AULA 7

EQUAÇÃO DA ENERGIA PARA REGIME PERMANENTE

Prof. Geronimo Virginio Tagliaferro

DEFINIÇÕES

Com base no fato que a energia não pode ser criada nem destruída, mas apenas transformada, é possível construir uma equação que permitirá fazer o balanço das energias.

- ✓ **Equação da energia**

1. Tipos de Energia

- Energia potencial;
- Energia Cinética;
- Energia de pressão, ou:
- Energia mecânica total do sistema.

A equação mais simples

- Equação de Bernoulli

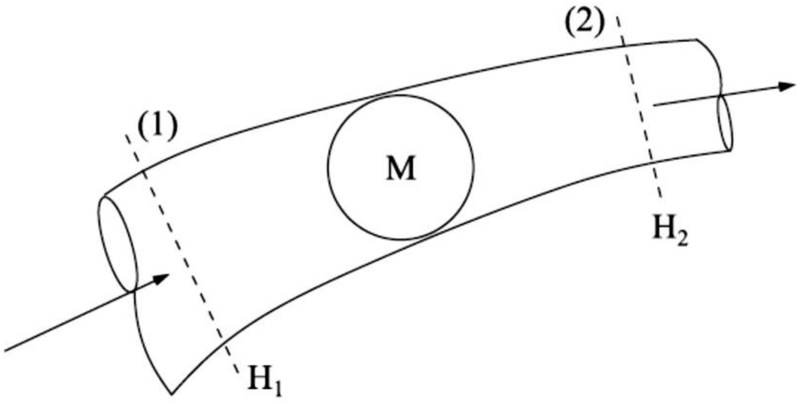
$$H_1 = H_2$$

$$\frac{p_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + z_1 = \frac{p_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + z_2$$

Mas e se tiver uma máquina entre os trechos??

EQUAÇÃO DA ENERGIA E PRESENÇA DE UMA MÁQUINA

- ✓ Máquina, qualquer dispositivo que introduzido no escoamento, retire ou fornece energia para o sistema, na forma de trabalho.
- ✓ Bombas (fornece energia), ou turbinas (retira energia).
- ✓ Hipóteses: fluído incompressível, temos:



Se não houvesse máquina:

$$H_1 = H_2$$

Se a máquina for uma bomba
o fluído receberá um acréscimo
De energia.

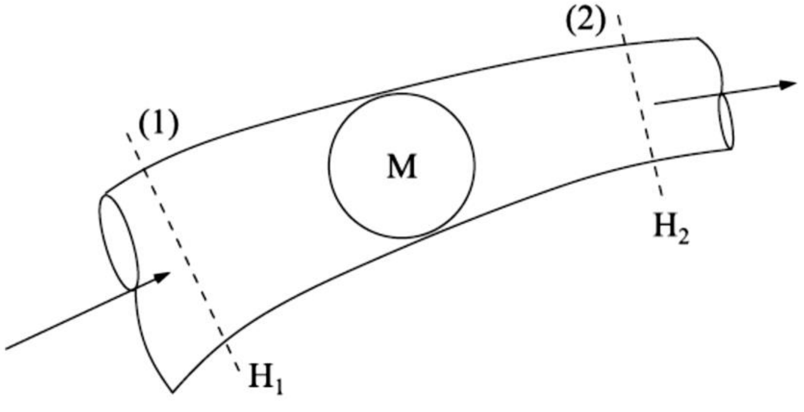
$$H_2 > H_1$$

EQUAÇÃO DA ENERGIA E PRESENÇA DE UMA MÁQUINA

Para restabelecer a igualdade, devemos somar ao primeiro membro a energia fornecia à unidade de peso do fluído da máquina.

$$H_1 + H_B = H_2$$

H_B – a carga ou altura manométrica da bomba. Representa a energia fornecida à unidade de peso do fluído que passa pela bomba.



EQUAÇÃO DA ENERGIA E PRESENÇA DE UMA MÁQUINA

Se a máquina for uma turbina, $H_1 > H_2$, pois por definição, a turbina retira energia do fluído. Para restabelecer a igualdade:

$$H_1 - H_T = H_2$$

H_T – a carga ou altura manométrica da turbina. Representa a energia retirada da unidade de peso do fluído pela turbina.

