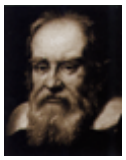
MEDIÇÃO DE PRESSÃO: TUDO O QUÊ VOCÊ PRECISA CONHECER.

Engº César Cassiolato
cesarcass@smar.com.br
Smar Equipamentos Industriais

A pressão é a variável mais usada na indústria de controle de processos no seus mais diversos segmentos e através da mesma, é facilmente possível inferir outras variáveis de processo, tais como nível, volume, vazão e densidade. Comentaremos ainda neste artigo a medição de pressão e sua história, as principais características das tecnologias utilizadas em sensores de pressão, assim como alguns detalhes em termos de instalações, do mercado e tendências com os transmissores de pressão.

A medição de pressão e um pouco de história


Galileo

A medição de pressão é ponto de interesse da ciência há muitos anos.No final do século XVI, o italiano Galileo Galilei (1564-1642) recebeu patente por um sistema de bomba d'água usada na irrigação.

O coração de sua bomba era um sistema de sucção que ele descobriu ter a capacidade de elevar a água no máximo 10 metros. A causa desse limite não foi descoberta por ele, o que motivou outros cientistas a estudarem esse fenômeno.

Torricelli

Em 1643, o físico italiano Evangelista Torricelli (1608-1647) desenvolveu o barômetro. Com esse aparelho, avaliava a pressão atmosférica, ou seja, o peso do ar sobre a superfície da terra. Ele fez uma experiência preenchendo um tudo de 1 metro com mercúrio, selado de um dos lados e mergulhado em uma cuba com mercúrio do outro. A coluna de mercúrio invariavelmente descia no tubo até cerca de 760 mm. Sem saber exatamente o porquê deste fenômeno, ele o atribuiu à uma força vinda da superfície terrestre. Torricelli concluiu também que o espaço deixado pelo mercúrio no começo do tudo não continha nada e o chamou de "vacuum" (vácuo).

Figura 1 - Barômetro

Pascal

Cinco anos mais tarde, o francês Blaise Pascal usou o barômetro para mostrar que no alto das montanhas a pressão do ar era menor.

Von Guericke

Em 1650, o físico alemão Otto Von Guericke desenvolveu a primeira bomba de ar eficiente.

Boyle

Robert Boyle realizou experimentos sobre compressão e descompressão com a bomba de Otto Von Guericke.

Gay-Lussac

Depois de 200 anos, o físico e químico francês, Joseph Louis Gay-Lussac, verificou que a pressão de um gás confinado a um volume constante é proporcional à sua temperatura.

Eugene Bourdon

Em 1849, Eugene Bourdon recebeu patente pelo Tubo de Bourdon, utilizado até hoje em medições gages. Em 1893, E.H. Amagat(1841-1915) utilizou o pistão de peso morto gage em medições de pressão. A lei de Amagat ou a Lei de Volumes Parciais é usada para descrever o comportamento e propriedades de misturas de gases não ideais.

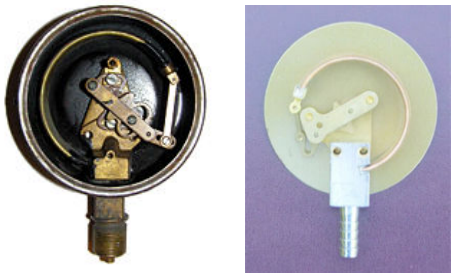


Figura 2 - Tubo de Bourdon

A exatidão da caracterização de pressão só teve seu real valor a partir do momento em que conseguimos traduzi-la em valores mensuráveis.

Um transdutor de pressão é um dispositivo que converte uma pressão medida(“sentida”) em um sinal mecânico ou elétrico. O Sensor é usualmente um elemento primário que é constituído por um elemento elástico que se deforma ou deflete sob pressão.Podemos citar, como elementos elásticos: o tubo de Bourdon, o fole e o diafragma. Um elemento transdutor secundário(comumente chamado de transdutor elétrico) vai converter esta deformação em um sinal mensurável. Os transdutores de pressão estão sujeitos a erros como: de resolução, de deslocamento de zero, de linearidade, de sensibilidade, de histerese, de temperatura. Os transdutores elétricos estão sujeitos a erro de carregamento entre a saída do transdutor e seu dispositivo indicador(linearidade).

Nas últimas décadas, com o advento da tecnologia digital, uma enorme variedade de equipamentos se espalhou pelo mercado em diversas aplicações

Resumidamente, todo sistema de medição de pressão é constituído pelo elemento primário, o qual estará em contato direto ou indireto ao processo onde se tem as mudanças de pressão e pelo elemento secundário(Transmissor de Pressão) que terá a tarefa de traduzir esta mudança em valores mensuráveis para uso em indicação, monitoração e controle.

As unidades de pressão são definidas por meio de padrões das dimensões fundamentais de massa, comprimento e tempo.Na prática, os transdutores de pressão são calibrados por comparação com certos equipamentos usados como referência.

Conceitos da medição de pressão

Vejamos o conceito de Pressão Estática. Tomemos como base a figura 3, onde temos um recipiente com um líquido onde este exerce uma pressão em um determinado ponto proporcional ao peso do líquido e à distância do ponto à superfície (o princípio de Arquimedes: um corpo submerso em um líquido fica sujeito a uma força, conhecida por empuxo, igual ao peso do líquido deslocado. Por exemplo, baseado neste princípio, pode determinar o nível, onde usa-se um flutuador que sofre o empuxo do nível de um líquido, transmitindo para um indicador este movimento, por meio de um tubo de torque. O medidor deve ter um dispositivo de ajuste para densidade do líquido cujo nível estamos medindo, pois o empuxo varia com a densidade).

A pressão estática P é definida como sendo a razão entre força F, aplicada perpendicularmente a uma superfície de área A: $P = F/A$ [N/ m^2]

Enfim, a pressão representa uma força de contato por unidade de área.Ela age para dentro e normal à superfície de qualquer fronteira física em contato com um fluído.

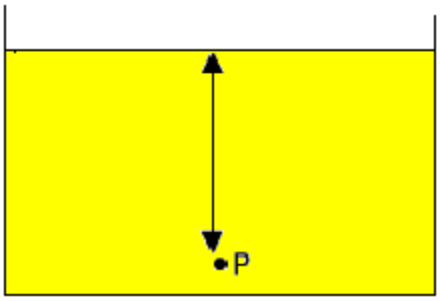


Figura 3 - Pressão em um ponto P submerso

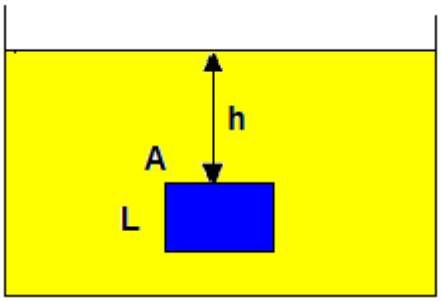


Figura 4 - Pressão em corpo submerso

Dado um paralelepípedo, conforme a figura 4, onde temos a área de um lado A e comprimento L, a pressão em sua face superior e em sua face inferior são dadas respectivamente por $P_D = h\rho g$ e $P_U = (h + L)\rho g$. A pressão resultante sobre o mesmo é igual a $P_U - P_D = L\rho g$. A pressão que exerce uma força perpendicular à superfície do fluído é a chamada pressão estática. O princípio de Pascal diz que qualquer aumento de pressão no líquido será transmitido igualmente a todos os pontos do líquido. Esse princípio é usado nos sistemas hidráulicos (por ex, nos freio dos carros) e pode ser ilustrado pela figura 5. Em outras palavras: As forças aplicadas têm intensidades proporcionais às áreas respectivas.

Vale ainda citar a Lei de Stevin (1548 - 1620): Em um fluido homogêneo e incompressível em equilíbrio sob a ação da gravidade, a pressão cresce linearmente com a profundidade; a diferença de pressão entre dois pontos é igual ao produto do peso específico do fluido pela diferença de nível entre os pontos considerados.

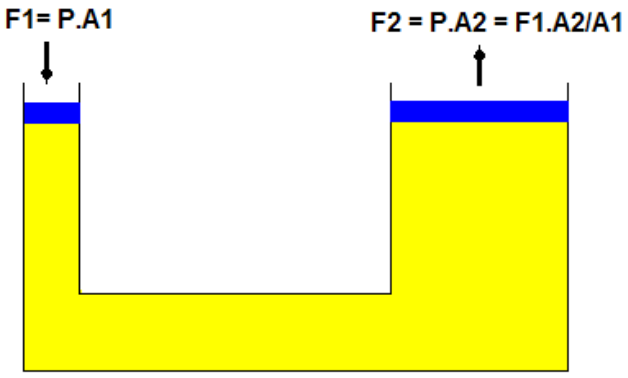


Figura 5 – A pressão é perpendicular à superfície e as forças aplicadas têm intensidades proporcionais às áreas respectivas.

Vejamos agora, a pressão exercida pelos fluídos em movimento na seção transversal de um tubo. Tomemos a figura 6, onde:

F1 = força aplicada à superfície A1
P1 = razão entre F1 e A1;
$\Delta L1$ = distância que o fluido deslocou;
$v1$ = velocidade de deslocamento;
$h1$ = altura relativa à referência gravitacional

e

F2 = força aplicada à superfície A2
P2 = razão entre F2 e A2;
$\Delta L2$ = distância que o fluido deslocou;
$V2$ = velocidade de deslocamento;
$h2$ = altura relativa à referência gravitacional

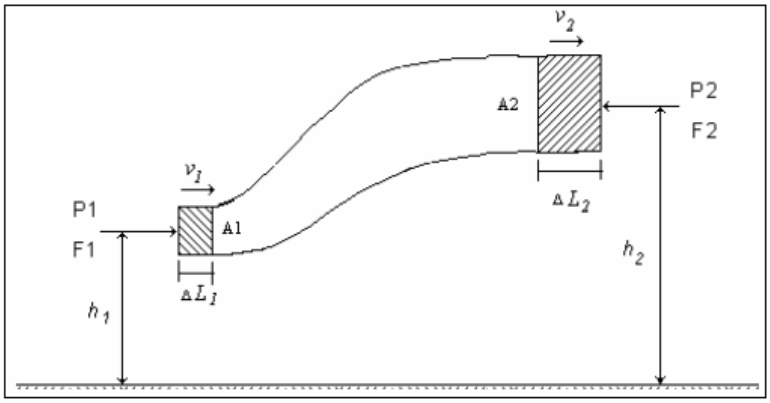


Figura 6 - Equação de Bernoulli - Pressão exercida pelos fluídos em movimento na seção transversal de um tubo

Supondo um fluido ideal, que não possui viscosidade, ele desloca-se sem atritos e portanto sem perdas de energia.

O trabalho realizado pela resultante das forças que atuam em um sistema é igual à variação da energia cinética, teorema trabalho-energia.Com isto, temos:

$$P_1 + (1/2)\,\rho \cdot v_1^2 + \rho \cdot g \cdot h_1 = P_2 + (1/2)\rho \cdot v_2^2 + \rho \cdot g \cdot h_2$$

Esta é a equação de Bernoulli que comprova que o somatório das pressões ao longo de um tubo é sempre constante para um sistema ideal. O interessante aqui é que nesta equação pode-se reconhecer as seguintes pressões:

P_1 = Pressão Aplicada

$(1/2)\,\rho.v_1^2$ = Pressão Dinâmica

$\rho.g.h_1$ = Pressão Estática

Rearranjando essa relação chegamos à equação: $V_O = \sqrt{\frac{2(P_1 - P_2)}{\rho}}$

Essa relação é muito útil para o cálculo da velocidade do fluído, dadas a pressão de impacto e a pressão estática. A partir dessa relação, pode-se calcular, por exemplo, a vazão do fluído:

$$Q_{Real} = A_1.C.B^2.E\sqrt{\frac{2.g.(P_1 - P_2)}{\gamma}}$$

Onde C = *vazão_real/ vazão_teórica*

Os valores de *C* são resultados experimentais e para cada tipo de elemento deprimogênio e sistema de tomada de impulso, *C* varia em função do diâmetro (D) da tubulação, do N° de Reynolds (Rd) e da relação dos diâmetros referentes a seção A1 e A2 ($\beta = \sqrt{\frac{A_2}{A_1}}$)

C = f(D,Rd,β)

Unidades de pressão no Sistema Internacional (SI)

O Pascal [Pa] é a unidade de pressão do Sistema Internacional de unidades(SI).

