

INSTRUMENTAÇÃO E CONTROLE

PROFESSOR: Geronimo Virginio Tagliaferro

Ementa:

- Introdução
- Histórico
- Automação, controle de processo.
- Instrumentos para controle de processos:
 - Classificação dos instrumentos
 - Símbolos gráficos e Identificação dos instrumentos
 - Instrumentos de pressão
 - Instrumentos de temperatura
 - Instrumentos de nível
 - Instrumentos de vazão (Magnéticos, coriolis, etc)
 - Elemento final de controle (válvula automática)
 - Controladores

Histórico

- **Primeira revolução industrial ocorreu no fim do século XIX (Mecanização)**
- **1940 – Segunda revolução industrial, desenvolvimento de equipamentos e processos de maior performance. Primeiros controladores elementares.**
- **1960 – Teoria de controle e análise dinâmica passou a ser aplicada em plantas de processos industriais.**
- **1970 à 1980, a teoria de controle evoluiu para a melhoria e o refinamento do controle (computadores digitais – DDC controle digital direto).**
- **Métodos para identificação, otimização, controle avançado e controle estatístico de processos.**
- **1990 – Sistemas especialistas, controladores baseados em lógica difusa e em redes neurais.**
- **Os instrumentos também foram evoluindo.**
- **1940 – Instrumentos pneumáticos (transmissão de sinais). Possibilitou a concentração de controladores em uma única área.**
- **1950 – 1960 Instrumentos eletrônicos analógicos**
- **1970 – 1980 Instrumentos e sistemas digitais elevaram o grau de automação**

AUTOMAÇÃO: O dispositivo automático observa sempre o resultado do seu trabalho e dá a informação ao dispositivo principal (essa ação refletiva chama-se realimentação ou feedback). Este último compara a informação com um objetivo desejado, e, se existir a diferença entre os dois, atua no sentido de diminuí-la para o mínimo valor possível. Pode-se dizer, portanto, que a noção fundamental da automação é radicada no feedback.

Automação:

- Regulação automática: Trata do estado qualitativo do material.
- Automatização da produção: Trata da forma externa ou dimensão geométrica do material (máquinas motrizes).
- Computadores.

Na indústria controla-se indiretamente a qualidade do material através das variáveis mais importantes dos processos, a saber: Pressão, temperatura, vazão, nível, densidade, peso e outras variáveis.

Vantagens: Melhoria na qualidade do produto (uniformidade), produtividade, segurança, diminui a ação manual.

PROCESSO

Nas indústrias, o termo processo tem um significado amplo. Uma operação unitária, como, por exemplo, destilação, filtração ou purificação, é considerada um processo.

Mas, na regulação, um pedaço de tubo onde passa um fluxo ou um reservatório contendo água, ou seja, o que for, denomina-se processo.

Isto quer dizer que um processo é uma operação onde varia pelo menos uma característica física ou química de um determinado material.

- **Indústria de processamento contínuo**

- Variáveis contínuas no tempo, ex: indústrias petrolíferas, químicas, papel e celulose, alimentícia, cimenteira, metalúrgica, de tratamento de água, entre outras.

- **Indústria de processamento discreto, ou manufaturas**

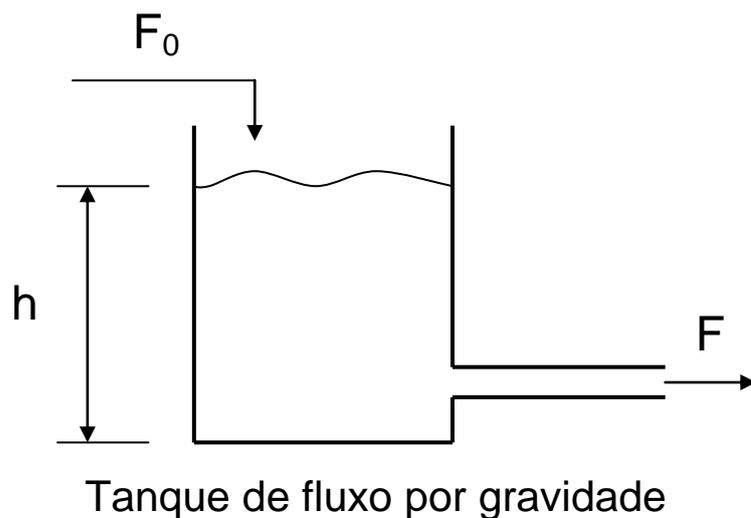
- Variáveis discretas no tempo, a produção é medida em unidades produzidas, tais como: Indústrias automobilísticas, entre outras.

Como exemplo, vamos descrever um processo industrial do tipo contínuo, incluindo a sua dinâmica e seu controle.

1 - Tanque de fluxo por gravidade

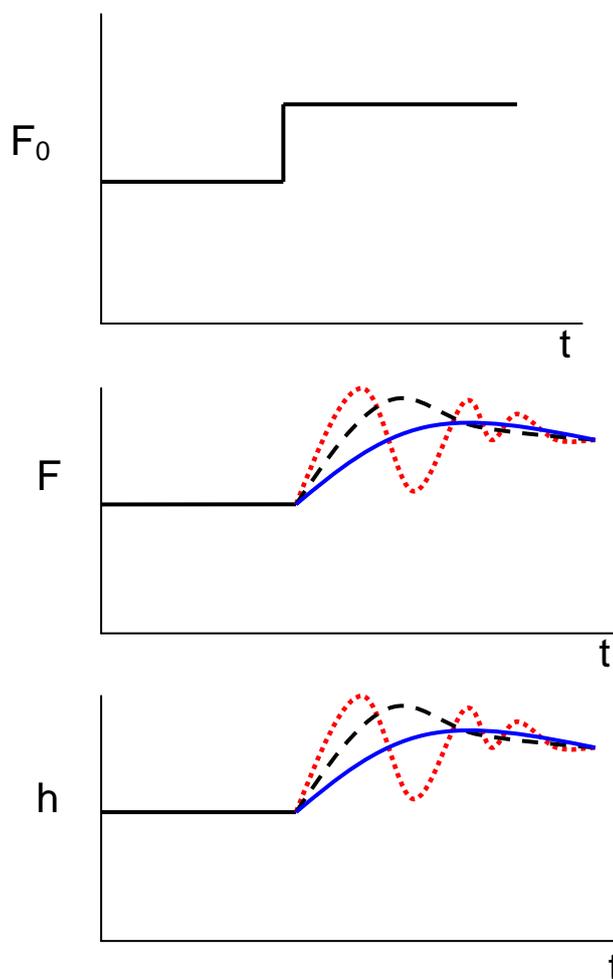
A figura abaixo mostra um tanque aberto para atmosfera onde um líquido incompressível (densidade constante) é bombeado a uma vazão F_0 (m^3/s), variante com o tempo de acordo com as condições de alimentação. A altura do líquido na vertical do tanque é chamada de nível, sendo representada por h (m). A vazão de saída do tanque é F (m^3/s), que escoar através de uma tubulação.

Em regime permanente: $F_0 = F$ e h mantém constante.



- Perturbação na vazão de entrada:

Aumentar o F_0 , os valores de h e F irão variar, mas de que forma?



Possíveis respostas do tanque a um aumento em degrau na vazão de entrada.

Com um sobre passo muito grande, o líquido poderá transbordar.

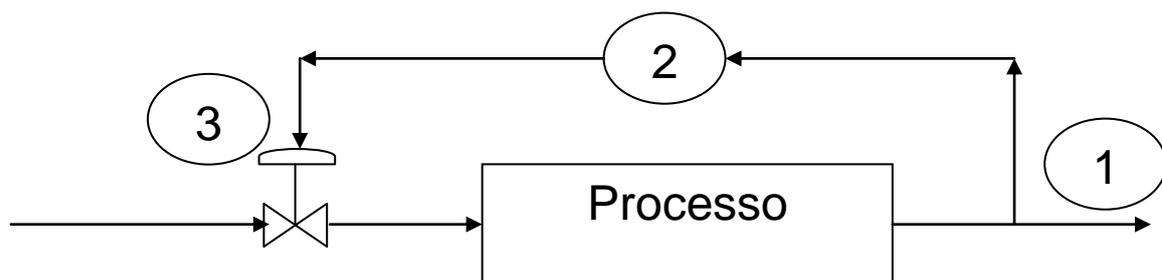
Com um tempo muito grande para se atingir um novo ponto de equilíbrio, poderá resultar em um produto fora das especificações de qualidade desejada.

O estudo do comportamento dinâmico dos processos é essencial para que, a partir de seu conhecimento, sejam encontradas formas de controlar o processo, levando as variáveis que se quer controlar a valores preestabelecidos.

Dinâmica: Comportamento de um processo depende do tempo. O comportamento sem controladores no sistema é chamado de **reposta em malha aberta**.

Os elementos da regulação automática

1. Tomada de impulso
2. Regulador (controlador)
3. Válvula automática



Variáveis

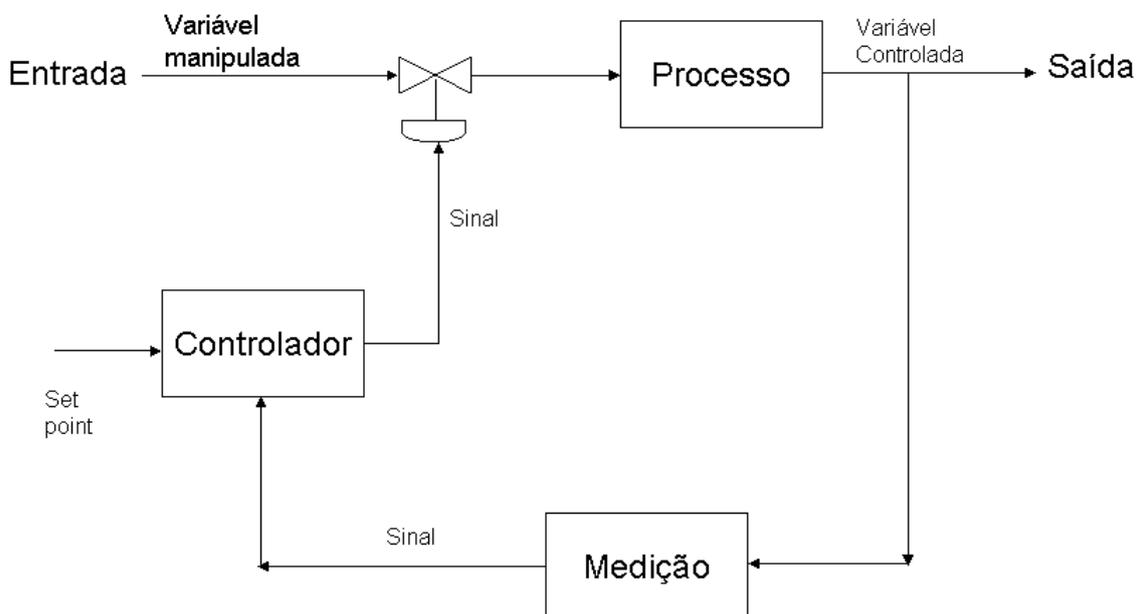
Variáveis de entrada: Pressões, temperaturas, vazões, entre outras, dos fluxos de entrada dos processos. Também serão

utilizadas como **variáveis manipuladas**, isto é, aquelas que iremos variar para controlar o sistema.

