

Máquinas de Fluxo I

PERDA DE CARGA

R. Sobral

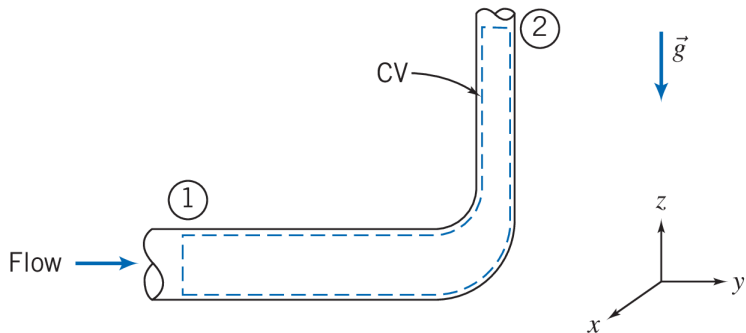
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

rodolfo.sobral@cefet-rj.br

Programa do Curso - Avaliação 02

- Tipos de associação
- **Perda de carga**
- Cavitação e NPSH
- Compressores
- Análise numérica

Equação da Energia em Tubos



Equação da Energia em Tubos

$$\dot{Q} - \dot{W}_s - \dot{W}_{\text{cisalhante}} - \dot{W}_{\text{outro}} = \frac{d}{dt} \int_R \rho e dV + \int_{\partial R} \rho \left(e + \frac{p}{\rho} \right) \mathbf{v} \cdot \mathbf{n} dS$$

Sendo,

$$e = u + \frac{v^2}{2} + gz$$

e considerando:

- escoamento em regime permanente;
- ausência de forças cisalhantes;
- ausência de trabalho de fronteira;
- ausência de outros tipo de forças;
- energia interna e pressão uniformes em cada seção;
- escoamento incompressível;

Equação da Energia em Tubos

A primeira lei da termodinâmica se reduz a:

$$\dot{Q} = \dot{m}(u_2 - u_1) + \dot{m} \left(\frac{p_2}{\rho} - \frac{p_1}{\rho} \right) + \dot{m}g(z_2 - z_1) + \int_{A_2} \frac{v_2^2}{2} \rho v_2 dA_2 - \int_{A_1} \frac{v_1^2}{2} \rho v_1 dA_1$$

Não considerou-se velocidade uniforme nas seções, pois para escoamentos viscosos tal realidade não se aplica. Porém, faz-se usual uma definição vide velocidade média a fim de eliminar as integrais.

Equação da Energia em Tubos

- Coeficiente de Energia Cinética

$$\int_A \frac{v^2}{2} \rho v dA = \alpha \int_A \frac{\bar{v}^2}{2} \rho v dA = \alpha \dot{m} \frac{\bar{v}^2}{2}$$

ou

$$\alpha = \frac{\int_A \rho v^3 dA}{\dot{m} \bar{v}^2}$$

Valor de α é tido como fator de correção na substituição pela velocidade média. Escoamento laminar $\alpha = 2$ e turbulento $\alpha = 1$.

Equação da Energia em Tubos

- Perda de Carga

A primeira lei da termodinâmica se reduz a:

$$\dot{Q} = \dot{m}(u_2 - u_1) + \dot{m}\left(\frac{p_2}{\rho} - \frac{p_1}{\rho}\right) + \dot{m}g(z_2 - z_1) + \dot{m}\left(\frac{\alpha_2 v_2^2}{2} - \frac{\alpha_1 v_1^2}{2}\right)$$

como

$$\dot{Q} = \frac{\delta Q}{dt} = \frac{\delta Q}{dm} \frac{dm}{dt} = \frac{\delta Q}{dm} \dot{m}$$

dividindo por $\dot{m}$

$$\left(\frac{\delta Q}{dm}\right) = \left[-\left(u_1 + \frac{\alpha_1 \bar{v}_1^2}{2} + gz_1 + \frac{p_1}{\rho}\right) + \left(u_2 + \frac{\alpha_2 \bar{v}_2^2}{2} + gz_2 + \frac{p_2}{\rho}\right)\right]$$