Um Pa é a pressão gerada pela força de 1 Newton agindo sobre uma superfície de 1 metro quadrado → Pa = N/m^2.

A tabela 1 mostra as principais unidades e a conversão entre as mesmas:

	inH_2O @20ºC	**atm**	**bar**	**kPa**	**kgf/cm^2**	**mmH_2O @20ºC**	**mmHg @0ºC**	**inHg @32ºF**	**psi**
inH_2O @20ºC	1	0,0025	0,00249	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
kgf/cm^2	394,407	0,96784	0,98066	98,0662	1	10017,9	735,558	28,9590	14,2233

mmH_2O @20°C	0,03937	0,00010	0,00010	0,00979	0,00010	1	0,07342	0,00289	0,00142
mmHg @0°C	0,53620	0,00132	0,00133	0,13332	0,00136	13,6195	1	0,03937	0,01934
inHg @ 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 em unidades de pressão mais usadas em automação industrial

Tipos mais usuais de medição de pressão

Em função da referência pode-se classificar a medição de pressão como: manométrica, absoluta e diferencial ou relativa.Tomemos como referência a figura 7:

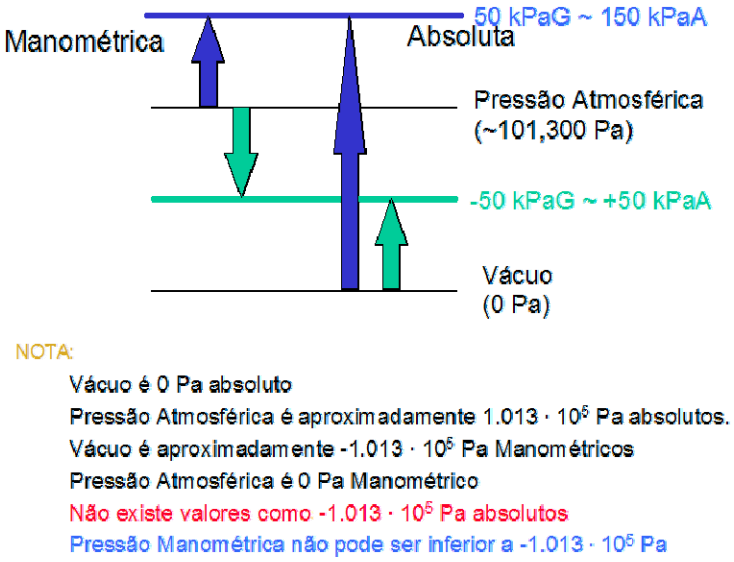


Figura 7 – Referências de Pressão e tipos mais usuais

- **Pressão absoluta**: é medida com relação ao vácuo perfeito, 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 760mmHg.

- **Pressão diferencial**: é a diferença de pressão medida entre dois pontos. Quando qualquer ponto diferente do vácuo ou atmosfera é tomado como referência diz-se medir pressão diferencial.Por exemplo, a pressão diferencial encontrada numa placa de orifício.

- **Pressão manométrica (Gauge)**: 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. Ex.: 10Kgf/cm^2 Pressão Relativa.

Note que a pressão manométrica é dada pela diferença entre a absoluta e a atmosférica.

Os Sensores mais utilizados na medição pressão

Oss sensores são classificados conforme a técnica usada na conversão mecânica da pressão(deslocamento de um diafragma, por exemplo) em um sinal eletrônico proporcional. O método mais comum para a conversão do deslocamento do diafragma em um sinal mensurável é capturar a deformação elástica induzida sobre a superfície do diafragma à medida que ele é deslocado.

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

- Capacitância Variável (Capacitivos)
- Piezo-resistivo(Strain Gage)
- Potenciométrico
- Piezo-elétrico
- Relutância Variável
- Ressonante
- Ótico
- Outros

Vejamos alguns destes sensores e princípios brevemente.

1) Piezo-resistivo ou Strain Gage

A piezo-resistividade 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 gage) interligados em ponte(Wheatstone) com outros resistores que provém o ajuste de zero, sensibilidade e compensação de temperatura.

O material de construção varia de fabricante para fabricante e hoje em dia é comum sensores de estado sólido.Desvantagens: faixa limitante de temperatura de operação, aplicável em ranges baixos de pressão por gerarem um sinal muito baixo de excitação, muito instável.

Atualmente existe o chamado “Film transducer” o qual é construído com a deposição de vapor ou injeção de elementos strain gage diretamente em um diafragma, o que minimiza a instabilidade devida ao uso de adesivos nas ligas nos modelos “Bonded Wire”. A grande vantagem é que já produz um sinal eletrônico num nível maior, porém em altas temperaturas são totalmente vulneráveis, já que a temperatura afeta o material adesivo utilizado ao colar o silício ao diafragma.

Várias técnicas baseadas na fabricação de sensores de silício piezo-resistivo(silicon substrate) estão emergindo, mas são susceptíveis a degradação de seus sinais em função da temperatura e exigem circuitos complicados para a compensação, minimização do erro e sensibilidade do zero.Totalmente inviáveis em aplicações sujeitas a temperatura altas por longo períodos, uma vez que a difusão degrada os substratos em altas temperaturas.

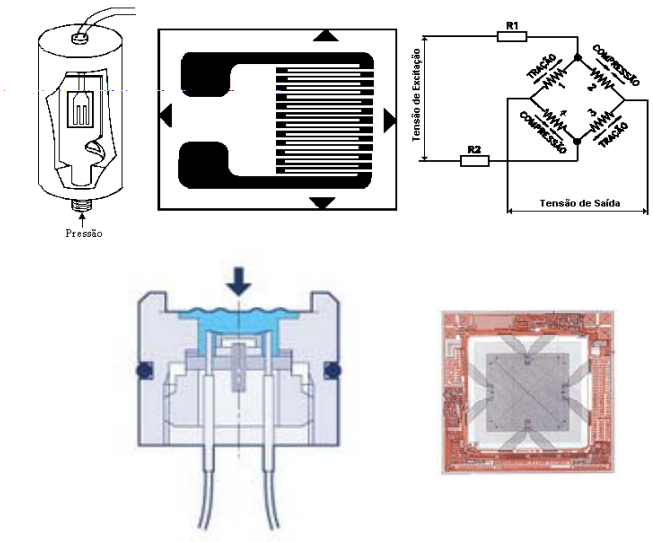


Figura 8 – Sensor Piezo-Resisitivo

2) Piezo-elétrico

O material piezo-elétrico é um cristal que produz uma tensão diferencial proporcional a pressão a ele aplicada em suas faces: quartzo, sal de Rochelle, titânio de bário, turmalina etc.Este material acumula cargas elétricas em certas áreas de sua estrutura cristalina, quando sofrem uma deformação física, por ação de uma pressão. A piezo-eletricidade foi descoberta por Pierre e Jacques Curie em 1880.

Tem a desvantagem de requerer um circuito de alta impedância e um amplificador de alto ganho, sendo susceptível a ruídos.Além disso, devido à natureza dinâmica, não permite a medição de pressão em estado sólido.Porém, tem a vantagem de rápida resposta.

A relação entre a carga elétrica e a pressão aplicada ao cristal é praticamente linear:

q = Sq x Ap

p - pressão aplicada, *A* - área do eletrodo, *Sq* - sensibilidade,

q - carga elétrica, *C* - capacidade do cristal, *Vo* - tensão de saída

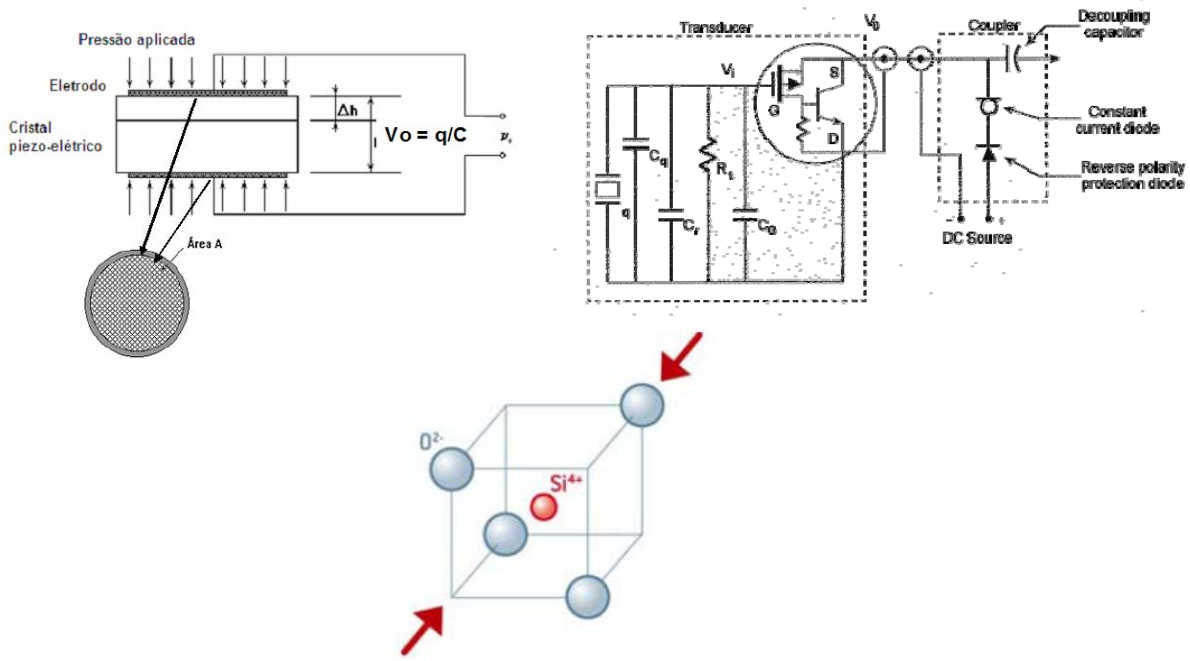


Figura 9 – Sensor Piezo-Elétrico

3) Ressoantes

Possuem em geral o princípio da tecnologia que é conhecida como "vibrating wire". Uma mola de fio magnético é atachada ao diafragma que ao ser submetido a um campo magnético e ser percorrido por uma corrente elétrica entra em oscilação.A freqüência de oscilação é proporcional ao quadrado da tensão (expansão/compressão) do fio. No sensor Silício Ressonante, não se usa fio e sim o silício para ressonar com diferentes freqüências que são funções da expansão/compressão(é uma função do tipo $1/f^2$).

O sensor é formado por uma cápsula de silício colocada em um diafragma que vibra ao se aplicar um diferencial de pressão, e a freqüência de vibração depende da pressão aplicada.

