

Objetivos da quarta aula da unidade 5:

Estudar o medidor de vazão tipo placa de orifício

Estudar os medidores de vazão tipo bocais de fluxo

Introduzir os conceitos de perda de carga e do coeficiente de energia cinética

Evocar o conceito de máquinas hidráulicas e sua classificação básica

Introduzir a equação da energia para o escoamento unidirecional incompressível e em regime permanente para uma instalação hidráulica básica (com uma entrada e uma saída)

Propor os exercícios de 5.14.6 à 5.14.14

5.6.2.5 Medidor Tipo Placa de Orifício

O medidor tipo placa de orifício ou diafragma é constituído por uma placa delgada, na qual se abre um orifício e é utilizado em conduto forçado figura (5.22).

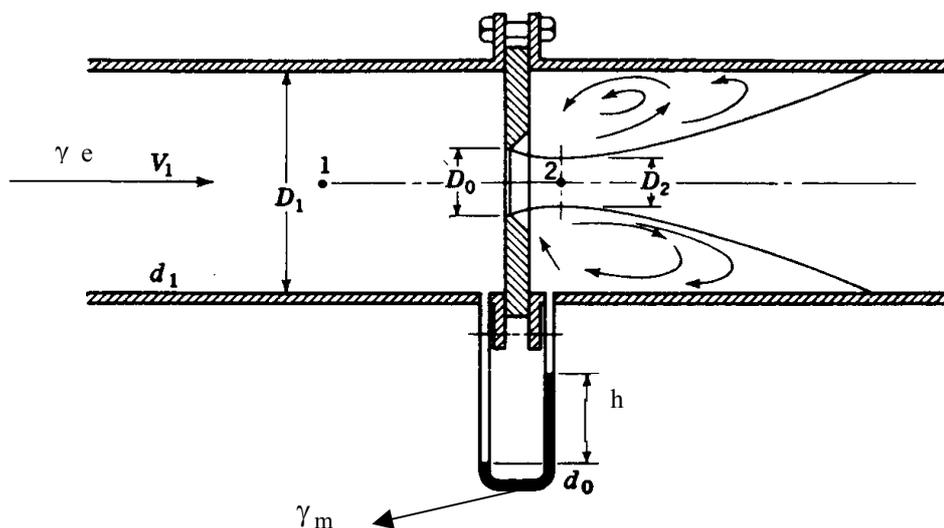


Figura 5.22.

Como a geometria deste tipo de medidor é simples, apresenta um custo baixo ao ser comparado com o tipo Venturi, porém a expansão descontrolada a sua jusante acarreta elevada dissipação de energia figura (5.23).

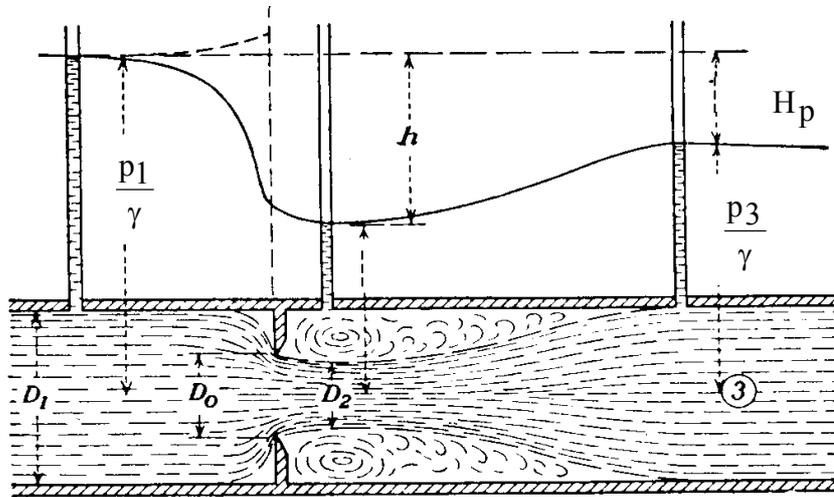


Figura 5.23

Devemos notar que a tomada de pressão para as placas de orifício influenciam nos coeficientes de correção usados, sendo que inicialmente consideramos a situação representada pela figura 5.22 .

Temos : $C_c \neq 1,0$; $A_{\min} = A_0$ e $C_d = C_v \cdot C_c$ e isto nos permite reescrever a equação 5.24, obtendo a equação para o medidor tipo placa de orifício (equação 5.28).

$$Q_R = \frac{C_d}{\sqrt{1 - C_c^2 \cdot \left(\frac{A_0}{A_1}\right)^2}} \cdot A_0 \cdot \sqrt{\frac{2gh}{\gamma} (\gamma_m - \gamma)} \quad \text{equação 5.28}$$

Para se obter resultados precisos com o medidor tipo placa de orifício, o mesmo deve ser instalado no mínimo a $40 \times D_{\text{tubo}}$ à jusante de uma singularidade, se a mesma existir.

