

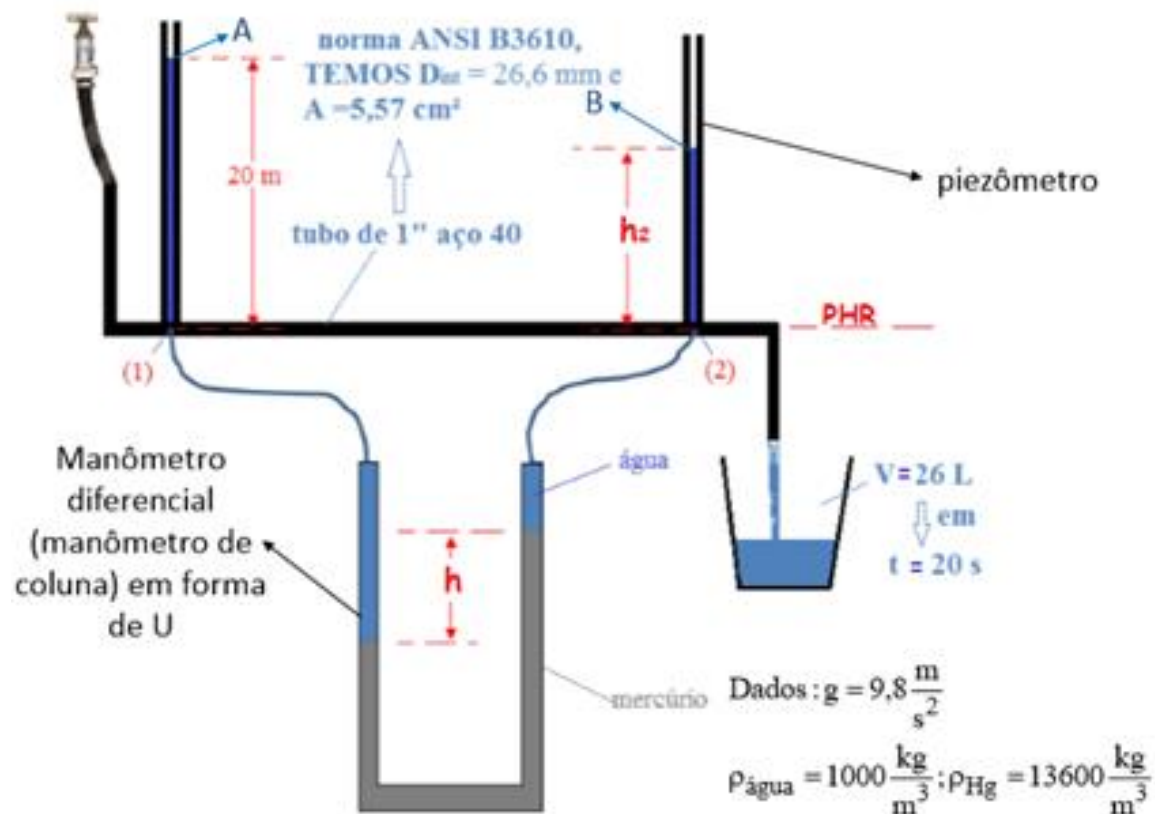
Nesta aula, estudaremos
o tubo de Pitot e a
equação da energia na
presença de máquinas
hidráulicas!

Capítulo 4: Equação
da energia para um
escoamento em
regime permanente





Agora proponho reflexões alicerçadas na solução do exercício 96.



Determinando a vazão de forma direta:

$$Q = \frac{V}{t} = \frac{26}{20} = 1,3 \frac{\text{L}}{\text{s}} \Rightarrow A = 5,57 \text{ cm}^2 = \text{cte}$$

$$\therefore v_1 = v_2 = \frac{Q}{A} = \frac{1,3 \times 10^{-3}}{5,57 \times 10^{-4}} \cong 2,334 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Pela equação de Bernoulli, temos:

$$H_1 = H_2 \Rightarrow z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g}$$

$$z_1 = z_2 \therefore \frac{p_1}{\gamma} = \frac{p_2}{\gamma} = h_2 = 20 \text{ m}$$