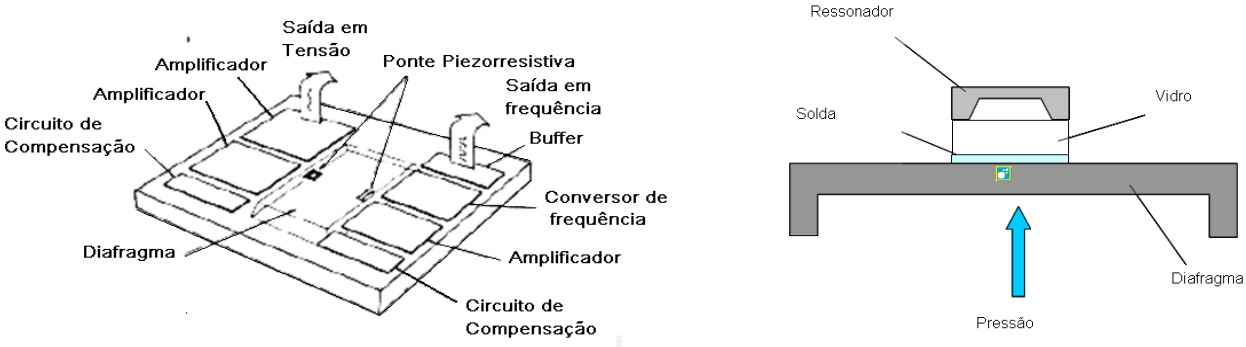


Figura 10 – Sensor Ressonante

4) Capacitivos

Estes são os sensores mais confiáveis e que já foram usados em milhões de aplicações.São baseados em transdutores onde a pressão aplicada a diafragmas sensores faz com que se tenha uma variação da capacitância entre os mesmos e um diafragma central, por exemplo. Esta variação de capacitância tipicamente é usada para variar a freqüência de um oscilador ou usada como elemento em uma ponte de capacitores. Nos sensores Smar, a única empresa brasileira e uma das poucas no mundo a fabricar este tipo de sensores, esta variação de capacitância é usada para variar a freqüência de um oscilador. Esta freqüência é medida diretamente pela CPU e convertida em Pressão. Não existe conversão A/D o que contribui na exatidão e eliminação de drifts embutidos nas conversões analógicas/digitais . Vale a pena lembrar que este princípio de leitura totalmente digital é utilizado pela Smar desde meados da década de 80. Os sensores capacitivos são os sensores mais confiáveis, com respostas lineares e praticamente insensíveis a variações de temperatura, sendo os mais indicados em instrumentação e controle de processos, já que possuem excelentes performance em estabilidade, em temperatura e pressão estática. Algumas de suas vantagens:

- Ideais para aplicações de baixa e alta pressão.
- Minimizam o Erro Total Provável e conseqüentemente a variabilidade do processo. Ideais para aplicações de vazão.Os erros são menores.
- Por sua resposta linear, permite alta rangeabilidade com exatidão.

O sensor de pressão utilizado pelos transmissores de pressão Smar, é do tipo capacitivo (célula capacitiva), mostrado na Figura 11a. A figura 11c mostra várias possibilidades de aplicação deste sensor.

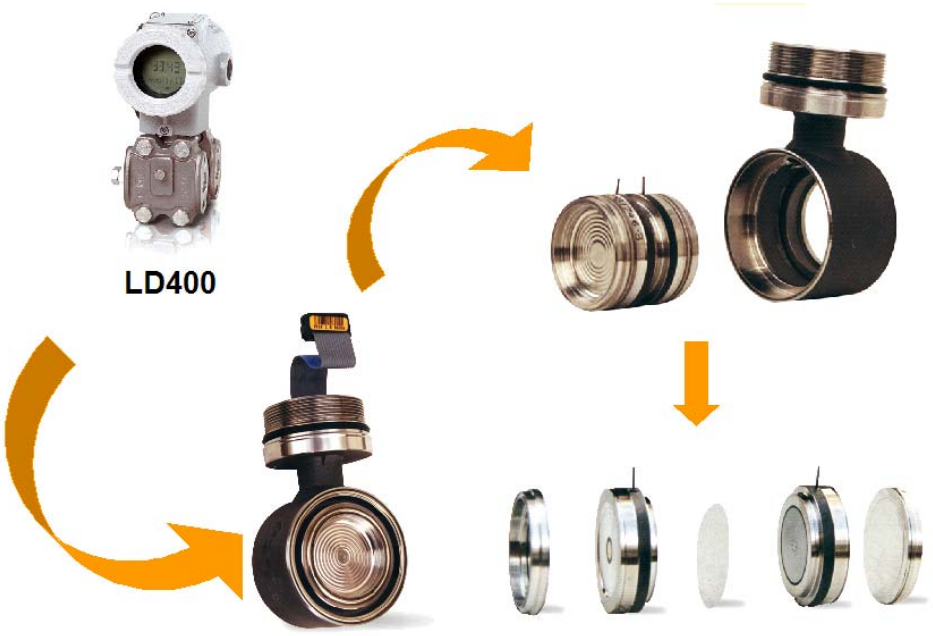


Figura 11a - Exemplo de construção de um sensor capacitivo

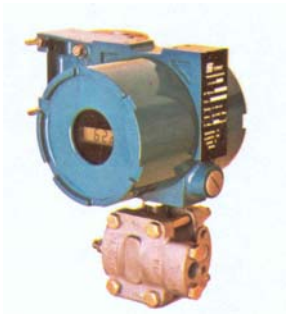


Figura 11b - LD200 – Primeiro Transmissor de Pressão com tecnologia brasileira desenvolvido e comercializado em 1983 pela Smar

Onde de acordo com a figura 11c:

$P_1(P_H)$e $P_2(P_L)$ são pressões aplicadas nas câmaras H e L.

CH = capacitância medida entre a placa fixa do lado de P_1 e o diafragma sensor.

CL = capacitância medida entre a placa fixa do lado de P_2 e o diafragma sensor.

d = distância entre as placas fixas de CH e CL.

Δd = deflexão sofrida pelo diafragma sensor devido à aplicação da pressão diferencial DP = P_1 - P_2.

Sabe-se que a capacitância de um capacitor de placas planas e paralelas pode ser expressa em função da área (A) das placas e da distância (d) que as separa como:

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

Onde,

$\in$ = constante dielétrica do meio existente entre as placas do capacitor.

Se considerar *CH* e *CL* como capacitâncias de placas planas de mesma área e paralelas, quando $P_1 > P_2$ tem-se:

$$CH = \frac{\in .A}{(d/2) + \Delta d} \quad e \quad CL = \frac{\in .A}{(d/2) - \Delta d}$$

Por outro lado, se a pressão diferencial (ΔP) aplicada à célula capacitiva, não defletir o diafragma sensor além de d/4, podemos admitir ΔP proporcional a Δd, ou seja:

$$\Delta P \propto \Delta d$$

Se desenvolvermos a expressão (CL-CH) / (CL+CH), obteremos:

$$\Delta P = \frac{CL - CH}{CL + CH} = \frac{2\Delta d}{d}$$

como a distância (d) entre as placas fixas de CH e CL é constante, percebe-se que a expressão (CL-CH) / (CL+CH) é proporcional a Δd e, portanto, à pressão diferencial que se deseja medir.

Assim, conclui-se que a célula capacitiva é um sensor de pressão constituído por dois capacitores de capacitâncias variáveis, conforme a pressão diferencial aplicada.

Estes capacitores fazem parte de um circuito oscilador que tem sua freqüência dependente da pressão diferencial aplicada. Esta freqüência é medida pela CPU do transmissor de pressão em alta resolução, alta exatidão e velocidade de processamento.

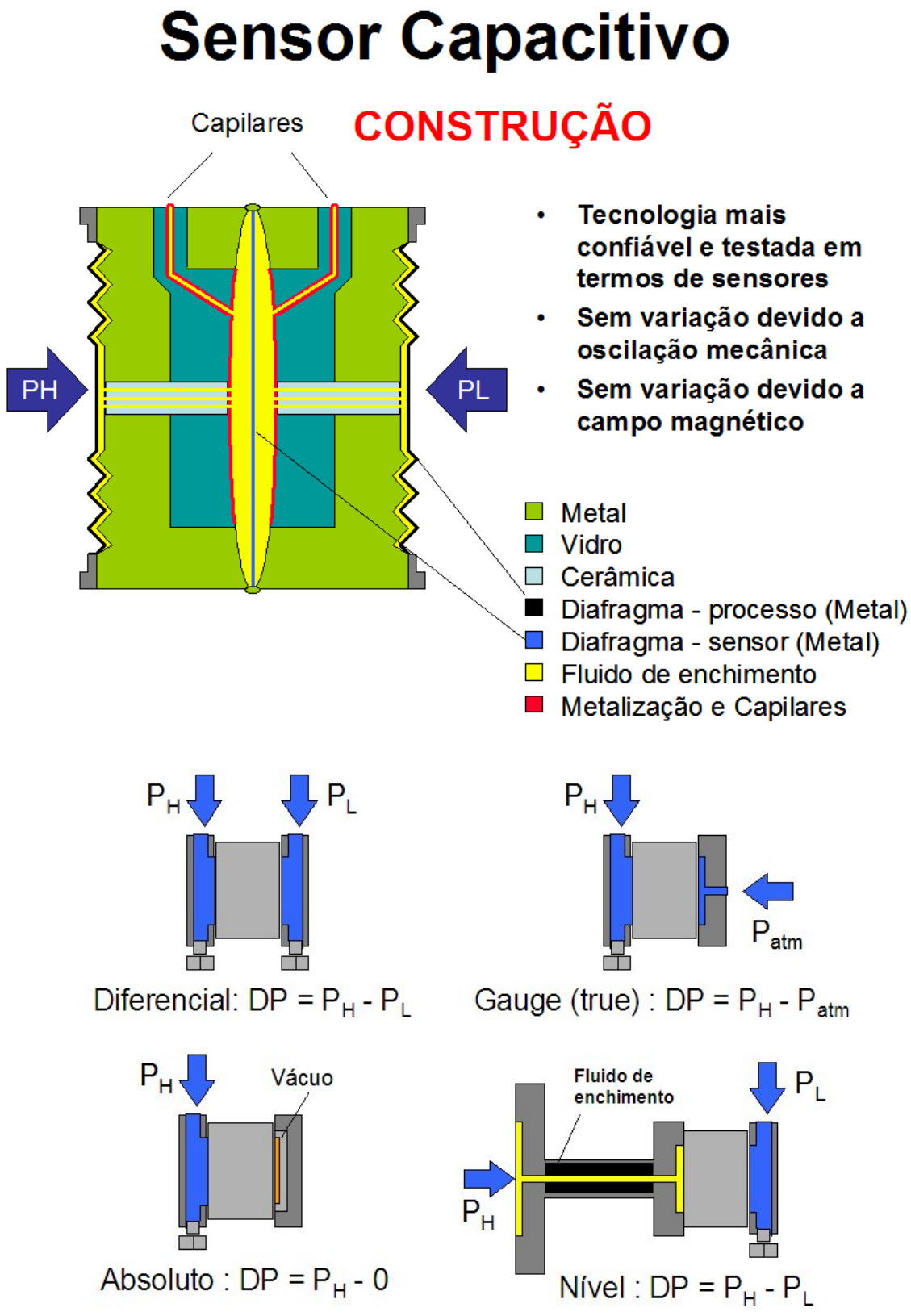


Figura 11c - Aplicações do sensor industrial capacitivo

5) Óticos

São ainda pouco difundidos mas vejamos abaixo alguns marcos da evolução da fibra ótica:

- Foi inventada em 1952 pelo físico indiano Narinder Singh Kanpany.
- 1970: Corning Glass produziu alguns metros de fibra ótica com perdas de 20 db/km.
- 1973: Um link telefônico de fibras óticas foi instalado no EUA.
- 1976: Bell Laboratories instalou um link telefônico em Atlanta de 1 km e provou ser praticamente possível a fibra ótica para telefonia.
- 1978: Começa em vários pontos do mundo a fabricação de fibras óticas com perdas menores do que 1,5 dB/km.
- 1988: Primeiro cabo submarino de fibras óticas mergulhou no oceano e deu início à super-estrada da informação.
- 2004: A fibra ótica movimenta cerca de 40 bilhões de dólares anuais.

A sensitividade dos sensores a fibra, ou seja, o distúrbio menos intenso que pode ser medido, pode depender de:

- Variações infinitesimais em algum parâmetro de caracterização da fibra usada, quando a fibra é o próprio elemento sensor;
- Mudanças nas propriedades da luz usada, quando a Fibra é o canal através do qual a luz vai e volta do local sob teste.

Os sensores a Fibras Óticas são compactos e apresentam sensitividades comparáveis ao similares convencionais.Existem muitos sensores comerciais feitos com Fibras Óticas, para medição de temperatura, pressão, rotação, sinais acústicos, corrente, fluxo, etc. Os Sensores de pressão são construídos com o emprego de uma membrana móvel numa das extremidade da fibra. Podemos citar as seguintes vantagens destes sensores: 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 intrisecamente seguros, isolamento elétrico, ideal para operar em ambientes com alta tensão, imunidade eletromagnética, multiplexação de sinais (uma única fibra pode possuir dezenas de sensores: pode medir vibração, pressão, temperatura, fluxo multifásico, deformação, etc…).

