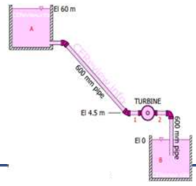
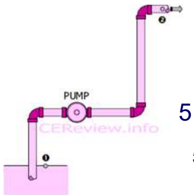
INSTITUTO SUPERIOR DE AGRONOMIA
Universidade de Lisboa
Departamento de Ciências e Engenharia de Biossistemas

MECÂNICA DE FLUIDOS



Cap 5



ESCOAMENTOS SOB PRESSÃO

5.1 Fluidos reais. Generalização da Equação de Bernoulli.

5.2 Velocidade média na secção: coeficiente de *Coriollis*;

5.3 Perdas de energia ao longo do escoamento

5.4 Altura manométrica. Potência do escoamento. Rendimento

Bibliografia:
- Quintela, A. 2000. *Hidráulica*. Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa;
- Lencastre, A. 2000. *Hidráulica Geral*.1996. Edição do autor. Lisboa;
- Bastos, F. 1983. *Problemas de mecânica de fluidos*. Gaunabara, Rio de Janeiro;
- Oliveira, L.; Lopes, A. 2007. *Mecânica dos fluidos*. ETEP, Lisboa, 2º edição

5.1 Fluidos reais. Generalização da Equação de Bernoulli.

É muito importante que não esquecer as restrições para a aplicação da equação de Bernoulli na forma apresentada. São elas:

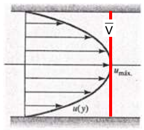
- ✓Escoamento permanente;
- ✓ Fluido incompressível;
- ✓Fluido sem viscosidade
- ✓ Escoamento sem atrito;
- ✓ Aplica-se ao longo de uma linha/filamento de corrente;
- ✓ Ausência de realização de trabalho entre pontos de aplicação.

Quando estas condições não estão garantidas, há que fazer a generalização da Equação de Bernoulli

5.2 Perfil parabólico de velocidades (viscosidade)

A forma generalizada da equação de Bernoulli

$$Z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{\alpha U_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{\alpha U_2^2}{2g}$$



Coeficiente de Coriolis ou de correcção da energia cinética

> condutas de secção circular (água):
> α = 2 para *regime laminar* e
> α = 1.1 para *regime turbulento*.

UC Mecânica de Fluidos / 2º ciclo de Eng Ambiente
M ª Rosário Cameira /Departamento de Engª Biossistemas

Escoamento em condutas sob pressão. Generalização da Equação de Bernoulli

5.3 Perda de energia do fluido real

A experiência mostra que, no escoamento dos fluidos reais, *uma parte da energia do fluido é dissipada quer na forma de calor quer nos turbilhões* que se formam na corrente fluida devido às resistências encontradas durante o escoamento. À parcela de energia perdida chama-se *perda de carga (ΔH)*.

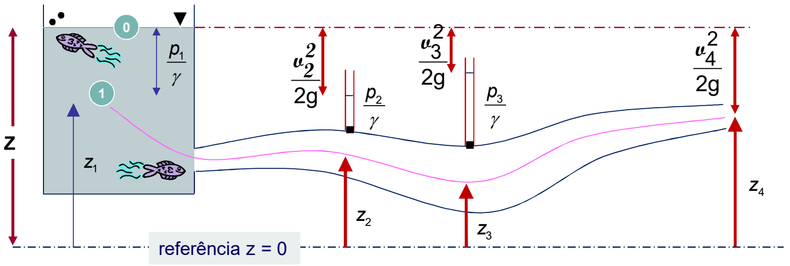
Resistências:

- Viscosidade;
- Contacto do fluido com a parede interna do tubo;
- Acidentes ou singularidades existentes na tubagem (curvas, ramificações, válvulas, etc.)

