

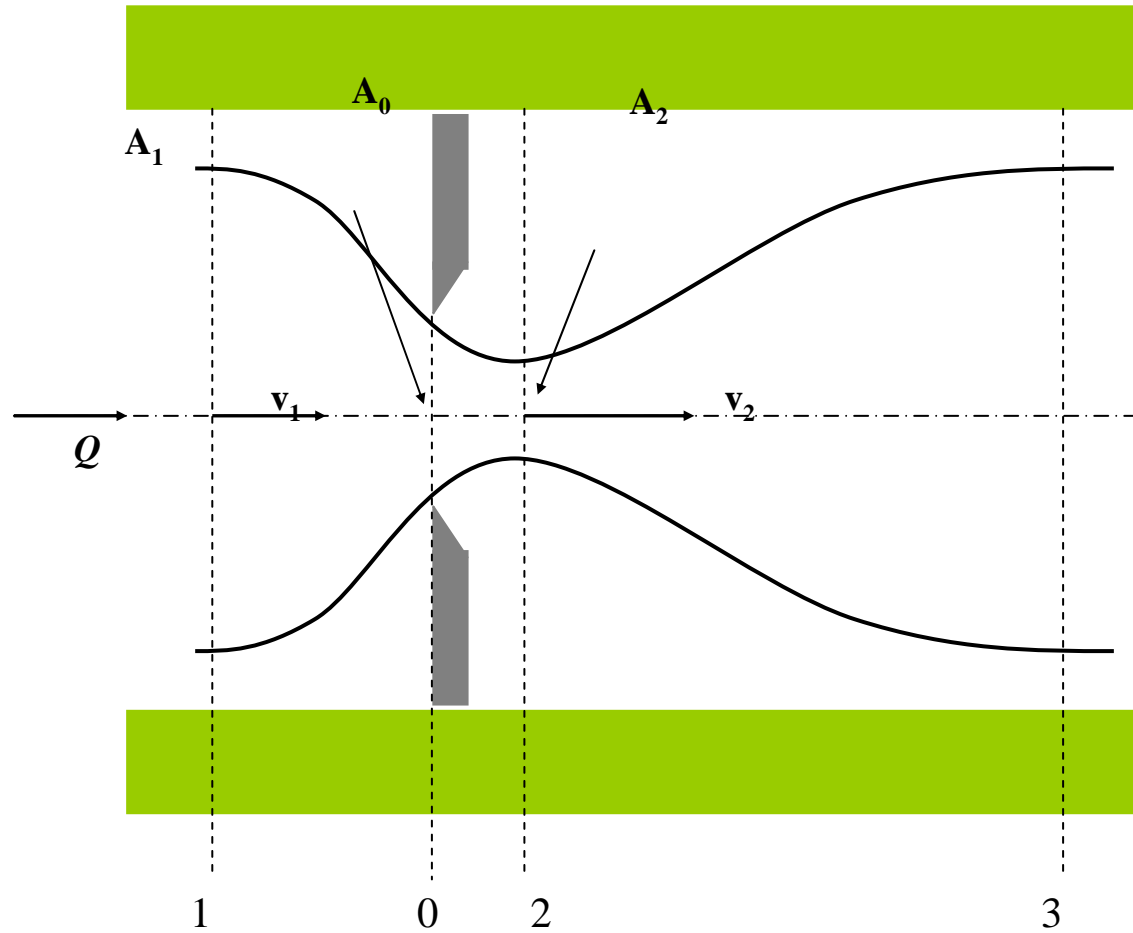
Experiência

Medidores de vazão

Medidor de vazão é todo dispositivo que permite, de forma indireta, determinar o volume de fluido que passa através de uma dada seção de escoamento por unidade de tempo.

Nesta experiência limita-se
estudar dois tipos de
medidores de vazão.

venturi e placa de orifício.



O que será que
há de comum
entre os
medidores
anteriores?



Em ambos os medidores tem-se
uma redução de área.

No venturi a área mínima
corresponde a área da garganta e
na placa de orifício corresponde a
área contraída (A_2).



OK!
Mas o que será
que esta
contração de
área vai
originar?





Vai originar um aumento da carga cinética e em consequência uma diminuição da carga de pressão!

Para comprovar a afirmação anterior evoca-se a equação de Bernoulli, a equação da continuidade e a equação manométrica.

