

**INSTITUTO FEDERAL**  
SÃO PAULO  
Campus Cubatão

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E  
TECNOLOGIA DE SÃO PAULO  
CAMPUS CUBATÃO**

**CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM AUTOMAÇÃO  
E CONTROLE DE PROCESSOS INDUSTRIAIS  
CONTÍNUOS**

**APOSTILA DE**

# **INSTRUMENTAÇÃO DE SISTEMAS**

**CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM AUTOMAÇÃO E  
CONTROLE DE PROCESSOS INDUSTRIAIS CONTÍNUOS**

**5º MÓDULO**

**MONTAGEM:  
PROFESSOR MARCELO S. COELHO**

Revisão 9 – JANEIRO/2017



# SUMÁRIO

INTRODUÇÃO À INSTRUMENTAÇÃO .....	5
MEDIÇÃO DE PRESSÃO .....	45
MEDIÇÃO DE NÍVEL .....	93
MEDIÇÃO DE TEMPERATURA.....	131
MEDIÇÃO DE VAZÃO .....	173
VÁLVULAS DE CONTROLE .....	225



# INTRODUÇÃO À INSTRUMENTAÇÃO

INSTRUMENTAÇÃO é a ciência que aplica e desenvolve técnicas para adequação de instrumentos de medição, transmissão, indicação, registro e controle de variáveis físicas em equipamentos nos processos industriais.

Nas indústrias de processos tais como siderúrgica, petroquímica, alimentícia, papel, etc.; a instrumentação é responsável pelo rendimento máximo de um processo, fazendo com que toda energia cedida, seja transformada em trabalho na elaboração do produto desejado. As principais grandezas que traduzem transferências de energia no processo são: PRESSÃO, NÍVEL, VAZÃO, TEMPERATURA; as quais se denominam variáveis de um processo.

## PROCESSO INDUSTRIAL

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

Quando se trata de controle, uma tubulação por onde escoar um fluido, um reservatório contendo água, um aquecedor ou um equipamento qualquer é denominado de processo.

Processo é uma operação ou uma série de operações realizada em um determinado equipamento, onde varia pelo menos uma característica física ou química de um material.

Os processos industriais exigem controle na fabricação de seus produtos. Os processos são muito variados e abrangem muitos tipos de produtos como, por exemplo: a fabricação dos derivados do petróleo, produtos alimentícios, indústria de papel e celulose, etc.

Um processo pode ser controlado através de medição de variáveis que representam o estado desejado e ajustando automaticamente as outras variáveis, de maneira a se conseguir um valor desejado para a variável controlada. As condições ambientais devem sempre ser incluídas na relação de variáveis de processo.

## Variáveis de Processo

São condições internas ou externas que afetam o desempenho de um processo, em todos os processos industriais é absolutamente necessário controlar e manter constantes algumas variáveis de processo, tais como pressão, vazão, temperatura, nível, pH, condutividade, velocidade, umidade, etc.

## Variável Controlada

A variável controlada de um processo é aquela que mais diretamente indica a forma ou o estado desejado do produto. Consideremos por exemplo, o sistema de aquecimento de água mostrado na figura 1.

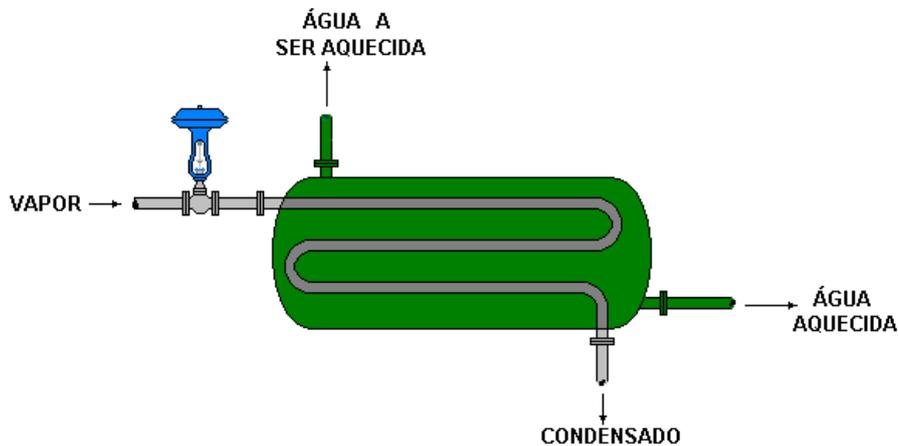


Figura 1. Sistema de aquecimento de água

A finalidade do sistema é fornecer uma determinada vazão de água aquecida. A variável mais indicativa desse objetivo é a temperatura da água de saída do aquecedor, que deve ser então a variável controlada.

## Meio controlado

Meio controlado é a energia ou material no qual a variável é controlada. No processo mostrado na figura 1, o meio controlado é a água na saída do processo, onde a variável controlada, temperatura representa uma característica da água.

## Variável manipulada

A variável manipulada do processo é aquela sobre a qual o controlador automático atua, no sentido de se manter a variável controlada no valor desejado. A variável manipulada pode ser qualquer variável do processo que causa uma variação rápida na variável controlada e que seja fácil de manipular. Para o aquecedor da figura 2, a variável manipulada pelo controlador será a vazão de vapor.

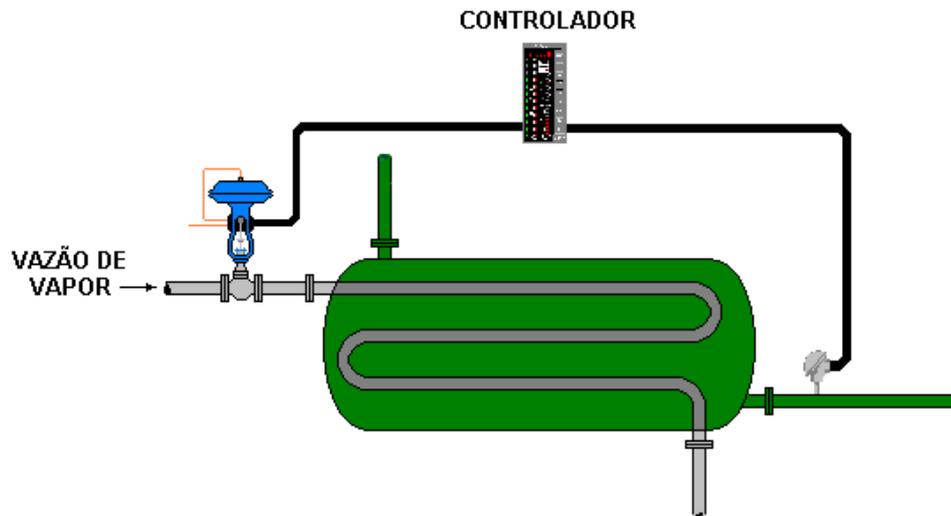


Figura 2. Sistema de controle de aquecimento de água

### Agente de controle

Agente de controle é a energia ou o material do processo, da qual a variável manipulada é uma condição ou característica. No processo da figura 2, o agente de controle é o vapor, pois a variável manipulada é a vazão de vapor.

### Malha de controle

Quando se fala em controle, deve-se necessariamente subentender uma medição de uma variável qualquer do processo, isto é, a informação que o controlador recebe. Recebida essa informação o sistema controlador compara-a com um valor pré-estabelecido (chamado SET POINT), verifica a diferença entre ambos, e age de maneira a diminuir ao máximo essa diferença. Esta seqüência de operações, medir a variável; comparar com o valor pré-determinado e atuar no sistema de modo a minimizar a diferença entre a medida e o set point, nós denominamos de malha de controle, que pode ser aberta ou fechada.

### Malha aberta

Na malha aberta, a informação sobre a variável controlada não é utilizada para ajustar qualquer entrada do sistema para compensar variações nas variáveis do processo.

Na figura 3, mostrada a seguir, a informação de temperatura do fluido de saída, não afeta no controle do fluido de entrada na entrada do vapor para o sistema.

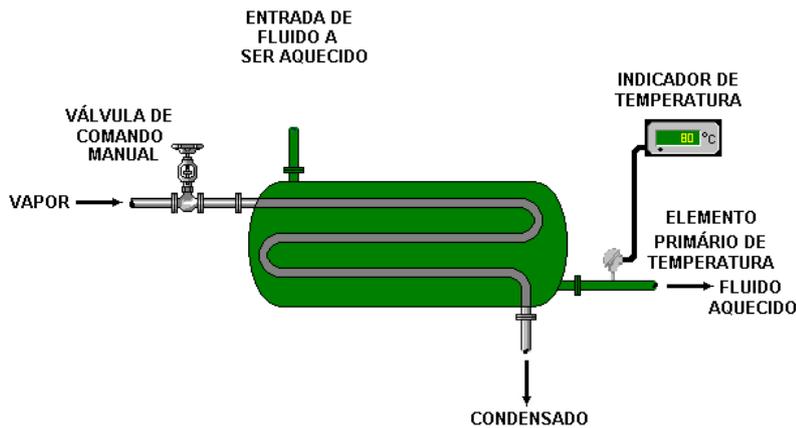


Figura 3. Malha aberta

**Malha fechada**

Na malha fechada, a informação sobre a variável controlada, com a respectiva comparação com o valor desejado, é utilizada para manipular uma ou mais variáveis do processo.

Na figura 4, a informação acerca da temperatura do fluido da água aquecida (fluido de saída), acarreta uma mudança no valor da variável do processo, no caso, a entrada de vapor. Se a temperatura da água aquecida estiver com o valor abaixo do valor do set point, a válvula abre, aumentando a vazão de vapor para aquecer a água. Se a temperatura da água estiver com um valor abaixo do set point, a válvula fecha, diminuindo a vazão de vapor para esfriar a água.

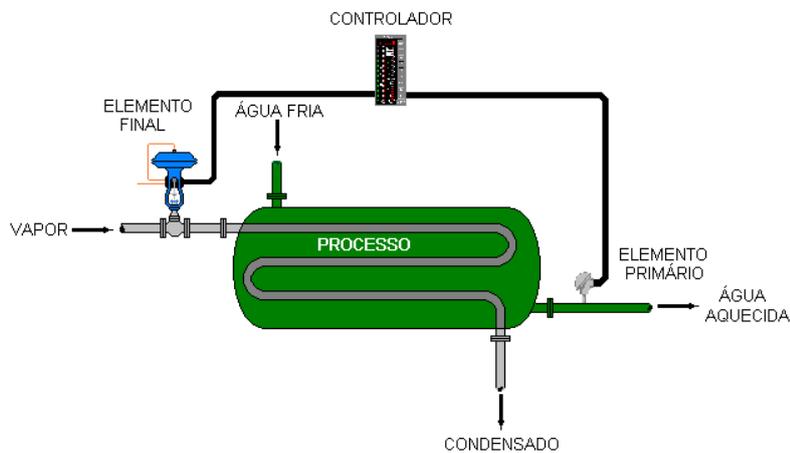


Figura 4. Malha fechada

Em sistemas de malha fechada, o controle de processo pode ser efetuado e compensado antes ou depois de afetar a variável controlada, isto é, supondo que no sistema apresentado como exemplo, a variável controlada seja a temperatura de saída da água. Se o controle for efetuado, após o sistema ter afetado a variável (ter ocorrido um distúrbio), o controle é do tipo "feed-back", ou realimentado.

**ELEMENTOS DE CONTROLE AUTOMÁTICO**

Os sistemas de controle automático, basicamente são compostos por: uma unidade de medida, uma unidade de controle e um elemento final de controle, conforme mostrado na figura 5.

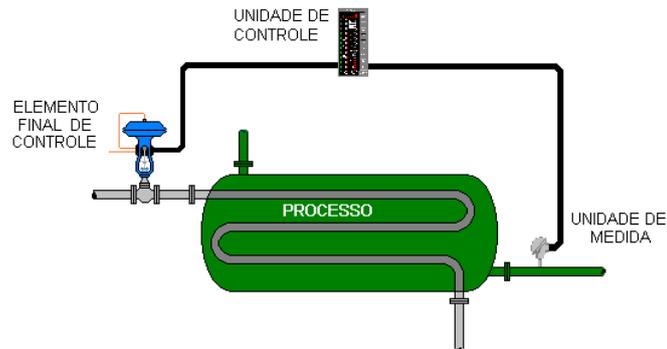


Figura 5. Elementos básicos de um sistema de controle automático

A necessidade do aumento de produção para atender a sempre crescente demanda e o baixo custo, a criação e fabricação de novos produtos, propiciou o aparecimento de um número cada vez maior de indústrias. Estas indústrias só puderam surgir devido ao Controle Automático de Processos Industriais, sem o qual a produção não seria de boa qualidade e mesmo alguns produtos não poderiam ser fabricados.

O Controle Automático dos Processos Industriais é cada vez mais empregado por aumentar a produtividade, baixar os custos, eliminar erros que seriam provocados pelo elemento humano e manter automática e continuamente o balanço energético de um processo.

Para poder controlar automaticamente um processo precisamos saber como está ele se comportando para poder corrigi-lo, fornecendo ou retirando dele alguma forma de energia, como por exemplo: pressão ou calor. Essa atividade de medir e comparar grandezas é feita por equipamentos ou instrumentos que veremos a seguir.

## CLASSIFICAÇÃO DE INSTRUMENTOS DE MEDIÇÃO

Existem vários métodos de classificação de instrumentos de medição, tais como: por função ou por sinal de transmissão.

### Classificação por Função

Conforme será visto posteriormente, os instrumentos podem estar interligados entre si para realizar uma determinada tarefa nos processos industriais. A associação desses instrumentos chama-se malha e em uma malha cada instrumento executa uma função.

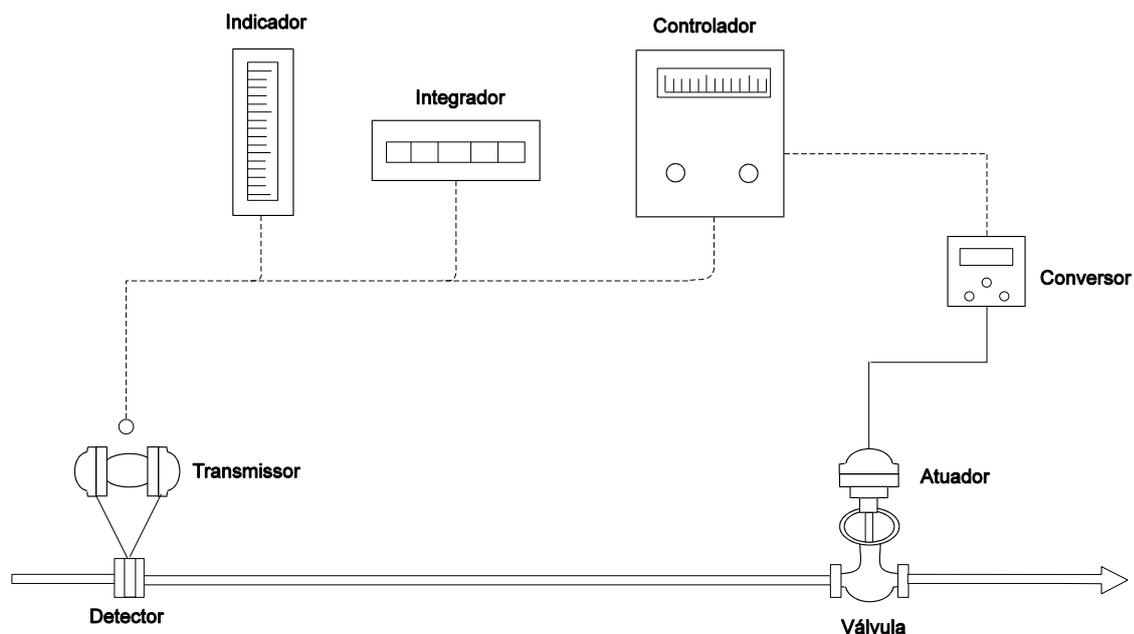


Figura 6. Exemplo de configuração de uma malha de controle

Os instrumentos que podem compor uma malha são então classificados por função cuja descrição sucinta pode ser lida na tabela 01.

Tabela 1. CLASSIFICAÇÃO POR FUNÇÃO

INSTRUMENTO	DEFINIÇÃO
Detector	São dispositivos com os quais conseguimos detectar alterações na variável do processo. Pode ser ou não parte do transmissor.
Transmissor	Instrumento que tem a função de converter sinais do detector em outra forma capaz de ser enviada à distância para um instrumento receptor, normalmente localizado no painel.
Indicador	Instrumento que indica o valor da quantidade medida enviado pelo detector, transmissor, etc.
Registrador	Instrumento que registra graficamente valores instantâneos medidos ao longo do tempo, valores estes enviados pelo detector, transmissor, Controlador etc.
Conversor	Instrumento cuja função é a de receber uma informação na forma de um sinal, alterar esta forma e a emitir como um sinal de saída proporcional ao de entrada.
Unidade Aritmética	Instrumento que realiza operações nos sinais de valores de entrada de acordo com uma determinada expressão e fornece uma saída resultante da operação.
Integrador	Instrumento que indica o valor obtido pela integração de quantidades medidas sobre o tempo.
Controlador	Instrumento que compara o valor medido com o desejado e, baseado na diferença entre eles, emite sinal de correção para a variável manipulada a fim de que essa diferença seja igual a zero.
Elemento final de controle	Dispositivo cuja função é modificar o valor de uma variável que leve o processo ao valor desejado.

### Classificação por Sinal de Transmissão

Os equipamentos podem ser agrupados conforme o tipo de sinal transmitido ou o seu suprimento. A seguir será descrito os principais tipos, suas vantagens e desvantagens.

#### Tipo pneumático

Nesse tipo é utilizado um gás comprimido, cuja pressão é alterada conforme o valor que se deseja representar. Nesse caso a variação da pressão do gás é linearmente manipulada numa faixa específica, padronizada internacionalmente, para representar a variação de uma grandeza desde seu limite inferior até seu limite superior. O padrão de transmissão ou recepção de instrumentos pneumáticos mais utilizados é de 0,2 a 1,0 kgf/cm<sup>2</sup> (aproximadamente 3 a 15 psi no Sistema Inglês).

Os sinais de transmissão analógica normalmente começam em um valor acima do zero para termos uma segurança em caso de rompimento do meio de comunicação.

O gás mais utilizado para transmissão é o ar comprimido, sendo também o NITROGÊNIO e em casos específicos o GÁS NATURAL (PETROBRAS).

A grande e única vantagem em seu utilizar os instrumentos pneumáticos está no fato de se poder operá-los com segurança em áreas onde existe risco de explosão (centrais de gás, por exemplo).

As desvantagens são:

- Necessita de tubulação de ar comprimido (ou outro gás) para seu suprimento e funcionamento.
- Necessita de equipamentos auxiliares tais como compressor, filtro, desumidificador, etc., para fornecer aos instrumentos ar seco, e sem partículas sólidas.
- Devido ao atraso que ocorre na transmissão do sinal, este não pode ser enviado à longa distância, sem uso de reforçadores. Normalmente a transmissão é limitada a aproximadamente 100 m.
- Vazamentos ao longo da linha de transmissão ou mesmo nos instrumentos são difíceis de serem detectados.
- Não permite conexão direta aos computadores.

### **Tipo elétrico**

Esse tipo de transmissão é feita utilizando sinais elétricos de corrente ou tensão. Em face de tecnologia disponível no mercado em relação à fabricação de instrumentos eletrônicos microprocessados, hoje, é esse tipo de transmissão largamente usado em todas as indústrias, onde não ocorre risco de explosão. Assim como na transmissão pneumática, o sinal é linearmente modulado em uma faixa padronizada representando o conjunto de valores entre o limite mínimo e máximo de uma variável de um processo qualquer. Como padrão para transmissão a longas distâncias são utilizados sinais em corrente contínua variando de (4 a 20 mA) e para distâncias até 15 metros aproximadamente, também utiliza-se sinais em tensão contínua de 1 a 5V.

As vantagens são:

- Permite transmissão para longas distâncias sem perdas.
- A alimentação pode ser feita pelos próprios fios que conduzem o sinal de transmissão.
- Não necessita de poucos equipamentos auxiliares.
- Permite fácil conexão aos computadores.
- Fácil instalação.
- Permite de forma mais fácil realização de operações matemáticas.

Permite que o mesmo sinal (4~20mA) seja “lido” por mais de um instrumento, ligando em série os instrumentos. Porém, existe um limite quanto à soma das resistências internas destes instrumentos, que não deve ultrapassar o valor estipulado pelo fabricante do transmissor.

As desvantagens são:

- Necessita de técnico especializado para sua instalação e manutenção.
- Exige utilização de instrumentos e cuidados especiais em instalações localizadas em áreas de riscos.
- Exige cuidados especiais na escolha do encaminhamento de cabos ou fios de sinais.
- Os cabos de sinal devem ser protegidos contra ruídos elétricos.

### **Tipo Digital**

Nesse tipo, “pacotes de informações” sobre a variável medida são enviados para uma estação receptora, através de sinais digitais modulados e padronizados. Para que a comunicação entre o elemento transmissor receptor seja realizada com êxito é utilizada uma “linguagem” padrão chamado protocolo de comunicação.

As vantagens são:

- Não necessita ligação ponto a ponto por instrumento.
- Pode utilizar um par trançado ou fibra óptica para transmissão dos dados.
- Imune a ruídos externos.
- Permitem configuração, diagnósticos de falha e ajuste em qualquer ponto da malha.
- Menor custo final.

As desvantagens são:

- Existência de vários protocolos no mercado, o que dificulta a comunicação entre equipamentos de marcas diferentes.
- Caso ocorra rompimento no cabo de comunicação pode-se perder a informação e/ou controle de várias malha.

### **Via Rádio**

Neste tipo, o sinal ou um pacote de sinais medidos são enviados à sua estação receptora via ondas de rádio em uma faixa de frequência específica.

As vantagens são:

- Não necessita de cabos de sinal.
- Pode-se enviar sinais de medição e controle de máquinas em movimento.

As desvantagens são:

- Alto custo inicial.
- Necessidade de técnicos altamente especializados.

### **Via Modem**

A transmissão dos sinais é feita através de utilização de linhas telefônicas pela modulação do sinal em frequência, fase ou amplitude.

As vantagens são:

- Baixo custo de instalação.
- Pode-se transmitir dados a longas distâncias.

As desvantagens são:

- Baixa velocidade na transmissão de dados.
- Sujeito a interferências externas, inclusive violação de informações.

## SIMBOLOGIA DE INSTRUMENTAÇÃO

Com objetivo de simplificar e globalizar o entendimento dos documentos utilizados para representar as configurações utilizadas para representar as configurações das malhas de instrumentação, normas foram criadas em diversos países.

No Brasil, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) através de sua norma NBR 8190 apresenta e sugere o uso de símbolos gráficos para representação dos diversos instrumentos e suas funções ocupadas nas malhas de instrumentação. No entanto, como é dada a liberdade para cada empresa estabelecer/escolher a norma a ser seguida na elaboração dos seus diversos documentos de projeto de instrumentação outras são utilizadas. Assim, devido a sua maior abrangência e atualização, uma das normas mais utilizadas em projetos industriais no Brasil é a estabelecida pela ISA (Instrument Society of America).

A seguir será apresentada aspectos da norma ISA 5.1 (2009), de forma resumida, e que serão utilizadas ao longo dos nossos trabalhos.

### Letras de Identificação

Cada instrumento deve se identificar com um sistema de letras que o classifique funcionalmente (Tabela 2).

Como exemplo, uma identificação representativa é a seguinte:

T	RC	2	A
1ª letra	Letras sucessivas	Nº da cadeia	Sufixo (normalmente não é utilizado)
Identificação Funcional		Identificação da Cadeia	

Tabela 2. SIGNIFICADO DAS LETRAS DE IDENTIFICAÇÃO

	PRIMEIRA LETRA (4)		LETRAS SUBSEQUENTES (15)		
	Variável Medida ou inicial	Modificadora	Função de informação ou passiva	Função final	Modificadora
A	Análise (2)(3)(4)	-	Alarme	-	
B	Chama ou Combustão (2)		Escolha do usuário (5)	Escolha do usuário (5)	Escolha do usuário (5)
C	Escolha do usuário (3a)(5)	-	-	Controle (23a)(23e)	Fechado(27b)
D	Escolha do usuário (3a)(5)	Diferencial, Diferença (11a)(12a)	-	-	Desvio (28)
E	Tensão elétrica (2)	-	Elemento primário, Sensor	-	-
F	Vazão ou Fluxo, Taxa de fluxo (2)	Razão ou Taxa (12b)	-	-	-
G	Escolha do usuário	-	Vidro, Indicação, Visor (16)	-	-
H	Manual (2)	-	-	-	Alto (27a)(28a)(29)
I	Corrente elétrica (2)	-	Indicação (17)		-
J	Potência elétrica (2)		Varredura (18)	-	-
K	Tempo, Calendário (2)	Taxa de variação (12c)(13)		Estação de controle (24)	
L	Nível (2)		Luz (19)	-	Baixo (27b)(28)(29)
M	Escolha do usuário (3a)(5)				Médio ou intermediário (27c)(28)(29)
N	Escolha do usuário (5)		Escolha do usuário (5)	Escolha do usuário (5)	Escolha do usuário (5)
O	Escolha do usuário (5)		Orifício ou restrição	-	Aberto (27a)
P	Pressão (2)		Ponto de teste	-	-
Q	Quantidade (2)	Integração ou totalização (11b)	-	-	-
R	Radiação (2)	-	Registro (20)	-	Rodando
S	Velocidade ou frequência (2)	Segurança (14)		Chave (23b)	Parado
T	Temperatura (2)	-	-	Transmissor	-
U	Multivariável (2)(6)	-	Multifunção (21)	Multifunção (21)	
V	Vibração, análise mecânica (2)(4)(7)	-	-	Válvula ou Defletor (13)	-
W	Peso ou força (2)	-	Poço ou Provador	-	-
X	Não classificada (8)	Eixo X (11c)	Dispositivo acessório (22), Não classificado (8)	Não classificado (8)	Não classificado (8)
Y	Estado, presença ou evento (2)(9)	Eixo Y (11c)	-	Dispositivo auxiliar (23d)(25)(26)	-
Z	Posição, Dimensão (2)	Eixo Z (11c), Sistema Instrumentado de Segurança (30)	-	Atuador ou Elemento final de controle não classificado	-

## NOTAS RELATIVAS À TABELA ANTERIOR

- 1) As primeiras letras significam a variável medida e, se necessário, a combinação de uma variável de medida e um modificador de variável deverá ser atribuída de acordo com o significado da combinação.
- 2) Os significados específicos para variáveis medida [A], [B], [E], [F], [H], [I], [J], [K] [L], [P], [Q], [R], [S], [T], [U], [V], [R] [Y], e [Z] não devem ser alterado.
- 3) A 1ª. Letra [A] correspondente a variável medida [Análise] deve ser usada para todos os tipos de análise de composição de fluído de processo e propriedade física. O tipo de analisador e os componentes a serem analisados, serão definidos fora do balão de identificação.
- 4) A variável [C], [D] e [M]-[ "Escolha do usuário" ] são atribuídos a identificar condutividade, densidade e análise de umidade, respectivamente, quando for uma prática comum do usuário.
- 5) A 1ª. Letra [A] correspondente a variável medida [Análise] não deve ser usado para identificar a vibração ou outros tipos de análise mecânica ou de máquinas, que devem ser identificados pela variável medida [V]-[Vibração ou análise mecânica].
- 6) As letras [C], [D], [M], [N], e [O]- [ "Escolha do usuário" ], que cobrem significados repetitivos não definidos por outras letras, que podem ser usadas como uma variável medida ou como uma letra sucessiva deve ser definida apenas uma vez. Por exemplo, [N] pode ser definido como "módulo de elasticidade" como uma variável medida ou "osciloscópio" como uma função de leitura/passiva.
- 7) A variável Medida [U]-[Multivariável] identifica um instrumento ou malha que requer vários pontos de medição ou outras entradas para gerar saídas simples ou múltiplas, tais como um PLC que utiliza várias medições de pressão e temperatura para regular o chaveamento de várias válvulas do tipo "ON-OFF".
- 8) A variável Medida [V]-[Vibração ou Análise mecânica] é destinada para executar a função de análise de vibração em máquinas, recomenda-se que seja detalhada a análise fora do balão de identificação.
- 9) A primeira-letra ou letra sucessiva [X] para dispositivos ou funções não repetitivas significa que são usadas apenas uma vez ou de forma limitada e pode ter qualquer número de significados que devem ser definidas fora do balão de identificação ou por uma nota no documento. Por exemplo, [XR-2] pode ser um registrador de resistência mecânica e [XX-4] pode ser um osciloscópio de resistência mecânica.
- 10) A 1ª. Letra [Y] correspondente a variável medida [Evento, Estado ou Presença] é destinada ao uso quando respostas de controle ou monitoramento não são realizados baseados no tempo mas impulsionados por eventos, presença ou estado.
- 11) As combinações de variável medida e modificador de variável serão seleccionadas de acordo com a forma como a propriedade que está sendo medida é modificada ou alterada.

- 12) Variáveis de medição direta que devem ser consideradas como variáveis medidas na identificação numérica de uma malha incluem-se, mas não estão limitados a:
- a) Diferencial [D] — pressão [PD] ou temperatura [TD].
  - b) Totalização [Q] — totalização de fluxo [FQ], quando diretamente medida, tal como por um medidor de Vazão volumétrica.
  - c) Eixo x, y ou z [X], [Y], ou [Z] — vibração [VX], [VY] e [VZ], força [WX], [WY], ou [WZ] ou posição [ZX], [ZY], ou [ZZ].
- 13) Variáveis derivadas ou calculada de outra variável medida não devem ser consideradas como variáveis medidas na identificação numérica de uma malha deve incluir, mas não estão limitadas a:
- a) Diferença [D] — temperatura [TD] ou peso [WD].
  - b) Taxa[F] — fluxo [TT], pressão [PF] ou temperatura [TF].
  - c) Taxa de tempo da mudança [K] — pressão [PK], temperatura [TK] ou peso [WK].
- 14) A letra modificadora de variável [K] correspondente a tempo ou calendário em combinação com uma letra de variável medida significa uma taxa de tempo de mudança da variável medida; [WK], representa um malha de medição da taxa de perda de peso.
- 15) A letra modificadora de variável [S] correspondente a segurança é tecnicamente não uma variável medida direta mas é usada para identificar os elementos primários de emergência e proteção com atuação própria e elementos finais de controle somente quando usado em conjunto com as variáveis medidas: fluxo [F], pressão [P] ou temperatura [T]. E devido a natureza crítica de tais dispositivos, [FS, PS e TS] é considerada como variável medida em todos os fluxogramas e esquemas:
- a) válvula de segurança de fluxo [FSV] aplica-se a válvulas destinadas a proteger-se contra uma emergência do tipo: excesso de fluxo ou perda da condição de fluxo. Válvula de segurança de pressão [PSV] e válvula de segurança de temperatura [TSV] são aplicáveis às válvulas destinadas a proteger contra condições de emergência de temperatura e pressão. Isto aplica-se independentemente da construção ou modo de operação da válvula colocando-a na categoria de válvula de segurança, válvula de alívio ou válvula de alívio de segurança.
  - b) uma válvula de pressão auto-operada que impede a operação de um sistema de fluido a uma pressão superior da desejada por escape do fluido do sistema é um válvula de controle tipo contra-pressão [PCV], mesmo que a válvula não seja usada normalmente. No entanto, esta válvula é designada uma válvula de segurança de pressão [PSV] se ela protege contra emergência em condições perigosas para pessoas e/ou equipamentos que não se espera de acontecer normalmente.

- c) disco de ruptura de pressão [PSE] e fusíveis de temperatura [TSE] se aplicam a todos os sensores ou elementos primários destinados a proteger contra condições de pressão e temperatura emergência .
- d) A letra [S] não deve ser utilizada para identificar componentes e sistemas de segurança instrumentado, consulte a nota (30).
- 16) A forma gramatical dos significados das letras sucessivas deve ser modificados conforme necessário; por exemplo, a letra [I]-[Indicação] pode ser lida como Indicador ou Indicação e a letra [T]-[Transmissão] pode ser lido como Transmissor ou Transmissão.
- 17) A função de leitura/passiva: vidro, indicador ou visor representado pela letra [G] deve ser usado ao invés da letra [I]-[indicação] para os instrumentos ou dispositivos que fornecem um modo de exibição secundário, como visor de nível, manômetros, termômetros e visores de fluxo.
- a) também é usado para identificar dispositivos que fornecem uma visão geral das operações da planta, tais como monitores de televisão.
- 18) A função de leitura/passiva [I]-[Indicação] aplica-se à leitura analógica ou digital de uma medição real ou ao sinal de entrada para um instrumento discreto ou uma visualização em vídeo de um sistema de controle distribuído.
- a) no caso de uma estação de carregamento manual, ele deve ser usado para a indicação de atribuição de valor ou configuração do sinal de saída que está sendo gerado, [HIC] ou [HIK].
- 19) A função de leitura/passiva [J]-[Varredura] quando usado indicará uma leitura periódica não contínua de duas ou mais variáveis medidas de tipos iguais ou diferentes, tais como registradores multiponto de temperatura e pressão.
- 20) A função de leitura/passiva [L]-[Luz] identifica dispositivos ou funções que servem para indicar o estado operacional normal, como o liga-desliga de um motor ou a posição de um atuador e não se destina para alarme.
- 21) A função de leitura/passiva [R]-[Registro] aplica-se a qualquer meio de armazenamento de dados ou informações permanente ou semi-permanente, eletrônico ou papel em um formulário facilmente recuperável.
- 22) A função de leitura/passiva e função de saída/ativa [U]-[Multifuncional] é usado para:
- a) Identificar malhas de controle que tem mais do que a usual função indicação/registro e controle.
- b) Economizar espaço em desenhos, não mostrando vários balões de identificação para cada função.
- c) Uma nota que descreve as várias funções deve estar no desenho se necessário, para dar maior clareza.

- 23) A função de leitura/passiva [X]-[Acessórios] destina-se a identificar o hardware e dispositivos que não medem ou controlam, mas são necessários para o bom funcionamento de instrumentação.
- 24) Existem diferenças significativas, a considerar na seleção entre funções de saída/ativa para controle [C], chave [S], válvula, damper ou grelha [V] e o dispositivo auxiliar [Y]:
- a) Controle [C], significa um dispositivo automático ou função que recebe um sinal de entrada gerado por uma variável medida e gera um sinal de saída variável que é usado para modular ou atuar uma válvula [V] ou dispositivo auxiliar [Y] em um set-point predeterminado para controle de processo ordinário.
  - b) Chave [S], significa um dispositivo ou função que liga, desliga ou transfere um ou mais sinais eletrônicos, elétricos, pneumáticos ou hidráulicos ou circuitos que podem ser acionados manualmente ou automaticamente diretamente por uma variável medida, ou indiretamente por um transmissor da variável medida.
  - c) Válvula, damper ou grelha [V] significa um dispositivo que modula, chaveia ou abre/fecha o fluxo de um fluido de processo, depois de receber um sinal de saída gerado por um controlador [C], chave [S] ou dispositivo auxiliar [Y].
  - d) Dispositivo auxiliar [Y], significa um dispositivo automático ou função acionada pelo sinal de um transmissor [T], controlador [C] ou chave [S] que conecta, desconecta, transfere, calcula e converte sinais ou circuitos de eletrônicos, elétricos, pneumáticos ou hidráulicos.
  - e) As letras sucessivas CV não devem ser usadas para algo diferente de uma válvula de controle auto-operada.
- 25) A função de saída/ativa [K]-[Estação de controle] deve ser utilizada para:
- a) designação de uma estação de controle acessível ao operador usada com um controlador automático que não tem um operador integrante acessível auto-manual e/ou modo de controle alternar.
  - b) Arquitetura dividida ou dispositivos de controle do tipo fieldbus onde as funções de controlador estão localizadas remotamente a estação de operador.
- 26) A função de saída/ativa [Y]-[Dispositivos auxiliares] incluem, mas não estão limitados a, válvulas solenóides, relés e dispositivos e funções de computação e conversão.
- 27) A função de saída/ativa [Y]-[Dispositivos auxiliares] para sinal de computação e conversão quando usada em um diagrama ou desenho deve ser definido fora do balão de identificação com um símbolo apropriado da tabela “*Blocos de funções matemáticas*” e quando escrito em texto deve incluir uma descrição da função matemática.
- 28) As letras modificadoras de função: de alta [H], de baixa [L], e de média ou intermédio [M] quando aplicado a posições de válvulas e outros dispositivos de abertura-fechamento, estão definidos como segue:

- a) Alta [H], a válvula está em ou aproximando-se da posição totalmente aberta, aberto [O] pode ser utilizado como alternativa.
- b) Baixo [L], a válvula está em ou aproximando-se da posição totalmente fechada; fechado [C] pode ser utilizada como uma alternativa.
- c) Médio ou intermédio [M], a válvula está em curso ou localizado entre a posição totalmente aberta ou fechada.
- 29) A letra modificadora de função [D]-[Desvio] quando combinada com a função de leitura/passiva [A]-[alarme] ou função de saída/ativa [S]-[Chave] indica que a variável medida tem um erro/desvio de um controlador ou outro setpoint maior do que um valor predeterminado.
- a) Os modificadores [H]-[Alto] ou [L]-[Baixo] deve ser adicionado se apenas um desvio positivo ou negativo, respectivamente, é de importância.
- 30) As letras modificadoras de função: de alta [H], de baixa [L], e de média ou intermédio [M] quando aplicado a alarmes correspondem aos valores da variável medido, não aos valores do sinal de alarme de atuação, salvo indicação em contrário:
- a) um alarme de alta derivado de um sinal transmissor de nível de atuação reversa é um LAH, mesmo que o alarme seja acionado quando o sinal cai para um valor baixo.
- b) os termos devem ser usados em combinação conforme apropriado para indicar vários níveis de atuação a mesma medição, por exemplo: alto [H] e alto-alto/altíssimo [HH], baixo [L] e baixo-baixo/ baixíssimo [LL] ou baixo-alto [HL].
- 31) A letra modificadora de variável medida [Z] não é tecnicamente uma variável medida direta, mas é usada para identificar os componentes de um sistema de segurança instrumentado.
- a) [Z] não deve ser utilizado para identificar os dispositivos de segurança observados na nota (14).

## Símbolos de funções e dispositivos de Instrumentação

As tabelas mostradas a seguir apresentam os símbolos a serem usados na construção de diagramas de malha e fluxogramas de instrumentação.

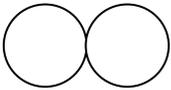
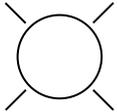
Tabela 3. Símbolos de funções e dispositivos de instrumentação

Nota: Números entre parêntesis são explicados em notas a seguir.

No.	Monitoramento compartilhado, Controle compartilhado (1)		C	D	Acessibilidade e localização (6)
	A	B			
	Primeira Escolha ou Sistema de Controle de Processo Básico (2)	Escolha Alternativa ou Sistema Instrumentado de Segurança (3)	Software e Sistemas por Computador (4)	Discreto (5)	
1					<ul style="list-style-type: none"> <li>• Localizado no campo.</li> <li>• Montado fora de console, gabinete ou painel.</li> <li>• Visível no campo.</li> <li>• Normalmente acessível ao operador.</li> </ul>
2					<ul style="list-style-type: none"> <li>• Localizado em console ou painel central ou principal.</li> <li>• Visível na frente de painel ou monitor de vídeo.</li> <li>• Normalmente acessível ao operador na frente do painel ou console.</li> </ul>
3					<ul style="list-style-type: none"> <li>• Localizado na traseira de painel central ou principal.</li> <li>• Localizado em gabinete atrás de painel.</li> <li>• Não visível na frente de painel ou monitor de vídeo.</li> <li>• Normalmente não acessível ao operador do painel ou console.</li> </ul>
4					<ul style="list-style-type: none"> <li>• Localizado em console ou painel local ou secundário.</li> <li>• Visível na frente de painel ou monitor de vídeo.</li> <li>• Normalmente acessível ao operador na frente do painel ou console.</li> </ul>
5					<ul style="list-style-type: none"> <li>• Localizado na traseira de painel local ou secundário.</li> <li>• Localizado em gabinete de campo.</li> <li>• Não visível na frente de painel ou monitor de vídeo.</li> <li>• Normalmente não acessível ao operador do painel ou console.</li> </ul>

Tabela 4. Símbolos de funções e dispositivos de instrumentação - Miscelânea

Nota: Números entre parêntesis são explicados em notas a seguir.

No	Símbolo	Descrição e localização
1		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Signal processing function:</li> <li>• Locate in upper right or left quadrant of symbols above.</li> <li>• Attach to symbols above where affected signals are connected.</li> <li>• Insert signal processing symbol from Table 5.6</li> <li>• Expand symbol by 50% increments for larger function symbols.</li> </ul>
2		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Panel mounted patchboard plug-in point.</li> <li>• Console matrix point.</li> <li>• C-12 equals patchboard column and row respectively, as an example.</li> </ul>
3	(7) (8) 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Generic interlock logic function.</li> <li>• Undefined interlock logic function.</li> </ul>
4	(7) (8) 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 'AND' interlock logic function.</li> </ul>
5	(7) (8) 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 'OR' interlock logic function.</li> </ul>
6		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Instruments or functions sharing a common housing.</li> <li>• It is not mandatory to show a common housing.</li> <li>• Notes shall be used to identify instruments in common housings not using this symbol.</li> </ul>
7		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pilot light.</li> <li>• Circle shall be replaced with any symbol from column D in Table 5.1.1 if location and accessibility needs to be shown.</li> </ul>

### NOTAS RELATIVAS À TABELA ANTERIOR

(1) Devices and functions represented by these bubble symbols are devices and functions for shared display, shared control, configurable, microprocessor-based, and data linked instrumentation where the functions are accessible by the operator via a shared display or monitor.