UC Mecânica de Fluidos / 2º ciclo de Eng Ambiente
M ª Rosário Cameira /Departamento de Engª Biossistemas

Fluido ideal

Energia em (0) = Energia em (1) = … = … = Energia em (4)



$$0 + 0 + Z = H_0$$

$$\frac{P_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + z_2 = H_2$$

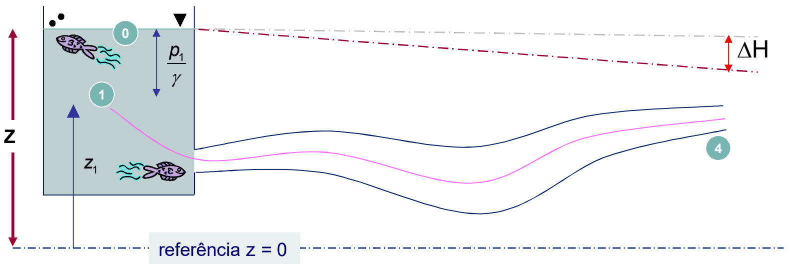
$$\frac{v_4^2}{2g} + z_4 = H_4$$

$$\frac{P_1}{\gamma} + 0 + z_1 = H_1$$

Escoamento em condutas sob pressão. Generalização da Equação de Bernoulli

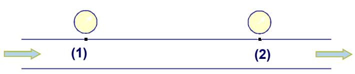
UC Mecânica de Fluidos / 2º ciclo de Eng Ambiente
M ª Rosário Cameira /Departamento de Engª Biossistemas

Fluido real



Energia em (1) = Energia em (4) + perdas entre (1) e (4)

H1 = H4 + ΔH



$$\frac{v_2^2}{2g} = \frac{v_1^2}{2g} \qquad z_2 = z_1 \qquad \frac{p_2}{\gamma} < \frac{p_1}{\gamma}$$

ΔH pode ter duas componentes:

No caso mais geral, em que existem perdas devido ao atrito e devido à existência de singularidades:

$$\Delta H = J_f + \sum h_s$$

J_f representa a perda de energia por fricção tubo/liquido (j x L) e

$\sum h_s$ representa o somatório das perdas de energia singulares

Equação de Bernoulli aplicado a fluidos reais em escoamento permanente

A variação da linha de energia, por unidade de percurso é igual ao trabalho realizado pelas forças de resistência, por unidade de peso do fluido e por unidade de percurso

$$\boxed{\frac{\partial}{\partial L}\left(Z + \frac{p}{\gamma} + \frac{\alpha u^2}{2g}\right) = -j}$$

Para se obter a unidade de altura equivalente

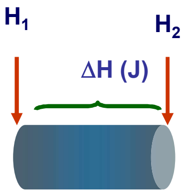
j perda de carga unitária (m m^{-1}); J = j x L perda de carga contínua (m)

L é a distância entre as duas secções de aplicação da Equação de Bernoulli

Determinação da perda de carga unitária, j

Em regime laminar a perda de carga unitária quase sempre pode ser determinada por via analítica

Em regime turbulento a determinação da perda de carga é feita experimentalmente, medindo-se a H do fluido em duas secções afastadas de uma distância L



$$\boxed{Z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{\alpha v_2^2}{2g} - \left(Z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{\alpha v_1^2}{2g}\right) = J}$$

$$\boxed{j = \frac{J}{L}}$$

Como se mede H ?

5.4. Realização de trabalho entre as secções em estudo

- ✓ Em resultado das perdas de carga pode ser necessário adicionar energia ao fluido para mantê-lo em movimento.
- ✓ A energia fornecida pode ainda servir para se obter um aumento de pressão e/ou de cota do fluido.

Esta energia é gerada por um equipamento motriz como por exemplo uma *bomba hidráulica*.

Quando referida em unidades equivalentes de altura (m), a energia que se pretende que a bomba forneça ao escoamento é chamada de:

- ➢ altura manométrica total (H_{mt}) ou
- ➢ carga contra a qual a bomba trabalha ou
- ➢ Carga dinâmica total (total dynamic head)

$$Z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \alpha\frac{\bar{v}_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \alpha\frac{\bar{v}_2^2}{2g} + \Delta H - H_{mt}$$

Como se determina H_{mt}?

