

Instrumentação e Sensores

Aula 03 - Sensores de Pressão

Apresentação

Nessa terceira aula serão introduzidos conceitos sobre a variável de processo pressão, para isso, partiremos dos conceitos básicos, como definições e classificações de pressão, suas unidades, escalas, dispositivos para sua medição etc. Uma adequada compreensão deste assunto é de fundamental importância, pois como veremos mais adiante, essa variável de processo pode ser utilizada para encontrar indiretamente os valores de outras variáveis.

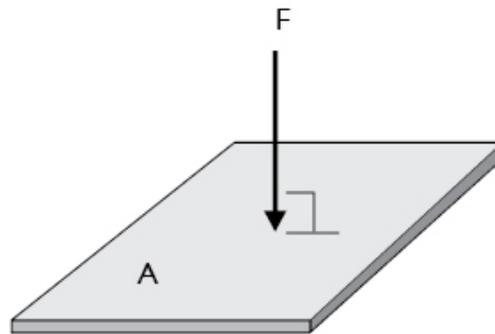
Objetivos

- Apropriar-se de conceitos básicos sobre a variável de processo pressão.
- Diferenciar as diversas classificações de pressão.
- Compreender o gráfico comparativo das escalas de pressão.
- Listar as unidades de pressão e realizar a conversão entre elas.
- Classificar os medidores de pressão e os seus princípios de funcionamento.
- Listar os fatores que determinam a seleção do sensor de pressão para uma aplicação.

Sensores de pressão

A instrumentação é definida como a arte e a ciência de medição e controle. Ela é responsável pelo desenvolvimento e aplicação de novos métodos de medição, indicação, registro e controle de processos, buscando a otimização e eficiência. Para isso, são utilizados instrumentos com as mais avançadas tecnologias de fabricação capazes de realizar das mais variadas maneiras a medição das variáveis de sistemas físicos e processos industriais. Uma dessas variáveis é a pressão cuja medição possibilita sua monitoração e controle dentro do processo. Entretanto, ela ganha um destaque no grau de importância, pois através de sua medição é possível de forma indireta, encontrar os valores de variáveis tais como nível, vazão e densidade e, conseqüentemente, a monitoração e controle dessas variáveis.

Figura 01 - Força aplicada perpendicularmente à área.



Fonte: Pessa (2004).

Exemplo 1

O volume de óleo contido em um tanque tem um total de 150 kN de peso (força exercida sobre a base do tanque) e a base desse tanque tem $7,5 \text{ m}^2$ de área. Qual a pressão sobre essa base?

$$Pressão = \frac{Força}{Área} = \frac{150 \text{ kN}}{7,5 \text{ m}^2} = 20 \text{ kpa}$$

Conversão entre as principais unidades

A Tabela 1 mostra as principais unidades e a conversão entre pressão.

	<i>inH₂O</i> a 20°C	atm	bar	kPa	<i>kgf/cm²</i>	<i>mmH₂O</i> a 20°C	mmHg a 0°C	inHg a 32°F	psi
<i>inH₂O</i> a 20°C	1	0,0025	0,0049	0,24864	0,00254	25,4000	1,86497	0,07342	0,03606
atm	407,513	1	1,01325	101,325	1,03323	10350,8	759,999	29,9213	14,6959
bar	402,185	0,98692	1	100,000	1,01972	10215,5	750,062	29,5300	14,5038
kPa	4,02185	0,00987	0,01000	1	0,01020	102,155	7,50062	0,29530	0,14504
<i>kgf/cm²</i>	394,407	0,96784	0,98066	98,0662	1	10017,9	735,558	28,9590	14,2233
<i>mmH₂O</i> a 20°C	0,03937	0,00010	0,00010	0,00979	0,00010	1	0,07342	0,00289	0,00142
mmHg a 0°C	0,53620	0,00132	0,00133	0,13332	0,00136	13,6195	1	0,03937	0,01934
inHg a 32°F	13,6195	0,03342	0,03386	3,38638	0,03453	345,935	25,4000	1	0,49115
psi	27,7296	0,06805	0,06895	6,89475	0,07031	704,333	51,7149	2,03602	1

Tabela 1 – conversão entre as principais unidades de pressão.

Fonte: Cassiolato (2008)

Exemplo 2

Qual é a pressão em psi correspondente a 120kPa?

Pela regra de 3 simples, temos:

1Kpa ----- 0,14504psi

120Kpa ----- X psi

X = 17,4048 psi

Pressão atmosférica

É a pressão exercida na superfície da Terra em decorrência do peso dos gases da atmosfera terrestre. Ao nível do mar seu valor é de aproximadamente 760 mmHg (ou 14,7 psi ou 101,36 kPa), e vai diminuindo o seu valor à medida que se afasta do nível do mar. Por exemplo, a 1520 m do nível do mar o valor da pressão reduz para aproximadamente 631 mmHg (ou 12,2 psi ou 84,11 kPa).