(2) The user shall select and document one of the following for use of these symbols in a:

- (a) Primary shared-display, shared-control system.
- (b) Basic Process Control System (BPCS).

(3) The user shall select and document one of the following for use of these symbols in an:

- (a) Alternate shared-display, shared-control system.
- (b) Safety Instrumented System (SIS).

(4) Devices and functions represented by these bubble symbols are configured in computer systems that include, but are not limited to:

(a) Process controllers, process optimizers, statistical process control, model predictive process control, analyzer controllers, business computers, and manufacturing execution systems, and other systems ) that interact with the process by manipulating set points in the BPCS.

- (b) .High Level Control System (HLCS

(5) Discrete devices or functions that are hardware-based and are either stand alone or are connected to other instruments, devices, or systems that include, but are not limited to, transmitters, switches, relays, controllers, and control valves.

(6) Accessibility includes viewing, setpoint adjustment, operating mode changing, and any other operator actions required to operate the instrumentation.

- (7) Functions represented by these symbols are simple and/or interlock logic:

(a) A description of the logic should be shown near by or in the notes section of the drawing or sketch if the intended logic is not clearly understandable.

(b) These symbols are not recommended for depicting complex DCS, PLC, or SIS applications that require other than 'AND' and 'OR' signal gates.

(8) A logic number, letter, or number/letter combination identification shall be used if more than one logic scheme is used on the project by:

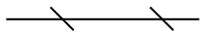
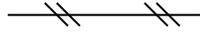
- (a) Replacing [I], [A], and [O] with the logic identification.
- (b) Appending the logic identification outside the symbol.

## Símbolos para linhas de conexões

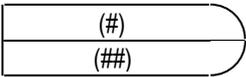
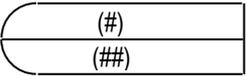
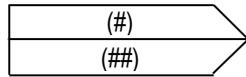
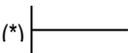
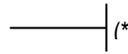
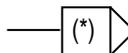
As tabelas mostradas a seguir apresentam os símbolos para representar as linhas de conexões usados na construção de diagramas de malha e fluxogramas de instrumentação.

Tabela 5. TIPOS DE CONEXÕES ENTRE INSTRUMENTOS

Nota: Números entre parentesis são explicados em notas a seguir.

No	Símbolo	Aplicação
1	(1) IA _____	<ul style="list-style-type: none"> <li>IA pode ser substituído por PA [Ar de processo], NS [nitrogênio], ou GS [qualquer alimentação de gás].</li> <li>Indicar a pressão se necessário, por ex.: PA-70kPa, NS-150psig, etc.</li> </ul>
2	(1) ES _____	<ul style="list-style-type: none"> <li>Alimentação elétrica de instrumento.</li> <li>Indicar o tipo de tensão, conforme necessário, por exemplo: ES-220VAC.</li> <li>ES poderá ser substituído por 24VDC ou 120VAC.</li> </ul>
3	(1) HS _____	<ul style="list-style-type: none"> <li>Alimentação hidráulica de instrumento.</li> <li>Indicar a pressão, conforme necessário, por exemplo: HS-70psig.</li> </ul>
4	(2) 	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sinal indefinido.</li> <li>Usar em diagramas de fluxo de processo.</li> <li>Usar em casos em que o tipo de sinal não é motivo de preocupação.</li> </ul>
5	(2) 	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sinal pneumático, continuamente variável ou binário.</li> </ul>
6	(2) -----	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sinal eletrônico ou elétrico continuamente variável ou binário.</li> <li>Sinal binário para diagrama funcional.</li> </ul>
7	(2) _____	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sinal continuamente variável para diagramas funcionais.</li> <li>Sinal elétrico em diagramas LADDER e barramentos de energia.</li> </ul>
8	(2) 	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sinal hidráulico.</li> </ul>
9	(2) 	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tubo capilar com fluido térmico de enchimento.</li> <li>Linha com fluido entre selo e instrumento.</li> </ul>
10	(2) 	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sinal eletromagnético de onda guiada..</li> <li>Sinal sônico de onda guiada.</li> <li>Cabo de fibra ótica.</li> </ul>
11	(3) a)  b) 	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sinal eletromagnético não guiado, luz, radiação, rádio, som, sinal sem fio, etc.</li> <li>Sinal de instrumentação sem fio.</li> <li>Link de comunicação sem fio.</li> </ul>
12	(4) —○—○—	<ul style="list-style-type: none"> <li>Link de comunicação e barramento de sistema entre dispositivos e funções de um sistema de controle e sistema de monitoramento compartilhado.</li> <li>Link de comunicação e barramento de sistema de DCS, PLC, ou PC.</li> </ul>
13	(5) —●—●—	<ul style="list-style-type: none"> <li>Link de comunicação ou barramento conectando dois ou mais sistemas independentes baseados em computadores ou microprocessadores</li> <li>Conexões de DCS para DCS, DCS para PLC, PLC para PC e DCS p/ Fieldbus, etc..</li> </ul>
14	(6) —◇—◇—	<ul style="list-style-type: none"> <li>Link de comunicação e barramento de sistema entre dispositivos e funções de um sistema <i>fieldbus</i>.</li> <li>Link de/ para dispositivos "inteligentes".</li> </ul>
15	(7) --○- - - -○- - -	<ul style="list-style-type: none"> <li>Link de comunicação entre um dispositivo e um sistema ou dispositivo de ajuste para calibração remota.</li> <li>Link de/ para dispositivos "smart".</li> </ul>

Nota: Números entre parentesis são explicados em notas a seguir.

No	Símbolo	Aplicação
16		<ul style="list-style-type: none"> <li>Link ou conexão mecânica.</li> </ul>
17	<p>(3)</p> <p>a) </p> <p>a) </p> <p>b) </p> <p>b) </p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Conector de sinal entre desenhos, sinal da esquerda para a direita.</li> <li>(#) = Tag de identificação do sinal enviado ou recebido.</li> <li>(##) = Desenho ou número da folha do sinal enviado ou recebido.</li> </ul>
18		<ul style="list-style-type: none"> <li>Sinal de entrada para diagrama lógico.</li> <li>(*) = Descrição de entrada, fonte ou <i>Tag-Number</i> de identificação.</li> </ul>
19		<ul style="list-style-type: none"> <li>Sinal de saída de diagrama lógico.</li> <li>(*) = Descrição de saída, destino ou <i>Tag-Number</i> de identificação.</li> </ul>
20		<ul style="list-style-type: none"> <li>Conector de sinal para função interna, lógica ou diagrama <i>Ladder</i>.</li> <li>Fonte de sinal para um ou mais receptores.</li> <li>(*) = Identificação da conexão A, B, C, etc.</li> </ul>
21		<ul style="list-style-type: none"> <li>Conector de sinal para função interna, lógica ou diagrama <i>Ladder</i>.</li> <li>Receptor de sinal, um ou mais de uma única fonte.</li> <li>(*) = Identificação da conexão A, B, C, etc.</li> </ul>

### Notas referente a tabela dos tipos de conexões entre instrumentos

(1) Power supplies shall be shown when:

- (a) Different from those normally used, e.g. 120VDC when normal is 24VDC.
- (b) When device requires an independent power supply.
- (c) Affected by controller or switch actions.

(2) Arrows shall be used if needed to clarify direction of signal flow.

(3) Users engineering and design standards, practices and/or guidelines shall document which symbol has been selected.

(4) The line symbols connect devices and functions that are integral parts of dedicated systems, such as distributed control systems (DCS), programmable logic controllers (PLC), personal computer systems (PC), and computer control systems (CCS) over a dedicated communication link.

(5) The line symbols connect independent microprocessor-based and computer-based systems to each other over a dedicated communications link, using but not limited to the RS232 protocol.

(6) The line symbols connect “intelligent” devices, such as microprocessor-based transmitters and control valve positioners that contain control functionality, to other such devices and to the instrumentation system, using but not limited to Ethernet fieldbus protocols.

(7) The line symbols connect “smart” devices, such as transmitters, to instrumentation system input signal terminals and provide a superimposed digital signal that is used for instrument diagnostics and calibration.

## Alguns Arranjos Típicos de Instrumentos

### Válvula de Controle



Válvula com atuador pneumático de diafragma



Válvula com atuador elétrico (senoidal ou motor)



Válvula com atuador hidráulico ou pneumático tipo pistão

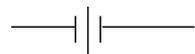


Válvula manual



Válvula auto-operada de diafragma

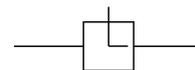
### Instrumentação de Vazão



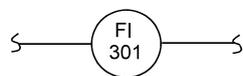
Placa de orifício



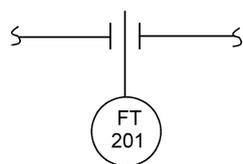
Medidor Venturi



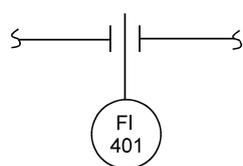
Tubo Pitot



Medidor de linha (Rotâmetro)

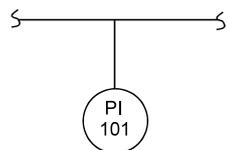


Transmissor de vazão

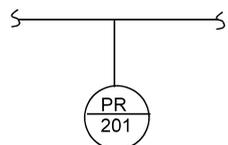


Indicador de vazão (montagem local)

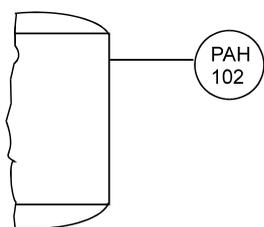
**Pressão**



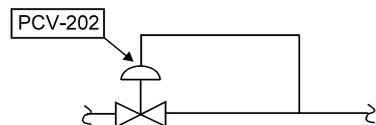
Indicador de pressão  
(manômetro)  
(montagem local)



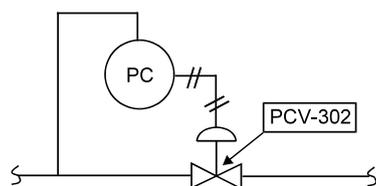
Registrador de pressão no  
painel.



Alarme de pressão alta  
montagem local.

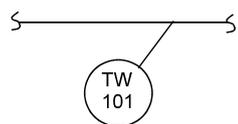


Válvula reguladora de pressão  
auto-atuada.

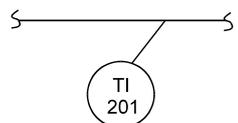


Controlador de pressão, tipo cego,  
comandando válvula de controle,  
com transmissão pneumática.

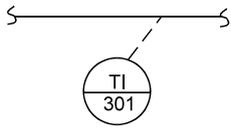
**Temperatura**



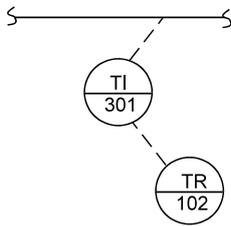
Poço para termômetro ou termopar.



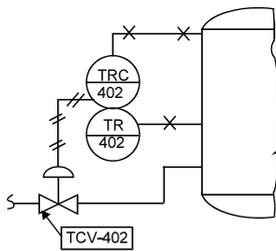
Indicador de temperatura.



Indicador de temperatura no painel com transmissão elétrica.

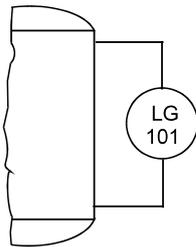


Indicador e registrador de temperatura no painel, com transmissão elétrica.

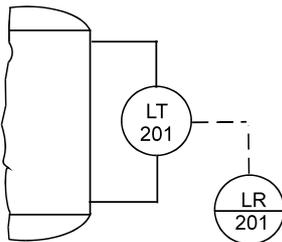


Instrumento combinado de registro e controle de temperatura no painel, comandando válvula de controle com transmissão pneumática.

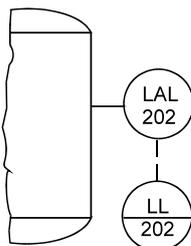
**Nível**



Visor de Nível



Registrador de nível no painel, com recepção elétrica e instrumento transmissor externo.



Alarme de nível baixo, montagem local, com sinalização no painel (transmissão elétrica).

## TERMINOLOGIA

**Erro:** É a diferença entre o valor lido ou transmitido pelo instrumento, em relação ao valor real da variável medida. Se tivermos o processo em regime permanente, chamaremos de erro estático, que poderá ser positivo ou negativo, dependendo da indicação do instrumento, o qual poderá estar indicando a mais ou a menos.

Quando tivermos a variável variando, teremos um atraso na transferência de energia do meio para o medidor. O valor medido estará geralmente atrasado em relação ao valor real da variável. Esta diferença entre o valor real e o valor medido é chamada de ERRO DINÂMICO.

Quando a variável não estiver variando, podemos ter somente o ERRO ESTÁTICO. Quando a variável estiver variando, poderemos ter o ERRO DINÂMICO e o ERRO ESTÁTICO.

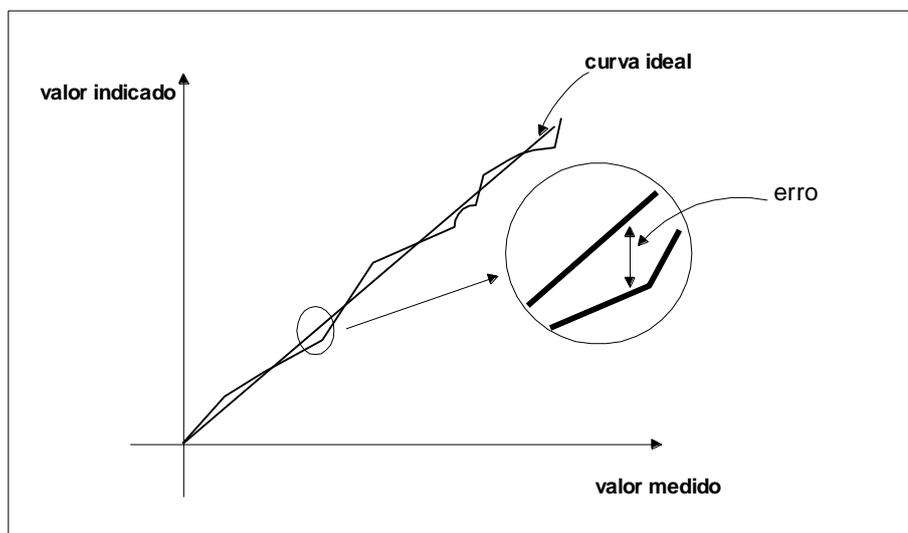


Figura 7.

**Erro Absoluto** - Resultado de uma medição menos o valor verdadeiro convencional da grandeza medida.

**Erro Aleatório** - Componente do erro de medição que varia de uma forma imprevisível quando se efetuam várias medições da mesma grandeza.

**Erro Sistemático** - Componente do erro de medição que se mantém constante ou varia de forma previsível quando se efetuam várias medições de uma mesma grandeza. Os erros sistemáticos e suas causas podem ser conhecidos ou desconhecidos. Para um instrumento de medida ver "erro de justeza".

**Erro Combinado** - Desvio máximo entre a reta de referência e a curva de medição, incluindo os efeitos de não linearidade, histeresis e repetibilidade, expresso em porcentagem do sinal de saída nominal.

**Valor Verdadeiro (de uma grandeza)** - Valor que caracteriza uma grandeza perfeitamente definida nas condições existentes quando ela é considerada. O valor verdadeiro de uma grandeza é um conceito ideal e não pode ser conhecido exatamente.

**Valor Verdadeiro Convencional (de uma grandeza)** - Valor de uma grandeza que para um determinado objetivo pode substituir o valor verdadeiro. Um valor verdadeiro convencional é, em geral, considerado como suficientemente próximo do valor verdadeiro para que a diferença seja insignificante para determinado objetivo.

**Escala** - Conjunto ordenado de marcas, associado a qualquer numeração, que faz parte de um dispositivo indicador.

**Valor de uma Divisão** - Diferença entre os valores da escala correspondentes a duas marcas sucessivas.

**Ajuste (de um instrumento)** - (*calibração*) Operação destinada a fazer com que um instrumento de medir tenha um funcionamento e justeza adequada à sua utilização.

**Calibração (de um instrumento)** - (*aferição*) Conjunto de operações que estabelece, sob condições especificadas, a relação entre os valores indicados por um instrumento de medição e os valores correspondentes das grandezas estabelecidos por padrões. O resultado de uma calibração permite tanto o estabelecimento dos valores do mensurando para as indicações, como a determinação das correções a serem aplicadas. Quando registrada em um documento, temos um certificado de calibração ou relatório de calibração.

**Faixa Nominal** - (*faixa de medida, RANGE*) Conjunto de valores da grandeza medida que pode ser fornecido por um “instrumento de medir”, consideradas todas as suas faixas nominais de escala. A faixa nominal é expressa em unidades da grandeza a medir, qualquer que seja a unidade marcada sobre a escala e é normalmente especificada por seus limites inferior e superior, como por exemplo 100°C a 200°C.

**Amplitude da Faixa Nominal** - (*alcance, SPAN*) Módulo da diferença entre os dois limites de uma faixa nominal de um “instrumento de medir”.

Exemplo: faixa nominal: -10 V a 10 V

amplitude da faixa nominal: 20 V

**URL (Upper Range Limit)** - Limite superior da faixa nominal - máximo valor de medida que pode ser ajustado para a indicação de um instrumento de medir.

**URV (Upper Range Value)** - Valor superior da faixa nominal - máximo valor que pode ser indicado por um instrumento de medir. O URV ajustado num instrumento é sempre menor ou igual ao URL do instrumento.

**LRL (Lower Range Limit)** - Limite inferior da faixa nominal - mínimo valor de medida que pode ser ajustado para a indicação de um instrumento de medir.

**LRV (Lower Range Value)** - Valor inferior da faixa nominal - mínimo valor que pode ser indicado por um instrumento de medir. O LRV ajustado num instrumento é sempre maior ou igual ao LRL do instrumento.

**Condições de Referência** - Condições de utilização de um instrumento de medir prescritas para ensaios de funcionamento ou para assegurar a validade na comparação de resultados de medição.

**Sensibilidade** - Quociente da variação da resposta de um instrumento de medir pela variação correspondente do estímulo. A sensibilidade pode depender do estímulo.

**Resolução** - Expressão quantitativa da aptidão de um instrumento de medir e distinguir valores muito próximos da grandeza a medir sem necessidade de interpolação, ou seja, é a menor diferença entre indicações de um dispositivo mostrador que pode ser significativamente percebida.

É a razão entre a variação do valor indicado ou transmitido por um instrumento e a variação da variável que o acionou, após ter alcançado o estado de repouso. Pode ser expressa em unidades de medida de saída e entrada.

Exemplo: Um termômetro de vidro com range de 0 à 500 °C, possui uma escala de leitura de 50 cm.

$$\text{Sensibilidade ou Resolução} = 50/500 \text{ cm/ } ^\circ\text{C} = 0,1 \text{ cm/ } ^\circ\text{C}$$

**Exatidão** - Podemos definir como sendo o maior valor de erro estático que um instrumento possa ter ao longo de sua faixa de trabalho. Ou ainda podemos definir como o grau de concordância entre o resultado de uma medição e um valor verdadeiro do mensurando. Pode ser expresso de diversas maneiras:

- Em porcentagem do alcance (span)

Um instrumento com range de 50 à 150 °C, está indicando 80 °C e sua exatidão é de  $\pm 0,5\%$  do span.

Sendo,  $\pm 0,5\% = \pm 0,5/100 = \pm 0,005$  e o span = 100 °C, teremos:

$$0,005 \cdot 100 = \pm 0,5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Portanto, a temperatura estará entre 79,5 °C e 80,5 °C.

- Em unidade da variável

Instrumento com exatidão de  $\pm 2 \text{ } ^\circ\text{C}$

- Em porcentagem do valor medido

Um instrumento com range de 50 à 150 °C, está indicando 80 °C e sua exatidão é de  $\pm 0,5\%$  do valor medido.

Sendo,  $\pm 0,5\% = \pm 0,5/100 = \pm 0,005$  e o valor medido = 80 °C, teremos:

$$0,005 \cdot 80 = \pm 0,4 \text{ °C}$$

Portanto, a temperatura estará entre 79,6 °C e 80,4 °C.

**Zona morta** - É a máxima variação que a variável possa ter, sem provocar variações na indicação ou sinal de saída de um instrumento ou em valores absolutos do range do mesmo.

Exemplo: Um instrumento com range de 0 °C à 200 °C, possui uma zona morta de  $\pm 0,1\%$  do span. A zona morta do instrumento pode ser calculada da seguinte forma:

Sendo,  $\pm 0,1\% = \pm 0,1 = \pm 0,001$ , teremos:  $0,001 \cdot 200 = \pm 0,2 \text{ °C}$

$$100$$

Portanto, se a variável de processo variar 0,2 °C, o instrumento não apresentará resposta alguma.

**Histerese** - É a diferença máxima apresentada por um instrumento, para um mesmo valor, em qualquer ponto da faixa de trabalho, quando a variável percorre toda a escala no sentido ascendente e descendente.

É expresso em porcentagem do span.

Exemplo: Durante a calibração de um determinado instrumento com range de 0 à 200 °C (0 a 100%), foi levantada a curva dos valores indicados, conforme mostrado na figura.

A diferença entre 13,60mA e 10,40mA, correspondente a 120 °C e 110 °C representa o erro de histeresis correspondente a 20 % do span. Este exemplo, apresenta um exagero no valor da histerese, normalmente o valor de histerese é menor.

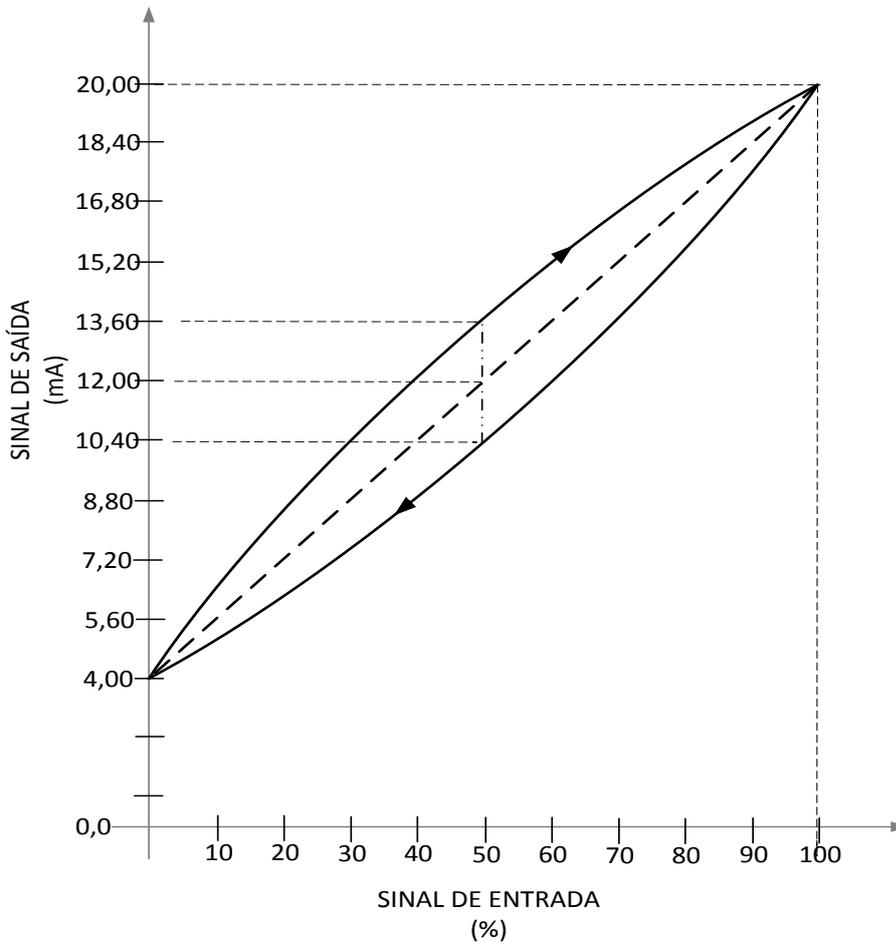


Figura 8. Curva característica do erro de histerese

Podemos observar que o termo zona morta está incluído na histerese.

**Repetibilidade** - É a máxima diferença entre diversas medidas de um mesmo valor da variável, adotando sempre o mesmo sentido de variação. Expressa-se em porcentagem do span.

Exemplo: Um instrumento com range de 0 à 1000 l/min, repetibilidade de  $\pm 10\%$  do span e exatidão de  $\pm 20\%$  do span, quando para uma vazão real na primeira passagem ascendente de 500 l/min e o instrumento indicar 600 l/min, numa segunda passagem ascendente com vazão real de 500 l/min o instrumento indicará até  $600 \pm 100$  l/min, conforme mostrado na figura, a seguir:

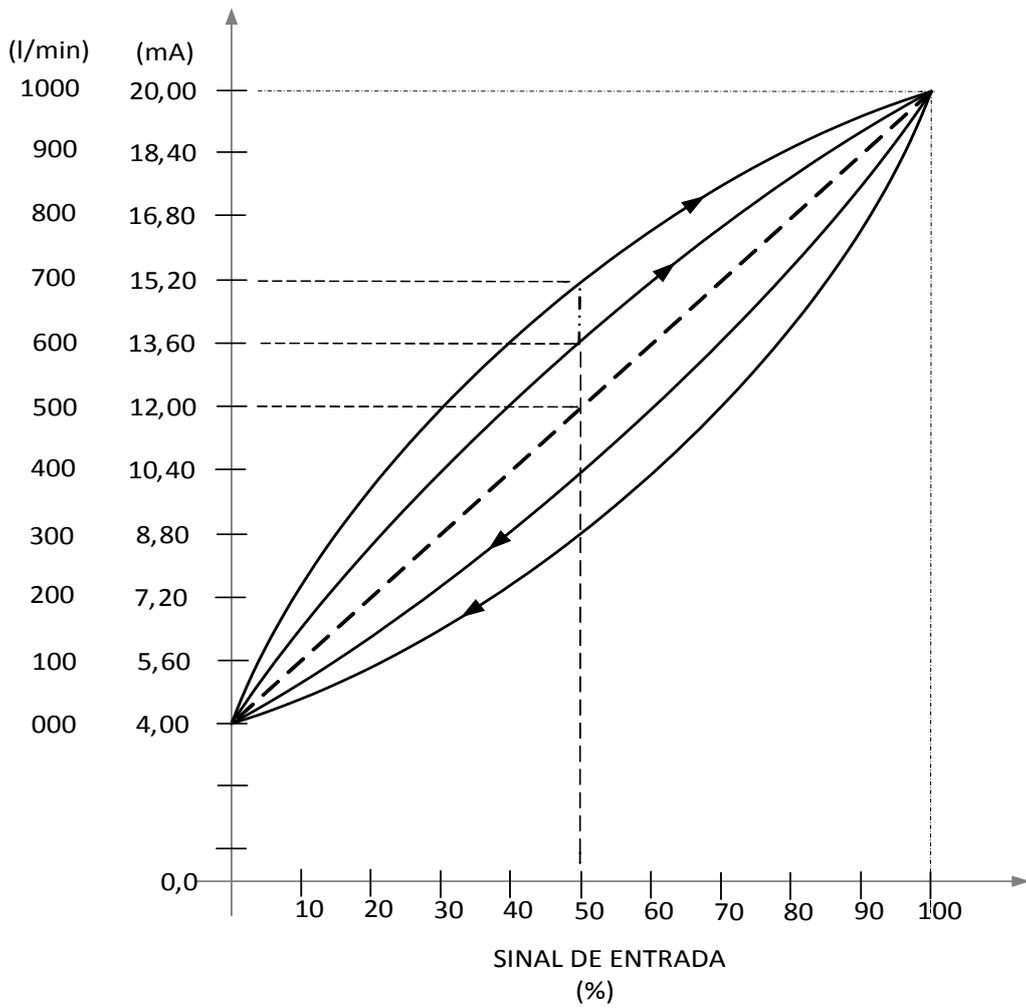


Figura 9. Curva característica do erro de repetibilidade

## Exercícios de Introdução a Instrumentação Básica

Nas questões de 1 à 5, assinale a alternativa correta.

1) Processo industrial é definido como:

- a) a variável que mais diretamente indica a forma ou o estado desejado do produto;
- b) a energia ou o material do processo, da qual a variável manipulada é uma condição ou característica;
- c) a variável, na qual o controlador automático atua, no sentido de se manter a variável controlada no valor desejado;
- d) uma operação ou uma série de operações realizada em um determinado equipamento, onde varia pelo menos uma característica física ou química de um material;
- e) condições internas ou externas que afetam o desempenho de um processo.

2) Variável de processo é definida como:

- a) a variável que mais diretamente indica a forma ou o estado desejado do produto;
- b) a energia ou o material do processo, da qual a variável manipulada é uma condição ou característica;
- c) é a variável, na qual o controlador automático atua, no sentido de se manter a variável controlada no valor desejado;
- d) uma operação ou uma série de operações realizada em um determinado equipamento, onde varia pelo menos uma característica física ou química de um material;
- e) condições internas ou externas que afetam o desempenho de um processo.

3) Variável controlada é definida como:

- a) a variável que mais diretamente indica a forma ou o estado desejado do produto;
- b) a energia ou o material do processo, da qual a variável manipulada é uma condição ou característica;
- c) a variável, na qual o controlador automático atua, no sentido de se manter a variável controlada no valor desejado;
- d) uma operação ou uma série de operações realizada em um determinado equipamento, onde varia pelo menos uma característica física ou química de um material;
- e) condições internas ou externas que afetam o desempenho de um processo.

4) Meio controlado é definido como:

- a) A variável que mais diretamente indica a forma ou o estado desejado do produto;
- b) A energia ou o material do processo, da qual a variável manipulada é uma condição ou característica;
- c) A variável, na qual o controlador automático atua, no sentido de se manter a variável controlada no valor desejado;
- d) uma operação ou uma série de operações realizada em um determinado equipamento, onde varia pelo menos uma característica física ou química de um material;
- e) são condições internas ou externas que afetam o desempenho de um processo.

5) Variável manipulada é definida como:

- a) a variável que mais diretamente indica a forma ou o estado desejado do produto;
- b) a energia ou o material do processo, da qual a variável manipulada é uma condição ou característica;
- c) a variável, na qual o controlador automático atua, no sentido de se manter a variável controlada no valor desejado;
- d) uma operação ou uma série de operações realizada em um determinado equipamento, onde varia pelo menos uma característica física ou química de um material;
- e) são condições internas ou externas que afetam o desempenho de um processo.

6) Dê a definição de agente de controle.

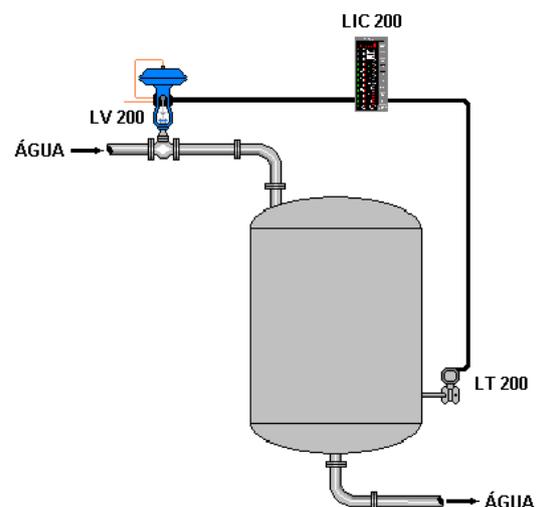
7) No processo mostrado na figura a seguir, descreva qual é:

A variável controlada:

A variável manipulada:

O meio controlado:

O agente de controle:



8) Defina o que é malha fechada e o que é malha aberta.

9) Cite os três elementos básicos de um sistema de controle automático.

10) Associe a primeira coluna com a segunda.

- |                    |   |
|--------------------|---|
| a) erro            | ( ) É a razão entre a variação do valor indicado ou transmitido por um instrumento e a variação da variável que o acionou, após ter alcançado o estado de repouso.                                  |
| b) faixa de medida | ( ) É a máxima variação que a variável possa ter, sem provocar variações na indicação ou sinal de saída de um instrumento ou em valores absolutos do range do mesmo.                                |
| c) alcance         | ( ) É a diferença entre o valor lido ou transmitido pelo instrumento em relação ao valor real da variável medida.   |
| d) histeresis      | ( ) Conjunto de valores da variável medida que estão compreendidos dentro do limite superior e inferior da capacidade de medida ou de transmissão do instrumento.                                   |
| e) exatidão        | ( ) É a máxima diferença entre diversas medidas de um mesmo valor da variável, adotando sempre o mesmo sentido de variação.   |
| f) sensibilidade   | ( ) É a diferença algébrica entre o valor superior e inferior da faixa de medida do instrumento.  |
| g) repetibilidade  | ( ) É a diferença máxima apresentada por um instrumento, para um mesmo valor, em qualquer ponto da faixa de trabalho, quando a variável percorre toda a escala no sentido ascendente e descendente. |
| h) zona morta      | ( ) Podemos definir como sendo o maior valor de erro estático que um instrumento possa ter ao longo de sua faixa de trabalho.   |

11) Calcule a faixa de medição que um instrumento pode indicar, quando a temperatura real medida pelo mesmo é  $30^{\circ}\text{C}$ , sabendo-se que a escala de medição é de  $-20$  a  $+80^{\circ}\text{C}$  e sua exatidão é de  $\pm 0,75\%$  do alcance. Calcule também, a faixa de medição que outro instrumento pode indicar, quando a temperatura real medida pelo mesmo é  $30^{\circ}\text{C}$ , sabendo-se que a escala de medição é de  $-20$  a  $+80^{\circ}\text{C}$  e sua exatidão é de  $\pm 0,75\%$  do valor medido.

12) Assinale V para as sentenças verdadeiras e F para as sentenças falsas:

a) ( ) Indicador é um instrumento composto por uma escala e um ponteiro.

b) ( ) Registrador é um instrumento que compara a variável controlada com um valor desejado e fornece um sinal de saída a fim de manter a variável controlada em um valor específico ou entre valores determinados.

c) ( ) Transmissor de nível é um instrumento que mede temperatura, através de um elemento primário, e transmite para um outro instrumento a distância, através de um sinal padronizado proporcional à temperatura medida.

d) ( ) Controlador é um instrumento que modifica diretamente o valor da variável manipulada de uma malha de controle.

e) ( ) Conversor corrente-pressão é um instrumento que recebe um sinal em corrente e converte para um sinal pneum. de saída, proporcional ao sinal de entrada.

f) ( ) Os anunciadores de alarme são dispositivos de segurança destinados a identificar anormalidades em um processo e alertar o operador através de sons ou luzes intermitentes.

g) ( ) Chaves são instrumentos que detectam a presença do meio controlado em um ponto pré ajustado e mudam o estado de um interruptor, possibilitando a energização ou desenergização de um circuito elétrico, eletrônico ou digital.

13) Calcule o valor pedido:

a) 70% da faixa de medição  $1 - 5 \text{ V}$  = \_\_\_\_\_

b) 80% da faixa de medição  $1 - 5 \text{ V}$  = \_\_\_\_\_

c) 10% da faixa de medição  $0,25 - 1,25 \text{ V}$  = \_\_\_\_\_

d) 30% da faixa de medição  $0,25 - 1,25 \text{ V}$  = \_\_\_\_\_

e) 45% da faixa de medição  $4 - 20 \text{ mA}$  = \_\_\_\_\_

f) 55% da faixa de medição  $4 - 20 \text{ mA}$  = \_\_\_\_\_

14) Calcule o valor pedido:

- a) 1,2 V corresponde a quantos % da faixa 1 – 5 V = \_\_\_\_\_
- b) 4,8 mA corresponde a quantos % da faixa 4 à 20 mA = \_\_\_\_\_
- c) 6,2 mA corresponde a quantos % da faixa 4 à 20 mA = \_\_\_\_\_
- d) 9 mA corresponde a quantos % da faixa 4 à 20 mA = \_\_\_\_\_
- e) 1,5 V corresponde a quantos % da faixa 1 à 5 V = \_\_\_\_\_

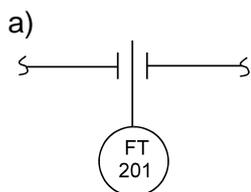
15) Quanto ao sinal de transmissão , quais as vantagens e desvantagens:

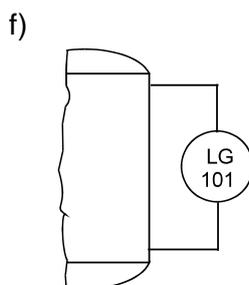
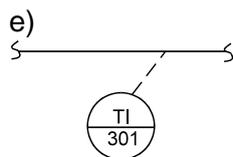
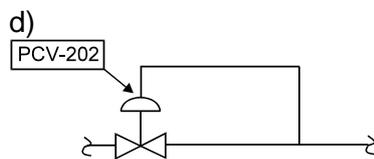
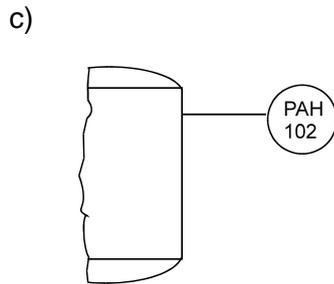
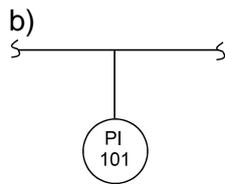
- do sinal pneumático sobre o eletrônico analógico?
- do sinal eletrônico digital sobre o eletrônico analógico?
- do sinal por ondas de rádio sobre o eletrônico analógico?

16) Qual o motivo para que a maior parte dos sinais de transmissão comecem com um valor maior que zero (exp: 1~5 Volts , 4~20 mA, 0.2 ~ 1.0 kgf/cm<sup>2</sup> , 3 ~ 15 PSI) ?

17) Por que existe um limite da quantidade ou resistência máxima, de equipamentos que podem ser conectados em série (as transmissões de sinais por corrente) ?

18) Cite a função de cada componente das malhas abaixo:

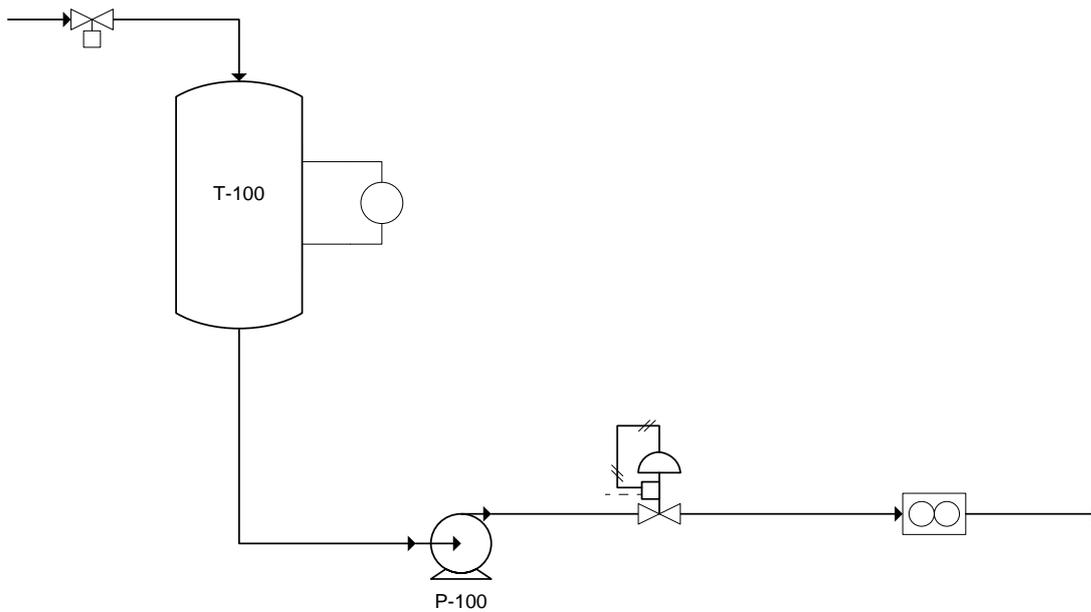




19) Faça um diagrama de instrumentação de um proceso de armazenamento e transferencia de produto. Utilize o diagrama a seguir, como base para a solução deste exercício. Neste proceso existe as seguintes malhas:

- Comando para abertura de entrada de produto no tanque T-100 com: Chave de comando manual (HS-100) e Válvula tipo ON/OFF com acionamento por solenoide (HY-100);
- Controle de nível do tanque T-100 com: Transmissor de nível (LT-101), Controlador e Indicador de nível (LIC-101) e Válvula de controle de nível (LV-101);

- Medição de temperatura na saída de produto com: Transmissor de temperatura (TT-102), Registrador e Indicador de temperatura (TIR-102), Indicador de temperatura (TI-102);
- Medição de pressão na saída de produto com: Transmissor de pressão (PT-103), Registrador e Indicador de pressão (PIR-103), Indicador de pressão (PI-103);
- Medição de vazão na saída de produto com: Transmissor de vazão (FT-104), Registrador e Indicador de vazão (FI-104);



Supondo que no fluxograma da próxima folha, os instrumentos possuam as seguintes características técnicas:

PT-205  $\Rightarrow$  Range: -0,25 a 2,5 kgf/cm<sup>2</sup>; Saída: 4 a 20mA; Exatidão: +/- 0,75% do span

PIC-205  $\Rightarrow$  Entrada: 4 a 20 mA; Saída: 4 a 20 mA

PY-205  $\Rightarrow$  Entrada: 4 a 20 mA; Saída: 3 a 15 psi

PV- 205 A e B  $\Rightarrow$  Entrada: 3 a 15 psi

LT-208  $\Rightarrow$  Range: 0 a 650 mm; Saída: 4 a 20mA; Exatidão: +/- 0,5% do span

LI-208  $\Rightarrow$  Escala: 0 a 100%; Exatidão: +/- 0,6% do span

Responda o solicitado:

- 20) Qual o valor desejado de corrente de saída do PT-205, quando a pressão for 1,0 kgf/cm<sup>2</sup>?
- 21) Se a pressão na entrada do PT-205 for 0,5 kgf/cm<sup>2</sup> e sua corrente de saída for 8,32 mA, qual o erro apresentado pelo transmissor (em % do span)?
- 22) Qual a exatidão da malha LT-208 e LI-208?
- 23) Se o nível do tanque instrumentado pelo LT-208 for 300 mm, qual a faixa de valores possíveis de serem indicados no LI-208?
- 24) Qual a descrição (identificação) funcional dos seguintes instrumentos:
- FE-209: .....
- PSV-210: .....
- TAH-202: .....
- LG-208: .....
- PI-210: .....
- 25) Se o nível do tanque instrumentado pelo LT-208 for 520 mm, com sua saída em 16,64 mA e a indicação no LI-208 em 80%, qual instrumento apresenta erro e qual o erro deste(s) instrumento(s) em % do span?
- 26) Identifique pelo menos duas malhas fechadas e uma malha aberta, especificando todos os instrumentos componentes de cada uma destas malhas.

