

Curso Básico
de
Mecânica dos Fluidos
Unidade 5

Raimundo Ferreira Ignácio

Unidade 5 - Equação da Energia para um Escoamento Unidirecional, Incompressível e em Regime Permanente

Objetivos -

01. Mencionar as aplicações práticas estudadas nesta unidade
02. Conceituar a equação da energia
03. Mencionar os tipos de energias mecânicas observadas em uma seção do escoamento unidirecional, incompressível e em regime permanente
04. Conceituar o que se denomina de carga
05. Introduzir a equação de Bernoulli
06. Mostrar as aplicações práticas da equação de Bernoulli
07. Mencionar o conceito de perda de carga
08. Mencionar o conceito de máquina hidráulica
09. Mencionar a classificação básica das máquinas hidráulicas
10. Introduzir a equação da energia para um escoamento unidirecional, incompressível e em regime permanente
11. Introduzir os conceitos de potências e rendimentos utilizados para instalações hidráulicas
12. Simular as experiências do tubo de Pitot e do medidor de vazão tipo Venturi.

Sumário -

- 5.1 Introdução
- 5.2 Tipos de energias mecânicas observadas em uma seção do escoamento unidirecional, incompressível em regime permanente
 - 5.2.1 Energia cinética
 - 5.2.2 Energia potencial de posição
 - 5.2.3 Energia “potencial” de pressão
- 5.3 Energia total em uma seção do escoamento unidirecional, incompressível em regime permanente
- 5.4 Carga total em uma seção do escoamento unidirecional, incompressível em regime permanente
- 5.5 Equação de Bernoulli
- 5.6 Aplicações práticas da equação de Bernoulli
 - 5.6.1 Tubo de Pitot
 - 5.6.2 Medidores de vazão
 - 5.6.2.1 Introdução
 - 5.6.2.2 Coeficientes de correção
 - 5.6.2.3 Equacionamento básico
 - 5.6.2.4 Medidor tipo Venturi
 - 5.6.2.5 Medidor tipo placa de orifício
 - 5.6.2.6 Bocais de fluxo
- 5.7 Conceitos de perda de carga e coeficiente de energia cinética

- 5.8 Conceito de máquinas hidráulicas
- 5.9 Classificação básica das máquinas hidráulicas
- 5.10 Equação da energia para o escoamento unidirecional, incompressível em regime permanente (E.U.I.R.P.)
 - 5.10.1 Com apenas uma entrada e uma saída e sem presença de máquina hidráulica
 - 5.10.2 Com apenas uma entrada e uma saída na presença de máquina hidráulica
- 5.11 Noção de potência e rendimento utilizados em instalações hidráulicas
- 5.12 Equação da energia para o E.U.I.R.P. com diversas entradas e saídas
- 5.13 Simulação de experiência
 - 5.13.1 Tubo de Pitot
 - 5.13.2 Tubo Venturi
 - 5.13.3 Bomba Hidráulica
- 5.14 Exercícios

Objetivos da primeira aula da unidade 5:

Compreender os objetivos desta unidade.

Introduzir os tipos de energias em uma seção do escoamento unidirecional, incompressível e em regime permanente.

Introduzir a equação de Bernoulli e aplicá-la ao tubo de Pitot.

Motivar a leitura da bibliografia básica referente a aplicação do tubo de Pitot pela Sabesp.

5.1 Introdução

Através desta unidade objetiva-se introduzir os conceitos que permitam estudar as seguintes aplicações práticas:

- determinação da velocidade real do escoamento através do tubo de Pitot;
- determinação indireta da vazão do escoamento através dos orifícios, bocais, placas de orifício e tubo venturi;

- determinação das cargas totais nas seções do escoamento;
- estabelecer o sentido de escoamento;
- verificar a viabilidade de uma instalação hidráulica funcionar em queda livre acionando turbinas hidráulicas, ou necessitar de bombas hidráulicas

Para o estudo destas aplicações deve-se efetuar um balanço de energias entre duas seções do escoamento, o que é viabilizado pela aplicação da **equação da energia**.