Pressão relativa positiva ou manométrica

É a pressão medida em relação à pressão atmosférica (tomada como pressão de referência) e é normalmente expressa em psig ou kPa(g).

Observação

Ao se exprimir o valor de uma pressão, deve-se determinar se ela é relativa ou absoluta.

Exemplo:

3 Kgf/cm² a = 42,6 psia = 294,2kPa(a) à Pressão Absoluta

4 Kgf/cm² g = 56,8 psig = 392,2 kPa(g) à Pressão Relativa ou manométrica (Gauge)

O fato de se omitir essa informação na indústria significa que a maior parte dos instrumentos mede pressão relativa.

Pressão absoluta

É a soma da pressão relativa e atmosférica, também se diz que é medida a partir do vácuo absoluto. É normalmente expressa em psia ou kPa(a).

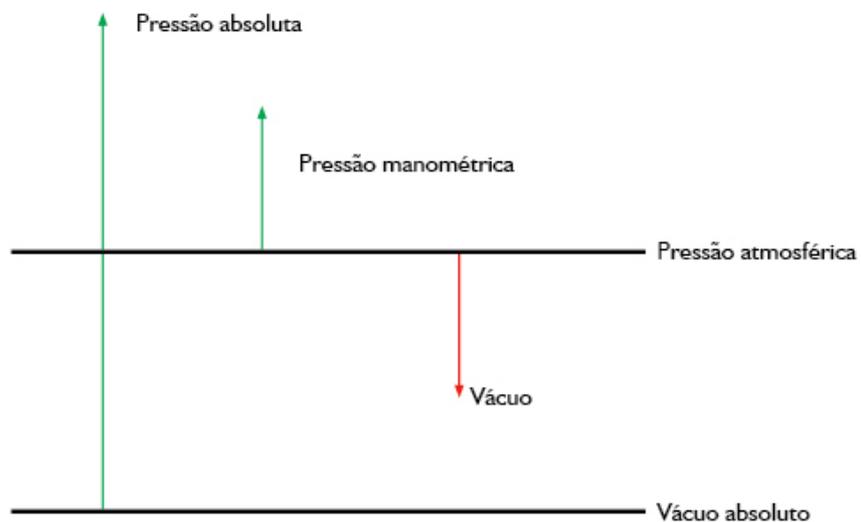
Pressão relativa negativa ou vácuo

É uma medida de pressão feita entre o vácuo total e a pressão atmosférica, ou seja, é a pressão de um fluido abaixo da pressão atmosférica. Pressões cujos valores são inferiores à pressão atmosférica são muitas vezes referidos como indicadores negativos.

Diagrama comparativo das escalas

A Figura 2 mostra graficamente a relação entre as pressões atmosférica, absoluta, manométrica e o vácuo.

Figura 02 - Relação entre os tipos de pressão.



Fonte: Pessa (2004).

Exemplo 3

Sabendo-se que a pressão atmosférica é 14,7 psi (760 mmHg), qual é o valor da pressão absoluta se um indicador de pressão ler 70,92 kPa?

Considerando 1psi = 6,89 kPa, temos:

$$\text{PressãoAbsoluta} = 14,7 \text{ psi} + 10,28 \text{ psi} = 24,98 \text{ psi}$$

A pressão pode também ser representada expressa como a somatória da pressão estática e pressão dinâmica, resultando no que se conhece como pressão total.

Pressão estática

É a pressão dos fluidos (gases ou líquidos) que estão em repouso ou que estejam fluindo perpendicularmente à tomada de pressão. A Figura 3 ajuda a visualizar o que seria a pressão estática. O ponto "B" na figura representa a pressão estática embora o fluido que passa acima esteja em movimento.

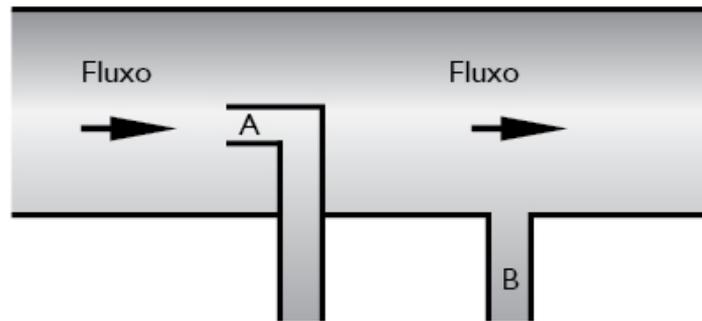
Pressão dinâmica

É a pressão exercida devido à velocidade de escoamento de um fluido (gás ou líquido) quando ele colide com um objeto ou superfície. Na Figura 3, a pressão dinâmica é o valor da pressão no ponto "A" menos a pressão no ponto "B".