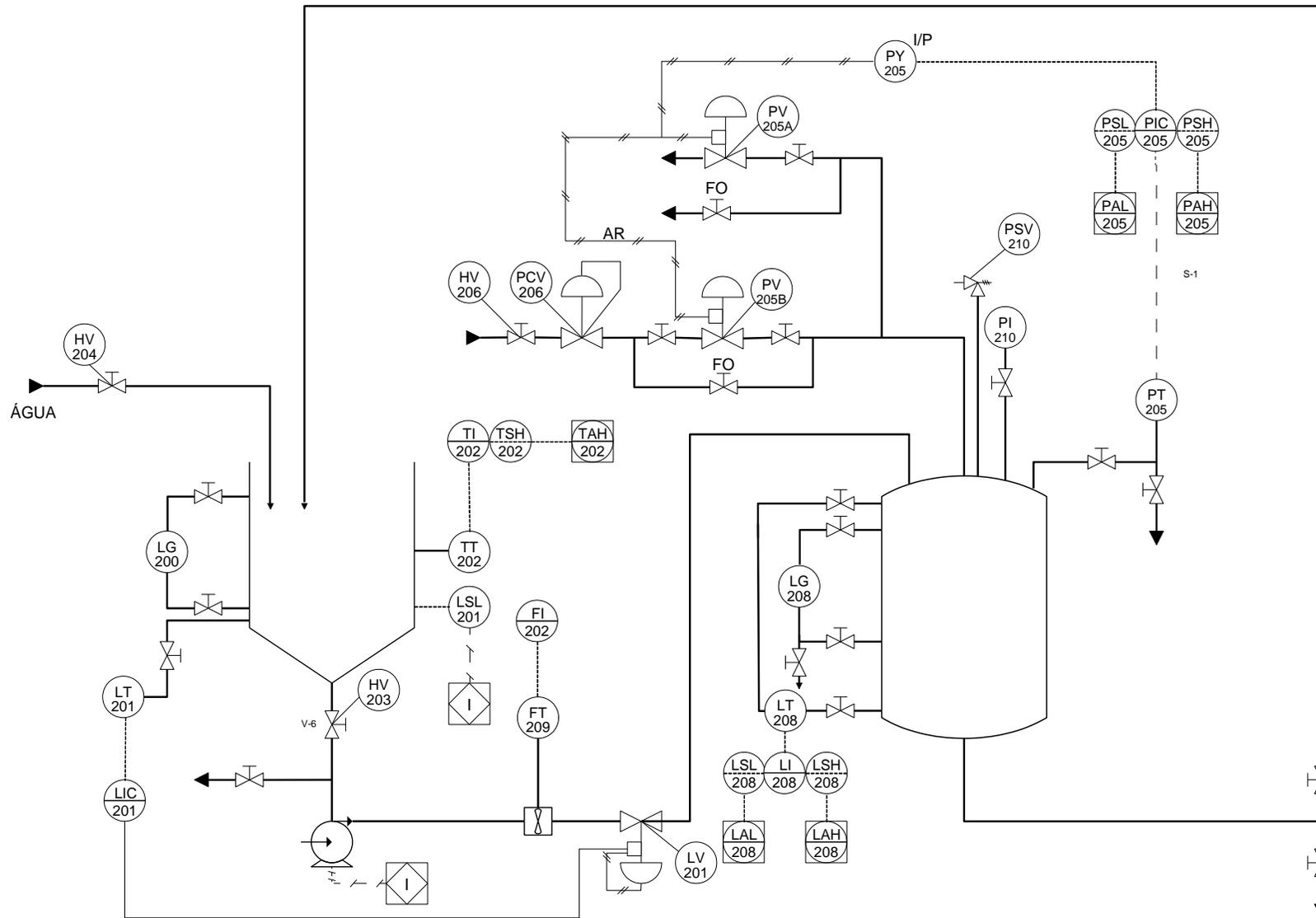


Figura 10.

# MEDIÇÃO DE PRESSÃO

A instrumentação é a ciência que se ocupa em desenvolver e aplicar técnicas de medição, indicação, registro e controle de processos de transformação, visando a otimização da eficiência dos mesmos. Essas técnicas são normalmente suportadas teoricamente em princípios físicos e ou físico-químicos e utiliza-se das mais avançadas tecnologias de fabricação para viabilizar os diversos tipos de medição de variáveis industriais. Dentre essas variáveis encontra-se a pressão cuja medição possibilita não só sua monitoração e controle como também de outras variáveis tais como nível, vazão e densidade. Assim por ser sua compreensão básica para o entendimento de outras áreas da instrumentação iniciaremos revisando alguns conceitos físicos importantes para medição de pressão.

## DEFINIÇÕES BÁSICAS

### Fluido

Toda matéria cuja forma pode ser mudada e por isso é capaz de se deslocar. Ao ato de se deslocar é caracterizado como escoamento e assim chamado de fluido.

### Massa Específica

Também chamada de densidade absoluta é a relação entre a massa e o volume de uma determinada substância. É representada pela letra  $\rho$  e no SI pela unidade ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ).

### Densidade Relativa

Relação entre massa específica de uma substância A e a massa específica de uma substância de referência, tomadas à mesma condição de temperatura e pressão.

Nota:

Para líquidos a densidade de uma substância tem como referência a água destilada a  $4^\circ\text{C}$  e 1 atm cujo valor foi convencionado ser igual a unidade.

Para gases e vapores a densidade de uma substância tem como referência o ar a  $15^\circ\text{C}$  e 1 atm cujo valor foi convencionado ser igual a unidade.

### Peso Específico

Relação entre peso e o volume de uma determinada substância. É representado pela letra  $\gamma$  e cuja unidade usual é  $\text{kgf}/\text{m}^3$ .

### Gravidade Específica

Relação entre a massa de uma substância e a massa de um mesmo volume de água, ambos tomadas à mesma temperatura.

### Lei da Conservação de Energia (Teorema de Bernoulli)

Esse teorema foi estabelecido por Bernoulli em 1738 e relaciona as energias potenciais e cinéticas de um fluido ideal ou seja, sem viscosidade e incompressível. Através desse teorema pode-se concluir que para um fluido perfeito, toda forma de energia pode ser transformada em outra, permanecendo constante sua somatória ao longo de uma linha de corrente. Assim sua equação representativa é:

$$P_1 + \frac{1}{2} \rho \cdot V_1^2 + \rho \cdot g \cdot h_1 = P_2 + \frac{1}{2} \rho \cdot V_2^2 + \rho g \cdot h_2 = cte$$

Essa equação pode ser simplificada em função das seguintes situações:

Se a corrente for constante na direção horizontal, teremos:

$$P_1 + \frac{1}{2} \rho \cdot V_1^2 = P_2 + \frac{1}{2} \rho \cdot V_2^2 = cte$$

Se a velocidade é nula e assim o fluido se encontra em repouso, teremos:

$$P_1 + \rho g h_1 = P_2 + \rho g h_2 = cte$$

### Teorema de Stevin

Esse teorema foi estabelecido por STEVIN e relaciona as pressões estáticas exercidas por um fluido em repouso com a altura da coluna do mesmo em um determinado reservatório.

Seu enunciado diz:

“A diferença de pressão entre dois pontos de um fluido em repouso é igual ao produto do peso específico do fluido pela diferença de cota entre os dois pontos”.

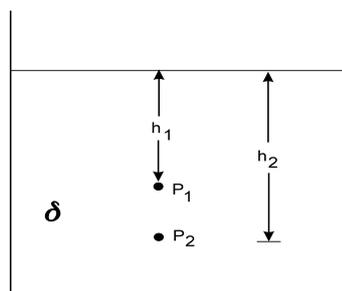


Figura 11.

$$P_2 - P_1 = \Delta P = (h_2 - h_1) \cdot \delta$$

Observação:

- Este teorema só é válido para fluidos em repouso.

- A diferença de cotas entre dois pontos deve ser feita na vertical.

### Princípio de Pascal

A pressão exercida em qualquer ponto de um líquido em forma estática, se transmite integralmente em todas as direções e produz a mesma força em áreas iguais.

Devido serem os fluidos praticamente incompressíveis, a força mecânica desenvolvida em um fluido sob pressão pode ser transmitida.

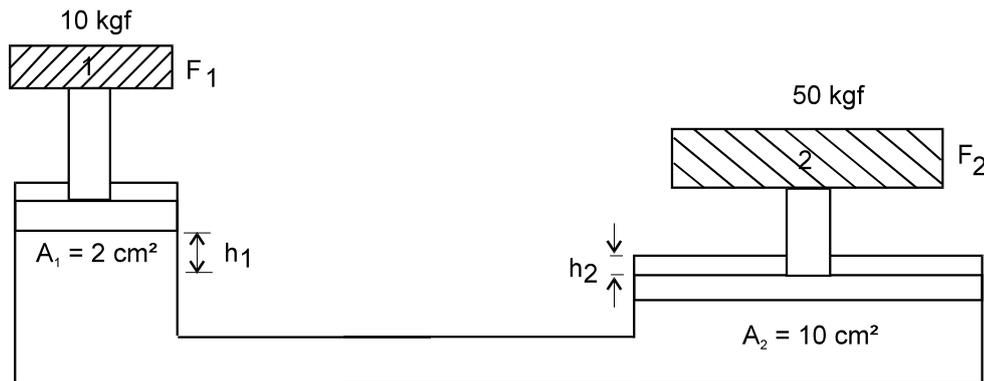


Figura 12.

Se aplicarmos uma força  $F_1 = 10 \text{ kgf}$  sobre o pistão 1, o pistão 2 levantará um peso de  $50 \text{ kgf}$  devido ter o mesmo uma área 5 vezes maior que a área do pistão 1.

$$P_1 = F_1 / A_1 \quad \text{e} \quad P_2 = F_2 / A_2 \quad \text{como} \quad P_1 = P_2 \quad \therefore \quad \boxed{F_1 / A_1 = F_2 / A_2}$$

O volume deslocado será o mesmo.

$$V_1 = A_1 \times h_1 \quad V_2 = A_2 \times h_2 \quad \rightarrow \quad \boxed{A_1 \times h_1 = A_2 h_2}$$

Exemplo:

Sabendo-se que  $F_1 = 20 \text{ kgf}$ ,  $A_1 = 100 \text{ cm}^2$  e  $A_2 = 10 \text{ cm}^2$ , calcular  $F_2$ .

$$\boxed{F_1 / A_1 = F_2 / A_2} \quad \therefore$$

$$F_2 = F_1 \times A_2 / A_1 = 20 \times (10 / 100) \text{ kgf} \times (\text{cm}^2 / \text{cm}^2) \rightarrow \boxed{F_2 = 2 \text{ kgf}}$$

### Equação Manométrica

Esta equação relaciona as pressões aplicadas nos ramos de uma coluna de medição e altura de coluna do líquido deslocado. A equação apresenta-se como a expressão matemática resultante dessa relação.

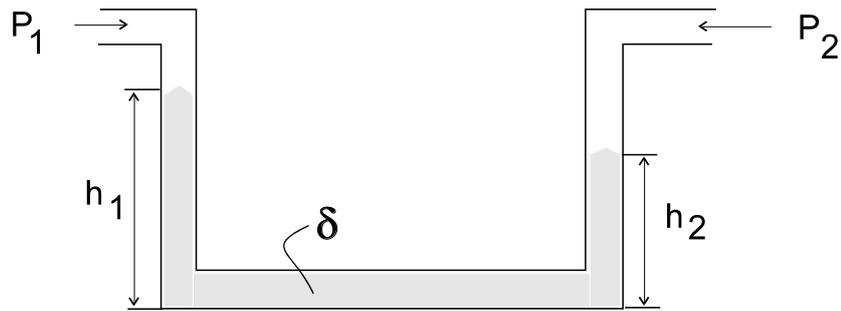


Figura 13.

$$P_1 + (h_1 \cdot \delta) = P_2 + (h_2 \cdot \delta) \therefore P_1 - P_2 = \delta \cdot (h_2 - h_1)$$

### DEFINIÇÃO DE PRESSÃO

Pode ser definida como sendo a relação entre uma força aplicada perpendicularmente (90°) à uma área (fig.) e é expressa pela seguinte equação:

$$P = F/A = \text{Força}/\text{Área}$$

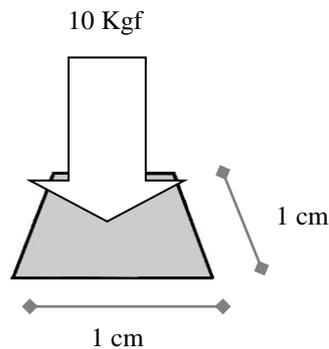


Figura 14. Exemplo de aplicação de uma força em uma superfície (10 Kgf/cm<sup>2</sup>).

A pressão pode ser também expressa como a somatória da pressão estática e pressão dinâmica e assim chamada de pressão total.

## **Pressão Estática**

É a pressão exercida em um ponto, em fluidos estáticos, que é transmitida integralmente em todas as direções e produz a mesma força em áreas iguais.

## **Pressão Dinâmica**

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

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

## **Pressão total**

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

## **Tipos de Pressão Medidas**

A pressão medida pode ser representada pela pressão absoluta, manométrica ou diferencial. A escolha de uma destas três depende do objetivo da medição. A seguir será definido cada tipo, bem como suas inter-relações e unidades utilizadas para representá-las.

### **Pressão absoluta**

É a pressão positiva a partir do vácuo perfeito, ou seja, a soma da pressão atmosférica do local e a pressão manométrica. Geralmente coloca-se a letra A após a unidade. Mas quando representamos pressão abaixo da pressão atmosférica por pressão absoluta, esta é denominada grau de vácuo ou pressão barométrica.

### **Pressão manométrica**

É a pressão medida em relação à pressão atmosférica existente no local, podendo ser positiva ou negativa. Geralmente se coloca a letra "G" após a unidade para representá-la. Quando se fala em uma pressão negativa, em relação a pressão atmosférica chamamos pressão de vácuo.

### **Pressão diferencial**

É o resultado da diferença de duas pressões medidas. Em outras palavras, é a pressão medida em qualquer ponto, menos no ponto zero de referência da pressão atmosférica.

## **Relação entre Tipos de Pressão Medida**

A figura abaixo mostra graficamente a relação entre os três tipos de pressão medida.

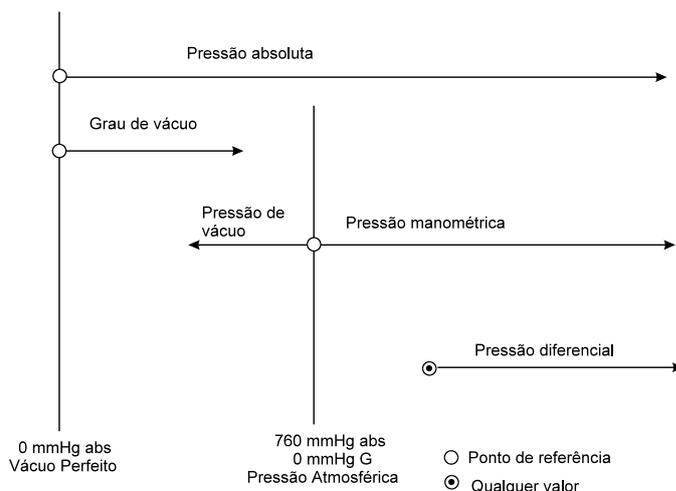


Figura 15. Relação entre tipos de pressão.

### Unidades de Pressão

A pressão possui vários tipos de unidade. Os sistemas de unidade MKS, CGS, gravitacional e unidade do sistema de coluna de líquido são utilizados tendo como referência a pressão atmosférica e são escolhidas, dependendo da área de utilização, tipos de medida de pressão, faixa de medição, etc.

Em geral são utilizados para medição de pressão, as unidades Pa, N/m<sup>2</sup>, kgf/cm<sup>2</sup>, mHg, mH<sub>2</sub>O, lbf/pol<sup>2</sup>, Atm e bar.

A seleção da unidade é livre, mas geralmente deve-se escolher uma grandeza para que o valor medido possa estar na faixa de 0,1 a 1000. Assim, as sete unidades anteriormente mencionadas, além dos casos especiais, são necessárias e suficientes para cobrir as faixas de pressão utilizadas no campo da instrumentação industrial. Suas relações podem ser encontradas na tabela de conversão a seguir.

Tabela 6. Conversão de Unidades de Pressão

	Kgf/cm <sup>2</sup>	lbf/pol <sup>2</sup>	BAR	Pol Hg	Pol H <sub>2</sub> O	ATM	mmHg	mmH <sub>2</sub> O	kpa
Kgf/cm <sup>2</sup>	1	14,233	0,9807	28,96	393,83	0,9678	735,58	10003	98,0665
lbf/pol <sup>2</sup>	0,0703	1	0,0689	2,036	27,689	0,068	51,71	703,29	6,895
BAR	1,0197	14,504	1	29,53	401,6	0,98692	750,06	10200	100
Pol Hg	0,0345	0,4911	0,03386	1	13,599	0,0334	25,399	345,40	3,3863
Pol H <sub>2</sub> O	0,002537	0,03609	0,00249	0,07348	1	0,002456	1,8665	25,399	0,24884
ATM	1,0332	14,696	1,0133	29,921	406,933	1	760,05	10335	101,325
mmHg	0,00135	0,019337	0,00133	0,03937	0,5354	0,001316	1	13,598	0,13332
mmH <sub>2</sub> O	0,000099	0,00142	0,000098	0,00289	0,03937	0,00009	0,07353	1	0,0098
Kpa	0,010197	0,14504	0,01	0,29539	4,0158	0,009869	7,50062	101,998	1

H<sub>2</sub>O à 60°F  
Hg à 32°F

A medição de uma variável de processo é feita, sempre, baseada em princípios físicos ou químicos e nas modificações que sofrem as matérias quando sujeitas às alterações impostas por essa variável. A medição da variável pressão pode ser realizada baseada em vários princípios, cuja escolha está sempre associada às condições da aplicação. Nesse tópico serão abordadas as principais técnicas e princípios de sua medição com objetivo de facilitar a análise e escolha do tipo mais adequado para cada aplicação.

## **MANÔMETRO DE LÍQUIDO**

### a) Princípio de funcionamento e construção:

É um instrumento de medição e indicação local de pressão baseado na equação manométrica. Sua construção é simples e de baixo custo. Basicamente é constituído por tubo de vidro com área seccional uniforme, uma escala graduada, um líquido de enchimento e suportados por uma estrutura de sustentação.

O valor de pressão medida é obtida pela leitura da altura de coluna do líquido deslocado em função da intensidade da referida pressão aplicada.

### b) Líquidos de enchimento

A princípio qualquer líquido com baixa viscosidade, e não volátil nas condições de medição, pode ser utilizado como líquido de enchimento. Entretanto, na prática, a água destilada e o mercúrio são os líquidos mais utilizados nesses manômetros.

### c) Faixa de medição

Em função do peso específico do líquido de enchimento e também da fragilidade do tubo de vidro que limita seu tamanho, esse instrumento é utilizado somente para medição de baixas pressões.

Em termos práticos, a altura de coluna máxima disponível no mercado é de 2 metros e assim a pressão máxima medida é de 2 mH<sub>2</sub>O caso se utilize água destilada, e 2 mHg com utilização do mercúrio.

## **Manômetro tipo Coluna em “U”**

O tubo em “U” é um dos medidores de pressão mais simples entre os medidores para baixa pressão. É constituído por um tubo de material transparente (geralmente vidro) recurvado em forma de U e fixado sobre uma escala graduada. A figura mostra três formas básicas.

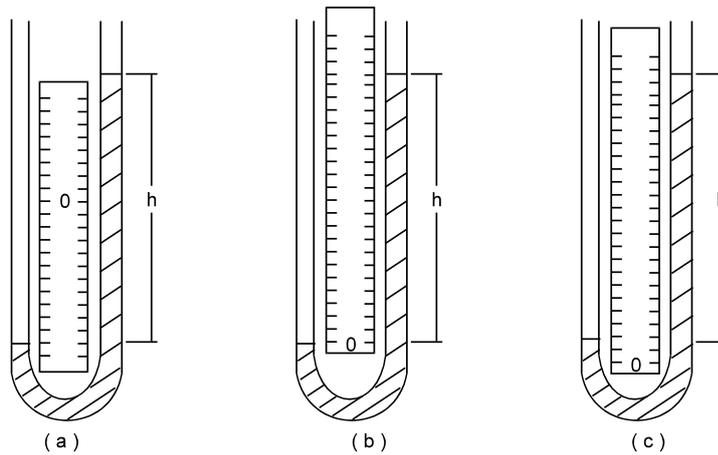


Figura 16. Manômetro tipo coluna “U”

No tipo ( a ), o zero da escala está no mesmo plano horizontal que a superfície do líquido quando as pressões  $P_1$  e  $P_2$  são iguais. Neste caso, a superfície do líquido desce no lado de alta pressão e, conseqüentemente sobe no lado de baixa pressão. A leitura se faz, somando a quantidade deslocada a partir do zero nos lados de alta e baixa pressão.

No tipo ( b ), o ajuste de zero é feito em relação ao lado de alta pressão. Neste tipo há necessidade de se ajustar a escala a cada mudança de pressão.

No tipo ( c ) a leitura é feita a partir do ponto mínimo da superfície do líquido no lado de alta pressão, subtraída do ponto máximo do lado de baixa pressão.

A leitura pode ser feita simplesmente medindo o deslocamento do lado de baixa pressão a partir do mesmo nível do lado de alta pressão, tomando como referência o zero da escala.

A faixa de medição é de aproximadamente 0 ~ 2000 mmH<sub>2</sub>O/mmHg.

### Manômetro tipo Coluna Reta Vertical

O emprego deste manômetro é idêntico ao do tubo em “U”.

Nesse manômetro as áreas dos ramos da coluna são diferentes, sendo a pressão maior aplicada normalmente no lado da maior área.

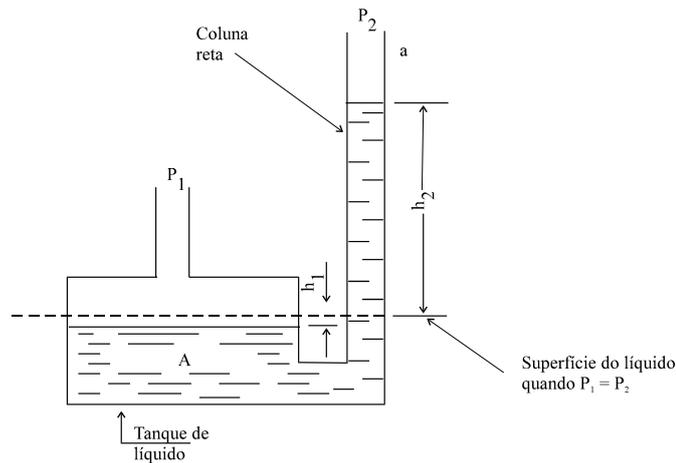


Figura 17. Manômetro tipo coluna reta vertical

Essa pressão, aplicada no ramo de área maior provoca um pequeno deslocamento do líquido na mesma, fazendo com que o deslocamento no outro ramo seja bem maior, face o volume deslocado ser o mesmo e sua área bem menor. Chamando as áreas do ramo reto e do ramo de maior área de “a” e “A” respectivamente e aplicando pressões  $P_1$  e  $P_2$  em suas extremidades teremos pela equação manométrica:

$$P_1 - P_2 = \delta (h_2 + h_1)$$

Como o volume deslocado é o mesmo, teremos:

$$A \cdot h_1 = a \cdot h_2 \therefore h_1 = a \cdot h_2 / A$$

Substituindo o valor de  $h_1$  na equação manométrica, teremos:

$$P_1 - P_2 = \delta \cdot h_2 (1 + a / A)$$

Como “A” é muito maior que “a”, equação anterior pode ser simplificado e reescrita. Assim teremos a seguinte equação utilizada para cálculo da pressão.

$$P_1 - P_2 = \delta \cdot h_2$$

### Manômetro tipo Coluna Inclinada

Este Manômetro é utilizado para medir baixas pressões na ordem de 50 mmH<sub>2</sub>O. Sua construção é feita inclinando um tubo reto de pequeno diâmetro, de modo a medir com boa precisão pressões em função do deslocamento do líquido dentro do tubo. A vantagem adicional é a de expandir a escala de leitura o que é muitas vezes conveniente para medições de pequenas pressões com boa precisão ( $\pm 0,02$  mmH<sub>2</sub>O).

A figura representa o croqui construtivo desse manômetro, onde “ $\alpha$ ” é o ângulo de inclinação e “a” e “A” são áreas dos ramos.

$P_1$  e  $P_2$  são as pressões aplicadas, sendo  $P_1 > P_2$ .

Sendo a quantidade deslocada, em volume, a mesma e tendo os ramos áreas diferentes, teremos:

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

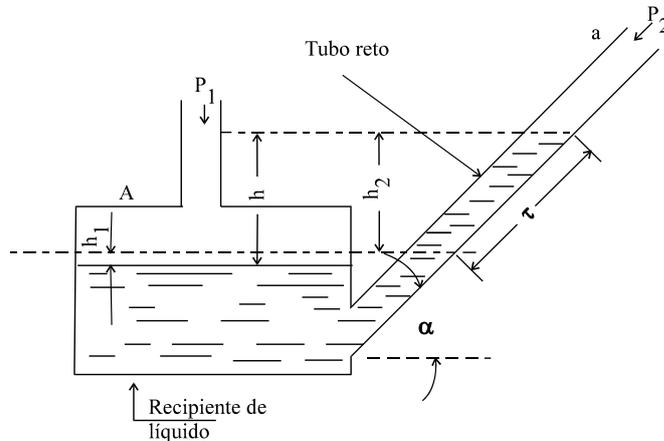


Figura 18. Manômetro tipo tubo inclinado

Consequentemente, a proporção da diferença entre as alturas das duas superfícies do líquido é:

$$1/h = 1/(h_1 + h_2) = 1/(a/A + \text{sen } \alpha)$$

Quanto menores forem  $a/A$  e  $\alpha$ , maior será a taxa de ampliação. Devido às influências do fenômeno de tubo capilar, uniformidade do tubo, etc. é recomendável utilizar o grau de inclinação de aproximadamente 1/10. A leitura neste tipo de manômetro é feita com o menisco na posição vertical em relação ao tubo reto. O diâmetro interno do tubo reto é de 2 ~ 3mm, a faixa de utilização é de aproximadamente 10 ~ 50mm H<sub>2</sub>O, e é utilizado como padrão nas medições de micropressão.

## APLICAÇÃO

Os manômetros de líquido foram largamente utilizados na medição de pressão, nível e vazão nos primórdios da instrumentação. Hoje, com o advento de outras tecnologias que permitem leituras remotas, a aplicação destes instrumentos na área industrial se limita a locais ou processos cujos valores medidos não são cruciais no resultado do processo ou a locais cuja distância da sala de controle inviabiliza a instalação de outro tipo de instrumento.

Porém, é nos laboratórios de calibração que ainda encontramos sua grande utilização, pois podem ser tratados como padrões.

## MANÔMETRO TIPO ELÁSTICO

Este tipo de instrumento de medição de pressão baseia-se na lei de Hooke sobre elasticidade dos materiais.

Em 1676, Robert Hook estabeleceu essa lei que relaciona a força aplicada em um corpo e a deformação por ele sofrida. Em seu enunciado ele disse: “o módulo da força aplicada em um corpo é proporcional à deformação provocada”.

Essa deformação pode ser dividida em elástica (determinada pelo limite de elasticidade), e plástica ou permanente.

Os medidores de pressão tipo elástico são submetidos a valores de pressão sempre abaixo do limite de elasticidade, pois assim cessada a força a ele submetida o medidor retorna a sua posição inicial sem perder suas características.

Esses medidores podem ser classificados em dois tipos, quais sejam:

Conversor da deformação do elemento de recepção de pressão em sinal elétrico ou pneumático.

Indicador/amplificador da deformação do elemento de recepção através da conversão de deslocamento linear em ângulos utilizando dispositivos mecânicos.

#### a) Funcionamento do medidor tipo elástico

O elemento de recepção de pressão tipo elástico sofre deformação tanto maior quanto a pressão aplicada. Esta deformação é medida por dispositivos mecânicos, elétricos ou eletrônicos.

O elemento de recepção de pressão tipo elástico, comumente chamado de manômetro, é aquele que mede a deformação elástica sofrida quando está submetido a uma força resultante da pressão aplicada sobre uma área específica.

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

#### b) Principais tipos de elementos de recepção

A tabela abaixo mostra os principais tipos de elementos de recepção utilizados na medição de pressão baseada na deformação elástica, bem como sua aplicação e faixa recomendável de trabalho.

Tabela 7.

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



**Manômetro Tubo Bourdon**

O Tubo de Bourdon consiste em um tubo com seção oval, que poderá estar disposto em forma de "C", espiral ou helicoidal, tem uma de sua extremidade fechada, estando a outra aberta à pressão a ser medida.

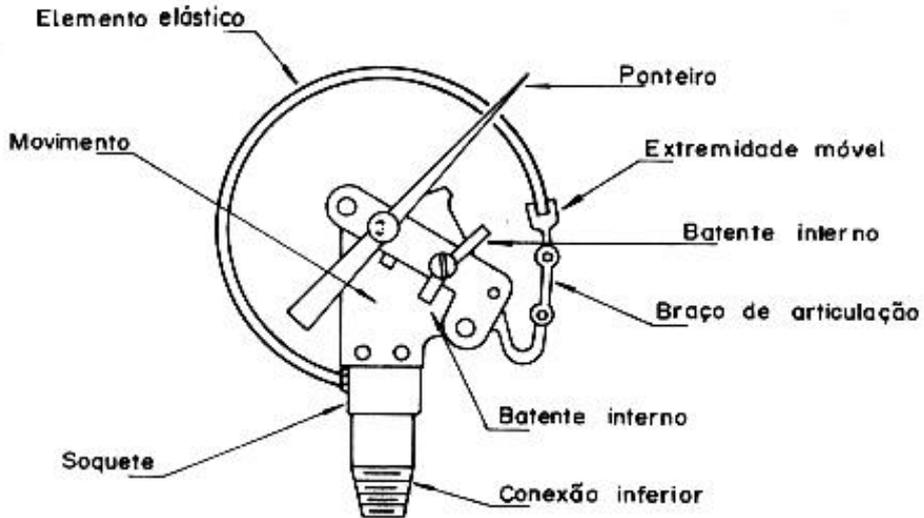
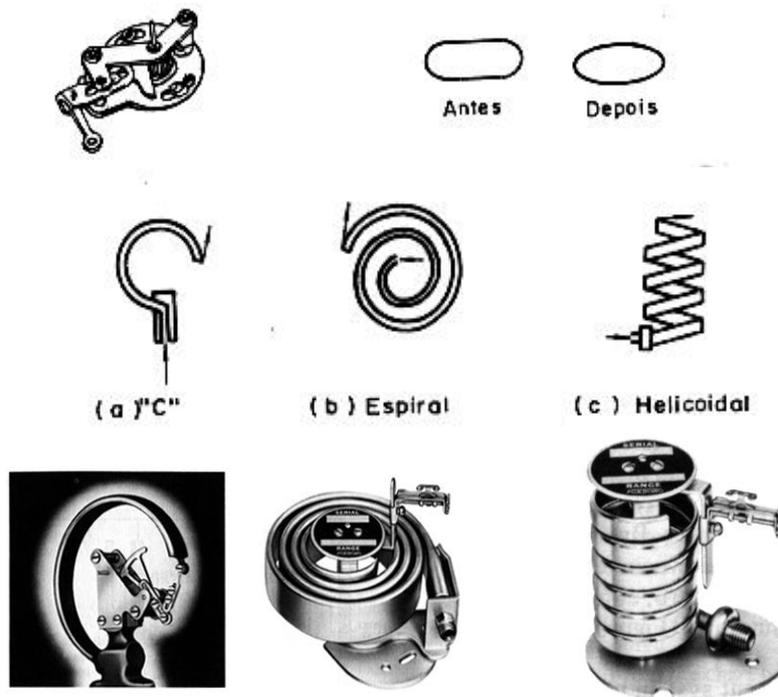


Figura 19.

Com a pressão agindo em seu interior, o tubo tende a tomar uma seção circular resultando um movimento em sua extremidade fechada. Esse movimento através de engrenagens é transmitido a um ponteiro que irá indicar uma medida de pressão em



uma escala graduada.

Figura 20.

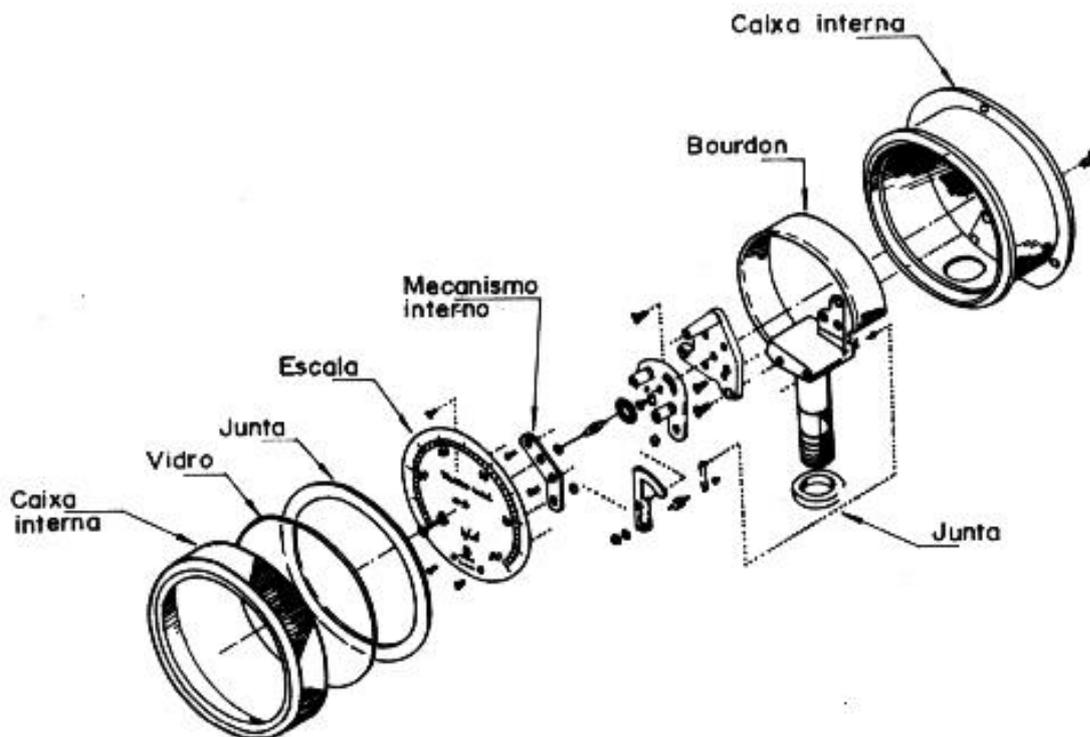


Figura 21.

De acordo com a faixa de pressão a ser medida e a compatibilidade com o fluido é que determinamos o tipo de material a ser utilizado na confecção de Bourdon. A tabela a seguir indica os materiais mais utilizados na confecção do tubo de Bourdon.

Tabela 8.

MATERIAL	COMPOSIÇÃO	COEFICIENTE DE ELASTICIDADE	FAIXA DE UTILIZAÇÃO
Bronze	Cu 60 ~ 71 e Zn	$1.1 \times 10^8 \text{ kgf/cm}^2$	~ 50 kgf/cm <sup>2</sup>
Alumibras	Cu 76, Zn 22, Al12	$1.1 \times 10^4$	~ 50
Aço Inox	Ni 10 ~ 14, Cr 16 ~ 18 e Fe	$1.8 \times 10^4$	~ 700
Bronze Fosforoso	Cu 92, Sn 8, P 0.03	$1.4 \times 10^4$	~ 50
Cobre berílio	Be 1 ~ 2, Co 0,35 e Cu	$1.3 \times 10^4$	~ 700
Liga de Aço	Cr 0.9 ~ 1.2, Mo 0.15 ~ 30 e Fe	$2.1 \times 10^4$	700 ~

Os manômetros tipo Bourdon podem ser classificados quanto ao tipo de pressão medida e quanto a classe de precisão.

Quanto a pressão medida ele pode ser manométrico para pressão efetiva, vácuo, composto ou pressão diferencial.

Quanto a classe de precisão, essa classificação pode ser obtida através das tabelas, a seguir.

Tabela 9.

CLASSE	EXATIDÃO	
A4	0,10 % da faixa	
A3	0,25 % da faixa	
A2	0,50 % da faixa	
A1	1,00 % da faixa	
A	1,00 % na faixa de 25 a 75 %	2 % no restante da faixa
B	2,00 % na faixa de 25 a 75 %	3 % no restante da faixa
C	3,00 % na faixa de 25 a 75 %	4 % no restante da faixa
D	4,00 % na faixa de 25 a 75 %	5 % no restante da faixa

Com exceção dos manômetros utilizados como padrão, a pressão normal medida deve estar próxima a 75% da escala máxima quando essa variável for estática e próxima a 60% da escala máxima para o caso de medição de pressão variável.

### Manômetro com selagem líquida

Em processos industriais que manipulam fluidos corrosivos, viscosos, tóxicos, sujeitos à alta temperatura e/ou radioativos, a medição de pressão com manômetro tipo elástico se torna impraticável pois o Bourdon não é adequado para essa aplicação, seja em função dos efeitos da deformação proveniente da temperatura, seja pela dificuldade de escoamento de fluidos viscosos ou seja pelo ataque químico de fluidos corrosivos. Nesse caso, a solução é recorrer a utilização de algum tipo de isolamento para impedir o contato direto do fluido do processo com o Bourdon.

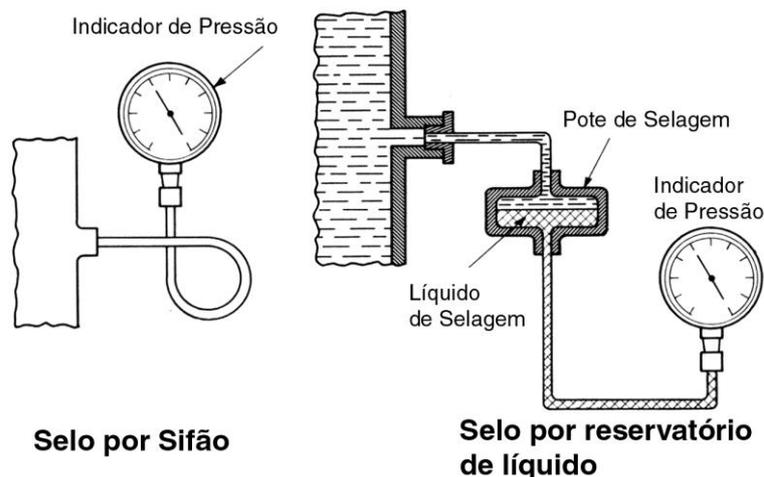


Figura 22.

Existem basicamente dois tipos de isolamento, (que tecnicamente é chamado de selagem), utilizada. Um com selagem líquida, utilizando um fluido líquido inerte em contato com o Bourdon e que não se mistura com o fluido do processo. Nesse caso é usado um pote de selagem conforme figura.