Equação da Energia em Tubos

Portanto,

$$\left(u_1 - u_2 + \frac{\delta Q}{dm}\right) = \left[-\left(\frac{\alpha_1 \bar{v}_1^2}{2} + gz_1 + \frac{p_1}{\rho}\right) + \left(\frac{\alpha_2 \bar{v}_2^2}{2} + gz_2 + \frac{p_2}{\rho}\right)\right]$$

o termo a seguir representa a energia mecânica por unidade de massa na seção transversal

$$\left(\frac{\alpha \bar{v}^2}{2} + gz + \frac{p}{\rho}\right)$$

Portanto a perda de carga total fica

$$\left(\frac{\alpha_1 \bar{v}_1^2}{2} + gz_1 + \frac{p_1}{\rho}\right) - \left(\frac{\alpha_2 \bar{v}_2^2}{2} + gz_2 + \frac{p_2}{\rho}\right) = h_{l_T}$$

Para escoamentos C.D em tubos horizontais,

$$\frac{p_1 - p_2}{\rho} = \frac{\Delta p}{2} = h_{l_T}$$

Perda de Carga Distribuída e Localizada

$$h_{1-2} = h_{1-2}^D + h_{1-2}^L$$

Perda de Carga

Como já foi explicitado anteriormente...

Perda de Carga

Na literatura clássica, a perda de carga é obtida a partir da equação de Darcy-Weisbach, dada por

$$\Delta e = f \frac{L}{D} \frac{\bar{v}^2}{2} [m^2/s^2] [kJ/kg]$$

sendo f fator de atrito.

$$\Delta e = f \frac{L}{D} \frac{\bar{v}^2}{2g} [m]$$

$$\Delta e = f \frac{L}{D} \frac{\bar{v}^2}{2} \cdot \rho [Pa]$$

Perda de Carga

No caso de escoamento laminar num duto circular, o fator de atrito pode ser calculado analiticamente igualando as expressões já mencionadas acima,

$$\Delta e = f \frac{L}{D} \frac{\bar{v}^2}{2} = \frac{8\mu L}{\rho R^2} \bar{v}$$

$$f \frac{L}{D} \frac{\bar{v}^2}{2} = \frac{64}{\left(\frac{\rho \bar{v} D}{\mu}\right)} \frac{L}{D} \frac{\bar{v}^2}{2}$$

$$f = \frac{64}{Re}$$

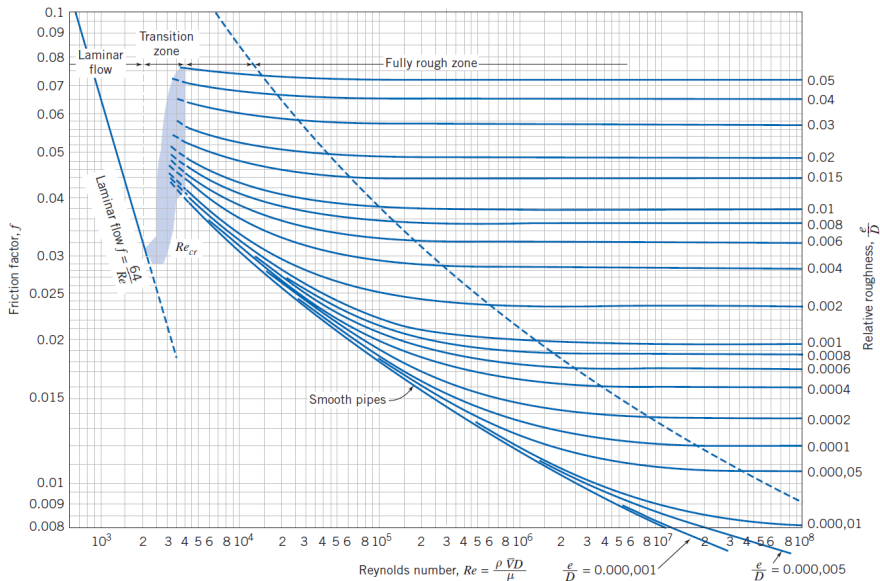
Perda de Carga

No caso de escoamento turbulento através de tubo liso, ou seja, com parede interna com rugosidade desprezível, o fator de atrito é aproximadamente dado por