Para uma máquina H_M, temos:

$$H_1 + H_M = H_2$$

Lembrando os tipos de energias,

$$\boxed{\frac{p_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + z_1 + H_M = \frac{p_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + z_2}$$

POTÊNCIA DA MÁQUINA E NOÇÃO DE RENDIMENTOS

- Potência: é o trabalho por unidade de tempo.
- Como o trabalho é uma energia mecânica, podemos generalizar definindo para ***o Fluído***:

Potência: é qualquer energia mecânica por unidade de tempo.

$$N = \frac{Energia\ mecânica}{tempo} \quad \text{equivalente} \quad \rightarrow N = \frac{Energia\ mecânica}{peso} \times \frac{peso}{tempo}$$

A energia por peso é denominada de "carga".

$$N = \text{carga} \times Q_G$$

$$N = \gamma Q \times \text{carga}$$

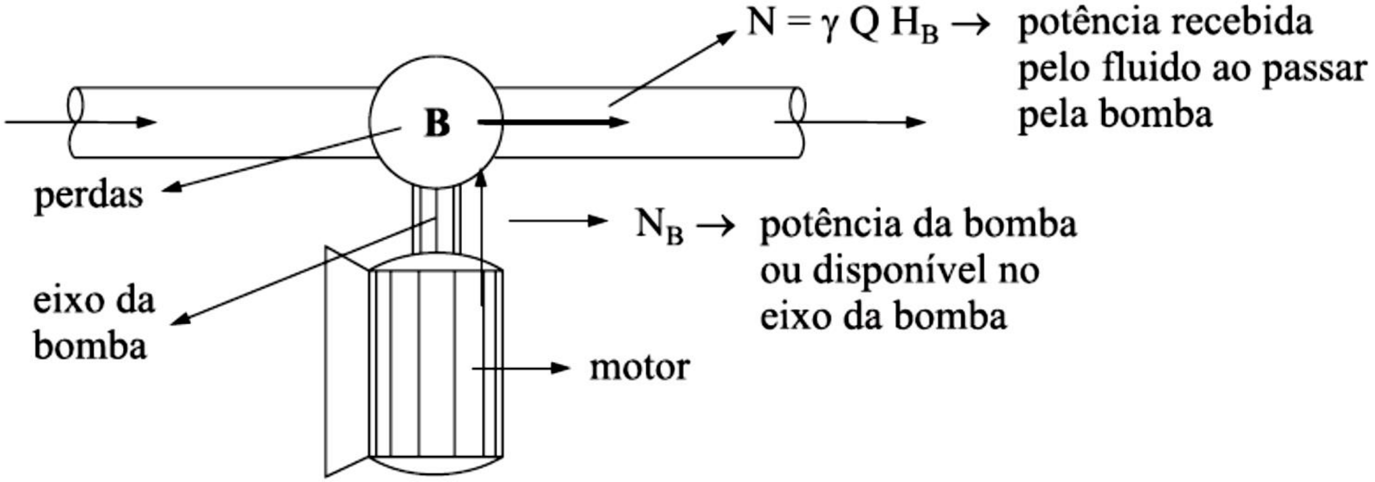
A equação da potência para um fluído será:

$$\boxed{N = \gamma Q H}$$

POTÊNCIA E RENDIMENTO DE BOMBAS E TURBINA

Na transferência de energia sempre existem perdas e, portanto, nem toda potência recebida ou cedida pelo fluído coincidirá com a potência da máquina.

Bombas: Potência



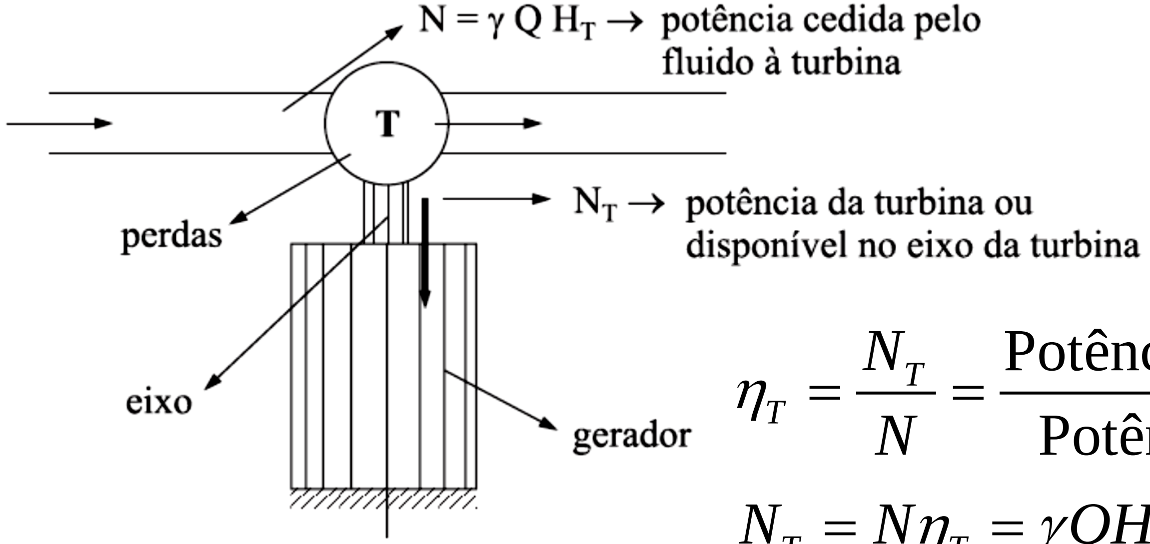
Rendimento:

$$\eta_B = \frac{N}{N_B} = \frac{\text{Potência que o fluído recebeu}}{\text{Potência que a bomba cedeu}}$$

$$N_B = \frac{N}{\eta_B} = \frac{\gamma Q H_B}{\eta_B}$$

POTÊNCIA E RENDIMENTO DE BOMBAS E TURBINA

Na turbina:



$$\eta_T = \frac{N_T}{N} = \frac{\text{Potência que a turbina recebeu}}{\text{Potência que o fluído cedeu}}$$

$$N_T = N\eta_T = \gamma Q H_T \eta_T$$

Unidades de potência:

SI: N.m/s = J/s = W (watt) $\rightarrow$ 1kgm/s = 9,8 W

MKS: kgf.m/s = kgm/s

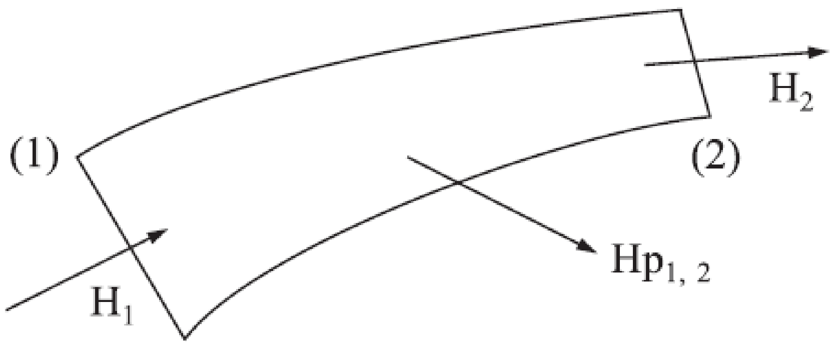
Outras unidades:

1 CV = 75 kgm/s = 735 W

1 HP = 1,014 CV

EQUAÇÃO DA ENERGIA PARA FLUÍDO REAL

Sabemos, que ocorre atrito no transporte do fluído e portanto não podemos tratar o fenômeno em estudo como um fluído ideal.
Na verdade, temos que considerar como um fluído real, com atrito e perdas de energia no transporte. Com isso,



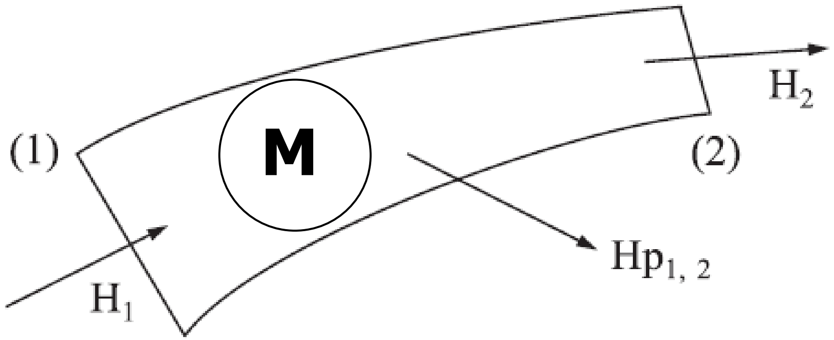
Durante o transporte, $H_1 > H_2$, querendo restabelecer a igualdade:

$$\boxed{H_1 = H_2 + H_{p1,2}}$$

$H_{p1,2}$ – energia perdida entre (1) e (2) por unidade de peso do fluído.
“Perda de carga”

EQUAÇÃO DA ENERGIA PARA FLUÍDO REAL

Se for considerada a presença de uma máquina no trecho entre (1) e (2), a equação será:



$$\boxed{H_1 + H_M = H_2 + H_{p1,2}}$$

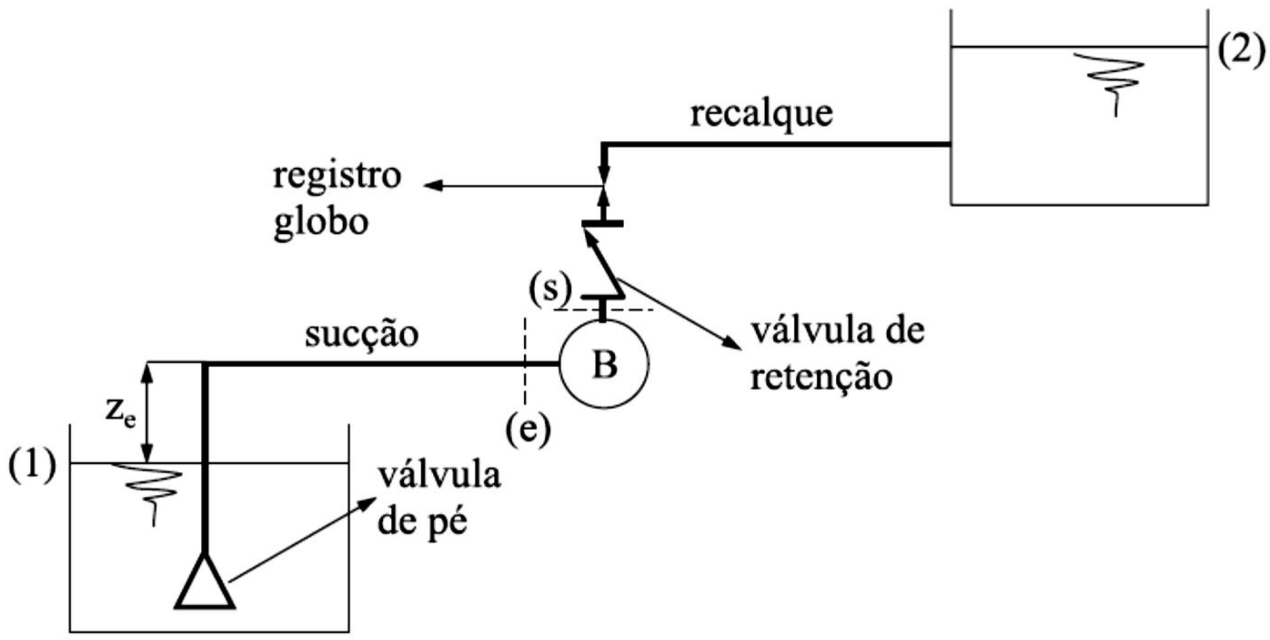
$$\boxed{\frac{p_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + z_1 + H_M = \frac{p_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + z_2 + H_{p1,2}}$$

Potência referente ao atrito:

$$N_{diss.} = \gamma Q H_{p1,2}$$

INSTALAÇÕES DE BOMBEAMENTO

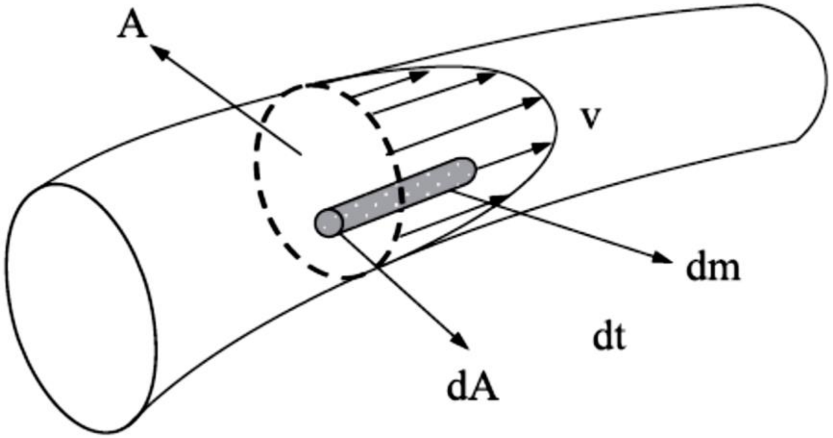
É o conjunto de equipamentos que permite o transporte e controle da vazão de um fluído.



- Sucção: é a seção que vai desde o reservatório até a bomba.
- Recalque: é a seção que liga a bomba até o reservatório de descarga.

DIAGRAMA DE VELOCIDADE NÃO-UNIFORME A SEÇÃO

Até agora, consideramos o escoamento uniforma na seção do tubo, mas pelo princípio da aderência, o digrama velocidade não será uniforme.



Dessa forma, o termo $\frac{V^2}{2g}$ terá alteração. Da figura, temos:

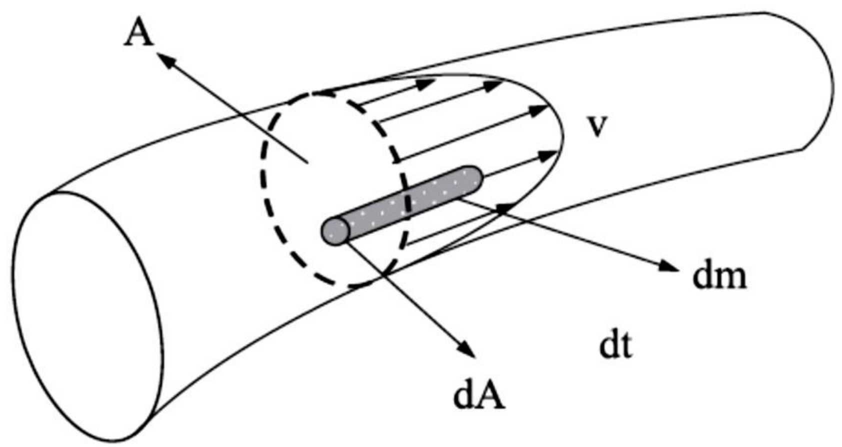
E_c calculada no intervalo de tempo dt, através de um dA da seção de área A.