Ao analisarmos a equação 5.28, verificamos que a sua utilização apresenta certa dificuldade, principalmente no que se refere a obtenção de C_c , por este motivo introduz-se um novo coeficiente de correção, que é denominado de **coeficiente de escoamento** e comumente representado por C , o qual é obtido experimentalmente e é função do número de Reynolds de aproximação (Re_1) e da relação D_0/D_1 (figura 5.24).

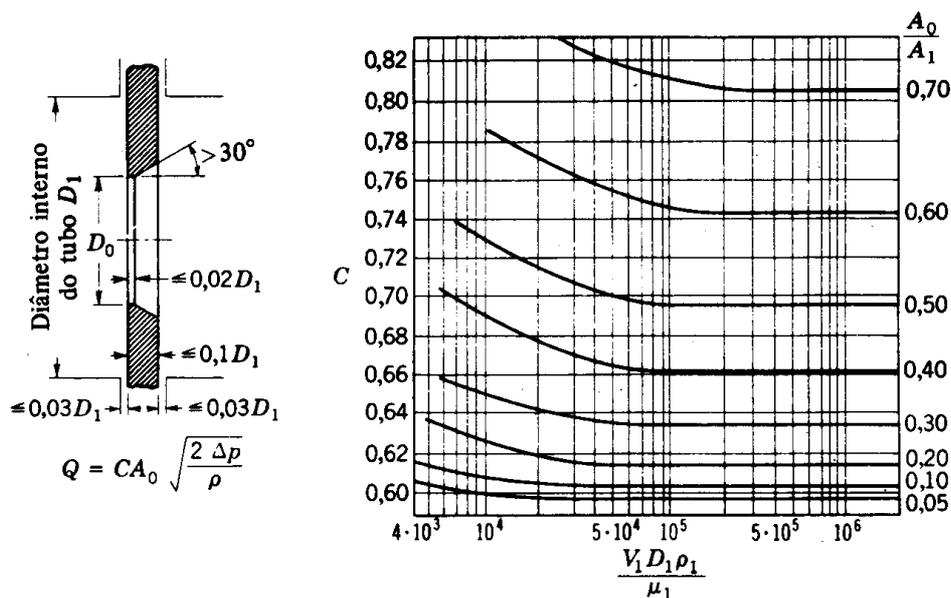


Figura 5.24

O coeficiente de escoamento (C) é definido pela equação 5.29.

$$C = \frac{C_d}{\sqrt{1 - C_c^2 \cdot \left(\frac{A_0}{A_1}\right)^2}} \quad \text{equação 5.29}$$

Através da equação 5.29, obtemos a nova equação para a determinação de vazão real do medidor tipo placa de orifício (equação 5.30).

$$Q_R = C \cdot A_0 \cdot \sqrt{\frac{2gh}{\gamma} (\gamma_m - \gamma)} \quad \text{equação 5.30}$$

Na escolha de um medidor de vazão, devemos considerar os seguintes itens:

- *custo*;
- *precisão de leitura*;
- *a necessidade de calibração*;
- *a facilidade tanto da instalação como da manutenção*.

Atualmente após a análise dos itens mencionados anteriormente, podemos afirmar que geralmente a escolha é feita pelos *medidores tipo placa de orifício (diafragma)*, por este motivo mencionamos que existe um trabalho baseado na norma

ISO 5167 cuja primeira edição data de 1980, que está sendo adaptado pela ABNT e que é básico para a determinação dos *coeficientes de correção* deste aparelho.

Em futuras edições, apresentaremos um resumo deste trabalho.

5.6.2.6 Bocais de Fluxo

Este tipo de medidor de vazão é praticamente intermediário, tanto em relação à custo, como em relação a dissipação de energia comparado ao tipo *Venturi* e ao tipo *placa de orifício*.

O inesquecível Professor Azevedo Neto¹ define de uma forma clara os bocais:

“Os bocais ou tubos adicionais são constituídos por peças tubulares adaptadas aos orifícios. Servem para dirigir o jato. O seu comprimento deve estar compreendido entre vez e meia (1,5) e três (3,0) vezes o seu diâmetro. De um modo geral, e para comprimentos maiores, consideram-se comprimentos de 1,5 a 3,0D como bocais, de 3,0 a 500D como tubos muito curtos; de 500 a 4000D (aproximadamente) como tubulações curtas; e acima de 4000D como tubulações longas.”