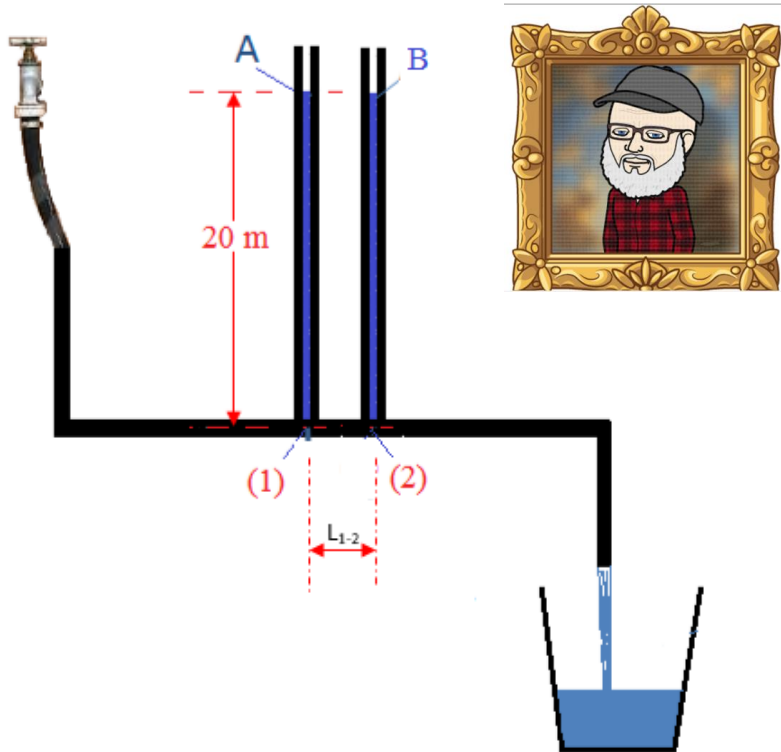
$$p_1 = p_2 \Rightarrow h = 0$$





Isto pode ser observado na prática?

A única possibilidade de ocorrer na prática seria as seções (1) e (2) estarem muito próximas, ou seja, L_{1-2} ser desprezível.



Mas volto a perguntar, esta condição é observada em alguma aplicação?



Respondo esta sua pergunta no próximo item.



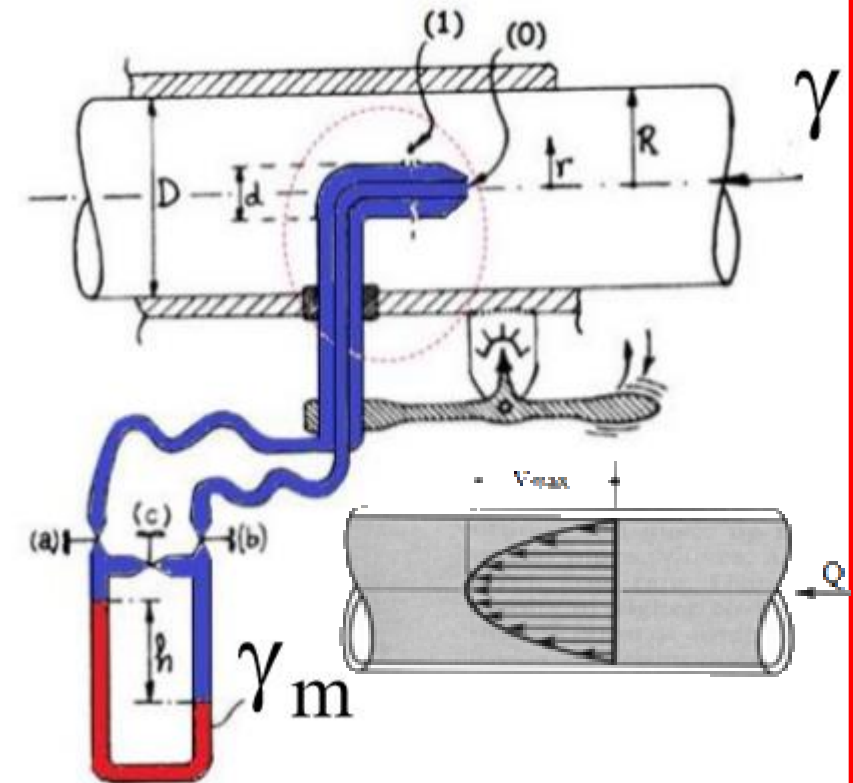
4.6. Tubo de Pitot



O instrumento foi apresentado em 1732 por Henry de Pitot, que afirmou: “a ideia deste instrumento é tão simples e natural que no momento que eu o concebi, corri imediatamente a um rio para fazer o primeiro experimento com um tubo de vidro”.



O Pitot, representado pela figura ao lado, possibilita a determinação da velocidade real do escoamento, mas para isto, tem que ser instalado sempre no sentido contrário ao escoamento





