

Sistema de Controle Automático e Instrumentação

1

Medição de Pressão

Profª Ninoska Bojorge

Departamento de Engenharia Química e de Petróleo – UFF

Profª Ninoska Bojorge - TEQ-UFF

Na aula anterior: Medição de Temperatura

2

- **Bimetal:** indicador de temperatura mecânico com a diferença de dilatação coeficientes de dois metais, muito barato, amplamente utilizado.
- **Termistors:** dispositivos feitos de óxido de metais: aumento da resistência (Ω) com o aumento da temperatura (um coeficiente de temperatura positivo) ou diminuição da resistência com o aumento da temperatura (um coeficiente de temperatura negativo).
- **RTD** (detector de temperatura de resistência): metal puro, cuja resistência ($m\Omega$) depende da temperatura:
 - + mais exatos, robusto, alta gama de temperatura ($-180^{\circ}\text{C} \dots 600^{\circ}\text{C}$), mais lineais
 - requer fonte de corrente, sobreaquecimento, caro
- **Termopar:**
par de fios metálicos diferentes que geram uma tensão proporcional à ΔT entre a junção quente e frio (Efeito Seebeck)
 - + precisão, alta temperatura, medição pontual
 - baixa tensão, requer compensação da junção fria , alta amplificação
- **Espectrofotométrico:**
medidas da radiação infravermelha por semicondutores fotossensível
 - + alta temperatura, sem contato direto nas superfícies medidas,
 - maior preço

Profª Ninoska Bojorge - TEQ-UFF

Sumário

3

- Definição de Pressão
- Principais Tipos de Medidores
 - Manômetros
 - Manômetros de Líquidos
 - ✦ Manômetro de Líquido Tipo Coluna em “U”
 - ✦ Manômetro de Líquido Tipo Coluna Reta Vertical
 - ✦ Manômetro de Líquido Tipo Coluna Inclinada
 - Manômetro do Tipo elástico
 - ✦ Manômetro Elástico do Tipo Tubo Bourdon
 - ✦ Manômetro do Tipo Membrana ou Diafragma
 - ✦ Manômetro do Tipo Fole
 - Sensores usados para medir Pressão
 - Tipo Capacitivo
 - Tipo Strain Gauge
 - Tipo Sensor Piezoelétrico
 - Exemplo de Aplicações Típicas

Definição de Pressão

4

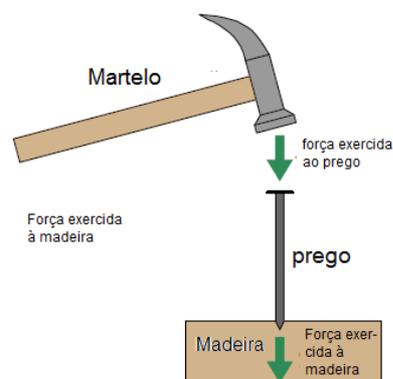
- **Pressão** pode ser definida como sendo a relação entre uma força aplicada perpendicularmente ($\angle 90^\circ$) à uma área e é expressa pela seguinte equação:

$$P = \frac{F}{A}$$

P = pressão

F = força

A = área



- A pressão pode ser também expressa como a somatória da Pressão Estática e Pressão Dinâmica e assim chamada de Pressão Total.

Definição de Pressão

5

- **Pressão estática ou de linha:**

É a pressão exercida em um ponto, em fluidos estáticos, que é transmitida integralmente em todas as direções e produz a mesma força em áreas iguais. É a pressão de processo aplicada em ambos as tomadas de um transmissor diferencial.

- **Pressão Dinâmica**

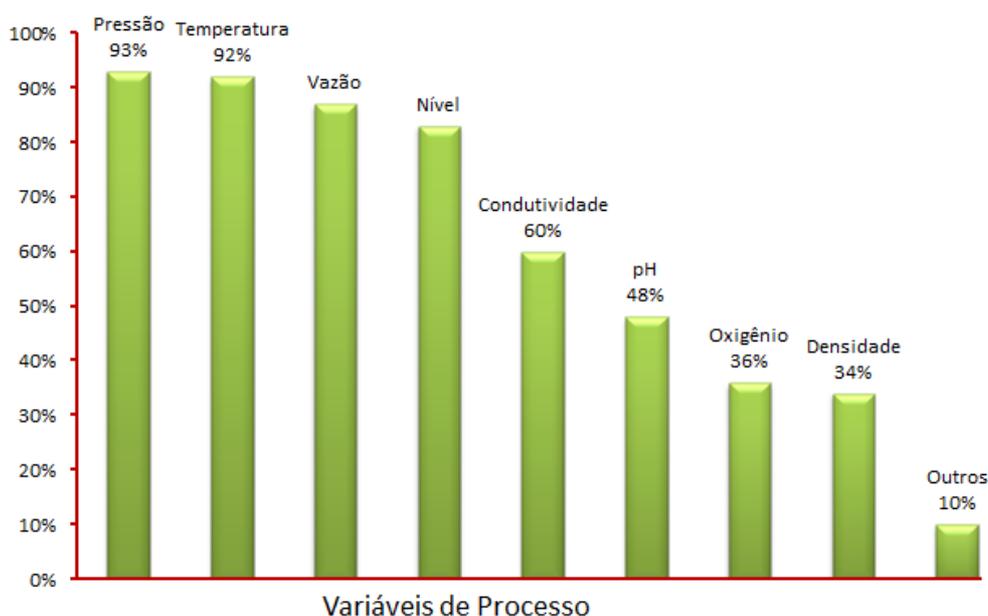
É a pressão exercida por um fluido em movimento paralelo à sua corrente. A pressão dinâmica é representada pela seguinte equação:

$$P_d = 1/2 \cdot \rho \cdot V^2 \quad (\text{N/m}^2)$$

- **Pressão Total**

É a pressão resultante da somatória das pressões estáticas e dinâmicas exercidas por um fluido que se encontra em movimento

- Grandeza mais medida nos processos industriais.



Fonte: Revista *Control Engineering*, 2002

Definição de Pressão

7

- Esses objetivos devem ser considerados na escolha dos equipamentos. Quesitos mais rigorosos de desempenho podem encarecer desnecessariamente o projeto, tais como:
 - Exatidão,
 - Limites de sobre pressão e pressão estática,
 - Estabilidade e outros
- Todos os fabricantes em geral oferecem ao mercado mais de uma versão de transmissores com características técnicas distintas e, obviamente, com preços também distintos.

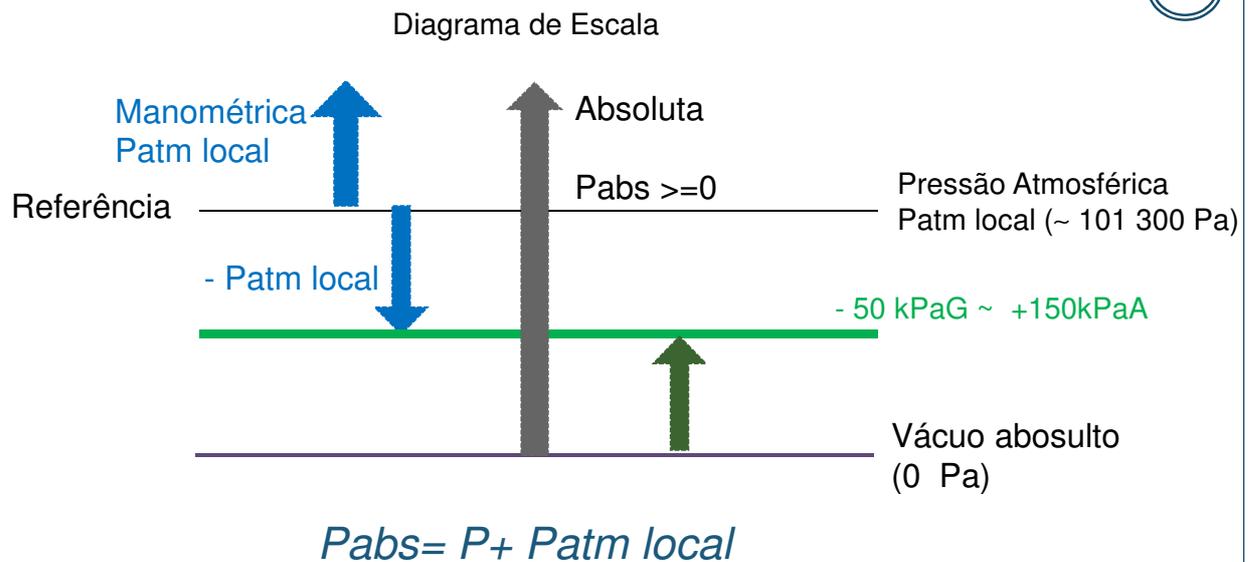
Definição de Pressão

8

- **Pressão Absoluta (PSIA):**
Pressão total exercida em uma dada superfície, incluindo a pressão atmosférica, quando for o caso. A pressão absoluta será sempre positiva ou nula.
- **Pressão Atmosférica:**
Pressão exercida pela atmosfera e que depende da altitude. Este valor diminui com o aumento da altitude e ao nível do mar equivale a 14,696 psia.
- **Pressão Manométrica (Gauge) (PSIG):**
É aquela que é medida em relação à pressão do ambiente ou seja em relação a atmosfera. Ou seja, é a diferença entre a pressão absoluta medida em um ponto qualquer e a pressão atmosférica. É sempre importante registrar na notação que a medição é relativa. Exemplo: 10Kg/cm² Pressão Relativa.
- **Pressão Diferencial (PSID) :**
Pressão tomada em relação a uma referência.

