

Hidráulica e Pneumática

CONCEITOS BÁSICOS E DEFINIÇÕES

R. Sobral

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

rodolfo.sobral@cefet-rj.br

Ementa

- 1 Informações
 - Informações Gerais
- 2 Breve Revisão
 - Fenômenos de Transporte
- 3 Conceitos Básicos
 - Definições

ATENÇÃO!

***Avaliação Repositiva apenas após abertura de processo na secretaria com comprovação médica de ausência, protocolada no máximo até 7 dias após devida ausência.

Datas Importantes

Todas as datas importantes estão atualizadas via Teams ou link:

`rodolfosobral.wixsite.com/rodolfosobral`

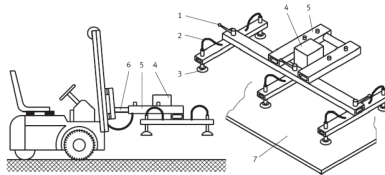
Apenas as aulas subsequentes as avaliações poderão ser destinadas a vista de prova

Normas

- Notas de Aula não substituem em **hipótese alguma** os livros texto;
- Celular, relógio ou outro meio semelhante implicarão em grau zero;;
- Durante as avaliações nenhum questionamento será atendido.

Não será fornecido formulário nas avaliações, visto que as equações devem ser deduzidas tal qual em sala de aula. As equações não demonstradas são empíricas.

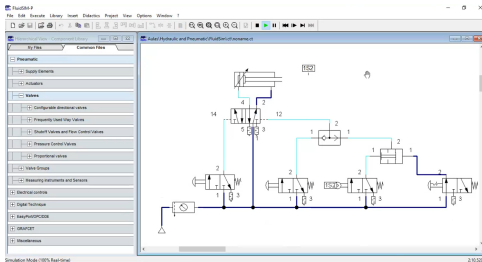
Template



Um sistema de vácuo é utilizado para a manipulação de placas de aço através de um dispositivo preso à empilhadeira. O vácuo é ligado e desligado através de um botão-trava.

Elaborar o circuito pneumático para tal dispositivo.

P1



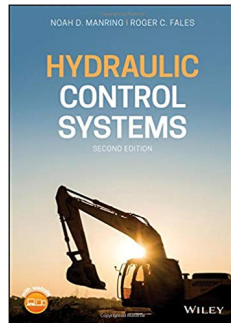
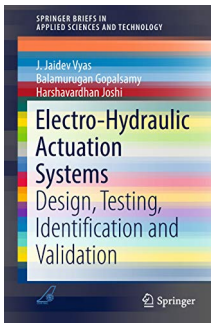
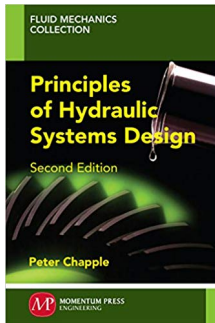
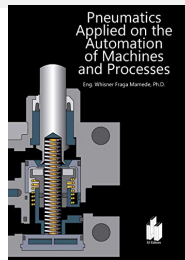
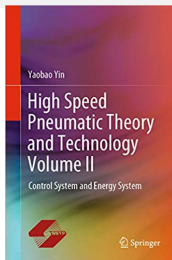
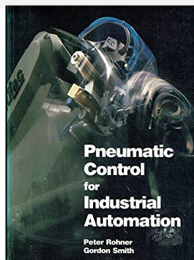
P2



Bibliografia Recomendada

- [I] PARR, Andrew. Hydraulics and pneumatics: a technician's and engineer's guide. Elsevier, 2011;
- [II] STWART, H. L., "Pneumática e Hidráulica", Hemus;
- [III] BEATER, Peter. Pneumatic drives. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2007;
- [IV] PRUDENTE, F., "Automação Industrial: Pneumática", LTC;
- [V] FIALHO, A. B., "Automação Hidráulica: Projetos, Dimensionamento e Análise de circuitos", Érica.

Vasta Bibliografia



Programa do Curso - Avaliação 01

- Breve Revisão
- Conceitos Fundamentais
- Bombas e Compressores
- Válvulas de Controle
- Atuadores

Programa do Curso - Avaliação 02

- Acessórios de Linha
- Simbologia
- Circuitos Hidráulicos e Pneumáticos
- Mecanismos de Controle
- Aplicações

Avaliação Final

Aos moldes da Avaliação 01 e 02, sendo obrigatória apenas aos discentes com média menor do que 7,0.