Os bocais geralmente são classificados em :

- *cilindros: - interiores ou reentrantes*

- *exteriores*

- *cônicos: - convergentes*

- *divergentes*

¹ Em seu livro – Manual de Hidráulica – editado pela Editora Edgard Blücher Ltda – na 7ª edição página 66

As figuras 5.25 e 5.26 representam exemplo de bocal cililindro e cônico respectivamente.

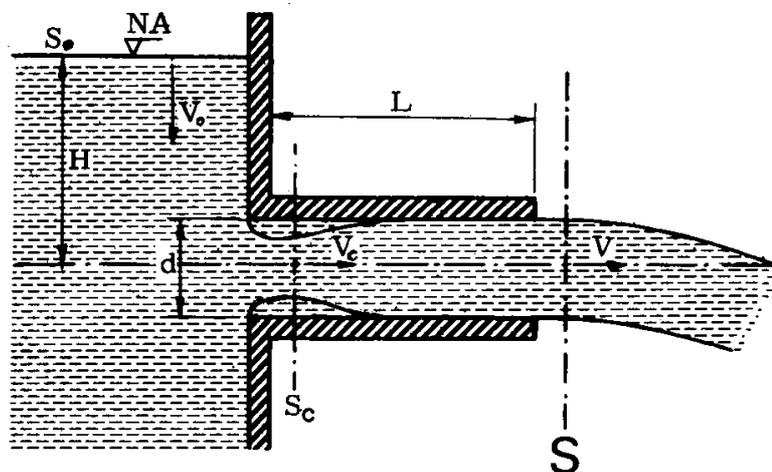


Figura 5.25

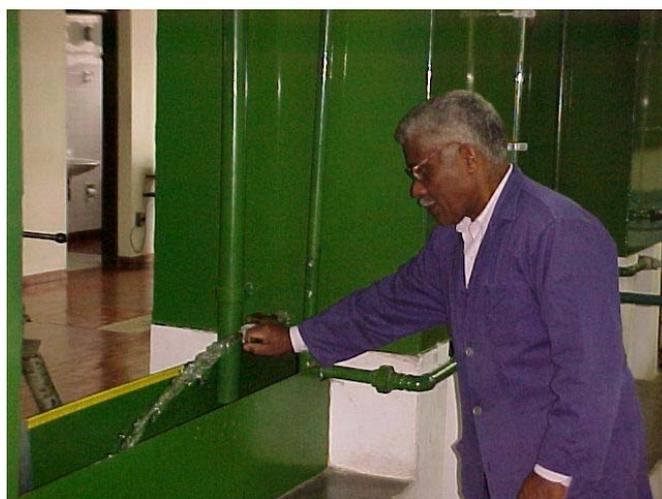


Figura 5.26

Considerando o bocal instalado em um reservatório (figura 5.26) a determinação do seu coeficiente de velocidade é análoga a apresentada para a determinação:

- da equação 5.15 - $v_t = \sqrt{2gh}$

(pp. 289)

- da equação 5.16 - $v_{\text{REAL}} = \sqrt{\frac{1}{2} g \frac{x^2}{g}}$ (pp. 289)

, onde $C_v = \frac{v_{\text{REAL}}}{v_{\text{TEORICA}}}$

Já a determinação do coeficiente de contração se for experimental, consiste na determinação da área contraída (A_C) por intermédio de parafusos “CALANTES” solitários a uma coroa suporte (figura 5.27), que deve ser instalada a uma distância L .

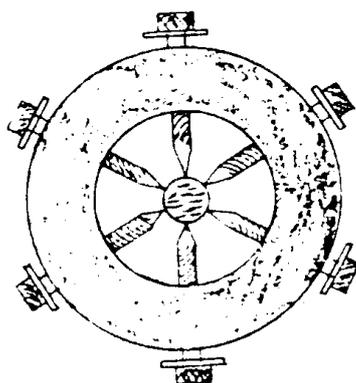


Figura 5.27

Salientamos que esta maneira apresentada para a determinação da área contraída é bastante imprecisa, devendo ser substituída por outro método, onde o mais comum consiste na determinação do C_v , como o mencionado, e na determinação do coeficiente de vazão (C_d) e a partir daí a determinação de C_C pela equação 5.31.

$$C_C = \frac{C_d}{C_v} \quad \text{equação 5.31}$$

Considerando o bocal *instalado no interior da tubulação*, nesta situação, voltamos a usar o *coeficiente de escoamento* (K) e a situação é representada pela figura 5.29, onde a pressão p_1 é medida a uma distância D_1 à montante do bocal e a pressão p_2 quando termina o bocal.