As restrições impostas: **escoamento unidirecional, incompressível e em regime permanente**, limitam o estudo aos escoamentos, onde as variações de temperaturas observadas ao longo dos mesmos são desprezíveis, ou seja, estudamos os seguintes casos práticos:

- instalações hidráulicas em geral;
- projetos de ventilação e ar condicionado;
- instalações de gases em geral com velocidades inferiores a cerca de 70 m/s.

Nos casos mencionados anteriormente as restrições permitem considerar, tanto a massa específica (ρ), como o peso específico (γ), constantes ao longo dos mesmos. Além desta consideração, tem-se que os níveis de reservatórios serão supostos constantes (na pior das hipóteses, para a situação crítica) e que a **equação da continuidade ou conservação de massa** será representada pelas equações 5.1. e 5.2.

$$\sum_{\text{entram}}^n Q = \sum_{\text{saem}}^n Q \quad \text{equação 5.1}$$

$$\sum_{\text{entram}}^n (V.A) = \sum_{\text{saem}}^n (V.A) \quad \text{equação 5.2}$$

5.2 Tipos de Energia Mecânica observadas em uma Seção do Escoamento Unidirecional Incompressível e em Regime Permanente

Pela restrição do escoamento ser considerado praticamente isotérmico, *as variações* das energias térmicas são desprezíveis, o que justifica o porque de só estudarmos as energias mecânicas.

Consideramos um trecho sem derivações, de uma instalação hidráulica, como o representado pela figura 5.1, onde:

PHR - plano horizontal de referência;

Z_i - cota da seção i , tomando-se como base o eixo do conduto em relação ao PHR;

V_i - velocidade média do escoamento na seção i ;

p_i - pressão estática na seção i .

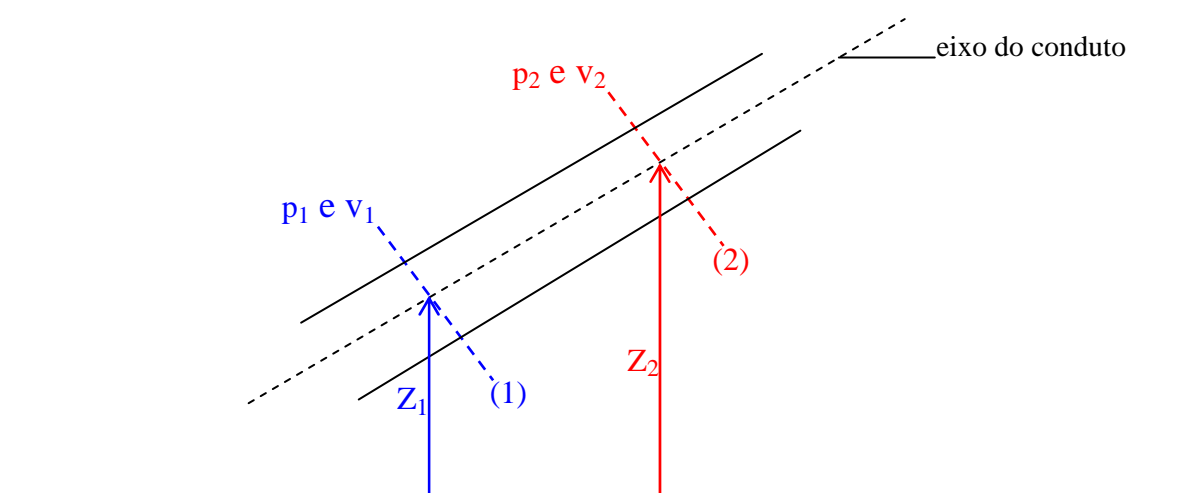


Figura 5.1

Pela condição do escoamento em regime permanente, pode-se afirmar que entre as seções (1) e (2) não ocorre, nem acúmulo, nem falta de massa, ou seja, a mesma massa m que atravessa a seção (1), atravessa a seção (2).

Evocando os conceitos de energias abordados pela *física* e os conceitos estudados na *unidade 2*, estabelecemos os diversos tipos de energias mecânicas observadas em uma seção do escoamento unidirecional, incompressível e em regime permanente.