Avaliação Repositiva e Final conterão todo o conteúdo do curso.

Ementa

- 1 Informações
 - Informações Gerais
- 2 Breve Revisão
 - Fenômenos de Transporte
- 3 Conceitos Básicos
 - Definições

Breve Revisão

- Equação da Continuidade
- Equação da Quantidade de Movimento Linear
- Equação de Euler e Navier-Stokes
- Equação da Quantidade de Movimento Angular
- Escoamento Compressível
- Substâncias Puras
- Efeito da Compressibilidade
- Relações de Gibbs

Equação da Continuidade - Forma Global

Portanto, o axioma da conservação da massa,

$$\frac{d}{dt} \int_{\Omega_t} \rho dV = \int_{\Omega_t} \left[\frac{D\rho}{Dt} + \rho \operatorname{div} \mathbf{v} \right] dV = 0$$

Equação da Continuidade - Forma Local

Uma vez que a região Ω_t é arbitrária, conclui-se que,

$$\frac{D\rho}{Dt} + \rho \operatorname{div} \mathbf{v} = 0$$

ou

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \operatorname{div} (\rho \mathbf{v}) = 0$$

visto que,

$$\operatorname{div} (\rho \mathbf{v}) = \rho \operatorname{div} \mathbf{v} + \mathbf{v} \operatorname{grad} \rho$$

Quantidade de Movimento Linear - Forma Global

Portanto, a equação global da quantidade de movimento linear fica

$$\int_{\Omega_t} \left[\rho \frac{D\mathbf{v}}{Dt} \right] dV = \int_{\partial\Omega_t} \mathbf{T}\mathbf{n} dS + \int_{\Omega_t} \rho \mathbf{g} dV$$

empregando teorema da divergência

$$\int_{\Omega_t} \left[\rho \frac{D\mathbf{v}}{Dt} \right] dV = \int_{\Omega_t} \text{div} \mathbf{T} dV + \int_{\Omega_t} \rho \mathbf{g} dV$$

Quantidade de Movimento Linear - Forma Local

Uma vez que a região Ω_t é arbitrária, conclui-se que,

$$\rho \frac{D\mathbf{v}}{Dt} = \text{div} \mathbf{T} + \rho \mathbf{g}$$

ou

$$\rho \left[\frac{\partial \mathbf{v}}{\partial t} + (\text{grad} \mathbf{v}) \mathbf{v} \right] = \text{div} \mathbf{T} + \rho \mathbf{g}$$

Navier-Stokes

Para escoamento incompressível de fluido newtoniano com viscosidade constante, em sistema cartesiano retangular,

$$\rho \left[\frac{\partial v_x}{\partial t} + v_x \frac{\partial v_x}{\partial x} + v_y \frac{\partial v_x}{\partial y} + v_z \frac{\partial v_x}{\partial z} \right] = -\frac{\partial p}{\partial x} + \mu \left[\frac{\partial^2 v_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v_x}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v_x}{\partial z^2} \right] + \rho g_x$$

$$\rho \left[\frac{\partial v_y}{\partial t} + v_x \frac{\partial v_y}{\partial x} + v_y \frac{\partial v_y}{\partial y} + v_z \frac{\partial v_y}{\partial z} \right] = -\frac{\partial p}{\partial y} + \mu \left[\frac{\partial^2 v_y}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v_y}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v_y}{\partial z^2} \right] + \rho g_y$$

$$\rho \left[\frac{\partial v_z}{\partial t} + v_x \frac{\partial v_z}{\partial x} + v_y \frac{\partial v_z}{\partial y} + v_z \frac{\partial v_z}{\partial z} \right] = -\frac{\partial p}{\partial z} + \mu \left[\frac{\partial^2 v_z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v_z}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v_z}{\partial z^2} \right] + \rho g_z$$