$$f = \frac{23}{4} (\ln Re)^{-\frac{26}{11}}$$

Para dutos com rugosidade não desprezível, o fator de atrito dependerá da rugosidade relativa e do número de Reynolds, devendo ser obtido diretamente via ábaco de Moody.

Ábaco de Moody



Perda de Carga Localizada

Devido aos acidentes geométricos e acessórios de tubulação.

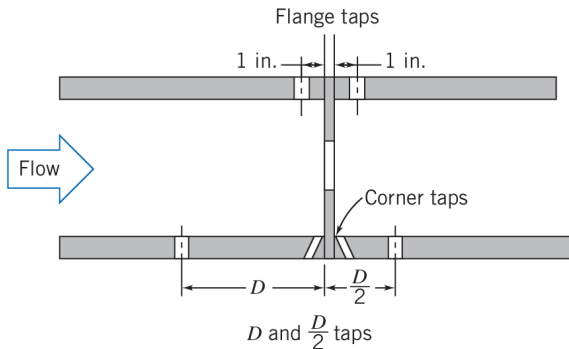
$$h_{1-2}^L = K \frac{\bar{v}^2}{2g}$$

sendo K coeficiente de perda de carga localizada. Alguns autores utilizam o conceito de comprimento equivalente da tubulação (L_e)

$$K = f \frac{L_e}{D}$$

Medidores de Vazão

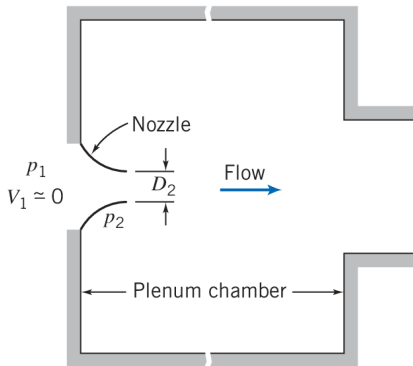
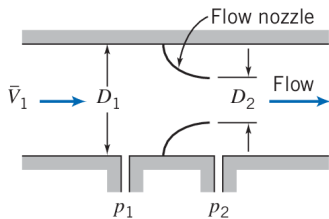
- Placa de Orifício



Geometria de orifício e tomadas de pressão

Medidores de Vazão

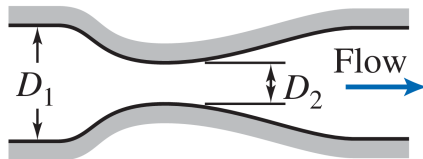
- Bocal



Instalações em duto e pleno

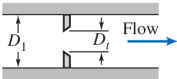
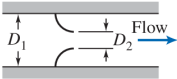
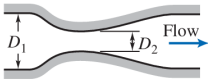
Medidores de Vazão

- Venturi



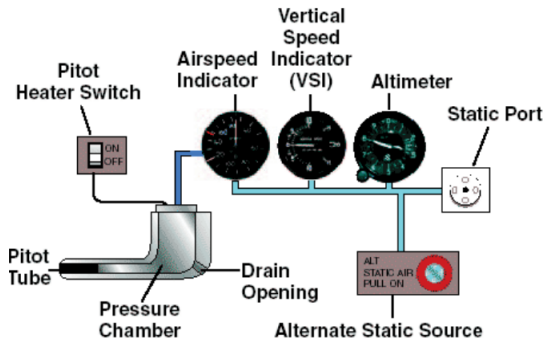
Medidores de Vazão

- Características Gerais

Flow Meter Type	Diagram	Head Loss	Initial Cost
Orifice		High	Low
Flow Nozzle		Intermediate	Intermediate
Venturi		Low	High