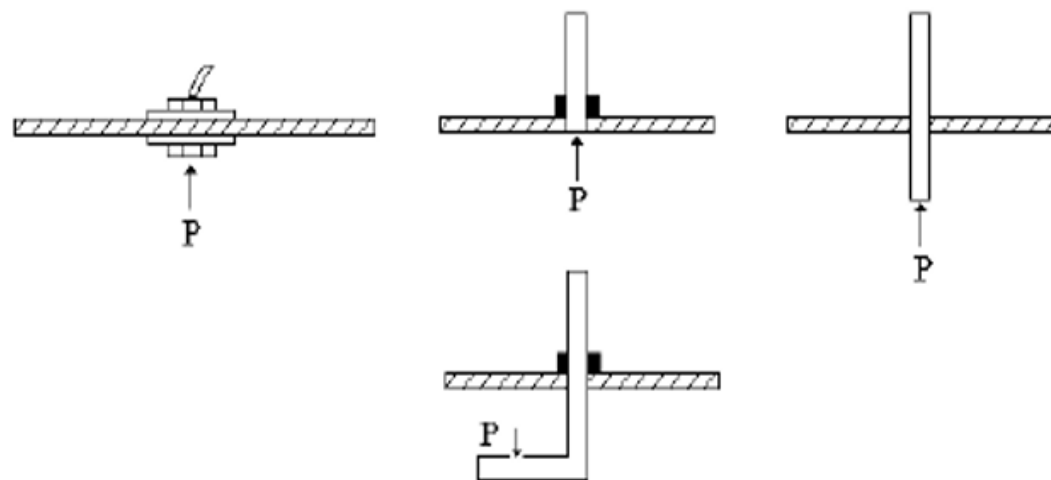
Para compreender o funcionamento do tubo de Pitot, é necessário ter claro o conceito de pressão total, pressão estática e pressão dinâmica.



Pressão dinâmica surge com a transformação da energia cinética em energia de pressão

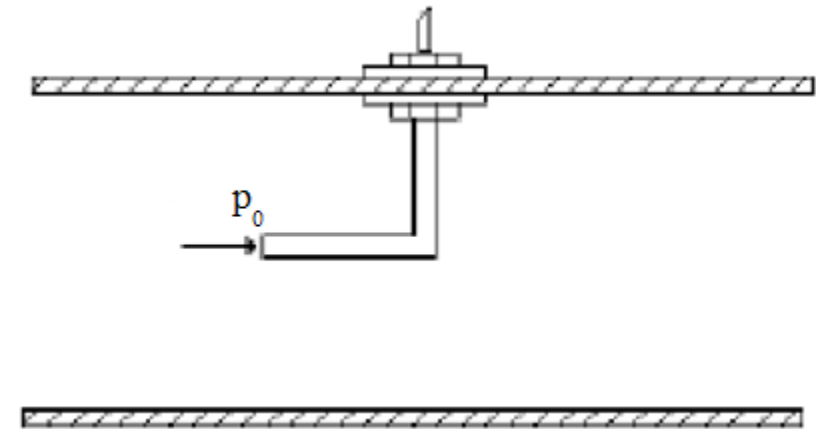


Pressão estática é aquela que é obtida perpendicularmente ao escoamento

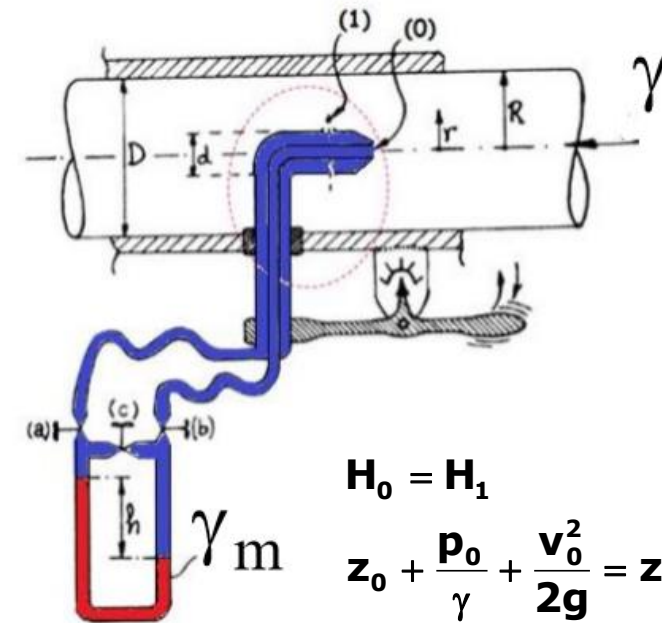




Pressão total é obtida somando-se a pressão estática com a pressão dinâmica



Para qualquer Pitot, como a distância entre as seções (0) e (1) é desprezível, podemos aplicar a equação de Bernoulli já que para a situação a perda de carga é desprezível. Através da equação de Bernoulli é possível a determinação da velocidade real referente ao ponto (1)