Equação de Euler

Para condição de escoamento sem atrito, ou seja, invíscido $\mu = 0$, as equações do movimento são reduzidas,

$$\rho \frac{D\mathbf{v}}{Dt} = -\nabla p + \rho \mathbf{g}$$

Quantidade de Movimento Angular - Forma Global

Portanto, a equação global da quantidade de movimento angular fica

$$\int_{\Omega_t} \left[\rho \mathbf{x} \times \frac{D\mathbf{v}}{Dt} \right] dV = \int_{\partial\Omega_t} \mathbf{x} \times (\mathbf{T}\mathbf{n}) dS + \int_{\Omega_t} \mathbf{x} \times (\rho \mathbf{g}) dV + \mathbf{T}_{\text{eixo}}$$

Equação de Bernoulli

Define-se fluido ideal como um meio contínuo que, sob quaisquer circunstâncias, tem o tensor de Cauchy múltiplo do tensor identidade. Em outras palavras, para um fluido ideal,

$$\mathbf{T} = -p\mathbf{1}$$

Onde p é a pressão, inferindo tensão cisalhante sempre nula. A forma local da equação da quantidade de movimento linear é dada por (para qualquer meio contínuo)

$$\rho \left[\frac{\partial \mathbf{v}}{\partial t} + (\text{grad} \mathbf{v}) \mathbf{v} \right] = \text{div} \mathbf{T} + \rho \mathbf{g}$$

Equação de Bernoulli

Assim, para um fluido ideal, a equação anterior se reduz a

$$\rho \left[\frac{\partial \mathbf{v}}{\partial t} + (\text{grad} \mathbf{v}) \mathbf{v} \right] = -\text{grad} p + \rho \mathbf{g}$$

que é chamada equação de Euler.

Suponhamos agora um escoamento de fluido ideal em regime permanente (velocidade não dependendo explicitamente do tempo). Nesse caso, a equação de Euler pode ser escrita como

$$\rho (\text{grad} \mathbf{v}) \mathbf{v} = -\text{grad} p + \rho \mathbf{g}$$

Equação de Bernoulli

Se a massa específica depender apenas da pressão (podendo inclusive ser constante), a equação anterior pode ser representada por

$$(grad v) v = -grad \left(\int \frac{dp}{\rho} \right) + g$$

Considerando o eixo "z" paralelo ao vetor aceleração da gravidade, de tal forma que

$$g \cdot k = -||g|| = -g = constante$$

Podendo representar o vetor aceleração da gravidade como

$$g = -grad(gz)$$

Equação de Bernoulli

Pela definição do operador rotacional, temos que

$$(\text{rot} \mathbf{v}) \times \mathbf{v} = (\text{grad} \mathbf{v}) \mathbf{v} - (\text{grad} \mathbf{v})^T \cdot \mathbf{v}$$

$$(\text{grad} \mathbf{v}) \mathbf{v} = (\text{grad} \mathbf{v})^T \mathbf{v} + (\text{rot} \mathbf{v}) \times \mathbf{v}$$

Onde

$$(\text{grad} \mathbf{v})^T \cdot \mathbf{v} = \text{grad} \left(\frac{\mathbf{v} \cdot \mathbf{v}}{2} \right)$$

Assim a equação de Euler se reduz a

$$(\text{rot} \mathbf{v}) \times \mathbf{v} = -\text{grad} \left(\frac{\mathbf{v} \cdot \mathbf{v}}{2} \right) - \text{grad} \left(\int \frac{dp}{\rho} \right) - \text{grad}(gz)$$

Equação de Bernoulli

Ou seja,

$$(\text{rot} \mathbf{v}) \times \mathbf{v} = -\text{grad} \left(\frac{\mathbf{v} \cdot \mathbf{v}}{2} + \int \frac{dp}{\rho} + gz \right) = -\text{grad} \left(\frac{1}{2} \|\mathbf{v}\|^2 + \int \frac{dp}{\rho} + gz \right)$$

Assim levando-se em conta que

$$[(\text{rot} \mathbf{v}) \times \mathbf{v}] \cdot \mathbf{v} = 0$$

Tem-se:

$$-\text{grad} \left(\frac{1}{2} \|\mathbf{v}\|^2 + \int \frac{dp}{\rho} + gz \right) \cdot \mathbf{v} = 0$$