5.2.1 Energia Cinética (Ec)

A energia cinética pode ser calculada pela equação 5.3.

$$Ec_i = \frac{1}{2} m v_i^2 \quad \text{equação 5.3}$$

5.2.2 Energia Potencial de Posição (EPPo)

A energia potencial de posição pode ser calculada pela equação 5.4 .

$$EPPo_i = m g Z_i \quad \text{equação 5.4}$$

5.2.3 Energia “Potencial” de Pressão (EPPr)

Considerando a representação da figura 5.2, onde:

$\gamma \equiv$ peso específico do fluido transportado;

$h_i \equiv$ carga de pressão na seção i; pode-se calcular a energia potencial de pressão pela equação 5.5

$$EPP_r = m g h_i = m g \frac{p_i}{\gamma} \quad \text{equação 5.5}$$

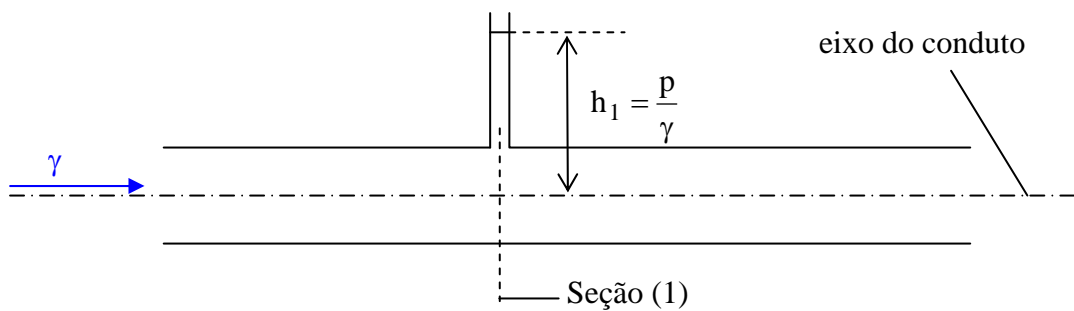


Figura 5.2

5.3 Energia Mecânica Total em uma Seção do Escoamento Unidirecional, Incompressível em Regime Permanente (E_i)

A energia total representa a somatória da energia cinética, energia potencial de posição e energia potencial de pressão, como mostra a equação 5.6.

$$E_i = \frac{mV_i^2}{2} + m g Z_i + m g \frac{p_i}{\gamma} \quad \text{equação 5.6}$$

5.4 - Carga Mecânica Total em uma Seção do Escoamento Unidirecional, Incompressível em Regime Permanente (H_i)

Pela condição do escoamento se dar em regime permanente podemos afirmar que, tanto a massa (m), como o peso (G) do fluido, que atravessa uma dada seção do escoamento, é constante ao longo do mesmo. Por este motivo, é comum considerar a energia, ou por unidade de massa, ou por unidade de peso do fluido, além disto, esta consideração origina uma unidade facilmente visualizada.

Define-se *carga* como sendo a relação da energia pelo peso do fluido, portanto a carga total em uma seção i (H_i), pode ser definida como mostramos a seguir:

$$H_i = \frac{E_i}{G} = \frac{mgZ_i}{G} + \frac{mg \frac{p_i}{\gamma}}{G} + \frac{\frac{mV_i^2}{2}}{G}$$

$$H_i = Z_i + \frac{p_i}{\gamma} + \frac{V_i^2}{2g} \quad \text{equação 5.7}$$

onde:

Z_i - carga potencial - $[Z_i] = L$

$\frac{p_i}{\gamma}$ - carga de pressão - $\left[\frac{p_i}{\gamma} \right] = L$

$\frac{V_i^2}{2g}$ - carga cinética - $\left[\frac{V_i^2}{2g} \right] = L$

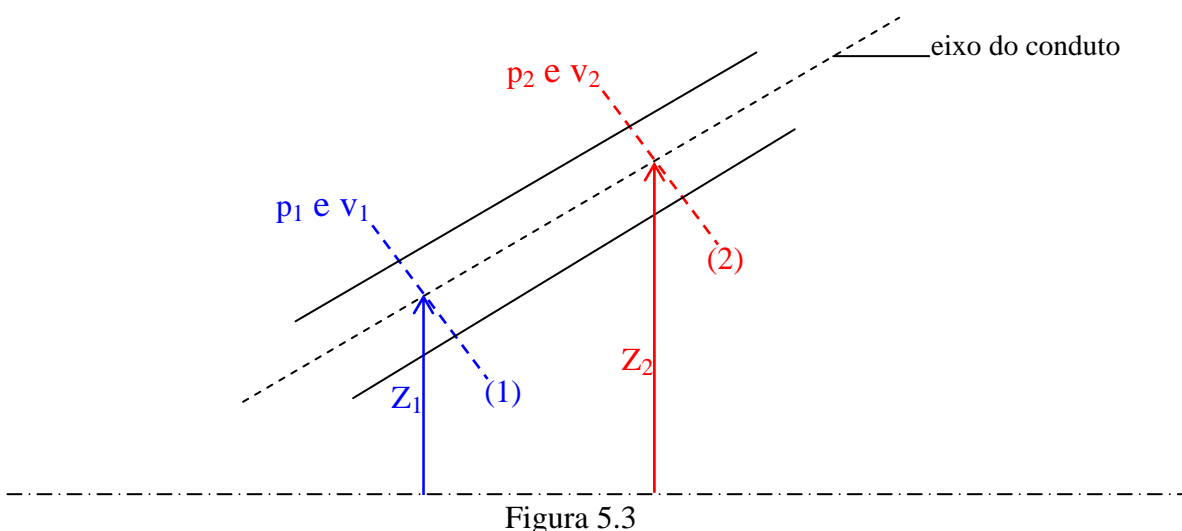
5.5 - Equação de Bernoulli

A equação de Bernoulli é um caso particular da equação da energia aplicada ao escoamento, onde adota-se as seguintes hipóteses:

- 1ª) escoamento em regime permanente
- 2ª) escoamento incompressível
- 3ª) escoamento de um fluido considerado ideal, ou seja, aquele onde a viscosidade é considerada nula, ou aquele que não apresenta dissipação de energia ao longo do escoamento
- 4ª) escoamento apresentando distribuição uniforme das propriedades nas seções
- 5ª) escoamento sem presença de máquina hidráulica, ou seja, sem a presença de um dispositivo que forneça, ou retire energia do fluido
- 6ª) escoamento sem troca de calor

Apesar de todas as restrições impostas pela equação de Bernoulli, a mesma é fundamental para a compreensão da maioria dos estudos hidráulicos, além de ter aplicações reais, tanto para o estudo do *tubo de Pitot*, como para o estudo de *medidores de vazão em geral*.

Para obtenção da equação de Bernoulli, consideramos as seções (1) e (2) da figura 5.3.



A equação de Bernoulli é obtida efetuando-se o balanço de cargas entre as seções (1) e (2), onde observando-se as hipóteses mencionadas anteriormente.

$$H_1 = H_2$$

$$Z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} \quad \text{equação 5.8}$$

5.6 Aplicações Práticas da Equação de Bernoulli

5.6.1 Tubo de Pitot

É um aparelho utilizado para a determinação da velocidade real em pontos do escoamento.

Podemos citar algumas das aplicações deste aparelho:

- determinação da velocidade no condicionamento de ar;
- determinação da curva de um ventilador;
- determinação da velocidade em transporte pneumático;
- determinação da velocidade em fluxo de gás combustível;
- determinação da velocidade em sistemas de gás de processamento;
- determinação de velocidade de aviões;
- determinação de vazamento em redes de distribuição (pitometria);
- obtenção da resistência ao fluxo originada por filtros, condensadores. ...

Para a compreensão do uso do *tubo de Pitot*, devemos evocar, tanto o conceito de *pressão estática*, como o conceito de *pressão dinâmica*.

A pressão estática é a pressão que age da mesma forma em todas as direções (*unidade 2*) e que é inerente à seção do escoamento para uma dada vazão.