Pressão total

É a pressão resultante da somatória das pressões estáticas e dinâmicas exercida em uma superfície por um fluido em movimento. Na Figura 3, o ponto "A" representa a pressão total.

Figura 03 - Ilustração das pressões estáticas, dinâmicas e total.



Fonte: Autoria Própria.

Atividade 01

1. Enuncie o Princípio de Pascal e cite dois exemplos de aplicação deste no cotidiano.

Clique [aqui](#), para ver as respostas

Respostas

1. O aumento da pressão exercida em um líquido em equilíbrio é transmitido integralmente a todos os pontos do líquido bem como às paredes do recipiente em que ele está contido.

Exemplos do uso cotidiano: Prensa hidráulica e freios veiculares

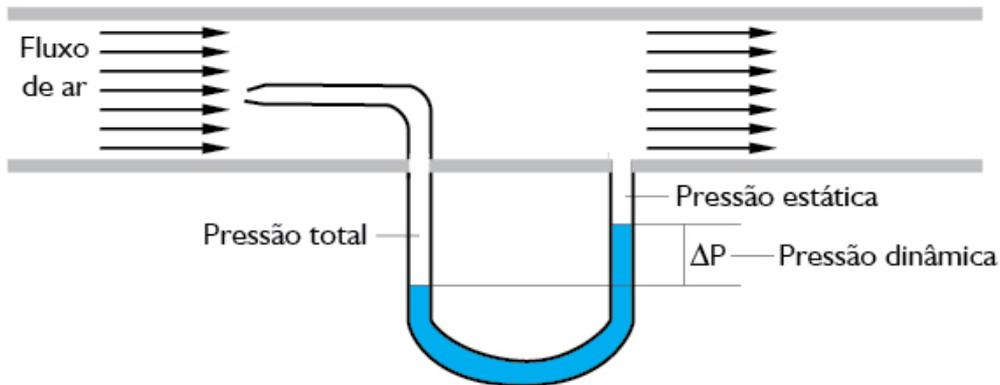
Medição de vazão através do Tubo de Pitot

O Tubo de Pitot (Figura 4) é um dispositivo utilizado para a medição de vazão através da velocidade detectada em um determinado ponto da tubulação. Esse tubo consiste em uma abertura em sua extremidade, sendo esta colocada na direção do fluxo de um fluido em um duto, mas em sentido contrário. A diferença entre a pressão total e a pressão estática da linha nos fornecerá a pressão dinâmica a qual é proporcional ao quadrado da velocidade.

Aplicações bastante comuns do tubo de Pitot ocorrem na aviação, onde a partir dele é determinada a velocidade da aeronave, e na medição de vazão de fluidos em processos industriais. Normalmente, na medição de vazão de fluidos, o tubo de Pitot é acoplado a um

transmissor diferencial de pressão que fornecerá um sinal (referente à diferença de pressão) a partir do qual se calcula a vazão.

Figura 04 - Tubo de Pitot.



Fonte: Autoria Própria.

A seguir estão dois links para vídeos detalhando o princípio de funcionamento do tubo de Pitot. O primeiro refere-se à aplicação desse dispositivo na aviação e o segundo na indústria.

Tubo de Pitot - Sensor de Velocidade

Fonte: <https://www.youtube.com/watch?v=VHwAa3GPcCQ>

The Differential Pressure Flow Measuring Principle

Fonte: https://www.youtube.com/watch?v=D6sbzkYq3_c

Dispositivos para medição de pressão

O instrumento mais simples para medição de pressão é o manômetro, que pode ter diversos elementos sensíveis. Aqui, classificaremos os manômetros de acordo com esses elementos sensíveis.

Medidores por coluna líquida

Os manômetros baseados em coluna de líquido medem a pressão desconhecida através do equilíbrio da força gravitacional do líquido com a pressão ao qual ele está sujeito, ou seja, quando se aplica uma pressão na coluna o líquido é deslocado, sendo este deslocamento proporcional à pressão aplicada. Esses manômetros são formados basicamente por duas partes: a base e o tubo que contém o líquido. Normalmente, a base é feita de latão, aço, alumínio ou aço

inoxidável, e os tubos são feitos de vidro. As leituras das pressões são feitas através de escalas graduadas demarcadas na base que podem fornecer a pressão em mmH₂O (quando o líquido for a água + corante), mmHg (quando o líquido for mercúrio) e até em kN/m² (kPa). As colunas podem ser basicamente de três tipos: coluna em forma de U, reta vertical e reta inclinada.