$$dE_c = \frac{dmV^2}{2} \quad \div \mathrm{dt}$$

$$dC = \frac{dmV^2}{2dt} \quad \text{fluxo de energia cinética}$$

Mas, dm/dt é a vazão em massa atrvés de dA, logo:

$$\frac{dm}{dt} = dQ_m = \rho dQ = \rho V dA$$



$$dC = \rho v dA \frac{V^2}{2} \quad \rightarrow \quad dC = \frac{\rho V^3}{2} dA$$

Integrando:

$$C = \int \frac{\rho V^3}{2} dA$$

Adotando veloc. média na seção e ρ=c^{et}$, temos:$

$$C = \int \frac{\rho V^3}{2} dA \neq \frac{\rho V_m^3 A}{2}$$

Logo é necessário introduzir um coeficiente que chamaremos de α

$$C = \int \frac{\rho V^3}{2} dA = \alpha \frac{\rho V_m^3 A}{2}$$

α - coeficiente da energia cinética

Determinando o α

$$\alpha = \frac{2}{\rho V_m^3 A}\int \frac{\rho V^3}{2} dA \quad \text{ou}$$

$$\alpha = \frac{1}{A}\int \left(\frac{V}{V_m}\right)^3$$

Tendo a definição de α, o fluxo de energia cinética será:

$$C = \alpha \frac{\rho V_m^3 A}{2}$$

Em tubos de seção circular e escoamento laminar vale o diagrama

$$V = V_{\max}\left[1 - \left(\frac{r}{R}\right)^2\right]$$

E o α = 2.

Se o escoamento for turbulento:

$$V = V_{\max}\left[1 - \frac{r}{R}\right]^{1/7}$$

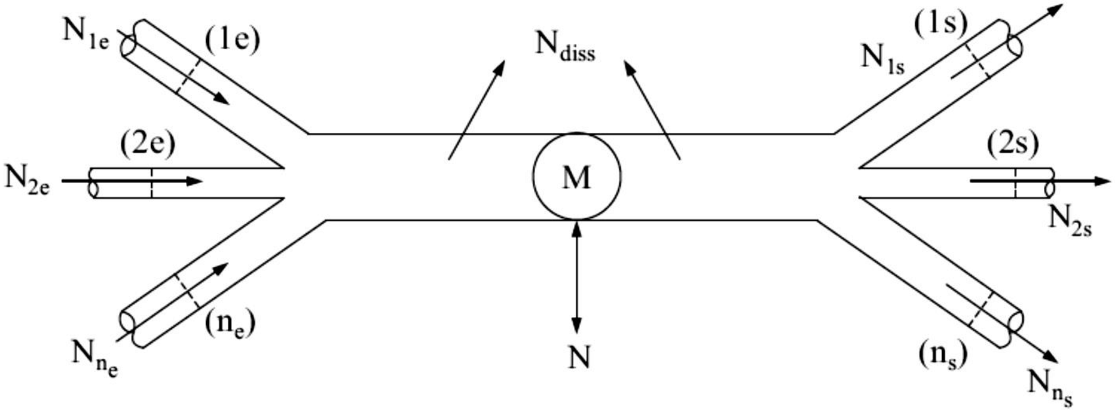
Fazendo $\frac{\text{Energia cinética}}{peso} = \frac{C}{Q_G} = \frac{\alpha \frac{\rho V_m^3 A}{2}}{\rho g V_m A} = \alpha \frac{V_m^2}{2g}$

Voltando na equação da energia para fluído real

$$\boxed{\frac{p_1}{\gamma} + \alpha_1 \frac{V_1^2}{2g} + z_1 + H_M = \frac{p_2}{\gamma} + \alpha_2 \frac{V_2^2}{2g} + z_2 + H_{p1,2}}$$

O coeficiente α é função somente do diagrama de velocidade e será tanto maior que a unidade quanto mais este último se afastar do diagrama uniforme

Equação da Energia para diversas entradas e saídas e escoamento em regime permanente de um fluído incompressível, sem trocas de calor.