Equacionamento dos medidores

- Considera-se fluido ideal e aplica-se a equação de Bernoulli de 1 a 2:

$$H_1 = H_2$$

$$Z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g}$$

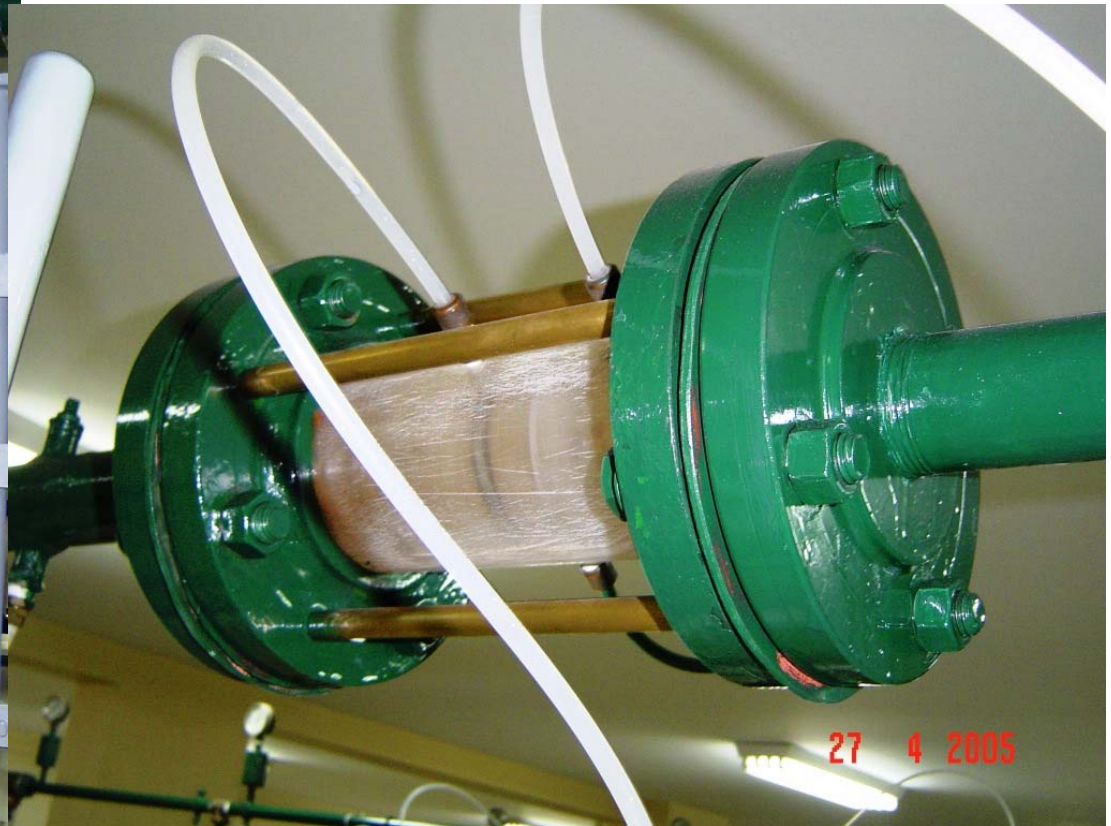
Como os medidores foram instalados em um plano horizontal tem-se que a carga potencial (Z) é constante, portanto:

$$\frac{p_1 - p_2}{\gamma} = \frac{v_2^2 - v_1^2}{2g}$$

$$\therefore v_2^2 - v_1^2 = 2g \times \frac{p_1 - p_2}{\gamma}$$

Pelo fato de $v_2 > v_1$ pode-se concluir que $p_1 > p_2$ o que comprova que existe um aumento de carga cinética e em consequência uma redução da carga de pressão

Isto também pode ser comprovado na própria bancada .
No caso do venturi:



Observações importantes:

1ª)



Imagens e informação extraídas dos sítios:

http://es.wikipedia.org/wiki/Efecto_Venturi

<http://www.ituflux.com.br>



[Giovanni Battista Venturi](#), (1746–1822)

2ª) A Fig. 1, apresenta a forma geométrica e dimensões características principais de um tubo de venturi clássico, segundo a NBR ISO 5167-1 (ABNT, 1994).

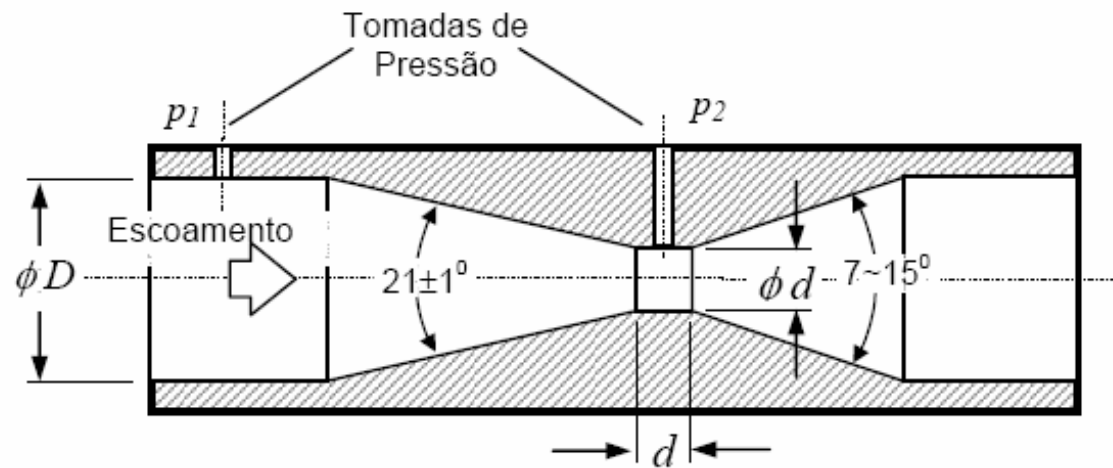


Figure 1- Tubo de Venturi Clássico.