Uma técnica utilizada em construção de sensors óticos é o Interferômetro Fabry-Perot: este dispositivo é usado geralmente para medidas de comprimentos de onda com alta precisão, onde essencialmente dois espelhos parcialmente refletores (de vidro ou quartzo) são alinhados e se obtém o contraste de franjas máximo e a distância entre os mesmos pela variação mecanica. Esta variação da distância poderia ser gerada por pressão e com isto tería-se um sensor de pressão.

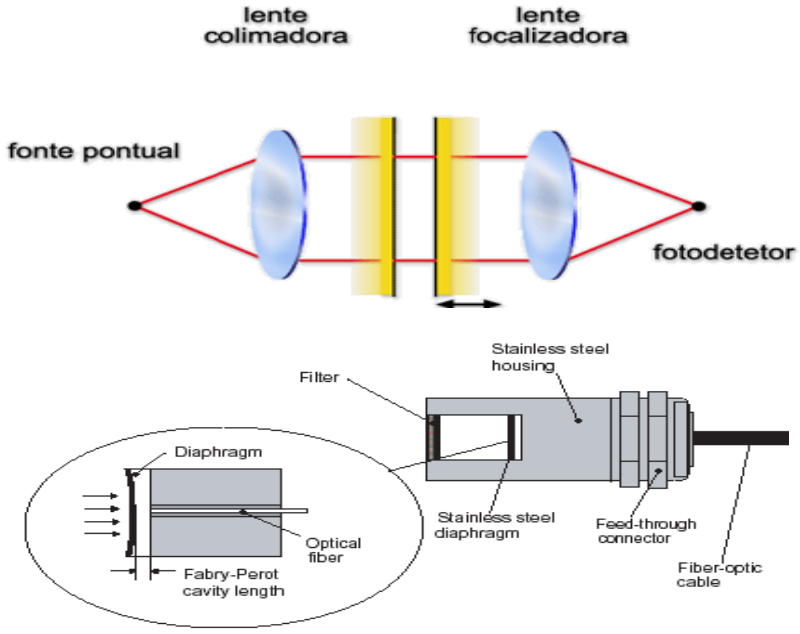


Figura 12 – Sensor de Pressão com Princípio de Fabry-Perot

Equipamentos industriais para medição de pressão

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, vacuômetrros, sanitários, etc.

Figura 13 - Exemplos de manômetro

Um transmissor de pressão inteligente combina a tecnologia do sensor mais sua eletrônica. Tipicamente, deve prover as seguintes características:

- Sinal digital de saída ;
- Interface de comunicação digital(HART/4-20mA, Foundation Fieldbus, Profibus-PA) ;
- Compensação de pressão ;
- Compensação de temperatura ;
- Estabilidade;
- Deve permitir fácil e amigável calibração ;
- Re-range com e sem referência ;
- Recursividade;
- Auto Diagnósticos ;
- Fácil instalação e calibração;
- Alta confiabilidade;
- Baixos custos de instalação e manutenção;
- Curtos tempos de instalação e manutenção;
- Redução na intrusão/penetração(processo);
- Economizar espaços na instalação;
- Permitir upgrades para a tecnologia Foundation Fieldbus e Profibus PA.
- Recursos de interface EDDL e FDT/DTMs.
- Protetor de transiente,
- Sem polaridade de alimentação,
- Trava física para transferência de custódia,
- Etc.

Alguns pontos que os usuários devem estar atentos para que não paguem a mais por algo que não vão usar ou que sua aplicação não exija:

- Exatidão & Rangeabilidade: se é necessário equipamentos com tais requisitos, analise as fórmulas de exatidão e veja que às vezes a exatidão não é a anunciada em toda a faixa. Veja outras características também como tempo de resposta, Totalização, bloco PID, etc…elas podem ser mais úteis nas aplicações.
- Proteção ao investimento: analise o preço de sobressalentes, intercambialidade entre modelos, simplicidade de especificação, atualização para outras tecnologias(Fieldbus Foundation, Profibus PA), prestação de serviços, suporte técnico, prazo de reposição, etc. São fatores que podem fazer com que a disponibilidade da planta possa ficar comprometida.

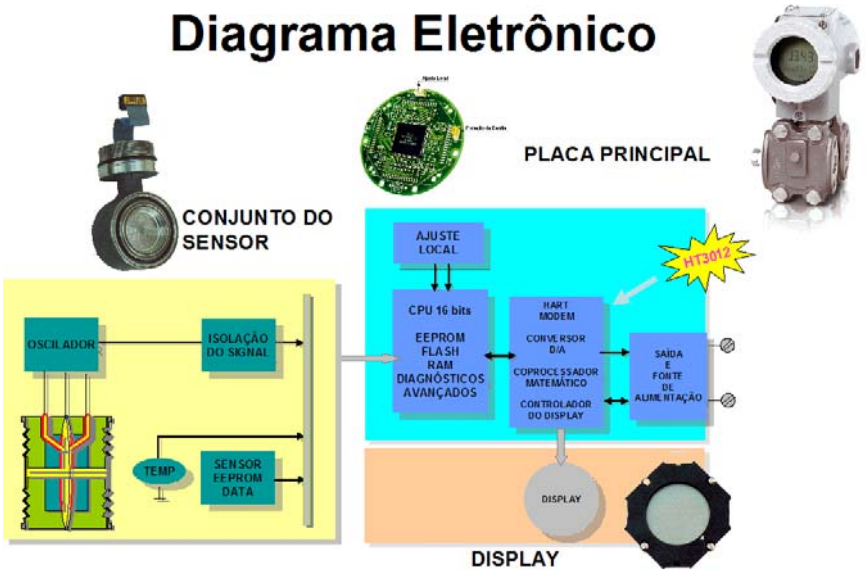


Figura 14 – LD400- Transmissor de Pressão HART/4-20mA com sensor capacitivo, placa eletrônica única.

Os transmissores de pressão microprocessados possuem a grande vantagem de permitirem uma melhor interação com o usuário, com interfaces amigáveis.Além disso, possuem características de auto-diagnose que facilitam a identificação de problemas.Com o advento das redes fieldbuses, pode-se agora extrair ao máximo os benefícios da tecnologia digital.Estes transmissores possuem melhor exatidão, uma estabilidade eletrônica superior aos modelos analógicos, além de facilitarem ajustes e calibrações.A tecnologia digital também permite que poderosos algorítimos possam ser implementados a favor da melhoria de performance e exatidão da medição e a monitoração online da vida do equipamento.

Exemplo de aplicações típicas com transmissor de pressão

A seguir vem exemplos típicos de aplicação com transmissor de pressão. Para mais detalhes sobre cada aplicação consulte a literatura disponível em www.smar.com.br. Vale a pena lembrar que a correta instalação garante o melhor aproveitamento dos equipamentos em termos de performance.