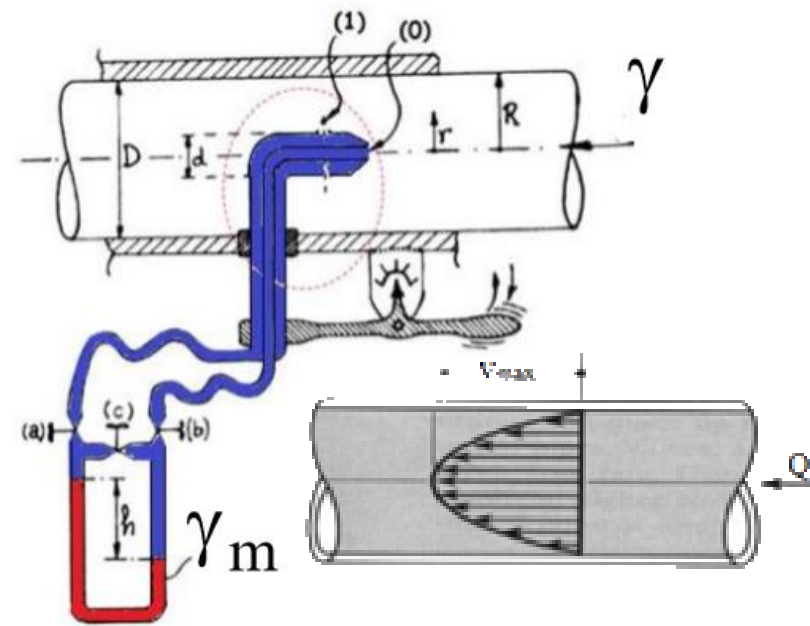
$$H_0 = H_1$$

$$z_0 + \frac{p_0}{\gamma} + \frac{v_0^2}{2g} = z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g}$$



Como $z_0 = z_1$ e no ponto (0) ocorre a transformação da energia cinética em energia de pressão, resulta $v_0 = 0$, resultando:

$$\frac{p_0}{\gamma} = \frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} \Rightarrow \frac{v_1^2}{2g} = \frac{p_0 - p_1}{\gamma}$$



Portanto:

$$v_1 = v_{\text{real}} = \sqrt{2g \times \frac{p_0 - p_1}{\gamma}}$$



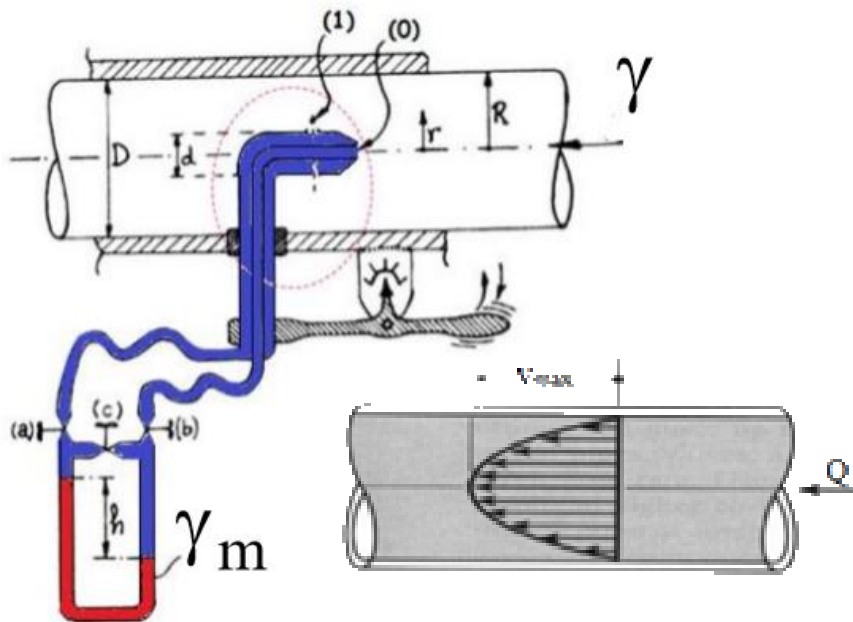
Importante observar que $p_0 - p_1$ representa a pressão dinâmica e que para a situação da figura, aplicando a equação manométrica temos a equação:

$$p_0 - p_1 = h \times (\gamma_m - \gamma)$$

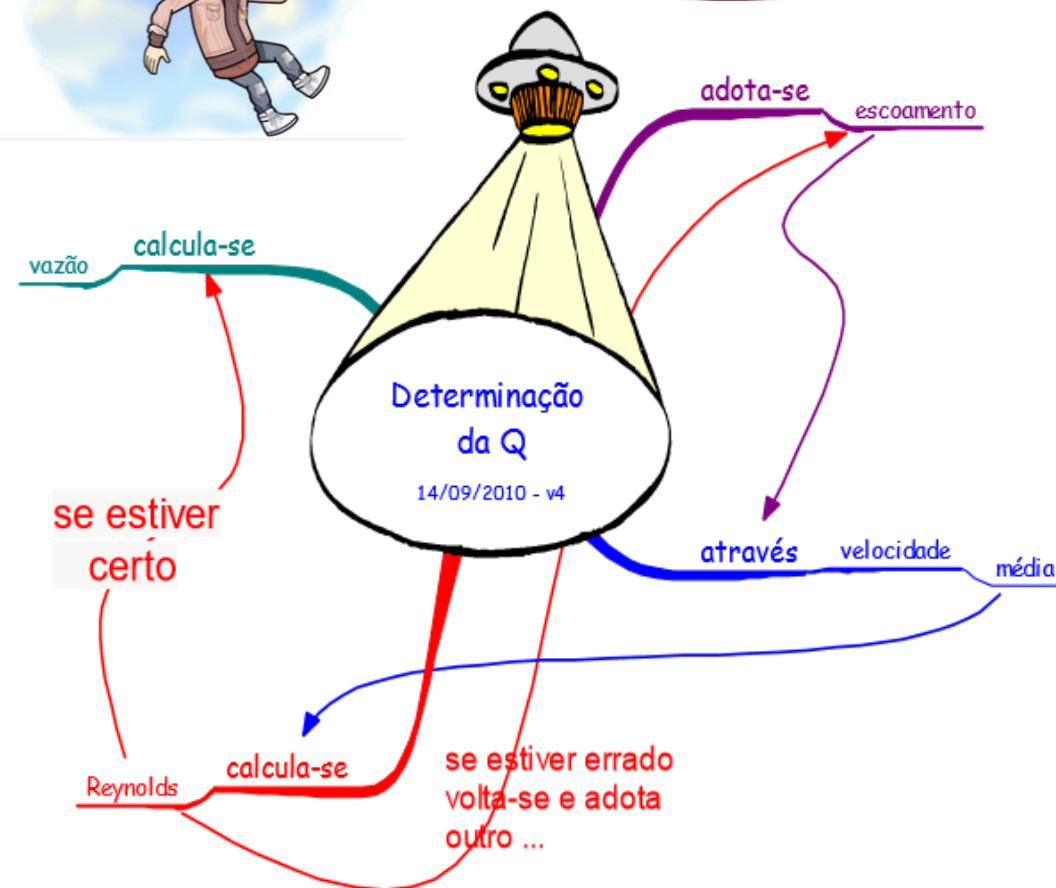


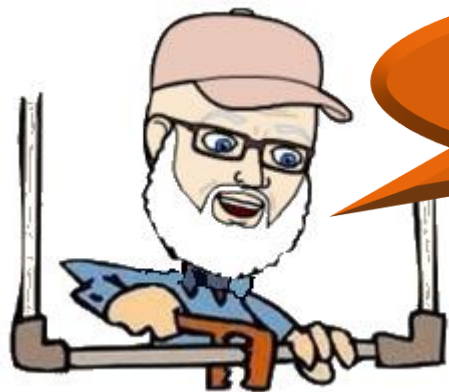
A velocidade real
pode ser então
calculada:

$$v_1 = v_{\text{real}} = \sqrt{2gh \times \left(\frac{\gamma_m - \gamma}{\gamma} \right)}$$



Tendo a velocidade real
pelo tubo de Pitot,
podemos determinar a
vazão do escoamento.





Adotamos, por exemplo, o escoamento turbulento, onde sabemos que:

$$V_{\text{real}} = V_{\text{máx}} \times \left[1 - \frac{r}{R} \right]^{1/7}$$

Tendo a velocidade real, calculamos a velocidade máxima e com ela a velocidade média:

$$V = V_{\text{média}} = \frac{49}{60} \times V_{\text{máx}}$$



Tendo a velocidade média, determinamos a vazão do escoamento:

$$Q = V_{\text{média}} \times A$$

Se o escoamento fosse laminar, teríamos:

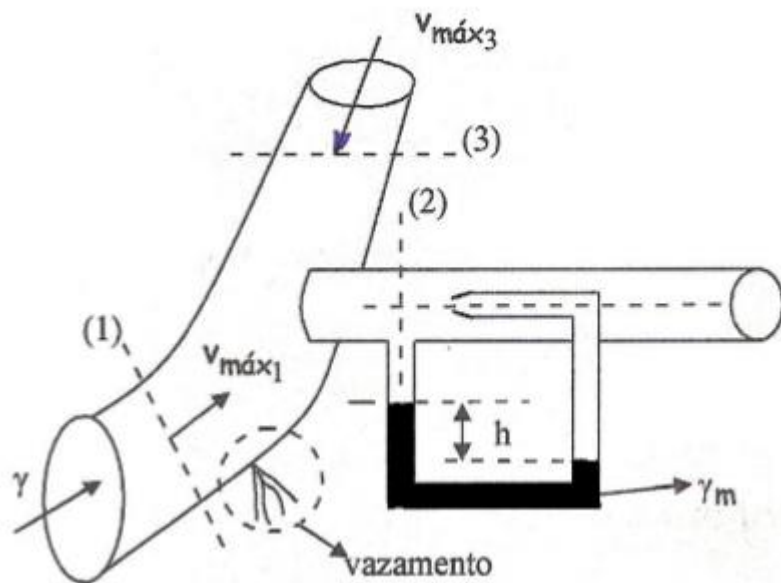
$$V_{\text{real}} = V_{\text{máx}} \times \left[1 - \left(\frac{r}{R} \right)^2 \right]$$