Equação de Bernoulli

Caracterizando as linhas de corrente como curvas de nível das grandezas entre parênteses. Tem-se então a Equação de Bernoulli

$$\frac{1}{2}||\mathbf{v}||^2 + \int \frac{dp}{\rho} + gz = \text{constante sobre uma linha de corrente}$$

Para escoamentos irrotacionais (ou potenciais), teremos que em toda parte

$$\text{rot}\mathbf{v} = 0$$

Logo, a equação de Bernoulli vale para todo o escoamento

$$\frac{1}{2}||\mathbf{v}||^2 + \int \frac{dp}{\rho} + gz = \text{constante em todo o escoamento}$$

Equação de Bernoulli

Quando a massa específica for constante, tem-se

$$\int \frac{dp}{\rho} = \frac{p}{\rho} + \text{constante}$$

Daí a equação de Bernoulli é expressa da forma (mais comumente encontrada na literatura)

$$\frac{1}{2} ||\mathbf{v}||^2 + \frac{p}{\rho} + gz = \text{constante}$$

Escoamento Compressível

Variações significativas ou notáveis na massa específica do fluido.

Assim, como fluidos invíscidos não existem, o mesmo dar-se para escoamentos incompressíveis.

Efeito da Compressibilidade

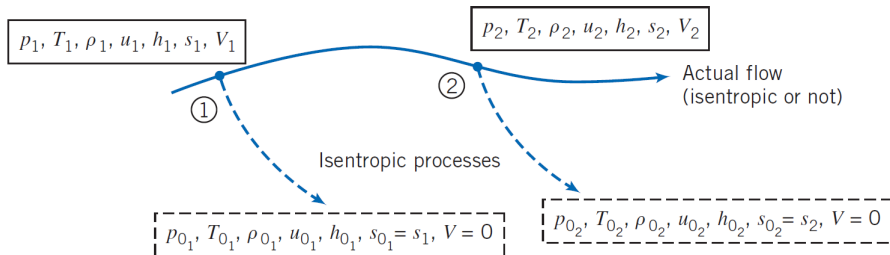
Consequências da compressibilidade não estão limitadas simplesmente a variações na massa específica. Trabalho de expansão/compressão interfere diretamente no estado termodinâmico do fluido e suas propriedades.

Propriedades de Estagnação

Condição de referência obtida quando o fluido é levado ao repouso $v = 0$, afim de que se possa obter propriedades de referência/estagnação $(p_0, T_0, \rho_0, u_0, h_0, s_0)$.

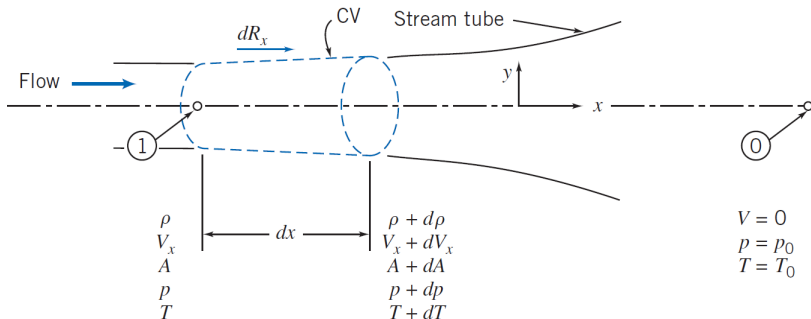
Na prática, adota-se processo isentrópico para modelar condição de estagnação local.

Propriedades de Estagnação



Escoamento incompressíveis adotam Bernoulli na obtenção das propriedades de estagnação isentrópica

Para escoamentos compressíveis, propriedades de estagnação isentrópicas são obtidas aplicando continuidade e QM a um V.C. diferencial.



Substâncias Puras

- Composição química homogênea e invariável
- Constituída por um ou mais constituintes químicos
- Mistura de fases de substâncias puras é uma substância pura

Equações de Estado

Equações matemáticas que relacionam as propriedades termodinâmicas de uma substância em estados de equilíbrio. As mais comuns são aquelas que relacionam pressão, volume específico e temperatura. Portanto, a forma geral da equação de estado de uma substância pura é dada pela relação:

$$f(p, \nu, T) = 0$$

Gás Ideal

Gases cuja energia intermolecular é desprezada, baixa massa específica devido grande distância entre as moléculas, baixa viscosidade.

