvula de purga, como visto na seção 5.3.2.

5.2.2 Cálculo da pressão absoluta



Para calcular a pressão absoluta, a válvula de purga é aberta e o excesso de pressão é medido. A pressão p_L corresponde à pressão do ar atmosférico p_0 .

Aqui é também necessário ter em conta a altura h_m entre o ponto de medição e o ponto zero do manômetro:

$$p_{abs} = p_0 + (h + h_m)\rho g.$$

Fig. 5.3 Medição da pressão absoluta

HM 112 BANCADA DE TREINAMENTO EM HIDRODINÂMICA

5.3 Conexão e Operação do Manômetro

- Conectar seção de tubulação às mangueiras de alimentação e retorno;
- Abrir a válvula de retorno;
- Conectar o manômetro à seção de tubulação a ser medida usando mangueiras de ligação;
- Ligar a bomba.

5.3.1 Sangramento (Purga)

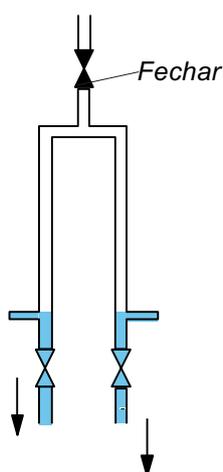


Fig. 5.4 Primeira etapa de purga

- Fechar a válvula de purga ao topo;
- Abrir as duas válvulas de descarga, embaixo;
- Lentamente abrir a válvula de redução na entrada da seção de tubo onde ocorrerá medição;

A seção de tubulação em estudo e as mangueiras de ligação são sangradas pela intensidade do fluxo de água.

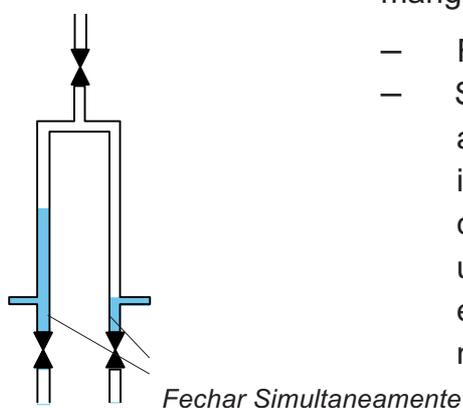


Fig. 5.5 Segunda etapa de purga

Quando não há mais bolhas de ar visíveis nas mangueiras de conexão:

- Fechar a válvula de retorno;
- Simultânea e lentamente fechar ambas as válvulas de drenagem na parte inferior. Assegure-se que ambas as colunas de água subam uniformemente e que não haja excesso de fluxo entre os tubos nivelados.

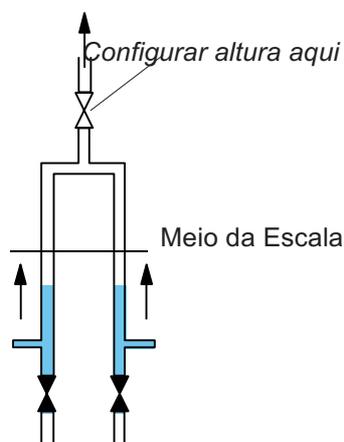
5.3.2 Ajustando o “ponto zero”


Fig. 5.4 Configurando o “ponto zero”

Para assegurar o maior intervalo de medição possível, o ponto zero para o manômetro deve estar no meio da escala.

- No fechamento da seção de tubo onde ocorre a drenagem, a taxa de fluxo é igual a zero.
- Nível nos dois tubos de medição é o mesmo.
- Deve-se ajustar cuidadosamente o nível para o meio da escala usando a válvula de purga.

ATENÇÃO! O nível da coluna de água só pode ser ajustado para cima usando a válvula de purga. Se o nível for muito alto, a rede de tubulações deve ser drenada. Em seguida, é necessário sangrar a seção de tubo selecionada mais uma vez antes que um ponto zero mais baixo possa ser definido.

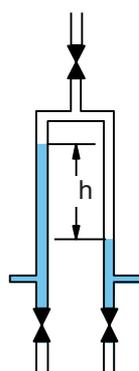
5.3.3 Realização da medição


Fig. 5.5 Realização da Medição

Deve-se ajustar a taxa de fluxo necessária usando a válvula de entrada. Durante esse processo a válvula de retorno é totalmente aberta. Verifique isto no mostrador digital medidor de vazão.

Leia a pressão diferencial como a diferença de altura entre as duas colunas de água.

Em caso de oscilações da medição, estimar o valor médio. No caso de medições de pressão diferencial, a questão-chave não é absoluta precisão, mas leituras reprodutíveis.

ATENÇÃO! A uma alta taxa de fluxo a pressão diferencial pode aumentar tanto que a água transborda através do tubo superior de ligação para dentro do tubo de medição conectado à pressão mais baixa. Se necessário,

resete o ponto zero (ver seção 5.3.2) ou use sensores de pressão eletrônico com uma maior faixa de medição.

A medição da pressão diferencial é sempre realizada com a válvula de purga fechada.

5.3.4 Concluindo a medição

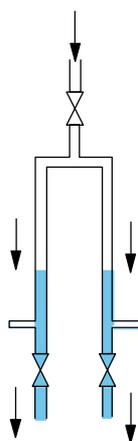


Fig. 5.6 Conclusão da medição

- Após a conclusão da medição, fechar a válvula de retorno;
- Desligar a bomba;
- Abrir completamente a válvula redutora;
- Abrir a válvula de purga e ambas as válvulas de drenagem;

O manômetro é, então, esvaziado e a seção de tubulação, despressurizada.

As mangueiras de conexão podem agora ser desconectadas e mudadas.

ATENÇÃO! Feche glândulas de medição não utilizadas com plugues enchedores (bujões).

5.4 Manômetro de seis tubos

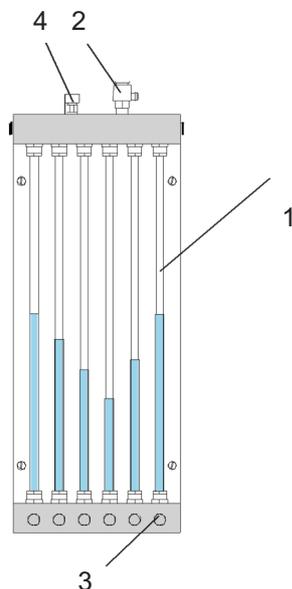


Fig. 5.7 Manômetro de seis tubos

O manômetro de seis tubo compreende seis tubos em vidro nivelados (1) com uma escala milimetrada atrás dos mesmos.

- A faixa de medição é de 390 mm CA*.
- Todos os tubos nivelados são ligados entre si na parte superior e têm uma válvula de purga comum (2). As ligações de medição (3) estão na parte inferior.
- A pressão diferencial é medida com a válvula de purga (2 & 4) fechada e, o excesso de pressão, com a válvula de purga (4) aberta.

O funcionamento, a conexão e a operação são idênticos aos do manômetro descrito nas seções 5.2 e 5.3.

* mm WG = millimeters water column

ou mm CA = milímetros de coluna de água

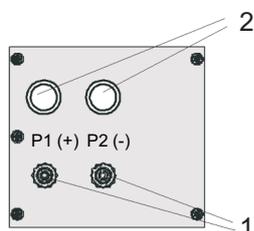
5.5 Medição eletrônica de pressão


Fig. 5.8 Unidade de medição de pressão diferencial

A unidade de medição de pressão diferencial tem duas conexões, P1 e P2 (1), entre as quais o diferencial de pressão de, no máximo, 200mbar pode ser medido. A maior for a pressão deve estar em P1 e a pressão mais baixa em P2. As válvulas (2) são utilizadas para sangria.

A unidade de medição do excesso de pressão tem seis conexões (3, P3 - P8) e sua faixa de medição da pressão excessiva é de 0-600mbar. As válvulas (4) são usadas para o sangramento das linhas de medição.

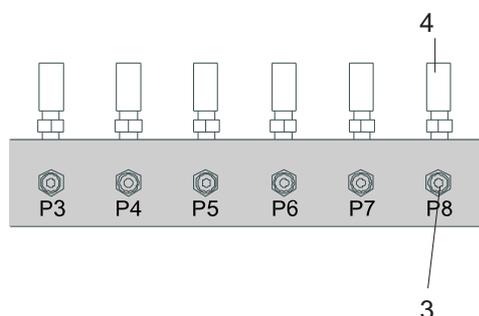


Fig. 5.9 Unidade de medição do excesso de pressão

O procedimento para a sangria das unidades de medição eletrônica da pressão é a seguinte:

- Fechar todas as válvulas de sangria;
- Conectar as linhas de medição e a seção de tubulação em estudo às conexões necessárias;
- Abrir as válvulas de alimentação e retorno;
- Ligar a bomba.

Um poderoso jato de água flui através da seção de tubo e das linhas de medição.

- Abrir levemente as válvulas de sangria das conexões utilizadas até que bolhas de ar não mais sejam visíveis nas linhas de medição.

ATENÇÃO! Nunca abrir as válvulas de sangria para conexões não usadas. Caso contrário, a água pode escapar dessas conexões.

