

Projeto de Física II - Engenhocas

TUBO DE VENTURI

Laboratório de Física II

Profa. Maria Lúcia Antunes



Câmpus de Sorocaba

Cíntha Pavan Monteiro

Danielle Nonato

Klaus Poit

Sorocaba, 2015.

I- Objetivo

A partir da construção de um Tubo de Venturi, medir a velocidade do escoamento e a vazão de um líquido incompressível, através da variação da pressão durante a passagem deste líquido por um tubo de seção mais larga e depois por outro de seção mais estreita. Para que dessa forma, seja possível fazer uma demonstração prática do princípio de Bernoulli.

II- Introdução

II.I- Princípio de Bernoulli

Considerando um fluido incompressível, irrotacional e não viscoso que esteja escoando através de uma tubulação. Existem três fatores que podem interferir no escoamento do fluido em questão: A pressão que age nas extremidades da tubulação (que podem variar de uma para a outra), a variação na área de secção transversal reta da tubulação (que se caso exista, acarretará variação na velocidade do fluido) e também uma variação na altura (entre uma extremidade e outra).

Observando as figuras 1 e 2:

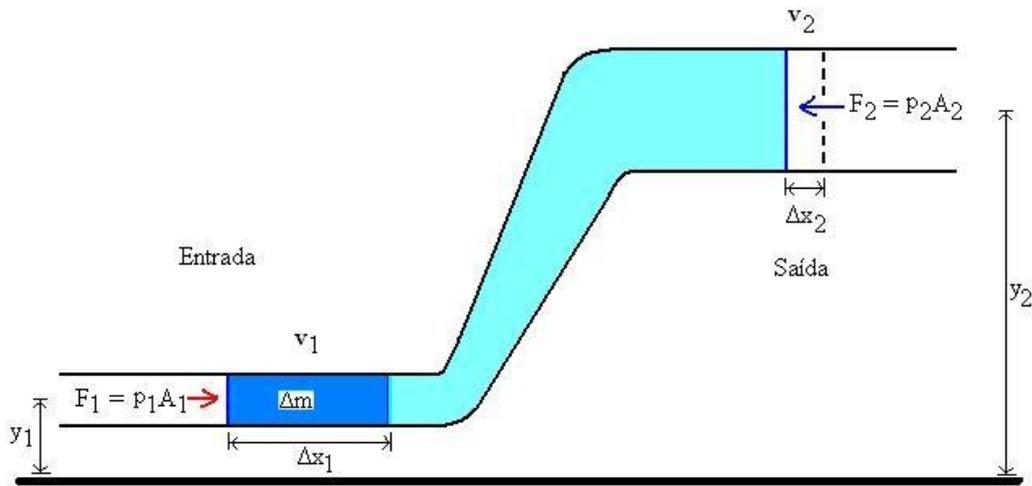


Figura 1

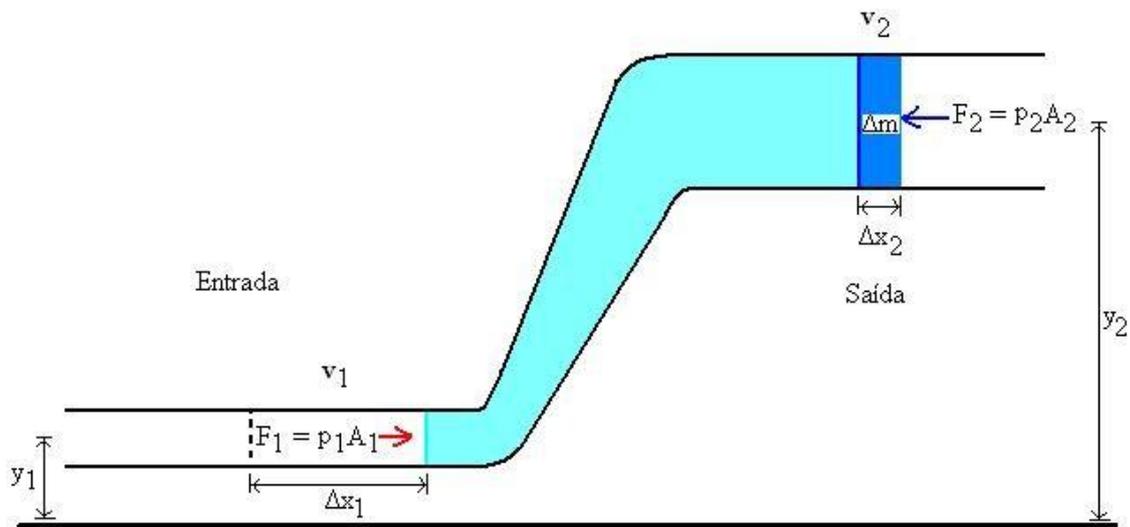


Figura 2

A extremidade 1 encontra-se a altura y_1 . Uma força F_1 é aplicada sobre a área da secção transversal reta da extremidade 1 (entrada) do tubo. Esta pode ser escrita como o

produto da pressão p_1 com a área A_1 . O fluido sofre um deslocamento Δx_1 . A quantidade de massa Δm possui velocidade v_1 . Na extremidade direita (saída) atua uma força F_2 , produto da pressão p_2 pela área A_2 . Esta força pode ser devido ao fluido existente à direita da parte do sistema que está sendo analisado. Ela é contrária à F_1 .