Gases Perfeitos

Gases ideais que apresentam calores específicos a pressão e a volume, constantes independentes da temperatura.

$$c_p = \textit{constante}$$

$$c_v = \textit{constante}$$

Equação dos Gases Ideais

$$pV = mRT$$

$$p\nu = RT$$

$$R = \frac{\bar{R}}{M}$$

R é a constante particular do gás e é determinada a partir da razão entre a constante universal dos gases e a massa molar do gás

Equação dos Gases Ideais

$$pV = n\bar{R}T$$

$$p\bar{v} = \bar{R}T$$

$\bar{v}$ volume específico molar do gás

Equação dos Gases Ideais

$$n = m/M$$

$$\bar{R} = 8,3145 \text{ kJ/kmolK}$$

A massa molar é a massa de um mol de uma substância em gramas, a massa de um sistema é igual ao produto de sua massa molar M e o número de mols n

Fator Compressibilidade

Uma análise quantitativa mais abrangente da adequabilidade do modelo do gás ideal pode ser realizada com o auxílio do fator de compressibilidade.

$$p\nu = ZRT$$

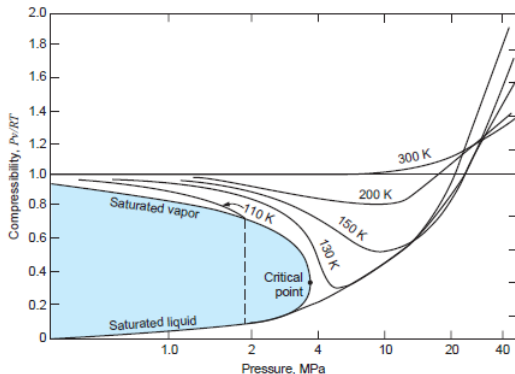
$$p\bar{\nu} = Z\bar{R}T$$

logo

$$Z = \frac{p\nu}{RT} \quad \text{ou} \quad Z = \frac{p\bar{\nu}}{\bar{R}T}$$

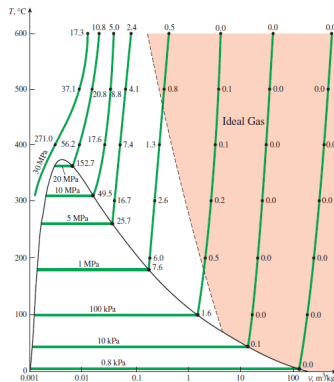
Fator Compressibilidade

Para um gás ideal $Z = 1$, vale salientar que o afastamento de Z em relação à unidade é uma medida do desvio de comportamento do gás real em relação ao previsto pela equação de estado dos gases ideais. Observe que para todas temperaturas $Z \rightarrow 1$ quando $p \rightarrow 0$, comportamento análogo aos gases ideais.



Fator Compressibilidade

Para temperaturas de $300K$ e superiores o fator de compressibilidade é próximo da unidade até pressões da ordem de $10MPa$, apresentando boa precisão a comportamentos análogos ao de gases ideais.



Um gás se comporta segundo o modelo do gás ideal a baixas pressões e altas temperaturas

Fator Compressibilidade

Muitos gases como ar, oxigênio, hélio, argônio, gás carbônico, se comportam como gases ideais. Vapor d'água, vapores de refrigerantes e gases densos não devem ser considerados como gases ideais, nesses casos deve-se utilizar as tabelas termodinâmicas.

O desvio do comportamento de um gás real em relação ao ideal a uma determinada temperatura e pressão pode ser precisamente calculado pelo fator de compressibilidade.