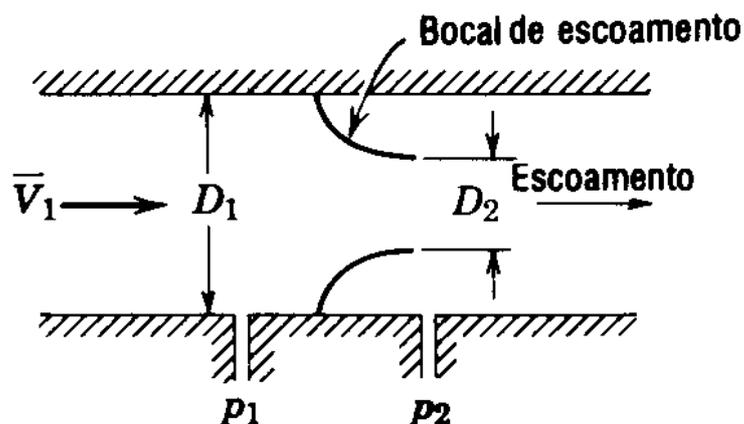


Figura 5.29

Como $C_c = 1,0$, podemos especificar o *coeficiente de escoamento* (K) pela equação 5.32.

$$K = \frac{C_d}{\sqrt{1 - \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2}} \quad \text{equação 5.32}$$

Devemos notar que os valores de $K > 1,0$, são devido ao denominador ser menor que 1,0.

O gráfico representado pela figura 5.30, mostra $K = f(Re_1)$, onde salientamos que para Reynolds de aproximação maiores à cerca de 2×10^5 observa-se que o K permanece constante.

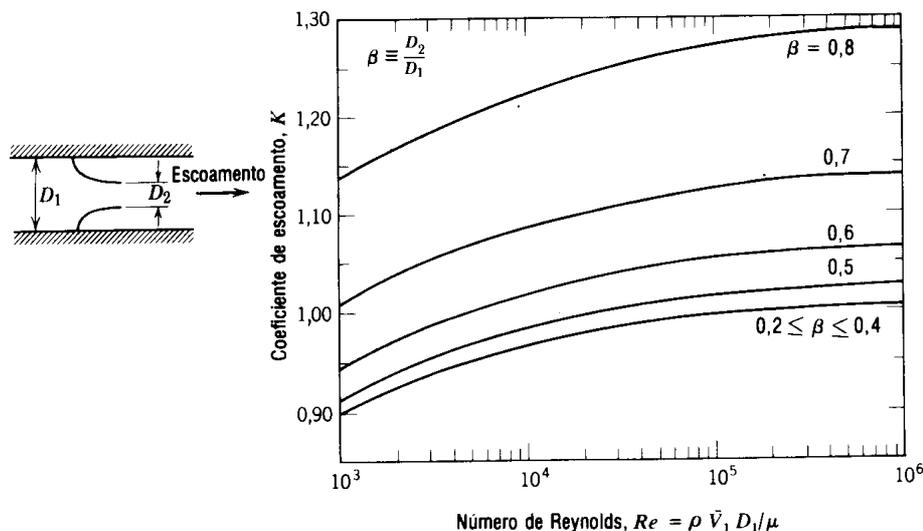


Figura 5.50

5.7 Conceitos de Perda de Carga e do Coeficiente de Energia Cinética

A principal limitação da equação de Bernoulli está em considerar o escoamento de um fluido ideal, ou seja, aquele que apresenta viscosidade nula, o que implica dizer que não há dissipação de energia ao longo do escoamento.

A partir deste ponto, iremos eliminar esta hipótese, ou seja consideraremos o *escoamento de um fluido real* ($\mu \neq 0$), o que implica dizer que iremos considerar a dissipação de energia ao longo do escoamento.

Define-se *perda de carga*, que geralmente é representado por H_p , como sendo a dissipação de energia por unidade de peso.

Outro fato importante a se considerar: pelo fato da viscosidade ser diferente de zero tem-se o diagrama de velocidade, nas seções do escoamento, não uniforme, o que implica que a carga cinética calculada por $v^2/2g$, pode conter erro, principalmente quando tivermos um escoamento laminar. Para sua correção deve-se calculá-la por: $\frac{\alpha v^2}{2g}$; onde α é um coeficiente de correção denominado de *coeficiente de energia cinética*.