Variáveis de saída: por exemplo, vazões, composições químicas, fluxos de saída ou dentro dos processos. Serão as **variáveis controladas**, isto é, aquelas que queremos controlar.

CONTROLE À REALIMENTAÇÃO (FEEDBACK)

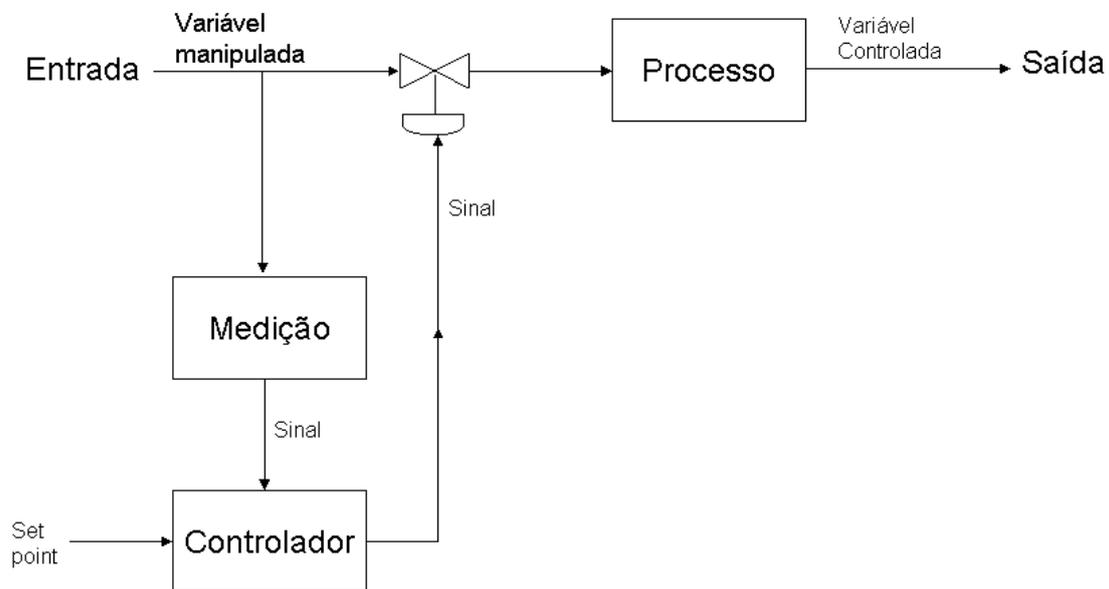
A maneira tradicional de se controlar um processo é medir a variável a ser controlado, comparar o seu valor com o **valor de referência**, ou **set point** do controlador, e alimentar a diferença, o **erro**, em um controlador que mudará a variável manipulada de modo a levar a variável medida (controlada) ao valor desejado. Neste caso, a informação foi realimentada da saída, subtraída do valor de referência para, então, alterar a variável manipulada de entrada, como mostrado na figura abaixo.



Controle à realimentação

CONTROLE ANTECIPATIVO (FEEDFORWARD)

Esta estratégia foi difundida posteriormente à realimentação negativa e se aplica a processos com grandes atrasos. A técnica consiste em detectar o distúrbio assim que este ocorre no processo e realizar a alteração apropriada na variável manipulada, de modo a manter a saída igual ao valor desejado. Desta forma, a ação corretiva tem início assim que o distúrbio na entrada do sistema for detectado, em vez de aguardar que o mesmo se propague por todo o processo antes de a correção ser feita, como ocorre na realimentação.



Controle antecipativo

Exercícios:

- 1) O que é automação e quais as vantagens que ela oferece?
- 2) Quais os três elementos básicos da automação?
- 3) O que um é sistema em malha aberta?
- 4) Qual a diferença entre as variáveis controladas e manipuladas?
- 5) O que é controle a realimentação (feedback)?
- 6) O que é controle antecipativo (feedforward)?
- 7) O que é set point?
- 8) Descreva o princípio de funcionamento de um processo automático qualquer.

Instrumentos para controle de processos

Classificação dos instrumentos

As diversas funções necessárias ao correto funcionamento de uma malha de controle são desempenhadas por dispositivos chamados de instrumentos para controle de processos. De acordo com a função desempenhada, os instrumentos mais comumente encontrados numa malha de controle são:

Elemento primário ou sensor

Parte de uma malha ou de um instrumento que primeiro sente o valor da variável de processo.

Indicador

Dispositivo que apenas indica o valor de uma determinada variável de processo, sem interferir no processo.

Transmissor

Dispositivo que sente uma variável de processo por meio de um elemento primário e que produz uma saída cujo valor é geralmente proporcional ao valor da variável de processo. O elemento primário pode ser ou não parte integrante do transmissor.

Controlador

Dispositivo que por finalidade manter em um valor pré-determinado uma variável de processo.

Registrador

Dispositivo destinado ao armazenamento de valores (dados) de uma determinada variável de controle. Esta função anteriormente era realizada por meio do traçado de gráficos sobre o papel de forma contínua. Atualmente o armazenamento de tais informações é feito de modo digital.

Conversor

Dispositivo que emite um sinal de saída padronizado modificado em relação à natureza do correspondente sinal de entrada.

Válvula de Controle

É um elemento final de controle que manipula diretamente a vazão de um ou mais fluidos de processo.

Chave

Dispositivo que conecta, desconecta ou transfere um ou mais circuitos, manual ou automaticamente. Neste caso, atuado diretamente pela variável de processo ou seu sinal representativo. Sua saída pode ser para atuar em alarmes, lâmpadas-piloto, intertravamento ou sistema de segurança. As chaves não participam do controle contínuo das variáveis de processo.

Conforme a sua função, os instrumentos podem estar localizados no **campo** ou num **painel** dentro de uma sala de controle.

Exemplos de Instrumentos em malhas de Controle

Uma malha de controle é composta por sensor, um sensor, para detectar a variável de processo que se quer controlar; um transmissor, para converter o sinal do sensor em um sinal pneumático ou elétrico equivalente; um controlador, que compara o sinal do processo com o *set point* e produz um sinal apropriado de controle; e um elemento final de controle, que altera a variável manipulada. Normalmente o elemento final de controle é uma válvula operada através de um atuador pneumático que abre e fecha a válvula de modo a alterar o fluxo da variável manipulada. A figura abaixo mostra uma malha de controle de nível.

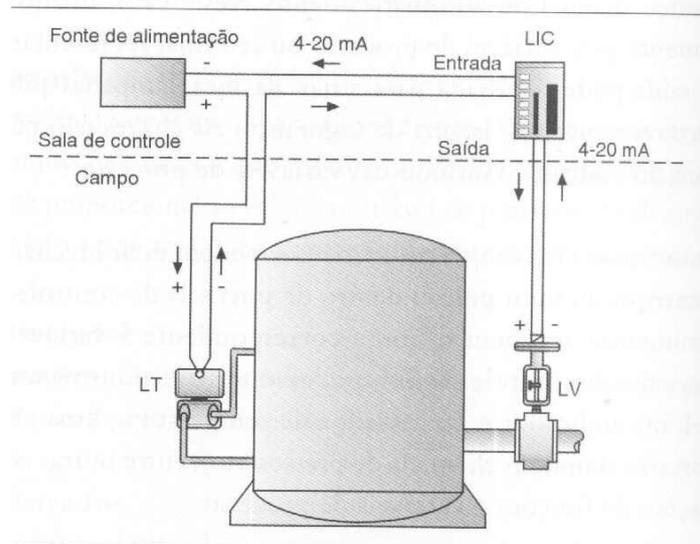


FIGURA 2.1 Malha de controle de nível

O sensor, o transmissor e a válvula de controle estão fisicamente localizados no campo, enquanto o controlador tradicionalmente fica localizado na sala de controle. A malha de controle é usualmente alimentada por fonte de 45 V_{CC}. O transmissor retorna, então, uma corrente que varia de **4 a 20 mA** em função da variável controlada do processo e esta corrente é aplicada à entrada do controlador. O controlador resolve o algoritmo de controle a ele incorporado levando em consideração o valor atual da variável controlada e do *set point* ajustado, fornecendo uma saída, também de **4 a 20 mA**, que irá variar a abertura da válvula de controle. Na válvula de controle um instrumento chamado **I/P** transforma a corrente de **4 a 20 mA** em sinal pneumático de 3 a 15 psig que fará com que o atuador pneumático movimente a haste da válvula, abrindo ou fechando a mesma, de modo a levar a variável controlada para o *set point*.

Na figura abaixo, mostra uma malha de controle inteligente com transmissor assumindo a função de controle. O transmissor recebe a informação do sensor, também chamado de elemento primário de medição, transforma esta informação em valor digital, resolve o algoritmo de controle através de seu controlador micro processado e, por fim, envia um sinal de saída analógico de **4 a 20 mA** para a válvula atuar na variável manipulada. A troca de informação com o operador, neste caso, dá-se através de um sinal digital superposto aos 4 a 20 mA, sendo possível a mudança de *set point* e de parâmetros em geral. O protocolo mais usado neste tipo de comunicação chama-se HART.