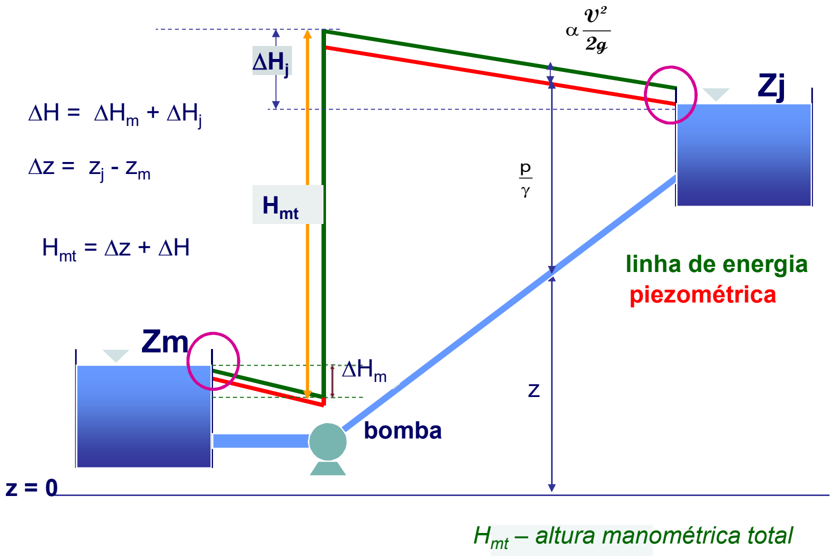
Exemplo

Linha piezométrica e linha de energia de um sistema com bombagem
(pretende-se vencer as perdas de carga e aumentar a cota da água)

$\Delta H = \Delta H_m + \Delta H_j$

$\Delta z = z_j - z_m$

$H_{mt} = \Delta z + \Delta H$



H_{mt} – altura manométrica total

- Como exprimir a altura manométrica da bomba em unidades de potência?

$$P_{ot}\,(W) = \frac{\text{energia(J)}}{\text{tempo (s)}}$$

No TB os diferentes termos de energia estão definidos por unidade de peso do fluido. Logo, a energia do fluido em escoamento, em Joule será: H_{mt} x Peso do fluido

$$P_e = \frac{H_{mt} \times P}{\text{tempo}}$$

Sendo P = ¥ γ, então

$$P_e = \frac{H_{mt}}{\text{tempo}} \times \forall \gamma$$

Q

Logo, a *potência a fornecer ao escoamento, P_e* (W) é dada por:

$$\boxed{Q\,\gamma\,H_{mt} = WHP = P_e}$$

onde Q : $m^3\,s^{-1}$, γ : $N\,m^{-3}$ e H_{mt} : m

Water Horse Power

Portanto H_{mt} ⇔ Pe

Unidades de altura equivalente

Unidades de potência

Qual a potência a fornecer à bomba (P_b ou THP)?

Grupo motor bomba

Potência a fornecer à bomba

P_b ou THP
(total horse power)

Perdas no motor $\eta_m = \frac{BHP}{THP}$

BHP (break horse power)

$$\eta_g = \eta_m \, \eta_t \, \eta_b$$

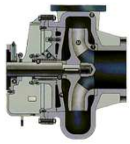
$$\eta_g = \frac{WHP}{THP}$$

Perdas no transmissor $\eta_t = \frac{BHP'}{BHP}$

BHP' (pump break horse power)

$\eta_b = \frac{WHP}{BHP'}$

Perdas na bomba



WHP
(water horse power ou Pe)
$\gamma \, Q \, H_{mt}$

η - rendimento

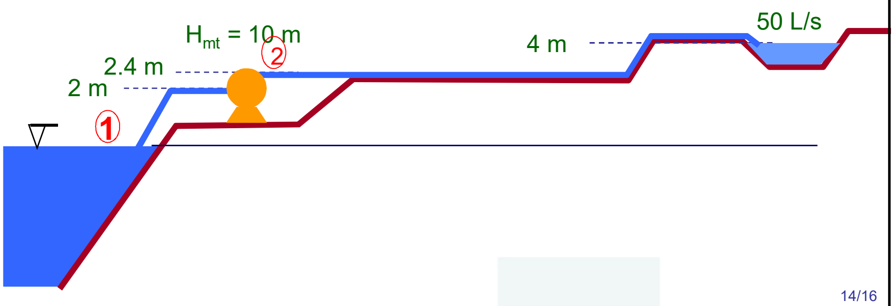
Exemplo 1: Determinação da pressão à saída da bomba

- H_{mt} = 10 m
- Comprimento total do tubo = 50 m
- ϕ do tubo = 20 cm
- Comprimento de aspiração = 12 m.
- $j = 0.12 \text{ m m}^{-1}$
- Qual a pressão à saída da bomba (assumindo perda de carga no tubo) ?