6 Experimentos

Nesta seção algumas experimentos são descritos como exemplos de experimentos que podem ser realizados com esta unidade. A variedade possível de experimentos não faz nenhuma reivindicação de ser exaustiva, mas destina-se a servir como um estímulo para experimentos criados pelo próprio usuário.

As descrições experimentais são divididas em uma **seção de princípios básicos** contendo o cálculo as fórmulas mais importantes, **o método experimental real** com a gravação dos valores medidos e **uma comparação entre o cálculo e a experiência**.

Os resultados das medições apresentados não devem ser encarados como valores de referência ou de calibração para todas as condições. Dependendo dos componentes individuais utilizados e da habilidade do operador, variações menores ou maiores podem ocorrer.

6.1 Fluxo em tubulações com atrito

6.1.1 Princípios básicos

Nestes experimentos, a perda de pressão p_v ou a perda de carga h_v por um fluxo sujeito a fricção vai ser determinada empiricamente.

Com o fluxo turbulento no interior da tubulação, onde o fluxo é considerado estável em números de Reynolds $Re > 2320$, a perda de pressão é proporcional à

- Comprimento l do tubo;
- Coeficiente de atrito da tubulação λ ;
- Densidade o meio de escoamento ρ ;
- Quadrado da velocidade de fluxo v .

Além disso, a perda de pressão aumenta à medida que o diâmetro do tubo diminui. A perda de pressão é calculada da seguinte forma:

$$p_v = \frac{\lambda \times l}{2d} \rho v^2$$

A perda de carga h_v associada é calculada da seguinte forma

$$h_v = \frac{\lambda \times l}{d} \times \frac{v^2}{2g}$$

No caso do fluxo turbulento no interior da tubulação ($Re > 2320$), o coeficiente de atrito da tubulação depende da rugosidade k do tubo e do número Reynolds (Re). A rugosidade k do tubo define a altura da irregularidade da parede em *mm*. A rugosidade dos tubos experimentais está listada em uma tabela no *Apêndice*. A relação entre Re e k é mostrada no diagrama com base em *Colebrook* e *Nikuradse*. Aqui, a rugosidade da parede k está relacionada com o diâmetro do tubo d .

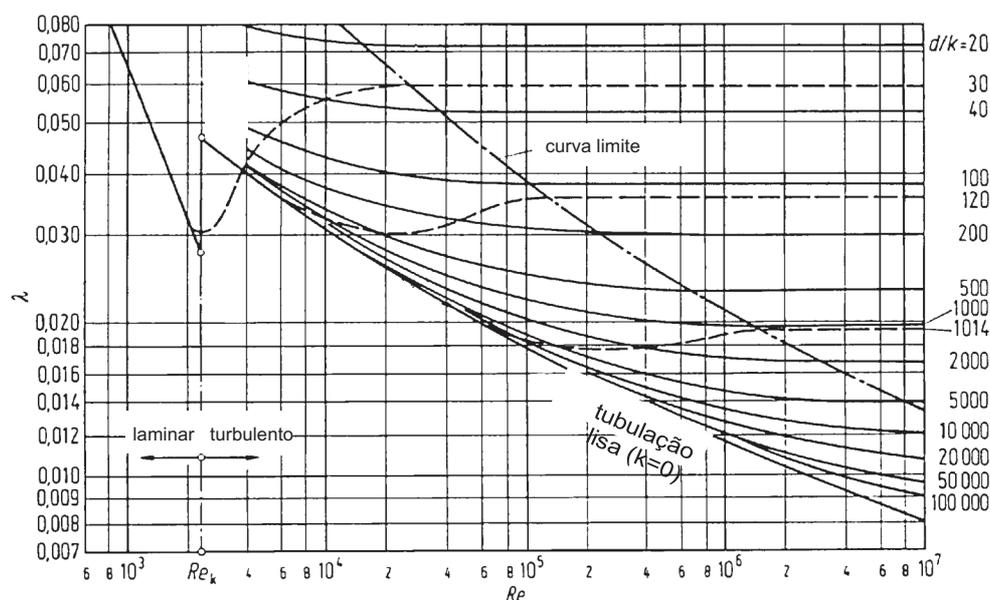


Fig. 6.1 Coeficiente de atrito da tubulação conforme *Colebrook* e *Nikuradse* (Retirado de "Dubbel: Taschenbuch für den Maschinenbau") [Engineering Handbook]

O número de Reynolds Re é calculado a partir do diâmetro da tubulação d , velocidade de fluxo v e viscosidade cinemática ν .

$$Re = \frac{v \times d}{\nu}.$$

A viscosidade cinemática da água pode ser verificada na Tabela 7. 1 como uma função da temperatura. A velocidade de fluxo v é calculada a partir do fluxo volumétrica \dot{V} e da seção transversal da tubulação:

$$v = \frac{4\dot{V}}{\pi \times d^2}.$$

Para tubos hidráulicos lisos ($Re < \frac{65d}{k}$) e com número de Reynolds na faixa de $2320 < Re < 10^5$ o coeficiente de atrito da tubulação é calculado por meio da fórmula *Blasius*:

$$\lambda = \frac{0,3164}{\sqrt[4]{Re}}$$

Em tubos na faixa de transição para tubos ásperos ($\frac{65d}{k} < Re < \frac{1300d}{k}$), faixa esta localizada abaixo da curva de limite no diagrama, o coeficiente de atrito da tubulação é calculado de acordo com *Colebrook*:

$$\lambda = \left[2 \times \log \left(\frac{2,51}{Re \sqrt{\lambda}} + \frac{0,27}{d/k} \right) \right]$$

Esta é uma fórmula implícita que tem que ser resolvida de forma iterativa. Primeiramente, deve-se estimar λ , colocá-lo na fórmula e calcular uma aproximação inicial.

Esta aproximação é reutilizada na equação para calcular uma segunda aproximação.

Se o valor estimado é tomado a partir do diagrama *Colebrook* e *Nikuradse*, a aproximação inicial é em geral suficientemente precisa e os valores diferem apenas depois da terceira casa decimal.

HM 112 BANCADA DE TREINAMENTO EM HIDRODINÂMICA

6.1.2 Método experimental

Neste experimento, tubos de diferentes materiais (aço galvanizado, cobre e PVC) são comparados. As medições são realizadas sobre um comprimento de 1000 mm.

O medidor de pressão está ligado e as medições são realizadas como descrito na seção 5.3.

A taxa de fluxo \dot{v} é indicada em m^3/h .

As exibições no manômetro de dois tubos ou do sensor de pressão diferencial bem como no rotâmetro são notadas.

Os resultados medidos:

Seção de Tubulação	Fluxo Volumétrico \dot{V} em m^3/h	Diferença de Pressão p_v em <i>mbar</i>	Perda de Carga h_v em <i>mm</i>
2 Aço Galvanizado, Ø1/2"	1.2	26	255
3 Cobre 18 x 1	1.2	19	220
4 PVC 20 x 1.5	1.2	15	160

6.1.3 Comparação com valores calculados

Aqui, as perdas de carga medidas são comparados com os valores calculados matematicamente. Para o cálculo, a rugosidade da parede dos tubos utilizados tem que ser conhecida.

Rugosidade da parede de tubos experimentais		
Material	Superfície	Rugosidade da Parede Interna k
Tubo de Cobre, <i>Cu</i>	Tecnicamente lisa	0.001 mm
Tubo de PVC	Tecnicamente lisa	0.001 mm
Tubo de Aço, <i>St</i>	Galvanizada	0.1 mm

Em termos da viscosidade cinemática da água, para uma temperatura de 30 °C, um valor de $\nu = 0,801 \times 10^{-6} m^2/s$ é lido a partir da Tabela 7.1. Estes dados são utilizados no cálculo da perda de carga.

Cálculo da Perda de Carga							
Seção de Tubulação	Diâmetro Interno d em mm	Taxa de Fluxo Volumétrico		Velocidade de Fluxo em m/s	Número de Reynolds Re	d/k	smooth / rough
		\dot{V} em m^3/h	\dot{V} em m^3/s				
2 St, gal. 1/2"	16	1,2	$33 \cdot 10^{-5}$	1,66	33159	160	Liso
3 Cu 18 x 1	16	1,2	$33 \cdot 10^{-5}$	1,66	33159	16000	Liso
4 PVC 20 x 1.5	17	1,2	$33 \cdot 10^{-5}$	1,47	31199	17000	Liso

Seção de Tubulação	Cálculo de Acordo com	Coefficiente de fricção no tubo	Perda de carga calculada h_v em m	Perda de carga medida h_v em m	Variação
2 St, gal. 1/2"	<i>Colebrook</i>	0,0335	0,253	0,255	+ 0,78 %
3 Cu 18 x 1	<i>Blasius</i>	0,0234	0,217	0,220	+1,36 %
4 PVC 20 x 1,5	<i>Blasius</i>	0,0238	0,154	0,160	+ 3,75%

Tendo em conta a precisão da leitura de coluna de água de $\pm 1mm$, a concordância entre o cálculo e o experimento pode ser classificada como boa.

6.2 Coeficientes de resistência para componentes especiais de tubulação

6.3 Princípios básicos

Componentes de tubos especiais e acessórios, tais como tubos curvados ou em cotovelo, ramos de tubos, tubos com alterações na seção transversal como também válvulas e abas produzem perdas de pressão adicionais além das perdas por fricção nas paredes internas.