Relação entre Tipos de Pressão Medida

9



Notas:

- Vácuo é o 0 Pa absoluto
- $P_{atm} \cong 1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$ Manométricos

Relação entre Tipos de Pressão Medida

10

O que se pretende medir?

- Pressão manométrica;
- Pressão absoluta;
- Pressão diferencial;
- Outras grandezas inferidas a partir de medições de pressão:
 - Vazão
 - Nível
 - Volume
 - Força
 - Densidade, etc.

Relação entre Tipos de Pressão Medida

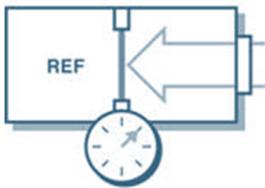
11

- Vale ressaltar que as medições de pressão abaixo da atmosférica não necessariamente requerem transmissores de pressão absoluta.
- Os transmissores de pressão absoluta são recomendados apenas **para evitar as influências das variações da pressão atmosférica**. Essa influência só será crítica quando se mede **pressões muito próximas** (acima ou abaixo) da **pressão atmosférica**. Nos demais casos podem ser usados sem problemas transmissores de pressão manométrica.

Métodos de Medição da Pressão

Medidores de Pressão Absoluta

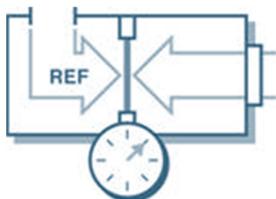
12



Medem a Pressão com **relação ao vácuo perfeito** (0 Pa), ou seja, é a diferença da pressão em um determinado ponto de medição pela pressão do vácuo (zero absoluto).

Normalmente quando se indica esta grandeza usa-se a notação ABS. Ex.: A pressão absoluta que a atmosfera exerce ao nível do mar é de $\cong 760\text{mmHg}$.

Pressão manométrica (Gauge)

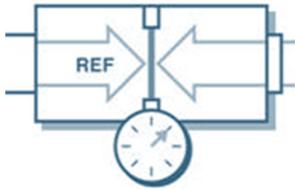


Medidores por métodos de **medição manométrica e diferencial são relativos** a alguma outra pressão dinâmica. No método do manométrico, a referência é a **Patm** do ambiente. Isso significa que tanto a referência como a pressão de interesse são na prática realizada por pressões atmosféricas. **PORTANTO**, medição de pressão manométrica exclui os efeitos da pressão atmosférica. Estes tipos de medidas são fáceis de identificar. Ex.: medidas da pressão dos pneus e da pressão arterial.

Diagramas de medição de pressão para diferentes métodos de medidas

13

Pressão Diferencial



Pressão diferencial é muito similar a pressão manométrica; não obstante, a referência é outra **pressão noutro ponto do sistema** e obtida como a **diferença de pressão medida** entre dois pontos.

Quando qualquer ponto diferente do vácuo ou da atmosfera é tomado como referência diz-se medir pressão diferencial.

Usa-se esse método para manter uma pressão relativa entre dois recipientes, tais como de um tanque e sua linha de alimentação associada, ou a pressão diferencial encontrada numa placa de orifício

Unidades de Pressão

14

- Unidades de Conversão:

	Kgf/cm ²	lbf/pol ²	BAR	Pol Hg	Pol H ₂ O	ATM	mmHg	mmH ₂ O	kpa
Kgf/cm ²	1	14,233	0,9807	28,96	393,83	0,9678	735,58	10003	98,0665
lbf/pol ²	0,0703	1	0,0689	2,036	27,689	0,068	51,71	70329	6,895
BAR	1,0197	14,504	1	29,53	401,6	0,98692	750,06	10200	100
Pol Hg	0,0345	0,4911	0,03386	1	13,599	0,0334	25,399	345,40	3,3863
Pol H ₂ O	0,002537	0,03609	0,00249	0,07348	1	0,002456	1,8665	25,399	0,24884
ATM	1,0332	14,696	1,0133	29,921	406,933	1	760,05	10335	101,325
mmHg	0,00135	0,019337	0,00133	0,03937	0,5354	0,001316	1	13,598	0,13332
mmH ₂ O	0,000099	0,00142	0,00098	0,00289	0,03937	0,00009	0,07353	1	0,0098
Kpa	0,010197	0,14504	0,01	0,29539	4,0158	0,009869	7,50062	101,998	1

Manômetros

São dispositivos utilizados para indicação local de pressão e em geral divididos em duas partes principais:

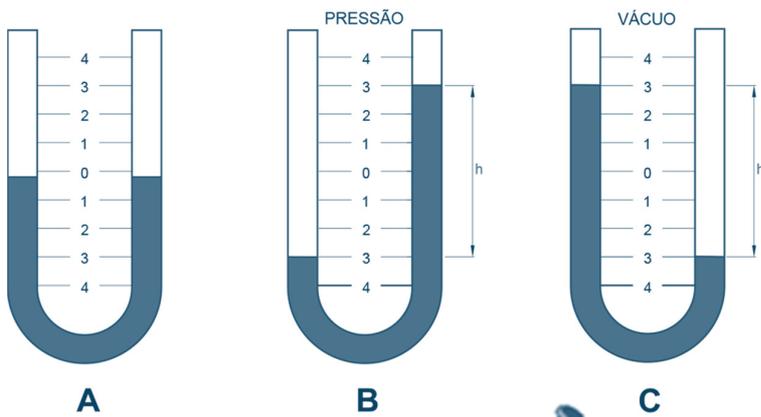
- **Manômetro de Líquidos:** utiliza um líquido como meio para se medir a pressão.
- **Manômetro tipo Elástico:** utiliza a deformação de um elemento elástico como meio para medir a pressão.

Tipo de Manômetro	Elemento de recepção
Manômetro de líquido	Tubo em "U"
	Tubo reto
	Tubo inclinado
Manômetro elástico	Tubo de Bourbon (C, espiral e helicoidal)
	Fole
	Diafragma
	Cápsula

Manômetro de Líquidos

- **Princípio de funcionamento**
- É um instrumento de medição e indicação local da pressão, baseado na equação manométrica.
- De construção simples e de baixo custo. Basicamente é constituído por tubo de vidro com área seccional uniforme, uma escala graduada, um líquido de enchimento e suportados por uma estrutura de sustentação.
- O valor de pressão medida é obtida pela leitura da altura de coluna do líquido deslocado em função da intensidade da referida pressão aplicada.

Manômetro de Líquidos: De Tubo em U



- **Faixa de medição:**
no mercado é de 2 metros
 $P_{máx}$ medida é de
2 mH₂O (água destilada)
2 mHg (mercúrio)

VEJA A FÓRMULA

$$P_1 - P_2 = \rho g h$$

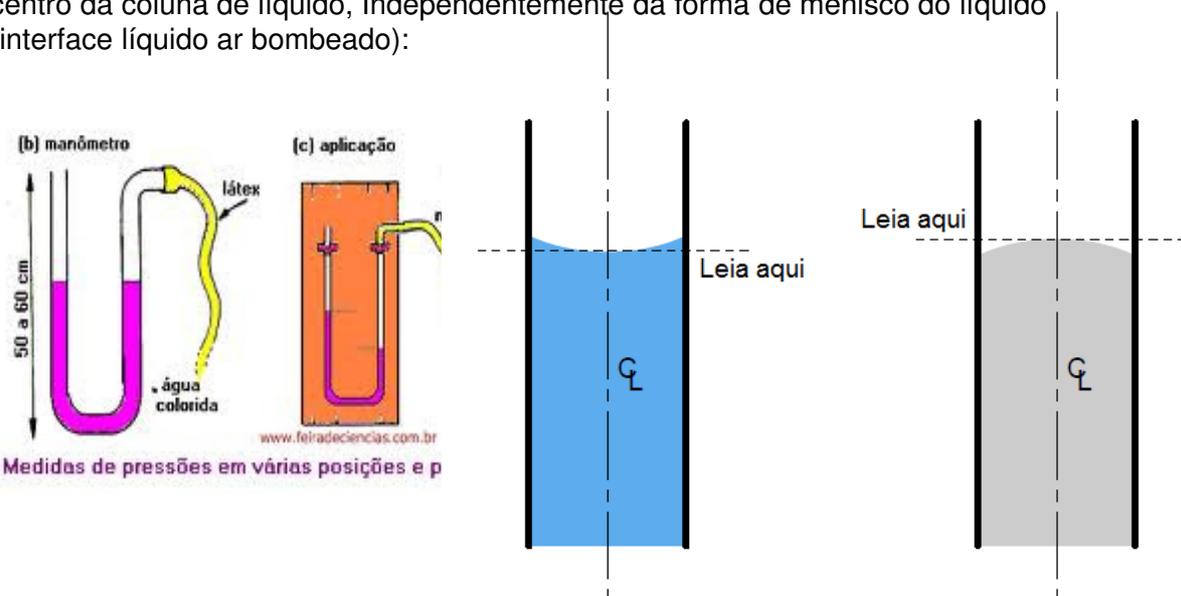
$$\gamma = \rho g$$

- **Líquido de enchimento**
qualquer líquido c/ baixa viscosidade, e não volátil nas condições de medição. (H₂O e Hg)

h= altura da coluna deslocada = valor da pressão medida

Manômetro de Líquidos: De Tubo em U

A altura da coluna de líquido num manômetro deve sempre ser interpretado na linha de centro da coluna de líquido, Independentemente da forma de menisco do líquido (interface líquido ar bombeado):