$$\Rightarrow V_{\text{média}} = \frac{V_{\text{max}}}{2}$$



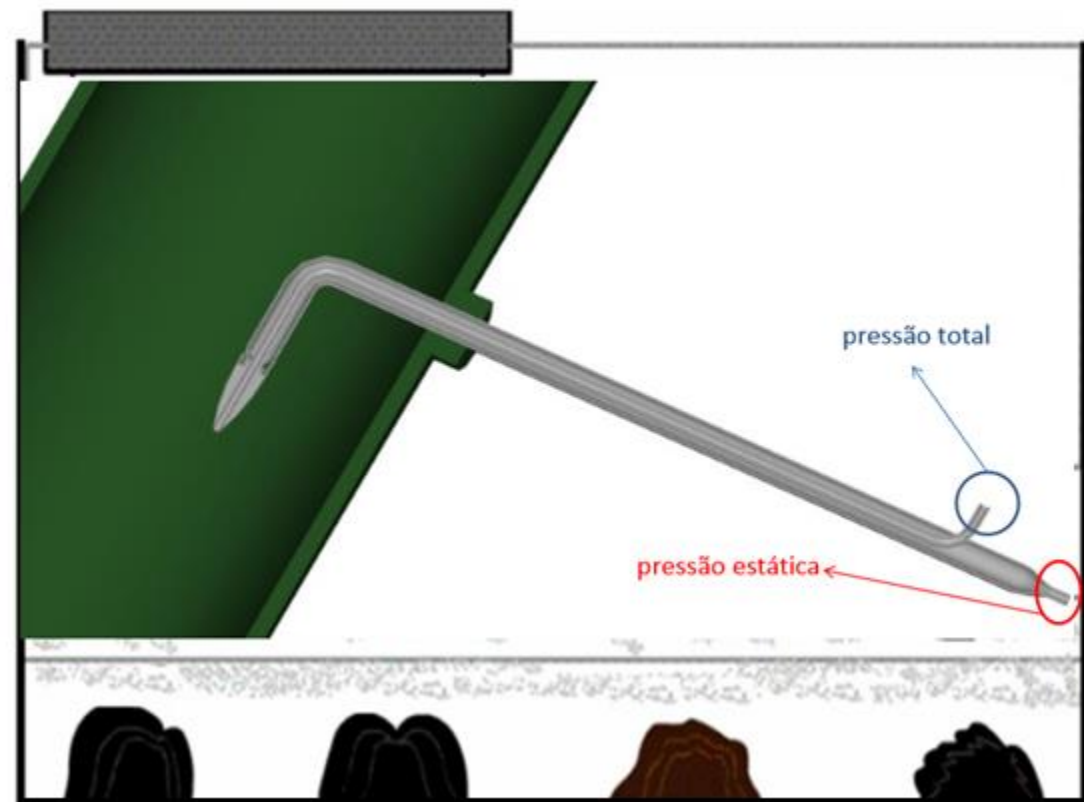
Exercício 103: O engenheiro de manutenção constatou um vazamento em um trecho de uma dada instalação, como é esquematizado a seguir. Sabendo que o escoamento na seção (1) é laminar e em (2) e (3) turbulento, pede-se determinar a vazão do vazamento.

Dados: nas seções (1), (2) e (3) o conduto é forçado de seção circular, onde se tem $D_1 = 38,1 \text{ mm}$; $D_2 = 15,6 \text{ mm}$; $D_3 = 26,6 \text{ mm}$; $v_{\text{máx}1} = 1 \text{ m/s}$; $v_{\text{máx}3} = 2 \text{ m/s}$; $h = 3,7 \text{ cm}$; $\nu = 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$; $\gamma = 8500 \text{ N/m}^3$; $\gamma_m = 136000 \text{ N/m}^3$; $g = 9,8 \text{ m/s}^2$



4.7. Simulação da experiência do tubo de Pitot





No laboratório o fluido manométrico é a isoparafina 13/15 com bromofórmio e corante.

$$\rho_m = 2877,83 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

A sua massa específica considerada é:





Através desta experiência, como os dados obtidos com o Pitot instalado, por exemplo no centro do tubo ($r = 0$), determine a vazão do escoamento, que deve ser comparada com a vazão obtida de forma direta.