Propriedades Críticas

Examinado qualitativamente diagramas de compressibilidade para substâncias puras observe-se grande semelhança, porém quantitativamente os diagramas são distintos pois as temperaturas e pressões críticas das substâncias variam numa faixa bastante extensa

Constantes críticas					
Substância	Fórmula	Peso molecular	Temperatura K	Pressão MPa	Volume m ³ /kg
Amônia	NH ₃	17,031	405,5	11,35	0,00426
Argônio	Ar	39,948	150,8	4,87	0,00188
Bromo	Br ₂	159,808	588	10,30	0,000796
Dióxido de carbono	CO ₂	44,01	304,1	7,38	0,00212
Monóxido de carbono	CO	28,01	132,9	3,50	0,00333
Cloro	Cl ₂	70,906	416,9	7,98	0,00175
Flúor	F ₂	37,997	144,3	5,22	0,00174
Hélio	He	4,003	5,19	0,227	0,0143
Hidrogênio (normal)	H ₂	2,016	33,2	1,30	0,0323
Criptônio	Kr	83,80	209,4	5,50	0,00109
Neônio	Ne	20,183	44,4	2,76	0,00206
Óxido nítrico	NO	30,006	180	6,48	0,00192
Nitrogênio	N ₂	28,013	126,2	3,39	0,0032
Dióxido de nitrogênio	NO ₂	46,006	431	10,1	0,00365
Óxido nítrico	N ₂ O	44,013	309,6	7,24	0,00221
Oxigênio	O ₂	31,999	154,6	5,04	0,00229
Dióxido de enxofre	SO ₂	64,063	430,8	7,88	0,00191
Água	H ₂ O	18,015	647,3	22,12	0,00317
Xenônio	Xe	131,30	289,7	5,84	0,000902
Acetileno	C ₂ H ₂	26,038	308,3	6,14	0,00433
Benzeno	C ₆ H ₆	78,114	562,2	4,89	0,00332
n-Butano	C ₄ H ₁₀	58,124	425,2	3,80	0,00439
Difluorocloroetano ^a (142b)	CH ₂ CClF ₂	100,495	410,3	4,25	0,00230

Propriedades Reduzidas

Com a finalidade de alocar diferentes substâncias em um mesmo diagrama, reduz-se as propriedades com respeito aos valores no ponto crítico, da seguinte forma:

$$P_r = \frac{P}{P_c}$$

$$T_r = \frac{T}{T_c}$$

$$\nu_r = \frac{\nu}{RT_c/P_c}$$

Relações de Gibbs

Obtidas a partir da combinação das formas locais da 1ª lei da Termodinâmica para sistemas e da 2ª lei da Termodinâmica aplicada a processos internamente reversíveis.

Primeira Relação de Gibbs

Seja a primeira lei da termodinâmica em sua forma local

$$\delta Q - \delta W = dU$$

E a segunda lei para processos reversíveis

$$\delta Q = TdS$$

Substituindo a segunda lei da termodinâmica na primeira lei, tem-se:

$$TdS - \delta W = dU$$

Para $\delta W = pdV$

$$TdS - pdV = dU$$

Logo

$$Tds = du + pdv$$

Segunda Relação de Gibbs

Sabendo-se que a entalpia é

$$h = u + p\nu$$

Derivando a entalpia tem-se

$$dh = du + pd\nu + \nu dp$$

Isolando o termo da energia interna

$$du = dh - pd\nu - \nu dp$$

Substituindo du na primeira relação de Gibbs, tem-se:

$$Tds = dh - pd\nu - \nu dp + pd\nu$$

Logo

$$Tds = dh - \nu dp$$

Relações de Gibbs

Embora tenham sido deduzidas considerando-se processos internamente reversíveis, as relações de Gibbs são válidas para processos reversíveis e irreversíveis, já que a entropia é uma propriedade termodinâmica e sua variação independe do processo.

Variação de Entropia

- Sólidos e Líquidos

$$Tds = du + pdv$$

Dividindo-se ambos os lados por T

$$ds = \frac{du}{T} + \frac{p}{T}dv$$

Supondo que sólidos e líquidos comportam-se como substâncias incompressíveis, tem-se:

$$ds = \frac{du}{T}$$

Substituindo du tal qual apresentado pela primeira lei da termodinâmica entre processos 1 e 2 a volume constante

$$ds = \frac{c dT}{T} \quad \rightarrow \quad s_2 - s_1 = c \ln \left(\frac{T_2}{T_1} \right)$$