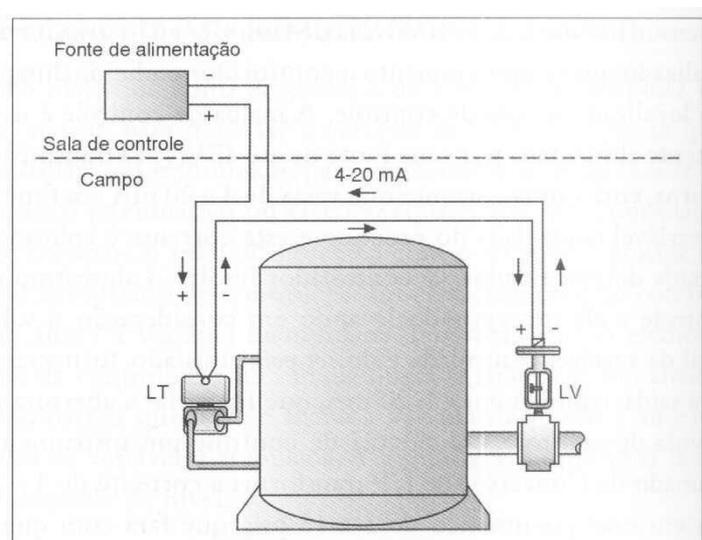


FIGURA 2.2 Malha de controle de nível com transmissor inteligente

A substituição do padrão 4 a 20 mA de comunicação entre os instrumentos por padrão digital já se tornou realidade. A indústria vem buscando consolidar um padrão para a comunicação digital de campo entre instrumentos para controle de processos. Esta tecnologia é chamada de barramento de campo ou, como é mais conhecida, Fieldbus.

Instrumentos mais Comuns

| | Pressão | Temperatura | Vazão | Nível |
|---------------------------|---|--------------------|--------------|--------------|
| Sensores | Bourdon | Bimetal | Orifício | Flutuador |
| | Fole | Termorresistência | Volumétrico | Pressão |
| | Diafragma | Termopar | Turbina | Radar |
| | Capacitivo | Radiação | Magnético | Ultra-som |
| | Strain gage | | Ultra-som | |
| | Piezoelétrico | | Coriólis | |
| Indicadores Locais | Manômetros | Termômetros | | |
| Visores (gauges) | | | Rotâmetro | Visor |
| Transmissores | | | Pulsos | |
| | Pneumáticos 3-15 psig (0,2 - 1,0 kg/cm ²) | | | |
| | Analógicos 4 - 20 mA 1 - 5 volts | | | |
| | Controladores digitais , Protocolo HART e Fieldbus | | | |
| Controladores | Pneumáticos locais e de painel | | | |
| | Eletrônicos analógicos | | | |
| | Eletrônicos digitais multimalhas | | | |
| Registradores | Pneumáticos locais e de painel | | | |
| | Eletrônicos analógicos | | | |
| | Eletrônicos digitais multimalhas | | | |
| Totalizadores | | | Computadores | |
| Sistemas | SDCD - Sistema Digital de Controle Distribuídos | | | |
| | SCADA - Sistema de Controle Superv. E de Aquisição de Dados | | | |
| | CLP - Controlador Lógico Programável | | | |

Símbolos Gráficos e Identificação dos Instrumentos

As normas de Instrumentação estabelecem símbolos gráficos e codificação alfanumérica de instrumentos ou funções programadas que deverão ser utilizados nos diagramas e nas malhas de controle de projetos de instrumentação.

A norma internacional que regula esse assunto é a ISA 5.1 (Instrumentation Symbols and Identification).

Cada instrumento ou função programada deve ser identificado por um conjunto de letras que o classifica funcionalmente e um conjunto que identifica a malha o qual o instrumento ou função programada pertence.

A identificação é feita da seguinte forma:

1º Grupo de letras: Identifica a variável medida ou iniciadora

1º letra – Variável medida

Ex: P – pressão, T – temperatura, F – vazão, L – nível.

2º letra – Modificadora

Ex: D – diferencial, Q – totalização, S – segurança.

2º Grupo de letras: Identifica a função

1º letra – Função passiva ou de informação

Letras mais usadas: A – alarme, E – elemento primário, G – visão direta (gage ou gauge), I – indicador, R – registrador.

2º letra – Função ativa de saída

Letras mais usadas: C – controlador, S – chave, T – transmissor, V – válvula ou damper, Y – relé

3º letra – Modificadora

Letras mais usadas: H – alto, L – baixo.

Exemplos:

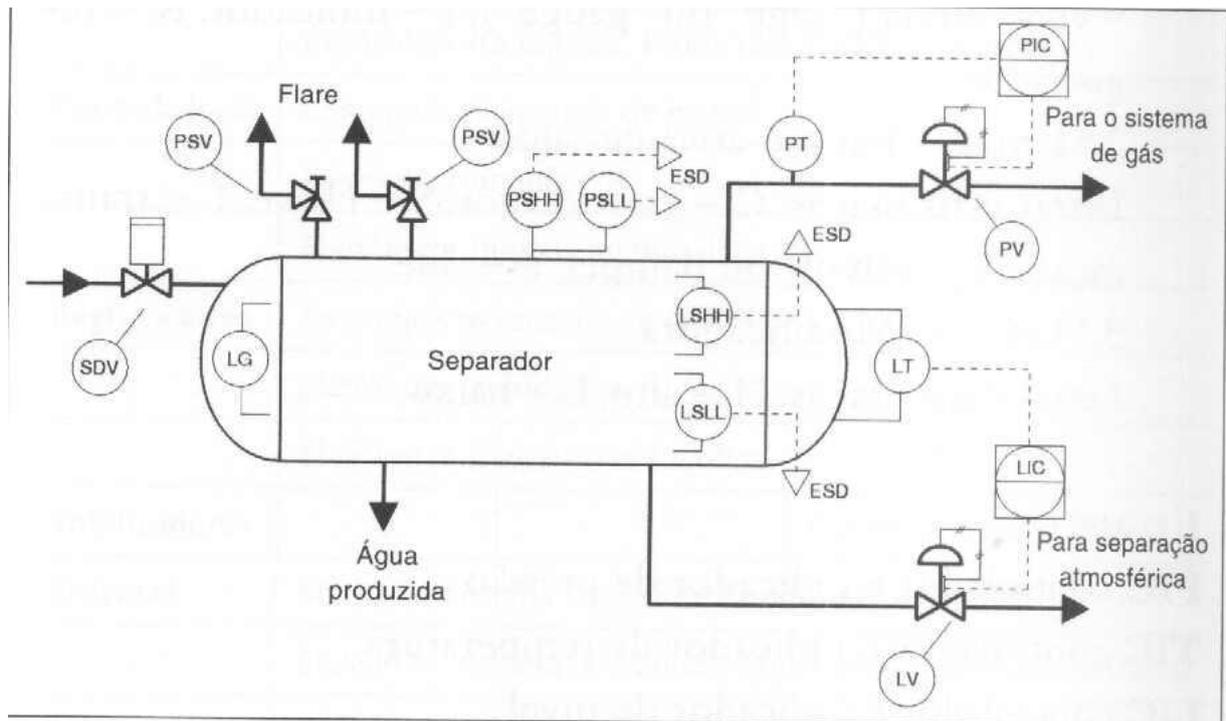
PIC – controlador e indicador de pressão

PT – transmissor de pressão

FQI – totalizador e indicador de vazão

PSHH – chave de pressão muito alta

LG – visor de nível



Fluxograma simplificado de tubulação e instrumentação (P&ID) de um vaso separador de produção

Instrumentos de Pressão

As variáveis mais encontradas nas plantas de processos são: pressão, temperatura, vazão e nível.

Pressão é força por unidade de área: $P = F/A$.

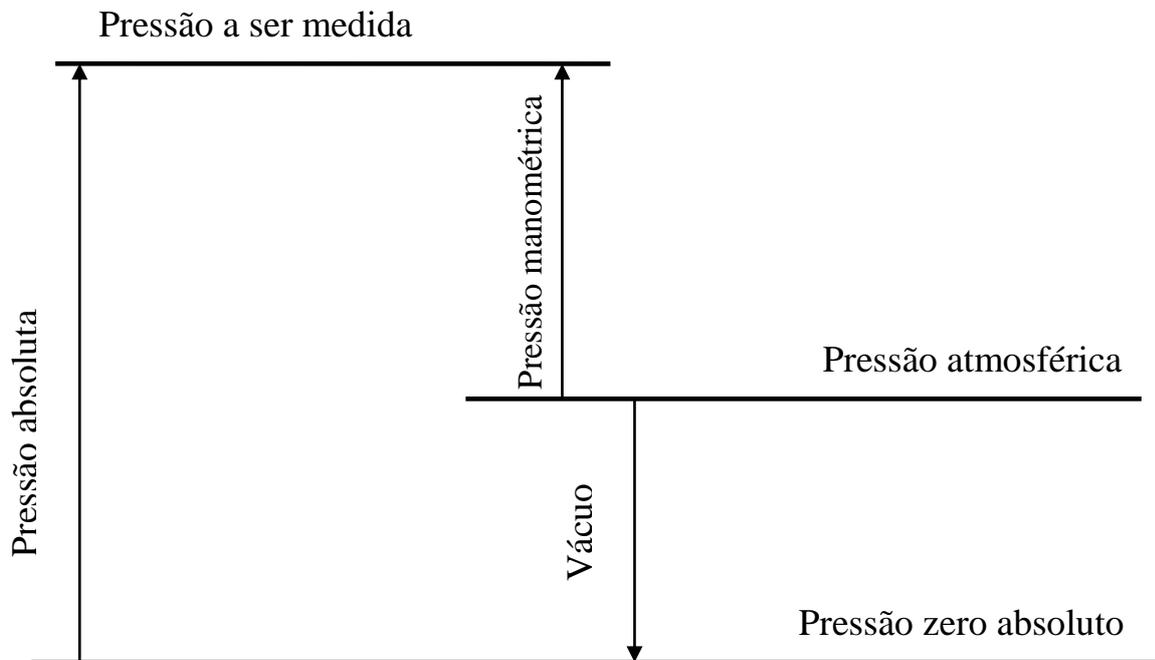
Unidades: kgf/cm^2 , psi, N/m^2 (Pa – Pascal).