Medição de nível de líquidos

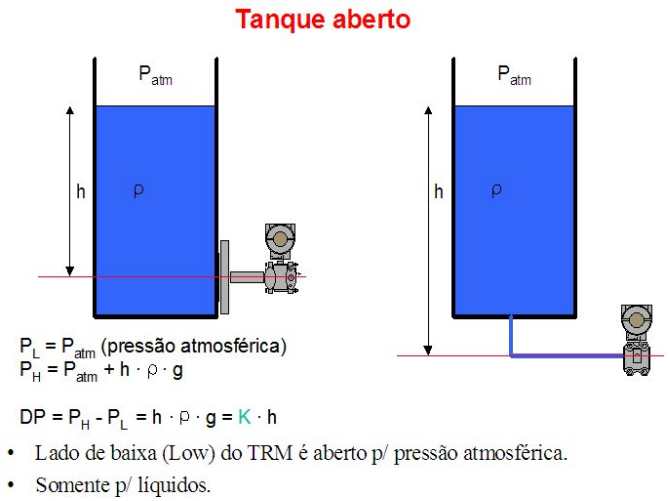


Figura 15 - Medição de nível em tanque aberto

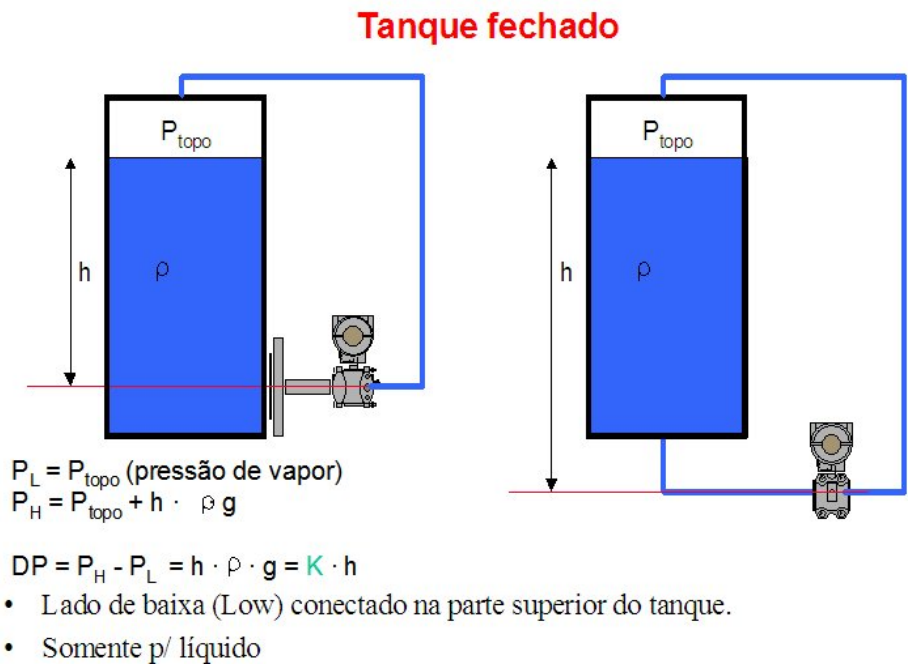


Figura 16 - Medição de nível em tanque fechado

Medição de vazão

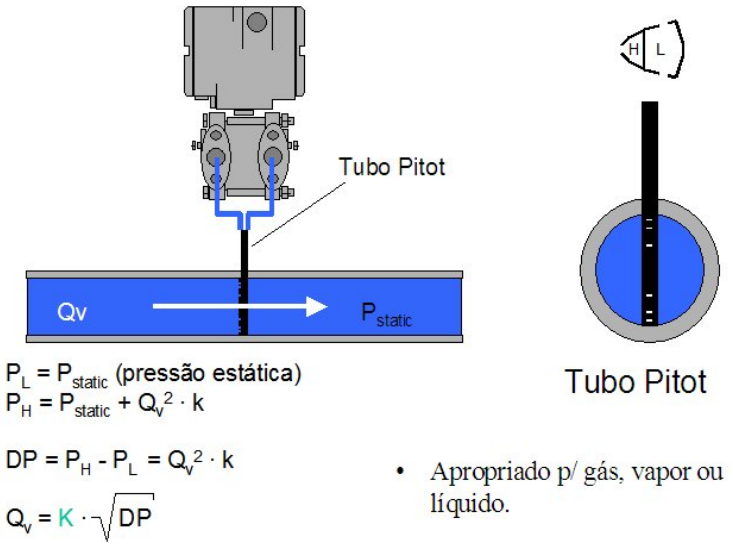


Figura 17 - Medição de vazão usando tubo de Pitot

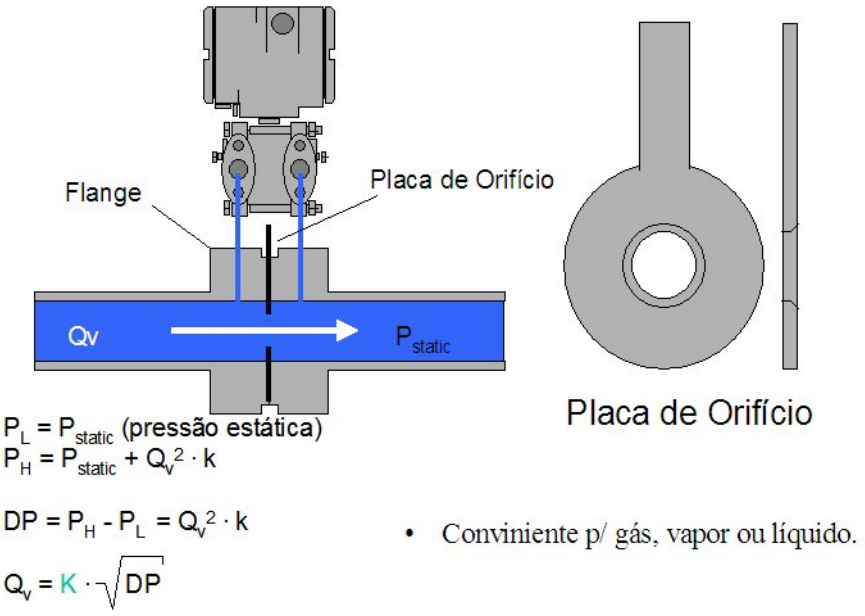


Figura 18 - Medição de vazão usando placa de orifício

Medição de densidade

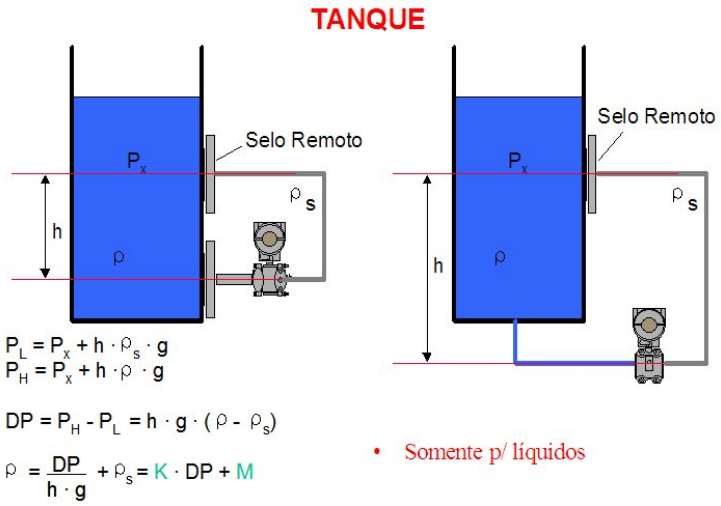


Figura 19 - Medição de densidade

Medição de volume e massa

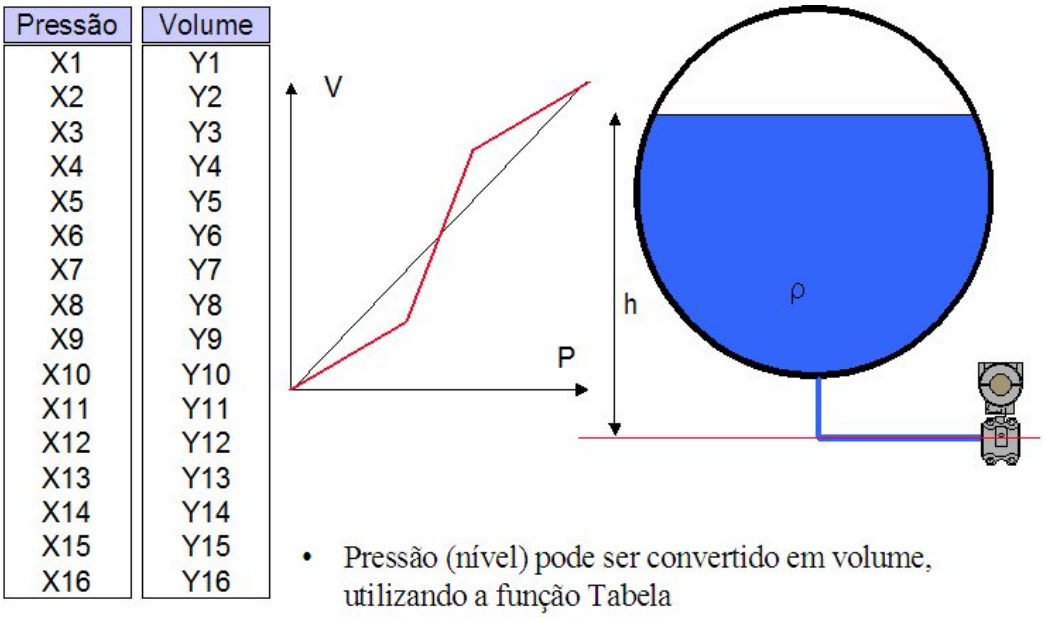


Figura 20 - Medição de volume

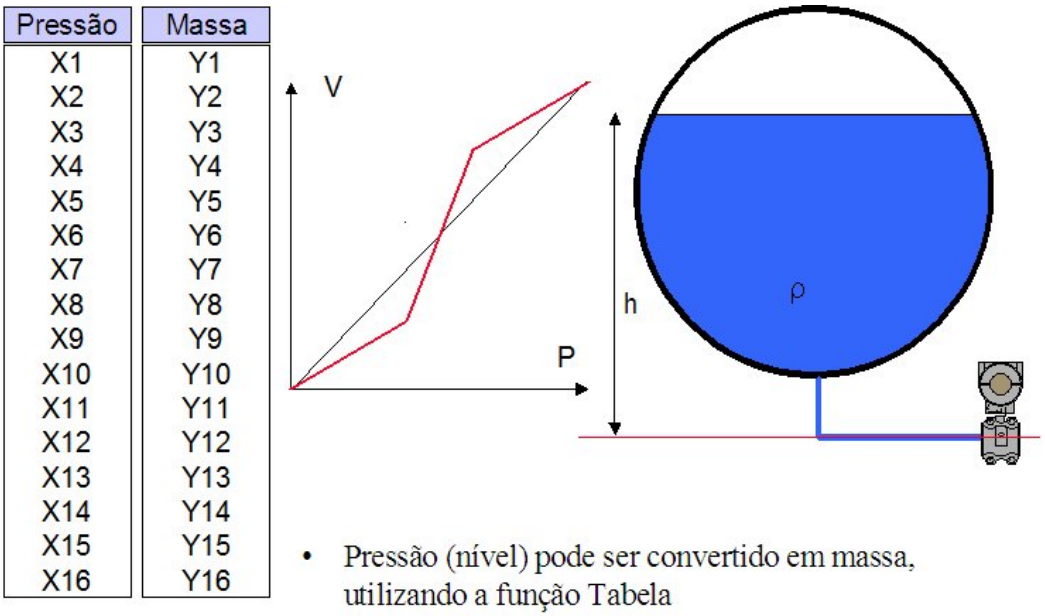
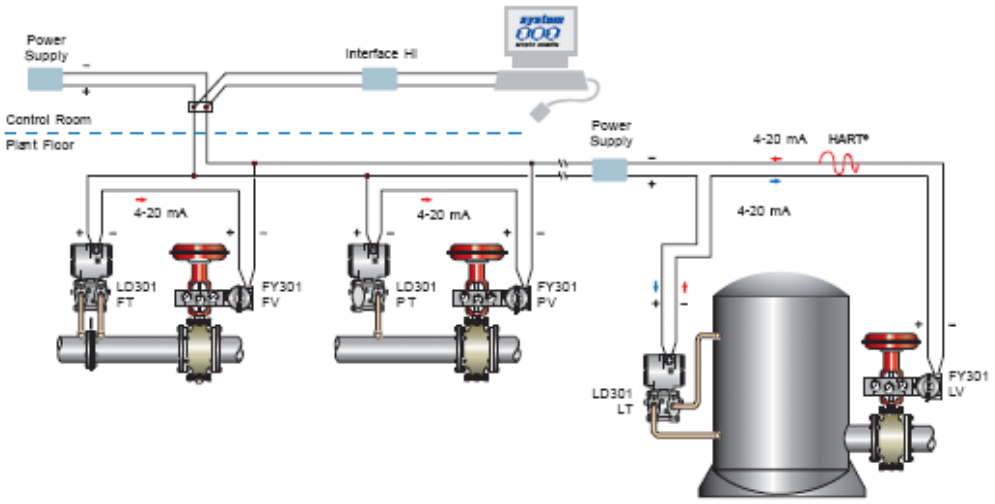


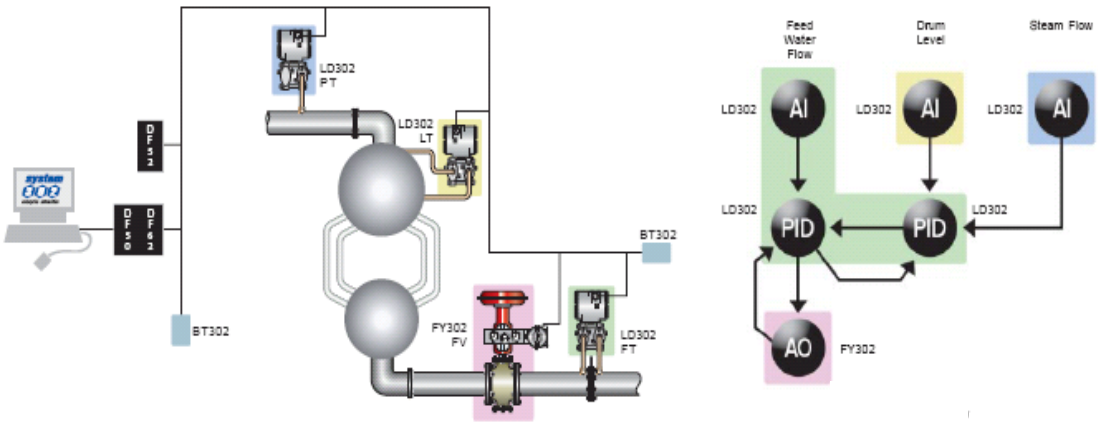
Figura 21 - Medição de massa

Aplicações com Protocolos

HART - LD301



FOUNDATION™ Fieldbus - LD302



PROFIBUS - LD303

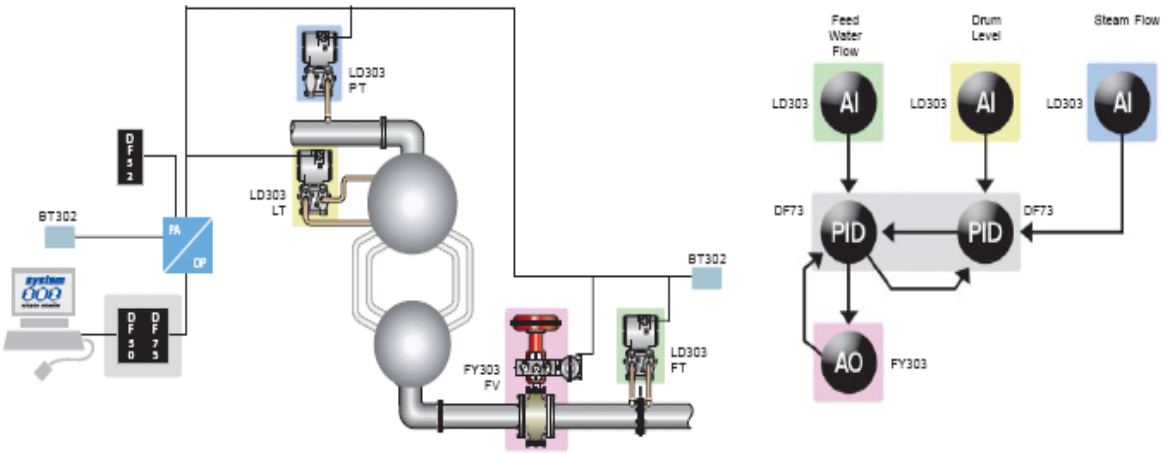
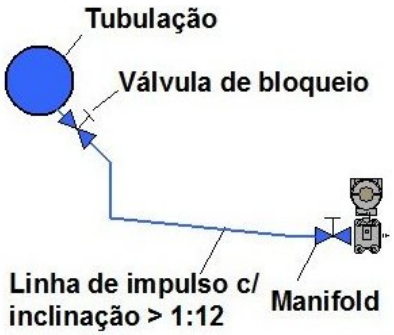


Figura 22– Algumas Aplicações com protocolos

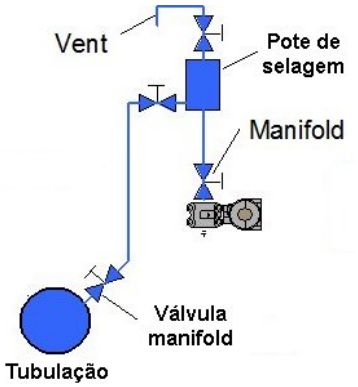
Dicas de instalação

Vejamos na figura 23 algumas dicas de instalação quando para se trabalhar com líquidos (a e b), gases (c e d) e vapores (e). Lembre-se que uma boa instalação de acordo com a aplicação é fundamental para se otimizar os benefícios de performance em qualquer equipamento de campo.