Processos isentrópicos envolvendo líquidos e sólidos são também isotérmicos

Variação de Entropia

- Gases e Vapores

Supondo que tais gases e vapores se comportem de acordo com o modelo de gás ideal, logo

$$p\nu = RT; \quad du = c_v dT; \quad dh = c_p dT$$

Dividindo-se ambos os lados da primeira relação de Gibbs por T

$$ds = \frac{du}{T} + \frac{p}{T} d\nu$$

Substituindo du e p/T para o modelo dos gases ideais

$$ds = c_v \frac{dT}{T} + R \frac{d\nu}{\nu} \quad \rightarrow \quad s_2 - s_1 = \int_1^2 c_v(T) \frac{dT}{T} + R \ln \left(\frac{\nu_2}{\nu_1} \right)$$

Variação de Entropia

No âmbito da segunda relação de Gibbs tem-se para gases e vapores no modelo de gases ideais, dividindo-se ambos os lados por T

$$ds = \frac{dh}{T} - \frac{\nu}{T} dp$$

Substituindo dh e ν/T tal qual apresentado pela primeira lei da termodinâmica entre processos 1 e 2 a pressão constante para gases ideais

$$ds = c_p \frac{dT}{T} - R \frac{dp}{p} \quad \rightarrow \quad s_2 - s_1 = \int_1^2 c_p(T) \frac{dT}{T} - R \ln \left(\frac{p_2}{p_1} \right)$$

Variação de Entropia

- Gases Perfeitos

Calores específicos a pressão e a volume constante são funções constantes de temperatura, diferentemente com o que ocorre com o modelo de gases ideais, portanto:

$$s_2 - s_1 = c_v \ln \left(\frac{T_2}{T_1} \right) + R \ln \left(\frac{\nu_2}{\nu_1} \right)$$

e

$$s_2 - s_1 = c_p \ln \left(\frac{T_2}{T_1} \right) - R \ln \left(\frac{p_2}{p_1} \right)$$

Ementa

- 1 Informações
 - Informações Gerais
- 2 Breve Revisão
 - Fenômenos de Transporte
- 3 Conceitos Básicos
 - Definições

Para que servem os Circuitos Hidráulicos e Pneumáticos?

Tipos de Energia

Um sistema de automação industrial é constituído de três elementos:

- Sensores
- Controladores (comando e regulação)
- Atuadores (acionamento)

Tal implementação demanda três tipos de energia:

- Pneumática
- Hidráulica
- Elétrica

Em geral, utilizam-se sistemas Eletrohidráulicos e/ou Eletropneumáticos

Análise Qualitativa

- Mecânica → Média Força, Alta Velocidade e Alta Precisão
- Hidráulica → Alta Força, Baixa Velocidade e Média Precisão
- Pneumática → Baixa Força, Média Velocidade e Baixa Precisão
- Elétrica → Comando e Controle

Custo, segurança, ordem de pressão, serviços de precisão

Análise Qualitativa

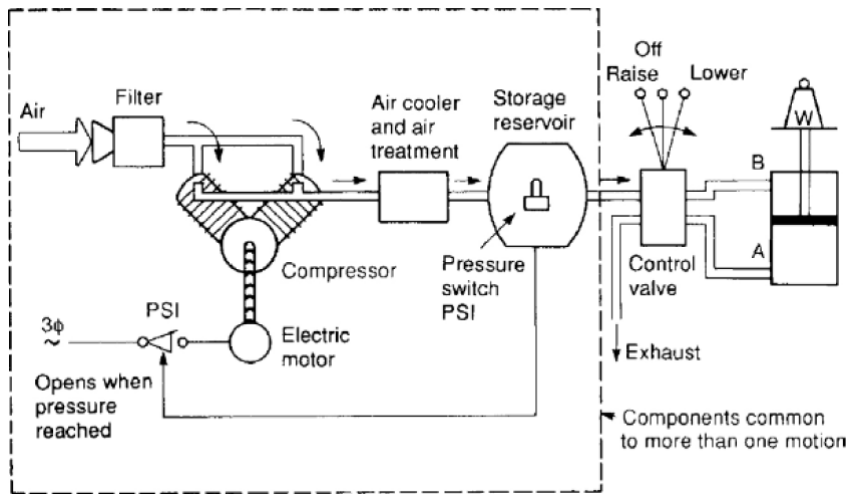
	Electrical	Hydraulic	Pneumatic
Energy source	Usually from outside supplier	Electric motor or diesel driven	Electric motor or diesel driven
Energy storage	Limited (batteries)	Limited (accumulator)	Good (reservoir)
Distribution system	Excellent, with minimal loss	Limited, basically a local facility	Good, can be treated as a plant wide service
Energy cost	Lowest	Medium	Highest
Rotary actuators	AC and DC motors. Good control on DC motors. AC motors cheap	Low speed. Good control. Can be stalled	Wide speed range. Accurate speed control difficult
Linear actuator	Short motion via solenoid. Otherwise via mechanical conversion	Cylinders. Very high force	Cylinders. Medium force
Controllable force	Possible with solenoid and DC motors Complicated by need for cooling	Controllable high force	Controllable medium force
Points to note	Danger from electric shock	Leakage dangerous and unsightly. Fire hazard	Noise