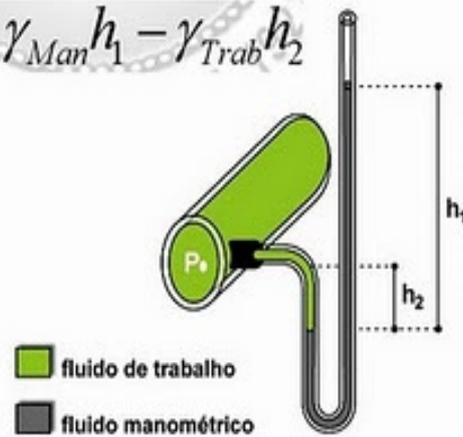
Manômetro de Líquidos: De Tubo em U

19



Manômetro de tubo em "U" com fluido manométrico

$$P_P = \gamma_{Man} h_1 - \gamma_{Trab} h_2$$

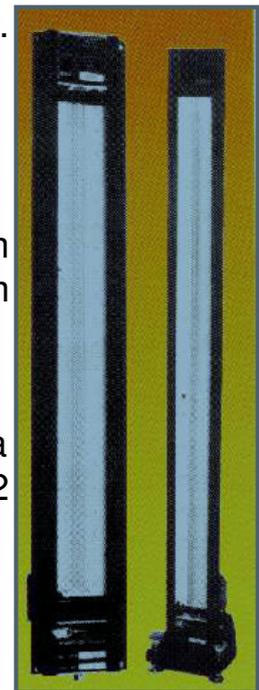


Profª Ninoska Bojorge - TEQ-UFF

Manômetro de Líquidos: De Coluna reta vertical

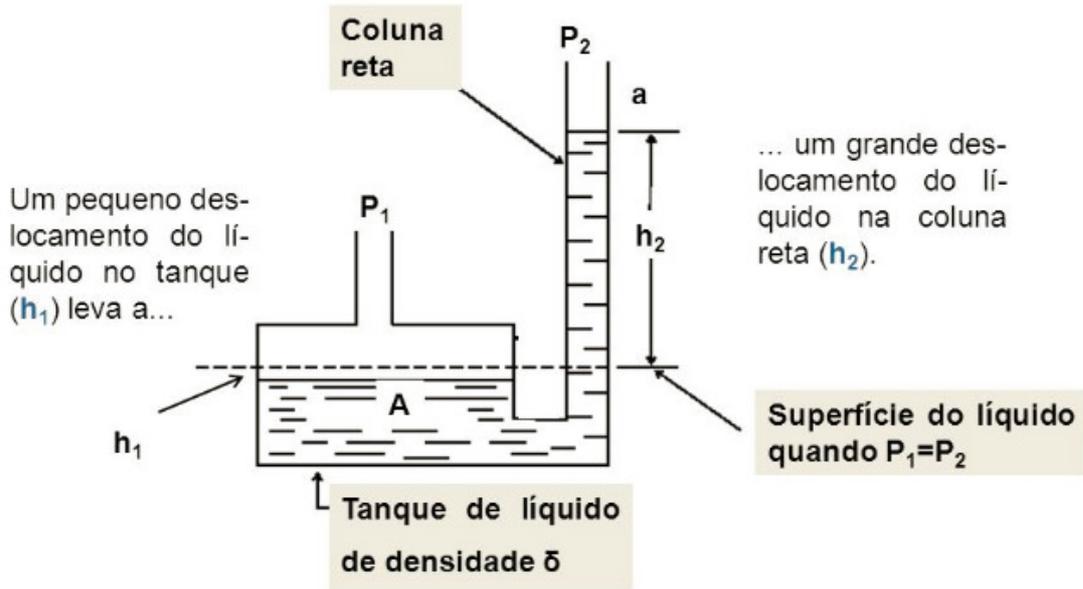
20

- O emprego deste manômetro é idêntico ao do tubo em "U".
- Nesse manômetro as áreas dos ramos da coluna são diferentes, sendo a pressão maior aplicada normalmente no lado da maior área.
- Essa pressão, aplicada no ramo de área maior provoca um pequeno deslocamento do líquido na mesma, fazendo com que o deslocamento no outro ramo seja bem maior, face o volume deslocado ser o mesmo e sua área bem menor.
- Chamando as áreas do ramo reto e do ramo de maior área de "a" e "A" respectivamente e aplicando pressões P1 e P2 em suas extremidades teremos pela equação manométrica:



Profª Ninoska Bojorge - TEQ-UFF

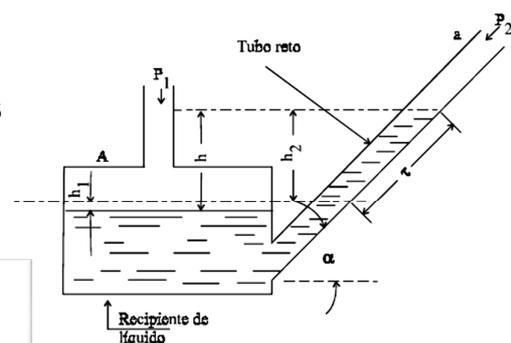
Manômetro de Líquidos: De Coluna Reta Vertical



$$P_1 - P_2 = \delta \cdot h_2 \left(\frac{a}{A} + 1 \right)$$

Manômetro de Líquidos: De Coluna Inclinada

- utilizado para medir baixas pressões de ~ 50 mmH₂O.
- Sua construção é feita inclinando um tubo reto de pequeno diâmetro, de modo a medir com boa precisão pressões em função do deslocamento do líquido dentro do tubo.
- A vantagem adicional é a de expandir a escala de leitura o que é muitas vezes conveniente para medições de pequenas pressões com boa precisão ($\pm 0,02$ mmH₂O).



$$P_1 - P_2 = \delta \cdot l \left(\frac{a}{A} + \text{sen } \alpha \right) \text{ pois } h_2 = l \cdot \text{sen } \alpha$$

Manômetro do Tipo Elástico

23

Baseiam-se na **Lei de Hooke** sobre elasticidade dos materiais. O elemento de recepção de pressão tipo elástico sofre deformação tanto maior quanto a pressão aplicada. Esta deformação é medida por dispositivos mecânicos, elétricos ou eletrônicos.

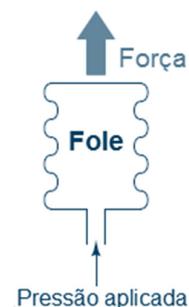
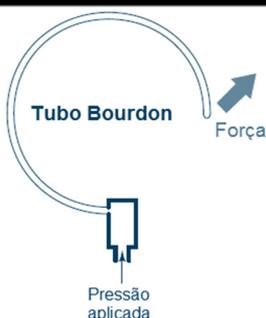
Essa **deformação** provoca um **deslocamento linear** que é convertido de forma **proporcional a um deslocamento angular através de mecanismo específico**. Ao deslocamento angular é anexado um ponteiro que percorre uma escala linear e cuja faixa representa a faixa de medição do elemento de recepção.

Manômetro do Tipo Elástico

24

- Principais elementos de recepção de Manômetros do Tipo Elástico:

ELEMENTO RECEPÇÃO DE PRESSÃO	APLICAÇÃO / RESTRIÇÃO	FAIXA DE PRESSÃO (MÁX)
Tubo de Bourdon	Não apropriado para micropressão	~ 1000 kgf/cm ²
Diafragma	Baixa pressão	~ 3 kgf/cm ²
Fole	Baixa e média pressão	~ 10 kgf/cm ²
Cápsula	Micropressão	~ 300 mmH ₂ O



Manômetro Elástico de Tubos de Bourdon



25

Manômetro do Tipo Elástico Diafragma

26

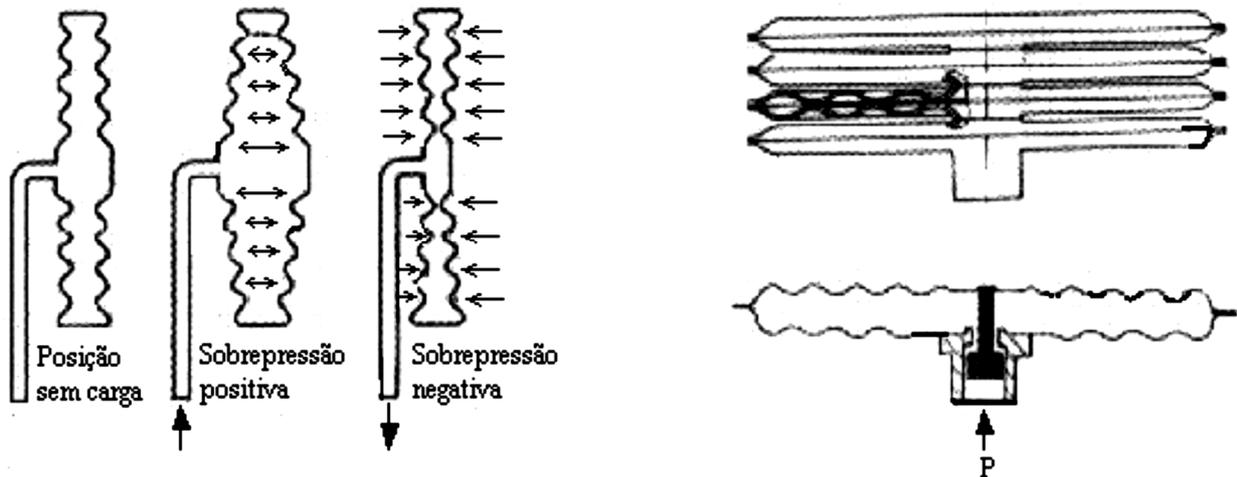
- É constituído por um disco de material elástico (metálico ou não) fixo pela borda.
- Uma haste fixa ao centro do disco está ligada a um mecanismo de indicação.
- Quando uma pressão é aplicada, a membrana se desloca, e esse deslocamento é proporcional à pressão aplicada.