Considerando alterações na seção transversal e as mudanças associadas à velocidade, a perda total de pressão deve levar em conta o componente de perda de pressão de Bernoulli (pressão dinâmica). A equação de Bernoulli com termo de perda de pressão é:

$$\frac{\rho v_1^2}{2} + p_1 + \rho g z_1 = \frac{\rho v_2^2}{2} + p_2 + \rho g z_2 + \Delta p_v.$$

Partindo do princípio de que as alturas z_1 e z_2 são iguais, temos a **perda de pressão total** mensurável

$$\Delta p_{ges} = p_1 - p_2 = \frac{\rho}{2} (v_2^2 - v_1^2) + \Delta p_v.$$

Do mesmo modo, a perda de carga é, portanto,

$$h_{v,ges} = \frac{1}{2g} (v_2^2 - v_1^2) + h_v.$$

Ao contrário das perdas por atrito na parede investigadas na seção anterior, à exceção de alguns casos especiais, a resistência ao fluxo adicional não pode ser calculada exatamente.

Para os vários elementos, a literatura especifica e coeficientes de resistência obtidos empiricamente. Eles podem ser usados para calcular facilmente as perdas de pressão adicionais:

$$p_{vz} = \zeta \rho \frac{v^2}{2}.$$

ou para a perda de carga

$$h_{vz} = \zeta \frac{v^2}{2g}$$

Isto significa que, para a perda de carga total, podemos afirmar que

$$h_{v,ges} = \frac{1}{2g} (v_2^2 - v_1^2) + \frac{\lambda_1 l_1}{2g} \frac{v_1^2}{d_1} + \frac{\lambda_2 l_2}{2g} \frac{v_2^2}{d_2} + \zeta \rho \frac{v_2^2}{2}$$

A resistência por atrito do tubo deve ser determinada separadamente para as seções antes e após a mudança de seção transversal. Por outro lado, o coeficiente de resistência é apenas relacionado com a velocidade v_2 após a mudança de seção transversal.

Se as velocidades são iguais, não há nenhuma componente de pressão dinâmica e uma componente de atrito combinada a partir dos diversos tubos é utilizada.

A perda de carga total medida e o atrito conhecido do tubo pode ser utilizado para determinar o coeficiente de resistência ζ :

$$\zeta = \frac{2h_{v,ges} g}{v_2^2} - \left[1 - \left(\frac{d_2}{d_1} \right)^4 \right] - \left[\lambda_1 \frac{l_1}{d_1} \left(\frac{d_2}{d_1} \right)^4 + \lambda_2 \frac{l_2}{d_2} \right]$$

Com nenhuma mudança de seção transversal ($\frac{d_2}{d_1} = 1$), a expressão é simplificada:

$$\zeta = \frac{2h_{v,ges} g}{v_2^2} - \lambda \frac{l}{d}$$

6.3.1 Pipe elbow

Para os cotovelos de tubo, o coeficiente de resistência depende do ângulo de desvio do fluxo e a relação do raio de cotovelo para o diâmetro do tubo. Além disso, o coeficiente de resistências influenciada pela forma de cotovelo. Para este caso particular de um tubo de cotovelo com 90° de desvio, o diagrama da Fig. 6.3 é aplicável para tubos lisos.

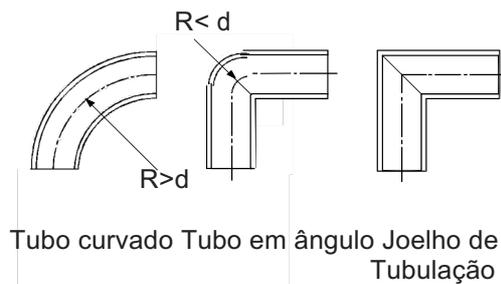


Fig. 6.2 Vários componentes de tubulação em cotovelo

Para tubos em ângulo, isto é, com raio de cotovelo menor que o diâmetro do tubo ($R/d < 1$) os coeficientes de resistência para peças em formato de joelho são aproximadamente aplicáveis.

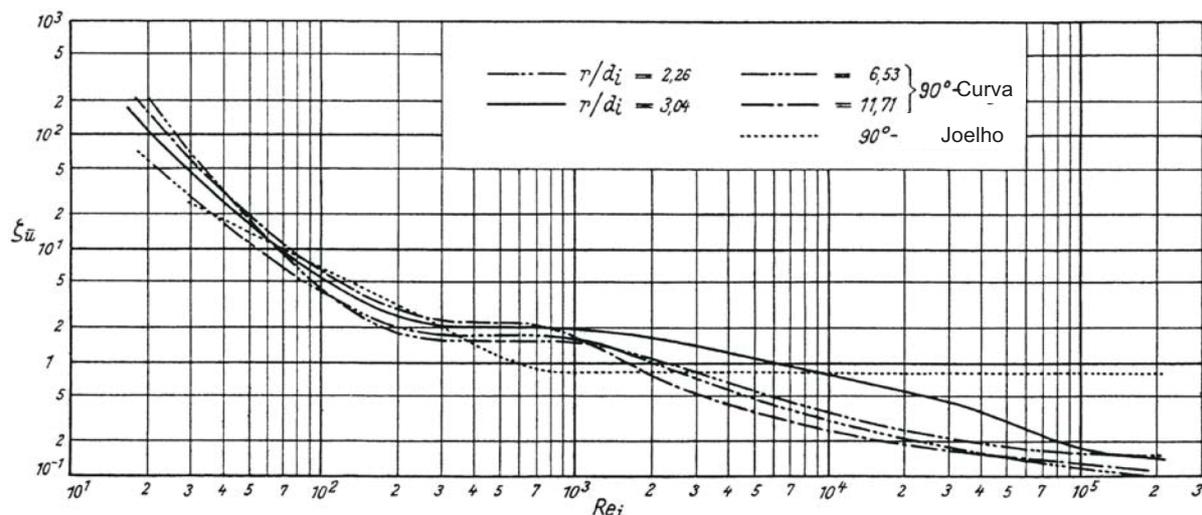


Fig. 6.3 Coeficientes de resistência de cotovelos em 90° lisos (VDI Wärmeatlas 10. Aufl. 2006)

Para tubos em cotovelo de 90° amarrados juntos (necessário considerar efeitos de interação entre cotovelos), como no caso desta bancada, o valor total de resistência deve ser calculado utilizando a seguinte fórmula:

$$\zeta = 2 \times 0,7 \times \zeta_{90^\circ} \text{ (VDI Wärmeatlas)}$$

HM 112 BANCADA DE TREINAMENTO EM HIDRODINÂMICA

6.3.2 Método do experimento

Deve-se conectar o manômetro de tubo duplo às glândulas de medição de tubo em ângulo (seção de tubulação 8) e realizar a medição conforme descrito na seção 5.3. Observe as indicações no manômetro de tubo duplo ou no sensor de pressão diferencial e no medidor de vazão.

Repita a medição com o tubo curvado (seção de tubulação 8).

Os resultados medidos:

Seção de Tubulação	Fluxo Volumétrico \dot{V} em m^3/h	Diferença de Pressão p_v em mbar	Perda de Carga $h_{v, ges}$ em mm
2 x Âng. 90° PVC 20 x 1.5	1,2	16	163
2 x Curvat. 90° PVC 20 x 1.5	1,2	9	92

6.3.3 Cálculo dos coeficientes de resistência

Os valores medidos irão ser utilizados para determinar a coeficientes de resistência para os tubos em ângulo e com curvatura. Como nenhuma alteração da seção transversal ocorre no presente caso, a fórmula simplificada para ζ pode ser usada:

$$\zeta = \frac{2h_{v,ges} g}{v^2} - \lambda \frac{l}{d}$$

Para l , o comprimento do tubo entre as conexões de medição relacionado com a linha de centro da tubulação é utilizado.

Em termos da viscosidade cinemática da água, para uma temperatura de 12°C, temos um valor de $\nu = 1,227 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ tomado da Tabela 7.1

Cálculo dos coeficientes de resistência ζ para tubos em ângulo e com curvatura

Seção de Tubulação	Diâmetro interno d em mm	Comprimento l em mm	Fluxo Volumétrico		Velocidade de fluxo v em m/s	Número de Reynolds, Re	d/k
			\dot{V} in m^3/h	\dot{V} in m^3/s			
8 Ângulo	17	320	1,2	$33 \cdot 10^{-5}$	1,45	20090	17000
8 Curvat.	17	320	11,2	$33 \cdot 10^{-5}$	1,45	20090	17000

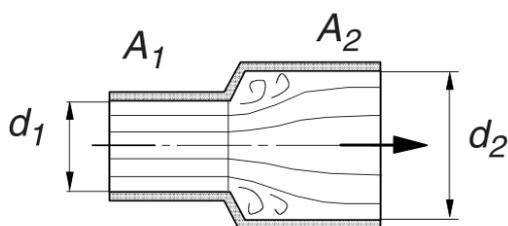
Seção de Tubulação	Cálculo de Acordo com	Coefficiente de atrito do tubo λ	Perda de carga medida $h_{v,ges}$ em m	Coefficiente de resistência ζ	Coefficiente de resistência ζ_{90°
8 Ângulo	<i>Blasius</i>	0,0266	0,163	1,01	0,72
8 Curvat.	<i>Blasius</i>	0,0266	0,092	0,35	0,25

O coeficiente de resistência para um tubo em ângulo corresponde quase com o valor lido a partir do diagrama (Fig. 6.3) para a parte do tubo em joelho ($\zeta = 0,78$).