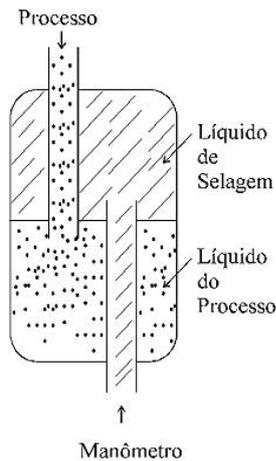


Figura 23. Pote de Selagem

Outro, também com selagem líquida porém utilizando um diafragma como selo. O fluido de selagem mais utilizado nesse caso é a glicerina, por ser inerte a quase todos os fluidos. Este método é o mais utilizado e já é fornecido pelos fabricantes quando solicitados, um exemplo desse tipo é mostrado na figura.

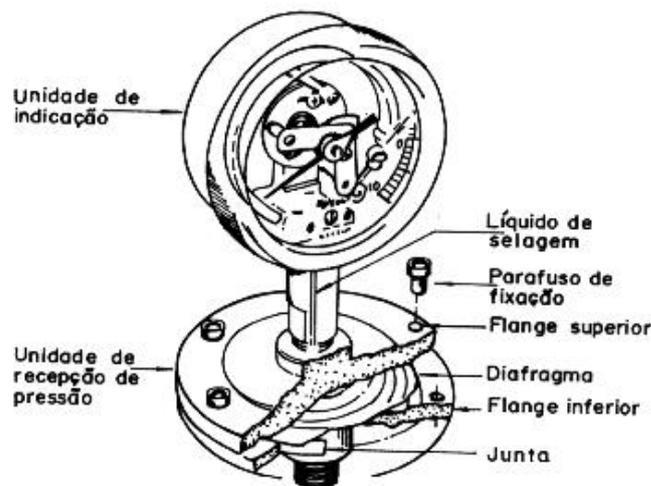


Figura 24. Manômetro com selo de diafragma

### Manômetro tipo Diafragma

Este tipo de medidor, utiliza o diafragma para medir determinada pressão, bem como, para separar o fluido medido do mecanismo interno. Antes foi mostrado o manômetro tipo de Bourdon que utiliza selagem líquida. Aqui, explica-se o medidor que utiliza um diafragma elástico.

A figura mostra este tipo de medidor.

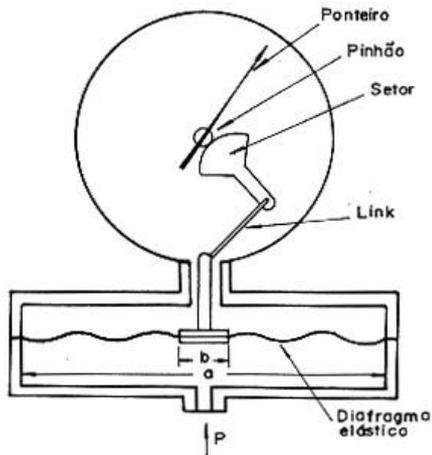


Figura 25.

A área efetiva de recepção de pressão do diafragma, muda de acordo com a quantidade de deslocamento. Para se obter linearidade em função de grande deslocamento, deve-se fazer o diâmetro com dimensões maiores. A área efetiva do diafragma é calculada pela seguinte equação.

$$A_e = \frac{\pi}{8} (a^2 + b^2) \text{ (cm}^2\text{)}$$

Onde:

a = diâmetro livre do diafragma

b = diâmetro de chapa reforçada

E ainda, a quantidade de deslocamento é calculada pela seguinte equação.

$$S = A_e \cdot P \cdot Cd$$

Onde:

S = deslocamento (mm)

P = pressão do diafragma (kgf/cm<sup>2</sup>)

Cd = rigidez do diafragma (mm/kgf)

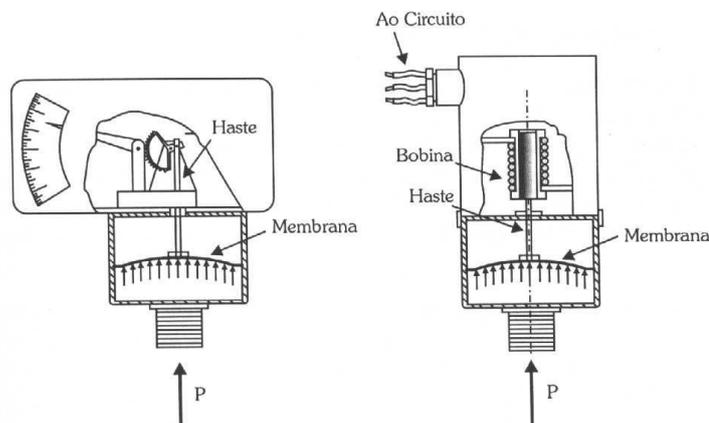


Figura 26.

## Manômetro tipo Fole

Fole é um dispositivo que possui ruga no círculo exterior de acordo com a figura que tem a possibilidade de expandir-se e contrair-se em função de pressões aplicadas no sentido do eixo.

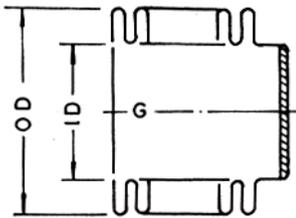


Figura 27.

Como a resistência à pressão é limitada, é usada para baixa pressão. A área efetiva do elemento receptor de pressão do fole é mais ou menos definida pela equação:

$$A_e = 1/4 \cdot \pi \cdot (OD + ID) / 2$$

Onde:

$A_e$  = área efetiva do receptor de pressão

OD = diâmetro externo (mm)

ID = diâmetro interno (mm)

E ainda, a quantidade de deslocamento do fole é representada pela seguinte equação:

$$S = A_e \cdot P \cdot C_b$$

Onde:

S = deslocamento (mm)

P = pressão diferencial do diâmetro do fole (kgf/cm<sup>2</sup>)

$C_b$  = rigidez do fole

A vida útil do fole, em função da repetibilidade à pressão constante, à quantidade de expansão e construção é representada pelo número de vezes até a quebra.

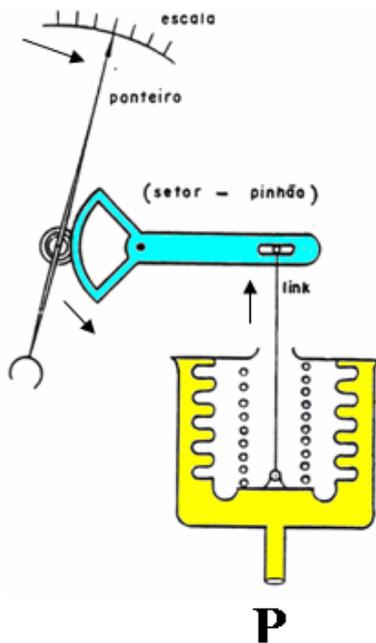


Figura 28.

## TRANSMISSORES DE PRESSÃO

Os instrumentos de transmissão de sinal de pressão têm a função de enviar informações à distância das condições atuais de processo dessa variável. Essas informações são enviadas, de forma padronizada, através de diversos tipos de sinais e utilizando sempre um dos elementos sensores já estudado anteriormente (fole, diafragma, capsula, etc...) associados a conversores cuja finalidade principal é transformar as variações de pressão detectadas pelos elementos sensores em sinais padrões de transmissão.

Esses transmissores convertem o sinal de pressão detectado em sinal elétrico padronizado de 4 a 20 mA dc. Existem vários princípios físicos relacionados com a variações de pressão que podem ser utilizados como elemento de transferência. Os mais utilizados nos transmissores mais recentes são:

## TRANSDUTORES DE PRESSÃO POR VARIAÇÃO DA RESISTÊNCIA ELÉTRICA

É um dispositivo que mede a deformação elástica sofrida pelos sólidos quando estes são submetidos ao esforço de tração ou compressão. São na realidade fitas metálicas fixadas adequadamente nas faces de um corpo a ser submetido ao esforço de tração ou compressão e que tem sua seção transversal e seu comprimento alterado devido a esse esforço imposto ao corpo. Essas fitas são interligadas em um circuito tipo ponte de WHEATSTONE ajustada e balanceada para condição inicial e que ao ter os valores de resistência da fita mudada com a pressão, sofre desbalanceamento proporcional à variação desta pressão.

São utilizadas na confecção destas fitas extensiométricas, metais que possuem baixo coeficiente de temperatura para que exista uma relação linear entre resistência e

tensão numa faixa mais ampla. Vários são os metais utilizados na confecção da fita extensiométrica. Como referência, a tabela abaixo mostra alguns destes metais.

Tabela 10.

DENOMINAÇÃO	CONSTITUIÇÃO (LIGA)	FAIXA DE TEMPERATURA
Constantan	Cobre - Níquel	+ 10 ~ 204° C
Karma	Cobre - Níquel Aditivado	Até 427°C
479 Pt	Platina - Tungstênio	Até 649°C
Nichrome V	Níquel - Cromo	Até 649°C

Em 1678, Robert Hooke estabeleceu a relação existente entre tensões e deformações em corpos submetidos a solicitações mecânicas. Se o material for isotrópico e homogêneo e seu limite elástico não for superado, então verifica-se que a relação entre a tensão e a deformação é linear. Baseado nesse princípio, pode definir-se extensometria da seguinte forma:

"Extensometria é o método que tem por objetivo a medida das deformações superficiais dos corpos".

O conceito de deformação é expresso mediante uma relação dimensional.

$$\varepsilon = \frac{\delta L}{L}$$

Em que:

- $\varepsilon$  - deformação axial específica;
- $\delta L$  - variação do comprimento;
- $L$  - comprimento inicial.

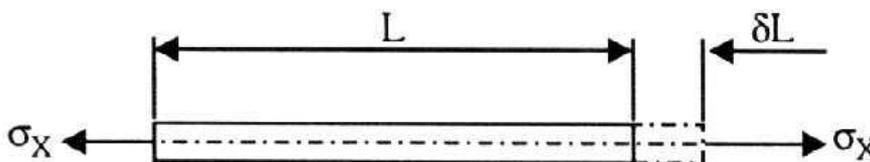


Figura 29. Elemento deformado axialmente.

Em geral se emprega como unidade a microdeformação ( $\mu\varepsilon$ ) que equivale a  $1 \times 10^{-6}$  e corresponde a uma variação de um micrômetro em um comprimento de um metro.

O esforço de tensão (stress) que uma estrutura suporta se define em termos de força por unidade de área ( $N/mm^2$ ).

A medida da rigidez que um material apresenta quando solicitado longitudinalmente é denominada Módulo de Elasticidade Longitudinal ou Módulo de

Young e é representada costumeiramente pela letra (E). Quanto maior for o módulo (E), menor será a deformação elástica (strain) resultante da aplicação de uma tensão (stress), e mais rígido será o material.

Para o caso concreto de um aço comum, não ligado e bastante conhecido, o SAE 1020 estirado, o módulo de Young é de  $2,05 \times 10^2 \text{ N/mm}^2$ , o limite elástico (sobre o qual a deformação não mais é proporcional à tensão, portanto irreversível deixando seqüelas) é da ordem de  $3,40 \times 10^2 \text{ N/mm}^2$  e a ruptura se alcança a uma tensão de  $5,40 \times 10^2 \text{ N/mm}^2$ .

Abaixo do limite elástico se cumpre a relação de Hooke (figura).

Entretanto, as deformações não se produzem somente na direção da força aplicada, pois o aumento do comprimento resulta na diminuição (contração nos eixos Y e Z) da seção transversal (efeito de Poisson). Dessa forma as seguintes equações são válidas para determinar a deformação nos eixos X, Y e Z.

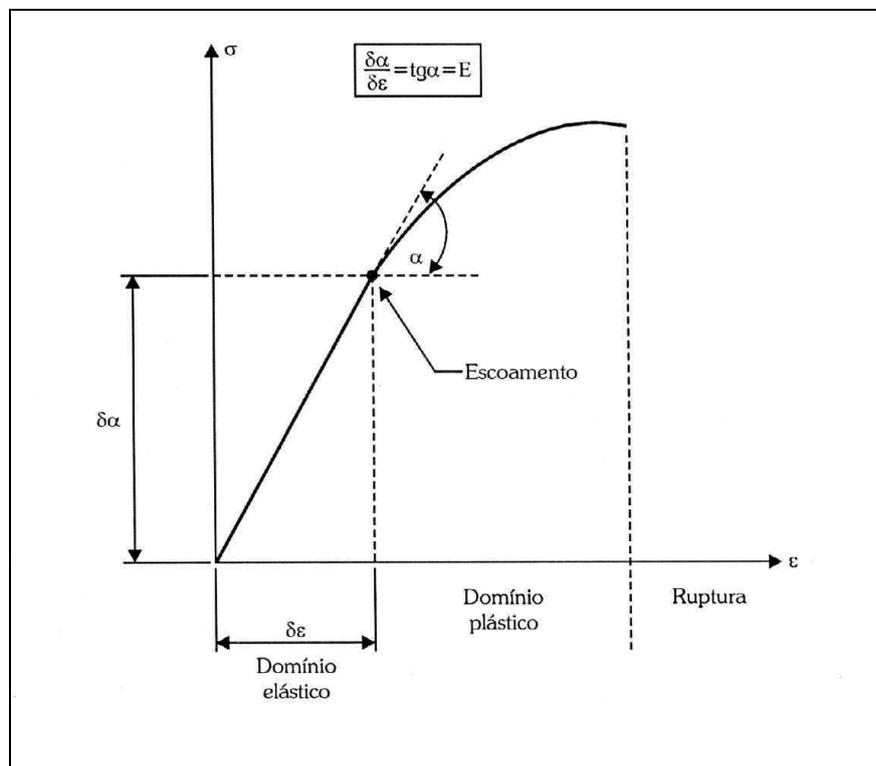


Figura 30. Curva Tensão x Deformação para um metal característico.

- Eixo X

$$\varepsilon_x = \frac{\sigma_x}{E}$$

- Eixo Y

$$\varepsilon_y = -\nu \frac{\sigma_x}{E} = -\nu \cdot \varepsilon_x$$

- Eixo Z

$$\varepsilon_z = -\nu \frac{\sigma_x}{E} = -\nu \cdot \varepsilon_x$$

A letra ( $\nu$ ) simboliza o coeficiente de Poisson, cujo valor é próximo a 0,3 para os metais mais comuns.

Todos esses conceitos pertencem à Teoria de Resistência dos Materiais e são indispensáveis para o estudo da medida de deformações superficiais.

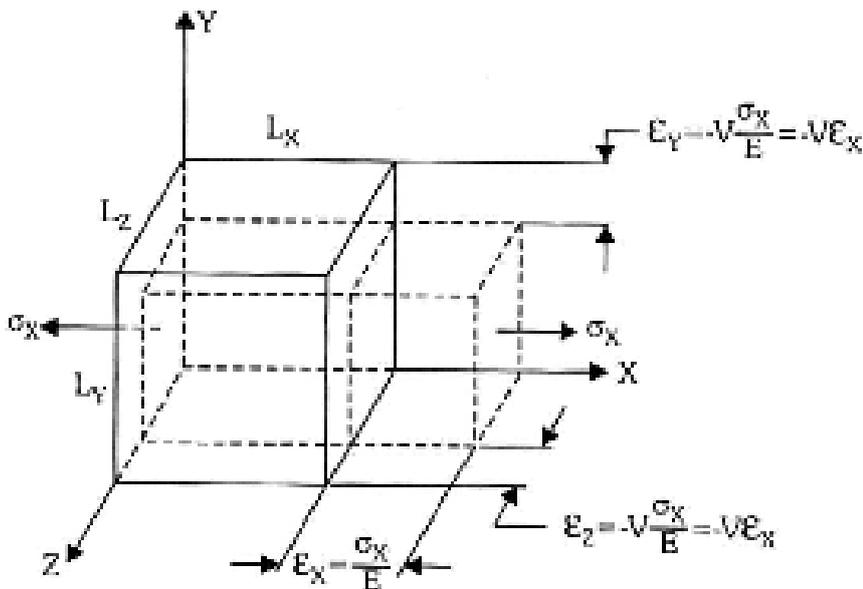


Figura 31. Efeito de Poisson.

Mas o estudo da extensometria não se limita apenas à relação de tensão e deformação dos materiais realizada por Robert Hooke. Outro grande cientista, William Thomson (também conhecido por Lord Kelvin), anos mais tarde (1856), ao realizar estudos experimentais com condutores de cobre e ferro submetidos à solicitação mecânica de tração, verificou que a resistência elétrica que percorria esses condutores era uma função da constante de resistividade elétrica do material e das variáveis comprimento e seção transversal.

$$R = \rho \frac{L}{A}$$

Em que:

R - Resistência elétrica do condutor [ $\Omega$ ];

$\rho$  - Resistividade do condutor [ $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ ];

L - Comprimento do condutor - [m];

A - Seção transversal do condutor - [ $\text{mm}^2$ ].

Dessa forma então, relacionando suas verificações com os estudos de Hooke, William Thomson chegou à seguinte conclusão:

“Quando uma barra metálica é esticada, ela sofre um alongamento em seu comprimento e também uma diminuição do seu volume, resultado da diminuição da área da seção transversal dessa barra e um conseqüente aumento de sua resistência elétrica. Da mesma maneira, quando a barra é comprimida, a resistência **diminui** devido ao aumento da área transversal e diminuição do comprimento”

Dentre os diferentes procedimentos existentes para converter deformações mecânicas em sinais elétricos proporcionais, o mais conhecido é o que utiliza elementos cuja resistência elétrica varia em função de pequenas deformações longitudinais. Esses elementos são pequenas células extensométricas afixadas (coladas) na superfície do corpo de prova, formando um conjunto solidário, e recebem o nome de strain gauges.

### Strain Gauges Metálicos

Subdividem-se em dois tipos, a saber:

a) Gauges de filamento (wire strain gauge)  $\Rightarrow$  O elemento sensível é um fio condutor metálico (liga de níquel com cobre e cromo) com uma seção circular de diâmetro 0,0025 mm aproximadamente, e colado sobre um suporte isolante de resina epóxi, poliéster ou material análogo. Para oferecer o máximo comprimento ativo dentro de uma área reduzida, o fio é disposto em várias dobras, seguindo a disposição que se mostra na figura.

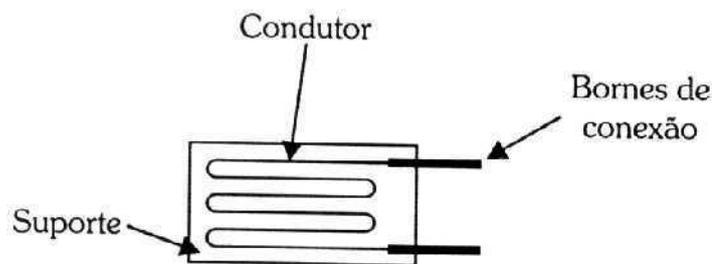


Figura 32. Constituição de um strain gauge de filamento.

b) Gauge de trama pelicular (foil strain gauge)  $\Rightarrow$  O elemento sensível é uma película de metal com poucos micros de espessura, recortada mediante ataque fotoquímico ou outra técnica adequada. O comprimento ativo é bem determinado, pois as espiras e as pistas de conexão são praticamente insensíveis, devido a sua largura (figura).

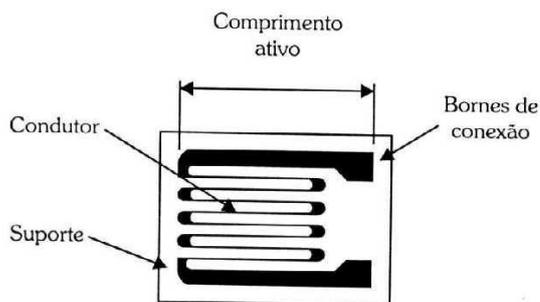


Figura 33. Constituição de um strain gauge de trama pelicular.

O princípio de medida dos gauges metálicos baseia-se então em três premissas enunciadas ao longo dos textos introdutórios:

Valor da resistência de um condutor é uma função de suas características geométricas (efeito enunciado por Lord Kelvin).

A todo aumento de comprimento de um condutor corresponde uma redução da seção transversal (efeito de Poisson).

A variação da resistividade é proporcional à variação relativa de volume (efeito enunciado por Bridgman).

Das considerações anteriores, após algumas relações matemáticas e substituições, resulta a relação:

$$K = \frac{\frac{\delta R}{R}}{\frac{\delta L}{L}} = 1 + 2\nu + \frac{\frac{\delta \rho}{\rho}}{\frac{\delta L}{L}}$$

Em que K é conhecido como "Fator de Gauge" ou "Coeficiente de Sensibilidade", cujo valor é fornecido pelo fabricante.

A tabela seguinte apresenta algumas marcas comerciais de strain gauges com seus respectivos fatores gauge e máxima temperatura de utilização.

Tabela 11. Características de alguns strain gauges comerciais.

Composição química	Fabricante	Fator Gauge K	Resistência $\mu\Omega.cm$	Coeficiente de temperatura	Máx. temperatura $^{\circ}C$
55%Cu, 45%Ni	Advance Constanten Copel	2,0	49	11	< 360
45Ni, 12%Mn, 84%Cu	Manganin	0,47	44	20	
80%Ni, 20%Cu	Nichrome V	2,0	108	400	800
66%Ni, 33%Cu	Monel	1,9	110	450	300
74%Ni, 20%Cr, 3%Al, 3%Fe	Karma	2,4	125	20	750

### Bandas Biaxiais (Strain Gauges do Tipo Roseta)

Para que as medições extensométricas estejam efetivamente corretas, é necessário que as isostáticas da estrutura sob ensaio não passem pela parte ativa do extensômetro, porém nem sempre é possível dispor de informação suficiente para alinhar o strain gauge na direção precisa. Recorre-se então a gauges de vários elementos, colocados entre si a 45, 60, 90 e 120°.

A informação relativa de cada um deles permite deduzir o sentido e magnitude dos esforços principais, por equacionamento. Como os gauges são montados sobre a superfície, o plano de medidas corresponde a um estado de deformação biaxial.

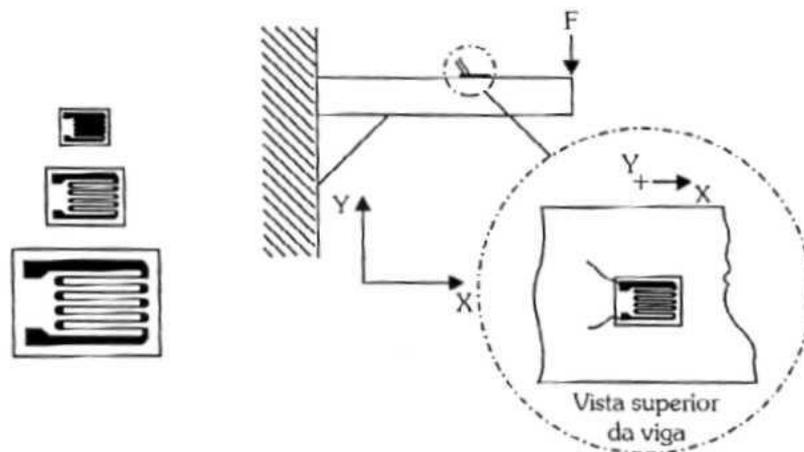


Figura 34. Exemplo de aplicação de bandas uniaxiais (força F aplicada sobre o eixo longitudinal da viga)

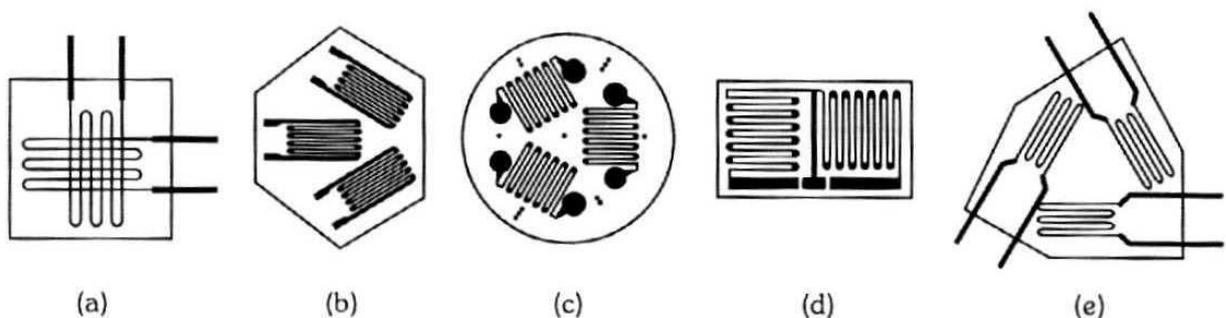


Figura 35. Bandas biaxiais. Servem para medir deformações de duas ou mais direções. (a) Roseta de dois elementos a 90° - b) Roseta de três elementos a 45° - c) Rosetas de 3 elementos a 120° - d) Roseta de dois elementos a 90° - e) Roseta de tres elementos a 60°.

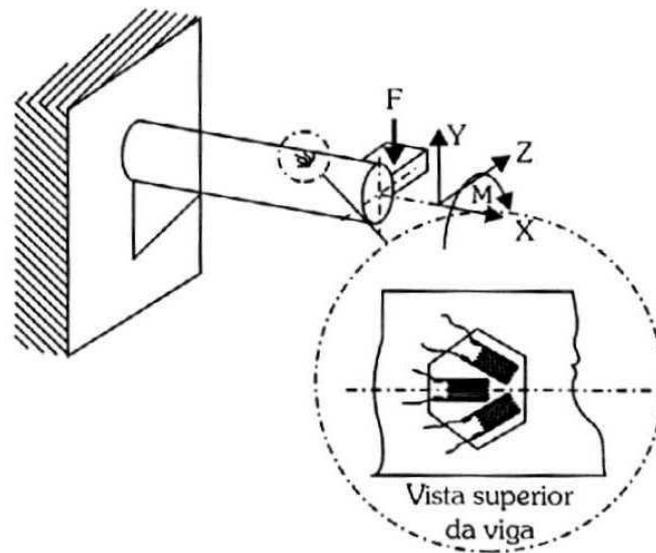


Figura 36. Exemplo de aplicação de bandas biaxiais

A roseta, nesse caso, possibilita a leitura de deformações de flexão e de torção (flexo-torção)

## TRANSDUTOR DE PRESSÃO COM STRAIN GAGE

A figura, mostra a distribuição de carga em um diafragma uniformemente carregado. As equações que se seguem podem ser usadas no dimensionamento deste tipo de diafragma.

A tensão radial máxima  $S_r$ , é dada por:

$$S_r = \frac{3}{4} \left( \frac{r}{h} \right)^2 p \quad (\text{Equação 1})$$

e a tensão superficial máxima é dada por:

$$S_t = \frac{3}{8} \left( \frac{r}{h} \right)^2 p (1 + \mu) \quad (\text{Equação 2})$$

onde:

$r$  = raio não fixo do diafragma;

$h$  = espessura do diafragma;

$p$  = a pressão aplicada;

$\mu$  = razão de Poisson.

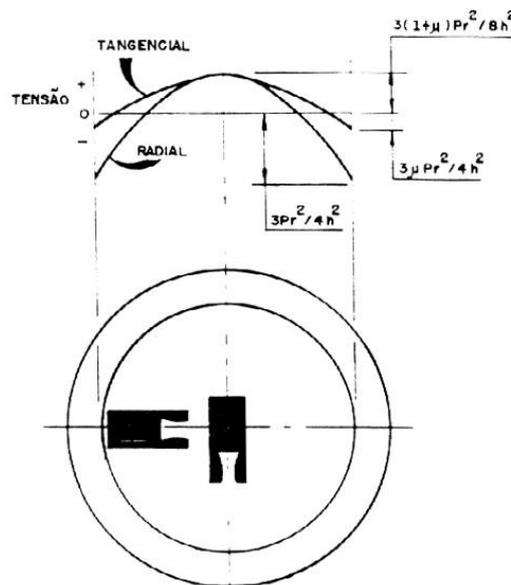


Figura 37. Distribuição da carga em diafragma plano.

Um exemplo deste tipo de transdutor é mostrado na figura.

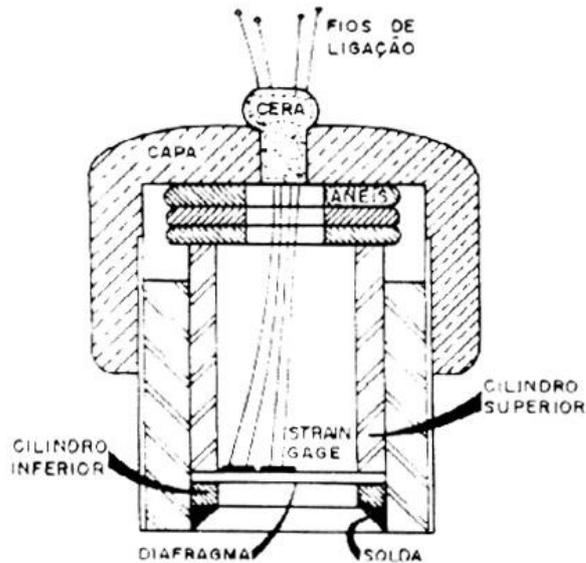


Figura 38. Transdutor de pressão de diafragma.

Este tipo de transdutor de pressão utiliza disco plano circular (diafragma) ou cilindro oco como o elemento elástico e strain gage como o elemento sensor.

Ele é utilizado como padrão para pressão maior que 3000 kgf/cm<sup>2</sup>. Por ter pouca histerese e não possuir atraso de indicação é apropriado para medições de pressão variável.



Figura 39.



Figura 40.

Diafragmas são utilizados para baixa e média pressão ( 0 à 30000 psi) e os cilindros para o casos de alta e muito alta pressão (30000 psi à 100000 psi). A distribuição da deformação resultante de uma pressão uniforme na superfície do disco de espessura constante é dada por:

$$\epsilon_{rr} = \frac{3 \cdot p(1 - \nu^2)}{8 \cdot E \cdot t^2} \cdot (R_o^2 - 3r^2) \quad \text{(Equação 3)}$$

$$\epsilon_{\infty} = \frac{3 \cdot p(1 - \nu^2)}{8 \cdot E \cdot t^2} \cdot (R_o^2 - r^2) \quad \text{(Equação 4)}$$

onde:

$p$  = é a pressão;

$t$  = a espessura do diafragma;

$R_o$  = é o raio externo do diafragma;

$r$  = a variável radial.

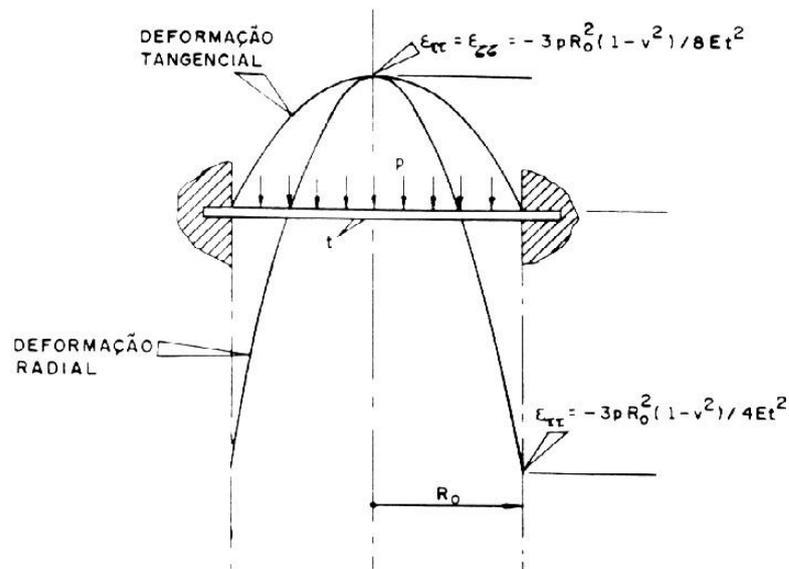


Figura 41. Distribuição da deformação em disco circular fino.

Examinando estas equações mostra que a deformação circunferencial  $\epsilon_{\theta\theta}$  é sempre positiva tendo um valor máximo no  $r = 0$ . A deformação radial  $\epsilon_{rr}$  é positiva em algumas regiões e negativa em outras e tem seu valor máximo negativo  $r = R_o$ . Ambas as distribuições são mostradas na figura.

Um "strain gage" que foi projetado para aplicações especiais é muito usado nos transdutores de pressão do tipo diafragma. Elementos circunferenciais são usados na região central do diafragma onde  $\epsilon_{\theta\theta}$  é máximo. Similarmente, os elementos radiais são usados perto da extremidade do diafragma onde  $\epsilon_{rr}$  é máximo.

Também os elementos circunferenciais e radiais são divididos cada um duas partes como esta na figura. Os elementos individuais são conectados na ponte de Wheatstone com os elementos circunferenciais nos braços  $R_1$  e  $R_3$  e elementos radiais nos braços  $R_2$  e  $R_4$ . Se as deformações médias sobre as áreas dos elementos circunferencial e radial e se os valores médios de  $\Delta R/R$  com fator de gage  $S_g = 2,0$  são usados a voltagem de saída  $v_o$  é dada por:

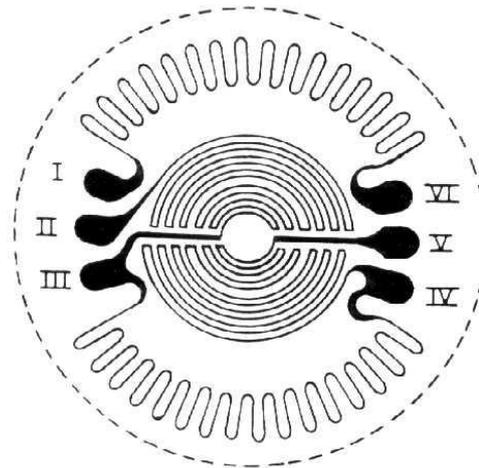


Figura 42. Strain gage especial de quatro elementos

$$v_0 = 0,82 \cdot \frac{p \cdot R_0^2 \cdot (1 - \nu^2)}{E \cdot t^2} \cdot v_s = s_p \cdot p \quad (\text{Equação 5})$$

Onde a sensibilidade pressão - voltagem  $S_p$  depende da geometria ( $R_0$ ,  $t$ ), propriedades dos materiais usados. ( $E$  e  $\nu$ ) e finalmente a voltagem de alimentação  $V_s$ . A potência fornecida às pontes de Wheatstone são controladas pela potência  $p_t$  e pode ser dissipada pelos elementos de gage.

### CIRCUITO POTENCIOMÉTRICO PARA MEDIÇÃO DE PRESSÃO COM TRANSDUTOR TIPO STRAIN GAGE

A ponte de Wheatstone é o circuito mais usado para converter a mudança da resistência  $\Delta R/R$  de "Strain-gages" para uma voltagem de saída  $v_0$ .

O elemento de resistência que mede pressão é utilizado como um lado de uma ponte como mostra a figura para indicar a variação de resistência.

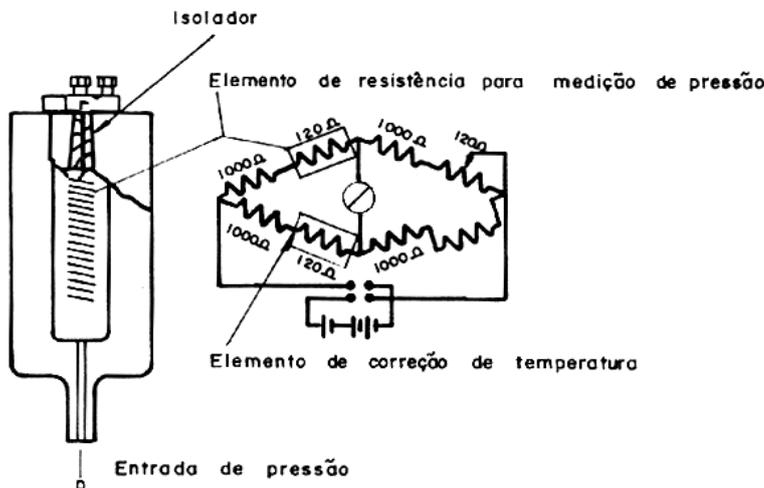


Figura 43.

Existem basicamente 4 arranjos como mostrados na figura.

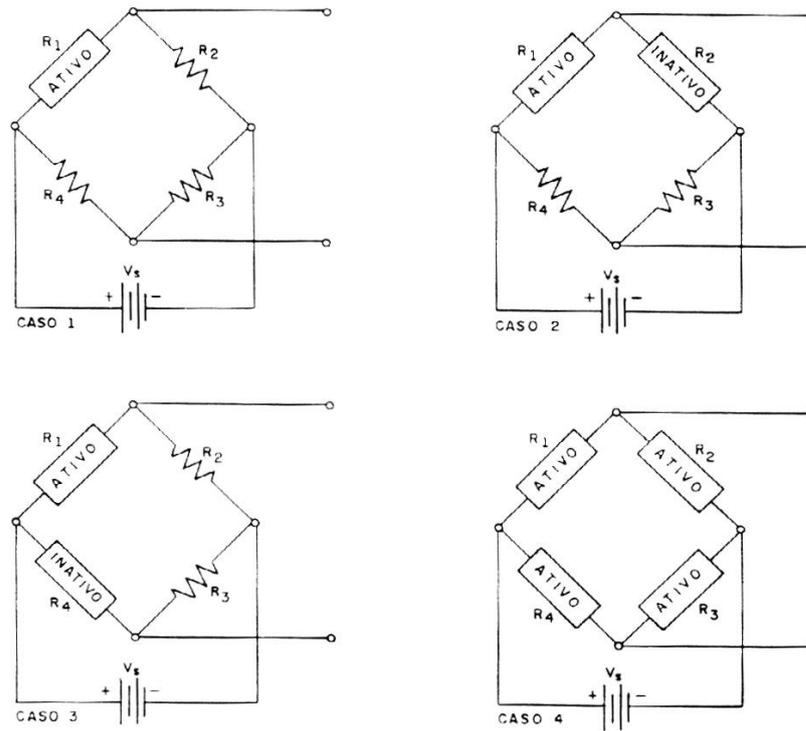


Figura 44. Arranjos de strain gage com ponte de Wheatstone.

A voltagem de saída  $v_o$  da ponte pode ser determinada:

$$v_{AB} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot v_s \quad (\text{Equação 12})$$

$$v_{AD} = \frac{R_4}{R_4 + R_3} \cdot v_s \quad (\text{Equação 13})$$

Portanto:

$$v_o = v_{BD} = v_{AB} - v_{AD} \quad (\text{Equação 14})$$

ou

$$v_o = \frac{R_1 \cdot R_3 - R_2 \cdot R_4}{(R_1 + R_2)(R_3 + R_4)} \cdot v_s \quad (\text{Equação 15})$$

ou

$$v_o = 0 \quad \text{quando} \quad R_1 \cdot R_3 = R_2 \cdot R_4$$

Quando a equação  $R_1 \cdot R_3 = R_2 \cdot R_4$  é obtida, a ponte é balanceada. Com a ponte inicialmente em balanço, uma voltagem de saída  $\Delta v_o$  é desenvolvida quando as

resistências  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$ , e  $R_4$  são variadas pelas quantidades  $\Delta R_1$ ,  $\Delta R_2$ ,  $\Delta R_3$  e  $\Delta R_4$ , respectivamente

Da equação 15 com estes novos valores das resistências temos:

$$\Delta v_o = \frac{(R_1 + \Delta R_1)(R_3 + \Delta R_3)(R_2 + \Delta R_2)(R_4 + \Delta R_4)}{(R_1 + \Delta R_1 + R_2 + \Delta R_2)(R_3 + \Delta R_3 + R_4 + \Delta R_4)} \cdot v_s \quad (\text{Equação 16})$$

ou

$$\Delta v_o = \frac{R_1 \cdot R_2}{(R_1 + R_2)^2} \cdot \left( \frac{\Delta R_1}{R_1} - \frac{\Delta R_2}{R_2} + \frac{\Delta R_3}{R_3} - \frac{\Delta R_4}{R_4} \right) \cdot v_s \quad (\text{Equação 17})$$

Se  $r = R_2 / R_1$

$$\Delta v_o = \frac{r}{(1+r)^2} \cdot \left( \frac{\Delta R_1}{R_1} - \frac{\Delta R_2}{R_2} + \frac{\Delta R_3}{R_3} - \frac{\Delta R_4}{R_4} \right) \cdot v_s \quad (\text{Equação 18})$$

As equações 17 e 18 indicam que a voltagem de saída da ponte é uma função linear nas mudanças na resistência. Isto é, uma consequência é ignorar os termos de maior ordem na equação (d). Se estes termos forem incluídos:

$$\Delta v_o = \frac{r}{(1+r)^2} \cdot \left( \frac{\Delta R_1}{R_1} - \frac{\Delta R_2}{R_2} + \frac{\Delta R_3}{R_3} - \frac{\Delta R_4}{R_4} \right) \cdot (1-\eta) v_s \quad (\text{Equação 19})$$

onde:

$$\eta = \frac{1}{1 + \frac{r+1}{\frac{\Delta R_1}{R_1} + \frac{\Delta R_4}{R_4} + r \left( \frac{\Delta R_2}{R_2} + \frac{\Delta R_3}{R_3} \right)}} \quad (\text{Equação 20})$$

## TRANSDUTORES DE PRESSÃO POR CÉLULAS DE SÍLCIO

Os transdutores de pressão por silício são sensores que convertem a grandeza física pressão em sinal elétrico. Em seu centro existe uma célula de medição que consiste em uma pastilha com um fino diafragma de silício acoplado, formando um wafer - o silício é implantado por difusão e dopado (contaminado) com arsênio, formando um semiconductor do tipo-n, no qual caminhos resistivos são formados pela implantação iônica para transferir o nível exato de força a um circuito ponte de Wheatstone de silício.