Manômetro do Tipo Elástico Diafragma

27

- Funcionamento:

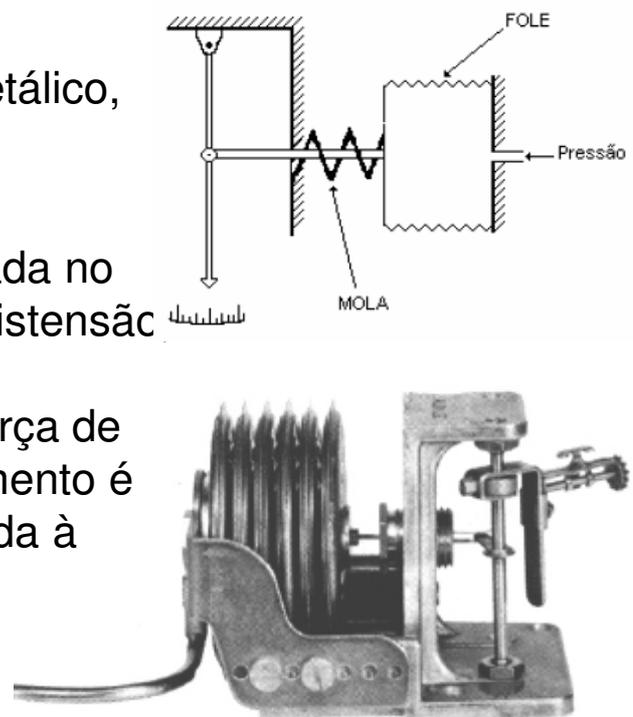


Profª Ninoska Bojorge - TEQ-UFF

Manômetro Elástico do Tipo Fole

28

- Basicamente é um cilindro metálico, corrugado ou sanfonado.
- Quando uma pressão é aplicada no interior do fole, provoca sua distensão e, como ela tem que vencer a flexibilidade do material e a força de oposição da mola, o deslocamento é proporcional à pressão aplicada à parte interna.



Profª Ninoska Bojorge - TEQ-UFF

Manômetro Elástico do Tipo Fole

29



Profª Ninoska Bojorge - TEQ-UFF

Equipamentos Industriais para Medição de Pressão

30

- Na indústria, dentre os diversos equipamentos usados para medir pressão podemos destacar dois deles: o **manômetro** e o **transmissor de pressão**.
- O **manômetro** é usado para leituras **locais da pressão**, possuindo normalmente uma conexão com o processo e um display (quando eletrônico) ou ponteiro (quando mecânico) para que se possa ler a pressão localmente. Normalmente são dispositivos de **baixo custo** e são usados quando a **pressão não precisa ser transmitida para um sistema de controle** e não se precisa exatidão. Por exemplo, pressões estáticas, pressões de bomba, etc. Existem também modelos diferenciais, vacuômetros, sanitários, etc.



Profª Ninoska Bojorge - TEQ-UFF

- Um **transmissor de pressão** combina a tecnologia do sensor mais sua eletrônica.

Outros Sensores Utilizados na Medição de Pressão

Em geral os sensores transmissores da Pressão são classificados conforme a técnica usada na conversão mecânica da pressão em um sinal eletrônico proporcional.

Todas as tecnologias tem um só propósito que é transformar a pressão aplicada em um sensor, em um sinal eletrônico proporcional a mesma. Exemplos:

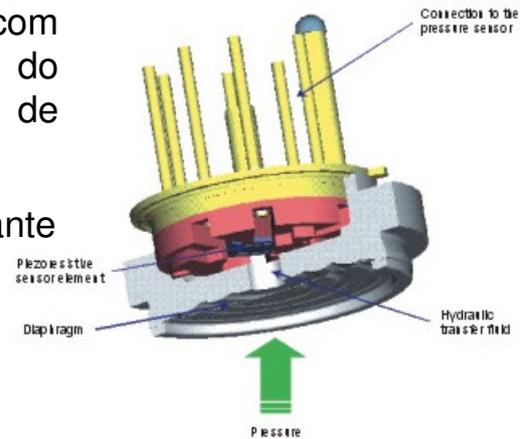
- Piezo-resistivo (Strain Gauge)
- Piezoelétrico
- Capacitância Variável (Capacitivos)
- Ótico
- Outros

Outros Sensores Utilizados na Medição de Pressão

33

1- Piezoresistivo ou Strain Gauge

- A piezoresistividade refere-se à **mudança da resistência elétrica** com a **deformação/contração** como resultado da pressão aplicada.
- Na sua grande maioria são formados por elementos cristalinos (strain gauge) interligados numa ponte (wheatstone) com outros resistores que provém o ajuste do zero, da sensibilidade e compensação de temperatura.
- O material de construção varia de fabricante para fabricante e hoje em dia é comum sensores de estado sólido.



Outros Sensores Utilizados na Medição de Pressão

34

1- Piezoresistivo ou Strain Gauge

VANTAGENS

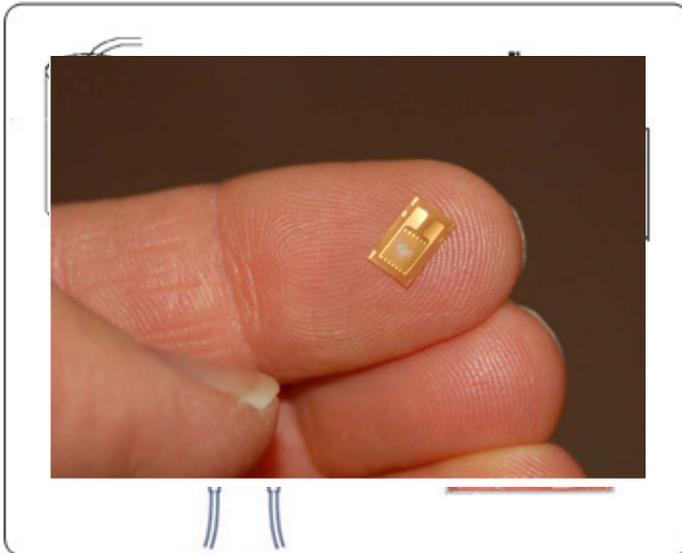
- A grande vantagem é que já produz um sinal eletrônico num nível maior, porém à altas temperaturas são totalmente vulneráveis, pois a temperatura afeta o material adesivo utilizado ao colar o silício ao diafragma.

DESVANTAGENS

- Faixa limitante de temperatura de operação,
- Aplicável em faixas baixas de pressão por gerarem um sinal muito baixo de excitação,
- Muito instável.

Outros Sensores Utilizados na Medição de Pressão

1- Piezoresistivo ou Strain Gauge



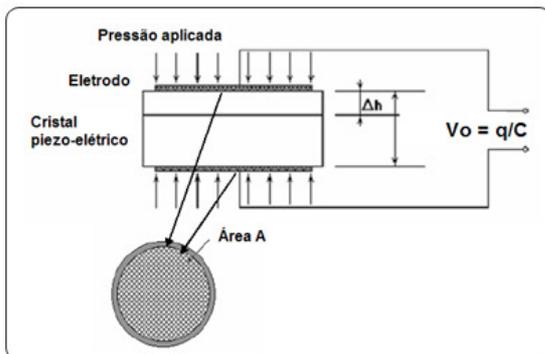
Sensor Piezo-Resistivo



Outros Sensores Utilizados na Medição de Pressão

2 – Piezoelétrico

Um sensor piezoeletrico, usa o efeito piezoeletrico (Pierre e Jacques Curie em 1880). O material piezoeletrico é um cristal que produz uma **tensão diferencial proporcional a pressão (aceleração ou força)** a ele aplicada em suas faces: quartzo, sal de Rochelle, titânio de bário, turmalina, etc.



$$q = Sq \cdot A \cdot p$$

P - pressão aplicada,
 A - área do eletrodo,
 Sq - sensibilidade,
 q - carga elétrica

C - capacidade do cristal,
 Vo - tensão de saída

Outros Sensores Utilizados na Medição de Pressão

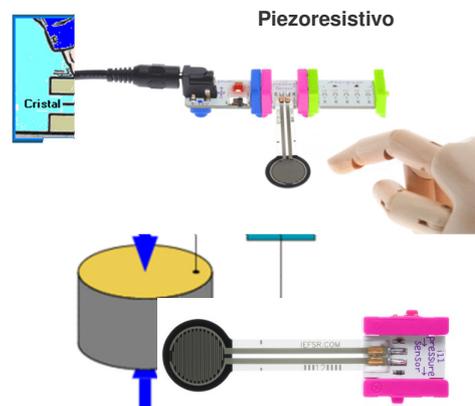
37

2 – Piezoelétrico

Este material acumula cargas elétricas em certas áreas de sua estrutura cristalina, quando sofrem uma deformação física, por ação de uma pressão.