Pneumática

Estuda a aplicação do ar comprimido para a tecnologia de acionamento e comando.

Industrialmente, a utilização do ar a alta pressão deu-se no século *XIX*, nas primeiras máquinas pneumáticas e perfuradoras de minas de carvão, além das locomotivas a vapor. Já no século *XX*, a pneumática teve todo seu desenvolvimento e passou a ser aplicada finalmente na automação industrial.

Sistema Pneumático



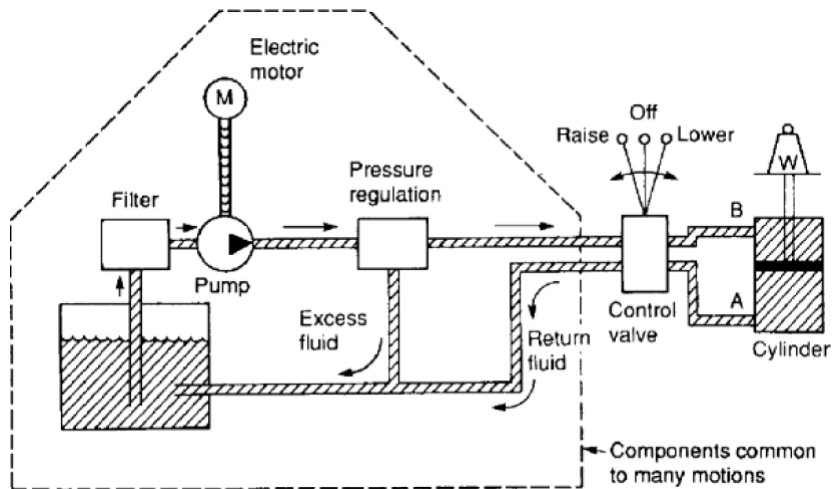
Hidráulica

Etimologicamente significa o estudo da condução da água, porém atualmente divide-se em hidroestática, hidrocinemática e hidrodinâmica.

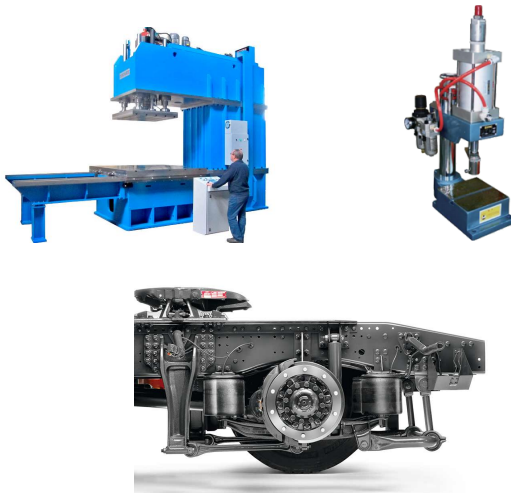
Desde a antiguidade com as aquedutos, canais de irrigação e coletores de esgoto a hidráulica faz-se presente.

Industrialmente, sua aplicação deu-se por volta do século *XVI* com o advento da metalurgia. Já no século *XX* com advento da computação seu estudo alcançou patamares de excelência.

Sistema Hidráulico



Exemplo de Aplicação



Exemplo de Aplicação

VÍDEO 01

VÍDEO 02

Someone's sitting in the shade today because someone planted a tree a long time ago

Warren Buffett