Nesta extremidade o fluido se movimenta com velocidade v_1 através da área A_1 de modo que uma quantidade de massa igual a Δm , representada pelo azul escuro, que ocupava o volume V_1 delimitado por A_1 e Δx_1 passe a ocupar o espaço delimitando um volume V_2 , que é encerrado pela área A_2 e o deslocamento Δx_2 .

O trabalho resultante sobre o sistema pode ser obtido a partir das seguintes considerações:

Na entrada o trabalho τ_1 é dado por:

$$\begin{aligned}\tau_1 &= F_1 \cdot \Delta x_1 \\ \text{Ou} \\ \tau_1 &= p_1 \cdot A_1 \cdot \Delta x_1\end{aligned}$$

Na saída a força atua em sentido contrário ao deslocamento. Desta forma, o trabalho τ_2 é dado por:

$$\begin{aligned}\tau_2 &= - F_2 \cdot \Delta x_2 \\ \text{Ou} \\ \tau_2 &= - p_2 \cdot A_2 \cdot \Delta x_2\end{aligned}$$

Analisando o deslocamento efetivo de massa pode se concluir que o trabalho gravitacional, também contrário a força F_g é dado pelo produto da força gravitacional pelo deslocamento na vertical. Este trabalho é dado por:

$$\begin{aligned}\tau_g &= -F_g \cdot \Delta y \\ \text{Ou} \\ \tau_g &= - \Delta m \cdot g \cdot (y_2 - y_1)\end{aligned}$$

Nesta situação não serão consideradas a ação das forças conservativas que agem no interior do fluido em questão, pois não comprometem a análise. Em decorrência disso, podem

os interpretar a variação da energia potencial como sendo zero. $\Delta E_p = 0$.

O trabalho efetivo total realizado pelas ações externas será então:

$$\tau_{\text{ext}} = \tau_1 + \tau_2 + \tau_g$$

A energia cinética do sistema varia conforme a variação da velocidade da massa de fluido em azul escuro, de forma que:

$$\Delta E_c = \frac{1}{2} \Delta m \cdot v_2^2 - \frac{1}{2} \Delta m \cdot v_1^2$$