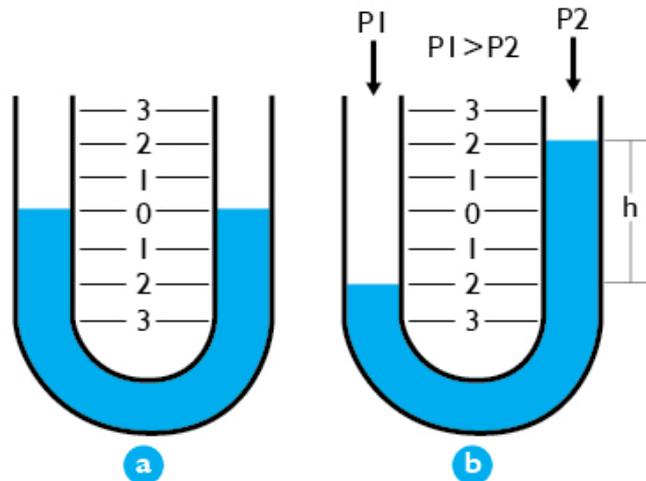
Manômetro de tubo em "U"

Quando a pressão é igual em ambos os lados, o nível de líquido corresponderá ao ponto zero na escala graduada (Figura 5(a)). Quando a pressão é aplicada em um dos lados do tubo, sendo esta pressão maior que a aplicada no outro lado do tubo, o líquido se eleva no lado de menor pressão (Figura 5(b)), de modo que essa diferença na altura das duas colunas de líquido compensa a diferença de pressão. Essa diferença de pressão é dada por:

$$P_1 - P_2 = \gamma_m \times h$$

Onde h é a altura do líquido manométrico (em metros), γ_m é o peso específico do líquido manométrico (em $\frac{N}{m^3}$) e P (em $\frac{N}{m^2}$), todas as unidades no SI (sistema internacional de unidades).

Figura 05 - (a) Manômetro de tubo em U sem aplicação de pressão; (b) Manômetro de tubo em U com diferencial de pressão.



Fonte: Autoria Própria.

Manômetro de coluna reta vertical

Neste tipo de manômetro, um dos lados do tubo em U é substituído por um tubo de diâmetro muito maior, como pode ser visto na Figura 6, e o diferencial de pressão é indicado apenas pela altura da coluna de menor diâmetro. Enquanto não ocorrer um diferencial de

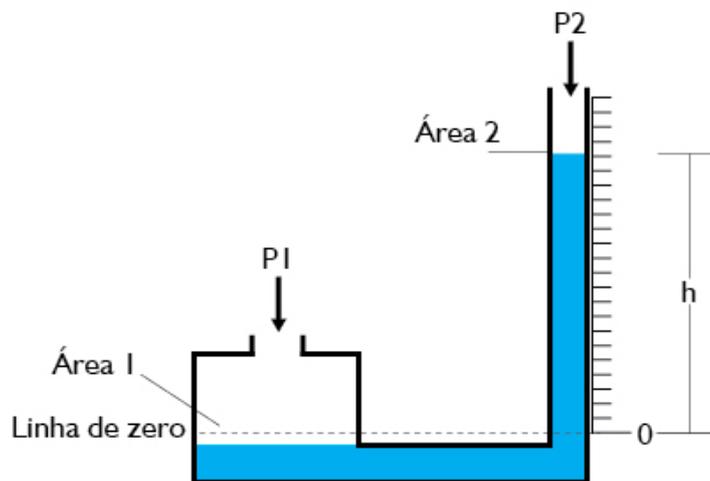
pressão o nível do líquido permanecerá na mesma altura (nível zero). Entretanto, um aumento na pressão no lado de maior diâmetro acarretará em uma elevação acentuada do líquido no lado de diâmetro menor. Essa pressão, aplicada ao lado mais largo, deve ser equilibrada pela quantidade de líquido que se elevou no lado mais estreito. São indicados para medir baixas pressões utilizando líquidos de baixa densidade. O diferencial de pressão pode ser lido diretamente na escala ou então calcula através da equação:

$$P_1 - P_2 = \left(1 + \frac{A_2}{A_1}\right) \times \gamma_m \times h$$

onde, A_1 é a área do lado de maior diâmetro.

A_2 é a área do lado de menor diâmetro.

Figura 06 - Manômetro de coluna reta vertical.

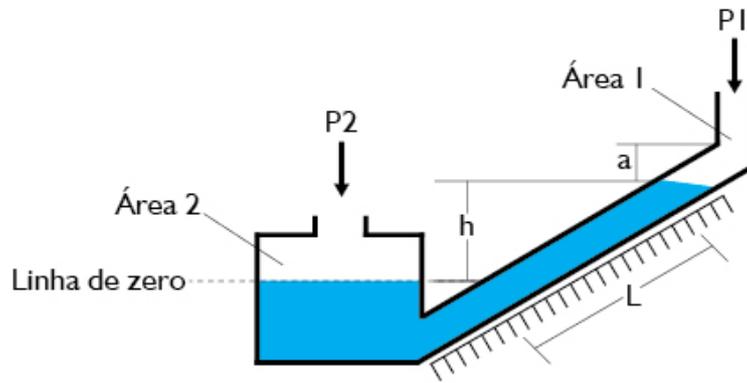


Fonte: Autoria Própria.