O coeficiente de resistência para os tubos com curvatura corresponde com o valor de $\zeta = 0,25$ lido a partir do diagrama (Fig 6.3.), para $r/d_i = 2,26$ - a proporção é, na verdade, a localizada no ponto $R/d = 2,35$.

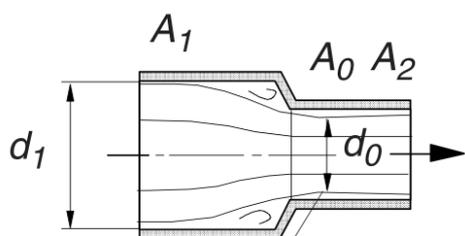
6.3.4 Changes of cross-section

As alterações de secção transversal disponíveis na unidade experimental assumem a forma de contínua contração ou expansão. Para uma mudança contínua de secção transversal, os coeficientes de resistência podem ser tomados a partir de diagramas especiais (secção 7.3). Para uma mudança descontínua em secção transversal, o coeficiente de resistência pode ser derivado a partir da equação de Bernoulli e do princípio do momento linear.



Para **expansão** da área da secção transversal:

$$\zeta = \left[\left(\frac{A_2}{A_1} \right) - 1 \right]^2 = \left[\left(\frac{d_2}{d_1} \right)^2 - 1 \right]^2$$



Analogamente, para **contração**:

$$\zeta = \left[\left(\frac{A_2}{A_0} \right) - 1 \right]^2 = \left[\left(\frac{d_2}{d_0} \right)^2 - 1 \right]^2$$

Contração da Seção Transversal do Fluxo

Fig. 6.4 Variação da área da secção transversal

Aqui, A_0 e d_0 representam, respectivamente, a secção transversal de constrição. Como esta é normalmente desconhecida, o coeficiente de resistência para contração é tomado a partir do gráfico abaixo.

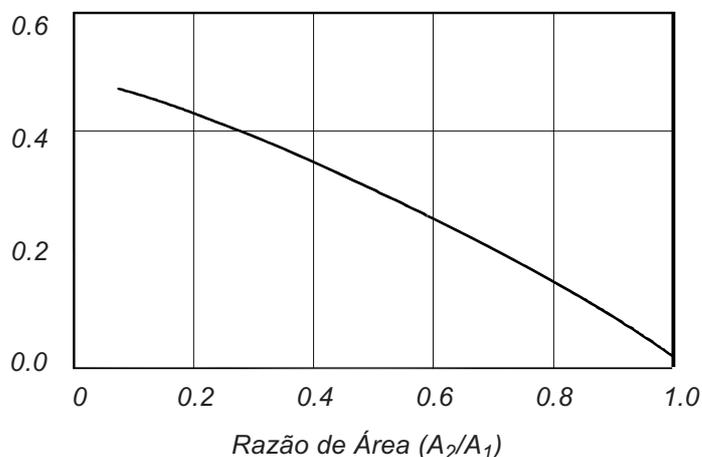


Fig. 6.5 Coeficiente de resistência para uma contração descontínua

6.3.5 Método do experimento

Deve-se conectar o manômetro de dois tubos ou um sensor de pressão diferencial (P2/1) às glândulas de medição do componente da tubulação onde ocorre expansão contínua da seção transversal (seção de tubulação 6) e realizar medição conforme descrito na seção 5.3. Observe as indicações no manômetro de dois tubos e do rotâmetro. Certifique-se de que os sinais são medidos corretamente.

Repita a medição com contração contínua de seção transversal (seção de tubulação 5).

Resultados da Medição	
Seção de Tubulação 6: Expansão de Seção Transversal 20 - 32, contínua, $d_1=17\text{ mm}$, $d_2=28.6\text{ mm}$, $l=145\text{ mm}$	
Vazão volumétrica \dot{V} em m^3/h	Perda de carga $h_{v,ges}$ em mm
0,7	0
0,9	0
10,8	0
1,2	0
1,8	-15

Resultados da Medição	
Seção de Tubulação 5: Contração de seção transversal 20 - 16, contínua, $d_1=17\text{ mm}$, $d_2=14.6\text{ mm}$, $l=145\text{ mm}$	
Vazão volumétrica \dot{V} em m^3/h	Perda de carga $h_{v,ges}$ em mm
0.7	+200
0.9	+300
10.8	+415
1.2	+545
1.3	+570

É interessante que não há perda de pressão na expansão; na verdade, um ganho de pressão ocorre. O aumento de pressão causada pela perda de velocidade de saída compensa a queda de pressão causada pelo atrito no tubo, a um volume de fluxo de 30 l/min.

6.4 Coeficiente de resistência para acessórios em uniões de tubulações

A unidade experimental tem uma seção de tubo em que vários acessórios podem ser instalados. Nesta seção, o coeficiente de resistência para:

- Torneira reguladora de válvula esférica “ball cock”;
- Válvula de assento inclinado;
- Válvula de membrana;
- Armadilha para impurezas;
- Válvula anti-retorno;

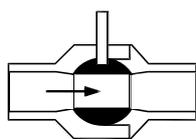


Fig. 6.8 Torneira reguladora de válvula esférica

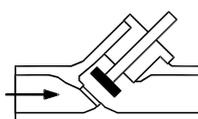


Fig. 6.6 Válvula de assento inclinado

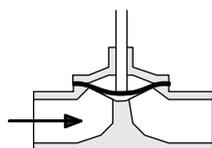


Fig. 6.7 Válvula de membrana

é determinado através da medição da queda de pressão. Quando aberto, a torneira reguladora tem uma seção transversal totalmente lisa e de livre passagem. Pode-se, por conseguinte, esperar as menores perdas de pressão. Coeficientes de resistência tão baixos quanto $\zeta_R = 0,03$ podem ser alcançados.

Devido à sua seção transversal de passagem irregular, a válvula de assento inclinada tem um coeficiente de resistência significativamente maior na faixa de $\zeta_R = 1,5 - 2,0$. No entanto, este coeficiente é significativamente mais favorável em termos de fluxo do que no caso uma válvula de corte tipo globo projetada conforme o padrão de rosqueamento para baixo DIN, em que o fluxo tem que ser desviado em 90° duas vezes. Aqui, um coeficiente de resistência de cerca de $\zeta_R = 3$ pode ser esperado.

Para a **válvula de membrana**, coeficientes de resistência ainda mais elevados ($\zeta_R = 5 - 8,5$) podem ser esperados. O valor da resistência para a armadilha de impurezas depende do elemento filtrante. Quanto menor seção transversal de passagem

dos furos, maior o coeficiente de resistência.

Válvulas anti-retorno são dadas como possuindo coeficientes de resistência de $\zeta_R = 3,5 - 5,0$ na literatura.

6.4.1 Método do experimento

Deve-se conectar o manômetro de dois tubos ou sensor de pressão diferencial para as glândulas de medição para o encaixe relevante (exão tubo s 7) e executar Medição conforme descrito no capítulo 5.3. Nota exibida no manômetro dois tubos ou sensores e rotameter em uma tabela.

Acessório	Vazão volumétrica \dot{V} em m^3/h	Diferença de Pressão $\Delta p_{v, ges}$ em $mbar$	Perda de carga $h_{v, ges}$ em mm
Torneira reguladora de válvula esférica	0,4	0,8	8
Válvula de membrana	0,4	9	88
Válvula de assento inclinado	0,4	2,8	27
Armadilha de impureza	0,4	50	491
Válvula anti-retorno	0,4	5	49

Como esperado, a torneira reguladora de válvula esférica demonstra uma resistência ao fluxo particularmente baixa.

A válvula de assento inclinado não é tão boa quanto a torneira reguladora de válvula esférica, mas tem significativamente menor resistência do que a válvula de membrana.

Devido à inversão abrupta desfavorável da direcção do fluxo, a válvula de membrana demonstra uma resistência particularmente elevada.

No entanto, uma resistência ainda maior pode ser observada na armadilha de impureza. Esta resistência depende fundamentalmente do tamanho dos furos da malha do filtro e do nível de contaminação.

6.4.2 Cálculo dos coeficientes de resistência

Os coeficientes de resistência para os acessórios são agora calculados através da seguinte fórmula:

$$\zeta_R = \frac{2h_{v,ges} g}{v^2} - \lambda \frac{l}{d}$$

A distância entre as conexões nos pontos onde são extraídas medições é utilizada como o comprimento l .