A perda neste aparelho é de 5 a 15% da pressão imediatamente a sua montante.

3ª) INSTALAÇÃO

Tubos venturi são instalados como qualquer outra peça de tubulação, podendo ser flangeados ou, na instalação em tubulações existente, entre juntas de montagem (mecânicas ou mesmo luvas de correr).

O tubo venturi é menos sensível ao perfil de velocidades da seção. Mesmo assim, deve ser instalado com os seguintes afastamentos de peças que podem causar turbulência no fluxo:

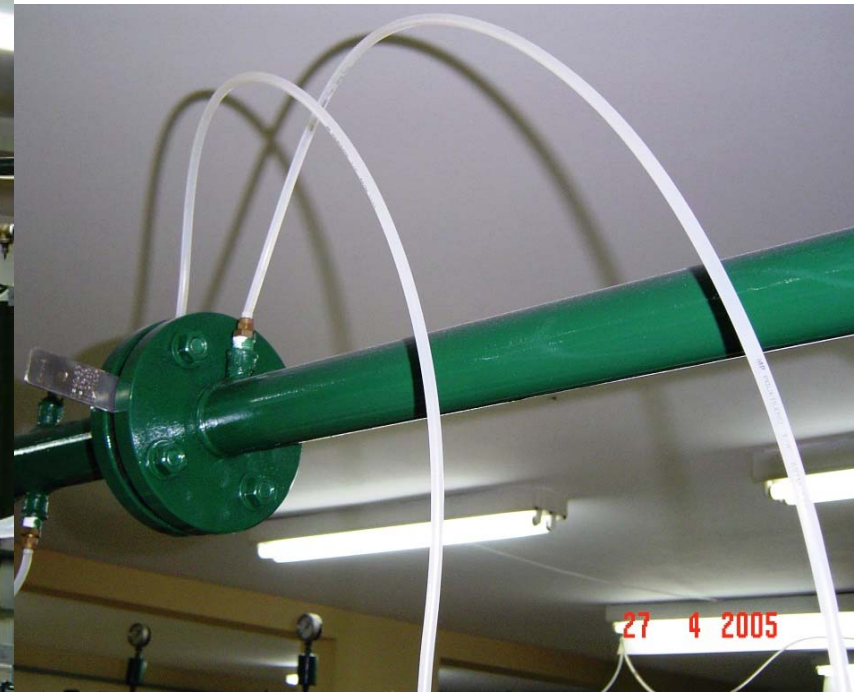
PEÇA A MONTANTE	MONTANTE	JUSANTE
Uma só mudança de direção (curva, T, Y)	4 D	2 D
Duas mudanças de direção no mesmo plano (duas curvas)	4 D	2 D
Redução ou Ampliação	8 D	2 D
Válvula (excetuando registro de gaveta totalmente aberto)	6 D	2 D

PRECISÃO DO TUBO VENTURI

A precisão de tubos venturi está diretamente relacionada ao seu projeto e cuidados construtivos, variando de valores de 1% até 4%.



Válvula utilizada para controlar a vazão



Observações importantes:

1ª) Placa de orifício



Placa de orifício utilizada em bancada do Centro Universitário da FEI

2ª) INSTALAÇÃO

As placas são bastante influenciados pelo perfil de velocidades e por esta razão cuidados devem ser tomados para que sua instalação seja afastada de peças que causem turbulências no fluxo.

Em geral, as distâncias que devem ser observadas a montante e jusante do medidor são as seguintes:

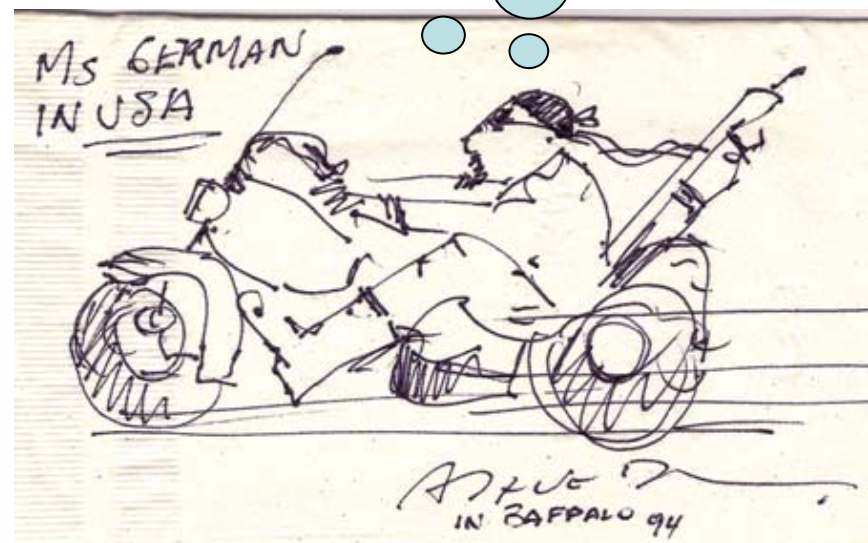
PEÇA A MONTANTE	MONTANTE	JUSANTE
Uma só mudança de direção (curva, T, Y)	17 D	4,5 D
Duas mudanças de direção no mesmo plano (duas curvas)	22 D	4,5 D
Redução ou ampliação	13,5 D	4,5 D
Válvula (excetuando registro de gaveta totalmente aberto)	44 D	4,5 D

PRECISÃO

A precisão das placas de orifício varia conforme os critérios de projeto utilizados, podendo variar de 0,5% até 4%, ao longo de sua faixa de medição que é definida quando do seu projeto.