Manômetro de coluna reta inclinada

Indicado para baixas pressões e devido à inclinação em um dos lados, esse manômetro possibilita a leitura de diferenciais de pressão pequenos de forma mais precisa. Ou seja, como o líquido tem que percorrer uma distância maior em relação ao tubo vertical para uma mesma pressão, essa inclinação produz uma ampliação na escala. A Figura 7 ilustra um manômetro de coluna reta inclinada.

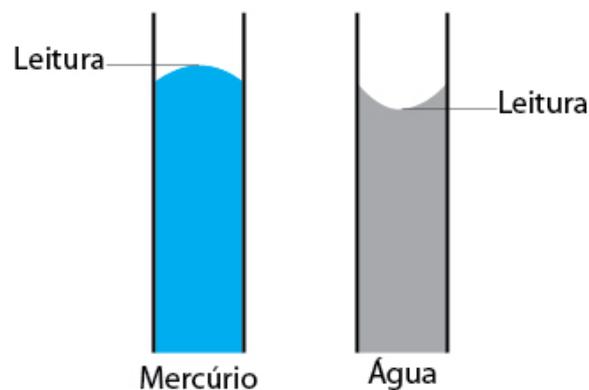
Figura 07 - Manômetro de coluna reta inclinada.



Fonte: Autoria Própria.

Nos medidores que utilizam colunas de líquido claro, o efeito da tensão superficial dos líquidos é consequência da força de coesão do líquido e adesão entre as moléculas do líquido e do vidro. A esse efeito dá-se o nome de "menisco", Figura 8. Como os líquidos mais utilizados são mercúrio e água para os manômetros de líquidos, eles apresentam diferentes formas de menisco. Para o mercúrio, a leitura é feita na parte de cima do menisco, no entanto, para a água, na parte de baixo. Vale salientar que a tensão superficial dentro do tubo não tem relação com a pressão, precisando, portanto, de compensação.

Figura 08 - Evidência do menisco.



Fonte: Autoria Própria.

Medidores por elementos elásticos

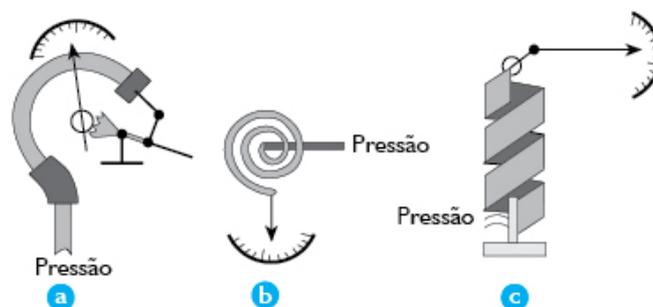
Os elementos elásticos são aqueles que quando sujeitos a determinados níveis de pressão têm sua estrutura deformada. Essa deformação pode ser medida por meios mecânicos ou elétricos e o resultado dessa medição dá uma indicação do valor da pressão. Esses dispositivos

são de fácil manuseio e podem cobrir uma vasta gama de pressões, dependendo do modelo dos elementos elásticos. Os principais elementos elásticos são basicamente de 3 tipos: tubo de Bourdon, fole e diafragma.

Tubo de Bourdon

É um tubo fechado em uma das extremidades, que permanece livre (não é fixada) e sua seção transversal tem um formato elíptico. Esse tubo é retorcido ou enrolado de maneira que assuma uma das três formas definidas para esse tipo de medidor de pressão: tubo tipo C, tipo espiral e tipo helicoidal, (ver Figura 9). Tubos com essas características têm a propriedade de alterar a sua forma com a variação da pressão interna. A outra extremidade do tubo permanece aberta, pois é por onde o fluido entrará. Quando o fluido, cuja pressão a ser medida, entra no tubo a pressão interna desse tubo se eleva de maneira que a sua seção transversal interna começa a tomar um formato mais circular e sua estrutura curvada (enrolada) tende a se "esticar". Um exemplo claro do comportamento do tubo de Bourdon é visto naqueles apitos de criança conhecido como "língua de sogra", o fenômeno que ocorre é o mesmo. O resultado dessas distorções que ocorre no tubo é o movimento da extremidade livre (e fechada), que é amplificado por meio de acoplamentos mecânicos. E esse movimento amplificado da extremidade livre é utilizado para movimentar um cursor sobre uma escala calibrada em unidades de pressão.

Figura 09 - Tubo de Bourdon. (a) tipo C, (b) tipo espiral e (c) tipo helicoidal.