Vídeo 01

Vídeo 02



Tubo de Pitot e o acidente da Air France

30 de julho de 2013

Aviação

Na noite de 31 de maio para 1º de junho de 2009, um avião modelo Airbus A330-200 saía do Rio de Janeiro com destino a Paris. O voo 447 da Air France caiu no Oceano Atlântico com 228 pessoas a bordo, após uma série de mensagens automáticas emitidas pelo ACARS (*Sistema Dirigido de Comunicação e Informação Aeronáutica*) terem sido enviadas pelo avião, indicando problemas elétricos e de perda da pressurização de cabine na aeronave. Maiores detalhes dos momentos que antecederam a queda podem ser vistos no infográfico no fim da matéria.

Segundo relatório do BEA (*Bureau d'Enquêtes et d'Analyses*, o órgão responsável pelas investigações de acidentes aeronáuticos da França), velocidades medidas ficaram incoerentes, presumivelmente como resultado da **obstrução das sondas Pitot em ambiente de cristais de gelo**. A sonda (ou tubo de) Pitot é um instrumento de medida de pressão utilizado também para medir a velocidade dos fluidos. Veja seu esquema de funcionamento abaixo:

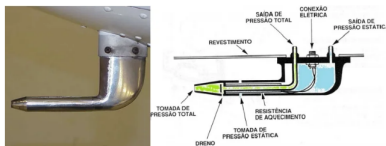
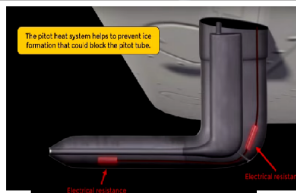
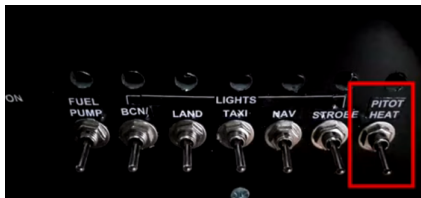


Foto e esquema de funcionamento do tubo de Pitot

O equipamento mede basicamente dois tipos de pressão: estática e total. A pressão estática (não depende do movimento), pode ser recolhida por detectores adequados, chamados de piezômetros ou ser obtida a partir de um tubo que envolve o primeiro no sentido coaxial e possui orifícios laterais perpendiculares ao movimento (também chamado tubo de Prandtl). A entrada de ar desses detectores fica na fuselagem, em orifícios identificados como "Static Pitot". A pressão estática é proporcional à pressão atmosférica e à altitude, sendo possível obter altitude do nível de voo da aeronave. A pressão total é a soma da pressão estática e da pressão dinâmica. A

Curiosidade



Instalações de Bombeamento

Partes da instalação:

- Tubulação de sucção ou aspiração
- Tubulação de recalque ou descarga

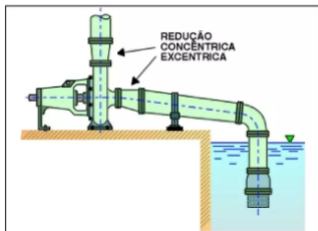
Instalações de Bombeamento

- Tubulação de sucção ou aspiração

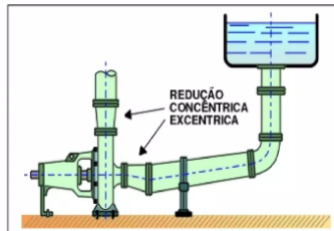
Geralmente curta e de diâmetro ligeiramente maior que do recalque.

Sucção mal dimensionada (longa e/ou diâmetros subdimensionados) apresenta perda de carga elevada, prejudicando aspiração do líquido e aumentando a potência de acionamento da bomba.

Sucção Negativa



Sucção Positiva



Instalações de Bombeamento

- Tubulação de recalque ou descarga

Geralmente longa e com grande número de acessórios (válvulas, conexões, instrumentos de medição)

Presença comum no recalque, válvulas de retenção protegem a bomba de eventual transiente hidráulico (início ou à interrupção abrupta do bombeio), já as válvulas gaveta bloqueiam o fluxo permitindo parada para manutenção.