A pressão também pode ser representada por alturas de colunas líquidas, tais como: cmH_2O , mmHg, INH_2O , INHg .

Referenciais para medir pressão.

Pressão absoluta: é a pressão medida em relação à pressão zero absoluta, como, por exemplo, psia (libra por polegada quadrada absoluta).

Pressão Manométrica: É a pressão medida em relação à pressão atmosférica, como, ex.: psig (libra por polegada quadrada manométrica)



Pressão atmosférica: É a pressão exercida sobre os corpos na superfície da Terra como resultado do peso das camadas do ar da atmosfera. Ao nível do mar, a pressão equivale a 760 mmHg absolutos, 14,7 psia ou 1 bar.

Vácuo: É a pressão absoluta menor do que a pressão atmosférica.

Sensores e medidores baseados na deformação elástica dos materiais

Existem sensores de pressão que utilizam a propriedade de deformação elástica dos materiais quando submetidos a uma força mecânica. Os sensores baseados neste princípio são os tubos Bourdon, e suas variações, em forma de espiral e hélice, para pressões altas, foles e diafragma para pressões baixas.

Na atualidade, os instrumentos que utilizam estes princípios são os indicadores locais (campo) de pressão, chamados de **manômetros**.

Princípio de funcionamento:

A pressão aplicada ao tubo sendo superior à pressão externa tende a retificar a curvatura do tubo. Como uma das extremidades do tubo é fixa, a outra extremidade se movimenta, sendo

aproveitada para a indicação através de um mecanismo (engrenagens) ligado a um ponteiro.

Faixa de pressão para utilização:

Tipo Bourdon C – 1 kgf/cm² de vácuo até 2000 kgf/cm² (manométrico)

Tipo espiral – 14 a 6000 kgf/cm²

Tipo helicoidal – até 300 kgf/cm²

Incerteza: 0,5 a 1% da escala.

Material do tubo Bourdon – petróleo e ind. Alimentício Inox AISI - 316.

De forma a isolar o fluido do processo para não ter contato com o tubo C (não entrar no tubo), utilizam-se selos sanitários com glicerina ou silicone para transmitir a pressão.

Para baixas pressões ou pressões diferenciais utilizam-se diafragma ou foles. Faixa de 0,07 a 2 kgf/cm².

Vantagens: Baixo custo (compra ou manutenção), funcionamento simples, fácil instalação e fabrica-se no Brasil.

Desvantagens: Indicação da variável somente no campo, com selos é muito sensível a choques.

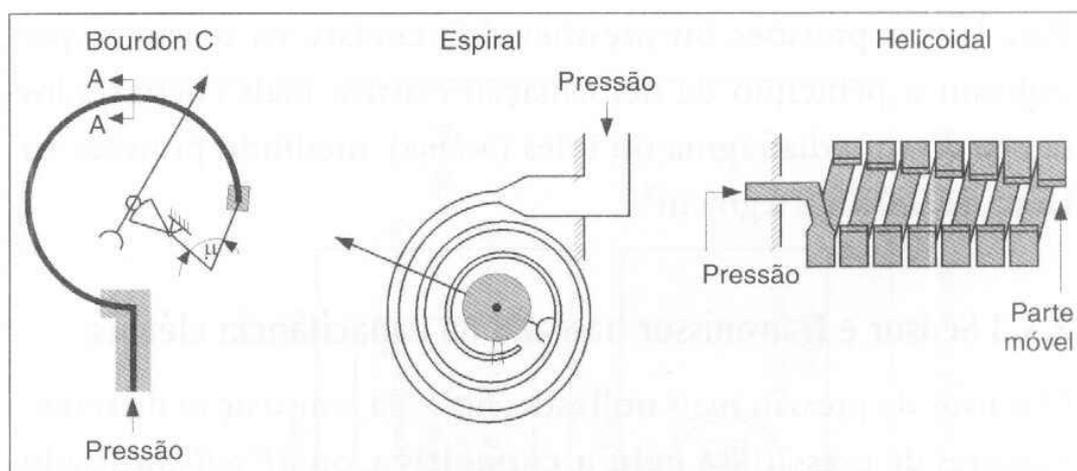
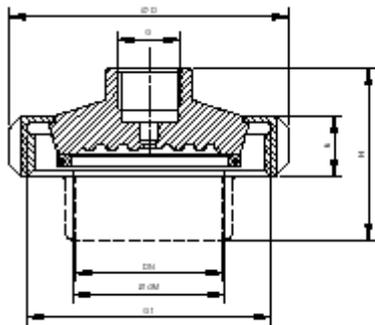
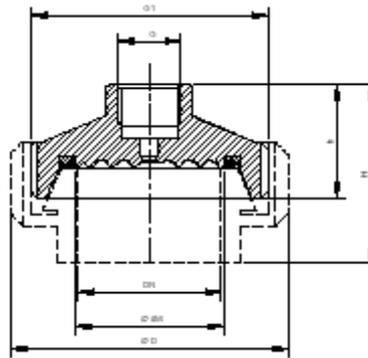


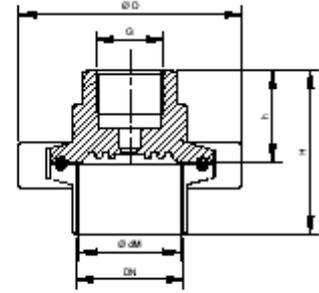
FIGURA 2.4 Sensores tipo Bourdon no formato C, espiral e helicoidal



Com Porca

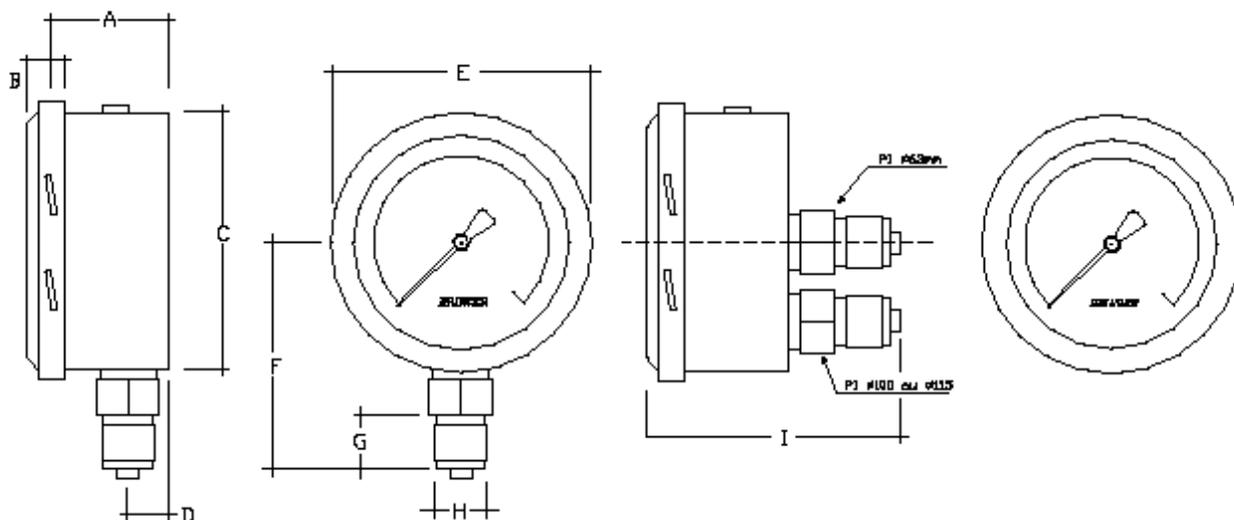


Rosca Macho



Conexão Tipo
Clamp

Conexão traseira central ou excêntrica / horizontal ou reta inferior vertical.



Sensor e Transmissor Baseado na Capacitância Elétrica

O sensor de pressão mais utilizado, hoje, na construção de transmissores é a **célula capacitiva**, ou dP cell. Ela é composta por uma câmara de alta e outra de baixa pressão que se movem o diafragma central fazendo variar a capacitância diferencial formada pelo diafragma e as duas placas metálicas isoladas por óleo. A variação desta capacitância em alguns pico-farads é aproveitada, então para a construção do transmissor de pressão cujo diagrama de blocos é mostrado na figura abaixo.