Cálculo de coeficientes de resistência ζ para acessórios

Acessório	Diâmetro interno d em mm	Comprimento l em mm	Fluxo volumétrico		Velocidade de fluxo v em m/s	Número de Reynolds, Re	d/k
			V in m^3/h	V in m^3/s			
Torneira reguladora de válvula esférica	17	160	0,4	$11.6 \cdot 10^{-5}$	0,51	7066	17000
Válvula de membrana	17	160	0,4	$11.6 \cdot 10^{-5}$	0,51	7066	17000
Válvula de assento inclinado	17	160	0,4	$11.6 \cdot 10^{-5}$	0,51	7066	17000
Armadilha de impureza	17	160	0,4	$11.6 \cdot 10^{-5}$	0,51	7066	17000
Válvula anti-retorno	17	160	0,4	$11.6 \cdot 10^{-5}$	0,51	7066	17000

Acessório	Cálculo de λ Acordo com	Coefficiente de atrito do tubo λ	Perda de carga medida $h_{v,ges}$ em m	Coefficiente de resistência ζ
Torneira reguladora de válvula esférica	Blasius	0,035	0,008	0,27
Válvula de membrana	Blasius	0,035	0,088	6,31
Válvula de assento inclinado	Blasius	0,035	0,027	1,71
Armadilha de impureza	Blasius	0,035	0,491	36,71
Válvula anti-retorno	Blasius	0,035	0,049	3,37

Conclui-se que os coeficientes de resistência dados acima podem ser confirmados no experimento. O coeficiente de resistência para a armadilha de impureza depende dos insertos de filtragem e do nível de contaminação.

6.5 Características de abertura de dispositivos de corte de fluxo

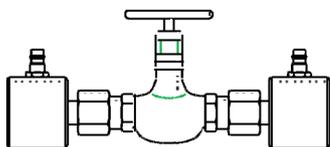


Fig. 6.9 Dispositivo de corte

Nesta experiência, o comportamento restringidor de dispositivos de corte de fluxo é demonstrado utilizando o exemplo da válvula de membrana.

Se dispositivos de corte são utilizados para estabelecer níveis específicos de fluxo volumétrico em sistemas de tubulação, em níveis baixos de abertura e de fluxo volumétrico, considerável atenção deve ser dada às capacidades de dosagem apropriadas.

O ideal é uma curva característica progressiva, onde o nível de abertura sobe lentamente no início, para, em seguida, subir mais rapidamente. O ajustamento do dispositivo de corte em um valor absoluto em particular resulta em uma correspondente variação percentual do fluxo volumétrico.

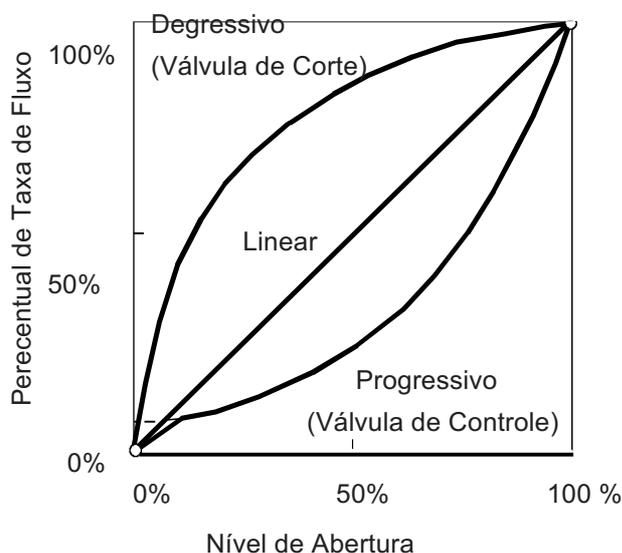


Fig. 6.10 Características de Abertura de Válvulas

Por exemplo:

Se uma válvula com uma abertura máxima de 10 revoluções é aberta de 1 a 2 revoluções, ou seja, 10% em termos absolutos, e o fluxo volumétrico irá mostrar um aumento relativo de, por exemplo, 30%, ou seja, de 1 para 1,3 l/min.

Esta chamada curva característica de "porcentagem igualmente distribuída" é designada como progressiva no diagrama adjacente na Fig. 6.10.

Plotados ao lado deste estão uma curva linear e uma curva característica degressiva, como ocorre em dispositivos de corte típicos.

6.5.1 Método do experimento

A válvula de membrana é aparafusado na secção de tubo 7 e fechado, tanto quanto for possível.

Abra a válvula de 1/4 de volta de cada vez e observe o fluxo volumétrica.

Measured results:

Número de Revoluções	Fluxo Volumétrico \dot{V} em m ³ /h
0	0
1/4	0
1/2	0.524
3/4	0.752
1	0.953
1-1/4	1.039
1-1/2	1.090
1-3/4	1.102
2	1.113
2-1/4	1.132
2-1/2	1.133
2-3/4	1.170
3	1.181

6.5.2 Avaliação e Interpretação do Experimento

Os valores medidos e gravados podem ser representados graficamente em função da abertura da válvula de membrana.

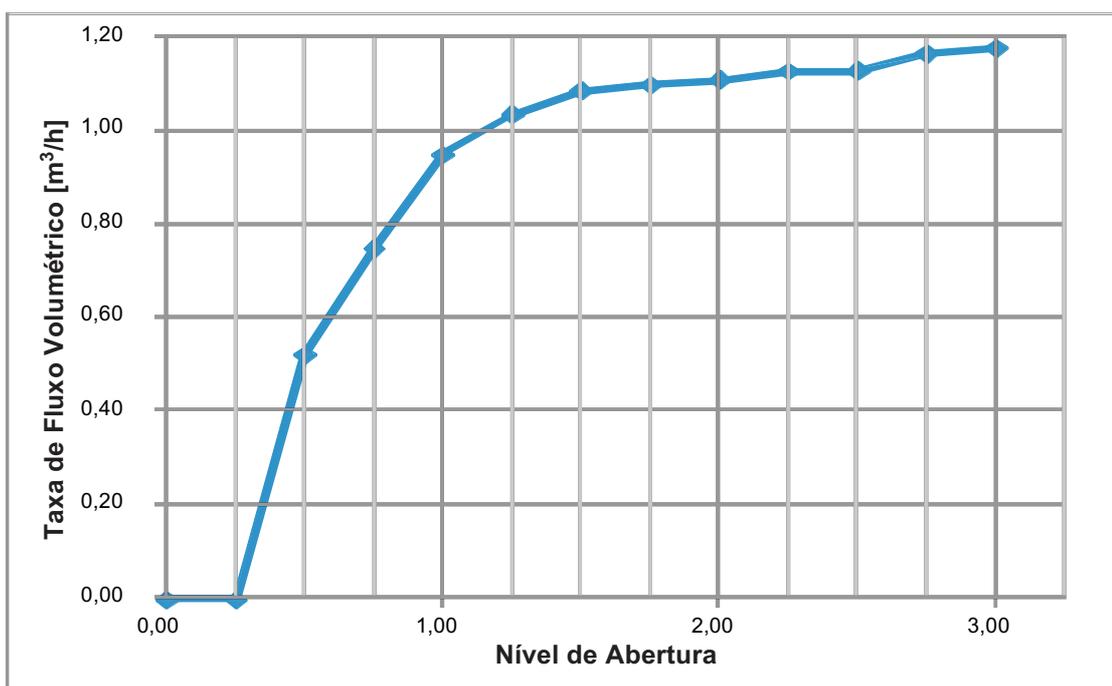


Fig. 6.11 Curva Característica da abertura de uma válvula

A válvula se abre rapidamente e é, portanto, um dispositivo de corte típica. A válvula de membrana é igualmente inadequado para restringir um fluxo volumétrica como a válvula de assento inclinado. Em contrapartida, a torneira reguladora de válvula esférica é muito mais adequada como um dispositivo de corte. No entanto, nenhum dos dispositivos de corte incluído com esta unidade experimental tem uma curva característica puramente progressiva ou possuidora das boas propriedades restritivas de fluxo a ela associadas.

6.6 Pitot tube

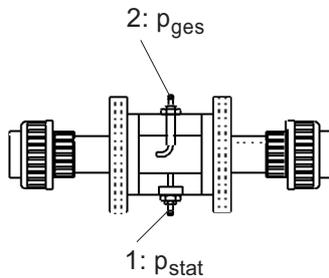


Fig. 6.12 Tubo de Pitot

O tubo de Pitot mede tanto a pressão estática (1) quanto a pressão total (2). A diferença entre estes dois valores dá o valor da pressão dinâmica p_{dyn} .

$$p_{dyn} = p_{ges} - p_{stat}$$

A pressão dinâmica é proporcional ao quadrado da velocidade de fluxo e pode ser calculada como se segue:

$$p_{dyn} = \frac{\rho}{2} v^2, \text{ onde}$$

ρ : Densidade específica de água.

A velocidade de fluxo v pode ser determinada a partir do fluxo volumétrico \dot{V} e a secção transversal do fluxo de área A .

$$v = \frac{\dot{V}}{A}$$

A diferença de pressão pode ser assim utilizada para determinar o fluxo volumétrica para uma dada seção transversal do fluxo.

6.6.1 Método experimental

O objeto de medição do tubo de Pitot é aparafusado na seção de tubulação 7. As glândulas de medição estão ligadas ao manômetro de dois tubos ou ao sensor de pressão diferencial. Deve-se assegurar que a pressão estática é sempre menor do que a pressão total. Os medições são realizadas de acordo com as instruções na seção 5.3. O fluxo volumétrico é restrito com a válvula de assento inclinada na entrada da seção em teste.