Tipos de Instalações de Bombeamento

Referente a posição da linha de centro da bomba em relação ao nível do reservatório de captação:

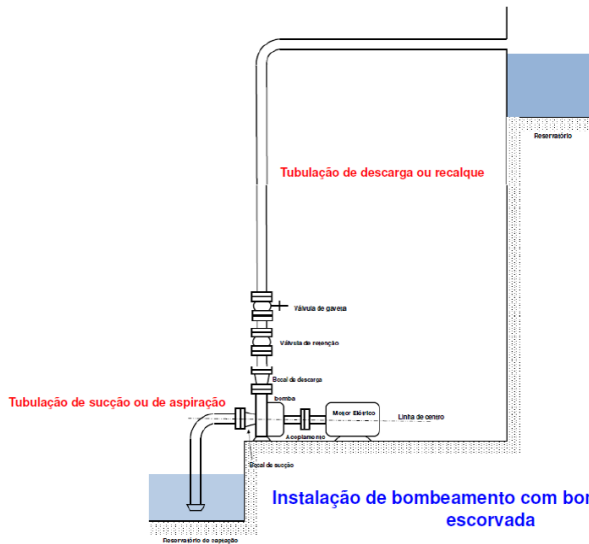
- Bomba Escorvada

Acima do nível do reservatório.

- Bomba Afogada

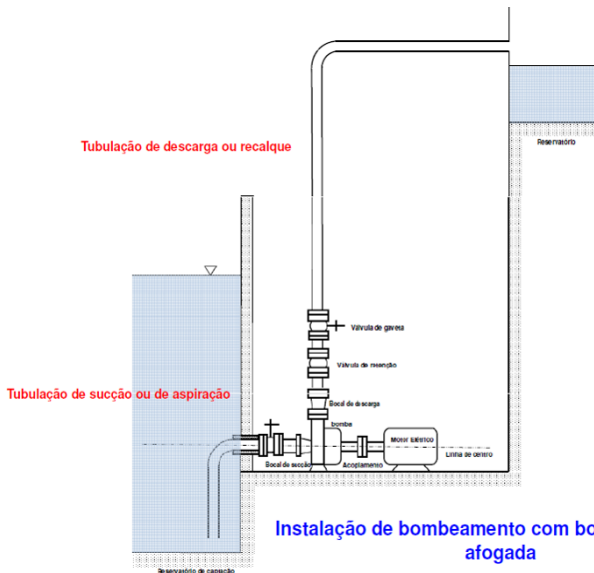
Abaixo do nível do reservatório.

Bomba Escorvada



Instalação de bombeamento com bomba operando escorvada

Bomba Afogada



Instalação de bombeamento com bomba operando afogada

Escorvada

Linha de centro da bomba se encontra acima do nível do reservatório de captação do líquido, havendo a necessidade de uma **válvula de crivo ou de pé** para impedir o retorno do líquido contido na tubulação de sucção para o reservatório de captação.

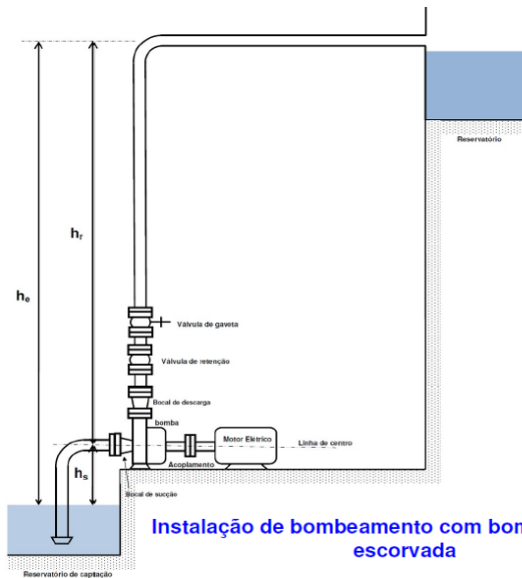
A fim de manter a integridade da bomba, a **escorva**, manterá apenas líquido dentro linha de sucção.