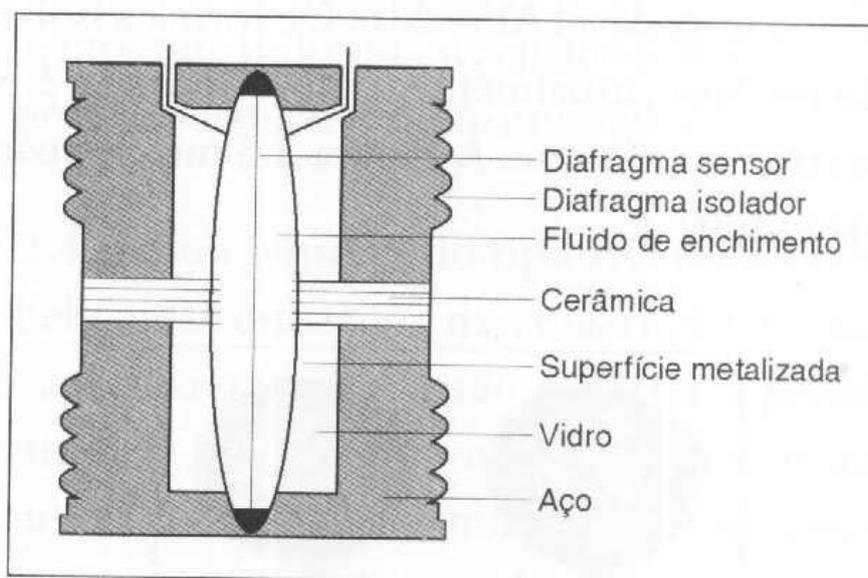


FIGURA 2.6 Sensor de pressão tipo célula capacitiva

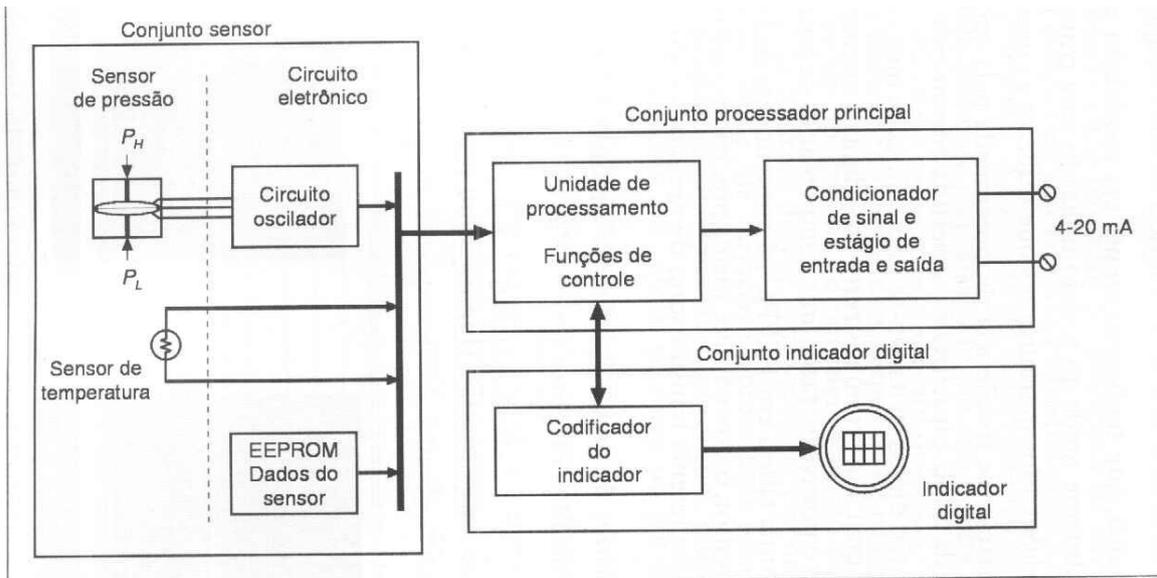
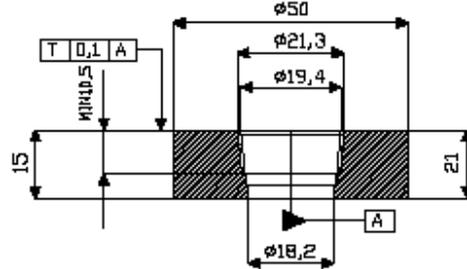
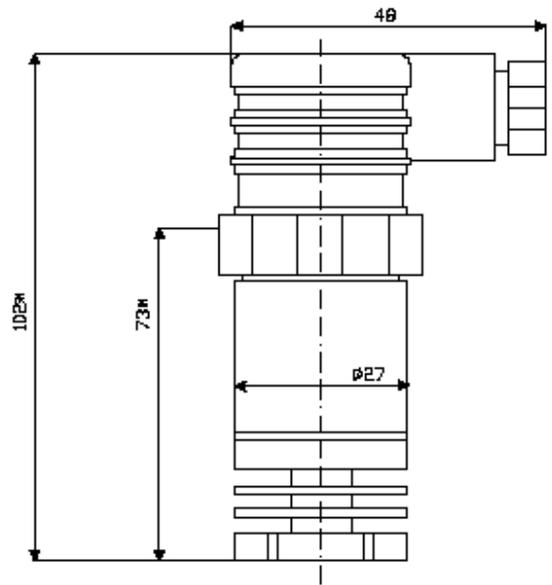
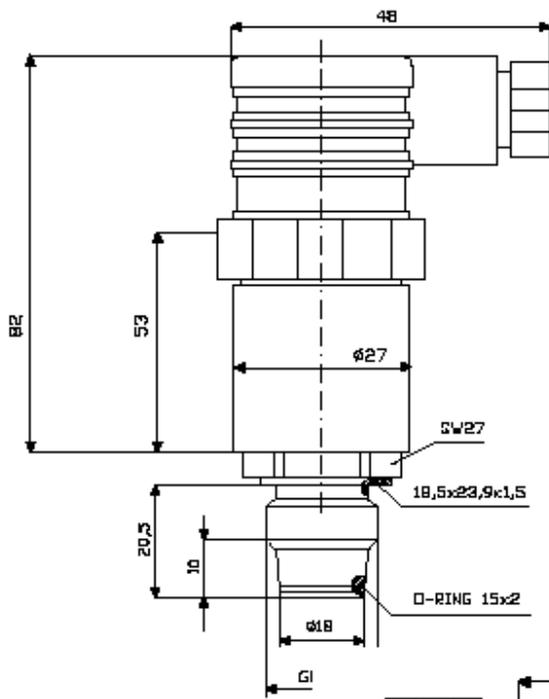


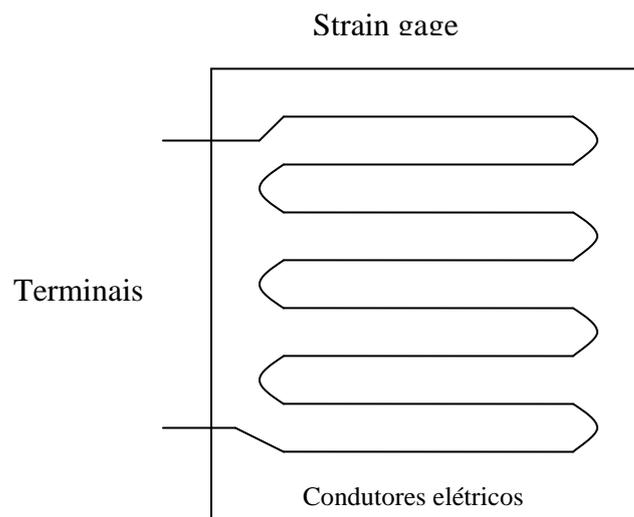
FIGURA 2.7 Diagrama de blocos de um transmissor de pressão com célula capacitiva, microprocessado, com sinal de saída analógico padronizado de 4-20 mA

Através da modulação e demodulação de uma onda pelos circuitos eletrônicos, obtém-se o sinal desejado na saída do transmissor. O sinal de saída, que tradicionalmente era modulado entre a 20 mA, atualmente tende a padrão utilizado para comunicação digital, o Fieldbus. Nestes transmissores, a variação de freqüência é proporcional à variação da capacitância da célula capacitiva e o sinal é convertido diretamente em sinal digital, evitando-se imprecisões de uma conversão analógica/digital. Por serem instrumentos digitais micro processados, também é possível fazer uma compensação de temperatura e se utilizar uma tabela EEPROM contendo os dados de calibração do sensor, conferindo maior precisão ao instrumento.



Sensor baseado em condutores elétricos distendidos (Strain gage)

Estes sensores estão baseados no princípio da variação da resistência elétrica de um condutor elétrico com o aumento do seu comprimento. A variação do comprimento do condutor é obtida pelo aumento da pressão em seu corpo. Para que isso seja possível, são construídos sensores muito delgados, com técnicas de filmes finos e semicondutores, dispondo-se os condutores de forma a se ter um grande comprimento. A resistência elétrica obtida é introduzida em uma ponte de Wheststone, onde sua variação é aproveitada para a obtenção do sinal proporcional à pressão que se que medir. Sensores deste tipo se aplicam células de carga ou em transmissores de pressão para medição de grandes pressões manométricas



Exercícios:

- 1) Descreva o princípio de funcionamento dos sensores de pressão, manômetros, tubo Bourdon C.
- 2) Qual a função do selo sanitário e dos sifões nos manômetros. Explique as vantagens.
- 3) Descreva o princípio de funcionamento dos sensores baseados na capacitância elétrica (célula capacitiva)
- 4) Descreva o princípio de funcionamento dos sensores de pressão baseados em condutores elétricos distendidos (Strain gage).
- 5) Compare as vantagens e desvantagens dos sensores de pressão tipo Tubo de Bourdon C e célula capacitiva.

INSTRUMENTOS DE TEMPERATURA

Os medidores de temperatura mais usados na indústria são os termômetros baseados em bimetálico e os sensores do tipo termopar e termorresistência, que servem para a transmissão do sinal de temperatura através dos sistemas de controle de processos.

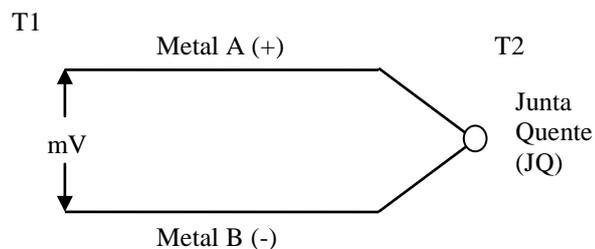
Sensores e medidores baseados no princípio bimetálico

São os sensores usados nos termômetros bimetálicos para medir temperaturas entre - 40 e 500 °C. Quando dois metais com coeficientes de dilatação diferentes são soldados um ao outro e fixados em uma das extremidades, um aumento de temperatura fará com que um metal se dilate mais do que o outro provocando um deslocamento na extremidade livre. Este deslocamento é aproveitado para a medição de temperatura. De forma a amplificar o deslocamento produzido pela variação de temperatura a ser medida, foram desenvolvidos elementos bimetálicos espirais e helicoidais, como no caso dos manômetros.



Sensor baseado em termopar

Os termopares se baseiam na propriedade onde dois metais dissimilares unidos em uma junção, chamada de **junta quente**, gera uma força eletromotriz, de alguns milivolts, na outra extremidade submetida a uma temperatura diferente da primeira junção, como mostrado na Figura abaixo.



São usadas diversas ligas metálicas formando vários tipos de termopares, como os listados a seguir:

| Tipo de termopar | Ligas metálicas | Faixa de temperatura |
|------------------|---------------------------|----------------------|
| E | Cromel/ Constantan | - 100 a 900 |
| J | Ferro/Constantan | -40 a 750 |
| K | Cromel/Alumel | -200 a 1200 |
| R | Platina-ródio 13%/Platina | 0 a 1600 |
| S | Platina-ródio 10%/Platina | 0 a 1600 |
| B | Pt-Ródio 30%/Pt-Ródio 6% | 600 a 1700 |
| T | Cobre/constantan | -200 a 350 |

Cromel é uma liga de Níquel e Cromo, Costantan é uma liga de Cobre e Níquel, enquanto Alumel é uma liga de Níquel e Alumínio.