Aplicando o princípio de conservação de energia:

$$\Delta E_c + \Delta E_p = \tau_{\text{ext}} \text{ (a1)}$$

Com:

$$\Delta E_p = 0$$

Obtém-se:

$$\Delta E_c + 0 = \tau_{\text{ext}}$$

Logo:

$$\Delta E_c = \tau_1 + \tau_2 + \tau_g \text{ (a2)}$$

Reescrevendo a equação:

$$\frac{1}{2} \Delta m \cdot v_2^2 - \frac{1}{2} \Delta m \cdot v_1^2 = p_1 \cdot A_1 \cdot \Delta x_1 - p_2 \cdot A_2 \cdot \Delta x_2 - \Delta m \cdot g \cdot (y_2 - y_1) \text{ (a3)}$$

Existe um termo semelhante nesta equação que é o volume ocupado pela porção de massa Δm que é:

$$V_1 = A_1 \cdot \Delta x_1$$

E

$$V_2 = A_2 \cdot \Delta x_2$$

A densidade absoluta ρ da substância é dada por:

$$\rho = \Delta m / V$$

Isolando V e escrevendo-o em função de A_1 e Δx_1 e A_2 e Δx_2 :

$$V_1 = \Delta m / \rho$$

$$V_2 = \Delta m / \rho$$

Como

$$V_1 = V_2$$

A equação (a3) pode ser reescrita como:

$$\frac{1}{2} \Delta m \cdot v_2^2 - \frac{1}{2} \Delta m \cdot v_1^2 = p_1 \cdot \Delta m / \rho - p_2 \cdot \Delta m / \rho - \Delta m \cdot g \cdot (y_2 - y_1) \quad (a4)$$

O termo Δm pode ser removido se dividir a equação toda por Δm :

$$\frac{1}{2} v_2^2 - \frac{1}{2} v_1^2 = p_1 / \rho - p_2 / \rho - g \cdot (y_2 - y_1) \quad (a5)$$

É conveniente multiplicar a equação por ρ e então

$$\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_2^2 - \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_1^2 = p_1 - p_2 - \rho \cdot g \cdot y_2 + \rho \cdot g \cdot y_1 \quad (a6)$$

Reagrupando os termos:

$$- p_1 - \rho \cdot g \cdot y_1 - \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_1^2 = - p_2 - \rho \cdot g \cdot y_2 - \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_2^2$$

Ou

$$p_1 + \rho \cdot g \cdot y_1 + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_1^2 = p_2 + \rho \cdot g \cdot y_2 + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_2^2 \quad (a7)$$

Nota-se que esta equação é uma constante. Então os subscritos 1 e 2 não são relevantes e a **equação de Bernoulli** pode ser reescrita em sua forma mais geral:

$$p + \rho \cdot g \cdot y + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2 = \text{constante} \quad (a8)$$

II.II- Medidor de Venturi

O tubo de Venturi ou medidor de Venturi como o próprio nome indica, foi inventado no século XVIII pelo cientista G. B. Venturi (1746-1822). É um aparato criado por Giovanni Battista Venturi para medir a velocidade do escoamento e a vazão de um líquido incompressível através da variação da pressão durante a passagem deste líquido por um tubo de seção mais larga e depois por outro de seção mais estreita. Este efeito é explicado pelo princípio de Bernoulli e no princípio da continuidade da massa. Se o fluxo de um fluido é constante, mas sua área de escoamento diminui então necessariamente sua velocidade aumenta. Para o teorema a conservação da energia se a energia cinética aumenta, a energia determinada pelo valor da pressão diminui.

II.III- Vazão

Vazão (R) é o volume de determinado fluido que passa por uma determinada secção de um conduto livre ou forçado, por uma unidade de tempo. Sendo assim, a rapidez com que um volume esco.