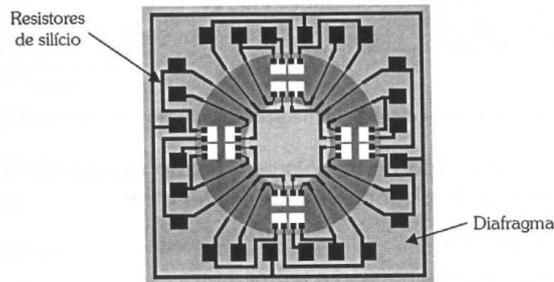


Figura 45.

Quando o transdutor é submetido a uma carga de pressão, o diafragma sofre uma deflexão, gerando variações nas resistências implantadas, de acordo com o efeito piezo-resistivo. A espessura do diafragma, a área da superfície e o desenho geométrico dos resistores determinam a permissibilidade da faixa de pressão. Efeitos mecânicos do suporte nas células de medição podem largamente ser evitados pelos aspectos estruturais.

Devido a suas características funcionais e sensibilidade, podem ser montados em tamanhos relativamente reduzidos, o que permite sua aplicação em áreas variadas como:

- . Medidores de pressão sangüínea;
- . Sistemas de injeção eletrônica;
- . Sistemas de robótica;
- . Controle de pressão em microbombas;
- . Concentradores de oxigênio e respiradores;
- . Controladores de nível e transmissão de fluidos.

## TRANSDUTORES DE PRESSÃO POR EFEITO PIEZO-RESISTIVO

A mudança de resistência causada por mudanças na geometria tem significância secundária. O efeito primário é a mudança de condutividade, dependente de esforço mecânico no cristal. Esta dependência pode ser definida pela constante de proporcionalidade

$$\frac{\delta\gamma}{\gamma} = \Pi \cdot \sigma$$

Em que:

- .  $\sigma\gamma$  - Variação da condutividade elétrica - [m/Ω.mm<sup>2</sup>];
- .  $\gamma$  - Condutividade elétrica - [m/Ω.mm<sup>2</sup>];

- .  $\Pi$ - Constante prezo -  $[\text{mm}^2/\text{N}]$ ;
- .  $\sigma$ - Tensão de compressão -  $[\text{N}/\text{mm}^2]$ .

Tensões de compressão e dilatação no cristal semiconductor são usadas para produzir mudanças na resistência dos piezorresistores conectados como um circuito ponte.

a) Tensões de compressão no cristal causam uma redução na máxima energia e conseqüentemente no aumento do número de portadores de carga na direção da força de compressão. Este aumento na condutividade reflete na diminuição da resistência.

b) Tensões de dilatação causam um aumento na energia máxima e conseqüentemente uma diminuição no número de portadores de carga na direção da força dilatadora. Isto reflete no aumento da resistência.

Os resistores estão precisamente localizados sobre o diafragma flexível para corresponder com a máxima tensão de compressão e dilatação.

Para atingir a máxima precisão na medição, os quatro piezo-resistores estão conectados para formar um circuito ponte de Wheatstone. A posição dos resistores individuais é escolhida de acordo com a deflexão no diafragma. Dois resistores situados em lados opostos aumentam a resistência, enquanto os outros dois diminuem.

Esta configuração propicia a vantagem de minimização dos efeitos da variação de resistência versus a temperatura. A variação de resistência com a deformação é pequena, enquanto a variação com a temperatura pode ser grande.

Por isso mesmo, freqüentemente o conjunto é normalmente utilizado submerso óleo a fim de minimizar os efeitos da temperatura.

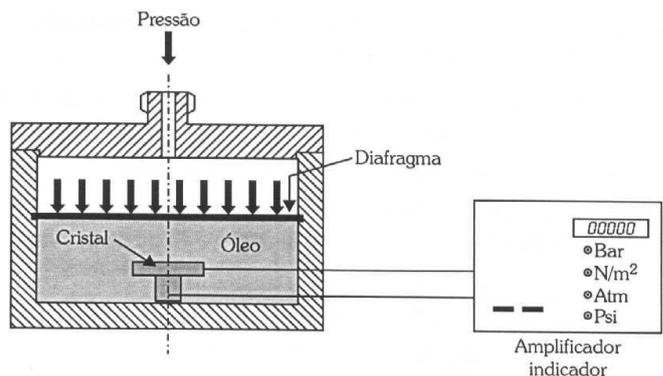


Figura 46.

A fim de obter o maior sinal possível com a melhor linearidade, duas condições devem ocorrer:

- . Os quatro resistores devem ter o mesmo valor nominal;

. Os resistores opostos na diagonal devem mudar igualmente suas quantidades em valores opostos.

Em princípio, esta segunda condição pode ser obtida por dois métodos separados. Por meio do posicionamento dos resistores em localizações opostas aos esforços mecânicos ou pelo uso de diferentes sinais dos efeitos longitudinais e transversal. A melhor posição para cada sensor-resistor é calculada por computador utilizando técnicas de análise de elementos finitos.

Uma desvantagem que deve ser mencionada é a sua dependência na temperatura, mas estes efeitos podem ser compensados por um circuito corretor, ou submergindo o conjunto diafragma sensor em óleo, tal qual mostrado na figura anterior.

## TRANSDUTORES DE PRESSÃO POR SENSOR PIEZO-ELÉTRICO

A medição de pressão utilizando este tipo de sensor se baseia no fato dos cristais assimétricos ao sofrerem uma deformação elástica ao longo do seu eixo axial, produzirem internamente um potencial elétrico causando um fluxo de carga elétrica em um circuito externo.

A quantidade elétrica produzida é proporcional a pressão aplicada, sendo então essa relação linear o que facilita sua utilização. Outro fator importante para sua utilização está no fato de se utilizar o efeito piezoelétrico de semi-condutores, reduzindo assim o tamanho e peso do transmissor, sem perda de precisão.

Cristais de turmalina, cerâmica Policristalina Sintética, quartzo e quartzo cultivado podem ser utilizado na sua fabricação, porém o quartzo cultivado é o mais empregado por apresentar características ideais de elasticidade e linearidade.

A figura mostra o diagrama simplificado da construção do sensor piezoelétrico.

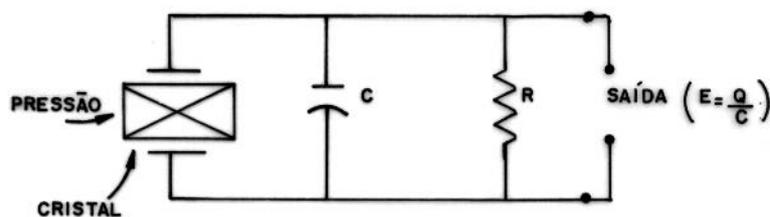


Figura 47. Construção Sensor Piezoelétrico

## TRANSDUTORES DE PRESSÃO POR SENSOR CAPACITIVO

É o sensor mais utilizado em transmissores de pressão. Nele um diafragma de medição se move entre dois diafragmas fixos. Entre os diafragmas fixos e o móvel, existe um líquido de enchimento que funciona como um dielétrico. Como um capacitor de placas paralelas é constituído por duas placas paralelas separadas por um meio dielétrico, ao sofrer o esforço de pressão, o diafragma móvel (que vem a ser uma das placas do capacitor) tem sua distância em relação ao diafragma modificada. Isso

provoca modificação na capacitância de um circuito de medição, e então tem-se a medição de pressão.

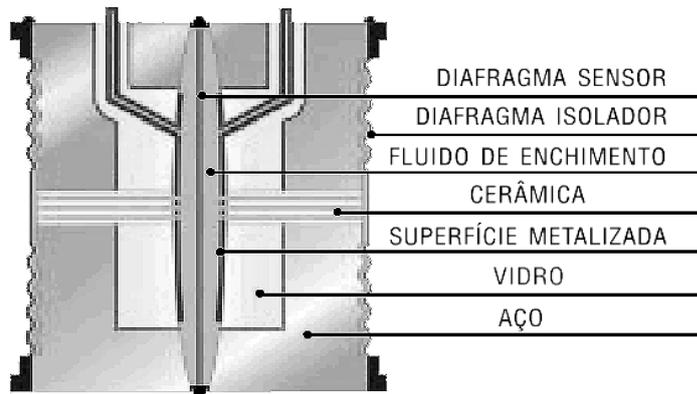


Figura 48.

Como líquido de enchimento utiliza-se normalmente glicerina, ou fluor-oil.

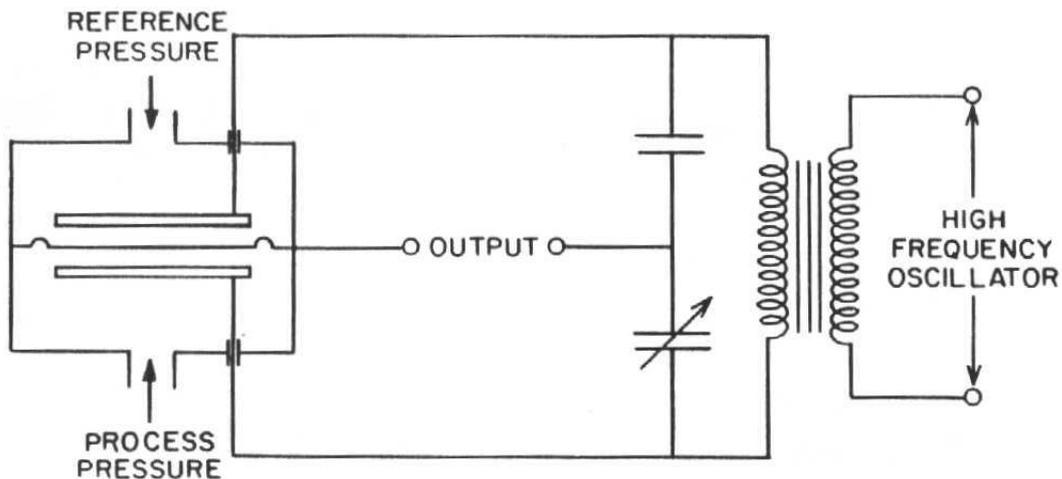
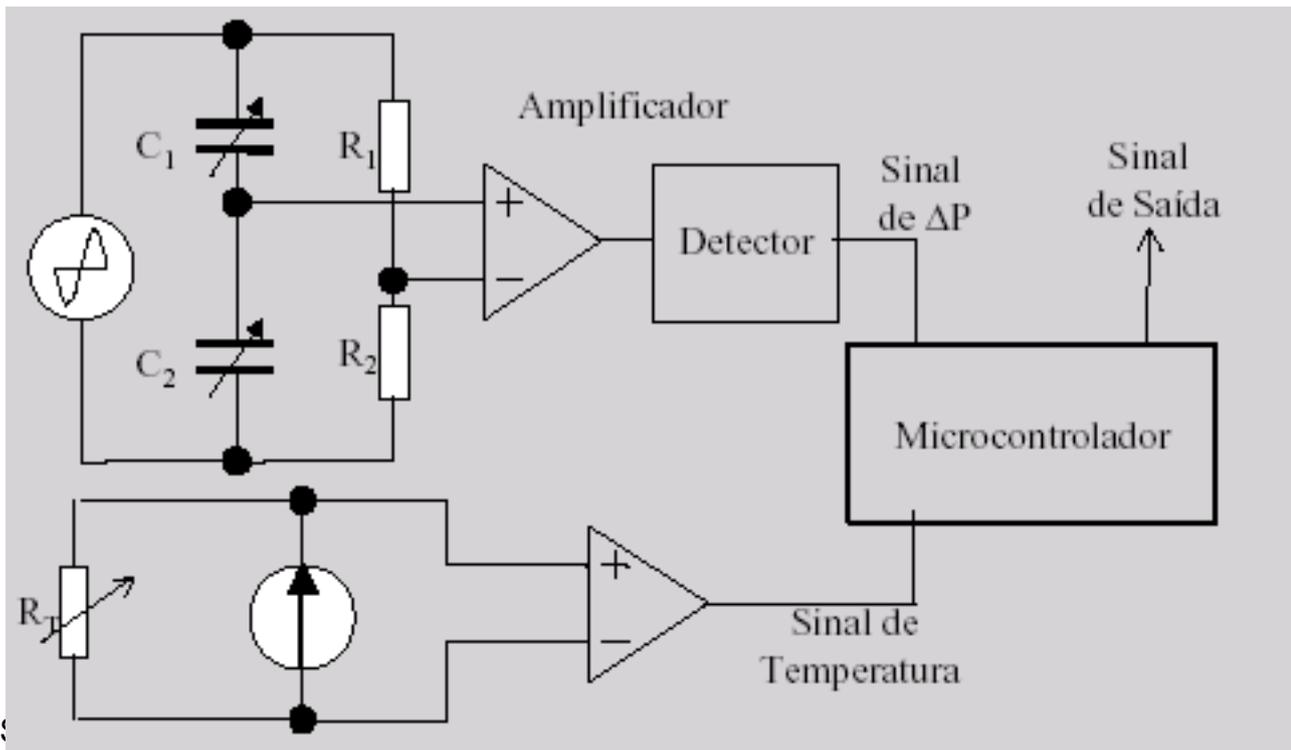


Figura 49.

Para que ocorra a medição, o circuito eletrônico é alimentado por um sinal AC através de um oscilador e então modula-se a frequência ou a amplitude do sinal em função da variação de pressão para se ter a saída em corrente ou digital.



sobrepessão ou subpressão aplicada aos mesmos durante o seu funcionamento.

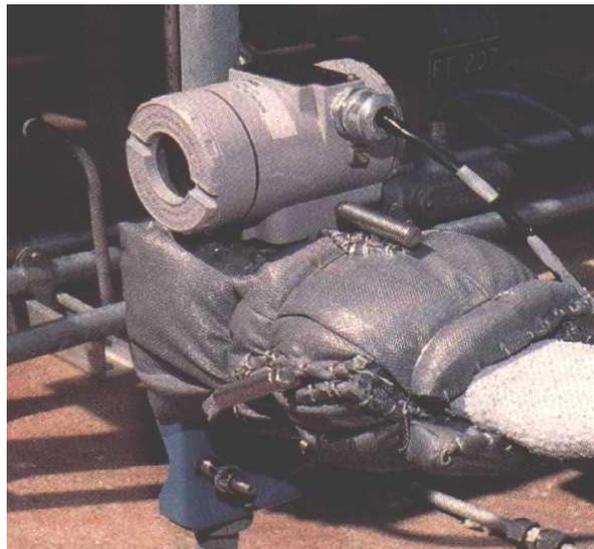


Figura 51.

## PRESSOSTATO

A variável pressão quando aplicada em um processo industrial qualquer, submete os equipamentos a ela sujeito a esforços de deformação que devem estar sempre abaixo de limites de segurança para que não ocorra ruptura e conseqüentemente acidentes. A garantia da permanência dos valores de pressão sempre abaixo dos limites de segurança deve ser feito de forma automática através de instrumentos de proteção. No caso da pressão, um dos instrumentos de proteção com grande aplicação é o pressostato sobre o qual serão feitas abordagens neste tópico.



Figura 52.

Sua função básica é de proteger a integridade de equipamentos contra sobrepressão ou subpressão aplicada aos mesmos durante o seu funcionamento.

É constituído em geral por um sensor, um mecanismo de ajuste de set-point e uma chave de duas posições (aberto ou fechado).

Como elemento sensor, pode-se utilizar qualquer um dos tipos já estudado, sendo o mais utilizado nas diversas aplicações o diafragma.

Como mecanismo de ajuste de set-point utiliza-se na maioria das aplicações uma mola com faixa de ajuste selecionada conforme pressão de trabalho e ajuste, e em oposição à pressão aplicada.

O mecanismo de mudança de estado mais utilizado é o micro interruptor, podendo ser utilizado também ampola de vidro com mercúrio fechando ou abrindo o contato que pode ser do tipo normal aberto ou normal fechado.

### Tipos de Pressostatos

#### a) Diferencial fixo ou ajustável

Quanto ao intervalo entre atuação e desarme os pressostatos podem ser fornecidos com diferencial fixo e diferencial ajustável.

O tipo fixo só oferece um ponto de ajuste, o de set-point, sendo o intervalo entre o ponto de atuação e desarme fixo.

O tipo ajustável permite ajuste de set-point e também alteração do intervalo entre o ponto de atuação e desarme do pressostato.

#### b) Contato SPDT e DPDT

Quanto ao tipo de contato disponível no microinterruptor pode-se selecionar o do tipo SPDT que é composto basicamente por um terminal comum, um contato normal aberto (NA) e um contato normal fechado (NF), ou selecionar o tipo DPDT que é composto de duplo contato, ou seja, dois comuns, dois NA e dois NF sendo um reserva do outro.

### ESCOLHA DO TIPO DE MEDIDOR DE PRESSÃO

Quando se escolher os tipos de medidores de pressão, deve-se observar a faixa de pressão a ser medida, a característica química do fluido e o local de instalação do instrumento.

Devido a baixa precisão de medição, perto do ponto zero e proteção contra sobre pressão é apropriado escolher um medidor de pressão que trabalhe numa faixa de 25 a 70% da pressão máxima desejada.

Outros pontos que se devem observar são os seguintes:

Na medição de óleo e líquidos inflamáveis, é apropriado utilizar solda na tubulação de ligação ao instrumento.

O vapor com alta temperatura corroe o bronze fosforoso e o aço, por isso deve-se utilizar o medidor com selo d'água.

O cloro reage com água e corroe aço e bronze, por isso usa-se um selo de diafragma para projetar o elemento de recepção de pressão.

A amônia corroe o bronze e o bronze fosforoso, por isso utilizam-se o aço doce.

No caso de outros líquidos corrosivos, usar medidor tipo diafragma.

Se em medidor de oxigênio utilizar óleo, pode ocorrer problema de explosão.

Se colocar em contato cobre ou combinado de cobre ao medidor de acetileno, acontecerá reação do cobre com acetileno com possibilidade de explosão.

Quando escolher o local de instalação é conveniente determinar um lugar com pouca variação de temperatura, perto da origem de medição de pressão e de pouca pulsação e vibração.

Construir a tubulação mais curta possível evitando locais onde existe umidade e gases corrosivos. Deve-se escolher materiais não corrosivos e não oxidantes e deve-se considerar a durabilidade da tubulação.

Deve-se colocar válvulas de bloqueio na tomada de impulso de pressão para se fazer com facilidade a manutenção.

Na medição de gases que condensam com facilidade tais como vapor e gás úmido é preciso tomar cuidado na colocação de pote de condensação com dreno para evitar acúmulo de água na parte molhada de medidor.

### **Tipos de caixa disponíveis**

Caixa à prova de tempo IP65. Podem ser fornecidos também com um bloco de terminais interno para conexões elétricas, evitando a instalação de um bloco de terminais externo para a ligação dos cabos.

À prova de explosão - construídos dentro de rígidos padrões de segurança, isolando os contatos e cabos de atmosferas explosivas.

Tipo sem caixa, exposto. Adequando às necessidades dos fabricantes de equipamento, onde é prevista proteção especial para o instrumento, pelo usuário.

### **Grau de Proteção IP**

Especifica a proteção quanto a entrada de corpos sólidos e penetração de água nos orifícios existentes no motor, responsáveis pela refrigeração do mesmo.

O grau de proteção segundo a ABNT é indicado pelas letras IP seguidas de dois algarismos.

- Primeiro algarismo

- 0 - sem proteção;

- 1 - corpos sólidos com dimensões acima de 50 mm;

- 2 - corpos sólidos com dimensões acima de 12 mm;

- 3 - corpos sólidos com dimensões acima de 2,5 mm;

- 4 - corpos sólidos com dimensões acima de 1,0 mm;

- 5 - proteção contra o acúmulo de poeira;

- 6 - proteção contra penetração de poeira.

- Segundo algarismo
  - 0 - sem proteção;
  - 1 - pingos de água na vertical;
  - 2 - pingos de água até inclinação de 15° com a vertical;
  - 3 - água de chuva até a inclinação de 60° com a vertical;
  - 4 - respingos em todas as direções;
  - 5 - jatos de água em todas as direções;
  - 6 - imersão temporária.

### **Classificação de Blindagens segundo normas da “National Electrical Manufacturer Association” - NEMA**

NEMA 4 - Estanque e jatos de água

NEMA 13 - Invólucro a prova de poeira mas não estanque

NEMA 7 - Invólucro a prova de explosão - Classe I

NEMA 9 - Invólucro a prova de explosão - Classe II

### **Classificação das misturas atmosféricas e ambientes inflamáveis agrupados segundo classificação do “National Electrical Code” - NEC**

#### **CLASSE I**

Ambientes nos quais gases e vapores estão ou podem estar presentes no ar em quantidades suficientes para produzir misturas explosivas ou passíveis de ignição.

#### **DIVISÃO 1**

Ambientes nos quais a concentração perigosa de gases e vapores inflamáveis existe continuamente, intermitentemente ou periodicamente, sob condições normais de trabalho.

Ambientes nos quais essas concentrações podem existir frequentemente devido a reparos, manutenção ou vazamentos.

Ambientes nos quais o desarranjo ou falha no funcionamento do equipamento ou processo poderá permitir uma concentração perigosa de gases ou vapores inflamáveis, podendo, simultaneamente ocorrer uma falha no sistema elétrico.

#### **DIVISÃO 2**

Ambientes nos quais líquidos voláteis, gases ou vapores são confinados em recipientes fechados ou sistemas fechados, dos quais esses fluidos podem se libertar

somente em caso de ruptura acidental ou desarranjo de tais recipientes ou sistemas ou em casos de funcionamento anormal do equipamento.

Ambientes nos quais a concentração perigosa de gases e vapores é normalmente evitada através de ventilação mecânica eficiente mas pode se tornar perigosa por falta ou mau funcionamento desse sistema.

Ambiente próximos aos ambientes referidos na classe I, divisão 2 e aos quais a concentração de gases e vapores pode se estender embora esse fenômeno tenha sido evitado por uma ventilação eficiente proveniente de uma fonte de ar puro e por medida de segurança no caso de uma falha no sistema de ventilação.

## CLASSE II

Ambientes perigosos devido a presença de poeiras combustíveis.

### DIVISÃO 1

Ambientes nos quais poeiras combustíveis estão ou podem estar em suspensão no ar, continuamente, periodicamente, intermitentemente, sob condições normais de trabalho, em quantidades suficientes para produzir misturas explosivas ou passíveis de ignição.

Ambientes onde a falha mecânica ou funcionamento anormal das máquinas podem causar essas misturas e ainda proporcionar fonte de ignição através de falha simultânea do equipamento elétrico dos sistemas de proteção ou outras causas.

Ambientes nos quais podem estar presentes de qualquer tipo de condutibilidade elétrica.

### DIVISÃO 2

Ambientes nos quais poeira combustíveis não estão normalmente suspensas no ar, ou não serão lançadas em suspensão pelo funcionamento normal do equipamento em quantidade suficientes para produzir misturas explosivas passíveis de ignição.

Ambientes onde os depósitos ou acúmulo dessas poeiras podem ser suficientes para interferir na dissipação segura do calor proveniente do equipamento elétrico ou de aparelho.

Quando esses depósitos ou acúmulos de poeira na proximidade do equipamento elétrico pode provocar a ignição através de arcos, centelhas ou partículas incandescentes do referido equipamento.

## GRUPOS DA CLASSE I

GRUPO A - Atmosfera contendo acetileno

GRUPO B - Atmosfera contendo hidrogênio, butadieno, óxido etileno, óxido propileno

GRUPO C - Atmosfera contendo vapor de eter etílico, etileno ou ciclopropano, acetaldeído e monóxido de carbono.

GRUPO D - Atmosfera contendo gasolina, álcool, acetona, hexano, nafta, benzina, propano, benzol, vapor de solvente ou laca, gás natural, ácido acético, acrilonitrila, amônia, butano.

#### CLASSE II

GRUPO E - Atmosfera contendo poeira metálica, incluindo magnésio, alumínio e outros metais.

GRUPO F - Atmosfera contendo negro de fumo, poeira de carvão e coque.

GRUPO G - Atmosfera contendo poeiras de farinha e cereais.

## Exercícios sobre MEDIÇÃO DE PRESSÃO

1. Exercícios de conversão de unidades de pressão:

- a) 20 psi = \_\_\_\_\_ Kgf/cm<sup>2</sup>
- b) 200 mmH<sub>2</sub>O = \_\_\_\_\_ mmHg
- c) 10 Kgf/cm<sup>2</sup> = \_\_\_\_\_ mmH<sub>2</sub>O
- d) 735,5 mmHg = \_\_\_\_\_ PSI
- e) 14,22 psi = \_\_\_\_\_ mmH<sub>2</sub>O
- f) 2,5 Kgf/cm<sup>2</sup> = \_\_\_\_\_ mmHg
- g) 10 Kgf/cm<sup>2</sup> = \_\_\_\_\_ mmHg

2. Determine o valor das seguintes pressões na escala absoluta. Considerar como valor da P<sub>atm</sub>=760mmHg.

- a) 1.180 mmHg = \_\_\_\_\_ psia
- b) 1.250 KPa = \_\_\_\_\_ psia
- c) 22 psig = \_\_\_\_\_ psia
- d) - 450 mmHg = \_\_\_\_\_ psia
- e) 1,5 Kgf/cm<sup>2</sup> = \_\_\_\_\_ psia
- f) - 700 mmHg = \_\_\_\_\_ psia

3. Determine o valor das pressões na escala relativa em mmHg:

- a) 1.390 mmHg (Abs) = \_\_\_\_\_ mmHg
- b) 28 psia = \_\_\_\_\_ mmHg
- c) 32 psia = \_\_\_\_\_ mmHg
- d) 12 psia = \_\_\_\_\_ mmHg
- e) 0,9 Kfg/cm<sup>2</sup> (Abs.) = \_\_\_\_\_ mmHg

4. Defina tubo de Bourdon.

5. Cite 3 tipos de Bourdon.

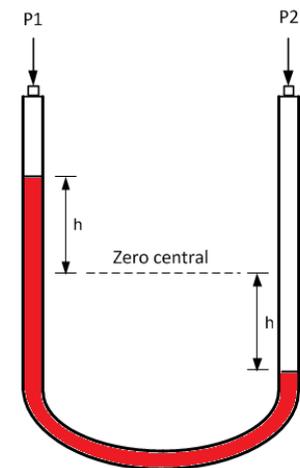
6. Cite 3 tipos de coluna líquida.

7. Para a coluna mostrada na figura a seguir, determine o solicitado:

- a) P2 em  $\text{Kgf/cm}^2$ , sendo:
- P1 = aberto para atmosfera
  - $d_r = 1,0$
  - $h = 20 \text{ cm}$

- b) P1 em psi, sendo:
- P2 = 15 "  $\text{H}_2\text{O}$
  - $d_r = 13,6$
  - $h = 150 \text{ mm}$

- c)  $d_r$  (densidade relativa), sendo:
- P1 = 2,5 psi
  - P2 = aberto para atmosfera
  - $h = 10 "$

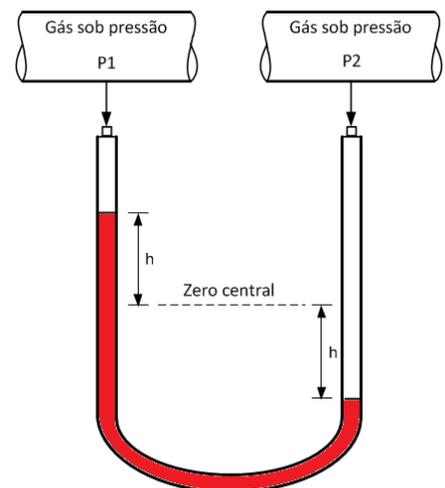


8. Para a coluna mostrada na figura a seguir, determine o solicitado:

- a) P2 em  $\text{Kgf/cm}^2$  e em  $\text{mmH}_2\text{O}$  sendo:
- P1 = -300 mmHg
  - $d_r = 1,0$
  - $h = 20 \text{ cm}$

- b) P1 em  $\text{mmH}_2\text{O}$  e em psi, sendo:
- P2 = 30"  $\text{H}_2\text{O}$
  - $d_r = 13,6$
  - $h = 250 \text{ mm}$

- c)  $d_r$  (densidade relativa), sendo:
- P1 = 2,5 psi
  - P2 = 3,5 psi
  - $h = 13,8443 "$



9. Para a coluna mostrada na figura a seguir, determine o solicitado:

a) P2 em bar e em mmH<sub>2</sub>O sendo:

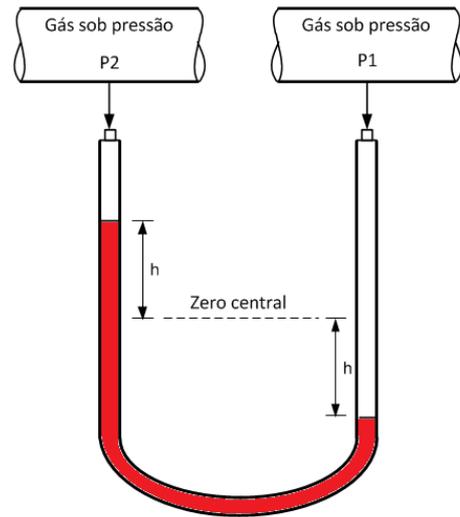
- P1 = -150 mmHg
- dr = 1,0
- h = 320 mm

b) P1 em mmH<sub>2</sub>O e em kgf/m<sup>2</sup>, sendo:

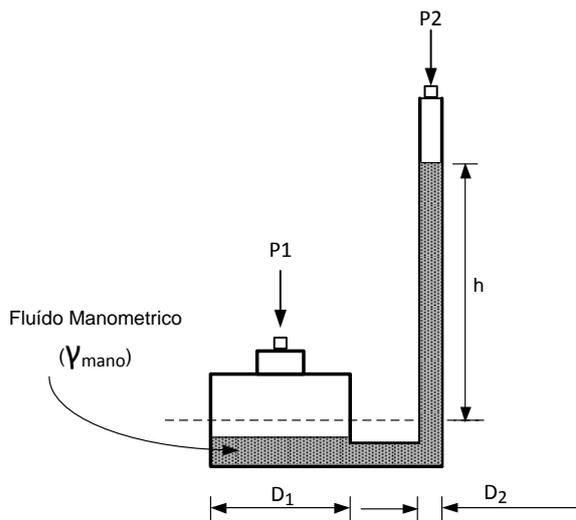
- P2 = 1000“ H<sub>2</sub>O
- dr = 1,25
- h = 250 mm

c) d<sub>r</sub> (densidade relativa), sendo:

- P1 = -50 mmH<sub>2</sub>O
- P2 = -150 mmH<sub>2</sub>O
- h = 200mm



Supondo a coluna reta vertical mostrada à seguir, calcule:



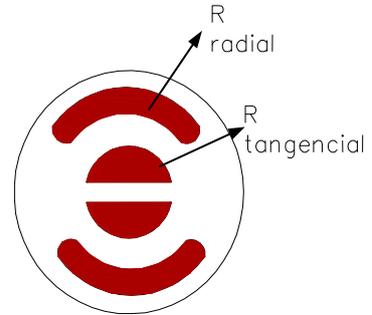
Responda o solicitado:

10. Qual o valor de P1 em mmH<sub>2</sub>O e em mmHg, sendo: o fluido manométrico Hg, P2 = aberto para a atmosfera, D<sub>2</sub>=2 mm, D<sub>1</sub>=10 mm e h=25,5 mm?

11. Qual o valor de P2 em psi, sendo: o fluido manométrico com  $\gamma = 987 \text{ kgf/m}^3$ ;  $P_1 = 2,58 \text{ kgf/cm}^2$ ;  $D_2=2,5 \text{ mm}$ ,  $D_1=8,5 \text{ mm}$  e  $h=340 \text{ mm}$ ?
12. Qual o valor de h em mm, sendo: o fluido manométrico com  $\gamma = 1.570 \text{ kgf/m}^3$ ;  $P_1 = 3,87 \text{ kgf/cm}^2$ ;  $D_2=3,5 \text{ mm}$ ,  $D_1=12,5 \text{ mm}$  e ;  $P_2 = 3,12 \text{ kgf/cm}^2$ ?
13. Qual o  $\Delta P$  ( $P_1 - P_2$ ) em mbar, quando: o fluido manométrico com  $\gamma = 1.920 \text{ kgf/m}^3$ ;  $D_2=2,5 \text{ mm}$ ,  $D_1=10,5 \text{ mm}$  e ;  $h = 540 \text{ mm}$ ?
14. Defina o sensor tipo capacitivo.
15. Para indicadores de pressão tipo Bourdon, instalados em processos que variam bruscamente a pressão, o que pode ser feito para aumentar a vida útil do medidor?
16. Qual manômetro tipo tubo de bourdon, possui melhor classe de exatidão A3; A4 ou B?

17. Sendo a sensibilidade de um transdutor de pressão com “strain-gage” igual a 5 mV/V para a pressão máxima de 3,5 bar, calcule o valor de  $\Delta v_0$  quando a pressão aplicada for 1,5 kgf/cm<sup>2</sup> e a alimentação for 10V.

18. Supondo um transdutor para medição de pressão tipo “strain-gage” com diafragma, conforme mostrado na figura, com 2 resistências radiais denominadas R1 e R3, além de 2 resistências tangenciais denominadas R2 e R4, todas com 500Ω, ligado a uma ponte de medição com 4 braços ativos. Sabendo que a variação de resistência no sensor radial é 85% maior que a variação no sensor tangencial que vale 1,1Ω na pressão máxima. Calcule qual a sensibilidade desta célula e desenhe o circuito para medição de pressão com esta célula.



19. Supondo que no exercício 2, a ponte de medição com 4 braços ativos seja alimentada com 10,5 V e que a relação resistência ohmica / pressão seja linear, complete a tabela abaixo.

PRESSÃO		R <sub>tangencial</sub>	R <sub>radial</sub>	V <sub>o</sub>
%	bar	Ω	Ω	V
0	0	500	500	
25				
50				
75				
100	5,0			

## MEDIÇÃO DE NÍVEL

A medição de nível, embora tenha conceituação simples, requer por vezes artifícios e técnicas apuradas.

O nível é uma variável importante na indústria não somente para a operação do próprio processo, mas também para fins de cálculo de custo e de inventário. Os sistemas de medição de nível variam em complexidade desde simples visores para leituras locais até indicação remota, registro ou controle automático.

Na indústria se requer medições tanto de nível de líquidos como de sólidos.

Para facilitar a compreensão costuma-se definir nível, como sendo a altura do conteúdo de um reservatório, que poderá ser um líquido ou um sólido.

### CLASSIFICAÇÃO E TIPO DE MEDIDORES DE NÍVEL

A medida do nível de um reservatório contendo líquido ou sólido, é efetuada a fim de manter esta variável em um valor fixo ou entre dois valores determinados, ou ainda para determinar a quantidade (volume ou massa) do fluido em questão.

Existem dois métodos de medição que são usados nos processos em geral.

#### Método de Medição Direta

É a medição que se faz tendo como referência a posição do plano superior da substância medida.

#### Método da Medição Indireta

É o tipo de medição que se faz para determinar o nível em função de uma segunda variável.

A tabela 8, mostra alguns dos tipos para determinar medição de nível mais utilizados na instrumentação.

Tabela 12.

MEDIÇÃO DIRETA	MEDIÇÃO INDIRETA
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Réguas ou Gabaritos</li> <li>- Visores de Nível</li> <li>- Bóia ou Flutuador</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Displace (empuxo)</li> <li>- Pressão diferencial (diafragma)</li> <li>- Borbulhador</li> <li>- Capacitância eletrostática</li> <li>- Ultra-sônico</li> <li>- Por pesagem</li> <li>- Por raio gama</li> </ul>

## Vantagens e Desvantagens dos dois métodos

### A - Determinação do Nível

A preferência será dada às medições diretas, pois o peso específico do líquido a medir varia com o tempo. Nos demais casos usa-se o outro método, de acordo com a medição a efetuar.

### B - Determinação do Volume

Dá-se preferência às medidas diretas. Conhecendo-se a área da base do reservatório, tem-se:

$$V = S \cdot h$$

Onde:

V = volume do líquido

h = altura do líquido

S = área da base do reservatório

### C - Determinação da Massa

Dá-se preferência às medidas indiretas. Com efeito, tem-se:

$$M = S \cdot h \cdot \rho \quad \text{mas} \quad \rho = \frac{\partial}{g}$$

$$M = S \cdot h \cdot \frac{\partial}{g} \quad \text{e} \quad h = \frac{P}{\partial}$$

$$\text{Logo } M = S \cdot \frac{P}{\partial} \cdot \frac{\partial}{g} \quad \therefore \quad M = \frac{S \cdot P}{g}$$

Onde:

P = peso do produto

$\rho$  = massa específica

M = massa

A relação acima demonstra que o peso específico não intervém na medida.

Se for usada medição direta, a fórmula  $M = S \cdot h \cdot \frac{\partial}{g}$  deverá ser aplicada, o que implica no conhecimento do peso específico.

## MEDIDORES DE NÍVEL POR MEDIÇÃO DIRETA

### Medidor de Nível Tipo Régua ou Gabarito.

Consiste em uma régua graduada que tem o comprimento conveniente, para ser introduzido dentro do reservatório onde vai ser medido o nível .

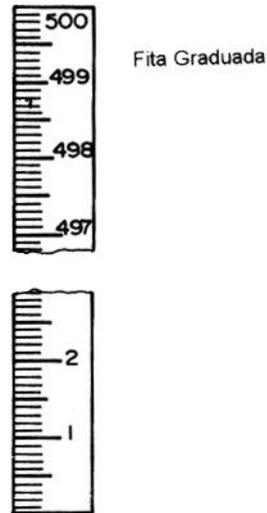


Figura 53. Régua

A determinação do nível se efetuará através da leitura direta do comprimento marcado na régua, pelo líquido. São instrumentos simples e de baixo custo permitindo medidas instantâneas. A graduação da régua deve ser feita a uma temperatura de referência, podendo estar graduada em unidades de comprimento, volume ou Massa.

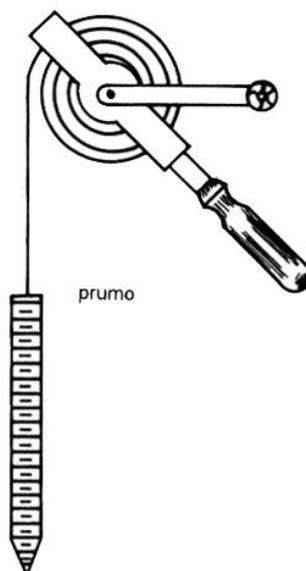


Figura 54. Gabarito.

## Visores de Nível

Aplica-se nestes instrumentos o princípio dos vasos comunicantes. Um tubo transparente é colocado a partir da base do reservatório até o seu ponto mais alto, permitindo a leitura precisa do nível do líquido, mesmo para altas pressões.

Os visores de nível se destinam exclusivamente à monitoração do nível de líquido ou da interface entre dois líquidos imiscíveis, em vasos, colunas, reatores, tanques, etc. submetidos ou não à pressão.

Os visores são aplicados quase na totalidade dos casos de monitoração local do nível, devido ao seu baixo custo em comparação com outros tipos de instrumentos, a não ser em casos onde a pressão e temperatura sejam excessivas e impeçam a sua utilização.

Devido às suas características construtivas, os visores de nível são de fácil manutenção e construídos de maneira a oferecer segurança na operação.

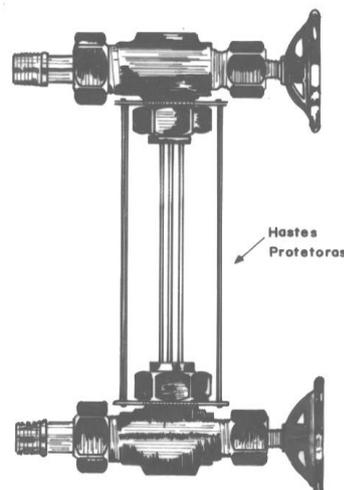
Para atender as mais variadas aplicações em diversos processos existem atualmente os visores do tipo tubular, de vidro plano, magnéticos e os especiais para uso em caldeiras. Todos serão analisados um a um nos itens subsequentes.

### A - Visores de Vidro Tubular

Estes visores são normalmente fabricados com tubos de vidro retos com paredes de espessuras adequada a cada aplicação. Estes tubos são fixados entre duas válvulas de bloqueio de desenho especial através de união e juntas de vedação apropriadas a cada especificação de projetos (ver Fig.).

O comprimento e o diâmetro do tubo irão depender das condições a que estará submetido o visor, porém convém observar que os mesmos não suportam altas pressões e temperaturas.