A tomada da pressão estática é perpendicular ao escoamento como mostram as figuras 5.4

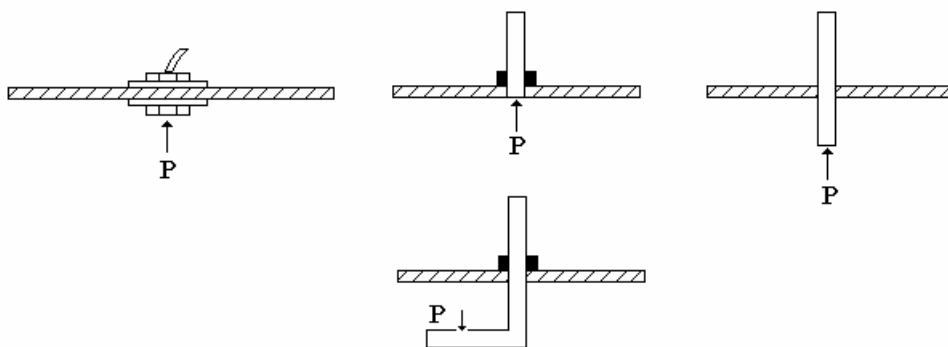


Figura 5.4

A pressão dinâmica é obtida convertendo-se a energia cinética em energia de pressão.

Uma forma bastante simples de observarmos a pressão dinâmica é colocarmos a palma da mão contra um jato d'água, na palma da mão a velocidade é nula e a força sentida na mesma é originada pela conversão da energia cinética em energia de pressão, ou seja, pressão dinâmica.

Pelo mencionado anteriormente, podemos concluir que devemos posicionar o aparelho contra o escoamento na tentativa de medirmos a pressão dinâmica, porém pelo próprio conceito de pressão estática, o que conseguimos medir é a pressão total (p_0), que representa a soma da pressão estática com a pressão dinâmica (figura 5.5)

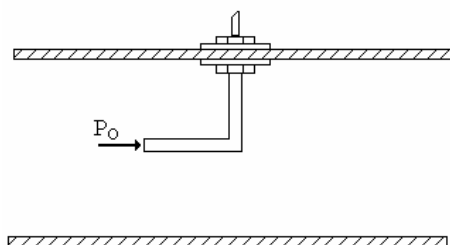


Figura 5.5

Na construção do tubo de Pitot, considera-se duas seções para tomada de pressão, respectivamente a total (p_0) e a estática (p); seções estas que encontram-se suficientemente próximas para considerar a pressão estática constante.

Instalando-se um manômetro diferencial entre as seções (0) e (1), respectivamente seção de pressão total a seção de pressão estática, obtem-se a pressão dinâmica (p_d) como mostramos na figura 5.6.

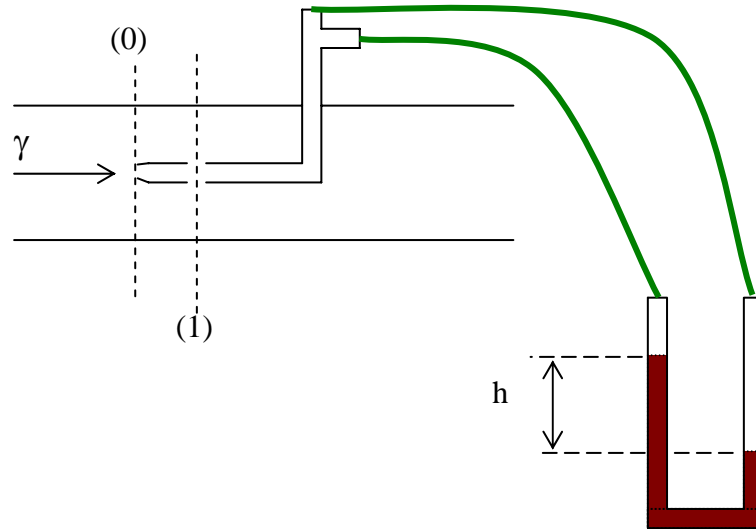


Figura 5.6

$p_o \equiv$ pressão total

$p_1 \equiv$ pressão estática

$pd \equiv$ pressão dinâmica - obtido em função (γ, γ_m, h)

$$pd = p_o - p_1$$

Através das representações do tubo de Pitot na figura 5.6, podemos observar que:

- 1ª) o tubo de pitot é instalado no sentido contrário ao escoamento;
- 2ª) o ponto frontal do tubo de pitot, pertencente a seção (0), é denominado de ponto de estagnação, isto porque no mesmo além da pressão estática, temos a pressão dinâmica, o que equivale dizer que a velocidade no ponto de estagnação é nula.