Pode ser dada pelas equações:

- $R = \Delta V / \Delta t$ (variação de volume sobre variação do tempo)
- $R = A \cdot V$ (área da secção vezes volume)

III- Materiais e Métodos

- Adaptador soldável com anel para caixa d'água
- 2 Buchas de redução soldável longa
- 2 Buchas de redução soldável curta
- 2 Luvas simples série normal (75 A)
- Tê série normal (50x50 A)
- Tê série normal (75x75 A)
- 2 Reduções excêntricas série normal (75x50)
- 2 Anéis de borracha
- Cerca de 15 cm de tubo de PVC (50mm)
- Massa Plástica
- Cola para PVC
- 2 Mangueiras de 50cm (15mm)
- 1m de mangueira (15mm)
- Furadeira
- Entrada para mangueira
- 1 Tábua de madeira com cerca de 1 metro
- Entrada curvada para mangueira
- 2 Braçadeiras
- 4 Pregos
- 2 pregos compridos
- 4 Lacres
- Uma caneca de volume conhecido
- Cronômetro

1) Furar as luvas

Furar a primeira luva com a furadeira (figura 1) a fim de acoplar o adaptador com anel (figura 2), que será a entrada de água do sistema. Não é necessário utilizar cola para essa vedação.



Figura 1



Figura 2

Em seguida furar a outra luva (figura 3), para colocar o suporte de entrada da mangueira (figura 4). Não é necessário utilizar cola pra essa vedação.



Figura 3

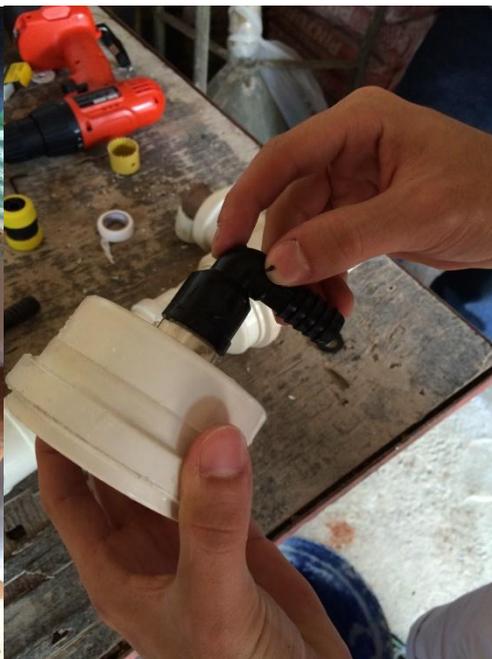


Figura 4

2) Massa plástica

Para ser possível o encaixe da mangueira com a bucha curta, é necessário que se passe uma quantidade de massa plástica por dentro da bucha (Figura 5) a fim de vedar a união. É recomendável passar primeiro uma camada de massa, deixar secar e depois passar outra camada e colocar a mangueira dentro. Após a secagem da massa ainda será possível retirar a mangueira, passar cola de PVC na mangueira e finalmente encaixar na bucha (figura 6).



Figura 5



Figura 6

3) Buchas

Passar um pouco de óleo ou detergente nas borrachas (figura 7) e colocá-las na parte superior dos tês. Em seguida colocar as buchas longas nas entradas com borracha (figura 8), se necessário passe um pouco de óleo na bucha. Não é necessária a utilização de cola. Enfim encaixe a bucha curta (com a mangueira já colada) na bucha longa, utilizando a cola de PVC para a vedação.



Figura 7



Figura 8

4) Mangueira

Acoplar a mangueira na entrada de água do sistema (figura 9) e colocar o encaixe para mangueira (figura 10).



Figura 9



Figura 10

5) União do sistema

Acople todas as tubulações de acordo com o esquema apresentado na foto abaixo (figura 11), passando cola para PVC em todas as respectivas junções. É recomendado que antes de acoplar usando a cola, faça um teste (encaixando sem cola) para conferir se as peças estão na posição correta.



Figura 11

6) Fixação do projeto na madeira

Para estabilizar o projeto, deve-se colocar uma madeira maior que o sistema sob ele e juntá-los utilizando braçadeiras (figura 12).



Figura 12

7) Estruturação das mangueiras

Para viabilizar a leitura das alturas encontradas deve-se colocar um prego mais comprido em cada mangueira encontrada na parte superior do sistema, prendendo-os com os lacres.