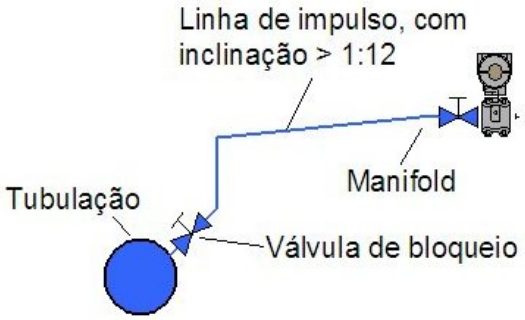
a. Instalação mais usual para líquidos



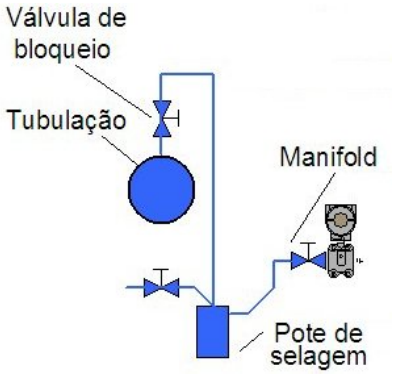
b. Instalação menos usual para líquidos



c. Instalação típica para gases



d. Instalação típica para gases com condensado



e. Instalação típica para vapores

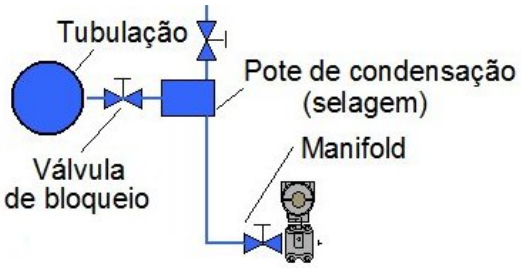


Figura 23 - Dicas de instalação para várias aplicações com transmissores

Acessórios na medição de pressão

Pela ampla gama de aplicações possíveis, há a necessidade de dispor de alguns acessórios no uso dos transmissores de pressão. Os mais comuns são os manifolds e os selos remotos, como podemos ver na figura 24 a seguir. Os selos remotos têm a função de transmitir a pressão de um ponto distante do sensor ou mesmo garantir condições adequadas à medição no que se refere à temperatura de processo. Os manifolds são pequenas válvulas usadas para facilitar nas operações de manuseio dos equipamentos, calibração e manutenção em geral.

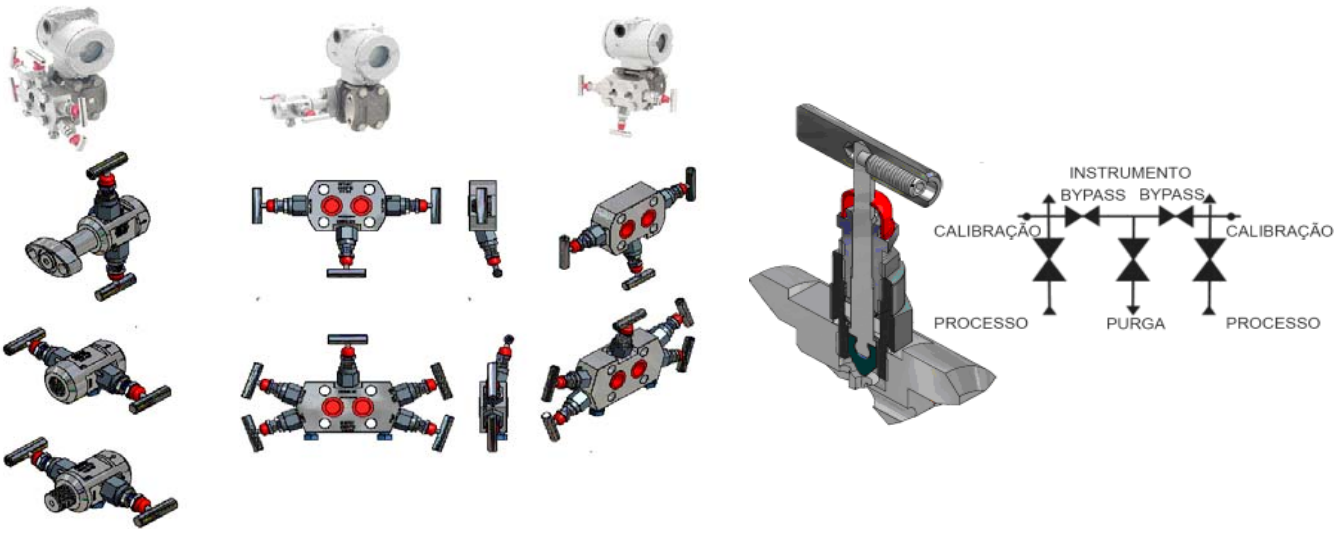


Figura 24 - Acessórios para várias aplicações com transmissores

O mercado mundial de transmissores de pressão

Hoje nos processos e controles industriais, somos testemunhas dos avanços tecnológicos com o advento dos microprocessadores e componentes eletrônicos, da tecnologia Fieldbus, o uso da Internet, etc., tudo facilitando as operações, garantindo otimização e performance dos processos e segurança operacional.Este avanço permite hoje que transmissores de pressão, assim como os de outras variáveis, possam ser projetados para garantir alto desempenho em medições que até então utilizam somente a tecnologia analógica.Os transmissores usados até então(analógicos) eram projetados com componentes discretos, susceptíveis a drifits devido à temperatura, condições ambientais e de processo, com ajustes constantes através de potenciômetros e chaves. Com o advento da tecnologia digital, a simplicidade de uso também foi algo que se ganhou.

Os transmissores de pressão são amplamente utilizados nos processos e aplicações com inúmeras funcionalidades e recursos.Como podemos ver na figura 25, a grande maioria dos processos industrias envolvem medições de pressão, lembrando ainda, que pressão é uma grandeza básica para a medição e controle de vazão, nível e densidade, etc. Segundo a ARC – Advisory Group, o mercado mundial de transmissores de pressão em 2006 foi de U$1.8 bilhões e tem como previsã ultrapassar U$2.3 bilhões até 2011. Este crescimento se dará principalmente devido ao crescimento asiático e pela natrueza da atualização de equipamentos antigos e ultrapassados no mercado de forma geral.

Ainda vale citar os transmissores para aplicações SIS, Sistema Instrumentado de Segurança, assim como os transmissores wireless que começam a ser utitlizados em algumas aplicações.

A Smar está finalizando o desenvolvimento do seu transmissor de pressão *SIS* e ainda seu transmissor de pressão *Wireless* e em breve os disponibilizará ao mercado.

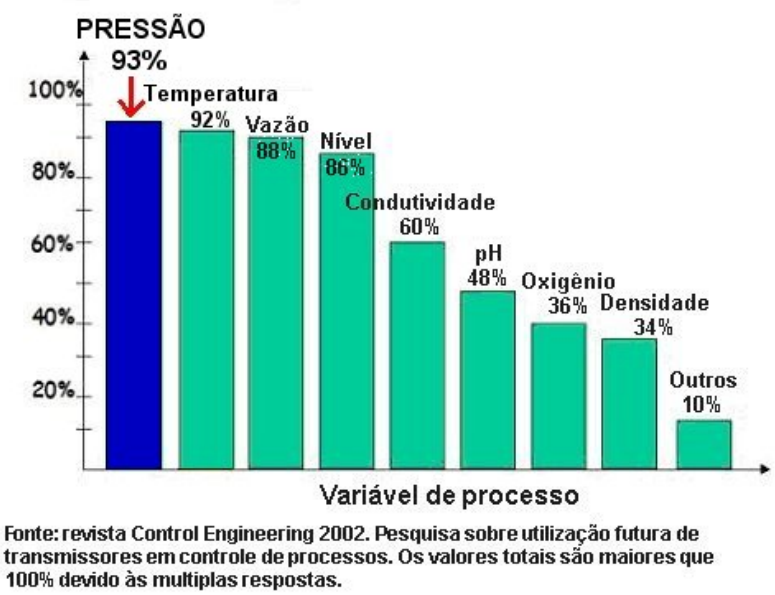


Figura 25 - Previsão de uso de transmissores de pressão na indústria

Como especificar Transmissores de Pressão

Especificações incompletas ou mesmo com dados inconsistentes são bastante comuns na documentação para compra de transmissores de pressão. A primeira vista parecem ítens simples de projeto, porém são muitos os detalhes que, se não corretamente especificados, poderão gerar um prejuízo na hora da montagem ou mesmo durante a operação, podendo este ser maior que os valores dos equipamentos envolvidos.

Este tópico procura esclarecer algumas questões fundamentais no processo de especificação de transmissores de pressão. Vale lembrar que é importante ter os seguintes conhecimentos:

- princípios físicos da medição de pressão;
- tipos de pressão que podem ser medidas;
- sensores e seu funcionamento;
- instrumentação industrial;
- instalação e cuidados na operação e manutenção;
- principais aplicações.

- **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).

Vale ressaltar que as medições de pressões abaixo da atmosférica não necessariamente requerem transmissores de pressão absoluta. Os transmissores de pressão absoluta são recomendados apenas quando se quer 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 pode-se usar sem problemas transmissores de pressão manométrica.

- **Para que medir pressão ?**
  Em geral mede-se pressão para
  - Controle ou monitoração de processos;
  - Proteção (segurança);
  - Controle de qualidade;
  - Transações comerciais de fluidos(transferências de custódia, medição fiscal);

- Estudos e pesquisas;
- Balanços de massa e energia.

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

- **Qual é o fluído do processo?**

O fornecedor deverá ser informado das características do fluído. 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 fluído de processo são fundamentais na escolha do transmissor:

- 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).

- **Opcionais ?**

Alguns opcionais podem ser incluídos no fornecimento dos transmissores:

- Indicador local➔ Esse item não tem um custo muito alto e é muito útil, pois não só permite a leitura da variável em unidades de engenharia (kgf/cm^2, bar, mmH_2O, Pa, psi, etc) como também facilita a configuração do transmissor quando não se dispõe de um configurador.
- Manifold ➔ A compra casada (transmissor + manifold) traz vantagens comerciais e evita qualquer incompatibilidade técnica na montagem.
- Suporte para tubo de 2" ➔ Esse item é quase obrigatório. Alguns suportes permitem também a montagem em superfícies planas. Recomenda-se especificar o suporte com pelo menos os parafusos e porcas em aço inox , garantindo-se uma melhor resistência à atmosferas corrosivas.
- Prensa-cabos➔ Esse item pode ser encomendado junto com o transmissor. Recomenda-se porém, incluí-lo na compra do material de montagem, garantindo a compatibilidade com a bitola do cabo a ser utilizado.

- **Protocolo de comunicação?**

Os protocolos de comunicação mais comuns são:

- 4-20 mA + HART
- Foundation Fieldbus
- Profibus PA

Alguns fabricantes oferecem ao mercado, transmissores que com a simples substituição da placa de circuito eletrônico ou apenas do firmware, o transmissor muda sua versão de protocolo. Podendo ser usado em sistemas distintos.

Os fabricantes também fornecem junto com os transmissores, CD's com todos os arquivos (DD's e DTM's) de seus transmissores, garantindo a comunicação e interoperabilidade com os diversos sistemas de controle do mercado.