Obtemos os seguintes valores medidos:

Vazão volumétrica \dot{V} em m^3/h	Pressão dinâmica p_{dyn} em $mbar$	Altura manométrica dinâmica h_{dyn} em mm
1,36	21,5	211
1,30	19,0	186
1,09	12,6	124
0,92	9,2	90
0,76	6,6	65

A temperatura da água é 20 °C, o que implica uma densidade específica

$$\rho = 998,2 \frac{kg}{m^3}.$$

6.6.2 Comparação com o cálculo

A seção circular de livre circulação na tubulação com área A , é a diferença entre a seção transversal do tubo de livre passagem de diâmetro d_1 tubo e a seção transversal da tubulação para medição de pressão total no tubo de Pitot, que tem diâmetro d_2 .

$$A = \frac{(d_1^2 - d_2^2) \times \pi}{4}$$

Para o fluxos turbulentos estaveis em tubos de de seção transversal circular, a velocidade média v é descrita pela relação entre a própria velocidade média de fluxo v e a velocidade de fluxo máxima v_{max} tomando em consideração o fator de correção 0,84.

$$\frac{v}{v_{max}} \approx 0,84$$

Isto produz um valor de velocidade média de fluxo v .

$$v \approx v_{max} \times 0,84.$$

Tem-se, como resultado, uma velocidade de fluxo calculada:

$$\dot{V} = A \times v.$$

ρ em kg/m^3	p_{dyn} em mbar	\dot{V} medida em m^3/h	\dot{V} calculada em m^3/h
998,2	21,5	1,36	1
998,2	19,0	1,30	1
998,2	12,6	1,09	1
998,2	9,2	0,92	0
998,2	6,6	0,76	0

A consistência pode ser descrito como adequada.

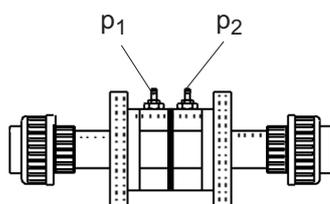
6.7 Volumétrica flow medição with nozzle/orifice


Fig. 6.13 Nozzle/orifice

O fluxo volumétrico não pode ser determinado a partir da pressão dinâmica isoladamente. Na mecânica técnica dos fluidos, orifícios ou bocais são freqüentemente usados para determinar a vazão volumétrica. Usando um valor constante, o fluxo volumétrica de acordo com a DIN 1952 e a EN ISO 5167 pode ser calculada como segue abaixo:

$$\dot{v} = \alpha \varepsilon A_d \sqrt{\frac{2 \Delta p}{\rho}}$$

- α : Coeficiente de fluxo;
- ε : Coeficiente de expansão;
- A_d : Área de seção transversal do orifício;
- Δp : Diferença de pressão ($p_1 - p_2$);
- ρ : Densidade específica.

Os coeficientes de expansão e fluxo de diâmetros na gama de 50 a 500 ou 1.000 milímetros são tomadas a partir da norma DIN1952 e da EN ISO 5167.

6.7.1 Método experimental

Uma vez que o orifício ou o bocal sejam montados no objeto de medição, são instalados na seção de tubulação 7.

Cuidado! Assegurar-se de que o fluxo está na direção correta. Ao conectar as mangueiras às glândulas de medição e os manômetros de pressão diferencial ou sensores, é necessário garantir que os sinais estão corretos. As medições são realizados em conformidade com a seção 5.3. O fluxo volumétrico é ajustado através da válvula de redução na entrada da seção de tubulação selecionada.

Os seguintes valores medidos são obtidos:

Objeto de medição: Bocal; Temperatura da água de 20 °C	
Fluxo volumétrico \dot{V} em m^3/h	Pressão diferencial Δp em $mbar$
1,3	28
1,1	20
0,9	13
0,7	9

Objeto de medição: Placa com Orifício; Temperatura da água de 20 °C	
Fluxo volumétrico \dot{V} em m^3/h	Pressão diferencial Δp em $mbar$
1,3	15
1,2	12
1,1	10
0,9	6,5

6.7.2 Comparação com o cálculo

Para calcular o fluxo volumétrico, a área de seção transversal da abertura de interesse é determinada em primeiro lugar.

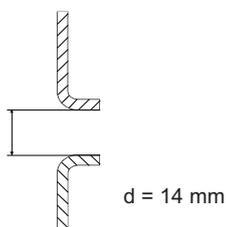
$$A_d = \pi \frac{d^2}{4}$$

Para determinar o coeficiente de fluxo em ambos os experimentos, uma relação de abertura m é necessária.

$$m = \frac{d^2}{D^2}$$

D : diâmetro da tubulação na seção anterior ao dispositivo de corte (28,5 milímetros)

$$A_d = 154 \text{ mm}^2$$



Os valores seguintes são calculados como a razão entre os diâmetros da abertura do orifício e do bocal:

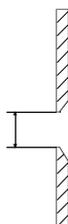
$$\begin{cases} m_{Nozzle} = 0,24 \\ m_{Orifice} = 0,42 \end{cases}$$

Fig. 6.15 Seção transversal do bocal

Temos como resultado coeficientes de fluxo de em concordância com a norma DIN 1952: $\alpha = f(Re, m)$. Os seguintes coeficientes de fluxo podem ser utilizados para o cálculo:

$$\begin{cases} \alpha_{Nozzle} = 1,00 \\ \alpha_{Orifice} = 0,67 \end{cases}$$

$$A_d = 268 \text{ mm}^2$$



$$d = 18.5 \text{ mm}$$

Como a água é um meio incompressível, o seguinte se aplica para os coeficientes de expansão:

$$\begin{cases} \varepsilon_{Nozzle} = 1,00 \\ \varepsilon_{Orifice} = 1,00 \end{cases}$$

Fig. 6.14 Seção transversal do orifício

Uma comparação entre os fluxos volumétricos calculados e medidos dá os resultados nas tabelas abaixo.

Objeto de medição: Bocal					
ρ em kg/m^3	α	ε	Δp em mbar	\dot{V} em m^3/h (medido)	\dot{V} em m^3/h (calculado)
998,2	1	1	28	1,3	1,31
998,2	1	1	20	1,1	1,11
998,2	1	1	13	0,9	0,89
998,2	1	1	9	0,7	0,74

Objeto de medição: Placa com Orifício						
ρ em kg/m^3	α	ε	Δp em <i>mbar</i>	\dot{V} em m^3/h (medido)	\dot{V} em m^3/h (calculado)	Variação (%)
998,2	0,67	1	15	1,3	1,12	-14
998,2	0,67	1	12	1,2	1,01	-16
998,2	0,67	1	10	1,1	0,92	-16
998,2	0,67	1	6,5	0,9	0,74	-18

Enquanto a medição de fluxo volumétrico com o bocal apresenta um resultado excelente, um erro de 14% ou mais ocorre no cálculo utilizando a placa com orifício. A diferença entre o cálculo e a medição é causada pelo coeficiente de fluxo. Os valores retirados da norma DIN 1952 só são aplicáveis em diâmetros de 50 a 1000 mm. À medida que a seção transversal de fluxo aqui é menor ($d = 18,5\text{ mm}$), α deve ser corrigido para $\sim 0,8$ afim de que seja obtida uma comparação significativa com os valores medidos.

6.8 Bocal de Venturi

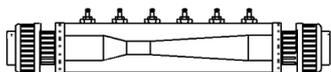


Fig. 6.16 Venturi nozzle

Usando o tubo de Venturi a lei de conservação de energia em mecânica dos fluidos pode ser demonstrada. A mudança de seção transversal está sempre associada a uma mudança de velocidade. Colocando à parte uma ligeira perda devido ao atrito, a pressão total mantém-se constante. A equação de Bernoulli sem elementos de perda é

$$\frac{\rho v_1^2}{2} + p_1 + \rho g z_1 = \frac{\rho v_2^2}{2} + p_2 + \rho g z_2.$$

Partindo do princípio de que as alturas z_1 e z_2 são iguais, tem-se

$$p_1 + \frac{\rho v_1^2}{2} = p_2 + \frac{\rho v_2^2}{2}.$$

Após este rearranjo tem-se

$$p_1 - p_2 = \frac{\rho}{2}(v_2^2 - v_1^2).$$

A Velocidade de Fluxo v pode ser calculada a partir do fluxo volumétrico \dot{V} e da seção transversal de fluxo de área A , pela fórmula abaixo.

$$v = \frac{\dot{V}}{A}$$

6.8.1 Método do experimento

Para medições realizadas no bocal Venturi, são requeridas ou o manômetro de seis tubos ou as conexões de P3 a P8 na unidade de medição de pressão. As glândulas de medição estão ligadas ao equipamento de medição por meio de mangueiras. As medições são realizadas em conformidade com a seção 5.3. O esboço seguinte mostra as seções transversais de fluxo nos pontos de medição.

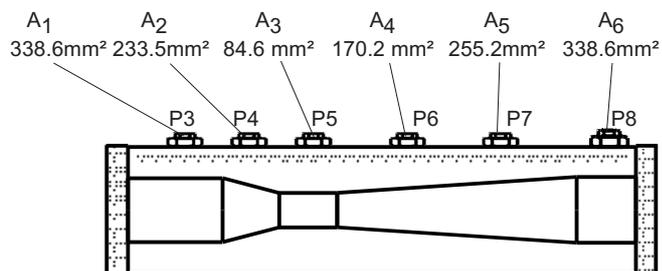


Fig. 6.17 Bocal de Venturi com seção tubular retangular

A pressão mais elevada ocorrerá no ponto de maior seção transversal.