4.8. Equação da energia para um escoamento incompressível, em regime permanente e em trecho sem máquina hidráulica

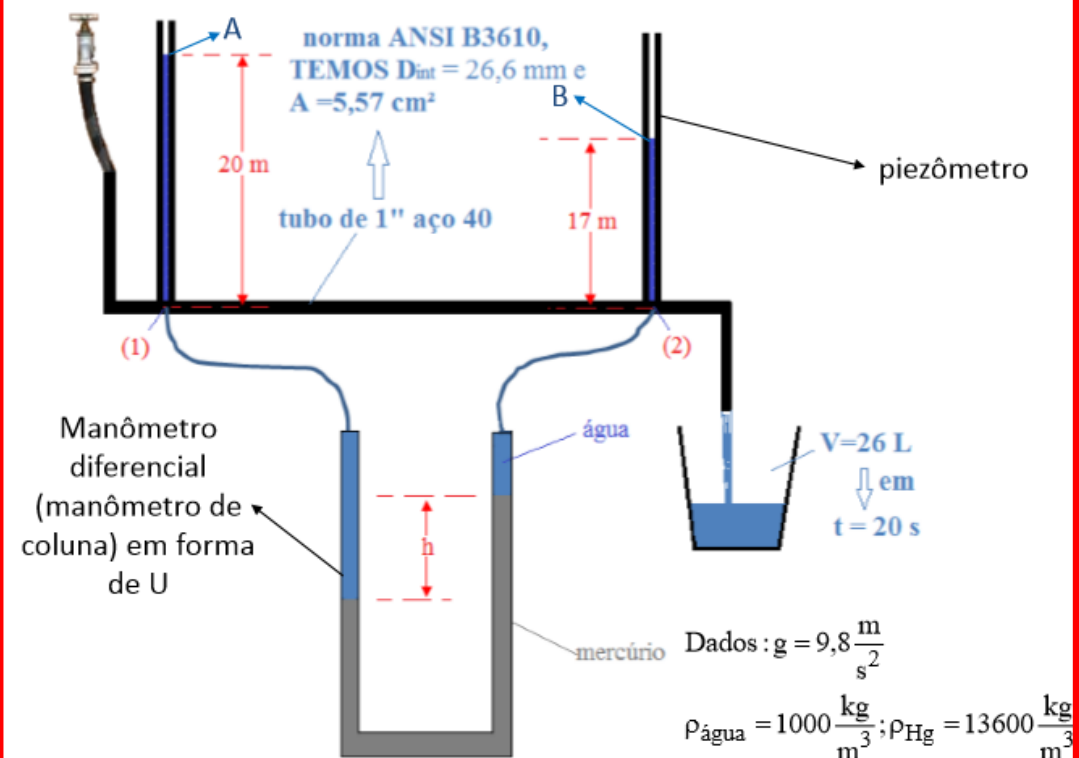
$$H_{\text{inicial}} = H_{\text{final}} + H_{p_{i-f}}$$

$$z_{\text{inicial}} + \frac{p_{\text{inicial}}}{\gamma} + \frac{v_{\text{inicial}}^2}{\gamma} = z_{\text{final}} + \frac{p_{\text{final}}}{\gamma} + \frac{v_{\text{final}}^2}{\gamma} + H_{p_{i-f}}$$



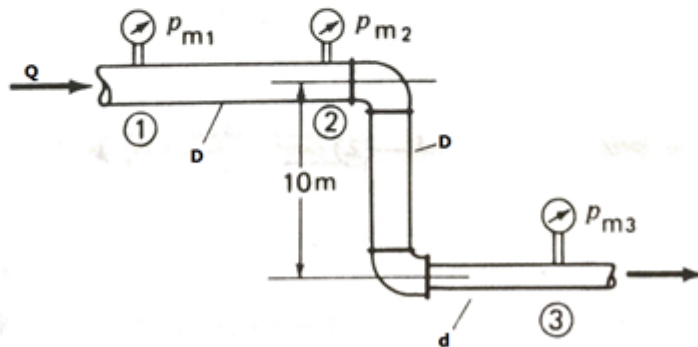
Importante: em um trecho sem máquina o fluido sempre esco da maior carga para a menor carga e a diferença entre elas é a perda de carga no trecho considerado.

Exercício 109: Considerando o trecho da instalação representado abaixo, pede-se comparar a carga total em (1) com a carga total em (2).



Exercício 111: Água escoá através de um tubo com uma vazão de 4 L/s. Se as pressões manométricas p_{m1} , p_{m2} e p_{m3} são respectivamente 13,8 kPa, 12,3kPa e 10,8 kPa, calcule a perda de carga nos trechos de (1) a (2); de (2) a (3) e de (1) a (3).

Dados: $\rho_{\text{água}} = 1000 \text{ kg/m}^3$; $g = 9,8 \text{ m/s}^2$; e os diâmetros internos das tubulações $D = 52,5 \text{ mm}$ e $d = 26,6 \text{ mm}$.



Veja a solução: <https://www.youtube.com/watch?v=1dLdabbnX4>

4.10. Equação da energia para um escoamento incompressível, em regime permanente e em presença de máquina hidráulica.

4.10.1. Conceito de máquina hidráulica

Máquina hidráulica é o dispositivo que introduzido no escoamento fluido fornece, ou retira, energia na forma de trabalho. A energia fornecida, ou retirada, por unidade de peso é denominada de carga manométrica da máquina.

Bomba hidráulica é o dispositivo que fornece carga ao fluido, esta carga fornecida é denominada de carga manométrica da bomba e representada por H_B .