Nesta experiência deve-se controlar a vazão com a válvula globo a jusante (perto do reservatório superior) do medidor

Será que todos os cuidados mencionados foram seguidos na execução da experiência?



Continuando o equacionamento...

Pela equação da continuidade aplicada a um escoamento incompressível e em regime permanente tem-se:

$$v_1 \times A_1 = v_2 \times A_2$$

Importante:

No caso do venturi $A_2 = A_{\text{garganta}} = A_d$ que é a área do diâmetro menor e que é facilmente determinada.

Porém no caso da placa de orifício esta área é muito difícil de se determinar e por este motivo se recorre ao coeficiente de contração (C_c)

$$C_C = \frac{A_{\text{contraída}}}{A_{\text{orifício}}} = \frac{A_2}{A_0}$$

$$\therefore A_2 = C_C \times A_0$$

No caso do venturi, ele é projetado para $C_c = 1,0$, portanto: $A_2 = A_{\text{garganta}}$

Portanto, para a placa de orifício:

$$v_1 \times A_1 = C_C \times v_2 \times A_o$$

$$\therefore v_1 = v_2 \times C_C \times \frac{A_o}{A_1} = v_2 \times C_C \times \frac{D_o^2}{D_1^2}$$

Substituindo na equação anterior :

$$v_2^2 \left[1 - C_C^2 \times \left(\frac{D_o}{D_1} \right)^4 \right] = 2g \times \frac{p_1 - p_2}{\gamma}$$

Através de uma manômetro diferencial em forma de U instalado entre as seções 1 e 2, tem-se:

$$p_1 - p_2 = h \times (\gamma_m - \gamma)$$

$$\therefore v_2 = \sqrt{\frac{2gh \times \left(\frac{\gamma_m - \gamma}{\gamma} \right)}{1 - C_c^2 \times \left(\frac{D_o}{D_1} \right)^4}}$$

A velocidade v_2 calculada anteriormente é teórica, isto porque se considerou um fluido ideal, ou seja, um fluido que escoava sem ter perda de carga.

Pode-se determinar a vazão teórica e com a definição de coeficiente de velocidade a vazão real:

$$Q_{\text{teórica}} = v_2 \times A_2 = C_C \times A_0 \times v_2$$

$$\text{Coeficiente de velocidade} \rightarrow C_v = \frac{v_{2\text{real}}}{v_{2\text{teórico}}}$$

$$\therefore Q_{\text{real}} = C_C \times A_0 \times C_v \times \sqrt{\frac{2gh \times \left(\frac{\gamma_m - \gamma}{\gamma} \right)}{1 - C_C^2 \times \left(\frac{D_0}{D_1} \right)^4}}$$

Pelo conceito de coeficiente de vazão ou descarga, para a placa de orifício tem-se:

$$C_d = C_C \times C_v$$

$$\therefore Q_{\text{real}} = C_d \times A_o \times \sqrt{\frac{2gh \times \left(\frac{\gamma_m - \gamma}{\gamma} \right)}{1 - C_C^2 \times \left(\frac{D_o}{D_1} \right)^4}}$$

Ou ainda:

$$K = \frac{C_d}{\sqrt{1 - C_c^2 \times \left(\frac{D_o}{D_1}\right)^4}}$$

$$\therefore Q_{\text{real}} = k \times A_0 \times \sqrt{2gh \times \left(\frac{\gamma_m - \gamma}{\gamma}\right)}$$

$K =$ coeficiente funcional do
dispositivo

Para o venturi:

$$C_d = C_C \times C_v = C_v$$

$$\therefore Q_{\text{real}} = C_d \times A_G \times \sqrt{\frac{2gh \times \left(\frac{\gamma_m - \gamma}{\gamma} \right)}{1 - \left(\frac{D_G}{D_1} \right)^4}}$$

Em todos os cálculos anteriores trabalhou-se com o coeficiente de energia cinética (α) igual a 1,0. Se o mesmo for considerado igual a 1,058, que é o valor para o escoamento turbulento, tem-se diferenças na determinação do coeficiente de vazão?

Para se responder a pergunta anterior, deve-se retomar o equacionamento para o medidores em questão.