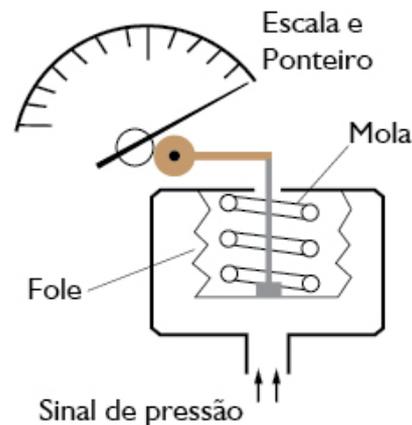
Fonte: <http://www.tecnoficio.com/docs/doc57.php>. Acesso em: 15 jul. 2013

Fole

Trata-se de um tubo metálico de parede fina, constituído por uma série de partes circulares de forma que as paredes laterais apresentem curvas aprofundadas, em outras palavras, trata-se de um cilindro metálico sanfonado (ver Figura 10). Essas peças são formadas ou unidas de maneira que são axialmente expandidas ou contraídas por alterações na pressão. Ou seja, quando a pressão é aplicada ao fole, este se alonga em decorrência do alongamento das curvas aprofundadas. Portanto, os metais utilizados na construção do fole devem ser finos o suficiente

para ser flexível, maleável para facilitar a sua fabricação e apresentar uma alta resistência à ruptura por fadiga. Normalmente, os materiais utilizados na construção dos foles são: latão, bronze, berílio, ligas de níquel e cobre etc. Os medidores de pressão que utilizam o fole como elemento sensor são uteis para medidas de baixa, média e alta pressão e podem ser utilizados para medições de pressão absoluta, manométrica e diferencial.

Figura 10 - Medidor de pressão tipo fole.



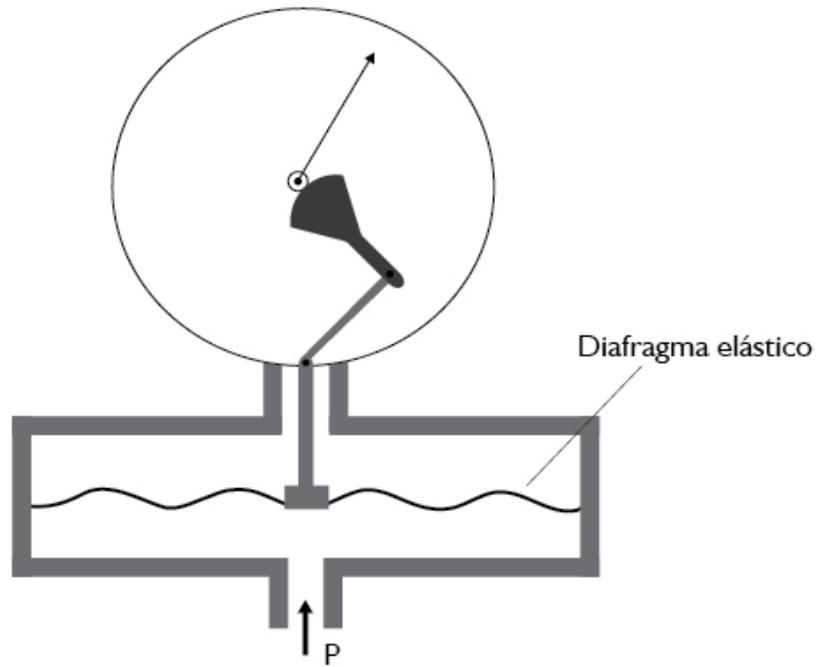
Fonte: <http://www.fem.unicamp.br/~instrumentacao/pressao/fole01.html>. Acesso em: 125 dez. 2012

Diafragma

É um disco circular de metal fino e elástico, firmemente fixado em suas extremidades (conferir Figura 11). O seu princípio de operação é parecido com o do fole, em que uma pressão desconhecida é aplicada em um dos lados do diafragma, resultando em um deslocamento do seu centro, diretamente proporcional à pressão aplicada. Esse movimento do diafragma depende, além da pressão, da sua espessura e diâmetro.

O deslocamento do diafragma pode ser transmitido por um braço fixado ao seu centro para uma ligação mecânica, a qual aumenta o deslocamento antes de aplicá-la a um ponteiro do dispositivo indicador. O diafragma pode ser de dois tipos: liso e ondulado (ou corrugado). A vantagem dessa segunda opção é o aumento da sua área efetiva.

Figura 11 - Manômetro utilizando o diafragma.



Fonte: Autoria Própria

O vídeo a seguir apresenta uma animação do funcionamento do tubo de Bourdon tipo C e do fole. O segundo link apresenta um vídeo bem interessante: o processo de fabricação de um manômetro com tubo de Bourdon tipo C.