$$\sum_e N = \sum_s N$$

$$\sum_e \gamma Q H = \sum_s \gamma Q H$$

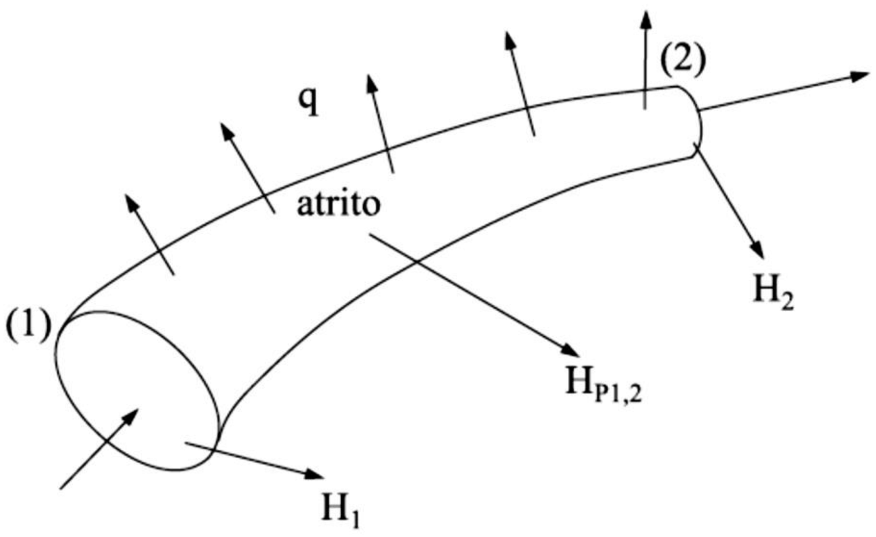
lembrando que $H = \dfrac{\alpha V^2}{2g} + \dfrac{p}{\gamma} + z$

e se tiver presença de máquina e perdas por atrito,

$$\boxed{\sum_e \gamma Q H + N_M = \sum_s \gamma Q H + N_{diss.}}$$

Interpretação da perda de carga por atrito

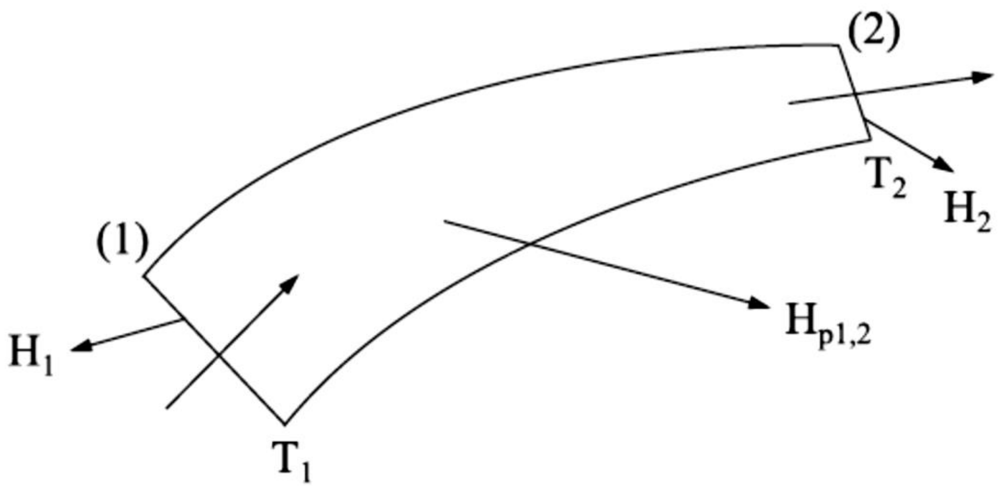
- Como essa energia é perdida?
- Aquecendo o fluído!
- Haverá troca de calor do fluído com o meio.



Calor por unidade de peso
q > 0 quando fornecido ao fluído
q < 0 quando retirado do fluído

É obvio que o calor gerado pelo atrito é sempre perdido pelo fluído

Vamos supor um escoamento adiabático, sem trocas de calor. Nesse caso, haveria um aquecimento entre o trecho (1) e (2).



O aumento de temperatura do fluído promove um aumento de energia térmica ou interna. Vamos chamar de i e na ausência de outros fenômenos i será proporcional a T.

$$\boxed{i = \frac{c_e}{g} T}$$

Onde: c_e – calor especifico do fluído = calor necessário para que a unidade de massa do fluido sofra uma variação de temperatura de um grau.
g – aparece pelo fato de c_e ser definido por unidade de massa e i por unidade de peso.

Pelo principio da conservação da energia, o aumento de energia térmica do fluído deverá ser acompanhado por uma diminuição da energia mecânica.

$$H_{p1,2} = \mathrm{i}_2 - \mathrm{i}_1 = \frac{c_é}{g}(T_2 - T_1)$$

Em regime permanente, o escoamento não será nem adiabático nem isotérmico e haverá uma simultaneidade de trocas de calor e variação de temperaturas entre as seções devido ao atrito de forma,

$$H_{p1,2} = (\mathrm{i}_2 - \mathrm{i}_1) - q$$

A equação acima deve ser levada em conta com efeito de conceito. Devido ao fato de que os valores da variação de temperatura serem muitos pequenos e difíceis de calcular.

Para fluído compressível:

Para ser verificado a hipótese de fluído incompressível o número Mach do fluído seja menor que 0,2.