Alturas Energéticas

Representam a energia hidráulica armazenada por unidade de peso do líquido.

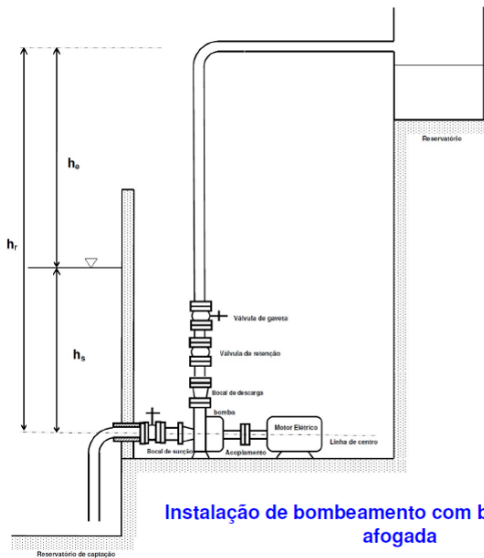
Considerando escoamento desenvolvido, permanente e uniforme, levando-se em consideração os efeitos viscosos do líquido bombeado.

Bomba Escorvada



Instalação de bombeamento com bomba operando escorvada

Bomba Afogada



Instalação de bombeamento com bomba operando afogada

Alturas Estáticas

Desníveis topográficos existentes na instalação de bombeamento.

- Altura estática de sucção ou aspiração (z_s)

Diferença de cotas entre a linha de centro da bomba e a superfície livre do reservatório de captação.

- Altura estática de recalque ou descarga (z_r)

Diferença de cotas entre o nível onde o líquido é abandonado ao sair pela tubulação de recalque e a linha de centro da bomba.

Alturas Estáticas

- Altura estática de elevação (z_e)

Soma relativa das alturas estáticas de sucção e recalque.

$$z_e = \pm z_s + z_r$$

Se linha de centro da bomba estiver acima do nível do reservatório de captação do líquido, sinal é positivo. Para bomba afogada, sinal é negativo.

Alturas Dinâmicas ou Totais

Energia hidráulica armazenada por unidade de peso de líquido.

- Altura total de sucção ou aspiração (h_s)

Diferença entre pressão reinante no reservatório de captação (p_1) e pressão no bocal de sucção da bomba (p_s).

$$h_s = \frac{p_1 - p_s}{\gamma}$$

Via primeira lei da termodinâmica,

$$h_s = \pm z_s + \frac{\bar{v}_s^2}{2g} - h_{f_s}$$

Alturas Dinâmicas ou Totais

- Altura total de recalque ou descarga (h_r)

Diferença entre a pressão no bocal de descarga (p_r) e pressão na saída da tubulação de recalque (p_2).

$$h_r = \frac{p_r - p_2}{\gamma} + h_{f_r}$$

Via primeira lei da termodinâmica,

$$h_r = z_r + \frac{\bar{v}_2^2 - \bar{v}_r^2}{2g} + h_{f_r}$$

Alturas Dinâmicas ou Totais

- Carga Total (H)

$$H = h_r - h_s$$

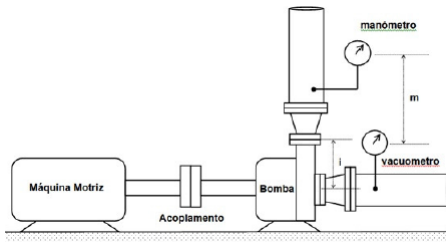
$$H = \frac{p_d - p_s}{\gamma} + \frac{v_r^2 - v_s^2}{2g} + (z_r - z_s) + (h_{f_r} + h_{f_s})$$

Alturas Dinâmicas ou Totais

- Altura manométrica (H)