Para proteção do tubo de vidro contra eventuais choques externos, são fornecidas hastes protetoras metálicas colocadas em torno do tubo de vidro ou com tubos ou chapas plástica envolvendo o mesmo.



### Figura 55. Visores Tubulares

Os tubos de vidro têm diâmetros normalizados onde para cada dimensão estão relacionados valores de pressão e temperatura máximas permissíveis.

Devido às características construtivas, os visores de vidro tubular não suportam altas pressões e temperaturas, bem como apresentam alta probabilidade de quebra acidental do vidro por choque externo.

Devido às limitações quanto a sua resistência a segurança, os visores de vidro tubular são recomendados para uso em processos que não apresentam pressões superiores a cerca de 2,0 bar e em temperaturas que não excedam a 100 graus Celsius.

Não se recomenda o seu uso com líquidos tóxicos, inflamáveis ou corrosivos, visto que a fragilidade destes instrumentos aumenta a possibilidade de perda de produto contido no equipamento.

#### **B - Visores de Vidro Plano**

Os vidros planos substituíram, ao longo dos anos, quase a totalidade dos visores tubulares. Esse fato decorre da inerente falta de segurança apresentada pelos visores tubulares em aplicações com pressões elevadas. Atualmente, os visores planos representam cerca de 90% das aplicações de visores de nível em plantas industriais.

Os visores de vidro plano têm o aspecto mostrado na Fig. São compostos de um ou vários módulos onde se fixam barras planas de vidro. Estes módulos são conhecidos como seções dos visores.

Apesar da diversidade de modelos e fabricantes, cada seção apresenta uma altura variando de 100 a 350 mm e, dependendo do desnível a ser medido, os visores podem ser compostos de várias seções (visor multisseção). Contudo, recomenda-se que cada visor tenha, no máximo, quatro seções. Ultrapassa esse limite, o peso da unidade torna-se excessivo e o visor pode deixar de ser auto-sustentável, necessitando de suportes adicionais. Caso sejam previstas variações amplas na temperatura do fluido, o visor deverá ser provido com loops de expansão para possibilitar a dilatação ou contração resultantes.

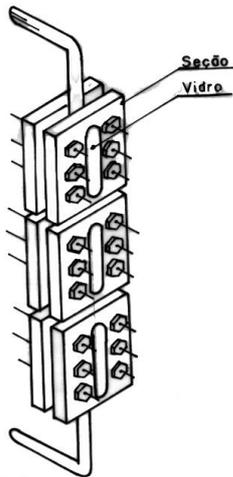


Figura 56. Visor de vidro plano com três seções

Quando o desnível a ser medido exigir um número de seções adicionais serão sobrepostos como mostra a Fig.

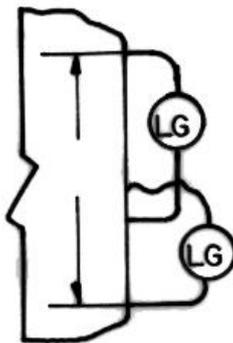


Figura 57. Visores sobrepostos

A principal desvantagem dos visores multisseções são as regiões de não visibilidade entre seções adjacentes que medem tipicamente 38 mm.

### Medidor de Nível tipo Flutuador

#### A - Medidor de Nível com flutuador interno

Neste medidor de nível, dispositivo esférico é colocado a flutuar no tanque, (como mostra a figura) e seu movimento vertical é convertido pela alavanca em movimento rotativo para um indicador externo.

A rotação da alavanca produz uma indicação direta ou acima um contato magnético. O flutuador tipo esférico é normalmente usado quando grande resistência à pressão é desejada.

O flutuador é desenhado de modo que a linha de centro da esfera coincida com o nível da superfície do líquido, proporcionando uma máxima sensibilidade na mudança de nível.

O medidor de níveis com flutuador interno é usualmente utilizado em tanques abertos. Deve-se ter o cuidado para assegurar que não ocorra vazamentos quando estes são usados com pressão ou em tanque de vácuo.

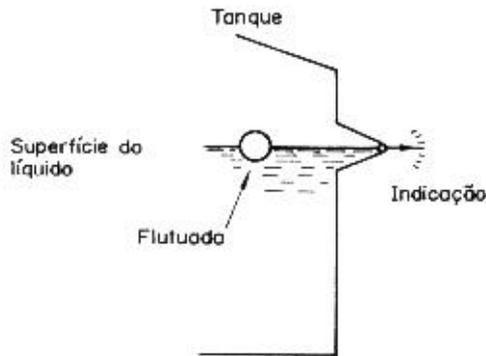


Figura 58. Medidor de nível com flutuador interno.

#### B - Medidor de nível com flutuador externo

Neste medidor o flutuador é colocado em uma câmara montada do lado de fora do tanque, como mostra a figura. Conforme varia o nível do flutuador movimenta-se verticalmente. Este por sua vez transmite esta variação ao elemento indicador através de um sistema de alavancas.

Sua vantagem sobre o sistema com flutuador interno está no fato deste ser menos afetado por oscilações na superfície do líquido contido no tanque ou por sua vaporização.

Com este medidor pode-se obter o nível em tanques sob pressão ou vácuo, medir nível de interface entre dois líquidos de densidade diferentes e medir nível de líquido corrosivos. É indicado especialmente para os casos em que a instalação de um flutuador tipo bóia dentro do tanque de medição não for recomendado.

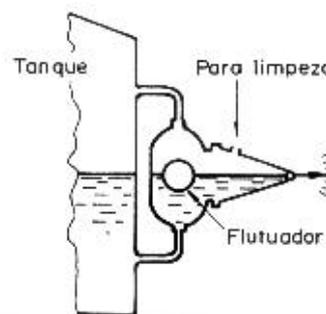


Figura 59. Medidor de nível com flutuador externo

#### C - Medidor de nível tipo flutuador livre

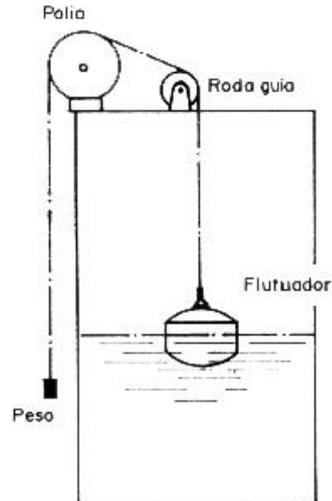


Figura 60. Medidor de nível tipo flutuador livre

Medidor de nível tipo flutuador livre indica a variação do nível do líquido através do movimento ascendente e descendente do flutuador ligado por meio de uma fita metálica ou corrente a um peso. O deslocamento do flutuador de utilização deste medidor é de aproximadamente de 0 a 30m.

## MEDIDORES DE NÍVEL POR MEDIÇÃO INDIRETA

### Medidor de Nível Tipo Deslocador (DISPLACER)

Este medidor de nível é provido de um detector que utiliza o princípio de Arquimedes que diz:

“Um corpo imerso em um líquido sofre a ação de **uma força vertical** dirigida de baixo para cima igual ao **peso do volume** do líquido deslocado.”

A esta força exercida pelo fluido no corpo nele submerso é denominado de empuxo, será maior quanto maior for a densidade do líquido. ( Ex: Nadar no mar é mais fácil que nos rios – água salgada possui maior densidade )

### Deslocador (DISPLACER)

O deslocador comumente utilizado como sensor de transmissores de nível tem a forma de um cilindro oco, fabricado de materiais como aço inox 304 ou 316, monel, hastelloy, teflon sólido, etc. A escolha do material adequado é determinada principalmente pela temperatura e poder corrosivo do fluido. No interior do cilindro, se necessário, são depositados contrapesos granulados, a fim de ajustar o peso do deslocador. Uma vez que o empuxo aumenta com o percentual de imersão, segue-se que o peso aparente do deslocador se reduz com o aumento do nível.

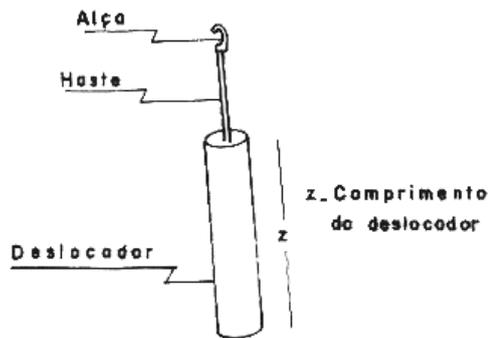


Figura 61.

Na figura, estão representados deslocadores típicos utilizados. O deslocador pode trabalhar diretamente no interior do equipamento ou dentro de um compartimento denominado câmara, dependendo das características dinâmicas do processo, propriedades físicas do líquido e facilidade de manutenção desejada.

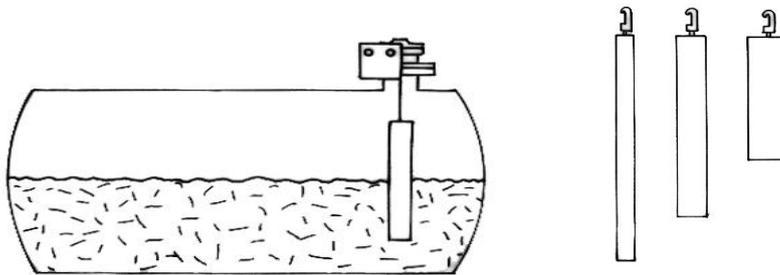
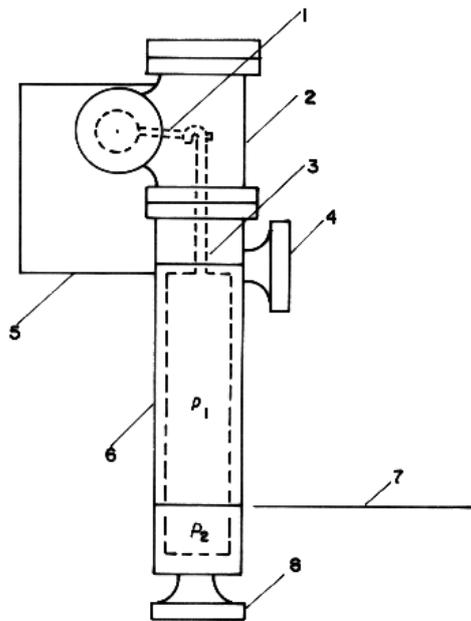


Figura 62.

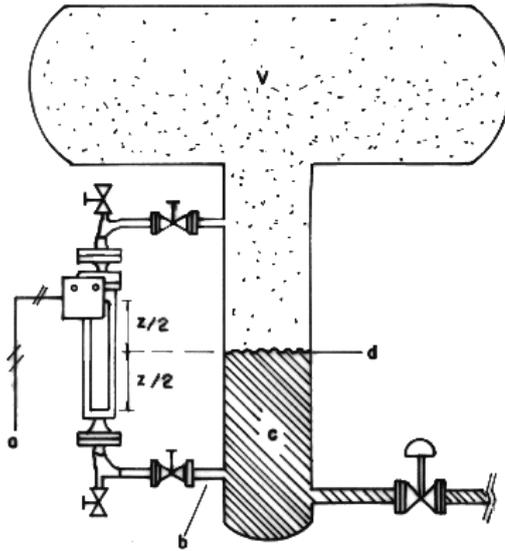
Na realidade, a câmara é constituída de duas partes conforme mostrado na figura. A câmara inferior abriga o deslocador e apresenta nas configurações LL e LB (Fig.) duas conexões flangeadas ou roscadas para sua fixação no equipamento. A câmara superior encerra o braço de torque e, nos casos em que as duas conexões estão localizadas na câmara inferior, permite a remoção do deslocador sem que seja necessário desmontá-la do equipamento.



- 1 - Braço de torque
- 2 - Câmara superior
- 3 - Haste de deslocador
- 4 - Conexão flangeada para fixação no equipamento
- 5 - Conversor

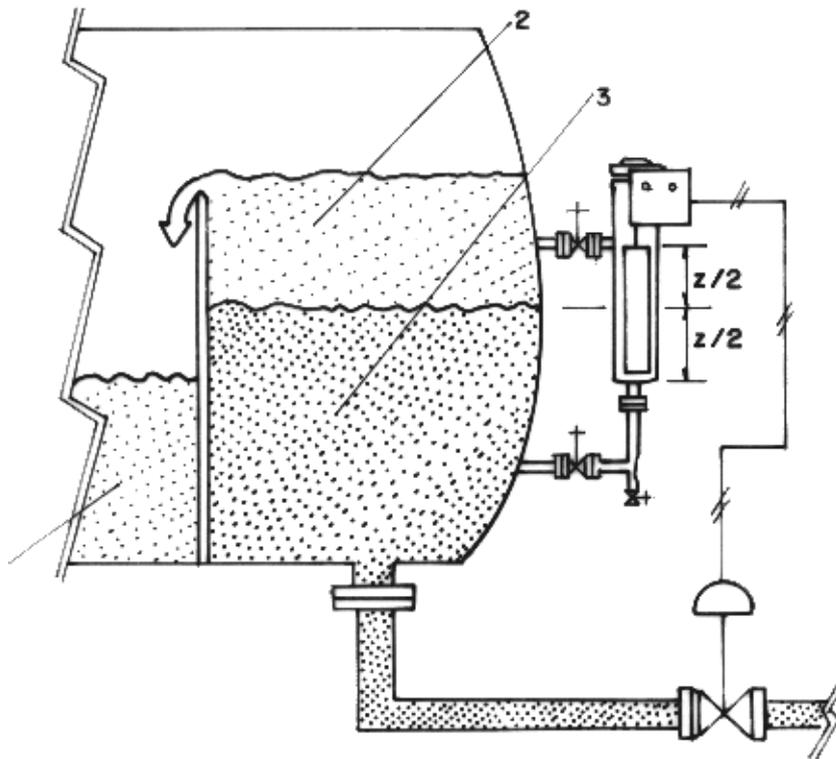
Figura 63.

Além disso, desacoplando os flanges de interface, pode-se girar as câmaras superior e inferior de modo a reorientar as conexões com relação ao transmissor. Quando o deslocador é especificado para ser fornecido com câmara, devem ser previstas duas conexões laterais do equipamento principal, as quais serão interligadas às correspondentes conexões da câmara através das tomadas de equalização (Fig.). Cria-se assim um sistema de vasos comunicantes que garante, sob condições de estabilidade no líquido, igualdade entre os níveis no equipamento e na câmara.



- a - Para válvula de extração de condensado;
- b - Tomada de equalização;
- c - condensado;
- d - Meio de range;
- v - Vapor.

Figura 64.



- 1 - Óleo
- 2 - Óleo
- 3 - Água

Figura 65.

## Medidor de Nível Tipo Pressão Diferencial

Estes instrumentos, quando utilizados em medição de nível, medem diferenciais de pressão que são provocados pela coluna líquida presente nos equipamentos cujo nível se deseja medir.

A - Para tanque aberto

O lado de alta pressão do transmissor de pressão diferencial é ligado pela tomada da parte inferior do tanque e o lado de baixa pressão é aberto para a atmosfera.

Visto que a pressão estática do líquido é diretamente proporcional ao peso do líquido, este pode ser obtido pela medida do primeiro.

Neste caso, o medidor de pressão pode ser usado em vez do transmissor de pressão diferencial.

O transmissor de pressão diferencial é usualmente montado em uma posição que corresponde o nível baixo de medição. Se isto é difícil, ele pode ser montado como mostra a figura. Neste caso a supressão é necessário desde que a pressão adicional já esteja na parte baixa do nível do líquido.

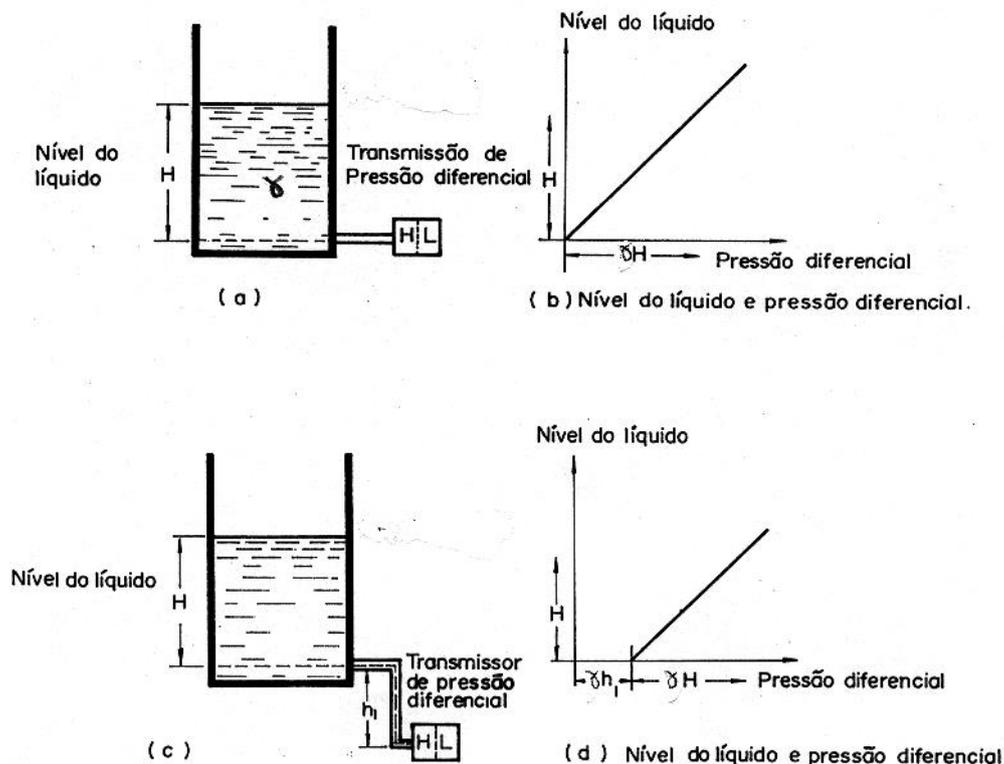


Figura 66. Medidor de Nível tipo Pressão Diferencial (tanque aberto)

B - Para Tanque Fechado

No tanque fechado se a pressão dentro do tanque é diferente da pressão atmosférica, os lados de alta e baixa pressão são conectados individualmente por tubos na parte baixa e alta do tanque respectivamente para obter pressão diferencial proporcional ao nível líquido.

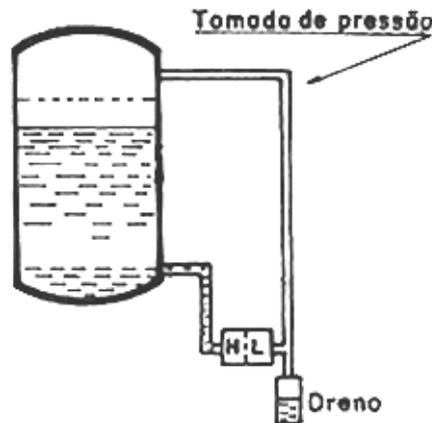


Figura 67. Medição de Nível com Transmissor de Pressão Diferencial

C - Para tanque fechado com vapor

Quando se necessita medir nível em tanque fechado contendo vapor, se faz necessário preencher a tomada de alta pressão com um líquido (normalmente água) para evitar que se forme uma coluna de água nesta tomada, devido à existência de condensado que se acumularia nela e provocaria medição falsa. Neste caso, deve-se fazer a correção do efeito desta coluna.

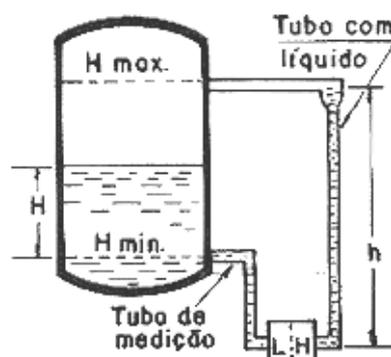


Figura 68.

Materiais

Apesar de existir o recurso da utilização de sistemas de selagem para proteger seus internos contra fluidos corrosivos, o transmissor pode apresentar uma série de

combinação de materiais para as partes que têm contato com fluido: Aço Inoxidável 316 e 316L, Hastelloy C, Monel, Tântalo, Duranickel. Também podem ser fornecidos com preparação especial dos internos para operações com oxigênio e hidrogênio.

Os corpos (câmara de pressão) são geralmente de aço inoxidável forjado ou de aço carbono forjado (níquelado ou cadmiado).

O invólucro da eletrônica é normalmente de liga de alumínio alto impacto.

Fórmulas de cálculo da altura do líquido

Para tanque aberto

$$\Delta P = \rho \cdot h_2 \cdot g$$

$$h_2 = \frac{\Delta P}{\rho \cdot g}$$

Onde:

$$\Delta P = P_1 - P_0$$

$P_0$  = pressão atmosférica

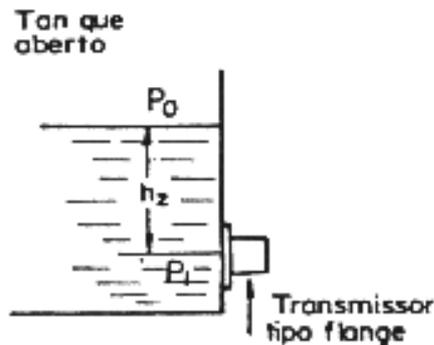


Figura 69. Nível em tanque aberto utilizando transmissor de flange

b) Para tanque fechado

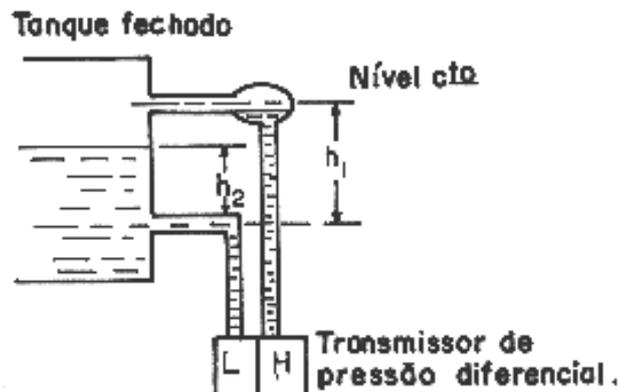


Figura 70. Nível de Tanque fechado com condensador

$$\Delta P = \rho h_1 g - \rho h_2 g$$

$$\rho \cdot g \cdot (h_1 - h_2) = \Delta P$$

$$h_1 - h_2 = \frac{\Delta P}{\rho \cdot g}$$

$$h_2 = h_1 - \frac{\Delta P}{\rho \cdot g}$$

**Medidor de Nível tipo Borbulhador**

Neste tipo de medição, um tubo é inserido no líquido em um vaso. Uma das pontas devidamente preparada é submersa no líquido cujo nível se deseja medir e através da ponta superior é fornecido ar ou gás inerte permanentemente.

O princípio no qual se baseia este tipo de medição é que será necessário uma pressão de ar igual à coluna líquida existente no vaso, para que o ar vença este obstáculo e consiga escapar pela extremidade inferior do tubo.

Na medição é necessário que se possa saber se a pressão exercida pela coluna de líquido está sendo vencida ou não, e isto se torna possível com o escape das bolhas de ar pela ponta imersa no tubo. Isto representa um pequeno valor adicional na pressão de ar, desprezível, desde que o borbulhamento não seja intenso.

A medida se faz através de um instrumento receptor que pode ser um manômetro ou qualquer outro instrumento transmissor de pressão. A figura mostra um esquema deste tipo de medidor.

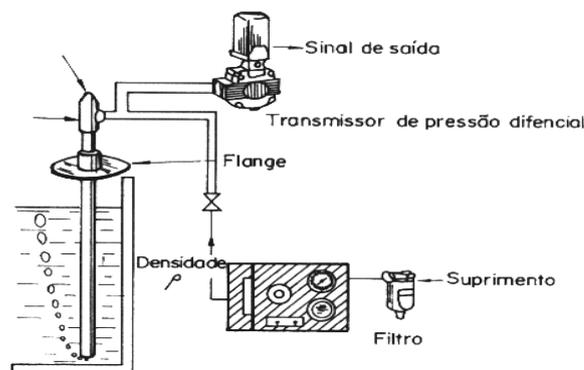


Figura 71. Medidor de nível tipo borbulhador

Quando o nível do líquido sobe ou desce a pressão interna do tubo aumenta ou diminui respectivamente acompanhando o nível; esta variação de pressão é sentida pelo instrumento receptor. Uma coluna de líquido maior requer, maior pressão de ar

para que haja expulsão de bolhas de ar e para colunas menores, pressões menores de ar.

Para termos um bom índice de precisão, é necessário que o fluxo de ar ou gás seja mantido constante em qualquer situação e para conseguirmos esta condição temos diversas maneiras, seja pela utilização de orifícios de restrição, válvulas-agulha, rotâmetros com reguladores de pressão diferencial, borbulhadores reguláveis, entre outros.

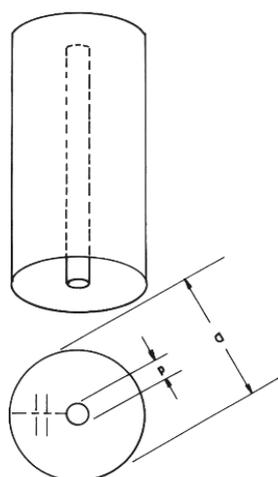
As válvulas-agulha e os orifícios de restrição são utilizados por constituírem limitadores de vazão. Podem ser regulados, no caso das válvulas-agulha, até obter o borbulhamento ideal e calculado, no caso de orifícios de restrição.

Já o rotâmetro com reguladores de pressão diferencial apresentam ótima precisão, pois, além de permitirem vazão de ar ou gás, mantêm o fluxo do mesmo constante regulando permanentemente a queda de pressão à montante e a jusante do rotâmetro.

### Medidor de Nível Tipo Capacitivo

Um capacitor consiste de dois condutores, denominados placas, separados por um material dielétrico. Este componente, muito utilizado em circuitos elétricos, tem como principal característica a propriedade de armazenar cargas elétricas. A grandeza que caracteriza um capacitor é a capacitância, expressa em Farad. Um capacitor de 1 Farad armazena 1 Coulomb de carga ao ser submetido a uma diferença de potencial de 1 Volt. Quando submetido a uma tensão alternada, o capacitor é “percorrido” por uma corrente diretamente proporcional a sua capacitância.

A capacitância é função da área das placas, das distância entre elas e da constante dielétrica do meio entre as placas. Para capacitores cilíndricos (ver fig.) que é o tipo mais aplicável à medição de nível, a capacitância é dada por:



$$C = \frac{7,36.K}{\log_{10} \frac{D}{d}} = \text{pF/FT}$$

Onde:

C – Capacitância em picofarad

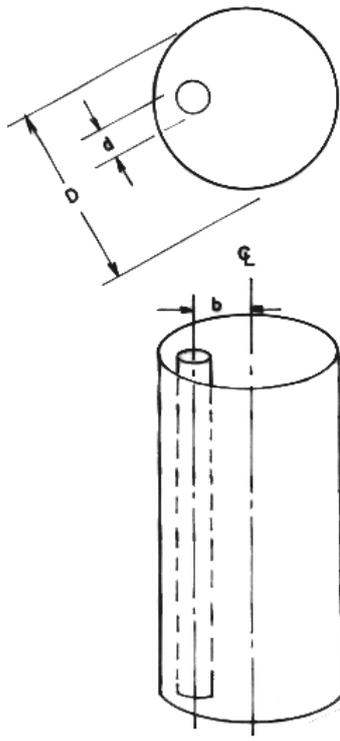
K - constante dielétrica

d - diâmetro do sensor

D- diâmetro do

Figura 72. Capacitor concêntrico com placas cilíndricas

No caso de instalação não concêntrica, o valor da capacitância pode ser obtida conforme figura a seguir.



$$C = \frac{7,36 \cdot K}{\log_{10} \frac{D^2 - 4b^2}{D \cdot d}} = \text{pF/ft}$$

$$Deq = \frac{D^2 - 4b^2}{D}$$

Figura 73. Capacitor excêntrico com placas cilíndricas

A - Princípio de Funcionamento

O medidor por capacitância consiste de uma sonda vertical inserida no vaso no qual se deseja monitorar o nível. A sonda pode ser isolada ou não e serve como uma das placas do capacitor. A outra placa é formada pelas paredes do vaso e o fluido comporta-se como dielétrico. A capacitância é medida através de um circuito em ponte AC, excitado por um oscilador de alta frequência (500 kHz a 1,5 MHz). Ao variar o nível no interior do vaso, altera-se as proporções entre o líquido e o vapor. Como a constante dielétrica da maioria dos líquidos é maior que a dos vapores as variações de nível se traduzem em variações (quase) lineares de capacitância. Consequentemente, as sondas capacitivas também podem ser utilizadas para detectar a interface de líquidos com constantes dielétricas (K) distintas. A figura ilustra a instalação de uma sonda capacitiva para medição do nível de um líquido isolante em um vaso com paredes condutoras. É mostrado, também, o circuito elétrico equivalente.

No circuito, C1 representa a capacitância parasita apresentada, pelo isolador da sonda e é constante. As capacitâncias C2 e C3 representam os efeitos das constantes dielétricas das fases de vapor e líquido, respectivamente. O valor do resistor R deve ser muito elevado (tendendo ao infinito) e representa a resistência efetiva entre a sonda e as paredes do vaso. As condições de pressão e temperatura determinam o tipo de isolador da sonda enquanto que as condições do fluido (corrosivo ou não) determinam o seu revestimento.

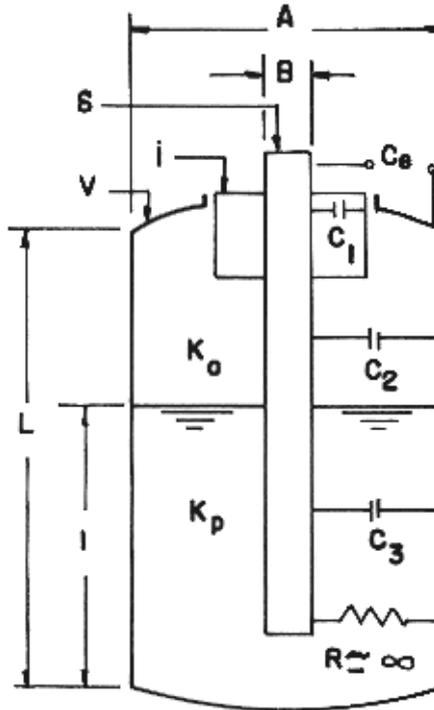


Figura 74. Transmissor capacitivo para líquidos isolantes

### B - Recomendações de Utilização

Para tanques com diâmetros grandes, é preferível que a sonda seja formada por um condutor central e uma blindagem concêntrica, agindo como a outra placa do capacitor. Isto aumentará a sensibilidade ( $\Delta C/\Delta L$ ) da sonda, além de possibilitar também a utilização na medição, aumentando a precisão. Essa configuração também é utilizada quando a parede do vaso não é condutora.

Se o fluido for condutor, uma corrente fluirá entre as placas do capacitor prejudicando a precisão. Sondas com revestimento total de Teflon ou material isolante similar deverão ser utilizados. Neste caso, o revestimento da sonda é o dielétrico, enquanto que o fluido comporta-se como a outra placa do capacitor. A figura mostra sondas com revestimentos isolante.

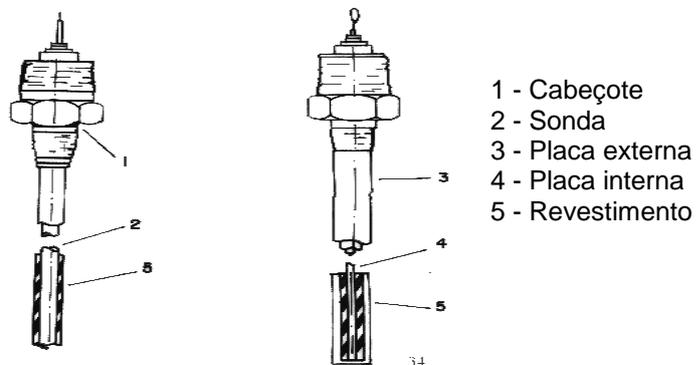


Figura 75. Sondas capacitivas com revestimentos isolante

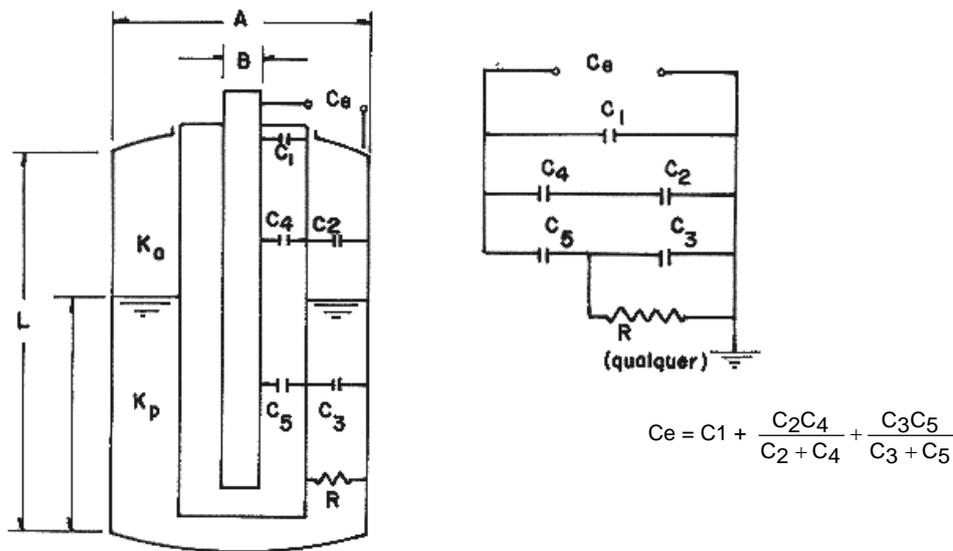


Figura 76. Representação elétrica da sonda com revestimento

As sondas capacitivas com revestimento podem também ser utilizadas quando o fluido for corrosivo. A figura ilustra este tipo de sondas, seu circuito equivalente e a capacitância efetiva.

Para tanques com alturas elevadas (acima de 3m), a sonda pode consistir de um cabo de aço isolado ancorado ao fundo. Sondas montadas horizontalmente possuem uma precisão maior e são adequadas para detecção pontual de nível ou interface líquido-líquido-vapor ou sólido-vapor.

A utilização das sondas capacitivas apresentam, por outro lado, alguns inconvenientes:

A temperatura do material altera a constante dielétrica. Um vapor típico do coeficiente de temperatura é - 0,1% / °C. Portanto se é prevista a variação de temperatura do material, deve-se dotar o sistema de medição com um compensador automático de temperatura.

A composição química e física do material ou alteração de sua estrutura pode afetar a constante dielétrica. Este efeito é mais pronunciado nas aplicações com sólidos onde a granulometria das partículas e o seu volume específico (m<sup>3</sup>/kg) afetam a constante dielétrica.

Em aplicações com líquidos condutivos viscosos, é possível que o material incruste na superfície da sonda. Em uma redução de nível a camada aderida à superfície acarreta um erro de medida, já que o instrumento indicará o nível anterior à redução. Nesse caso utiliza-se sistema com proteção contra incrustação.

Polpas condutores de baixa fluidez, por exemplo, que são freqüentes nas aplicações da indústria alimentícia (mostarda, coalhada, massa de tomate, etc.), formam uma camada sobre a sonda que escoar com dificuldade e impede a medição

do nível, até que a camada tenha diminuído de espessura, de forma a tornar a sua resistência elétrica ao longo do comprimento da sonda, e através do líquido até a parede do reservatório, menor ou no máximo igual à reatância capacitiva.

A presença de bolhas de ar ou espuma na superfície do líquido pode acarretar indicações falsas.

A interface entre dois líquidos condutores não pode ser detectada por esse tipo.

A contaminação do fluido com água afeta bastante a constante dielétrica, alterando a indicação, devido à elevada constante dielétrica da água. Outro problema é a contaminação do isolamento da sonda com umidade.

Esta contaminação é especialmente problemática com certos líquidos ou polpas (pastas) condutoras.

Assim, líquidos como ácido clorídrico e soluções de cloretos (água do mar) formam um fino filme condutor contínuo na superfície do isolamento, que por sua resistência relativamente baixa, altera totalmente as características elétricas da sonda capacitiva de detecção.

Tabela 13. Constante dielétricas de vários materiais

<b>Sólidos</b>					
Material		K	Material		K
Ácido acético		4,1	Fenol		4,3
Asbestos		4,8	Polietileno		4,5
Asfalto		2,7	Polipropileno		1,5
Baquelite		5,0	Porcelana		5,7
Carbonato de Cálcio		9,1	Quartzo		4,3
Celulose		3,9	Borracha		3,0
Óxido de ferro		14,2	Areia		3,5
Vidro		3,7	Enxofre		3,4
Óxido de chumbo		25,9	Açúcar		3,0
Óxido de magnésio		9,7	Uréia		3,5
Nylon		45,0	Sulfato de zinco		8,2
Papel		2,0	Teflon		2,0

<b>Líquidos</b>					
Material	Temp.(°C)	K	K	Temp.(°C)	K
Acetona	22	21,4	Heptano	20	1,9
Amônia	-32	22,4	hexano	20	1,9
Anilina	0	7,8	Ácido clorídrico	28	4,6
Benzeno	20	2,3	Iodo	107	118,0
Benzila	94	13,0	Querosene	21	1,8
Bromo	20	3,1	Metanol	25	33,6
Butano	-1	1,4	Álcool metílico	20	33,1
Tetracloro de carbono	20	2,2	Éter metílico	26	5,0
Óleo de rícino	16	4,7	Óleo mineral	27	2,1
Cloro	0	2,0	Naftaleno	20	2,5
Clorofórmio	0	5,5	Octano	20	2,0
Cumeno	20	2,4	Pentano	20	1,8
Ciclohexano	20	2,0	Fenol	48	9,9
Dimetil-heptano	20	1,9	Fosgênio	0	4,7
Dinitilpentano	20	1,9	Propano	0	1,6
Dowtherm	21	3,3	Piridina	20	12,5
Etanol	25	24,3	Estireno	25	2,4
Acetona etila	20	6,4	Enxofre	400	3,4
Etilbenzeno	20	2,5	Tolueno	20	2,4
Cloreto de etileno	20	10,5	Uretano	23	3,2
Éter etílico	20	4,3	Éter vinílico	20	3,9

## INSTRUMENTAÇÃO DE SISTEMAS

---

Etilbenzeno	24	3,0	Água	20	80,0
Ácido fórmico	16	58,5	Água	0	88,0
Freon 12	21	2,4	Água	100	48,0
Glicol	20	41,2	Xileno	20	2,4

## Medidor de Nível Tipo Ultra-Som

O ultra-som é uma onda sonora (mecânica), cuja frequência de oscilação é maior do que aquela sensível pelo ouvido humano, isto é, acima de 20 kHz.

A geração ocorre quando uma força externa excita as moléculas de um meio elástico. Esta excitação é transferida de molécula a molécula do meio com uma velocidade que depende da elasticidade e inércia das moléculas. A propagação do ultra-som depende, desta forma, do meio, se sólido, líquido ou gases e sua componente longitudinal da onda propaga-se à velocidade característica do material, isto é, é função exclusivamente deste.

Na água, a 10°C, a velocidade de propagação do som é de 1440 m/s, enquanto que no ar, a 20°C, é 343 m/s.

Assim sendo, a velocidade do som é a base para a medição através da técnica de ECO, usada nos dispositivos tipo ultra-sônicos, sendo função da temperatura e da pressão, cujos efeitos originados por esta última são desprezíveis.

Os transmissores de nível ultra-sônicos compactos são excelentes ferramentas para a medição de nível de líquidos ou sólidos.

Baseados no princípio ultra-sônico, sem contato com o meio, a medição de nível que utiliza esta tecnologia é especialmente indicada para aplicações onde por qualquer razão, nenhum contato físico pode ocorrer com o material que se está medindo.

Entre estas razões podemos incluir o ataque químico do meio medido contra o instrumento (ácidos), contaminação (esgotos/efluentes) ou partículas do meio que possam aderir ao equipamento (materiais aderentes).

## PRINCÍPIO DE OPERAÇÃO

A medição de nível por ultra-som baseia-se na medição do tempo necessário para um pulso de ultra-som percorrer a distância entre o sensor e o material a ser detectado (ida e volta). Este trem de pulsos emitido pelo sensor (que está instalado acima do produto a ser medido) é refletido pela superfície do material.

O circuito eletrônico inteligente processa o sinal recebido (eco) e refletido pela superfície do material, e calcula a partir do tempo de “vão” a distância entre o sensor e a superfície.

## MEDIÇÃO DE NÍVEL DE LÍQUIDOS

### OBJETOS ESTÁTICOS :

Nenhum objeto (tubos, barras de reforço, escadas, termômetros, etc) deve projetar-se para o interior do cone formado pelo feixe de ultra-som, inclusive as paredes laterais do tanque.

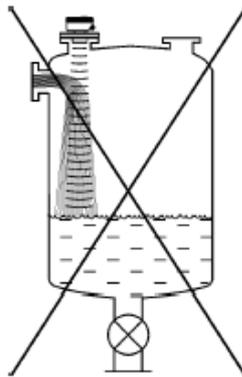


Figura 77. ...

OBJETOS EM MOVIMENTO :

Os efeitos causados por objetos móveis como agitadores são confiavelmente eliminados através de softwares especiais. A medição por ultra-som não é indicada em aplicações onde uma superfície cônica seja formada devido a alta velocidade de rotação do agitador (observe a figura ao lado).