Com um fluxo volumétrico ajustado para $\dot{V} = 0,5 \text{ m}^3/\text{h}$, são obtidas as pressões diferenciais na tabela abaixo.

Ponto de Extração da Medição	Pressão diferencial em <i>mbar</i>	Diferença de altura manométrica em <i>mm</i>
P3 - P4	+ 0	0
P4 - P5	+11	108
P5 - P6	-7	-69
P6 - P7	-2	-20
P7 - P8	-1	-10

6.8.2 Comparação com o cálculo

As seguintes mudanças de energia podem então ser determinadas entre os pontos de medição.

Ponto de Medição n_{n+1}	Variação quadrática da velocidade ($v_{n+1}^2 - v_n^2$).	Diferença de pressão: ($p_n - p_{n+1}$) em <i>mbar</i> (medida)	Diferença de pressão: ($p_n - p_{n+1}$) em <i>mbar</i> (calculada)
3_4	$0,59^2 - 0,41^2$	+ 0	+0,9
4_5	$1,64^2 - 0,59^2$	+11	+11,7
5_6	$0,82^2 - 1,64^2$	-7	-10,1
6_7	$0,54^2 - 0,82^2$	-2	-1,9
7_8	$0,41^2 - 0,54^2$	-1	-0,6

As variações relativamente baixas entre o cálculo e a medição são predominantemente causadas por perdas por atrito.

7 Apêndice
7.1 Dados Técnicos
Dimensões gerais unidade experimental

Comprimento	2220 mm
Largura	820 mm
Altura	1980 mm
Massa	approx. 250 kg
Fonede de Alimentação Elétrica	230 V, 50 Hz
Consumo nominal (potência)	0.75 kW

Alternativas opcionais, consulte a placa de classificação

Bomba

Bomba Centrifuga	
Carga Máxima	24 m
Capacidade Máxima	7 m ³ /h
Tanque de água, capacidade	75 L

Medição da taxa de fluxo

Rotâmetro	
Measuring range	0.4 - 2.5 m ³ /h
Saída	0 - 10 k Ω

Medição de Pressão
Manômetro de dois tubos

Medição da diferença e do excesso de pressão	
Preenchimento do meio	Água
Faixa de Medição (coluna de água)	680 mm

Painel do manômetro de seis tubos

Medição da diferença e do excesso de pressão	
Preenchimento do meio	Água
Faixa de Medição (coluna de água)	390 mm

Transdutor de pressão diferencial

Faixa de de medição 0 ... 200 mbar

Saída 0 ... 10 V

Sensor de excesso de pressão

Faixa de medição 0 ... 600 mbar

Pressão máxima 1.2 bar

Saída 0 ... 10 V

Termômetro

Extensão 0...60 °C

Pipe sections

- Seção de tubulação reta, 1/2", Aço, galvanizada, 1000 mm de comprimento
- Seção de tubulação reta, 18 x 1, Cobre, 1000 mm de comprimento
- Seção de tubulação reta, 20 x 1.5, PVC, 1000 mm de comprimento
- Seção de tubulação continuamente estreitada, 20 x 1.5 a 16 x 1.2, PVC
- Seção de tubulação continuamente expandida, 20 x 1.5 a 32 x 1.8, PVC
- Seção de medição para instalação de diversos objetos de medição
- Seção de tubo em ângulo de 90° e com curvatura de 90°, 20 x 1.5, PVC

Measuring objects

- Válvula de assento inclinado d = 20 mm
- Válvula de membrana d = 20 mm
- Torneira reguladora "ball cock" d = 20 mm
- Válvula anti-retorno d = 20 mm
- Armadilha de impurezas d = 20 mm
- com 4 diferentes tipo de insertos de filtragem
 - Tubo para medição de pressão (Tubo de Pitot) Ø 17 mm
 - (Tubo de Pitot) Ø 3 mm
 - Orifício de medição Ø 18.5 mm
 - Bocal de medição Ø 14 mm
 - Bocal de Venturi Ø 28.4 - 14.0 mm

7.2 Bibliografia

Wolfgang Kalide,
 "Einführung in die technische Strömungslehre"
 (Introdução à Mecânica Técnica dos Fluidos),
 Carl Hanser Verlag, 6th revised edition,
 Munich, Vienna 1984

7.3 Tabelas e Diagramas

Viscosidade cinemática da água em função da temperatura (baseado em Kalide: Technische Strömungslehre [Technical Fluid Mechanics])	
Temperatura [°C]	Viscosidade Cinemática [10 ⁻⁶ m ² /s]
10	1,297
11	1,261
12	1,227
13	1,194
14	1,163
15	1,134
16	1,106
17	1,079
18	1,055
19	1,028
20	1,004
21	0,980
22	0,957
23	0,935
24	0,914
25	0,894
26	0,875
27	0,856
28	0,837
29	0,812
30	0,801

Tab. 7.1

Rugosidade da parede interna

Rugosidade da parede interna em tubulações experimentais		
Material	Superfície	Rugosidade da parede, k
Tubo de Cobre, Cu	Tecnicamente liso	0,001 mm
Tubo de PVC	Tecnicamente liso	0,001 mm
Tubo de aço, St	Galvanizado	0,1 mm

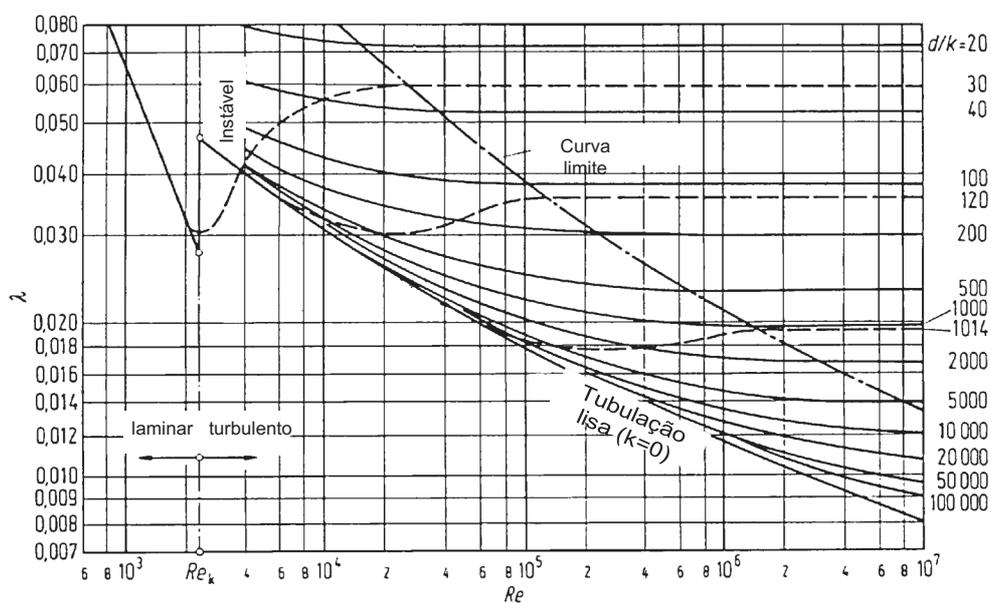
Diagramas


Fig. 7.1 Coeficiente de atrito conforme Colebrook and Nikuradse (retirado de "Dubbel: Taschenbuch für den Maschinenbau") [Engineering Handbook]

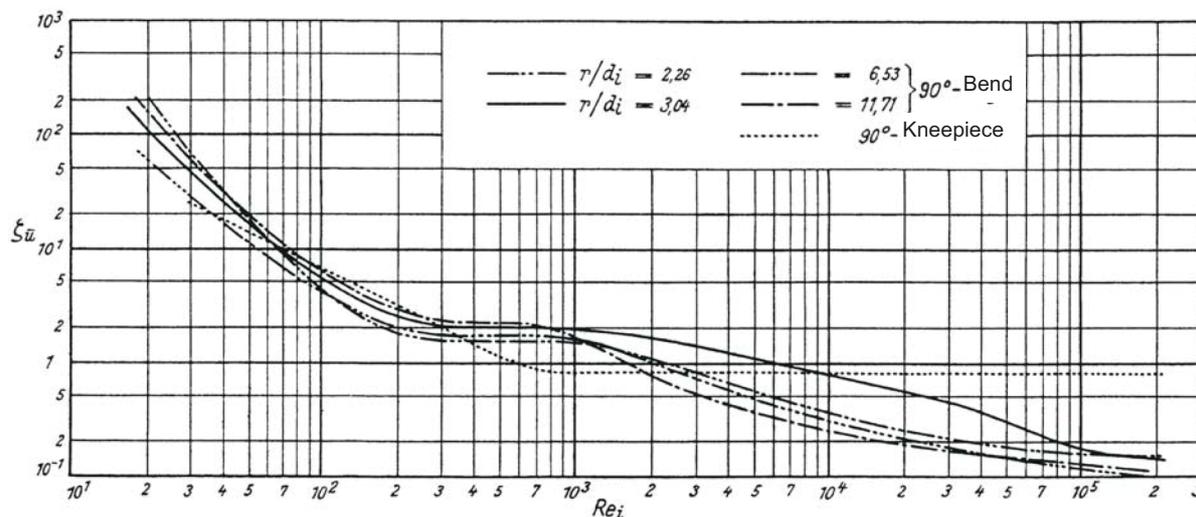


Fig. 7.2 Coeficientes de resistência f de cotovelos 90° lisos (de VDI Wärmeatlas 10. Aufl. 2006)