O coeficiente de energia cinética é definido da seguinte forma:

$$d_{EC} = \frac{1}{2} d_m \bar{v}^{-2} (\div d_t)$$

$$\frac{d_{EC}}{d_t} = \frac{1}{2} \frac{d_m}{d_t} \cdot \bar{v}^{-2} = \frac{1}{2} \cdot \bar{v}^{-2} \cdot \rho \cdot \bar{v} \cdot d_A$$

Fluxo de Energia Cinética

$$\int \frac{d_{EC}}{d_t} = \int_A \rho \cdot \frac{\bar{v}^{-3}}{2} \cdot d_A$$

Fluxo de energia Cinética Calculado pela Velocidade Real.

$$\frac{\rho \cdot v^3}{2} \cdot A \neq \int_A \rho \cdot \frac{\bar{v}^{-3}}{2} d_A$$

Fluxo de Energia Cinética Calculado pela Velocidade Média do Escoamento.

O coeficiente de energia cinética é o adimensional introduzido para estabelecer a igualdade dos fluxos de energia cinética, ou seja :

$$\alpha \cdot \left[\rho \cdot \frac{v^3}{2} \cdot A \right] = \int_A \rho \cdot \frac{\bar{v}^{-3}}{2} d_A$$

Para escoamentos incompressíveis, temos $\rho = \text{cte}$, o que resulta:

$$\alpha \cdot \rho \cdot \frac{v^3}{2} \cdot A = \rho \cdot \int_A \frac{\bar{v}^{-3}}{2} \cdot d_A$$

$$\alpha = \frac{1}{A} \int_A \left(\frac{\bar{v}}{v} \right)^3 \cdot d_A \quad \text{equação 5.33}$$

onde:

\bar{v} - é a equação que representa o diagrama de velocidades.

v - velocidade média do escoamento.

Como os condutos forçados de seção transversal circular representam um número grande de aplicações, vamos analisá-los para os seguintes casos:

1º - escoamento laminar:

$$\bar{v} = v_{\max} \left[1 - \left(\frac{r}{R} \right)^2 \right] \quad \text{e} \quad v = \frac{v_{\max}}{2}, \text{ portanto:}$$

$$\alpha = \frac{1}{A} \int_A \left(\frac{\bar{v}}{v} \right)^3 d_A, \text{ onde } A = \pi R^2$$

$$d_A = 2\pi r dr$$

$$\alpha = \frac{1}{\pi R^2} \cdot \int_0^R \left[v_{\max} \cdot \left[\frac{R^2 - r^2}{R^2} \right] \cdot \frac{2}{v_{\max}} \right]^3 \cdot 2\pi r dr$$

$$\alpha = \frac{16\pi}{\pi R^8} \cdot \left[\int_0^R (R^2 - r^2)^3 \cdot r dr \right]$$

$$\alpha = \frac{16}{R^8} \cdot \left[\int_0^R (R^6 - 3R^4 r^2 + 3R^2 r^4 - r^6) \cdot r dr \right]$$

$$\alpha = \frac{16}{R^8} \cdot \left[R^6 \cdot \int_0^R r dr - 3R^4 \cdot \int_0^R r^3 dr + 3R^2 \cdot \int_0^R r^5 dr - \int_0^R r^7 dr \right]$$

$$\alpha = \frac{16}{R^8} \cdot \left[R^6 \cdot \frac{R^2}{2} - 3 \cdot R^4 \cdot \frac{R^4}{4} + 3R^2 \frac{R^6}{6} - \frac{R^8}{8} \right]$$

$$\alpha = \frac{16}{R^8} \cdot \left[\frac{R^8}{2} - \frac{3}{4} R^8 + \frac{1}{2} R^8 - \frac{1}{8} R^8 \right]$$

$$\alpha = 16 \cdot \left[\frac{1}{2} - \frac{3}{4} + \frac{1}{2} - \frac{1}{8} \right] = 16 \cdot \frac{(4-6+4-1)}{8} = \frac{16}{8}$$

$$\therefore \alpha = 2,0$$

CONCLUSÃO: Para os condutos forçados de seção transversal circular com escoamento laminar a *carga cinética* será calculada pro v^2/g ; portanto neste caso, temos:

$$H_i = Z_i + \frac{p_i}{\gamma} + \frac{v_i^2}{g}$$

2º - escoamento turbulento

$$\bar{v} = v_{\max} \cdot \left(1 - \frac{r}{R}\right)^{1/7} \quad \text{e} \quad v = \frac{49}{60} v_{\max}$$