Instrumentation Basics

Fonte: https://www.youtube.com/watch?v=T_fvIH_Gxg

How Pressure Gauges are Made

Fonte: <https://www.youtube.com/watch?v=lxhNLtP8jpl>

Leitura Complementar

A leitura das páginas sugeridas explana basicamente o que foi visto nesta aula. Ela contempla, de forma breve, a importância do controle de processo e a teoria geral do controle, definindo alguns termos pertinentes a essa área: definição de sensores, atuadores e transmissores, assim como outras terminologias.

Disponível em: <https://sites.google.com/site/automacao0/disciplinas/instr2009/mvp>>. Leitura do tópico 2.1, "Medição de Variáveis de Processo: Pressão".

Resumo: blog com excelente material, partindo desde a apresentação das aulas (slides) até a resolução dos exercícios (slides). Tudo isso disponível para download.

Livro "Instrumentação e Fundamentos de Medidas", volume 2, Alexandre Balbinot e Valner João Brusamarello. Leitura das páginas 250 a 255.

Resumo: apresenta de forma detalhada conceitos sobre medição de pressão, os manômetros baseados em tubos de vidro e os baseados em deformação mecânica.

Resumo

Nesta aula, definimos os conceitos de pressão, como sendo a soma das pressões estática e dinâmica, discutimos os termos e padrões utilizados na medição de pressão, pressão absoluta, manométrica e pressão negativa. Apresentamos as unidades de pressão mais utilizadas no SI e a relação entre elas. Vimos os vários tipos de manômetros, principalmente os baseados em elementos elásticos (fole, tubo de Bourdon e diafragma) e os baseados em coluna de líquido (tubo em U, coluna reta vertical e coluna reta inclinada).

Autoavaliação

Exercícios de simbologia

1. Defina:

- a. Pressão
- b. Pressão estática
- c. Pressão dinâmica

d. Pressão total

2. Qual o instrumento mais simples para medir pressão?
3. Cite os três medidores baseados em coluna de líquido.
4. Quantos e quais são os medidores de pressão baseados em elementos elásticos?
5. Considere a coluna de líquido tipo U a seguir e calcule:

$$\begin{aligned} P_1 &= ? \text{ psi} \\ P_2 &= 140 \text{ mmHg} \\ \rho &= 13,6 \text{ g/cm}^3 \text{ (Massa} \\ &\text{específica do Hg)} \\ h &= 12 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_1 &= 200 \text{ mmHg} \\ P_2 &= ? \text{ kgf/cm}^2 \\ \rho &= 1,0 \text{ g/cm}^3 \text{ (Massa} \\ &\text{específica do } H_2O) \\ h &= 15 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_1 &= -200 \text{ mmHg} \\ P_2 &= ? \text{ (psia)} \\ \rho &= 1,0 \text{ g/cm}^3 \text{ (Massa} \\ &\text{específica do } H_2O) \\ h &= 15" \end{aligned}$$



6. Converta utilizando a tabela:

- a. 2,8 kgf/cm^2 em mmHg
- b. 22 psi em kgf/cm^2
- c. 1,5 kgf/cm^2 em kPa
- d. 4220 Pa em bar
- e. 675,5 mmHg em psi
- f. 14,22 psi em mmH_2O
- g. 12 kgf/cm^2 em mmH_2O

7. Determine o valor das seguintes pressões na escala absoluta, utilizando a tabela:

- a. 1.420 mmHg
- b. 1.070 kPa
- c. 12 psig
- d. - 370 mmHg
- e. 2,75 kgf/cm^2
- f. - 700 mmHg
- g. - 690 mmHg

8. Determine o valor das pressões na escala relativa em mmHg, utilizando a tabela:

- a. 1.230 mmHg (Abs)
- b. 0,79 kgf/cm^2 (Abs.)

c. 44,2 psia

d. 8 psia

Clique [aqui](#), para ver as respostas

Respostas

1.
 - a. Pressão é a grandeza física utilizada para medir a força exercida de forma perpendicular sobre a área de uma superfície.
 - b. Pressão estática é a pressão dos fluidos (gases ou líquidos) que estão em repouso ou que estejam fluindo perpendicularmente à tomada de pressão.
 - c. Pressão dinâmica é a pressão exercida devido à velocidade de escoamento de um fluido (gás ou líquido) quando ele colide com um objeto ou superfície.
 - d. Pressão total é a pressão resultante da somatória das pressões estáticas e dinâmicas exercida em uma superfície por um fluido em movimento.
2. O instrumento mais simples para medição de pressão é o manômetro.
3. As colunas podem ser basicamente de três tipos: Manômetro de tubo em U, Manômetro de coluna reta vertical e Manômetro de coluna reta inclinada.
4. Os principais elementos elásticos são basicamente de 3 tipos: tubo de Bourdon, fole e diafragma.