Neste caso a função da bomba é a de vencer as perdas de carga e de transportar a água de um nível para outro mais elevado

$$Z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{\alpha\, u_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{\alpha\, u_2^2}{2g} + \Delta H - H_{mt} \qquad u = \frac{Q}{A} = \frac{0.05}{0.0314} = 1.6 \text{ m s}^{-1}$$

$$0 + 0 + 0 = 2.4 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{\alpha\, 1.6^2}{2g} + 0.12 \times 12 - 10 \Leftrightarrow \frac{p_2}{\gamma} = 6.03\text{m} \Leftrightarrow p_2 = 59 \text{ KPa}$$



Exemplo 2: Determinação da altura manométrica total

- comprimento total do tubo = 50 m
- ϕ do tubo = 3 cm
- comprimento de aspiração = 12 m;
- j = 0.12 m m^{-1}
- aspersor funciona com pressão de 2 atm
- altura da cana do aspersor = 2 m

Neste caso a função da bomba é a de vencer as perdas de carga, de transportar a água de um nível para outro mais elevado e de fornecer pressão à água

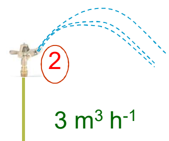
$$Z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{\alpha\, \upsilon_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{\alpha\, \upsilon_2^2}{2g} + \Delta H - H_{mt}$$

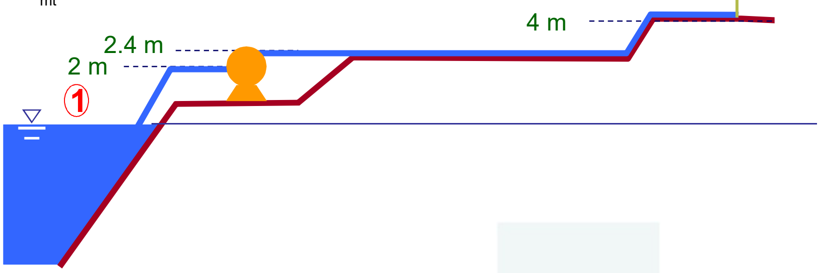
$\upsilon_2 = 1.18 \text{ m s}^{-1}$

$p_2 = 20.6$ m

$$0 + 0 + 0 = 6 + 20.6 + \frac{1.18}{2g} + 0.12 \times 50 - H_{mt}$$

$$H_{mt} = 32.7 \text{ m}$$





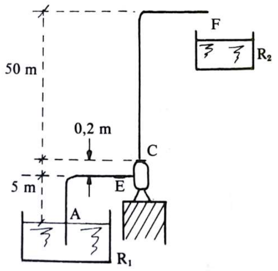
❑ *Aplicações Práticas*

51. Uma conduta de eixo horizontal à cota 25, com 0.3 m de diâmetro e 5000 m de comprimento, está montada entre dois reservatórios com as superfícies livres às cotas de 30 e 70 m. A conduta tem uma bomba que impulsiona o caudal de 80 L s^{-1}, para o qual a perda de carga unitária na conduta é de 0.006. (Considere α = 1.1; desconsidere as perdas de carga singulares). Determine:

a) a potência da bomba (rendimento = 0.8); *(P_B = 68.6 kW)*

b) a distância máxima da bomba ao reservatório de montante supondo que a altura piezométrica mínima a admissível à entrada da bomba é de 4m. *(x = 154.7 m)*

52. A bomba E eleva água entre os reservatórios R_1 e R_2. O eixo da bomba está situado a 5 m acima da superfície livre de R_1. No ponto final do sistema elevatório é descarregado o caudal de 0.162 $m^3\ s^{-1}$ para a atmosfera. Determine a altura manométrica total, potência do escoamento e a potência da bomba. São dados: diâmetros das tubagens AE e CF = 200 mm; $\Delta H_{AE} = \frac{5\,u^2}{2g}$ e $\Delta H_{CF} = \frac{3\,u^2}{2g}$ (67.4 m; 107 kW; 153 kW)



53. Modifica-se o problema anterior, de modo a que a superfície do reservatório R_1 fique 5.2 m acima do eixo E da bomba. Calcule H_{mt}, P_E e P_B