$$\alpha = \frac{1}{\pi R^2} \cdot \int_0^R \left[v_{\max} \cdot \frac{(R-r)^{1/7}}{R^{1/7}} \cdot \frac{60}{49} v_{\max} \right]^3 \cdot 2\pi r dr$$

$$\alpha = \frac{2\pi}{\pi \cdot R^{17/7}} \cdot 1,836 \cdot \int_0^R (R-r)^{3/7} \cdot r dr$$

$$\alpha = \frac{3,672}{R^{17/7}} \int_0^R (R-r)^{3/7} \cdot r dr$$

Considerando : $R - r = a \rightarrow r = R - a$

$$d_r = -d_a$$

$$p/r = 0 \rightarrow a = R$$

$$p/r = R \rightarrow a = 0$$

$$\alpha = \frac{3,672}{R^{17/7}} \cdot \int_R^0 a^{3/7} \cdot (R - a) (-d_a)$$

$$\alpha = \frac{3,672}{R^{17/7}} \cdot \int_0^R a^{3/7} \cdot (R - a) d_a$$

$$\alpha = \frac{3,672}{R^{17/7}} \cdot \left[\int_0^R R \cdot a^{3/7} \cdot d_a - \int_0^R a^{10/7} \cdot d_a \right]$$

$$\alpha = \frac{3,672}{R^{17/7}} \cdot \left[R \cdot \frac{7}{10} \cdot R^{10/7} - \frac{7}{17} \cdot R^{17/7} \right]$$

$$\alpha = \frac{3,672}{R^{17/7}} \cdot R^{17/7} \cdot \left[\frac{7}{10} - \frac{7}{17} \right]$$

$$\alpha = 3,672 \cdot \left[\frac{119 - 70}{170} \right] \longrightarrow \alpha = 1,058$$

Conclusão: Para Conduitos Forçados de Seção Transversal circular com Escoamento Turbulento a Carga Cinética será calculada por:

$$\alpha \cdot \frac{V^2}{2g} = 1,058 \cdot \frac{V^2}{2g}$$

Observação: Na prática para o escoamento turbulento é comum se considerar $\alpha \approx 1,0$.

Portanto: $H = Z + \frac{p}{\gamma} + 1,058 \frac{V^2}{2g}$ → Carga Total em uma Seção de um Escoamento Incompressível Turbulento em Regime Permanente.

ou

$$H = Z + \frac{p}{\gamma} + \frac{V^2}{2g} \longrightarrow \text{Pequeno erro}$$

5.8 Conceito de Máquinas Hidráulicas

Consideramos *máquina hidráulica* o dispositivo que fornece ou retira energia do fluido.

Ao considerarmos a energia, seja fornecida, ou retirada, por unidade de peso, estaremos definindo a *carga* ou *altura manométrica da máquina hidráulica*, que é representada por H_m .

5.9 Classificação Básica das Máquinas Hidráulicas

A classificação básica será feita em relação a máquina fornecer, retirar ou transformar energia do fluido, por outro lado, devemos lembrar que o nosso estudo é dirigido para o escoamento considerado incompressível, o que implica que a classificação básica apresentada considera também esta restrição.

- *Máquinas Geratrizes* → São aquelas que recebem trabalho mecânico e o transformam em energia fluida.

Podemos citar como exemplos de *máquinas geratrizes* as *bombas hidráulicas* e os *ventiladores*.

No nosso curso só estudamos os princípios básicos das *bombas hidráulicas*.

- *Máquinas Motrizes* → São aquelas que transformam a energia fluida em energia mecânica.

Podemos citar como exemplo de *máquinas motrizes* as *turbinas hidráulicas*.

- *Máquinas Mistas* → São os dispositivos que modificam a energia que o fluido possui.

Podemos citar como exemplos de *máquinas mistas* os *ejetores* e os *carneiros hidráulicos*.

5.10 Equação da Energia para o Escoamento Unidirecional Incompressível e em Regime Permanente

5.10.1 Instalações básicas: com apenas uma entrada e uma saída e sem presença de máquina hidráulica

Nesta condição, podemos afirmar que o fluido esco espontaneamente da carga total maior para a carga total menor.

Considerando o trecho de uma instalação hidráulica, representado pela figura 5.31, podemos efetuar o balanço de energias, proposto pela *equação da energia*.