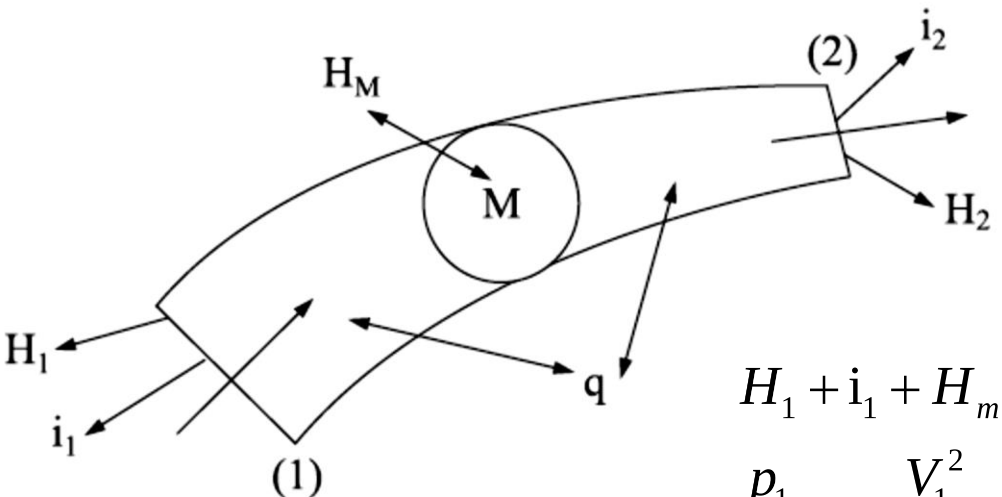
$$M = \frac{V}{c} < 0,2$$

V = velocidade do fluído;
c = velocidade do som.
c = 343 m/s (ar a 20 °C)

Quando o fluído for compressível e houver trocas térmicas induzidas de calor, não será mais possível ignorar as energias térmicas, pois interfere na energia interna do fluído, em outras palavras:

$$H_{p1,2} \neq (\mathrm{i}_2 - \mathrm{i}_1) - q$$

Dessa forma, a equação geral da energia válida para fluidos compressível e com efeitos térmicos, deve ser feito considerando a variação de energia térmica e ou calor.



$$H_1 + i_1 + H_m + q = H_2 + i_2$$

$$\frac{p_1}{\gamma} + \alpha_1 \frac{V_1^2}{2g} + z_1 + i_1 + H_m + q = \frac{p_2}{\gamma} + \alpha_2 \frac{V_2^2}{2g} + z_2 + i_2$$

Como a entalpia $h = \frac{p}{\gamma} + i$, temos:

$$\boxed{\alpha_1 \frac{V_1^2}{2g} + z_1 + h_1 + H_m + q = \alpha_2 \frac{V_2^2}{2g} + z_2 + h_2}$$

É a 1ª lei da TD
Para volume de controle

Exercícios:

Sendo a pressão p_8 mantida igual a 532 kPa constante, determinar a potência da bomba de rendimento 0,7 e a pressão na entrada dela se a vazão for 40 L/s. Dados: tubos de ferro galvanizado ($k = 0{,}15 \times 10^{-3}$ m); $k_{s_1} = 15$; $k_{s_2} = k_{s_6} = 0{,}9$; $k_{s_3} = k_{s_5} = 10$; $k_{s_7} = 1$; $k_{s_4} = 0{,}5$; $p_{v_{H_2O}} = 1{,}96$ kPa (abs); $\gamma = 10^4$ N/m^3; $\upsilon = 10^{-6}$ m^2/s; $p_{atm} = 101$ kPa.

Indica-se com índice S o que se refere à sucção e com R o que se refere ao recalque. Dados: $D_S = 15$ cm; $D_R = 10$ cm.