Sensor piezoelétrico



Outros Sensores Utilizados na Medição de Pressão

38

2 - Piezoelétrico

$$q = S q \cdot A \cdot p$$

P - pressão aplicada,
 A - área do eletrodo,
 Sq - sensibilidade,
 q - carga elétrica

VANTAGEM

- Rápida resposta.
- A relação entre a carga elétrica e a pressão aplicada ao cristal é praticamente linear:

DESVANTAGEM

- Requer um circuito de alta impedância e um amplificador de alto ganho, sendo susceptível a ruídos.
- Devido à natureza dinâmica, não permite a medição de pressão em estado sólido.

Outros Sensores Utilizados na Medição de Pressão

39

3 – Ressonantes

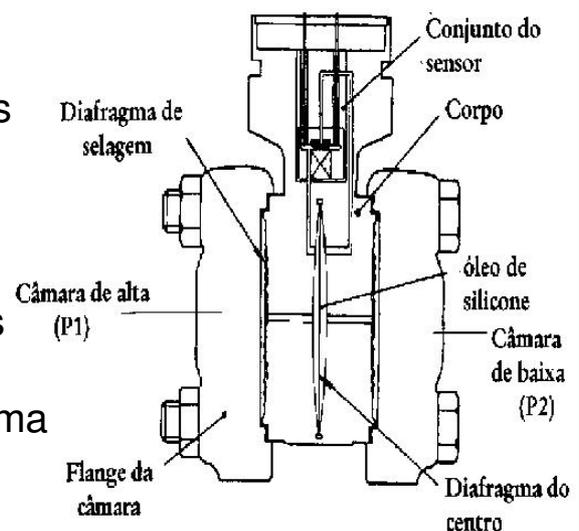
- Possuem em geral o princípio da tecnologia que é conhecida como “vibrating wire”.
- Consiste de uma cápsula de silício colocada estrategicamente em um diafragma, utilizando-se do ΔP para vibrar em maior ou menor intensidade, afim de que essa frequência seja proporcional a pressão aplicada.

Outros Sensores Utilizados na Medição de Pressão

40

3 – Ressonantes

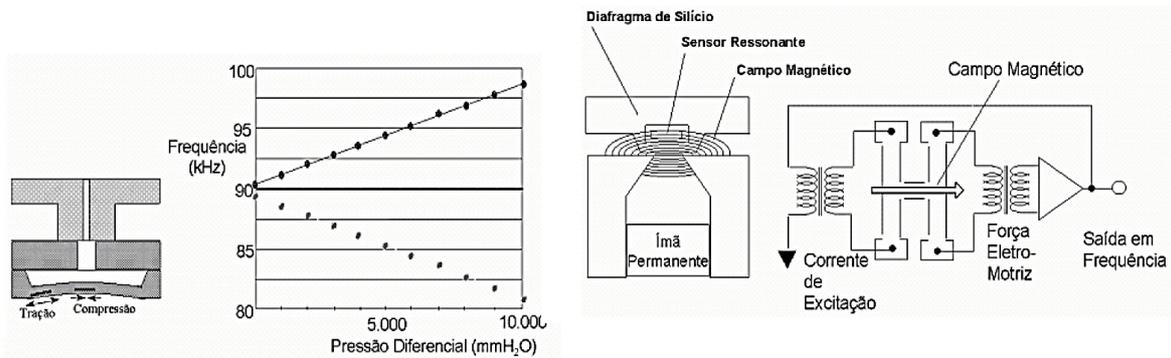
- Ressonante, não usa fio e sim o **silício** para ressonar com diferentes frequências que são funções da expansão/compressão.
- Uma diferença de pressão entre as câmaras de alta (High) e de baixa (Low) produz uma força no diafragma isolador que é transmitida pelo líquido de enchimento.



Construção do sensor

3 – Ressonantes

Circuito eletrônico do sensor de silício ressonante



Varição da frequência com a pressão

$$f = \frac{1}{2L} \sqrt{\frac{F_T}{\mu}}$$

f = frequência da ressonância (Hertz)

L = comprimento (m)

F_T = tensão na mola (Newtons)

μ = unidade de massa da mola (kg/m)

3 – Características do transmissor de pressão tipo silício ressonante:

- O transmissor de pressão de silício ressonante possuem maior precisão e estabilidade pois a grandeza medida é a frequência, eliminando intermediações.
- A fabricação de sensores pequenos, característica intrínseca da sílica, pela forma de encapsulamento.
- Na ausência de ressonância, pode ser lido na frequência de 90kHz.
- Tem a possibilidade de medição em sentido opostos e a medição de pressão diferencial, pressão estática e temperatura.

Outros Sensores Utilizados na Medição de Pressão

43

4 – Capacitivos

- A capacitância de um capacitor é uma medida de sua capacidade de armazenar carga.
- A capacitância é diretamente proporcional à área das placas de metal e inversamente proporcional à distância entre eles.

$$C = \epsilon \frac{A}{d}$$

C : Capacitância entre dois condutores, Farads
 A : área de sobreposição entre os condutores , m^2
 d : distância que separa as placas, m
 ϵ : permissividade dielétrica do meio isolante, F/m

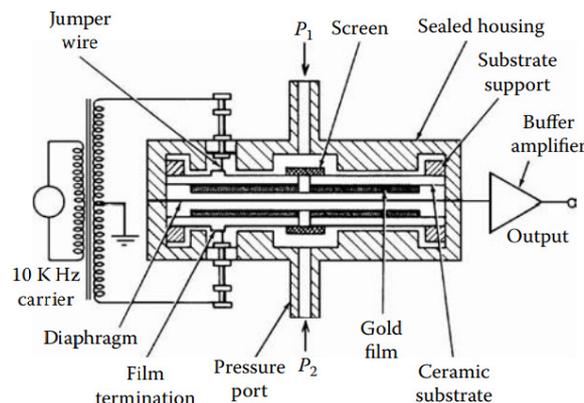
- São baseados em transdutores onde a pressão aplicada no diafragma-sensor faz com que se tenha uma variação da capacitância entre os mesmos e um diafragma central, por exemplo.

Outros Sensores Utilizados na Medição de Pressão

44

4 – Capacitivos

a construção da célula de ΔP consiste de capacitores dentro da cápsula celular, colocadas estrategicamente, de modo que as pressões diferenciais possam ser sentidas pelas mudanças na capacitância dos capacitores quando a pressão é variada através da célula.

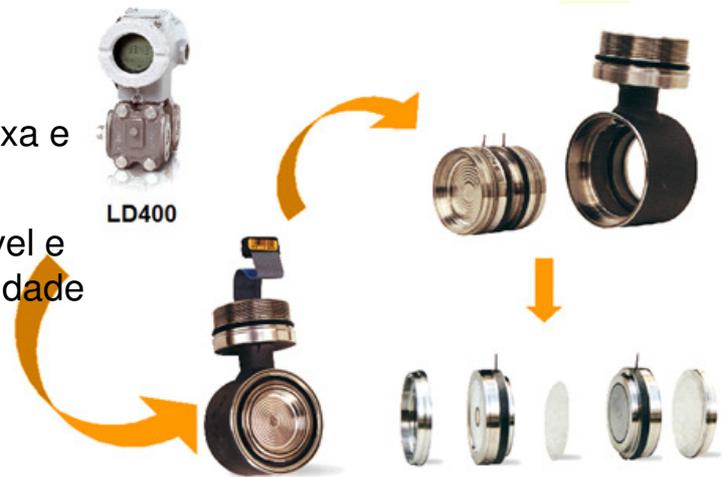


Outros Sensores Utilizados na Medição de Pressão

4 – Capacitivos

VANTAGENS

- Ideais para aplicações de baixa e alta pressão.
- Minimizam o erro total provável e consequentemente à variabilidade do processo.
- Ideais para aplicações de vazão.
- Por sua resposta linear, permite alta rangeabilidade com exatidão.