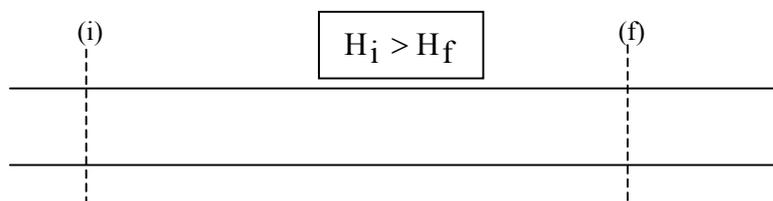


figura 5.31

$$H_{\text{inicial}} = H_{\text{final}} + H_p \quad \text{equação 5.34}$$

ou

$$Z_i + \frac{p_i}{\gamma} + \frac{\alpha_i v_i^2}{2g} = Z_f + \frac{p_f}{\gamma} + \frac{\alpha_f v_f^2}{2g} + H_p \quad \text{equação 5.35}$$

Nota: O único trecho de uma instalação hidráulica, onde não consideramos a perda de carga, é entre a entrada e saída que uma máquina hidráulica, isto porque as perdas já são consideradas no rendimento da máquina, que é sempre menor do que 1,0.

5.10.2 Com apenas uma Entrada e uma Saída na Presença de Máquina Hidráulica

Considerando o trecho de uma instalação hidráulica, que é representado pela figura 5.32, podemos efetuar o balanço de energias entre a seções (i) e (f), que origina a equação 5.36.

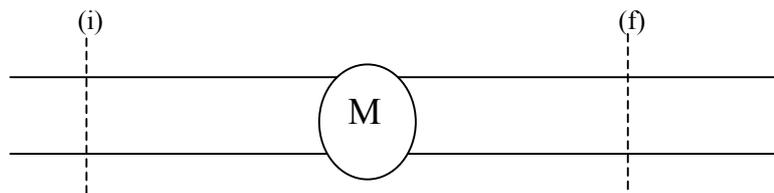


Figura 5.32

$$H_{\text{inicial}} + H_M = H_{\text{final}} + H_p \quad \text{equação 5.36}$$

Notas: 1^a → se a máquina hidráulica for uma bomba $H_M = H_B$, que é a carga ou altura manométrica da bomba, que representa a energia por unidade de peso que a bomba fornece ao fluido, portanto:

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

2^a → se a máquina hidráulica for uma turbina $H_M = -H_T$, que é a carga ou altura manométrica da turbina, que representa a energia por unidade de peso que a turbina retira do fluido, portanto:

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

3^a → a perda de carga entre as seções (i) e (f) é acumulativa, ou seja:

$$H_{p_{i-f}} = H_{p_{i-e}} + H_{p_{e-s}} + H_{p_{s-f}}$$

onde a perda de carga entre a entrada e saída da máquina hidráulica é considerada nula ($H_{p_{e-s}} = 0$), isto porque a mesma já é considerada no rendimento da máquina, portanto:

$$H_{p_{i-f}} = H_{p_{i-e}} + H_{p_{s-f}}$$

Carta do Betinho² para Maria (Coisa bonita!)

Carta escrita por Herbert de Souza para sua mulher Maria e lida, um ano após sua morte, pelo ator Jonas Bloch, durante a cerimônia no CCBB.

² Herbert de Souza (Betinho), sociólogo mineiro, foi irmão de Henfil, célebre cartunista, imortalizado pelas críticas ao regime fascista imposto ao Brasil a partir de 1964.

Este texto é para Maria ler depois da minha morte que, segundo meus cálculos, não deve demorar muito. É uma declaração de amor. Não tenho pressa em morrer, assim como não tenho pressa em terminar esta carta. Vou voltar a ela quantas vezes puder e trabalhar com carinho e cuidado cada palavra. Uma carta para Maria tem que ter todos os cuidados. Não a quero triste, quero fazer dela também um pedaço de vida pela via de lembrança que é a nossa eternidade.

Nos conhecemos nas reuniões de AP (Ação Popular), em 1970, em pleno Maosmo. Havia um clima de sectarismo e medo nada propício para o amor. Antes de me aventurar andei fazendo umas sondagens e os sinais eram animadores, apesar de misteriosos. Mas tínhamos que começar o namoro de alguma forma. Foi no ônibus da Vila das Belezas, em São Paulo.

Saímos em direção ao fim da linha como quem busca um começo. E lá veio o primeiro beijo, sem jeito, espremido, mas gostoso, um beijo público. A barreira da distância estava rompida para dar começo a uma relação que já completou 26 anos! O Maosmo estava na China, nosso amor na São João. Era muito mais forte que qualquer ideologia.