Figura 13

8) Medição da vazão

Deve-se, na mesma torneira utilizada para conectar o sistema e com a mesma vazão, cronometrar o tempo que uma caneca de volume conhecido demora para encher. Deste modo é possível descobrir a vazão da torneira.

IV-Resultados

- Medição do raio da tubulação de maior secção (R):

| Raio maior (R) | (±0,05)cm |
|----------------|-----------|
| R1 | 3,55 |
| R2 | 3,60 |
| R3 | 3,65 |
| R(m±σ) | 3,6±0,05 |

- Medição do raio da tubulação de menor secção (r):

| Raio menor (r) | (±0,05)cm |
|----------------|-----------|
| r1 | 2,30 |
| r2 | 2,35 |
| r3 | 2,25 |
| r(m±σ) | 2,3±0,05 |

- Cálculo da área da secção maior (A):

$$A = \pi \times R^2$$
$$A = \pi \times (3,6)^2$$
$$A = 40,7 \text{ cm}^2$$

- Cálculo da área da secção menor (a):

$$a = \pi \times r^2$$
$$a = \pi \times (2,3)^2$$
$$a = 16,6 \text{ cm}^2$$

- Medição da altura da coluna de água menor (h):

| Altura maior (h) | (±0,5)cm |
|------------------|----------|
| h1 | 2,5 |
| h2 | 3,0 |
| h3 | 5,0 |
| h4 | 3,0 |
| h5 | 4,0 |
| h(m±σ) | 3,5±1 |

- Medição da altura da coluna de água menor (H):

| Altura maior (H) | (±0,5)cm |
|------------------|----------|
| H1 | 4,5 |
| H2 | 5,0 |
| H3 | 7,0 |
| H4 | 5,0 |
| H5 | 6,0 |
| H(m±σ) | 5,5±1 |

- Cálculo da variação das alturas (ΔH):

$$\Delta H = H - h$$

$$\Delta H = 5,5 - 3,5$$

$$\Delta H = 2 \text{ cm}$$

- Demonstração da fórmula da velocidade (V_1) acompanhando a figura 14:

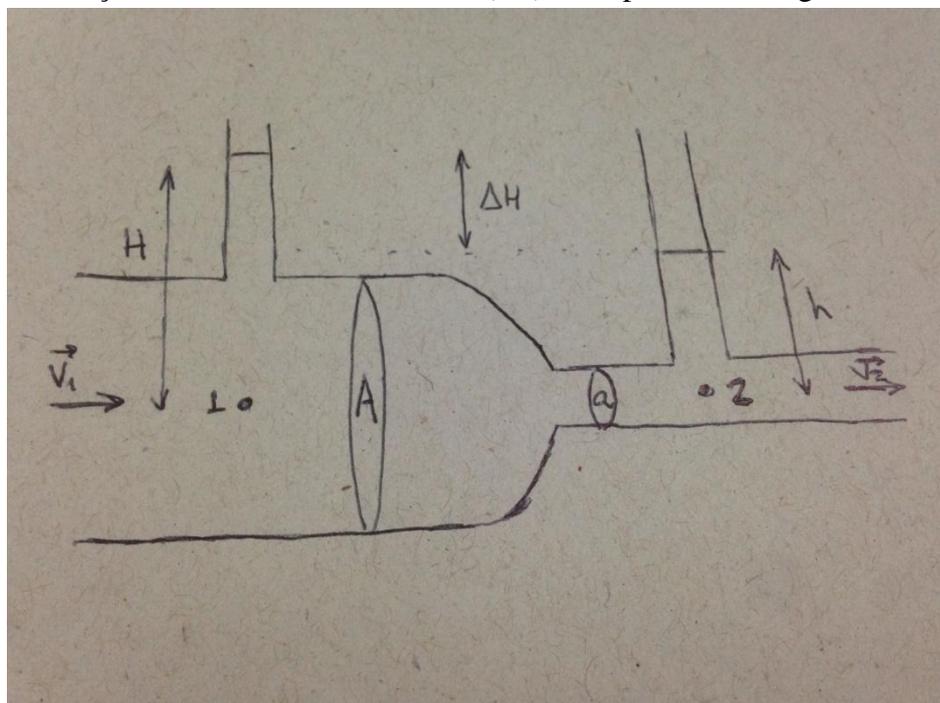


Figura 14: esquema de um medidor de venturi.