O termopar tipo E é o que apresenta a maior geração de mV/°C, sendo útil na detecção de pequenas variações de temperatura.

O termopar tipo K é o mais usado na indústria devido à sua grande faixa de trabalho e ao custo menor quando comparado com o termopar formado por ligas nobres, como o tipo R.

O erro de um termopar é o máximo desvio que ele pode apresentar em relação a um padrão adotado como padrão absoluto. O erro

pode ser expresso em graus Celsius ou em porcentagem da temperatura medida, adotando-se o maior entre os dois valores. As normas internacionais, a IEC e ABNT especificam termopares Standard e Especial. Os termopares Standard podem apresentar erro de até $\pm 1,5\%$ enquanto os de classe Especial, em geral, apresentam erro de até $\pm 0,4\%$. Para os termopares de platina, os valores do erro são de $\pm 0,2\%$ e $\pm 0,1\%$, respectivamente.

A resposta dos termopares não é exatamente linear, existindo, então, a necessidade de se proceder à linearização da sua curva de resposta no instrumento transmissor. A temperatura no ponto de medição normalmente temperatura ambiente, também varia, e os transmissores devem compensar o efeito de tal variação na medida.

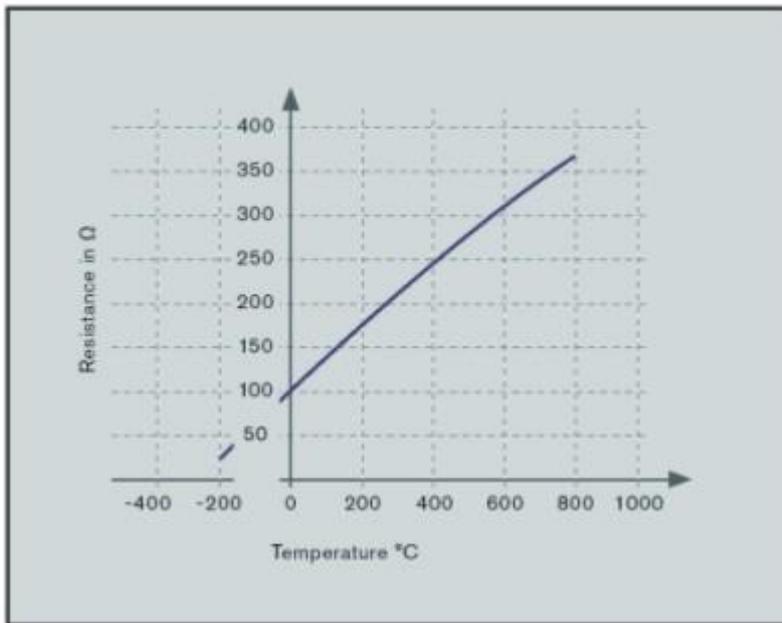
Como os termopares são fios metálicos, sem rigidez mecânica, normalmente são instalados dentro de uma proteção mecânica, chamada de poço termométrico, construído em aço inoxidável AISI 304 ou 316, que também fornece proteção contra corrosão.

Sensor baseado em termorresistência

As termorresistências, ou RTD, usam o princípio da alteração da resistência elétrica dos metais com a temperatura. Os metais mais usados são os fios de platina, Pt100, e o de níquel, Ni120, assim chamados por apresentarem resistência de 100 e 120 ohms, respectivamente, à temperatura de zero grau Celsius. O Pt100 opera na faixa de $- 200$ a 850°C , enquanto o Ni120, $- 50$ a 270°C .

Como os termopares, as termorresistências precisam de uma estrutura que lhes dê proteção física e proteção contra a corrosão, chamada de poço termométrico.

As termorresistências apresentam erro na faixa de 0,1 a 0,25%.



Curva linear da relação entre resistência e Temperatura



Figura de um pt100

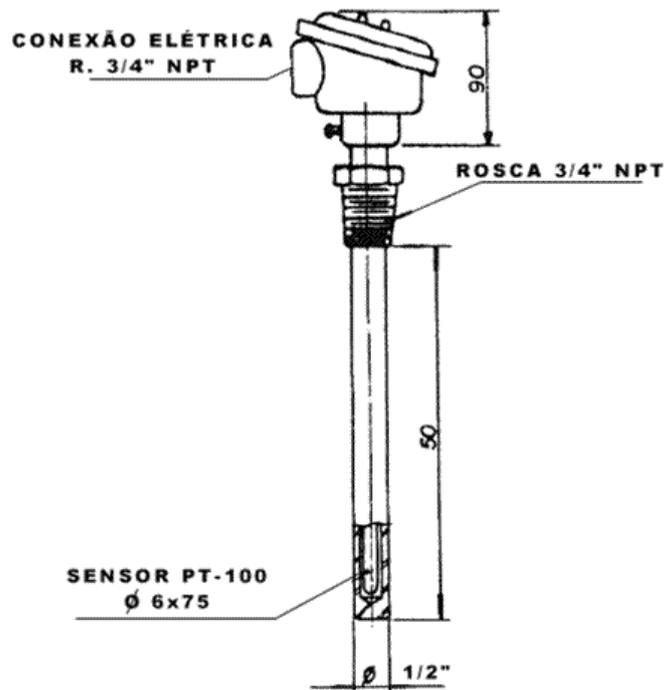
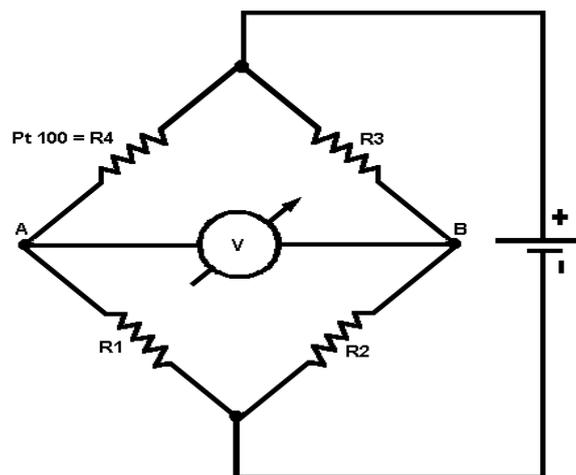


Figura esquemática de um pt100

As termorresistências são normalmente ligadas a um circuito de medição tipo Ponte de Wheatstone, sendo que o circuito encontra-se balanceado quando é respeitada a relação $R_4.R_2 = R_3.R_1$ e desta forma não circula corrente pelo detector de nulo, pois se esta relação é verdadeira, os potenciais nos pontos A e B são idênticos.



Ponte de Wheatstone

- **Ligação a 2 fios**

Como se vê na figura, dois condutores de resistência relativamente baixa R_{L1} e R_{L2} são usados para ligar o sensor Pt-100 (R_4) à ponte do instrumento de medição.

Nesta disposição, a resistência R4 compreende a resistência da Pt-100 mais a resistência dos condutores RL1 e RL2. Isto significa que os fios RL1 e RL2 a menos que sejam de muito baixa resistência, podem aumentar apreciavelmente a resistência do sensor.

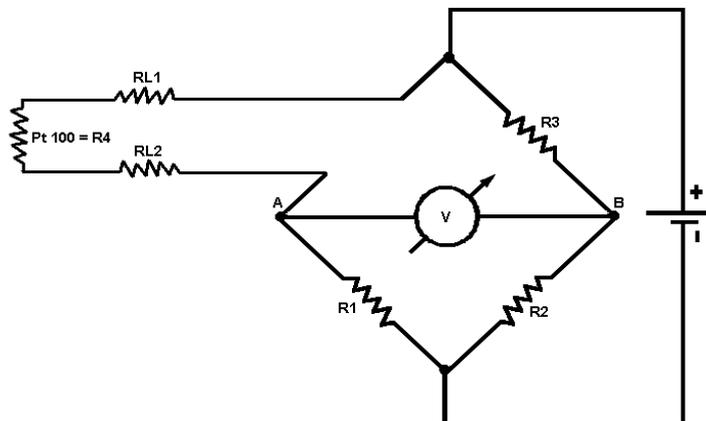


Figura: Ponte de Wheatstone com ligação de dois fios

Tal disposição resultará em erro na leitura da temperatura, a menos que algum tipo de compensação ou ajuste dos fios do sensor de modo a equilibrar esta diferença de resistência. Deve-se notar que, embora a resistência dos fios não se altere em função do tamanho dos fios uma vez já instalado, os mesmos estão sujeitos às variações da temperatura ambiente, o que introduz outra possível fonte de erro na medição.

O método de ligação a dois fios, somente deve ser usado quando o sensor estiver a uma distância de aproximadamente 3 metros.

Concluindo, neste tipo de medição a 2 fios, sempre que a temperatura ambiente ao longo dos fios de ligação variar, a leitura de temperatura do medidor introduzirá um erro, devido a variação da resistência de linha

As termorresistências Pt100: São as mais utilizadas industrialmente, devido a sua grande estabilidade, larga faixa de utilização e alta precisão. Devido à alta estabilidade das termorresistências de platina, as mesmas são utilizadas como padrão de temperatura na faixa de $-270\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $660\text{ }^{\circ}\text{C}$. A estabilidade é um fator de grande importância na indústria, pois é a capacidade do sensor manter e reproduzir suas características (resistência -

temperatura) dentro da faixa especificada de operação. Outro fator importante num sensor Pt100 é a repetibilidade, que é a característica de confiabilidade da termorresistência. Repetibilidade deve ser medida com leitura de temperaturas consecutivas, verificando-se a variação encontrada quando de medição novamente na mesma temperatura.

Campo da aplicação:

O sensor da resistência Pt100/Pt1000 térmica é usado para as aplicações precisas da monitoração de temperatura, onde os erros na medida têm que ser excluídos. O relacionamento linear do resistor à temperatura, simplifica seu uso em muitas aplicações eletrônicas. A precisão do Pt100/Pt1000 permite seu uso universal para a monitoração, o controle e o interruptor de temperatura nos enrolamentos, nos rolamentos, nas máquinas, nos motores, nos transformadores e em muitas outras aplicações industriais.

Vantagens:

- a) Possuem maior precisão dentro da faixa de utilização do que outros tipos de sensores.
- b) Com ligação adequada não existe limitação para distância de operação.
- c) Dispensa utilização de fiação especial para ligação.
- d) Se adequadamente protegido, permite utilização em qualquer ambiente.
- e) Têm boas características de reprodutibilidade.
- f) Em alguns casos substitui o termopar com grande vantagem.