Era a vida em nós, tão sacrificada na clandestinidade sem sentido e sem futuro. Fomos viver em um quarto e cozinha, minúsculos, nos fundos de uma casa pobre, perto da Igreja da Penha. No lugar cabia nossa cama, uma mesinha, coisas de cozinha e nada mais. Mas como fizemos amor naquele tempo! Foi incrível e seguramente nunca tivemos tanto prazer. Tempos de chumbo, de medo, de susto e insegurança. Medo de dia, amor de noite. Assim vivemos por quase um ano. Até que tudo começou a "cair". Prisões, torturas, polícia por toda a parte, o inferno na nossa frente.

Fomos para o Chile. E ali, chamado por Garcez para elaborar textos, acabei no agrado de Allende, que os usou em seus discursos oficiais. Foi a primeira vez que eu vi amor virar discurso político... Depois passamos por muita coisa até voltar. Até que a anistia chegou e nos surpreendeu. E agora, o que fazer com o Brasil? Foi um turbilhão de emoções: o sonho virou realidade! Era verdade, o Brasil era nosso de novo. A primeira coisa foi comer tudo que não havíamos comido no exílio: angu! Com galinha ao molho pardo, quiabo com carne moda, chuchu com maxixe, abóbora, cozido, feijoada. Um festival de saudades culinárias, um reencontro com o Brasil pela boca.

Uma das maiores emoções da minha vida foi ver o Henrique surgindo de dentro de você. Emoção sem fim e sem limite que me fez reencontrar a infância. Depois do exílio, nossas vidas pareciam bem normais.

Trabalhávamos; viajavamos nas férias, visitávamos os amigos, o Ibase funcionava, até a hemofilia parecia que havia dado uma trégua. Henrique crescia, Daniel aos poucos se reaproximava de mim, já como filho e amigo. Mas como uma tragédia que vem às cegas e entra pelas nossas vidas, estávamos diante do que nunca esperei. A Aids. Em 1985, surge a notícia da epidemia que atingia homossexuais, drogados e hemofílicos. O pânico foi geral. Eu, claro, havia entrado nessa.

Não bastava ter nascido mineiro, católico, hemofílico, maosta e meio deficiente físico. Era necessário entrar na onda mundial, na praga do século, mortal, definitiva, sem cura, sem futuro e fatal. E foi aí que você, mais do que nunca, revelou que é capaz de superar a tragédia, sofrendo, mas enfrentando tudo e com um grande carinho e cuidado. A Aids selou um amor mais forte e mais definitivo porque desafia tudo, o medo, a tentação do desespero, o desânimo diante do futuro. Continuar tudo apesar de tudo, o beijo, o carinho e a sensualidade. Assumi publicamente minha condição de soropositivo e você me acompanhou. Nunca pôs um "senão" ou um comentário sobre cuidados necessários. Deu a mão e seguiu junto como se fosse metade de mim, inseparável. E foi. Desde os tempos do cólera, da não esperança, da morte do Henfil e Chico, passando pelas crises que beiravam a morte até o coquetel que reabria as esperanças.

Tempo curto para descrever, mas uma eternidade para se viver. Um dos maiores problemas da Aids o sexo. Ter relações com todos os cuidados ou não ter? Todos os cuidados são suficientes ou não se deve correr riscos com a pessoa amada? Passamos por todas as fases, desde o sexo com uma ou duas camisinhas até sexo nenhum, só carinho.

Preferi a segurança total ao mínimo risco. Parei, paramos e sem dramas, com carícias, mas sem dramas, como se fosse normal viver contrariando tudo que aprendemos como homem e mulher, vivendo a sensualidade da música, da boa comida, da literatura, da invenção, dos pequenos prazeres e da paz. Viver muito mais que fazer sexo. Mas para se viver isso, é necessário que Maria também sinta assim e seja capaz dessa metamorfose como foi.

Para se falar de uma pessoa com total liberdade necessário que uma esteja morta e eu sei que este ser é o meu caso. Irei ao meu enterro sem grandes penas e principalmente sem trabalho, carregado. Não tenho curiosidade para saber quando, mas sei que não demora muito.

Quero morrer em paz, na cama, sem dor, com Maria do meu lado e sem muitos amigos, porque a morte não é ocasião para se chorar, mas para celebrar um fim, uma história. Tenho muita pena das pessoas que morrem sozinhas ou mal acompanhadas. Morrer sem o outro é partir sozinho. O olhar do outro é que te faz viver e descansar em paz. O ideal é que pudesse morrer na minha cama e sem dor, tomando um saquê gelado, um bom vinho português ou uma cerveja gelada.

Te amo para sempre,

Betinho.

Itatiaia, janeiro de 1997.