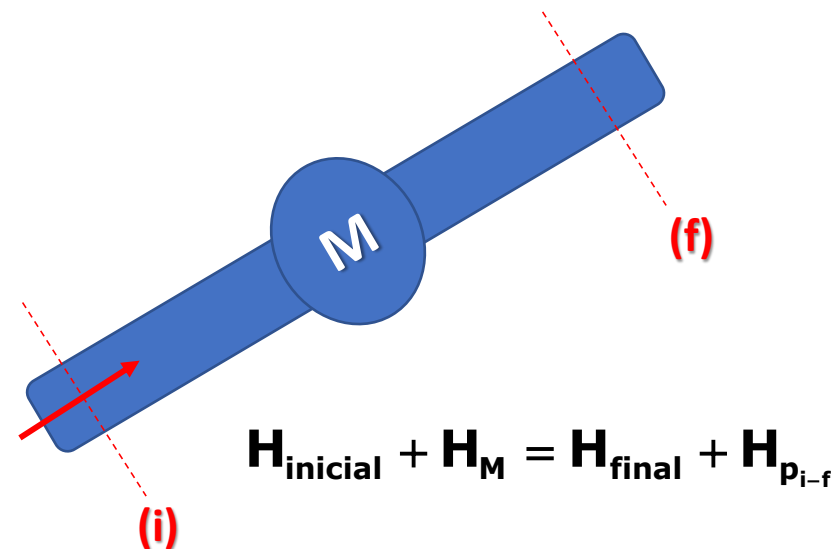


Turbina hidráulica é o dispositivo que retira carga do fluido, esta carga é denominada de carga manométrica da turbina e representada por H_T .

4.10.2. Equação da energia em presença de máquina hidráulica



Considere o trecho de uma instalação representado pela figura, onde ocorre o escoamento incompressível e em regime permanente.



$$z_i + \frac{p_i}{\gamma} + \frac{v_i^2}{2g} + H_M = z_f + \frac{p_f}{\gamma} + \frac{v_f^2}{2g} + H_{p_{i-f}}$$

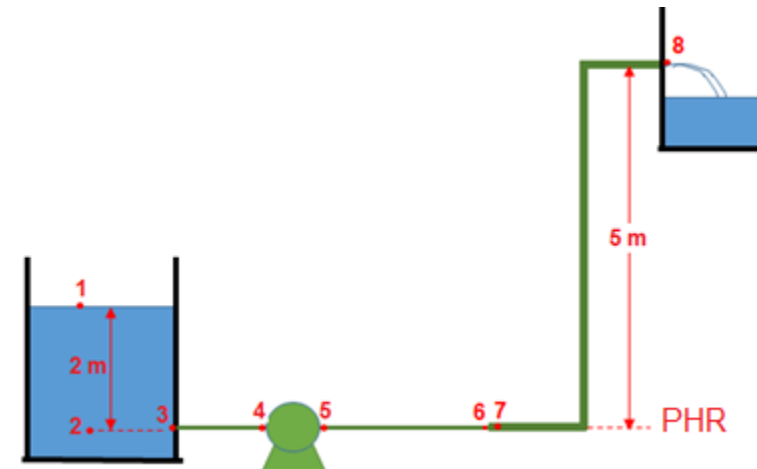
Observações:

- Se $H_M > 0$ é bomba e $H_M = + H_B$; se $H_M < 0$ é turbina e $H_M = - H_T$.
- Só podemos escrever as equações anteriores se o sentido do escoamento for conhecido, caso não seja, consideramos um trecho sem máquina e calculamos a carga total (H) em duas seções e sempre em um trecho sem máquina, o fluido escoa da maior carga para a menor carga.

- O **único trecho que não consideramos as perdas** na equação da energia é entre **a entrada e a saída de uma máquina**, isto porque as perdas já são consideradas no rendimento da máquina.

Exercício 115: Na instalação a seguir esquematizada deverão circular 15 m³/h de água ($\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$ e $\mu = 10^{-3} \text{ Pa} \cdot \text{s}$). Verificar o tipo de máquina e calcular sua carga manométrica.

São dados: $H_{p_{3-4}} = 3,1 \text{ m}$; $H_{p_{5-6}} = 4,1 \text{ m}$; $H_{p_{6-7}} = 1,8 \text{ m}$; $H_{p_{7-8}} = 10,2 \text{ m}$; aceleração da gravidade $9,8 \text{ m/s}^2$; área da seção transversal dos tubos: até 6: $A = 0,001314 \text{ m}^2$ ($D_{\text{int}} = 40,8 \text{ mm}$); de 7 a 8: $A = 0,002165 \text{ m}^2$ ($D_{\text{int}} = 52,5 \text{ mm}$).



Exercício 120: A instalação de bombeamento representada a seguir transporta água ($\rho = 995 \text{ kg/m}^3$) com uma vazão de 5 L/s. Sabendo que a instalação tem um único diâmetro igual a 63 mm, que a aceleração da gravidade é $9,8 \text{ m/s}^2$, que a pressão na entrada da bomba, registrada por um vacuômetro é -55870 Pa e que a pressão na saída da bomba, registrada pelo manômetro, é 101870 Pa , pede-se a carga manométrica da bomba; a perda de carga antes da bomba e a perda de carga depois da bomba.