- **Ferramentas especiais?**

Para os transmissores com protocolo Foundation Fieldbus ou Profibus PA , não serão necessários configuradores portáteis uma vez que a própria ferramenta de configuração das redes, geralmente instalada nos computadores de supervisão ou em alguma estação de engenharia, é também capaz de acessar e configurar os instrumentos. Para os projetos convencionais (4-20mA + HART), recomenda-se a aquisição de configurador portátil (hand held). Em alguns transmissores, a configuração poderá ser feita diretamente nos instrumentos, com uso de recursos como chave magnética ou botoeiras locais.

- **Pré – configurações?**

Nos transmissores convencionais (4-20mA + HART) é possível solicitar ao fabricante, em geral sem custos adicionais, algumas pré-configurações:

- Extração de raiz quadrada;
- Faixa calibrada;
- Indicação no display em unidades de engenharia (pressão);
- Indicação no display em unidades especiais, por exemplo: m^3/h , l/h, m^3 . Nesse caso deve-se

informar previamente a unidade e a escala.

- **Certificações?**

É comum o usuário solicitar ao fabricante, certificados de calibração emitidos por laboratório rastreado pela RBC . Os fabricantes sempre fornecem certificados padronizados que são gerados e emitidos durante a fase de fabricação dos instrumentos. Outros certificados de calibração, quando emitidos por laboratório de metrologia rastreado pela RBC, podem demandar em maior prazo de entrega e em geral resultam em custos adicionais.

Outra certificação importante deve ser observada quando se usa transmissores em área classificadas. Os projetos de instrumentação para esses casos adotam normas atendendo: prova de explosão, segurança aumentada ou segurança intrínseca. Os certificados são distintos e é responsabilidade do usuário sua correta utilização.

O mesmo vale para SIS, Sistemas Instrumentados de Segurança. Um transmissor de pressão especificado para áreas críticas, isto é, para a função de segurança, é um equipamento projetado com probabilidades de falhas baixas e alta confiabilidade de operação. No mercado existem dois conceitos.Um que é o baseado no "Prove in Use" e outro baseado na certificação da IEC 61508. Tem-se visto na prática em muitas aplicações a especificação de equipamentos com certificação SIL para serem utilizados em sistemas de controle, e sem função de segurança. Acredita-se também que exista no mercado desinformação, levando a compra de equipamentos mais caros, desenvolvidos para funções de segurança, onde na prática serão aplicados em funções de controle de processo, onde a certifição SIL não traz os benefícios esperados, dificultando inclusive a utilização e operação dos equipamentos.

Os Sistemas Instrumentados de Segurança (SIS) são os sistemas responsáveis pela segurança operacional e que garantem a parada de emergência dentro dos limites considerados seguros, sempre que a operação ultrapassa estes limites.O objetivo principal é se evitar acidentes dentro e fora das fábricas, como incêndios, explosões, danos aos equipamentos, proteção da produção e da propriedade e mais do que isto, evitar riscos de vidas ou danos à saúde pessoal e impactos catastróficos para a comunidade.

Nenhum equipamento é totalmente imune a falhas e sempre deve proporcionar mesmo em caso de falha, uma condição segura.

Os transmissores certificados de acordo com a IEC 61508 devem tratar basicamente 3 tipos de falhas: falhas de hardware randômicas, falhas sistemáticas, falhas de causas comuns.

O que o usuário deve saber sobre Transmissores com certificação SIL e por que eles não são a melhor opção para controle e monitoração?

- Nenhuma mudança de configuração, simulação, multidrop ou teste de loop pode ser feita com o equipamento em operação normal (isto é, exigindo segurança). Nestas condições a saída não está em condição de ser avaliada seguramente. Ou seja, um equipamento HART/4-20mA com certificação SIL2, não estará com nível SIL caso a comunicação HART esteja habilitada e possibilitando escritas.
- Na condição segura deve estar com a proteção de escrita desabilitada;
- Nenhum ajuste local pode ser realizado(Ajuste local deve ser desabilitado);
- Nada é totalmente seguro. O que se busca é reduzir a probabilidade de ocorrência de falhas.
- Em caso de falha , esta deve ser segura, isto é, ela pode ser identificada e permitir ações corretivas.

- **Conexões especiais?**

Em aplicações com fluídos agressivos, temperatura ou viscosidade alta, sólidos em suspensão, recomenda-se o uso de transmissores com selos remotos ou integrais (os transmissores com selos integrais são chamados de transmissores de nível). Deve-se, sempre que possível, evitar o uso de selos, pois estes degradam a exatidão da medição, aumentam o tempo de resposta do transmissor e sofrem grande influência da temperatura ambiente. A calibração de transmissores com selos remotos requer cuidados especiais, pois não só a posição do transmissor, mas a densidade do fluido de enchimento são fatores a serem considerados.

Os selos com conexões flangeadas deverão ser compatíveis com os flanges de processo e respeitar as classes de pressão estabelecidas nas tabelas de pressão e temperatura das respectivas normas.

- **Faixa de pressão / rangeabilidade?**

Os fabricantes adotam uma terminologia padronizada que precisa ser conhecida:
- URL ➔ Limite superior para a faixa de calibração;
- LRL ➔ Limite inferior para a faixa de calibração (em geral LRL = - URL);

- URV➔ valor superior da faixa calibrada (deverá ser menor ou igual à URL);
- LRV ➔ valor inferior da faixa calibrada (deverá ser maior ou igual à LRL);
- SPAN ➔ URV – LRV (deverá ser maior que o SPAN mínimo do instrumento);

A relação URL / SPAN mínimo define a rangeabilidade do instrumento.

Os catálogos dos fabricantes em geral mostram os valores de URL , LRL, e SPAN mínimo para as diversas faixas dos transmissores. Pode-se observar que o SPAN mínimo de uma determinada faixa será sempre maior que o URL da faixa imediatamente inferior .

Por exemplo :

Faixa 4 ➔ URL : 25 kgf/cm^2 ; Span mínimo : 0,21 kgf/cm^2; limites de sobrepressão ou pressão estática: 160 kgf/cm^2
Faixa 5 ➔ URL : 250 kgf/cm^2 ; Span mínimo : 2,1 kgf/cm^2; limites de sobrepressão ou pressão estática: 320 kgf/cm^2

Para uma aplicação com faixa calibrada : 0 a 20 kgf/cm^2, é possível usar o faixa 4 ou mesmo o faixa 5. Deve-se entretanto escolher sempre o de faixa inferior. Todas as especificações de estabilidade, efeito da temperatura, efeito da pressão estática são determinados com valores percentuais de URL . Um exceção para essa escolha se dá quando os limites de sobrepressão ou pressão estática podem ser atingidos. No exemplo acima esse limite é de 160 kgf/cm^2 para o faixa 4 e 320 kgf/cm^2 para o faixa 5.

- **Recursos funcionais**

Alguns transmissores possuem recursos funcionais bastante interessantes. Para os transmissores com protocolo Foundation Fieldbus , é importante conhecer a biblioteca de blocos funcionais disponível. O usuário deve se informar não apenas sobre a diversidade desses blocos, como também sobre a política de comercialização desses recursos. Alguns fabricantes fornecem o instrumento com alguns blocos básicos e cobram adicionais para inclusão de blocos avançados. Importante é também se informar sobre a quantidade de blocos que podem ser processados em um único transmissor. Este limitante pode ser crítico em projetos com malhas de controle mais complexas.

Para os transmissores convencionais (4-20 mA + HART) é possível também o uso de funcionalidades adicionais:

- Controle PID

Nessa configuração o transmissor realiza o algoritmo PID , comparando a variável do processo com um setpoint pré ajustado e gera o sinal de saída de corrente para conexão direta ao posicionador da válvula de controle. Esse recurso é válido para malhas simples de controle e que não necessitam de intervenções do operador (sempre em automático com set point constante).

- Totalização de vazão

O transmissor de pressão diferencial quando usado em medições de vazão pode ser configurado para indicação local da vazão totalizada, além da instantânea.

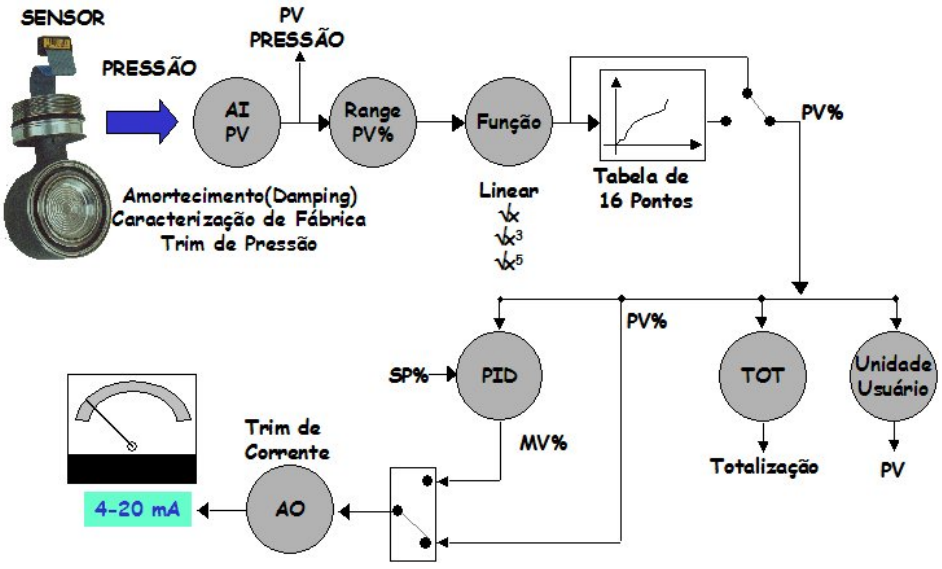


Figura 26 - Diagrama de blocos e funções de transmissor de pressão 4-20mA+HART

A performance estática ou exatidão(muitas vezes confundida com precisão, onde exatidão está associada à proximidade do valor verdadeiro e precisão à dispersão dos valores resultantes de uma série de medidas) de um transmissor de pressão depende de quão bem calibrado é o transmissor e quanto tempo ele pode manter sua calibração.

A calibração de um transmissor de pressão envolve o ajuste de zero e span.A exatidão normalmente inclui efeitos de não-linearidade, histerese e repetibilidade.

Normalmente a exatidão é dada em % do span calibrado.

Alguns conceitos importantes

Usualmente a relação entre entrada e saída de um transmissor de pressão é predominantemente linear(Y = ax + b), onde a é conhecido como ganho e o b é o zero ou offset, como podemos ver na figura 27.

Range: é a faixa de medição, compreendendo da mínima até a máxima pressão que o transmissor pode medir, por exemplo, 0 a 5080 mmH_2O. O Span máximo é 5080 mmH_2O.

Zero: é a menor pressão na qual o transmissor foi calibrado.

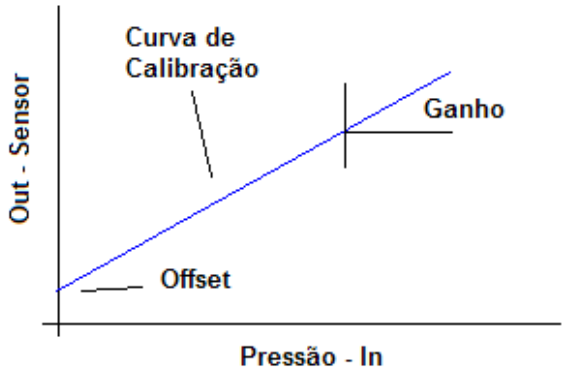


Figura 27 – Curva de Calibração de um Transmissor de Pressão

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.

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 é conhecida como span, por exemplo, de 500 a 3000 mmH_2O, onde o span é de 3000-500 = 2500 mmH_2O. O Span é igual a URL – LRL.