Para a placa de orifício tem-se:

$$K = \frac{C_d}{\sqrt{\alpha_2 - \alpha_1 \times C_c^2 \times \left(\frac{D_o}{D_1}\right)^4}}$$

$$\therefore Q_{\text{real}} = k \times A_0 \times \sqrt{2gh \times \left(\frac{\gamma_m - \gamma}{\gamma}\right)}$$

Já para o venturi fica:

$$C_d = C_C \times C_v = C_v$$

$$\therefore Q_{\text{real}} = C_d \times A_G \times \sqrt{\frac{2gh \times \left(\frac{\gamma_m - \gamma}{\gamma} \right)}{\alpha_G - \alpha_1 \times \left(\frac{D_G}{D_1} \right)^4}}$$

Através da experiência deseja-se

27/04/2005 - v6

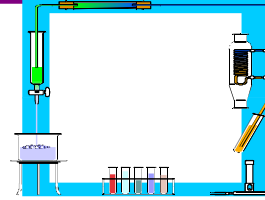
Introdução



valor 1,0

esquema explicando
como é feita a experiência

valor 2,0



resolver exercício

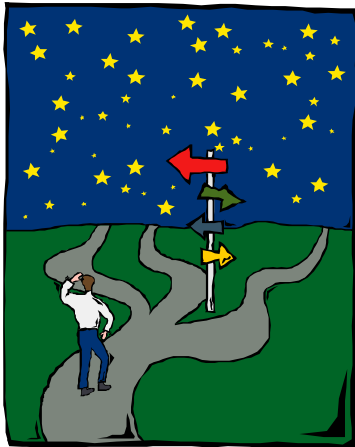
valor 1,0

tabelas

dados - valor 1,0

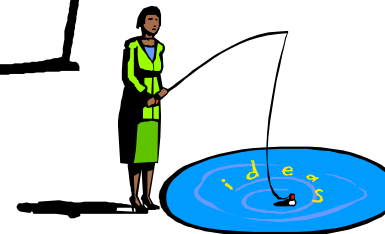


resultados - valor 1,0



comparar C_d usando coeficiente
de energia cinética e não usando

valor - 1,5



obter as curvas
valor - 2,0

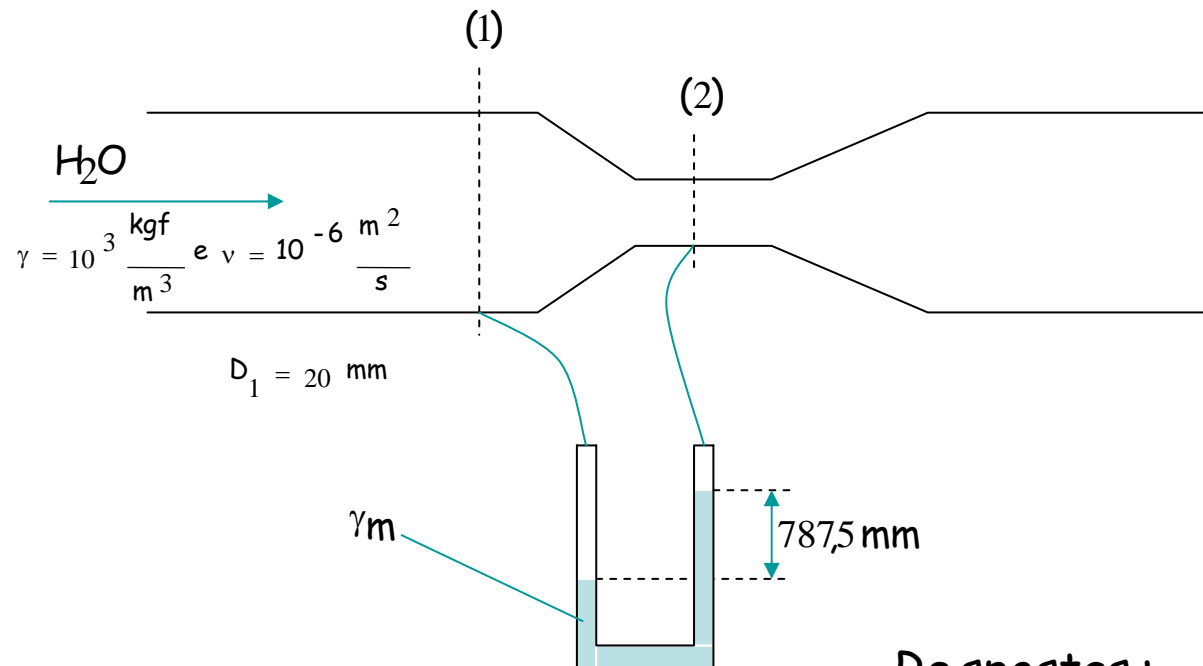
calibração - $h = f(Q_r)$



característica - $k = f(\text{Reaproximação})$
ou $C_d = f(\text{Reaproximação})$

Exercício para bancadas impares

Para o venturi da figura são dadas as curvas de calibração e características, as quais serão representadas no próximo slide . Um engenheiro deseja medir a vazão de uma instalação, mas não tem mercúrio ($\gamma_{\text{Hg}}=13600\text{kgf/m}^3$). Utiliza, então, no manômetro diferencial, um fluido imiscível com a água, que tem $\gamma_m=2600\text{kgf/m}^3$, obtendo a configuração da figura. Pede-se determinar a vazão real e teórica do escoamento.