$$P1 = p_0 + \rho gH$$

$$P2 - P1 = \rho g (\Delta H) \quad (1)$$

$$P2 = p_0 + \rho gh$$

$$A.V1 = a.V2$$

$$V2 = A.V1/a \quad (2)$$

$$P1 + \rho.V1^2/2 = P2 + \rho.V2^2/2 \quad (3)$$

Substituindo a equação (2) na equação (3) temos:

$$P1 + \rho.V1^2/2 = P2 + \rho.(A.V1/a)^2/2$$

$$P1 + \rho.V1^2/2 = P2 + \rho.A^2.V1^2/2.a^2$$

$$2.P1 + \rho.V1^2 = 2.P2 + \rho.A^2.V1^2/a^2$$

$$2.(P1 - P2) = \rho.V1^2 [(A^2/a^2) - 1]$$

$$V1 = \sqrt{2(P1 - P2)/\rho.[(A^2/a^2) - 1]}$$

Substituição a equação (1) temos:

$$V1 = \sqrt{2(\rho.g.\Delta H)/\rho.[(A^2/a^2) - 1]}$$

$$V1 = \sqrt{2(g.\Delta H)/[(A^2/a^2) - 1]}$$

- Cálculo da velocidade V1:

$$V1 = \sqrt{2(g.\Delta H)/[(A^2/a^2) - 1]}$$

$$V1 = \sqrt{2(9,8 \times 2)/[(40,7^2/16,6^2) - 1]}$$

$$V1 = 2,8 \text{ cm/s}$$

- Cálculo da vazão utilizando velocidade V1 e a área A:

$$R = A.V1$$

$$R = 40,7 \times 2,8$$

$$R = 113,9 \text{ cm}^3/\text{s}$$

- Cálculo da vazão da torneira:

$$R = \Delta V / \Delta t$$

$$R = 500 / 4,1$$

$$R = 121,9 \text{ cm}^3/\text{s}$$

V- Discussão

Concluimos nesse projeto que a utilização de materiais baratos e recicláveis em um tubo de venturi dificulta a vedação e influencia negativamente nos resultados alterando a pressão do sistema, portanto não é viável. Também foi possível observar que a vazão inconstante de uma torneira dificulta a medição da altura da coluna de água, uma vez que ocorre entrada de ar junto com a água, causando bolhas. Observando os resultados encontramos a velocidade de escoamento da água na tubulação de seção maior. Dessa forma foi possível calcular a vazão em tal tubulação, que comparada com a vazão da torneira mostrou resultados bem próximos, o que comprova a eficácia do projeto.

VI- Bibliografia

- Disponível em: <<http://www.infoescola.com/fisica/equacao-de-bernoulli/>>. Acessado em: 14/06/15.
- HALLIDAY, David, RESNIK Robert, KRANE, Denneth S. Física 2, volume 1, 5 Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2004. 384 p.
- Disponível em: <[http://www.infopedia.pt/\\$tubo-de-venturi](http://www.infopedia.pt/$tubo-de-venturi)>. Acessado em: 14/06/15.
- Disponível em: <http://www.sorocaba.unesp.br/Home/Extensao/Engenhocas/Malukoos_-_Roteiro_Final.pdf>. Acessado em: 14/06/15.
- Disponível em: <<http://www.dicionarioinformal.com.br/vaz%C3%A3o/>>. Acessado em: 14/06/15.