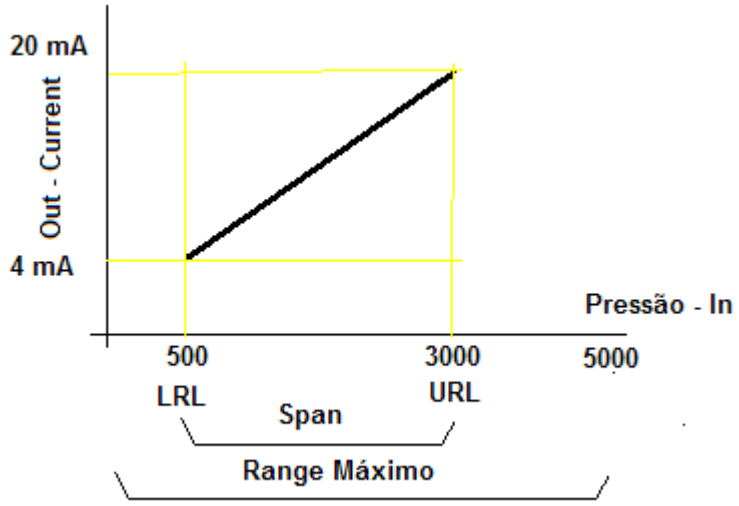


Figura 28 – Terminologia de Calibração

Supressão de Zero(é a quantidade com que o valor inferior supera o valor zero da pressão): a supressão acontece quando o transmissor indica um nível superior ao real.Em medições de nível, por exemplo, onde o transmissor não está instalado no mesmo nível que sua tomada de alta e há então a necessidade de compensação da coluna de líquido na tomada do transmissor. Este tipo de instalação é requisitado onde se tem o transmissor a um nível inferior, que muitas vezes é na prática a maneira preferencial por facilitar acesso, visualização e manutenção.Neste caso, uma coluna líquida se forma com a altura do líquido dentro da tomada de impulso e o transmissor indicará um nível superior ao real.Isto deve ser considerado. É o que chamamos de Supressão de Zero.

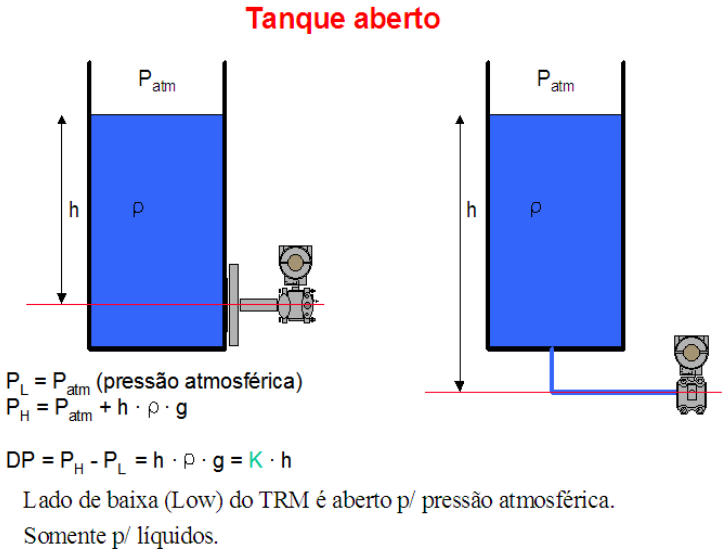


Figura 29 – Medição indireta utilizando transmissor de pressão diferencial em tanques abertos – Supressão de Zero.

Elevação de Zero(é a quantidade com que o valor zero de pressão supera o valor inferior): de acordo com a Figura 30, onde se pode ter o tanque fechado e o transmissor de pressão diferencial localizado abaixo de sua tomada Hi e não há selagem liquida na tomada de Low, é necessária a compensação da coluna de liquido aplicada na tomada Hi, fazendo-se a Supressão de Zero. No caso onde existe a selagem liquida na tomada de pressão baixa(low), é necessária a compensação da coluna de liquido aplicada na tomada Hi e na tomada Low.É o que chamamos de Elevação de Zero.

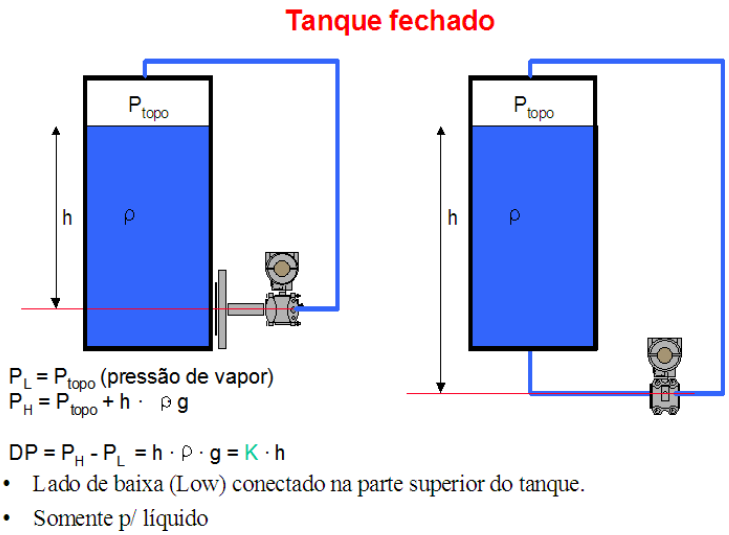


Figura 30– Medição indireta utilizando transmissor de pressão diferencial em tanques abertos – Elevação de Zero.

Desvio de Zero(Zero Shift): este é um erro constante em todas as medições.Pode ser positivo ou negativo. Pode acontecer por várias razões, como por exemplo mudanças de temperaturas, choque mecânico, diferenças de potenciais, aterramento inadequado, etc.Vide figura 5.

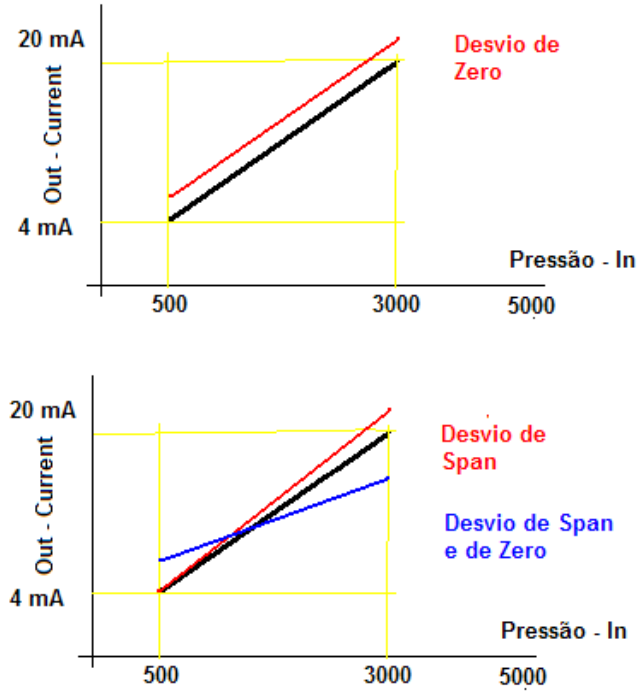


Figura 31– Desvio de Zero e Desvio de Span

Desvio de Span(Span Shift): uma mudança na derivada da relação entrada/saída é referida como desvio de span.Um erro de span pode ou não ser acompanhado por um erro de offset.Tipicamente, erros de calibração envolvem somente erros de span e são menos comuns que erros que envolvem erros no span e no zero ao mesmo tempo.Na grande maioria dos casos os erros em transmissores são desvios de zero.Vide figura 31.

Histerese: é o fenômeno no qual a saída do transmissor de pressão difere da mesma entrada aplicada dependendo da direção em que é aplicado o sinal de entrada, isto é, se ascendente ou

descendente.Normalmente a calibração de um transmissor de pressão é feita usando-se a sequência: 0, 25, 50, 75, 100, 75, 50, 25 e 0% do span.Vide figura 32.

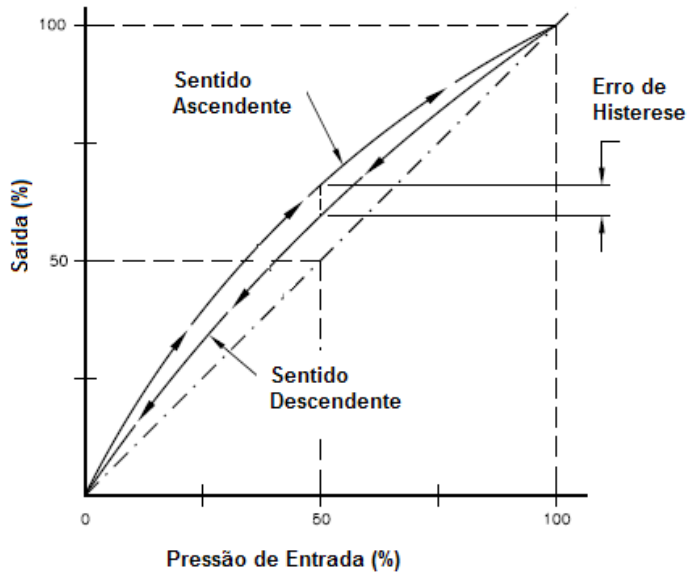


Figura 32– Histerese

Repetibilidade: é o desvio percentual máximo com o qual uma mesma medição é indicada, sendo todas as condições reproduzidas extamente da mesma maneira.

Turndown(TD) ou Rangeabilidade: é a relação entre a máxima pressão(URL) e a mínima pressão medida(span mínimo calibrado). Por exemplo, um transmisssor tem o range de 0-5080 mmH_2O e vai ser usado em 10:1, isto significa que transmissor irá medir de 0 a 508 mmH_2O. TD = URL/Span Calibrado.

Erro Total Provável(ETP): todos os transmissores independentes de fabricantes possuem um erro que depende de vários pontos. Este erro é conhecido como Erro Total Provável(ETP). Este erro depende de certas condições:

- Variação da temperatura ambiente;
- Pressão estática;
- Variação da tensão de alimentação;
- Span Calibrado;
- URL do Transmissor;
- Range do Transmissor;
- Material de Construção;
- Etc.

O ETP tem a seguinte fórmula:

$$ETP^2 = Acc^2 + ZeroStaticErr^2 + SpanStaticErr^2 + TempErr^2 + VSErr^2 + StabilityErr^2 ....$$

Acc = Exatidão
ZeroStaticError = Erro no Zero devido a influência da pressão estática
SpanStaticError = Erro no Span devido a influência da pressão estática
TempErr = Erro devido a variação de temperatura
VSErr = Erro devido a variação da tensão de alimentação
StabilityErr = Erro de estabilidade

Conclusão

Este artigo nos mostrou um pouco da história da medição de pressão, sua importância na automação e controle de processos, peculiaridades e características de alguns tipos de sensores, aliados aos avanços tecnológicos nos transmissores de pressão.Vimos também um pouco sobre o mercado e sua tendência de crescimento e os cuidados referentes às instalações, às especificações e terminologias adotadas para transmissores.

Sobre o autor

Engº César Cassiolato, Engenheiro Eletricista graduado pela USP, trabalha há quase 12 anos na Smar Equipamentos Industriais, em Sertãozinho, SP. Atualmente, é Diretor de Marketing, Qualidade, Assistência Técnica e Instalações. É o atual Presidente da Associação Profibus América Latina.

Referências

- Controle&Instrumentação Edição 93, Transmissores de Pressão, 2004, César Cassiolato.
- Controle&Instrumentação Edição 106, O Brasil quebrando as barreiras tecnológicas com a inovação – Transmissores de Pressão, 2005, César Cassiolato.
- Intech Edição 74 , Transmissores de Pressão: sensores, tendências, mercado e aplicações, César Cassiolato, 2005
- Especificando Transmissores de Pressão, César Cassiolato e Francisco Julião, 2006.
- Controle&Instrumentação Edição 113, Alguns importantes conceitos em transmissores de Pressão, 2006, César Cassiolato.
- Intech Edição 93 , Medição de Pressão-Tutorial, 2007
- Manuais de Operação e Treinamento dos transmissores de pressão Smar: LD301, LD302 , LD303 e LD400
- Apresentações Transmissores de Pressão, César Cassiolato, 2001-2008.
- www.smar.com.br

Declaração de copyright

Todas as ilustrações, marcas e produtos mencionados neste artigo pertencem aos seus respectivos proprietários, assim como qualquer outra forma de propriedade intelectual, sendo usadas estritamente em caráter educacional.