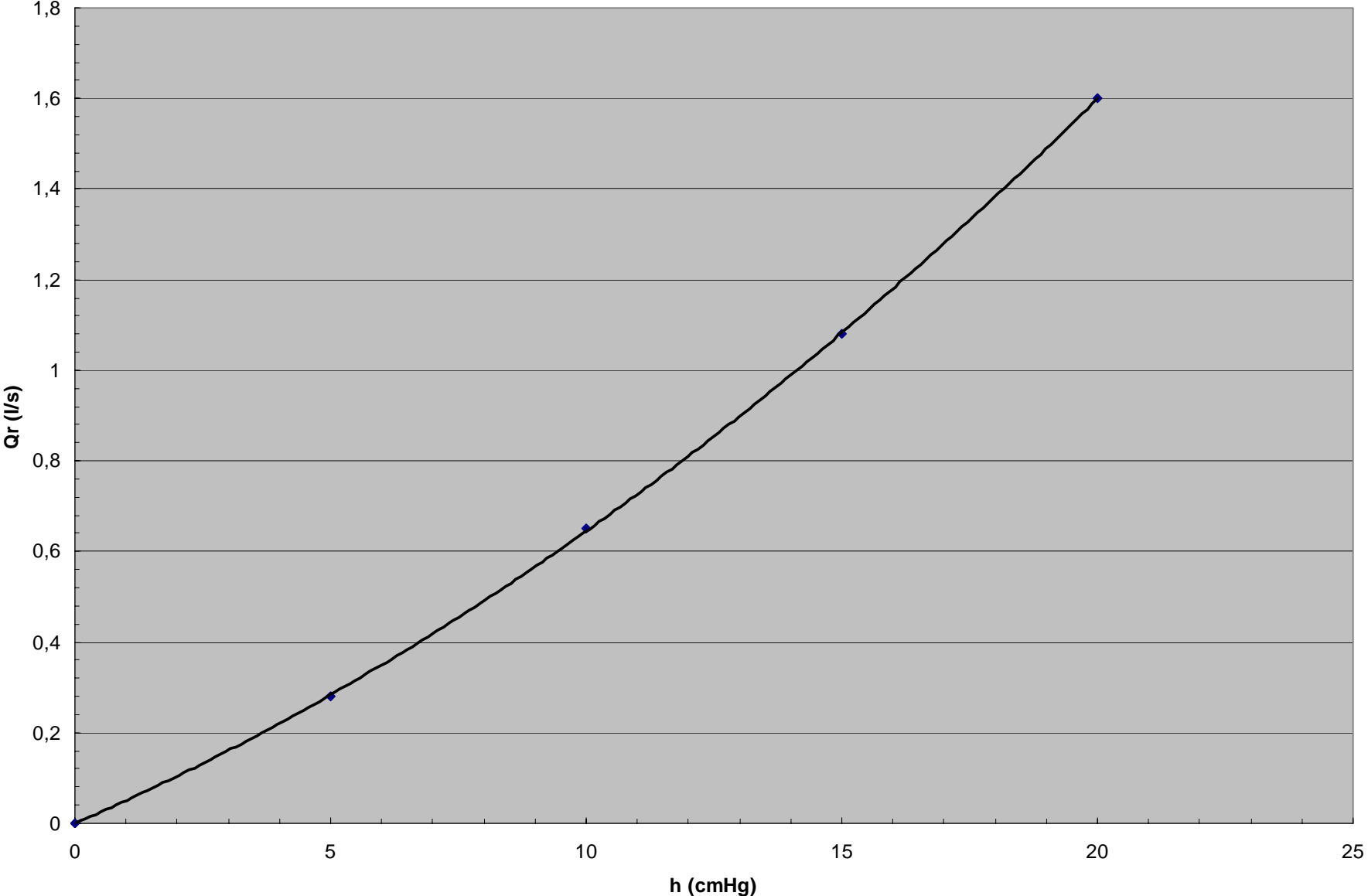


Respostas :

$$Q_{\text{real}} = 0,64 \frac{\text{l}}{\text{s}} \text{ e } Q_{\text{teórica}} \cong 0,691 \frac{\text{l}}{\text{s}}$$