Desvantagens:

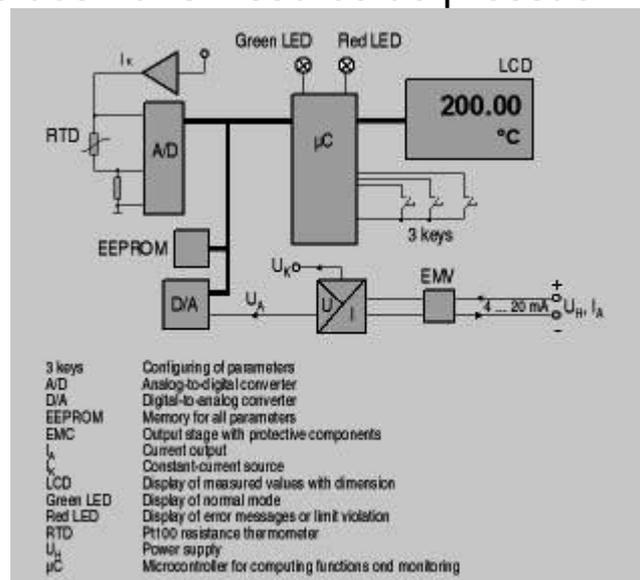
- a) São mais caras do que os sensores utilizados nessa mesma faixa.
- b) Deterioram-se com mais facilidade, caso haja excesso na sua temperatura máxima de utilização.
- c) Temperatura máxima de utilização 630 °C.

d) É necessário que todo o corpo do bulbo esteja com a temperatura equilibrada para indicar corretamente.

e) Alto tempo de resposta.

Transmissor de Temperatura

Os transmissores de temperatura convertem a informação de termopares e termorresistência nos sinais padronizados de transmissão analógica ou digital, além de fazer as linearizações e compensações de temperatura. Os circuitos internos são semelhantes aos dos transmissores de pressão.



Desenho esquemático de um transmissor de temperatura

INSTRUMENTOS DE NÍVEL

A medição de nível em unidades industriais tem dois objetivos:

- Avaliação de estoques em tanques de armazenamento e
- Controle de processos contínuos.

No primeiro caso, existem sistemas completos de medição produzidos por um mesmo fabricante que são instalados em grandes tanques de armazenamento. Ex. célula de carga.

Para controle de processos contínuos, existem diversos tipos de sensores e medidores de nível.

Visor de Nível

É a maneira mais simples de medir um nível e pertencem ao grupo de visores identificados em diagrama com LG (*level gage*). Utilizam

o princípio de vasos comunicantes e oferecem grande confiabilidade na leitura. São usados como indicadores locais em vasos de processos ou no próprio tanque, mesmo quando existe um transmissor enviando um sinal para sala de controle. São compostos por uma estrutura de aço conectada a dois pontos do vaso de processo, tendo na frente um vidro transparente que permite a visão do produto no seu interior, conforme figura abaixo.



A instalação dos visores de nível é feita sempre através de válvulas de bloqueio e de dreno de forma a permitir a manutenção dos mesmos. Estão disponíveis em diversas dimensões, de 170 a 1760 mm, de acordo com a faixa de medida necessária. É possível a instalação de visores combinados em série, de modo a aumentar a faixa de medição. A classe de pressão do visor de nível evidentemente deve estar de acordo com a do vaso de processo.

Sensores e medidores por pressão diferencial

A medição de nível para efeito de controle de processo pode ser feita simplesmente medindo-se a diferença de pressão entre a parte superior e inferior do vaso onde se encontra o líquido, utilizando-se, para isto, um transmissor de pressão diferencial. O peso da coluna do fluido medido por unidade de área é igual à pressão medida. Em conseqüência, o volume e o nível no interior do vaso (tanque) são proporcional à pressão diferencial medida.

A figura abaixo mostra o esquema para a medição de nível do líquido em um vaso contendo uma fase líquida e outra com pressão de um vapor. A tomada superior é conectada ao lado de baixa pressão e a tomada inferior ao lado de alta pressão do transmissor diferencial. Caso a medição de nível seja realizada em um vaso à

pressão atmosférica, a tomada de baixa pressão do transmissor ficará aberta para a atmosfera.

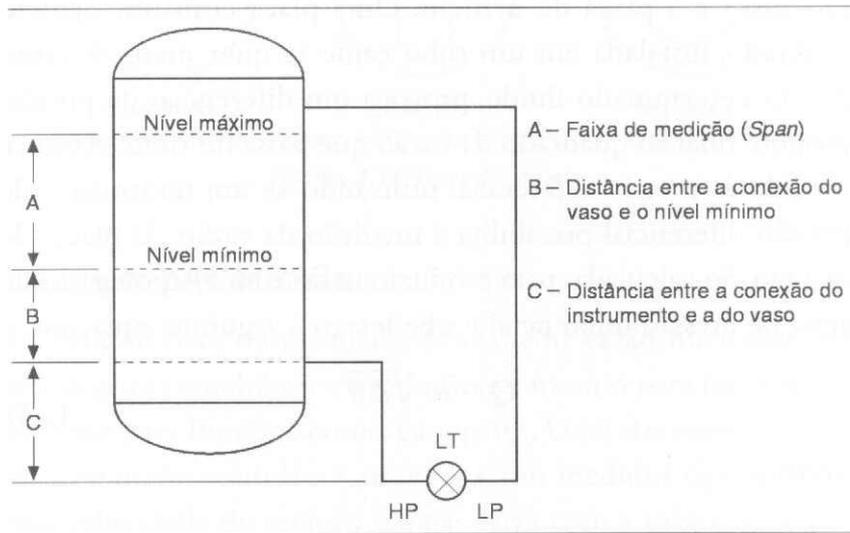
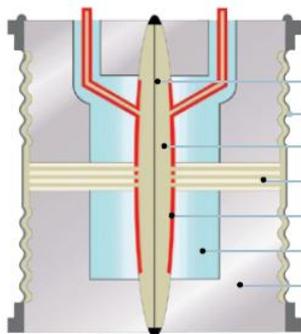


FIGURA 2.15 Medição de nível por pressão diferencial

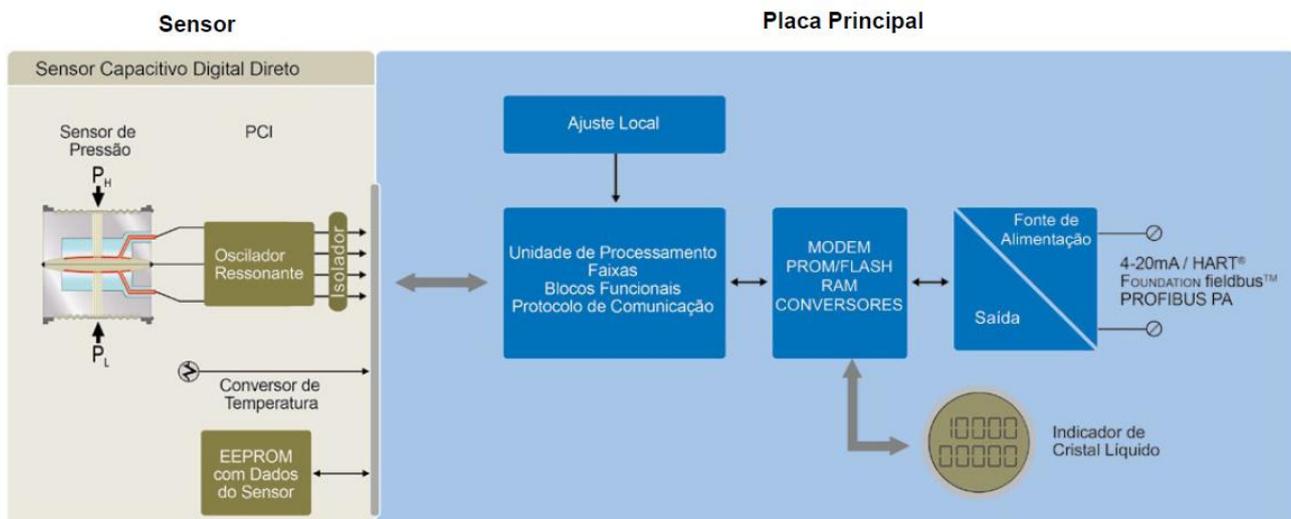
As figuras abaixo apresentam os transmissores do tipo célula capacitiva adaptados com selos para medição de nível.





- Diafragma Sensor (1)
- Diafragma Isolador (2)
- Fluido de Enchimento (3)
- Cerâmica
- Superfície Metalizada (4)
- Vidro
- Aço





Elemento Final de Controle (Válvula de Controle)

Válvula de controle tipo globo com atuador a diafragma

A interface com o processo na outra ponta do sistema de controle é feita pelo elemento final de controle. Na grande maioria dos casos, este elemento final é uma válvula de controle automática, que ajusta o fluxo da variável manipulada. A válvula mais usada em controle de processo é a do tipo globo (ver figura abaixo).

Ela é constituída por uma tomada de entrada, um obturador (ou plug), que, conectado a uma haste, abre ou fecha a passagem do fluxo do fluido (Vapor, água, etc.) através de um orifício chamado assento ou anel removível da válvula. A haste se liga ao atuador da válvula, que consiste em um diafragma conectado à haste e a uma mola. A variação da pressão no diafragma levará a haste para cima ou para baixo, que, por sua vez, controlará a abertura do obturador da válvula. A válvula a seguir fecha quando a haste fecha. A pressão do ar força a haste para baixo, fazendo a válvula fechar, sendo então, chamada de “ar-fecha”. Se o ar do instrumento for perdido em uma situação de falha, a válvula ficará aberta, ou seja, abrindo em uma situação de falha.

Invertendo-se a posição do obturador ou da mola e colocando a entrada de ar embaixo do diafragma, a válvula poderá ser do tipo “ar-abre”, fechando em situação de falha.

NF – Normalmente fechada, sem o ar comprimido a válvula fica fechada.

NA – Normalmente aberta, sem o ar comprimido a válvula fica aberta.