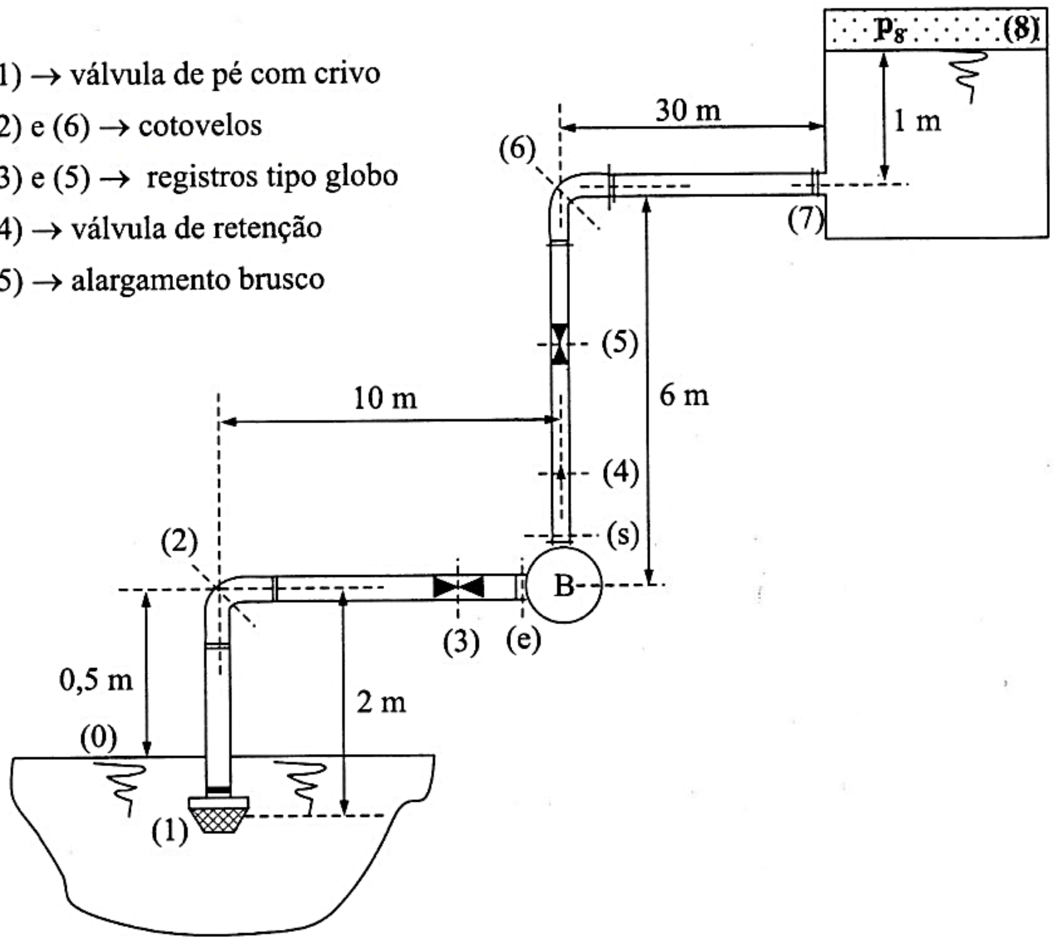
(1) → válvula de pé com crivo

(2) e (6) → cotovelos

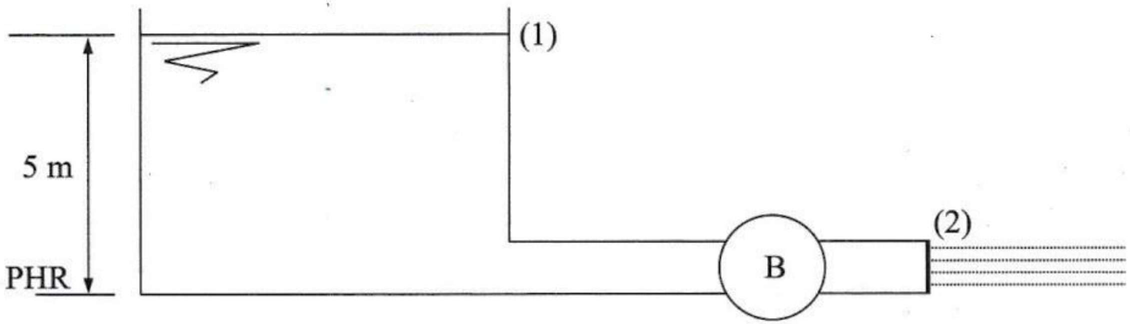
(3) e (5) → registros tipo globo

(4) → válvula de retenção

(5) → alargamento brusco



2) Na instalação da figura, a máquina é uma bomba e o fluido é água. A bomba tem uma potência de 5 kW e seu rendimento é 80%. A água é descarregada à atmosfera com uma velocidade de 5 m/s pelo tubo cuja área da seção é 10 cm^2. Determinar a perda de carga do fluido entre (1) e (2) e a potência dissipada ao longo da tubulação. $\gamma = 10^4\ N/m^3$; $g = 10\ m/s^2$.



Solução

Temos
$$H_1 + H_B = H_2 + H_{p_{1,2}}$$
$$H_1 = \frac{v_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\gamma} + z_1 = 0 + 0 + 5 = 5\ m$$
$$H_2 = \frac{v_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\gamma} + z_2 = \frac{5^2}{2\times 10} + 0 + 0 = 1{,}25\ m$$

Com
$$N_B = \frac{\gamma Q H_B}{\eta_B} \rightarrow H_B = \frac{\eta_B N_B}{\gamma Q} = \frac{\eta_B N_B}{\gamma v A}$$
$$H_B = \frac{0{,}8\times 5\times 10^3}{10^4\times 5\times 10\times 10^{-4}} = 80\ m$$
$$H_{p_{1,2}} = H_1 - H_2 + H_B = 5 - 1{,}25 + 80$$
$$H_{p_{1,2}} = 83{,}75\ m$$
$$N_{diss_{1,2}} = \gamma Q H_{p_{1,2}} = 10^4\times 5\times 10\times 10^{-4}\times 83{,}75\times \frac{1}{1.000} = 4{,}19\ kW$$