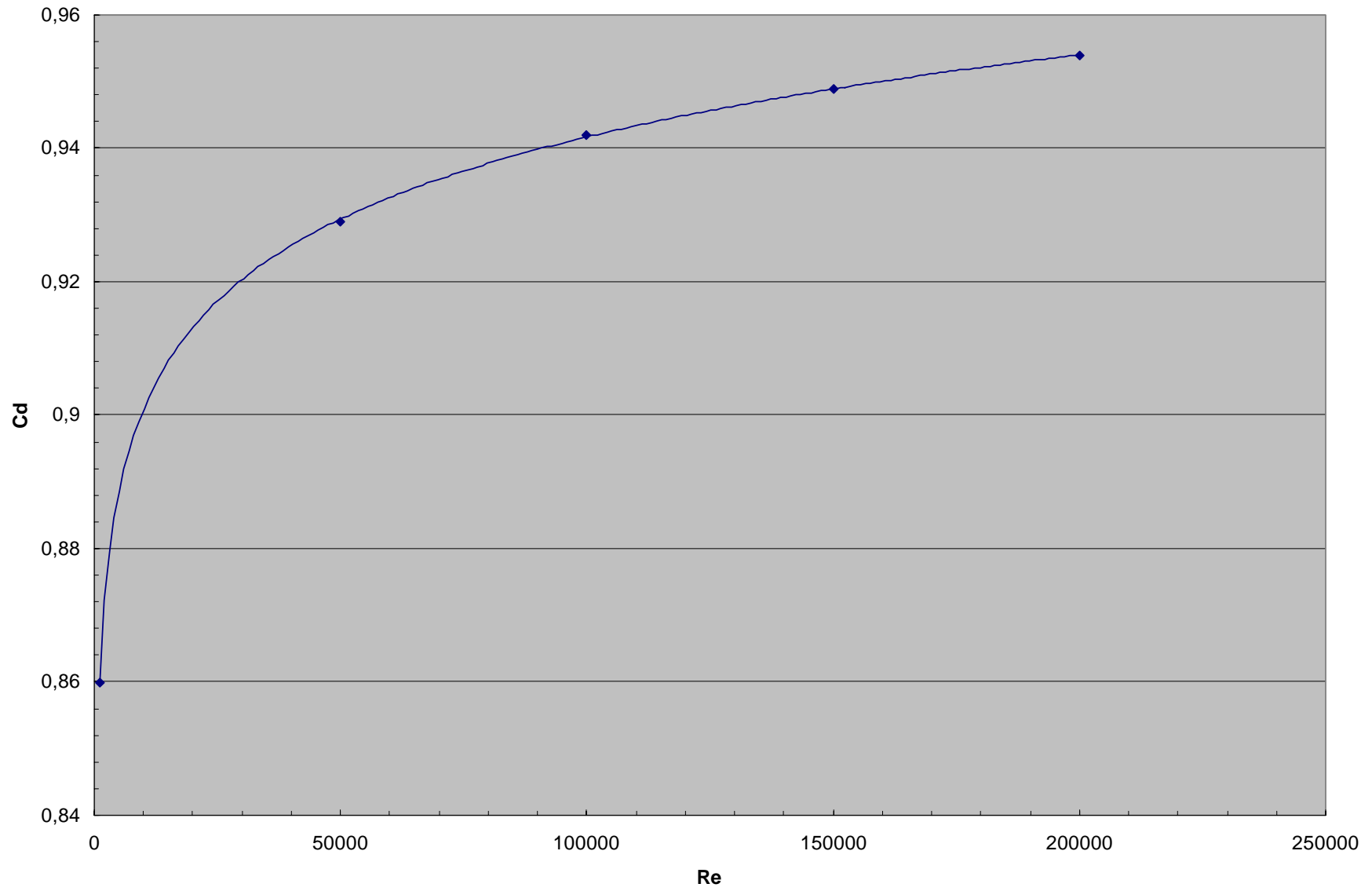
Curva de calibração

$$y = 0,0015x^2 + 0,049x$$
$$R^2 = 1$$



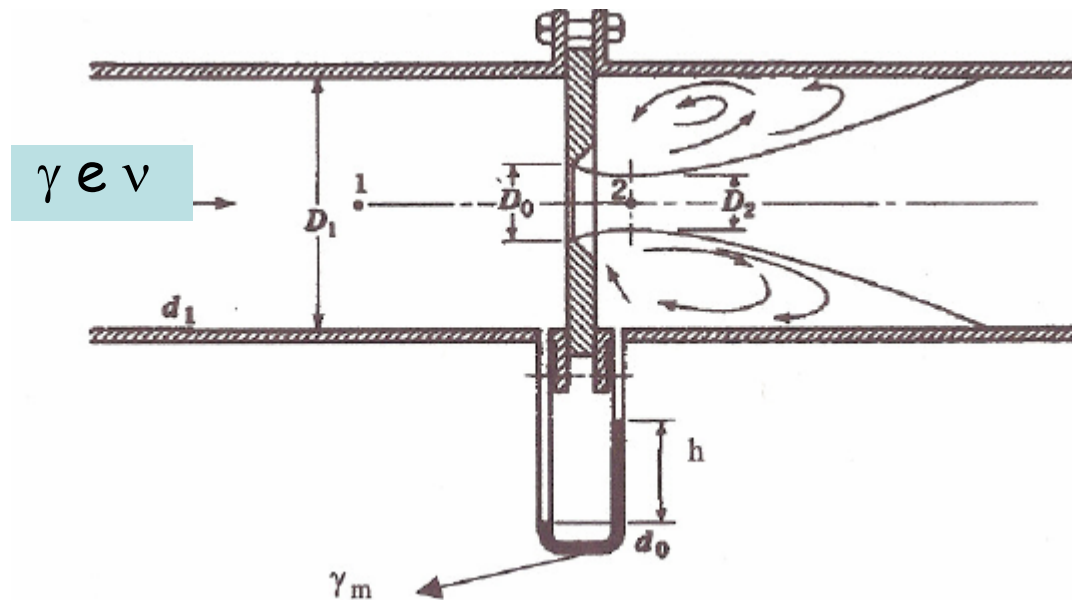
Curva característica

$$y = 0,0178\ln(x) + 0,7373$$
$$R^2 = 1$$



Exercício para as bancadas pares

As placas de orifício semelhantes a da figura apresentam as curvas universais representadas no slide seguinte. Através do desenvolvimento teórico, onde considerou-se o fluido ideal, obteve-se a equação:
 $Q = 0,01248 \cdot h^{0,5}$ (com h em metro e Q em m^3/s). Pede-se determinar a vazão da instalação e o peso específico do fluido manométrico (γ_m) para a situação considerada.



Dados

$$D_1 = 50 \text{ mm}; D_0 = 31,63 \text{ mm};$$

$$h = 40 \text{ cm}; g = 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2};$$

$$\gamma = 9800 \frac{\text{N}}{\text{m}^3} \quad e \quad v = 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

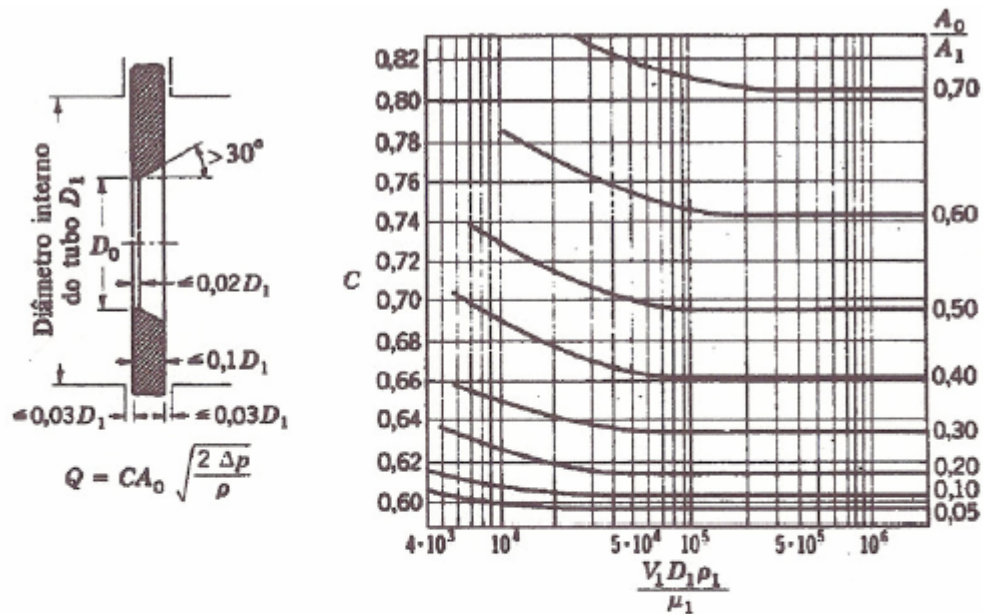


Figura 5.24

O coeficiente de escoamento (C) é definido pela equação 5.29.

$$C = \frac{C_d}{\sqrt{1 - C^2 \left(\frac{A_0}{A_1}\right)^2}}$$