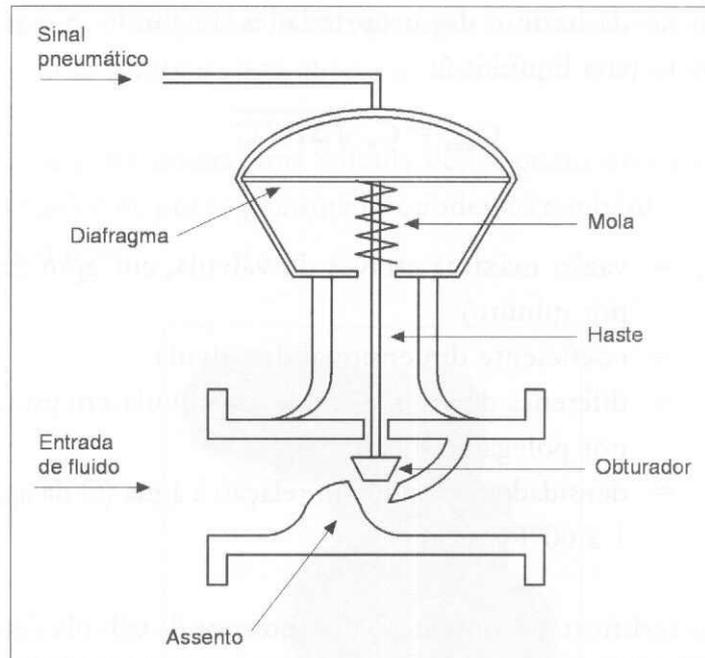
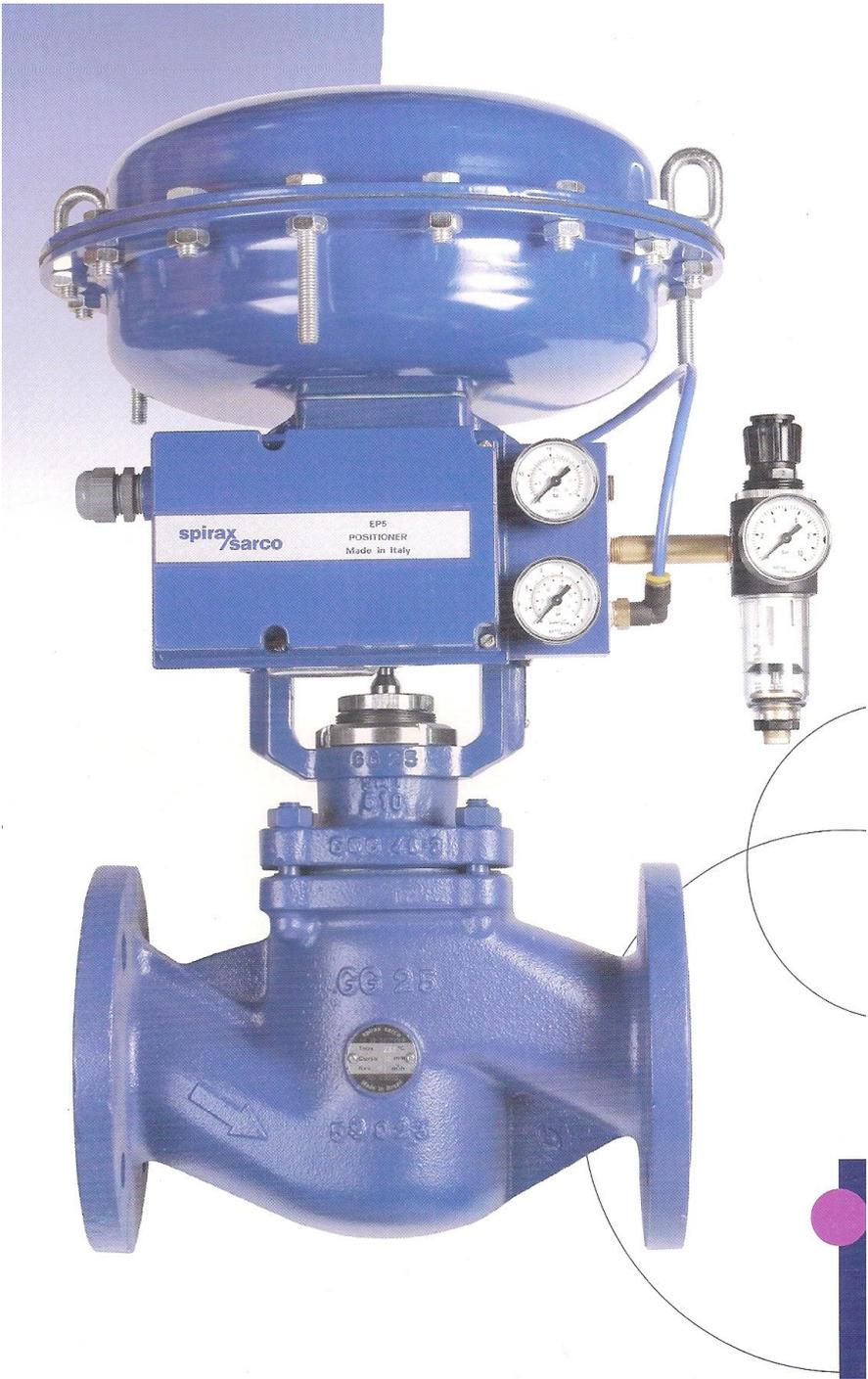


FIGURA 2.18 Válvula de controle tipo globo com atuador pneumático



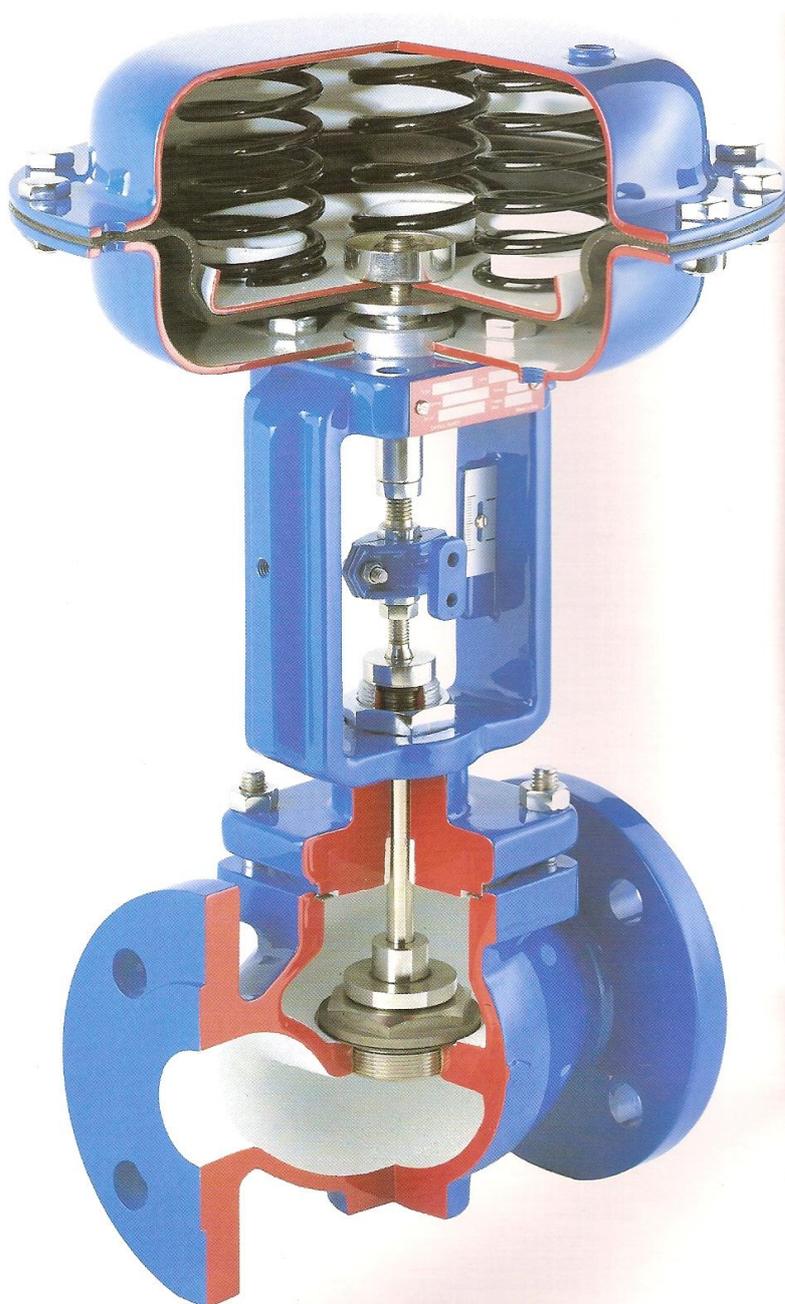
FIGURA 2.19 Válvula globo com atuador pneumático a diafragma (Fabricante Hiter)



As linhas de válvulas K e L, e atuadores pneumáticos PN3000 e PN4000 da Spirax Sarco são projetados para proporcionar uma grande variedade de aplicações em vapor, água, óleos e outros fluidos industriais.

Com uma concepção modular, as válvulas de controle das linhas K e L contemplam diferentes opções de internos em um mesmo corpo. Esse sistema extremamente flexível permite que uma mesma válvula atenda a diversas necessidades industriais.

Ao ser acoplada a um atuador de diafragma pneumático PN3000 (mola para fechar) ou PN4000 (mola para abrir), a válvula de controle da Spirax Sarco torna-se a melhor solução para a maioria das aplicações de controle de vazão, pressão, temperatura e nível.



A vazão de fluido através de uma válvula depende do tamanho da válvula de controle, da diferença de pressão sobre a mesma, da posição da haste e das propriedades do fluido. A equação de projeto para líquidos é:

$$Q_{\max} = C_v \sqrt{\Delta P / G}$$

Q_{\max} = Vazão máxima através da válvula, em gpm (galões por minuto)

C_v = Coeficiente dimensional da válvula. É a relação do diâmetro da tubulação com o diâmetro do obturador.

ΔP = Diferença de pressão através da válvula, em psi (libras por polegadas quadradas)

G = Densidade do fluido em relação à água (G da água é 1 a 60 °F).