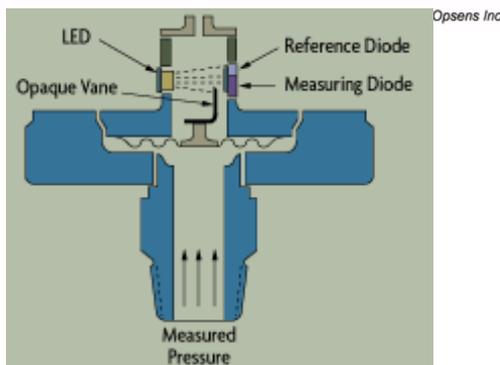
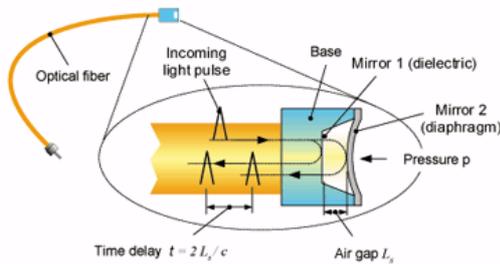


Exemplo de construção de um sensor capacitivo.

Outros Sensores Utilizados na Medição de Pressão

5 – Óticos

Pressure transducer based on the Fabry-Perot interferometer



Transdutores óticos detectam os efeitos dos movimentos devido a mudanças na pressão do processo e geram um sinal correspondente de saída eletrônica.

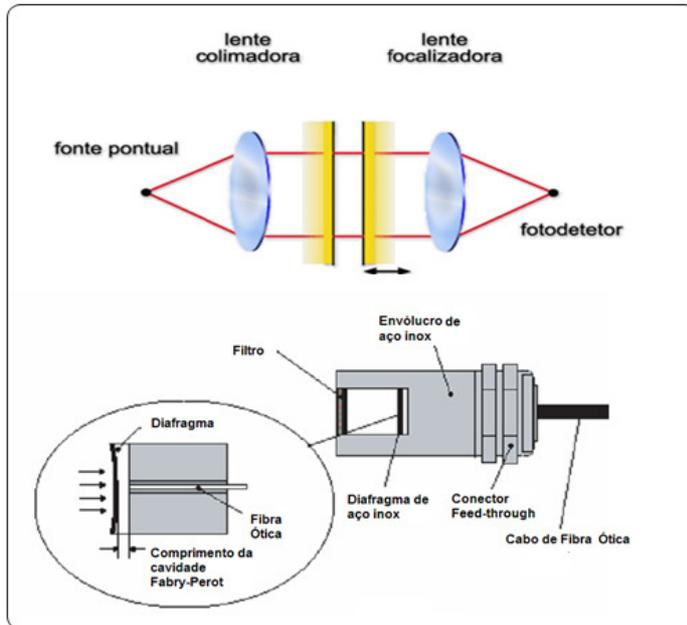
Um díodo emissor de luz (LED) é utilizado como fonte de luz, através do diafragma, constituído por palhetas que permitem regular a intensidade da luz captadas por um diodo de medição e do referência .

À medida que a pressão do processo varia a palheta entre a fonte e o diodo de medição, sofre as alterações da quantidade de luz infravermelha recebida.

Outros Sensores Utilizados na Medição de Pressão

47

5 – Óticos



Sensor de Pressão com Princípio de Fabry-Perot.

Profª Ninoska Bojorge - TEQ-UFF

- Usado geralmente para medidas de comprimentos de onda com alta precisão, onde essencialmente dois espelhos parcialmente refletivos (de vidro ou quartzo) são alinhados e se obtém o contraste de franjas máximo e a distância entre os mesmos pela variação mecânica.
- Esta variação da distância poderia ser gerada por pressão e, com isso, tem-se um sensor de pressão.

Outros Sensores Utilizados na Medição de Pressão

48

5 – Óticos



VANTAGENS:

- Alta sensibilidade, tamanho reduzido,
- Flexibilidade e resistência,
- Baixo peso,
- Longa vida útil,
- Longa distância de transmissão,
- Baixa reatividade química do material,
- Ideal para operar em ambientes com risco de explosão e intrinsecamente seguros, isolamento elétrico, ideal para operar em ambientes com alta tensão.
- não exigem muita manutenção.
- têm uma excelente estabilidade e são projetados para medições de longa duração.

Eles estão disponíveis para faixas de 5 PSIG a 60.000 PSIG (35 kPa a 413 MPa) e com 0,1 % de precisão de fundo de escala.

Profª Ninoska Bojorge - TEQ-UFF

Equipamentos Industriais para Medição de Pressão

49

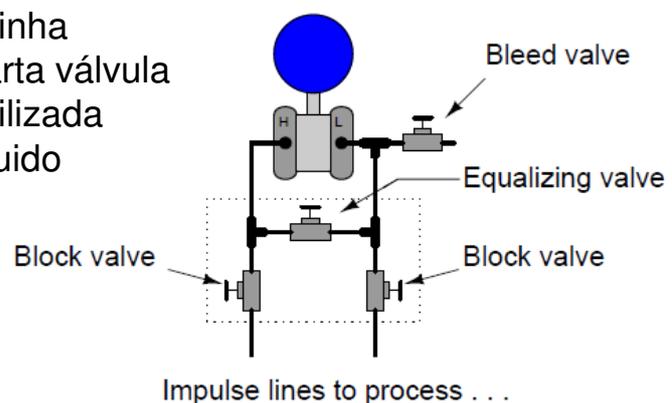


Profª Ninoska Bojorge - TEQ-UFF

Acessórios: Válvulas Manifolds

50

- Um acessório importante para os transmissores de DP é a válvula Manifold. Este dispositivo incorpora válvulas manuais para isolar e equalizar a pressão do processo para o transmissor, para fins de manutenção e de calibração.
- A ilustração a seguir mostra três válvulas compreendendo um coletor de três válvulas (dentro do quadro de linha tracejada), bem como uma quarta válvula chamada de válvula "bleed", utilizada para desafogar a pressão do fluido aprisionado para a atmosfera.



Profª Ninoska Bojorge - TEQ-UFF

Critérios para Especificar Transmissores de Pressão

51

- O que se pretende medir?
- Para que medir pressão?
- Qual é o fluido do processo?
- Protocolo de comunicação?
- Pré-configurações?
- Certificações?
- Faixa de pressão / rangeabilidade?
- Controle PID

Critérios para Especificar Transmissores de Pressão

52

Fluído do processo

- O fornecedor deverá ser informado das características do fluido. Em geral o fabricante poderá recomendar materiais ou conexões especiais.
- Vale lembrar que a decisão final será sempre do usuário ou da empresa de engenharia envolvida. Alguns dados do fluido de processo são fundamentais na escolha do transmissor:

Critérios para Especificar Transmissores de Pressão

53

Fluído do processo

- Estado (líquido, gás, vapor) → Define a posição da válvula de dreno/vent;
- Pressão máxima do processo → Importante para a avaliação dos limites de sobre pressão e pressão estática do transmissor;
- Temperatura máxima do processo → Poderá ser determinante para o uso de selos remotos ou apenas manter uma distância mínima na linha de impulso (*tubing*).

Critérios para Especificar Transmissores de Pressão

54

Faixa de pressão / Rangeabilidade

- Os fabricantes adotam uma terminologia padronizada que precisa ser conhecida:
 - Range - é faixa de medida ou conjunto de valores da grandeza medida fornecido pelo instrumento, consideradas todas as suas faixas nominais de escala.
 - URL (Upper Range Limit): é a mais alta pressão que o transmissor de pressão foi setado para medir, respeitando-se o limite superior do sensor;

Critérios para Especificar Transmissores de Pressão

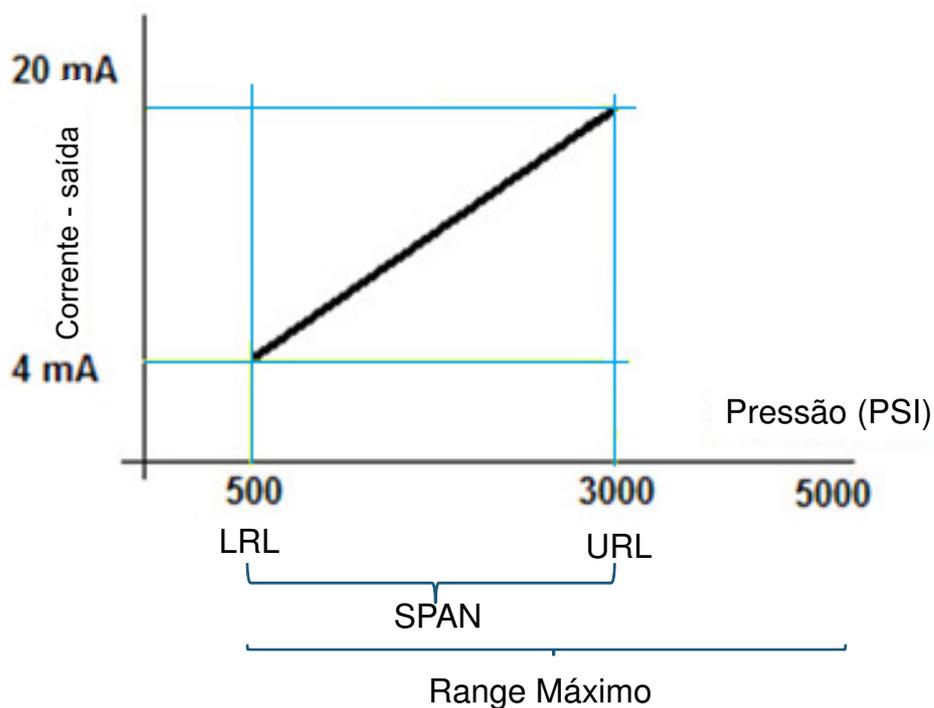
55

Faixa de pressão / Rangeabilidade

- LRL (Lower Range Limit): é a mais baixa pressão que o transmissor de pressão foi setado para medir, respeitando-se o limite inferior do sensor;
- SPAN (Range Calibrado): A faixa de trabalho onde é feito a calibração: URL – LRL;
- A relação URL / SPAN mínimo define a rangeabilidade do instrumento