equação 5.29

Respostas :

$$Q \cong 5,21 \times 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$\gamma_m \cong 135959,82 \frac{\text{N}}{\text{m}^3}$$

Figura extraída do sítio:

http://www.escoladavida.eng.br/mecflubasica/aula4_unidade5.htm

Fontes para consultas:

- http://www.escoladavida.eng.br/mecflubasica/aula3_unidade5.htm
- http://www.escoladavida.eng.br/mecflubasica/aula4_unidade5.htm
- <http://www.monografias.com/trabajos6/tube/tube.shtml>
- <http://www.poli.usp.br/d/pme2333/Arquivos/Experiencia%20Medidores%20de%20Vazao.pdf>
- http://www.laar.unb.br/Publicacoes_LaAR_arquivos/CorpoTexto_TESE_29-Junho-2004.pdf
- http://www.fem.unicamp.br/~instmed/Vazao_Curso_Ford_1.pdf
- http://www.cidades.gov.br/pncda/Dtas/Arq/DTA_G2.pdf
- <http://www.ipuc.pucminas.br/civil/disciplinas/anexos/Hidraulica1/Notas%20de%20Aula%20-%20Laborat%C3%B3rio%20de%20Hidr%C3%A1ulica%20I.pdf>
- <http://www.dem.uminho.pt/people/ftp/pdfs/LEGIISITexto2Caudal.pdf>
- http://www.ing.unlpam.edu.ar/~material/fluidos/pdf/clase_medidores_flujo.pdf