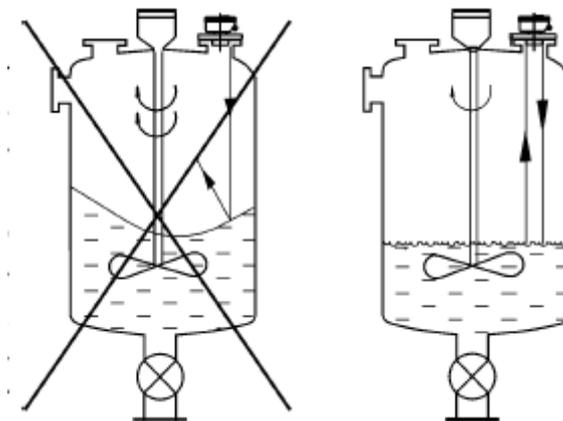


Figura 78. ...

ALINHAMENTO :

Como a superfície dos líquidos sempre é horizontal, o sensor deve ser instalado com um desvio máximo de  $\pm 2$  a  $3^\circ$  (da horizontal).

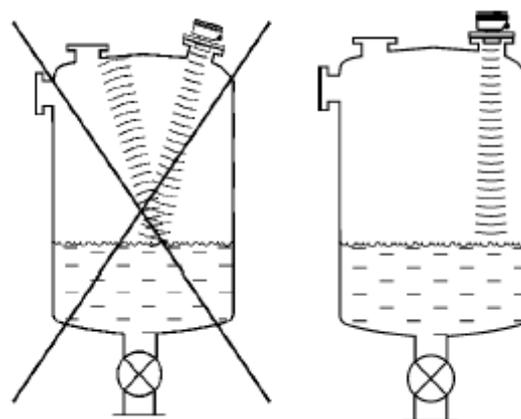
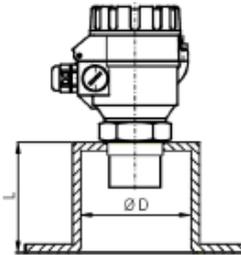


Figura 79. ...

TUBO DE COMPENSAÇÃO (“PESCOÇO”) :

A estrutura deve ser rígida e sua borda interna (de onde o feixe de ultra-som do sensor é emitido) deve ser arredondada.

L (mm)	D <sub>mínimo</sub> (mm)		
	S -39	S -38	S -37
150	50	60	60
200	50	60	75
250	65	65	90
300	80	75	105
350	95	85	120



L (mm)	D <sub>mínimo</sub> (mm)	
	S -36	S -34
90	80	*
200	80	*
350	85	*
500	90	*

\* Sob consulta

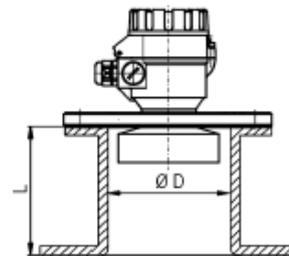


Figura 80. ...

ESPUMA :

Um local deve ser encontrado onde a formação de espuma seja a menor possível (o sensor deve ser instalado o mais distante possível do ponto de entrada) ou onde um tubo de calma possa ser adotado.

VENTO :

O intenso movimento de ar (gás) nas proximidades do cone formado pelo feixe de ultra-som deve ser evitado, pois pode provocar o enfraquecimento do sinal. Neste caso, sensores de baixa freqüência de medição (40 ou 20 kHz) são recomendados.

VAPOR :

Tanques fechados contendo líquidos (como produtos químicos) que formam vapor sobre sua superfície (especialmente aqueles expostos ao sol) provocam forte redução da faixa nominal de medição do sensor. Este fato deve ser observado na instalação.

Neste caso, sensores de baixa freqüência (40 ou 20 kHz) são recomendados, dependendo de sua faixa de medição.

TEMPERATURA :

Recomenda-se proteger o transmissor da incidência direta do sol para evitar um superaquecimento excessivo.

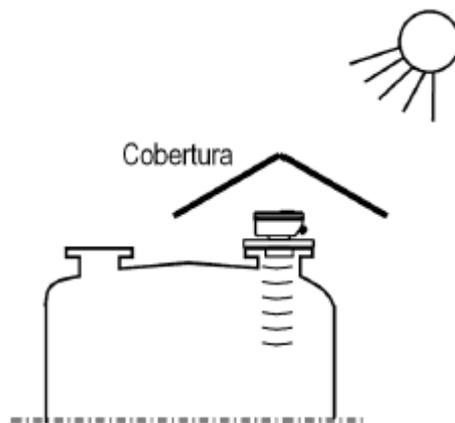


Figura 81. ...

**ATENÇÃO !!**

A correta instalação do transmissor possui grande importância para que o equipamento opere adequadamente.

Portanto, observe com atenção este item para a obtenção da melhor performance do instrumento.

**IMPORTANTE !**

Durante a instalação dos transmissores, **JAMAIS** gire o invólucro para conectar/desconectá-lo ao processo.

Utilize sempre a parte sextavada da conexão ou a flange (verifique o modelo do equipamento).

**MEDIÇÃO DE NÍVEL DE SÓLIDOS**

**OBJETOS ESTÁTICOS :**

A medição durante o enchimento é possível somente se o feixe do ultra-som não cruza o percurso do material que entra no silo. Certifique-se de que nenhum objeto ou as paredes do silo não se projetem para o interior do feixe de ultra-som.

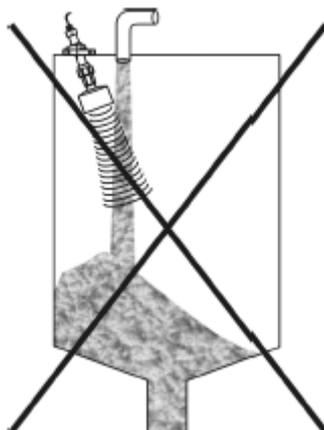


Figura 82. ...

**ENTRADA DE MATERIAL :**

Instale o sensor o mais distante possível do ponto de entrada de material, garantindo também o direcionamento do sensor ao fundo do silo.

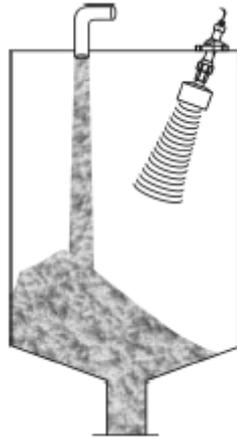


Figura 83. ...

**ENCHIMENTO PNEUMÁTICO :**

Instale o sensor onde a velocidade do material que entra no silo seja o menor possível.



Figura 84. ...

**DIRECIONAMENTO DO SENSOR :**

Para evitar problemas causados pelas irregularidades da superfície, é preciso direcionar o sensor (efetuado facilmente pelo dispositivo SAA-102). O direcionamento é melhor executado quando o tanque / silo está quase vazio. Na maioria dos casos, o sensor deve ser direcionado ao local de saída de material. Em aplicações onde não ocorre ângulo de depósito suficiente ou tipicamente em silos de pequeno diâmetro (por exemplo,  $\square 3 \times 18\text{m}$ ), não é necessário a utilização do direcionador : o sensor deve estar direcionado diretamente para baixo, ou seja, na vertical.

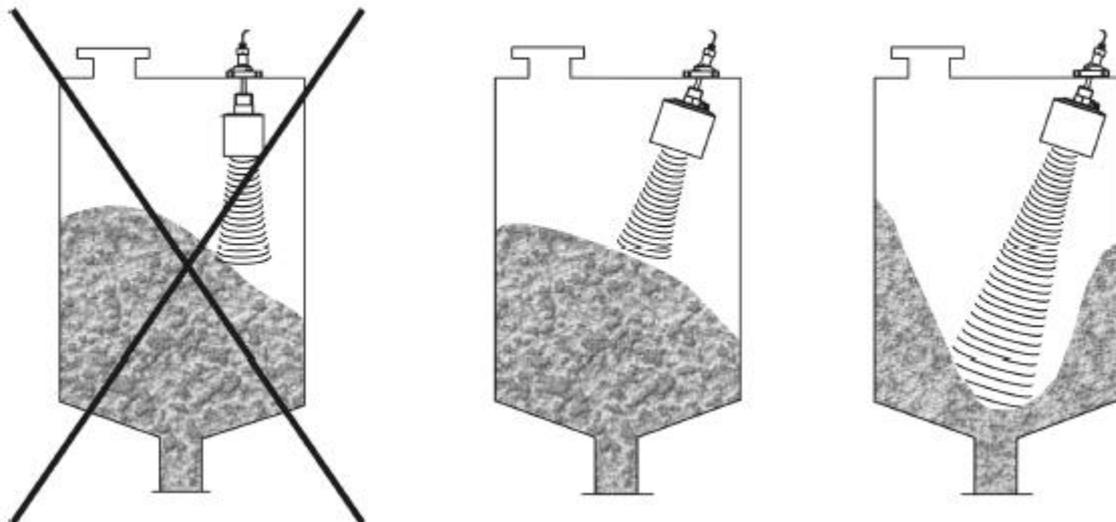


Figura 85. ...

#### SUPERFÍCIE :

Irregularidades sobre a superfície, bem como sua qualidade influenciam na medição por ultra-som. Para evitar problemas ocasionados por este fato, o uso do dispositivo direcionador é recomendado (SAA-102).

#### VENTO :

O intenso movimento de ar nas proximidades do cone formado pelo feixe de ultra-som deve ser evitado, pois pode provocar o enfraquecimento do sinal. Em instalações ao ar livre, recomenda-se a colocação de um anteparo.

#### PÓ / POEIRA :

Pós em geral reduzem a faixa de medição do sensor ultra-sônico. O grau de redução também depende do diâmetro do tanque / silo. O sistema apropriado e a faixa de medição devem ser selecionados com cuidado.

#### CONE DO ULTRA-SOM

Todos os transdutores que utilizam a tecnologia do ultra-som possuem um ângulo total de abertura de  $5/6^\circ$  a 3 dB, assegurando uma medição confiável em silos de pequeno diâmetro cujas paredes apresentam irregularidades bem como em processos cujos tanques possuem vários objetos que entram na área do feixe do ultra-som. Além disso, como resultado do pequeno ângulo de abertura (o sinal de ultrassom emitido apresenta excelente foco) está a grande capacidade de penetrar através de gases, vapores e espuma.

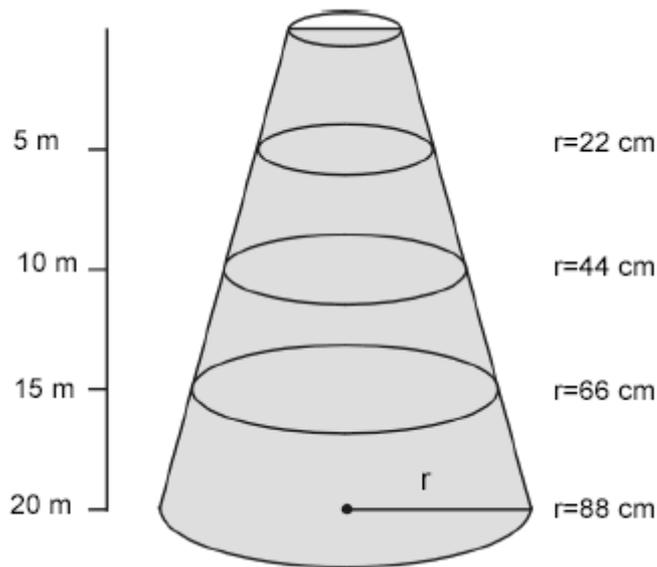


Figura 86. ...

### FAIXA DE MEDIÇÃO

A faixa de medição dos medidores ultra-sônicos depende das condições do ambiente (por exemplo, se o tanque é fechado ou aberto). Existem alguns fatores que podem influenciar na medição, como espuma, vapor, etc., que reduzem a faixa nominal de medição do transmissor ultra-sônico.

Os fabricantes oferecem uma ampla variedade de soluções para medição de nível envolvendo vários tipos de transdutores que operam em diferentes frequências : tudo para equacionar o grande número de aplicações de medição de nível de líquidos.

### ZONA MORTA

Todos os medidores ultra-sônicos apresentam uma característica denominada “Zona Morta” (ou distância mínima de medição) que está especificada na tabela de Dados Técnicos.

NOTA : Para assegurar que o instrumento opere adequadamente, certifique-se de que o nível do produto medido jamais entre na faixa especificada da zona morta.

O transdutor pode ser montado no topo do equipamento ou imerso no meio líquido, cujo nível se deseja medir.

A figura ilustra algumas situações de projeto:

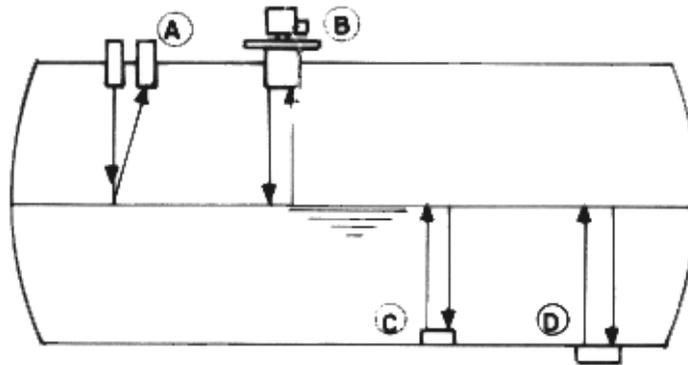


Figura 87. Detector de nível ultra-sônico e contínuo

O tipo de instalação A prevê dois transdutores, um para emissão e outro para recepção, montados em receptáculos distintos. Neste caso, a onda é gerada no ar, propagando-se até a interface ar-líquido, onde ocorre a reflexão, para depois a onda refletida ser recebida no cristal receptor. A medição contínua do nível de líquido se faz de uma maneira indireta, uma vez que todo o percurso da onda é realizado no meio ar.

Em B o transdutor gera um trem de pulsos (“burst”) ultra-sônico e, enquanto a energia acústica é gerada, o receptor está desativado.

O emissor e o receptor estando num único receptáculo, faz-se necessário a ativação do receptor após a emissão do trem de ondas, visando à detecção do eco. A montagem da unidade emissão/recepção no meio gasoso traz a vantagem de se evitar o contato com o fluido do processo; em contrapartida, apresenta a desvantagem de transferir para o meio gasoso uma parcela maior de sua energia.

Nas aplicações para medição de nível de líquidos, a direção do ângulo de incidência deve ser de  $\pm 2^\circ$  em relação à vertical. Na instalação C, o tempo de eco ultra-sônico indica diretamente o nível do produto.

A unidade pode ainda ser montada externamente ao vaso (situação D), apresentando a vantagem adicional da não necessidade, de vaziar o equipamento.

As instalações C e D discutidas neste sub-item são aplicáveis à detecção de nível de líquidos limpos, enquanto os esquemas A e B podem ser usados também para medir níveis de sólidos.

#### Medidor de Nível tipo Radioativo

Os sistemas radiamáticos são utilizados para medição de nível de líquidos, polpas ou sólidos granulados em aplicações onde nenhuma outra tecnologia disponível pode ser aplicada.

Esses sistemas consistem de uma fonte de emissão de raio gama ( $\delta$ ), um detector tipo câmara de ionização ou cintilação e uma unidade eletrônica conversora e transmissora de sinal. A fonte, normalmente de césio 137, é alojada em cápsula de aço

inox e blindada por chumbo ou ferro fundido, deixando desbloqueada para emissão do raio gama um ângulo de  $40^\circ$  (medição contínua) ou  $7^\circ$  (medição pontual).

O detector mais utilizado é formado por uma câmara contendo gás inerte (argônio, por exemplo) pressurizado, alimentado por uma tensão contínua negativa ( $-15\text{ V}_{\text{DC}}$ ) e um coletor de elétrons (que são retirados da última camada do átomo pela incidência do raio gama). A corrente elétrica, produzida pela passagem do raio gama é diretamente proporcional a intensidade da radiação e inversamente proporcional ao nível do produto no silo ou tanque. Esse sinal é convertido em tensão e/ou frequência para finalmente, pela unidade eletrônica ser transmitida através de sinal de corrente de 4 a  $20\text{ mA}_{\text{DC}}$ .

Muitos arranjos são utilizados na instalação desses sistemas, porém a mais típica pode ser vista na figura. Onde a fonte é instalada de um lado do silo ou tanque e o detector no outro.

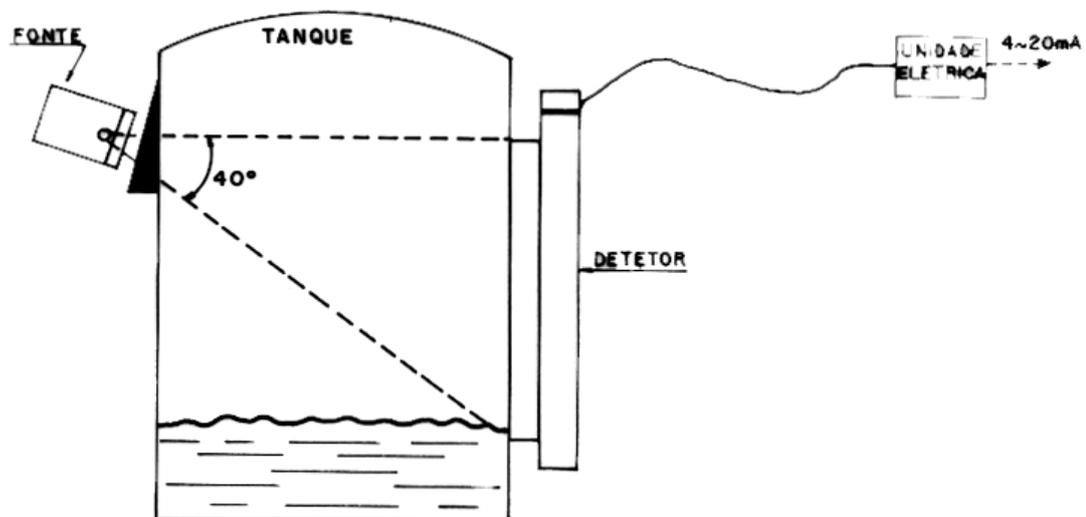


Figura 88. ...

A intensidade da fonte, que é medida em Ci (Curie), é calculada considerando a distância da mesma ao detector, a espessura e o material da parede, e o produto. Já o comprimento do detector considera o alcance de medição desejada.

#### Medição de Nível por Pesagem

A medição de nível por pesagem consiste basicamente na instalação de células de cargas nas bases de sustentação do silo cujo nível se deseja medir.

Célula de carga é um sensor constituído por fitas extensiométricas (STRAIN-GAUGES) fixados adequadamente em um bloco de aço especial com dimensões calculadas para apresentar uma deformação elástica e linear quando submetido a uma força. Essa deformação é detectada pelas fitas extensiométricas através da variação de sua resistência elétrica.

As células de carga podem ser instaladas sob os pontos de apoio da estrutura do silo, de tal forma que o seu peso é nelas aplicado. Para estas aplicações é necessário que as células de carga sejam imunes a esforços laterais. Para isto seus encostos para a carga são constituídos de apoios especiais do tipo côncavo ou esférico. O número de células de carga varia em função da forma de silo, sendo que a solução que apresenta melhor precisão é apoiar o silo em três células dispostas defasadas de  $120^\circ$  em relação à projeção do seu centro de simetria.

Sempre que possível o silo deve ser projetado com seção transversal circular de forma a garantir uma distribuição estável e equalizada do peso total entre as três células de carga. Em algumas instalações existem silos apoiados em uma ou duas células de carga sendo os outros apoios fixos; esta solução não é recomendada devido à imprecisão provocada pela distribuição desigual do peso entre os apoios.

Para silos pequenos podem ser usadas células de carga que são deformadas por tração, sendo neste caso o silo suspenso por uma única célula, eliminando-se o problema de distribuição de carga.

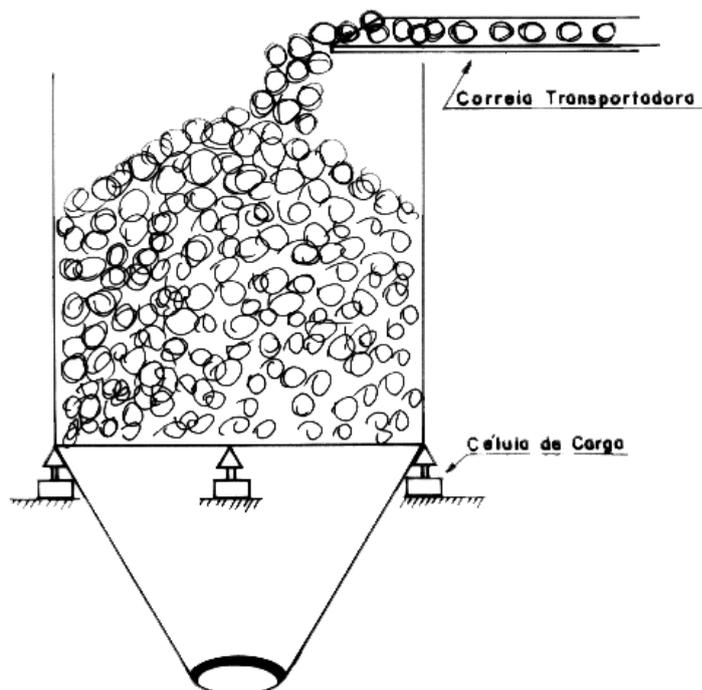


Figura 89. Exemplo de sistema de pesagem

Os sistemas de medição de nível através de pesagem exigem que o silo seja fisicamente isolado da estrutura do prédio, evitando, desta forma, que forças estranhas sejam aplicadas às células de carga, introduzindo erros na medição.

Algumas alterações do projeto estrutural do prédio poderão ser necessárias, uma vez que o peso do silo não está mais distribuído em uma estrutura de sustentação, mas, sim, concentrando em pontos onde serão instaladas as células de carga. Os sistemas de enchimento e esvaziamento do silo deverão ser cuidadosamente projetados tendo em vista minimizar sua interferência no sistema de medição. Deve ser evitada a instalação de vibradores, motores e outras fontes de vibração em contato

direto com o silo. Em silos mais altos ou instalados em local sujeito a vibrações excessiva, recomenda-se a colocação de barras estabilizadoras nas laterais do silo para absorver os eventuais esforços horizontais que tendam a desequilibrar o silo prejudicando o desempenho do sistema.

## EXERCÍCIOS SOBRE MEDIÇÃO DE NÍVEL

1. Cite 3 métodos de medição de nível?

2. Como é feita a medição de nível indireta em tanques fechados e pressurizados?

3. Calcule o pedido:

a) 62% da faixa de -30 mmHg à 50 mmHg = \_\_\_\_\_

b) 4% da faixa de 13 PSI à 25 PSI = \_\_\_\_\_

c) 79% da faixa de 50 mmHg à 200 mmHg = \_\_\_\_\_

d) 39% da faixa de 0,2 Kpa à 1 Kpa = \_\_\_\_\_

e) 33% da faixa de -100 mmH<sub>2</sub>O à 10 mm H<sub>2</sub>O = \_\_\_\_\_

f) 20% da faixa de -100 PSI à 100 PSI = \_\_\_\_\_

g) 42% da faixa de 750 "H<sub>2</sub>O à 1000 "H<sub>2</sub>O = \_\_\_\_\_

h) 81% da faixa de 500°C à 800°C = \_\_\_\_\_

i) 73% da faixa de -20° à 120°C = \_\_\_\_\_

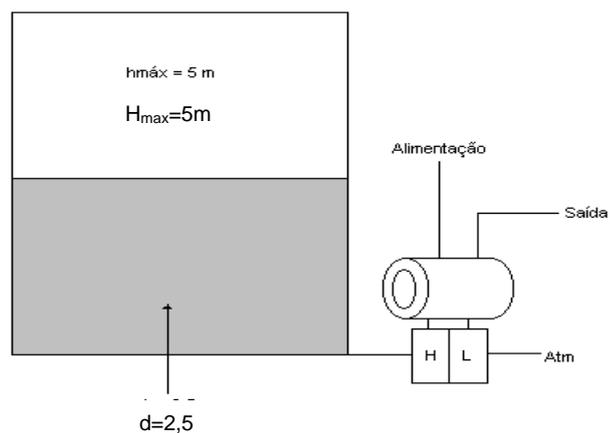
j) 93% da faixa de -150 "Hg à 20"Hg = \_\_\_\_\_

4. Determine o pedido:

a) Range do instrumento:

\_\_\_\_\_ mmH<sub>2</sub>O

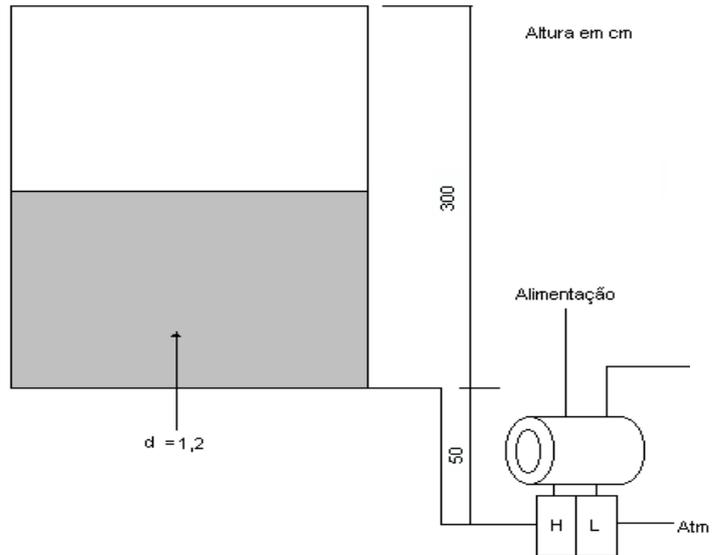
b) Saída do instrumento (de 4 a 20 mA) quando o nível for 78%: \_\_\_\_\_ mA



5. Explique em que situação de instalação, se deve fazer o ajuste de supressão de zero em um transmissor de nível por pressão diferencial.

6. Calcule o range do instrumento em mmH<sub>2</sub>O:

Range = \_\_\_\_\_ mm H<sub>2</sub>O

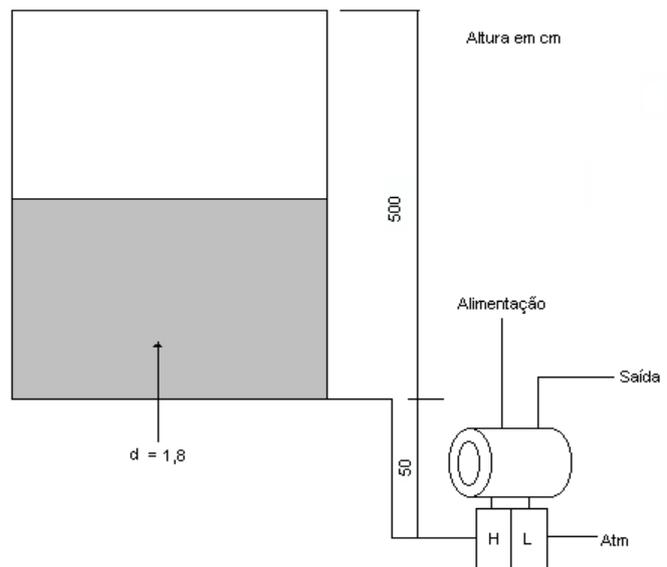


7. Determine o pedido:

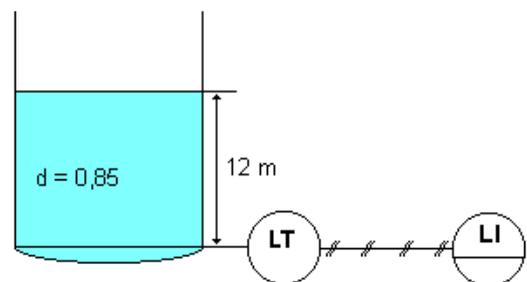
a) Range do instrumento: \_\_\_\_\_ "H<sub>2</sub>O

b) Saída do instrumento (de 4 a 20 mA) quando o nível for 37%: \_\_\_\_\_ mA

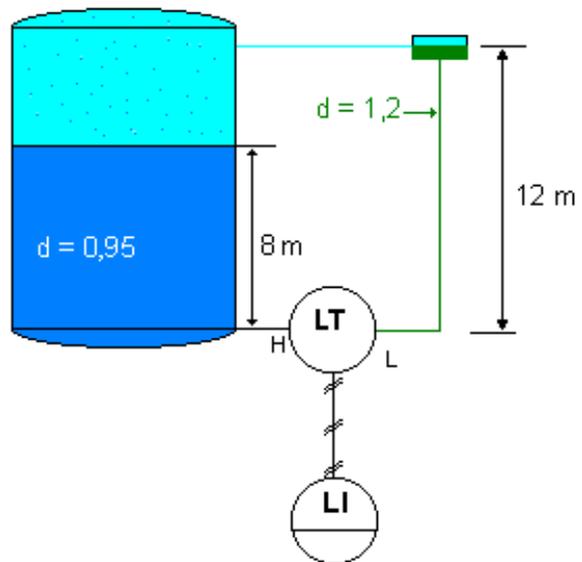
c) Nível quando a saída for 13,6 mA: \_\_\_\_\_ %



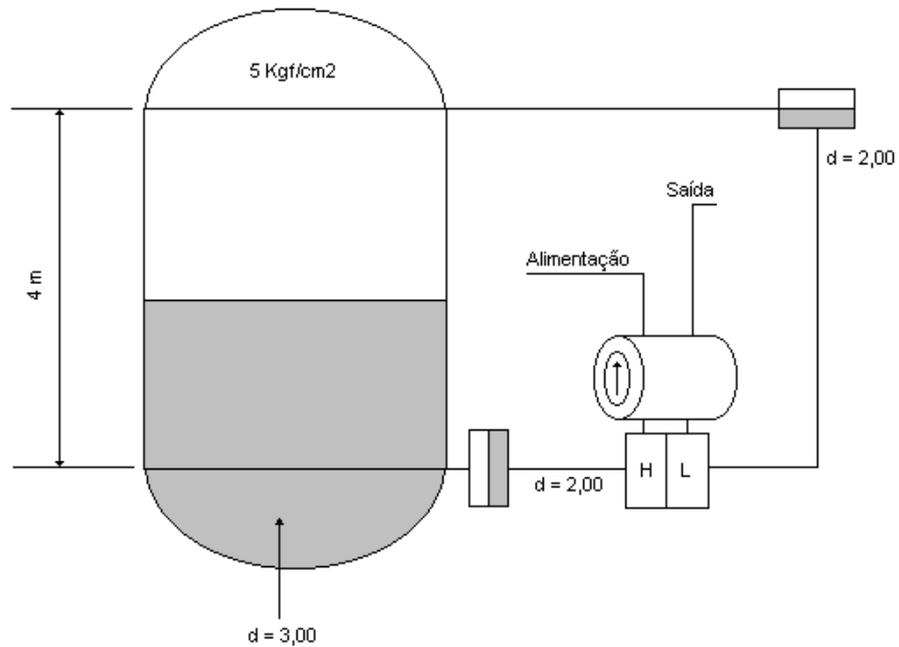
8. Calcular o valor do sinal de saída do transmissor de nível, sendo que a pressão diferencial nas câmaras do mesmo ( $\Delta P$ ) é de 200,79" H<sub>2</sub>O:



9. Calcular o range do LT abaixo em "H<sub>2</sub>O".



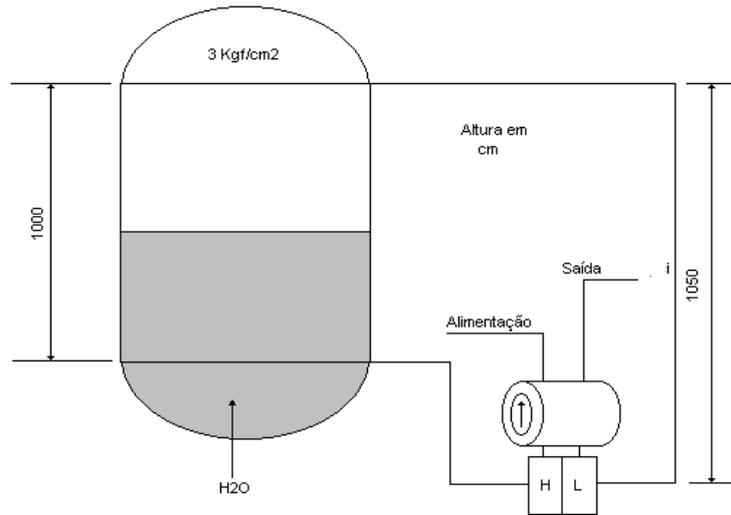
10. Determine o pedido:



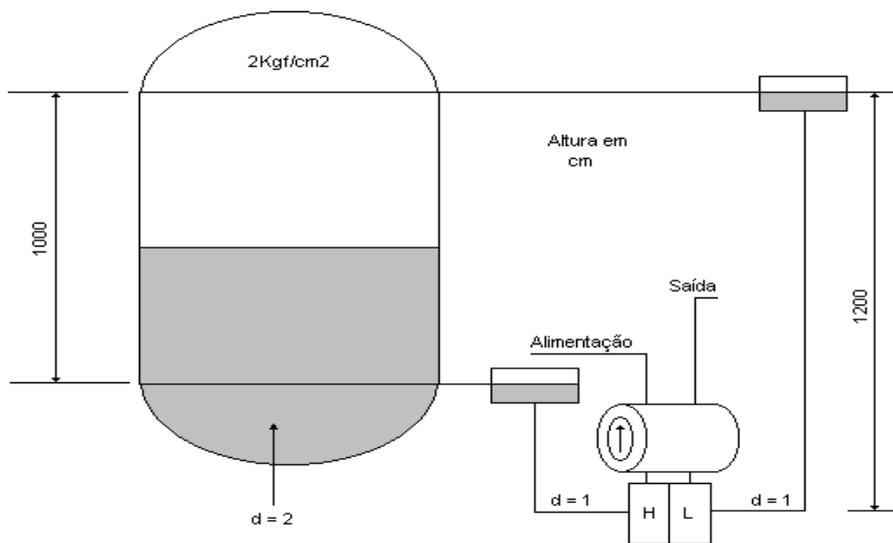
- a) Range do instrumento: \_\_\_\_\_ "H<sub>2</sub>O"  
 b) Saída do instrumento (de 4 a 20 mA) quando o nível for 40%: \_\_\_\_\_ mA  
 c) Nível quando a saída for 10,8 mA: \_\_\_\_\_ %

11. Determine o range do instrumento em "H<sub>2</sub>O":

Range = \_\_\_\_\_ "H<sub>2</sub>O"



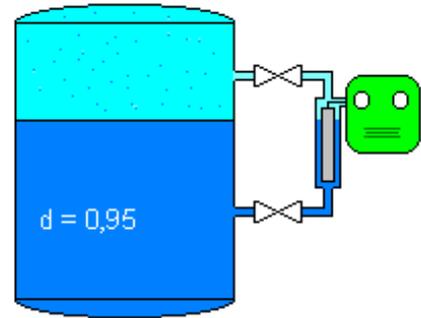
12. Determine o pedido:



Range do instrumento: \_\_\_\_\_ mmH<sub>2</sub>O

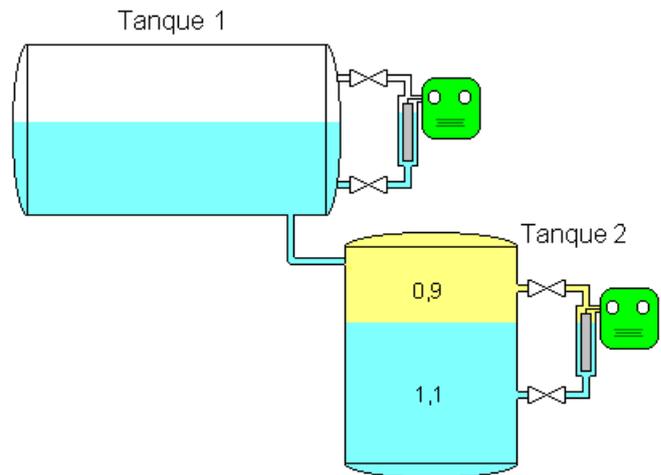
Saída do instrumento (de 4 a 20 mA) quando o ΔP for=0 : \_\_\_\_\_ mA

13. Calcule o peso aparente do LT abaixo.  
 Dados:  $W$  do deslocador = 1450 gf  
 $h$  do deslocador = 300 mm  
 $\phi$  do deslocador = 60 mm



Nível em %	Volume deslocado	Empuxo	Peso aparente
0			
25			
50			
75			
100			

14. Calcular os pesos aparentes do transmissor do tanque 2 abaixo:  
 Dados:  $W = 1500$ gf  
 $h$  do deslocador = 320 mm  
 $\phi$  do deslocador = 50 mm



Nível em %	Volume deslocado	Empuxo	Peso aparente
0			
25			
50			
75			
100			

15. Na medição de nível capacitivo, quando os líquidos forem condutores o que devemos fazer?

## MEDIÇÃO DE TEMPERATURA

Quando se trata de controle, uma tubulação por onde escoar um fluido, um reservatório contendo água, um aquecedor ou um equipamento qualquer é denominado de processo.

Termometria significa "*Medição de Temperatura*", é o termo mais abrangente que inclui tanto a pirometria como a criometria que são casos particulares de medição.

**Pirometria** - Medição de altas temperaturas, na faixa onde os efeitos de radiação térmica passam a se manifestar.

**Criometria** - Medição de baixas temperaturas, ou seja, aquelas próximas ao zero absoluto de temperatura.

Temperatura é uma propriedade da matéria, relacionada com o movimento de vibração e/ou deslocamento dos átomos de um corpo. Todas as substâncias são constituídas de átomos que por sua vez, se compõe de um núcleo e um envoltório de elétrons. Normalmente estes átomos possuem uma certa energia cinética que se traduz na forma de vibração ou mesmo deslocamento como no caso de líquidos e gases.

### PONTOS FIXOS DE TEMPERATURA

A temperatura interna do corpo humano pode ser considerada como um ponto fixo de temperatura. Entretanto esta temperatura é afetada por vários fatores que diminuem a precisão deste padrão.

A mudança de estado de substâncias puras (fusão, ebulição) é normalmente desenvolvida sem alteração na temperatura. Todo calor recebido ou cedido pela substância é utilizado pelo mecanismo de mudança de estado.

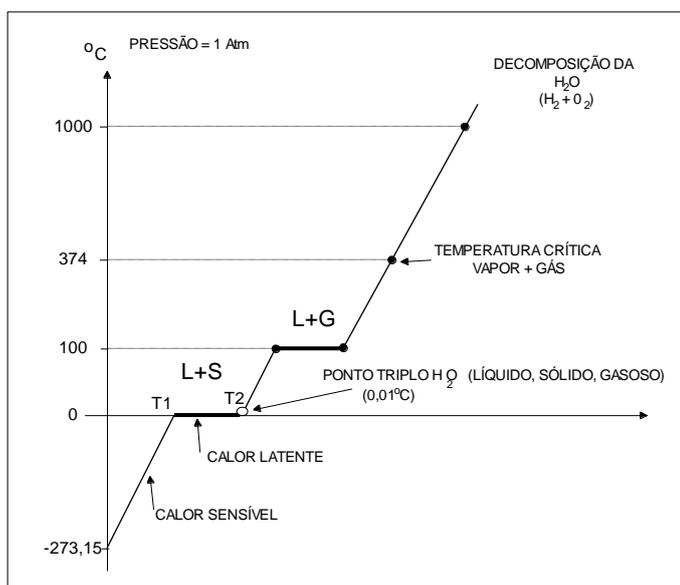


Figura 90. Sistema de aquecimento de água

**Calor sensível:** - é a quantidade de calor necessária para que uma substância mude a sua temperatura até que comece a sua mudança de estado, onde teremos o calor latente.

**Calor latente:** - a quantidade de calor que uma substância troca por grama durante a mudança de estado.

Apesar do calor cedido a água ser constante durante toda a experiência, nota-se que durante a fusão do gelo, entre  $t_1$  e  $t_2$ , e ebulição da água, entre  $t_3$  e  $t_4$  a temperatura permanece constante. Se mantivermos uma mistura de água e gelo em equilíbrio, a temperatura permanecerá constante apesar de existir fluxo de calor entre a mistura e o ambiente.

Esta mistura de duas ou três fases (Vapor, Líquido e Sólido) em equilíbrio, gera o que se convencionou chamar de "Ponto Fixo de Temperatura". Visando uma simplificação nos processos de calibração, a Comissão Internacional de Pesos e Medidas, relacionou uma série de pontos fixos secundários de temperatura, conforme mostrado na Tabela abaixo.

## ESCALA INTERNACIONAL TEMPERATURA (ITS90)

Para melhor expressar as leis da termodinâmica, foi criada uma escala baseada em fenômenos de mudança de estado físico de substâncias puras, que ocorrem em condições únicas de temperatura e pressão, determinando os pontos fixos de temperatura.

A IPTS- Escala prática Internacional de temperatura, foi a primeira escala prática internacional de temperatura e surgiu em 1927. Foi modificada em 1948(IPTS-48), em 1960 mais modificações foram feitas e em 1968 uma nova IPTS foi publicada (IPTS-68).