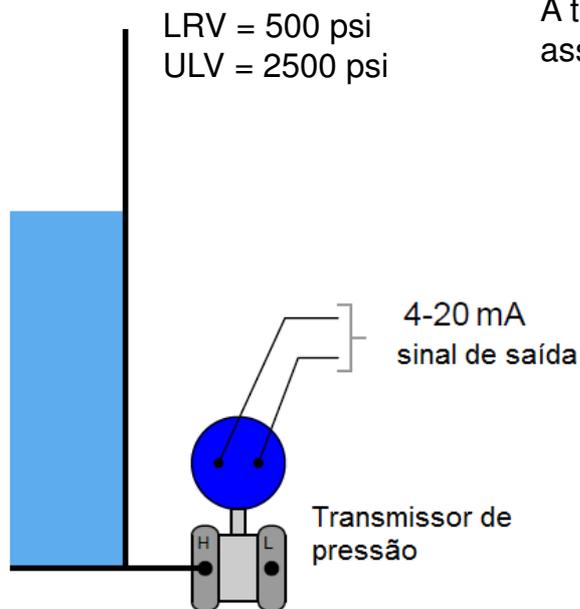
Critérios para Especificar Transmissores de Pressão

56



Critérios para Especificar Transmissores de Pressão

57



A tabela de valores para este transmissor, assumindo calibração perfeita (erro zero):

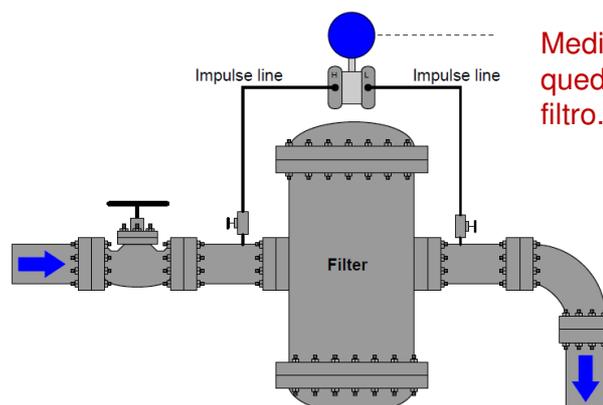
Pressão medida (PSI)	% do Span	Sinal saída (mA)
500	0	4
	35	9,6
1500	50	12
2100	80	?
2500	100	20

Aplicações Típicas de Transmissor de Pressão DP

58

Medição Pressão em processos

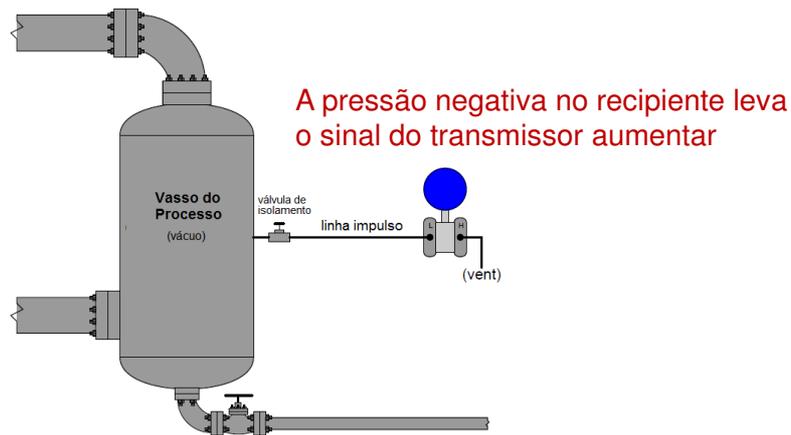
Pode-se usar o transmissor DP para medir uma diferença real de pressão através de um vaso de processamento, tais como um filtro, um trocador de calor, ou um reator químico. A ilustração a seguir mostra como um transmissor de pressão diferencial pode ser usado para medir a pressão de um filtro de água:



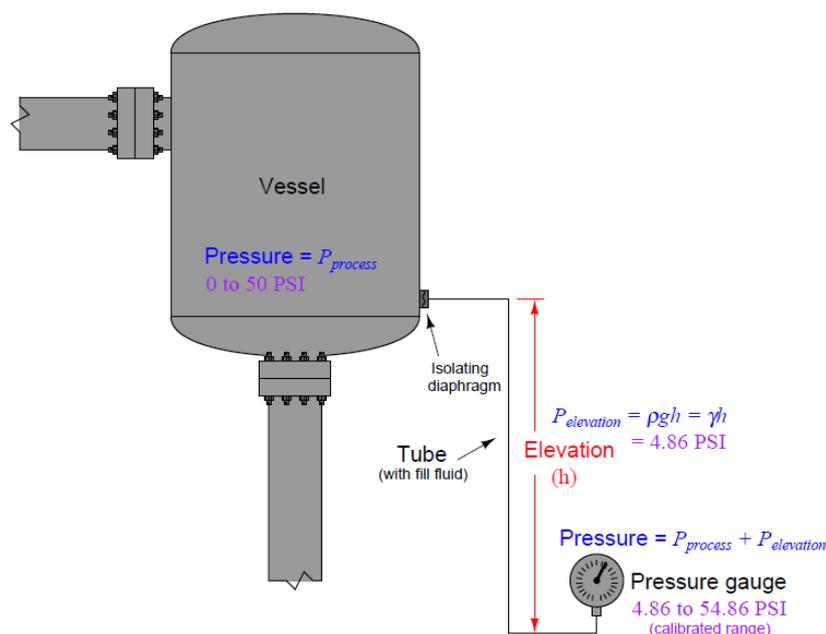
Medidas do transmissor DP é a queda de pressão através do filtro.

Medição Pressão manométrica positiva

Simplemente ligando o lado “pressão alta” de um instrumento DP para um vaso de processamento usando um tubo de impulso, enquanto se conecta o lado de “pressão baixa” para a atmosfera, o instrumento interpretará qualquer pressão positiva no recipiente como diferença positiva entre o recipiente e atmosfera: :



Um problema potencial com o uso de diafragmas remotos é a pressão hidrostática gerada pelo fluido de enchimento, se o instrumento de pressão está localizado longe (verticalmente) a partir do ponto de ligação do processo.

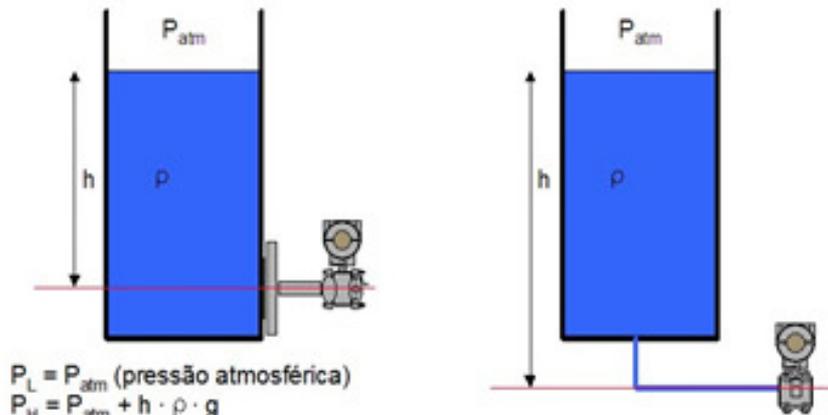


Aplicações Típicas de Transmissor de Pressão DP

61

Medição de Nível de Líquidos em Tanque Aberto

- A correta instalação garante o melhor aproveitamento dos equipamentos em termos de performance.



$$P_L = P_{atm} \text{ (pressão atmosférica)}$$

$$P_H = P_{atm} + h \cdot \rho \cdot g$$

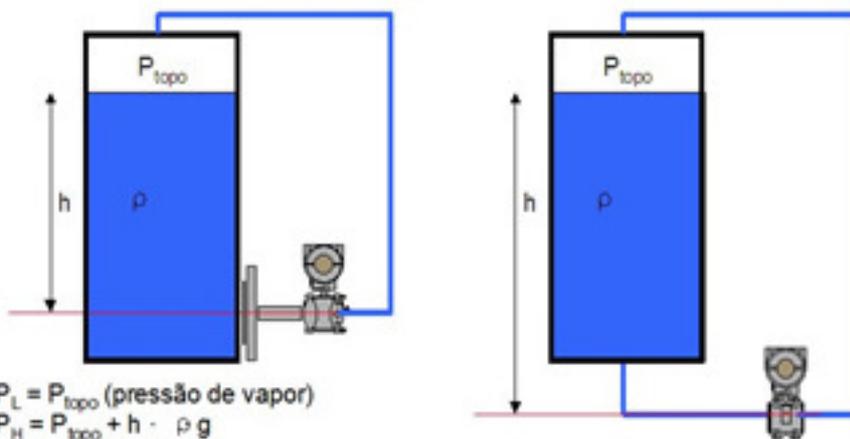
$$DP = P_H - P_L = h \cdot \rho \cdot g = K \cdot h$$

- Lado de baixa (Low) do TRM é aberto p/ pressão atmosférica.
- Somente p/ líquidos.