Para qualquer que seja o modelo do Pitot, como a distância entre as seções (0) e (1) é desprezível, podemos aplicar a equação de Bernoulli, a qual possibilita a determinação da velocidade real referente ao ponto (1) como mostramos a seguir:

$$H_0 = H_1$$

$$Z_0 + \frac{p_0}{\gamma} + \frac{v_0^2}{2g} = Z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g}$$

Como $Z_1 \approx Z_0$; $v_0 = 0$ e $p_0 - p_1 = p_d$, temos:

$$v_1 = v_{\text{real}} = \sqrt{2g \cdot \frac{p_d}{\gamma}} \quad \text{equação 5.9}$$

Aplicando-se a equação manométrica no manômetro diferencial, obtemos a pressão dinâmica, como mostramos a seguir:

$$P_d = h (\gamma_m - \gamma) \quad \text{equação 5.10}$$

onde:

h - desnível do fluido manométrico

γ_m - peso específico do fluido manométrico

γ - peso específico do fluido transportado

Nota: mencionamos a seguir alguns fluidos manométricos comumente usados com os seus respectivos pesos relativos (γ_r)

Fluido Manométrico	Peso Específico Relativo (γ_r)
Tetracloroeto de Carbono + Benzina + Corante	1,11
Tetracloroeto de Carbono + Corante	1,60
Tetrabromoetano + Corante	2,90
Mercúrio	13,58

Através das equações 5.9 e 5.10, podemos obter a equação para o cálculo da velocidade real através de um TUBO DE PITOT (equação 5.11)

$$V_{\text{real}} = \sqrt{2g \cdot \frac{(\gamma_m - \gamma)}{\gamma}} \cdot \sqrt{h} \quad \text{equação 5.11}$$

Alguns cuidados devem ser tomados para minimizar os erros de leituras do tubo de Pitot, sendo que os principais passamos a descrever:

1^a) o diâmetro do conduto deve ser pelo menos 24 vezes o diâmetro do tubo de Pitot.

- 2^a) o ponto de medição deve ser determinado em um trecho reto da tubulação, e distante no mínimo 10 diâmetros à jusante de qualquer singularidade, tais como: registros, derivações, curvas, Venturis, etc...
- 3^a) se possível instalar um alinhador de fluxo de tipo caixa de ovos no mínimo a 20 diâmetro à montante do Pitot.

OS GANSOS

Quando se vê gansos voando em formação "V", pode-se ficar curioso quanto às razões pelas quais eles escolhem voar desta forma. A seguir algumas descobertas feitas pelos cientistas:

FATO:

À medida que cada ave bate suas asas, ela cria uma sustentação para ave seguinte. Voando em formação "V", o grupo inteiro consegue voar pelo menos 71% a mais do que se cada ave voasse isoladamente.

VERDADE:

Pessoas que compartilham uma direção comum em senso de equipe chegam ao seu destino com mais facilidade e rapidez, porque elas se apoiam na confiança das outras.

FATO:

Sempre que um ganso sai de formação ele repentinamente sente a resistência e o arrosto de tentar voar só e, rapidamente, retoma a formação para tirar vantagem do poder de sustentação da ave isoladamente à frente.

VERDADE:

Existe força, poder e segurança em grupo, quando viajando na mesma direção com pessoas que compartilham um objetivo comum.

FATO:

Quando o ganso líder se cansa ele reveza indo para a traseira do "V", enquanto outro ganso assume a ponta.

VERDADE:

É vantajoso o revezamento quando se necessita fazer trabalho árduo.

FATO:

Os gansos de trás grasnam para encorajar os da frente a manterem o ritmo e a velocidade.

VERDADE:

Todos nós necessitamos ser reforçados com apoio ativo e encorajamento.

FATO:

Quando um ganso adoece ou se fere e deixa o grupo, dois outros gansos saem da formação e o seguem para ajudá-lo e protegê-lo. Eles os acompanham até a solução do

problema e, então, reiniciam a jornada os três juntando-se à outra formação, até encontrarem a formação original.

VERDADE:

Precisamos ser solidários nas dificuldades.



Esperança que todos reflitam sobre a mensagem anterior e isto venha a nos ajudar a desenvolver uma formação crítica e humanista que nos possibilite a participação na construção de um mundo justo e humano

Raimundo (Alemão) Ferreira Ignácio