Instalações bem projetadas possuem medidores de pressão na sucção e descarga, o vacuômetro, instalado próximo a entrada da bomba mede a pressão manométrica no bocal de sucção (p_s^{man}), e o manômetro instalado próximo ao bocal de descarga mede a pressão manométrica no bocal de descarga (p_r^{man}).

$$H = \frac{p_s^{man} - p_r^{man}}{\gamma} + m$$



Alturas Dinâmicas ou Totais

- Altura total de elevação (H_e)

Soma da altura útil de elevação com altura representativa da energia dissipada no interior da bomba devido **perdas hidráulicas** (j_ϵ) (vazamentos e recirculações).

$$H_e = H_u + j_\epsilon$$

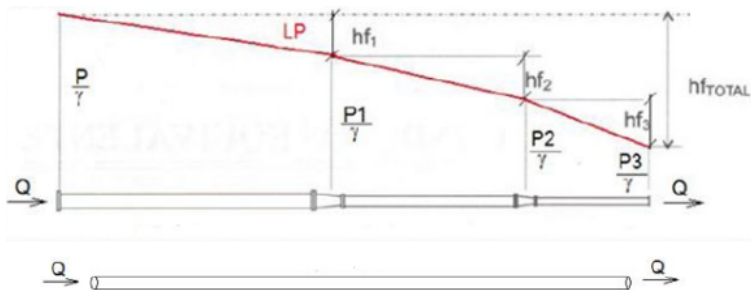
- Altura motriz de elevação (H_m)

Soma da altura total de elevação com altura representativa da energia dissipada em **perdas mecânicas** (j_ρ) (mancais, rolamentos e transmissão de potência).

$$H_m = H_e + j_\rho$$

Adendo - Tubulações Equivalentes

- Série



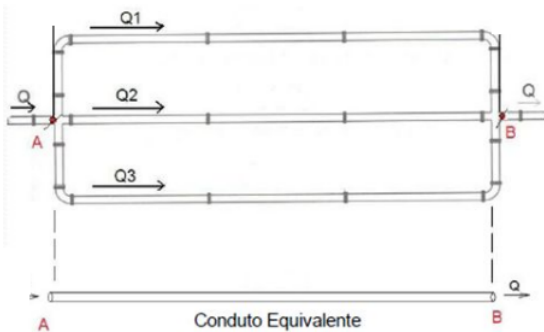
$$h_f = h_{f_1} + h_{f_2}$$

$$Q = Q_1 = Q_2$$

$$\frac{L}{D^5} = \sum_1^n \frac{L_i}{D_i^5}$$

Adendo - Tubulações Equivalentes

- Paralelo



$$h_f = h_1 = h_2$$

$$Q = Q_1 + Q_2$$

$$\sqrt{\frac{D^5}{L}} = \sum_1^n \sqrt{\frac{D_i^5}{L_i}}$$

Aplicações

● Venturi Mask



Estudo do Dispositivo Venturi Aplicado no Suporte Ventilatório em Pacientes com Pneumonia: Uma Abordagem em Engenharia Mecânica

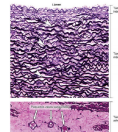
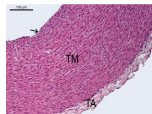
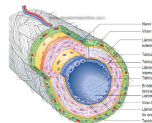
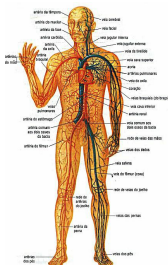
Proposta de Projeto de Fim de Curso
Departamento de Engenharia Mecânica
Centro Federal de Ensino Tecnológico Celso Siqueira da Fonseca
Campus Nova Iguaçu

PROFESSOR:
Luc Henrique Cavalcante Barros dos Passos

Orientadores:
Prof. Roberto de Lugo Sobral

Nova Iguaçu
11 de janeiro de 2020

● Carga Humana - <https://doi.org/10.5747/cv.2023.v15.v357>



Loading

"Há uma força motriz mais poderosa que o vapor, eletricidade e energia atômica: a vontade"

Albert Einstein