Aplicações Típicas de Transmissor de Pressão DP

62

Medição de Nível de Líquidos em Tanque Fechado



$$P_L = P_{topo} \text{ (pressão de vapor)}$$

$$P_H = P_{topo} + h \cdot \rho \cdot g$$

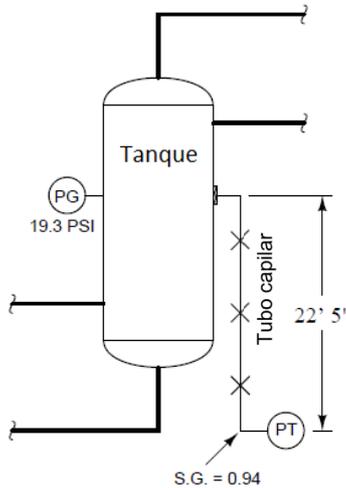
$$DP = P_H - P_L = h \cdot \rho \cdot g = K \cdot h$$

- Lado de baixa (Low) conectado na parte superior do tanque.
- Somente p/ líquido

Um transmissor de pressão com um selo remota mede a pressão de um gás no interior de uma unidade operacional de processo. Um medidor de pressão diretamente ligado ao recipiente registra 19,3 PSI. O transmissor está localizado a 22 pés 5 plg abaixo deste ponto, com um tubo capilar cheio de fluido que tem uma densidade de 0,94: Que valor de pressão o transmissor registrará?

$$g = 32.174 \text{ ft/s}^2$$

$$g_c = 32,174 \text{ lbf.ft/lbf.s}^2$$



$$\Delta P = \rho gh$$

$$22' 5'' = 22,42 \text{ pés}$$

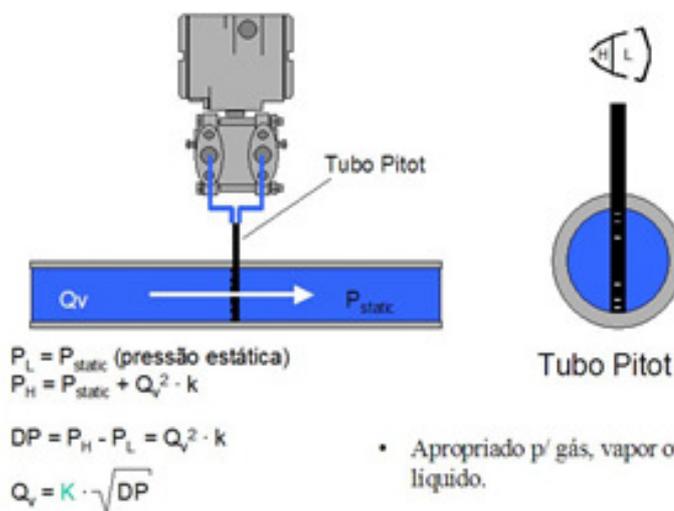
$$\Delta P = \frac{0,94 \times 62,4 \text{ lbf/ft}^3 \times 22,42 \text{ ft}}{144 \text{ in}^2 / \text{ft}^2} =$$

$$P_{transm} = (19,3 + 9,13) \frac{\text{lbf}}{\text{in}^2} = 28,43 \text{ PSI}$$

Aplicações Típicas de Transmissor de Pressão

64

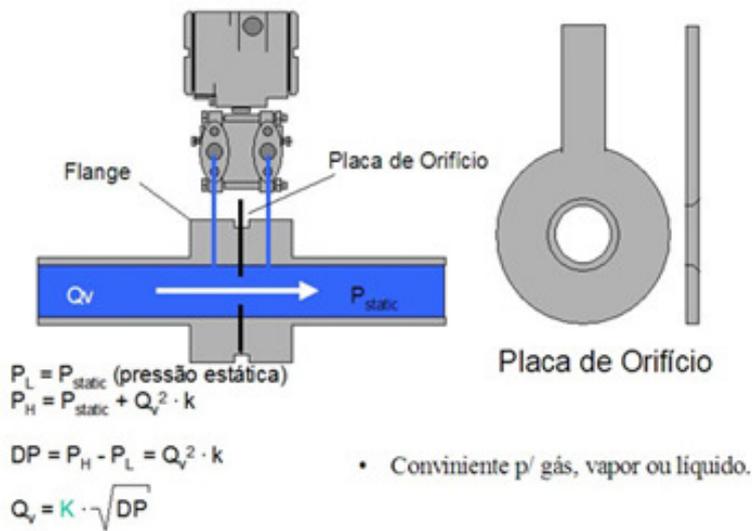
Medição de Vazão



Medição de vazão usando tubo de Pitot

Aplicações Típicas de Transmissor de Pressão

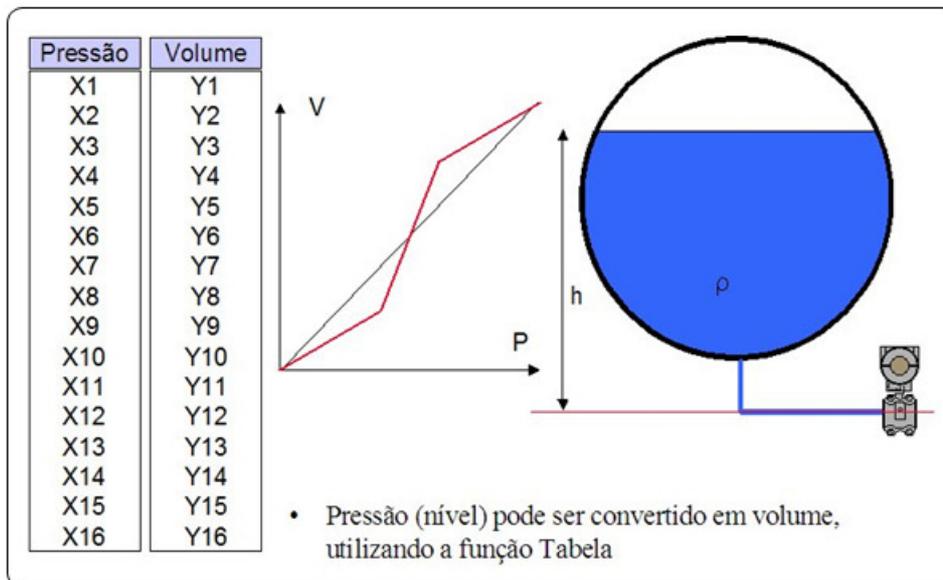
Medição de Vazão



Medição de vazão usando placa de orifício

Aplicações Típicas de Transmissor de Pressão

Medição de volume e massa

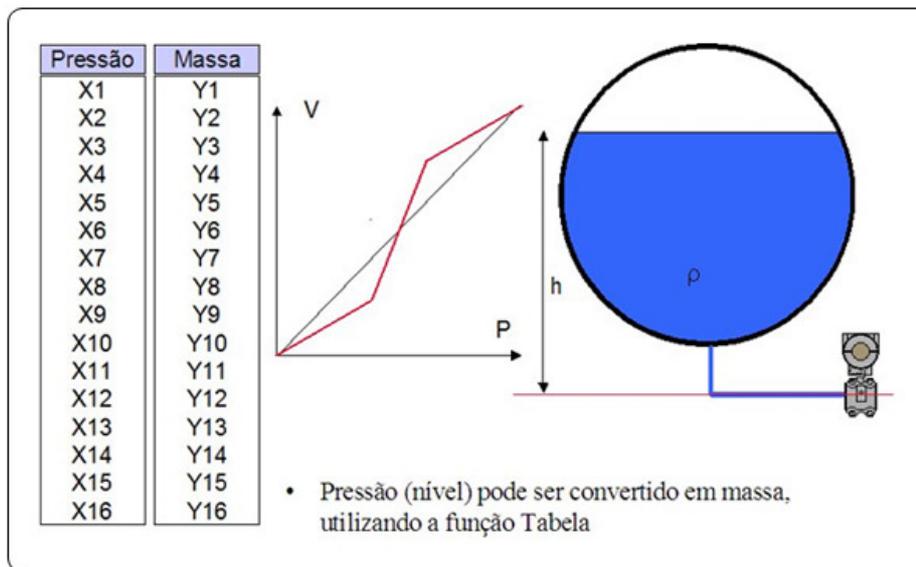


Medição de volume

Aplicações Típicas de Transmissor de Pressão

67

Medição de volume e massa



Medição de massa

REFERÊNCIAS

68

- Intech Edição 74 , Transmissores de Pressão: sensores, tendências, mercado e aplicações, César Cassiolato, 2005
- Controle&Instrumentação - Edição nº 106, O Brasil quebrando as barreiras tecnológicas com a inovação – Transmissores de Pressão César Cassiolato, 2005
- Controle&Instrumentação - Edição nº 113, Especificando Transmissores de Pressão, Manuais de Operação e Treinamento dos transmissores de pressão Smar: LD301, LD302 , LD303 e LD400
- www.smar.com.br

Próxima Aula: Medição de Vazão e de Nível