5.
 - a. $P_1 = ?$ (psi)

$$P_2 = 140 \text{ mmHg}$$

$$\rho = 13,6 \text{ g/cm}^3 \text{ (Massa específica do Hg)}$$

$$h = 12 \text{ mm}$$

Convertendo todas as variáveis para o sistema internacional

$$P_2 = 18,67 \text{ kPa ou } 18670 \text{ Pa ou } 18670 \text{ N/m}^2$$

$$\gamma = \rho \times g = 13600 \text{ kg/m}^3 \times 10 \text{ m/s}^2 = 136000 \text{ N/m}^3$$

$$h = 0,012 \text{ m}$$

$$P_1 = P_2 + \gamma \times h$$

$$P_1 = 18670 + 136000 \times 0,012$$

$$P_1 = 18670 + 1632 = 20302N/m^2 \text{ ou } 20,302 \text{ kPa ou } 2,95 \text{ psi}$$

(aproximadamente)

b. $P_1 = 200 \text{ mmHg}$

$$P_2 = ? (\text{kgf}/\text{cm}^2)$$

$$\rho = 1,0 \text{ g}/\text{cm}^3 \text{ (Massa específica do } H_2O)$$

$$h = 15 \text{ mm}$$

Convertendo todas as variáveis para o sistema internacional

$$P_1 = 26,67 \text{ kPa ou } 26670 \text{ N}/m^2$$

$$\gamma = \rho \times g = 1000\text{kg}/m^3 \times 10\text{m}/s^2 = 10000\text{N}/m^3$$

$$h = 0,015 \text{ m}$$

$$P_2 = P_1 - \gamma \times h$$

$$P_2 = 26670 - 10000 \times 0,015$$

$$P_2 = 26670 - 150 = 26520\text{N}/m^2 \quad \text{ou} \quad 0,27\text{kgf}/\text{cm}^2$$

(aproximadamente)

c. $P_1 = -200 \text{ mmHg}$

$$P_2 = ? (\text{psia})$$

$$\rho = 1,0 \text{ g}/\text{cm}^3 \text{ (Massa específica do } H_2O)$$

$$h = 15''$$

Convertendo todas as variáveis para o sistema internacional

$$P_1 = -26,67\text{kPa} \text{ ou } -26670\text{N}/m^2$$

$$\gamma = \rho \times g = 1000\text{kg}/m^3 \times 10\text{m}/s^2 = 10000\text{N}/m^3$$

$$h = 0,381\text{m}$$

$$P_2 = P_1 - \gamma \times h$$

$$P_2 = -26670 - 10000 \times 0,381$$

$$P_2 = -26670 - 3810 = -30480 \text{ N/m}^2 \quad \text{ou} \quad -4,42 \text{ psi}$$

(aproximadamente)

Sabendo-se que a pressão atmosférica é de 14,7 psi

$$P_2(\text{psia}) = 14,7 - 4,42 = 10,28 \text{ psia}$$

6. a. 2059,56 mmHg

b. 1,55 kgf/cm^2

c. 147,1 kPa

d. 0,0422 bar

e. 13,06 psi

f. 10015,62 mmH_2O

g. 120214,8 mmH_2O

7. A pressão atmosférica é igual a 14,7 psi ou 760 mmHg

a. 1.420 mmHg + 760 mmHg = 2180 mmHg (absoluta)

b. 1.070 kPa + 101,36 = 1171,36 kPa (absoluta)

c. 12 psig + 14,7 psi = 26,7 psia

d. - 370 mmHg + 760 mmHg = 390 mmHg (absoluta)

e. 2,75 kgf/cm^2 + 1,03 kgf/cm^2 = 3,78 kgf/cm^2 (absoluta)

f. - 700 mmHg + 760 mmHg = 60 mmHg (absoluta)

g. - 690 mmHg + 760 mmHg = 70 mmHg (absoluta)

8. • 1.230 mmHg (Abs.) - 760 mmHg = 470 mmHg

• 0,79 kgf/cm^2 (Abs.) = 581,10 mmHg - 760 mmHg = -179 mmHg

• 44,2 psia - 14,7 psi = 29,5 psi = 1525.59 mmHg

• 8 psia - 14,7 psi = -6,7 psi = -346.49 mmHg

Referências

CASSIOLATO, C. **Medição de pressão: tudo o que você precisa conhecer**. [S.l.]: Smar Equipamentos Industriais, 2008. p. 2-6.

CONTROLE E AUTOMAÇÃO: blog. **Fundamentos da instrumentação**. Disponível em: <<https://sites.google.com/site/automacao0/disciplinas/instr2009/fi>>. Acesso em: 12 jan. 2013.

DUNN, W. C. **Introduction to instrumentation, sensors, and process control**. Norwood: Artech House, 2006. p. 99-114.

McMILLAN, G. K. **Process/industrial instruments and controls handbook**. New York: McGraw-Hill, 1999. p. 4.48 a 4.54.

PESSA, R. **Instrumentação básica para controle de processo**: manual de treinamento. [S.l.]: Centro de treinamento SMAR, 2004. p. 3.1 a 3.7.