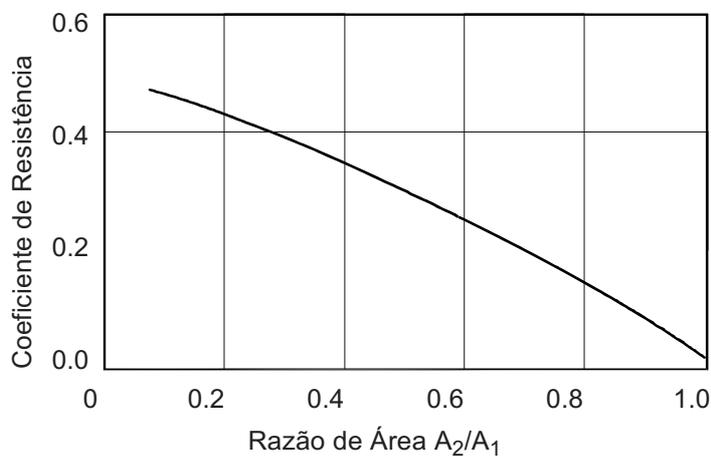


Fig. 7.3 Coeficiente de resistência para estreitamento descontínuo de seção transversal.

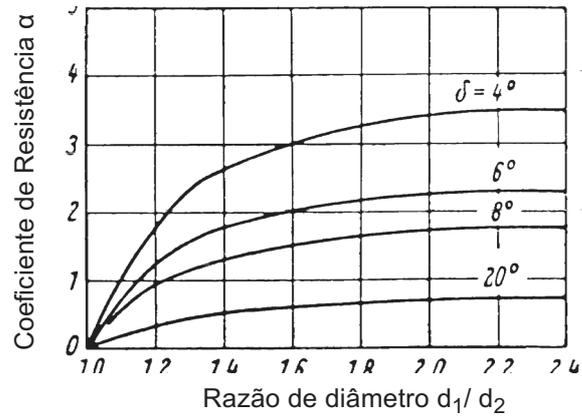


Fig. 7.4 Coeficiente de atrito à parede para seção transversal em contração contínua (bocal) em função do ângulo de contração.

$$\zeta = \alpha \frac{(\lambda_1 + \lambda_2)}{2}$$

(from Kalide: "Einführung in die technische Strömungslehre")

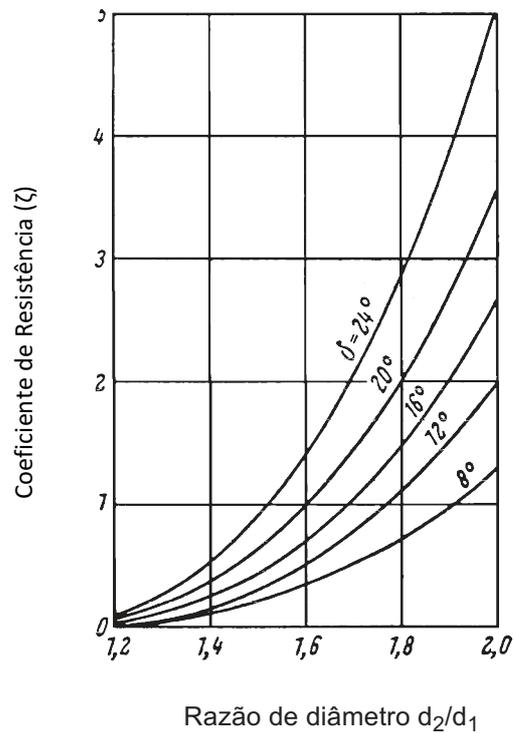


Fig. 7.5 Coeficientes de resistência para seção transversal em expansão contínua (difusor) em função do ângulo de contração δ .

HM 112 **BANCADA DE TREINAMENTO EM HIDRODINÂMICA**

7.4 **Relação de Fórmulas**

Atrito em Tubulações

Todos os Direitos Reservados por G.U.N.T. Gerätebau GmbH®, Barsbüttel, Alemanha 04/2013

Medição efetuada por:		Data:	
Tipo de Seção Tubular	Taxa de vazão volumétrica \dot{V} [l/min.]	Perda de carga h_v [mm]	Diferença de pressão p_v [mbar]

Cálculo da Perda de Carga							
Seção de Tubulação	Diâmetro interno d_i em mm	Fluxo Volumétrico		Velocidade de Fluxo [m/s]	Núm. de Reynolds (Re)	d/k	Liso / Rugoso
		\dot{V} [m ³ /h]	\dot{V} [m ³ /s]				

Seção de Tubulação	Cálculo de λ de acordo com	Coefficiente de atrito λ no tubo	Perda de carga h_v [m] (calculada)	Perda de carga h_v [m] (medida)	Variação

Coefficientes de Resistência

Medição			
Efetuada por:		Data:	
Acessório de Tubulação	Taxa de Vazão Volumétrica \dot{V} [l/min.]	Perda de carga $h_{v,ges}$ [mm]	Diferença de Pressão $h_{v,ges}$ [mbar]

Cálculo dos Coeficientes de Resistência ζ para Acessórios							
Acessório de Tubulação	Diâmetro Interno d [mm]	Comprimento [mm]	Fluxo Volumétrico		Velocidade do Fluxo v [m/s]	Número de Reynolds (Re)	d/k
			\dot{V} [m ³ /h]	\dot{V} [m ³ /s]			

Acessório de Tubulação	Cálculo de λ de acordo com	Coefficiente de atrito λ no tubo	Perda de carga $h_{v,ges}$ [m]	Coefficiente de resistência ζ	Coefficiente de resistência ζ_{90°

Medição de Vazão Volumétrica
Medição

Efetuada por:

Data:

Objeto de Medição:

Temperatura da água:

Vazão de Fluxo Volumétrica \dot{V} [m^3/h]	Diferença de pressão Δp [mbar]

Avaliação

Densidade ρ [kg/m^3]	Coefficiente de Fluxo α	Coefficiente de Expansão ϵ	Δp [mbar]	Taxa de vazão volumétrica \dot{V} [m^3/h] (medida)	Taxa de vazão volumétrica \dot{V} [m^3/h] (calculada)	Variação [%]

7.5 Índice Remissivo

!		
	Manômetro de 6 tubos.	28
A		
	Cálculo da pressão absoluta.	24
	Câmara Anular.	3
	Razão de Abertura.	57 - 58
	Pressão do ar atmosférico	24
B		
	Torneira reguladora “ <i>ball cock</i> ”	44
	Equação de Bernoulli.	37, 60
	Blasius.	33
	Válvula de Purga	22
	Purga	25
C		
	Variação da seção transversal	37, 42
	Coefficiente de resistência.	37
	Colebrook	33
	Constricção	42
D		
	DIN 1952	56
	Aquisição de dados	8
	Curva característica degressiva	52
	Medição da diferença de pressão	23, 27
	Display digital.	8
	Armadilha para sujeira.	44
	Válvula de drenagem.	25
	Pressão Dinâmica	53
E		
	Lei de conservação de energia.	60
	Excess pressure medição	24
	Expansão	42
	Coefficiente de expansão.	56, 58
F		
	Coefficiente de Fluxo	56, 58
	Medição da taxa de fluxo.	3
	Velocidade do escoamento	33
H		
	Perda de Carga	31
K		
	Viscosidade Cinemática.	35, 41

HM 112 BANCADA DE TREINAMENTO EM HIDRODINÂMICA

L		
	Carrinho de laboratório	3
	Teste de vazamento.	21
M		
	Objetos de medição.	6
	Faixa de medição.	26
	Válvula de membrana	44, 49
	Placa de circuito multifuncional	3
N		
	Válvula anti-retorno	45
	Bocal	56
O		
	Característica de abertura.	49
	Orifício.	56
P		
	Ângulo de tubo.	40
	Curva de tubo.	40
	Cotovelo de tubo.	39
	Acessórios para tubos	44
	Coefficiente de atrito da tubulação	32
	Rugosidade da tubulação.	32
	Seções de tubo.	6
	Tubo de Pitot	53
	Perda de pressão	31
	Sensor de pressão.	8
	Bomba.	7
Q		
	Acoplamento de ação rápida	3
R		
	Número de Reynolds	31, 33
S		
	Escala	26
	Dispositivo interruptor	49
	Válvula de assento inclinado.	44
	Densidade específica.	54, 56
	Variação de velocidade	37
	Caixa de distribuição.	8
T		
	Pressão total	53
	Perda total de pressão	37
	Fluxo turbulento em tubo.	31
	Manômetro de dois tubos	22

V	

	Bocal de Venturi 60
	Software de visualização 8
	Sinal de voltagem 8
	Medição de vazão volumétrica 53, 56
W	

	Segurança no trabalho. 9
Z	

	Ponto zero 26