Em 1990, a Comissão Internacional de Pesos e Medidas, homologou uma nova escala de temperatura, a ITS-90, definida a partir de vários pontos fixos de temperatura e com auxílio de instrumentos padrão de interpolação.

A ITS-90 foi definida através de fenômenos determinísticos de temperatura, isto é, pontos fixos de determinadas temperaturas.

Tabela 14.

Pontos fixos	IPTS-68 ( °Celsius)	ITS-90 (°Celsius)
Ebulição do Oxigênio	-182,962	-182,954
Ponto triplo da água	0,01	0,01
Solidificação do Estanho	231,968	231,928
Solidificação do Zinco	419,58	419,527

---

Solidificação da Prata	961,93	961,78
Solidificação do Ouro	1064,43	1064,18

## MEDIDORES DE TEMPERATURA

Os instrumentos de medida da temperatura podem ser divididos em duas grandes categorias, por condução térmica e por radiação.

Nos instrumentos que medem temperatura por condução térmica o elemento sensível está em contato com o corpo ou substância cuja temperatura deseja-se medir:

- Termômetros à dilatação de líquido.
- Termômetros à dilatação de gás.
- Termômetros à pressão de vapor.
- Termômetros à dilatação de sólido.
- Termômetros à resistência elétrica.
- Termômetros à par termoelétrico.

A outra categoria compreende os instrumentos em que o elemento sensível não está em contato com o corpo cuja temperatura se quer medir. São eles:

- Pirômetros à radiação total.
- Pirômetros à radiação parcial (monocromáticos).

A aplicação dos diversos tipos apresentados depende em cada caso de fatores técnicos e econômicos. Como fatores técnicos podemos citar faixa de medição, tempo de respostas, precisão, robustez, etc.

A relação abaixo mostra resumidamente a aplicação de cada tipo de medidor na indústria.

### Termômetros à dilatação de líquido

Os termômetros de vidro são amplamente usado em laboratórios, oficinas e quando protegidos, na área industrial. A construção metálica é a mais utilizada industrialmente devido a robustez.

### Termômetro à dilatação de gás

Não encontra muita aplicação na indústria. Normalmente é encontrado em indicadores locais de temperatura.

### Termômetro à pressão de vapor

Assim como os termômetros de dilatação de gás, tem utilização também limitada a indicadores locais de temperatura.

### Termômetro à dilatação de sólido

Sob a forma de termômetro bimetálico é atualmente o indicador de temperatura local mais usado na área industrial devendo isto a sua simplicidade, robustez e baixo preço.

### Termômetro de resistência elétrica

Tem uso bastante difundido na indústria, sendo útil na transmissão à distância da temperatura medida. Seu uso deve-se ao fato de possuir boa precisão e ampla faixa de temperatura, apesar do custo relativo elevado.

### Termômetro à par termoelétrico

É atualmente o sistema de medição de temperatura mais utilizado na indústria para supervisão e controle de processos. É preciso, robusto, cobre uma ampla gama de temperaturas e possui normalmente preço inferior ao de resistência.

### Pirômetro de radiação total

Grande aplicação na indústria nos casos de medição de altas temperaturas ou de objetos móveis, continuamente. Não possui concorrentes na sua faixa de aplicação.

### Pirômetro óptico monocromático (radiação parcial)

Bastante usado na indústria para medir esporadicamente altas temperaturas. É utilizado para calibração eventual do pirômetro de radiação total. Preço elevado.

## **Termômetros de Dilatação Volumétrica**

São baseados no fenômeno de dilatação aparente de um líquido dentro de um recipiente fechado.

### **Tipo de Recipiente Transparente**

Este tipo de termômetro é constituído de um reservatório, cujo tamanho depende da sensibilidade desejada, soldada a um tubo capilar de seção a mais uniforme possível fechado na parte superior. O reservatório e parte do capilar são preenchidos de um líquido. Na parte superior do capilar existe um alargamento que protege o termômetro no caso da temperatura ultrapassar seu limite máximo.

Após a calibração a parede do tubo capilar é graduado em graus ou frações deste. A medição de temperatura se faz pela leitura da escala no ponto em que se tem o topo da coluna líquida. Em alguns casos ao invés de graduar o tubo capilar, fixa-se ao mesmo uma escala que receberá a graduação.

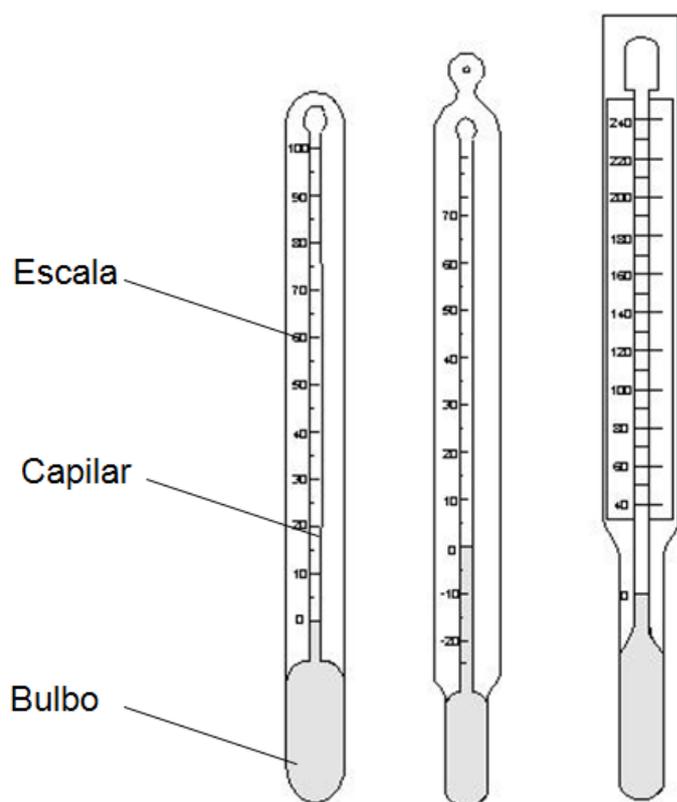


Figura 91.

Entre os líquidos mais utilizados estão os abaixo relacionados:

Tabela 15. Líquidos para termômetros

Líquido	Calor Específico	Ponto de Solidificação	Ponto de Ebulição	Faixa de Utilização
Mercúrio	0,033	-39 °C	+357 °C	- 35 a 550 °C
Tolueno	0,421	-92 °C	+110 °C	- 80 a 100 °C
Álcool Etílico	0,581	-115 °C	+78 °C	- 100 a 70 °C

1º) Para temperaturas superiores a 200°C no caso do mercúrio, a parte superior do capilar é preenchida com um gás inerte, normalmente nitrogênio, sob pressão. Esta precaução é indispensável para evitar a vaporização do mercúrio que poderia ocasionar rupturas na coluna do líquido. Esta pressão atinge valores de 1,20 a 70atm., para termômetros graduados respectivamente em 350, 600 e 750°C.

2º) No caso de se utilizar gás sob pressão, o termômetro prevê na parte superior um reservatório de grande capacidade, a fim de tornar a pressão interna o mais independente possível da posição da coluna de mercúrio.

### Tipo de Recipiente Metálico

No termômetro de vidro, a dilatação do líquido é observada e medida diretamente através de sua parede transparente. No tipo de recipiente metálico, o líquido preenche todo o instrumento e sob o efeito de um aumento de temperatura se dilata, deformando um elemento extensível, dito sensor volumétrico. O instrumento compreende três partes:- o bulbo, o capilar e o elemento sensor. Os tipos de líquido de enchimento:

Mercúrio - para temperatura entre  $-35$  e  $+550^{\circ}\text{C}$ .

Álcool - para temperatura entre  $-50$  e  $+150^{\circ}\text{C}$ .

Xileno - para temperatura entre  $-40$  e  $+400^{\circ}\text{C}$ .

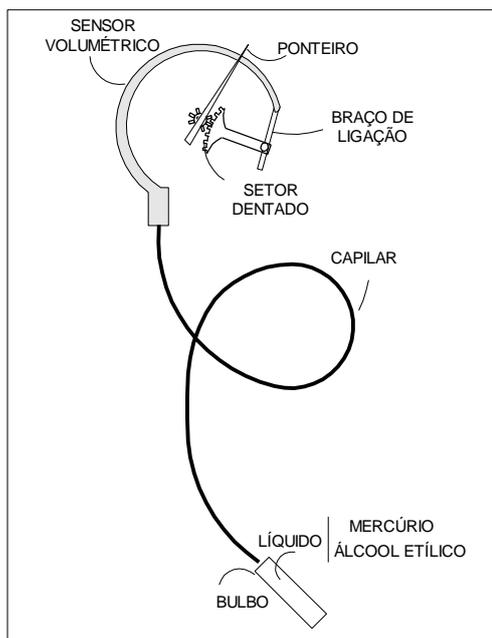


Figura 92.

### TERMÔMETRO DE DILATAÇÃO DE GÁS

Fisicamente idêntico ao termômetro de dilatação de líquido, consta de um bulbo, elemento de medição e capilar de ligação entre estes dois elementos.

O volume do conjunto é sensivelmente constante e é preenchido com um gás a alta pressão. Com a variação de temperatura o gás varia sua pressão conforme, aproximadamente, a lei dos gases perfeitos. O elemento de medição neste caso opera como medidor de pressão. Os tipos de gás de enchimento normalmente utilizados são: Hélio (He) - temperatura crítica=  $267,8^{\circ}\text{C}$ ; Hidrogênio (H<sub>2</sub>) - temperatura crítica=  $239,9^{\circ}\text{C}$ ; Nitrogênio (N<sub>2</sub>) - temperatura crítica=  $147,1^{\circ}\text{C}$  e Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>) - temperatura crítica=  $31,1^{\circ}\text{C}$ .

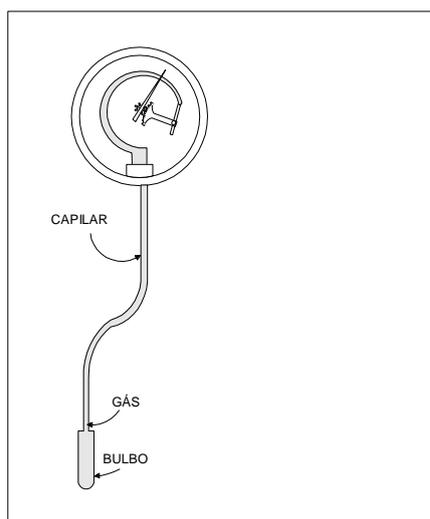


Figura 93.

Nota:- O gás mais utilizado é o N<sub>2</sub> e geralmente é enchido com uma pressão de 20 a 50atm, na temperatura mínima a medir.

Sua faixa de medição vai de -100°C à 600°C, o limite inferior é o do próprio gás ao se aproximar da temperatura crítica, e o superior é do recipiente devido a maior permeabilidade ao gás, o que acarretaria a sua perda inutilizando o termômetro.

## TERMÔMETRO A TENSÃO DE VAPOR

Também fisicamente idêntico ao de dilatação de líquidos. Possui um bulbo e um elemento de medição ligados entre si por meio de um capilar. O bulbo é parcialmente cheio de um líquido volátil em equilíbrio com o seu vapor. A pressão do vapor é função exclusiva do tipo de líquido e da temperatura.

A tabela apresenta os líquidos mais utilizados e seus respectivos pontos de fusão e ebulição.

Tabela 16. Líquidos para termômetros

LÍQUIDO	PONTO DE FUSÃO (°C)	PONTO DE EBULIÇÃO (°C)
Cloreto de Metila	- 139	- 24
Butano	- 135	- 0,5
Éter Etílico	- 119	+ 34
Tolueno	- 95	+ 110
Dióxido de Enxofre	- 73	- 10
Propano	- 190	- 42

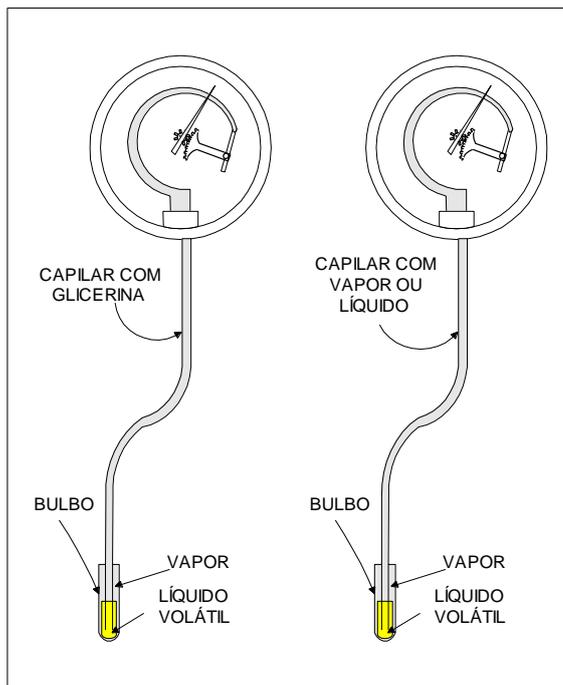


Figura 94.

### TERMÔMETRO À DILATAÇÃO DE SÓLIDO OU TERMÔMETRO BIMETÁLICO

A operação deste tipo de termômetro se baseia no fenômeno da dilatação linear dos metais com a temperatura. É sabido que o comprimento de uma barra metálica varia com a temperatura segundo a fórmula aproximada:

$$L = L_0 (1 + \alpha t)$$

Onde:  $L$  = comprimento da barra à temperatura  $t$ .

$L_0$  = comprimento da barra à  $0^\circ\text{C}$ .

$t$  = temperatura da barra.

$\alpha$  = coeficiente de dilatação linear do metal utilizado

Deste modo poder-se-ia construir um termômetro baseado na medição das variações de comprimento de uma barra metálica. A figura mostra dois tipos de termômetros baseados diretamente neste fenômeno:

- O primeiro tipo consiste em uma barra metálica sustentada horizontalmente e um sistema mecânico para amplificação das pequenas variações de comprimento da barra.

- O segundo tipo baseia-se na medição da diferença de dilatação entre um tubo feito de material de coeficiente de dilatação e uma haste interna de material de baixo coeficiente de dilatação.



Figura 95.

Estes termômetros apresentam dois graves inconvenientes:

- O elemento sensor possui uma grande massa, o que torna a resposta do termômetro lenta.
- A variação do comprimento experimentada pela barra é muito pequena, necessitando de uma grande amplificação mecânica até o dispositivo de indicação.

Fixando-se duas lâminas metálicas com coeficientes de dilatação diferentes de maneira indicada na figura, e submetendo o conjunto assim formado a uma variação de temperatura, observa-se um encurvamento que é proporcional à temperatura. O encurvamento é devido as diferentes coeficientes de dilatação dos dois metais, sendo o segmento de círculo a forma geométrica que comporta as duas lâminas com comprimentos diferentes.

Evidentemente, fixando-se uma extremidade da lâmina bimetálica, o movimento da outra ponta representará a temperatura da mesma. A sensibilidade deste sistema é bem superior à do apresentado na figura anterior, sendo tanto maior quanto for o comprimento da lâmina e a diferença entre os dois coeficientes de dilatação dos metais.

Um termômetro elementar baseado no efeito bimetálico é apresentado na figura a seguir.

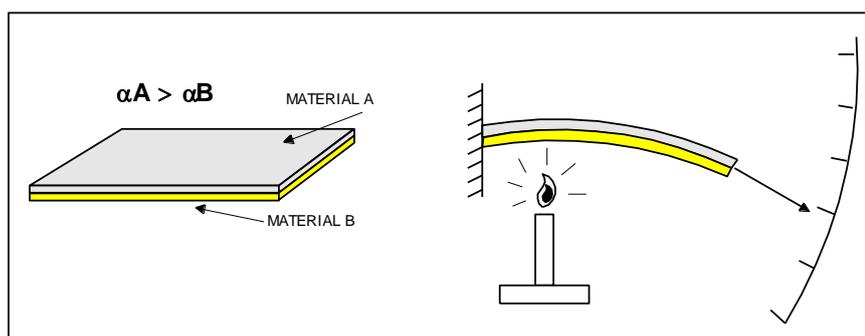


Figura 96.

Na prática a lâmina bimetálica é enrolada em forma de espiral ou hélice, o que aumenta mais ainda a sensibilidade do sistema conforme a figura.

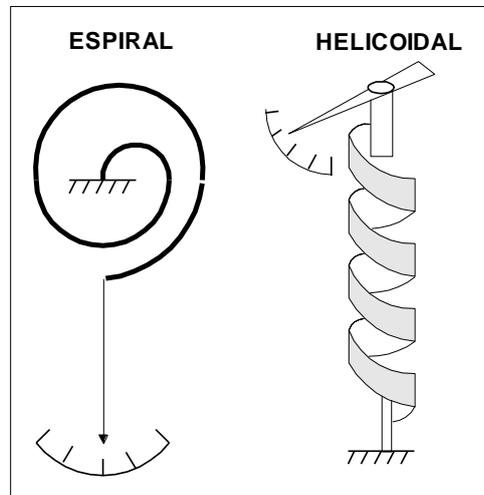


Figura 97.

O termômetro mais usado é o de lâmina bimetálica helicoidal. E consiste de um tubo bom condutor de calor, do interior do qual é fixada um eixo que por sua vez recebe um ponteiro que se desloca sobre uma escala.

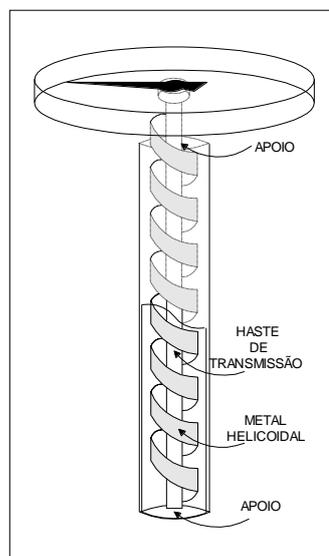


Figura 98.

Normalmente o eixo gira de um ângulo de  $270^\circ$  para uma variação de temperatura que cubra toda a faixa do termômetro.

A sensibilidade do termômetro depende das dimensões de hélice bimetálica e de diferença de coeficiente de dilatação dos dois metais. Normalmente usa-se 1 INVAR como metal de baixo coeficiente de dilatação.

INVAR:- (Aço com aproximadamente 36% de níquel e que possui baixo coeficiente de dilatação, aproximadamente 1/20 dos dois metais comuns).

O latão é utilizado como material de alto coeficiente de dilatação e para temperaturas mais elevadas usa-se ligas de níquel.

A faixa de trabalho dos termômetros bimetalicos vai aproximadamente de -50°C à 800°C, sendo a escala sensivelmente linear.

A exatidão normalmente garantida é de  $\pm 2\%$  do valor máximo da escala.

Usualmente, as lâminas bimetalicas são submetidas a tratamentos térmicos e mecânicos após a confecção, usando a estabilização do conjunto (repetibilidade).

## TERMISTORES

É o nome dado a elementos semicondutores, normalmente óxidos metálicos aglutinados à alta temperatura. As características principais dos termistores são:

- Sua alta resistividade possibilitando a construção de elementos da massa diminuta.

- Elevado coeficiente de variação de resistência possibilitando a construção de termômetros com faixa de utilização bastante estreita.

Nota:- O coeficiente de variação de resistência dos termistores alcança normalmente 8 a 10 vezes o valor dos metais comuns.

- Sua robustez e durabilidade praticamente ilimitada.

A relação matemática entre a temperatura e a resistência é dada pela fórmula:-

$$R = a \cdot e^{b/t}$$

Onde: R = é a resistência à temperatura t.

a e b = são parâmetros característicos de cada termistor.

e = base dos logaritmos heperianos (e=2,718)

t = temperatura absoluta (K).

Desta equação podemos concluir que:

1. O coeficiente de resistência do termistor é negativo, isto é, a resistência diminui com o aumento de temperatura como mostra a figura'.

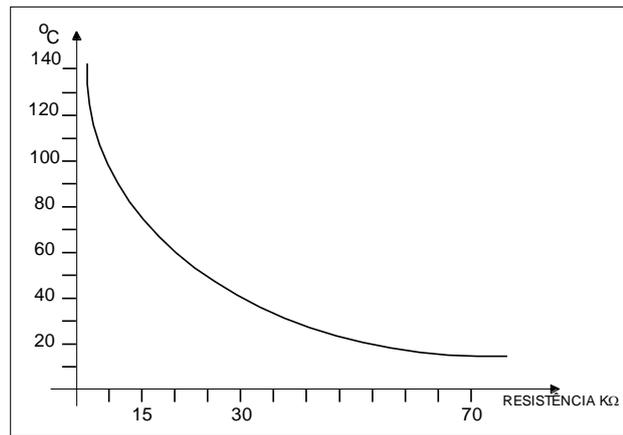


Figura 99. Curva R x T de um Termistor (FENWALL K 1382)

2. A relação entre a temperatura e as resistências não é linear e sim logarítmica.

A faixa de utilização dos termistores está usualmente entre  $-80$  e  $700^{\circ}\text{C}$ . Sua aplicação mais notável é no controle de temperatura de ambientes aquecidos por resistências elétricas (por exemplo) a câmara de análise de um analisador, devido a sua alta sensibilidade e pequena inércia térmica pode comandar o circuito de aquecimento, e manter a temperatura dentro de uma faixa de  $\pm 0,02^{\circ}\text{C}$ .

A figura a seguir mostra algumas formas típicas de termistores.

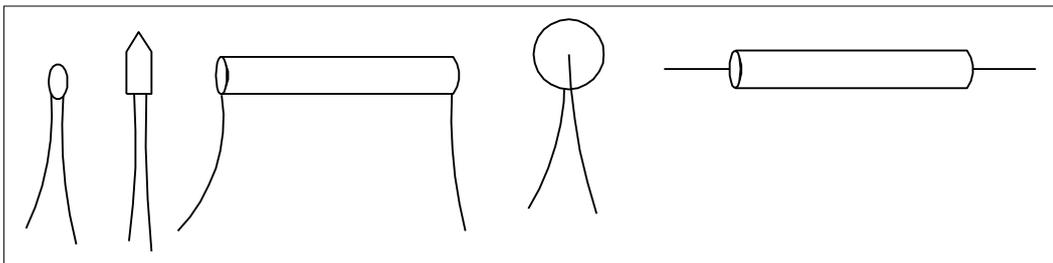


Figura 100. Termistor

## MEDIÇÃO DE TEMPERATURA POR TERMORESISTÊNCIA

O princípio de medição de temperatura por meio de termômetros de resistência, baseia-se essencialmente sobre a medição de variação da resistência elétrica de um fio metálico em função da temperatura. A relação matemática entre a resistência de um condutor e sua temperatura é dada pela fórmula aproximada:

$$R = R_0 (1 + \alpha t)$$

Onde:

R = resistência à t°C.

R<sub>0</sub> = resistência à 0°C.

$\alpha$  = coeficiente de variação de resistência do metal com a temperatura.

t = temperatura.

Esta fórmula nos diz que a resistência varia linearmente com a temperatura, porém a rigor o coeficiente de variação de resistência ( $\alpha$ ) muda de valor para cada faixa de temperatura, o que limita o uso da fórmula apenas para pequenas variações de temperatura.

A relação matemática mais geral é a seguinte:-

$$R = R_0 (1 + \alpha_1 t + \alpha_2 t^2 + \alpha_3 t^3 + \dots + \alpha_n t^n)$$

Onde: R = resistência à t°C.

R<sub>0</sub> = resistência à 0°C.

$\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_n$  = coeficiente de variação de resistência do metal.

t = temperatura.

Podemos observar que os termos do 2º grau e maiores ( $\alpha_2 t^2, \alpha_3 t^3, \dots$ ) contribuem para não linearidade da relação, sendo que quanto maior o valor das constantes dos termos de 2º grau para cima, maior o afastamento da linearidade.

O tipo de metal utilizado na confecção de bulbos sensores de temperatura, deve possuir características apropriadas, como:

- Maior coeficiente de variação de resistência com a temperatura ( $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$ ), quanto maior o coeficiente, maior será a variação da resistência para uma mesma variação de temperatura, tornando mais fácil e precisa a sua medição.

- Maior resistividade, isto é, para pequenas dimensões de fio uma alta resistência inicial.

- Estabilidade do metal para as variações de temperatura e condições do meio (resistência à corrosão, baixa histerese, etc.).

- Linearidade entre a variação de resistência e a temperatura, produzindo escalas de leitura de maior precisão e com maior comodidade de leitura.

Os metais utilizados com maior frequência na confecção de termo resistência são: platina (Pt); níquel (Ni) e cobre (Cu)

Para pequenas faixas de temperatura um coeficiente médio  $\alpha$ , variação de resistência, pode ser utilizado. Porém, para faixas mais amplas, necessita-se a introdução dos coeficientes de ordem superior, para uma maior aproximação à curva real de radiação R versus T.

Por exemplo, no caso da Platina, dois coeficientes são suficientes até a temperatura de 649°C, esta relação é quadrática e se afasta da relação linear em aproximadamente 7% no valor máximo.

Para Cobre, são necessários três (3) constantes válidas até a temperatura de 121°C. Apesar das três constantes, a relação entre a resistência e a temperatura é sensivelmente linear (pequenos valores de  $\alpha_1$  e  $\alpha_2$ ).

Três constantes são necessárias para o Níquel na faixa usual da temperatura, sendo a relação sensivelmente não linear.

A faixa de utilização aproximada dos três metais é mostrada a seguir:-

PLATINA - faixa - 200 à 600°C (excepcionalmente 1200°C) - Ponto de Fusão 1774°C.

NÍQUEL - faixa - 200 à 300°C - Ponto de Fusão 1455°C.

COBRE - faixa - 200 à 120°C - Ponto de Fusão 1023°C.

#### **Tipos de Construção:**

Normalmente a termoresistência é constituída de um fio muito fino, enrolado sobre um suporte isolante que poderá ser de mica, vidro ou cerâmica. Este conjunto é isolado e encapsulado em vidro ou cerâmica, tornando a resistência assim constituída, isolada do meio ambiente.

O termo elemento pode ser protegido por uma fina capa metálica e será utilizado dentro do poço de proteção.



Figura 101.

As extremidades dos fios de resistência são soldados em fios de prata ou cobre, que por sua vez vão ter a um bloco terminal existente no cabeçote do poço de proteção. Em casos especiais são fabricados termo resistências duplas no mesmo conjunto, seja para maior segurança ou para acionar simultaneamente dois ou mais dispositivos de medição e/ou controle.

No caso de baixas temperaturas, melhora-se a condução de calor do poço para a termo resistência, pressurizando-se o mesmo com um gás bom condutor de calor (hélio). Simultaneamente esta prática protege os dispositivos contra condensações internas que poderiam afetar a resistência da sonda.

### **Exatidão**

A exatidão dos termômetros de resistência, quando corretamente instalados, é grande, pode atingir a  $\pm 0,01^{\circ}\text{C}$ . Normalmente as sondas utilizadas industrialmente apresentam uma precisão de  $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ . No Brasil usa-se normalmente a norma DIN-iec 751/85 que estabelece para termômetros de resistência de platina o valor de  $100,00^{\circ}\text{C}$  a  $0^{\circ}\text{C}$ , e de  $138,50^{\circ}\text{C}$  a  $100^{\circ}\text{C}$ .

Outros valores utilizados de resistência são:-

Platina -  $50^{\circ}\text{C}$  a  $0^{\circ}\text{C}$ ,  $10^{\circ}\text{C}$  a  $0^{\circ}\text{C}$ .

Níquel -  $100^{\circ}\text{C}$  a  $0^{\circ}\text{C}$ ,  $120^{\circ}\text{C}$  a  $0^{\circ}\text{C}$ ,  $300^{\circ}\text{C}$  a  $0^{\circ}\text{C}$  (muito variável).

Cobre -  $10^{\circ}\text{C}$  a  $0^{\circ}\text{C}$ ,  $25^{\circ}\text{C}$  a  $20^{\circ}\text{C}$ .

## CIRCUITOS DE MEDIÇÃO

A medição de temperatura por meio de termo resistência consiste em se medir a resistência do sensor e traduzi-la em uma escala de temperaturas.

Podemos classificar os medidores nos seguintes tipos:

1. Circuito em ponte com fonte de tensão constante.
2. Circuito com fonte de corrente constante.

### Circuito em Ponte com fonte de tensão constante

O circuito de medição em ponte era o mais utilizado na medição de resistência e conseqüentemente na medição de temperatura.

A ponte de medição mais utilizada é usualmente a de WHEASTONE, como mostra a figura abaixo:

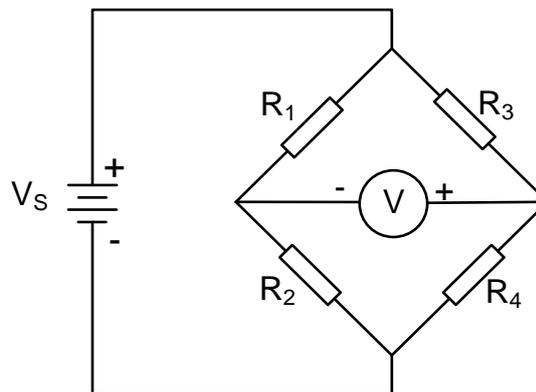


Figura 102.

O equilíbrio da ponte é atingido quando  $R_2 \times R_3 = R_1 \times R_4$ . Conhecendo-se  $R_3$  podemos deduzir o valor de  $R_4$ , isto é, o seu valor Ôhmico.

$$R_2 \times R_3 = R_1 \times R_4 \quad (\text{se } R_1 = R_2).$$

$$R_3 = R_4$$

### Ligação a dois fios

As resistências  $R_F$  são resistências de fiação e ambas estão em série com  $R_4$ . A resistência aumenta quando a distância do sensor até o instrumento for maior, a temperatura for maior e a bitola do fio menor.

$$R_2 \times R_3 = R_1 \times (R_4 + R_F + R_F)$$

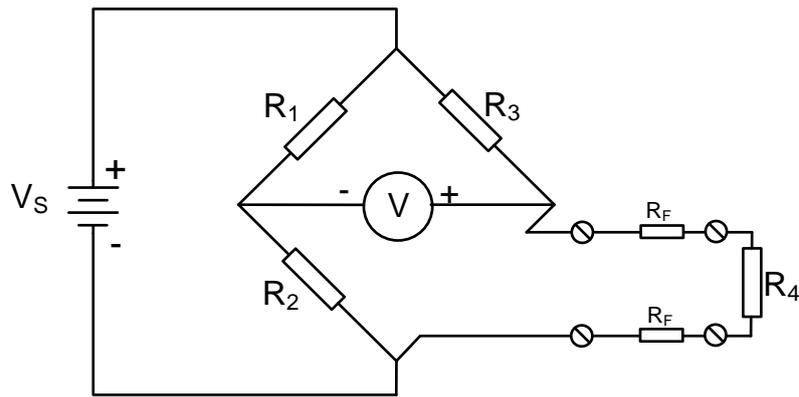


Figura 103.

$R_F + R_F$  dependendo de seus valores podem induzir graves erros em medições de temperatura com termoresistências.

**Ligação a três fios**

Quando a ligação entre a termoresistência e o instrumento for grande, usa-se o sistema de ligação compensado com três fios (Sistema SIEMENS), como mostra a figura a seguir.

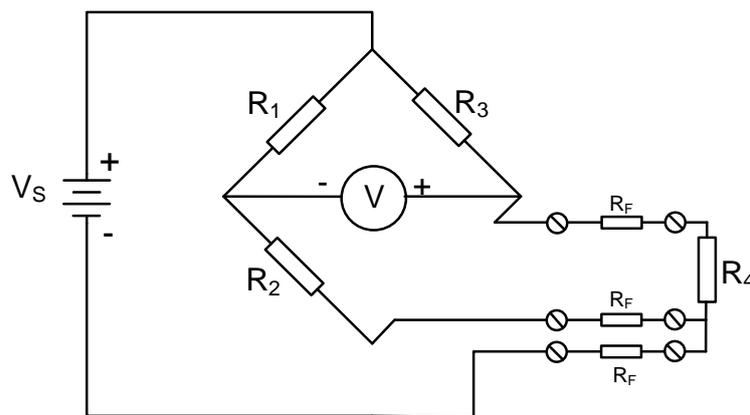


Figura 104.

É o método mais utilizado nas indústrias. Esta configuração faz com que a alimentação fique o mais próximo possível do sensor.

$$(R_2 + R_F) \times R_3 = R_1 \times (R_4 + R_F)$$

$$R_1 = R_2$$

Como os fios de ligação são do mesmo tipo, possuem o mesmo comprimento e diâmetro e estão na mesma temperatura, então:

$$R_F = R_F, \text{ e:}$$

$$R_3 = R_4$$

Conhecendo o valor de  $R_3$  tem-se o valor do sensor  $R_4$  e conseqüentemente consultando a tabela, obtemos a temperatura. O terceiro fio atua somente como condutor de compensação, não influenciando nos cálculos de medição da resistência.

A integridade da medição de uma ligação de três fios pode ser mantida somente se a ponte for balanceada.

**Circuito com fonte de corrente constante a quatro fios**

O RTD é um dispositivo passivo de medição e dessa forma, precisa alimentá-lo com uma corrente de excitação e então ler a tensão entre os seus terminais. Você poderá então facilmente transformar essa leitura em temperatura, usando um algoritmo simples. Para evitar o autoaquecimento causado pelo fluxo de corrente pelo RTD, minimize ao máximo possível essa corrente de excitação.

**Ligação a dois fios**

As resistencias  $R_F$  são resistências de fiação e ambas estão em série com o sensor RTD, portanto a diferença de potencial gerada pela passagem da corrente elétrica no sensor RTD será acrescida da diferença de potencial das duas resistências de fiação  $R_F$ .

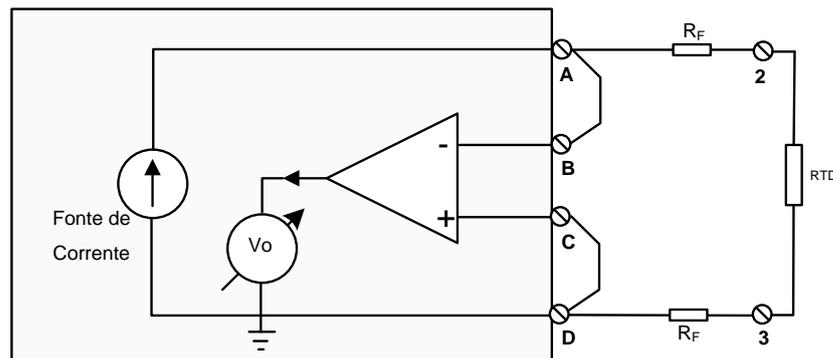


Figura 105.

**Ligação a três fios**

As resistencias  $R_F$  são resistências de fiação e nesta configuração.....

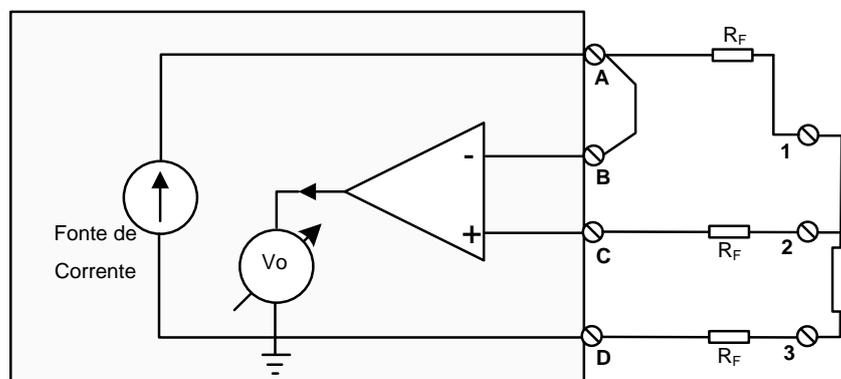


Figura 106.

## MEDIÇÃO DE TEMPERATURA POR TERMOPARES

A aplicação de par termoelétrico (termopares) na medição de temperatura está baseada em diversos fenômenos descobertos e estudados por SEEBECK, PELTIER, VOLTA e THOMSON.

“ A lei não é, necessariamente, uma expressão de verdade infalível, mas simplesmente uma generalização das observações experimentais.”

### Experiência de SEEBECK

Em 1821, o físico alemão J. T. SEEBECK descobriu o efeito termoelétrico, sendo a aplicação na medição de temperatura introduzida pelo físico francês BECQUEREL.

A experiência de SEEBECK (figura) demonstrou que num circuito fechado, formado por dois fios de metais diferentes, se colocarmos os dois pontos de junção à temperaturas diferentes, se cria uma corrente elétrica cuja intensidade é determinada pela natureza dos dois metais, utilizados e da diferença de temperatura entre as duas junções.

Na experiência, SEEBECK utilizou uma lâmina de antimônio (A) e outra de Bismuto (B), e como detetor da corrente "i" utilizou uma bússola sensível ao campo magnético criado pela corrente.

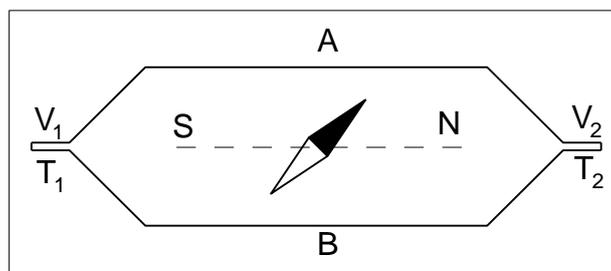


Figura 107.

### Experiência de PELTIER

Em 1834, o físico francês J. C. PELTIER, baseado na experiência de SEEBECK, mostra que fazendo-se passar uma corrente elétrica, por um par termoelétrico, uma das junções se aquece enquanto a outra se resfria.

Na fig. as duas ampolas interligadas, funcionam como um termômetro diferencial. A junta da esquerda aquece, enquanto a outra esfria.

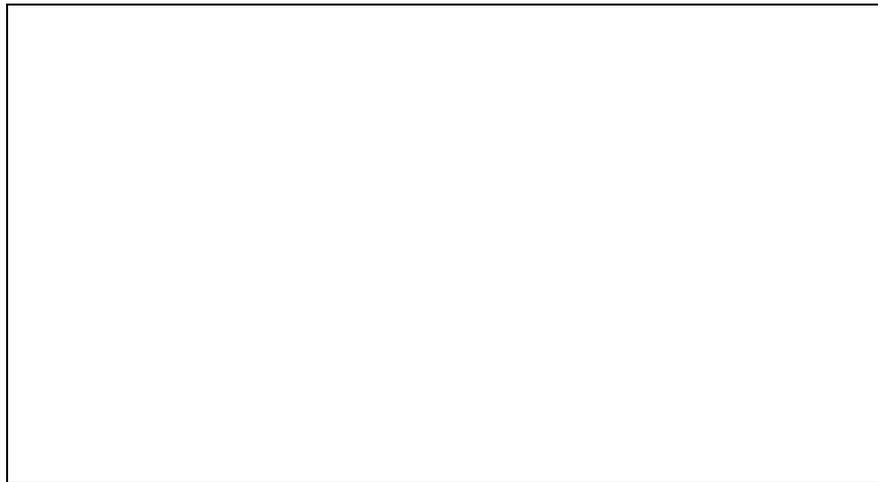


Figura 108.

### Efeito Volta

A experiência de PELTIER pode ser aplicada através do efeito VOLTA enunciado a seguir:

"Quando dois metais estão em contato a um equilíbrio térmico e elétrico, existe entre eles uma diferença de potencial que pode ser de ordem de volt". Esta diferença de potencial depende da temperatura e não pode ser medida diretamente.

### Efeito Thomson

Em 1851, o físico inglês Sir W. Thomson (Lord Kelvin), mostra que se colocarmos as extremidades de um condutor homogêneo à temperaturas diferentes, uma força eletromotriz aparecerá entre estas duas extremidades, sendo esta, chamada F.E.M. THOMSON.

Esta F.E.M. depende do material e da diferença da temperatura, não pode ser medida diretamente.

A F.E.M. desenvolvida por um par termoeletrico é resultante dos efeitos VOLTA (PELTIER) e THOMSON tomados em conjunto.

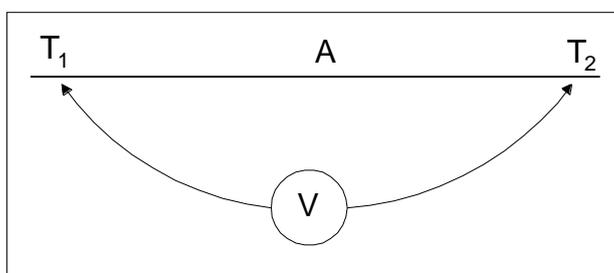


Figura 109.

**Lei do Circuito Homogêneo:-**

Em um circuito de um só condutor homogêneo não se estabelece nenhuma corrente elétrica, mesmo com trechos a diferentes temperaturas. A soma algébrica da F.E.M. VOLTA e THOMSON é nula.

- Conseqüência:- A F.E.M. desenvolvida por um par termoelétrico tendo duas junções em temperaturas diferentes não depende do gradiente da temperatura ou da distribuição de temperatura ao longo dos fios.

As únicas temperaturas relacionadas com a F.E.M., são as das duas junções (Junta Fria e Junta Quente). Todas as temperaturas intermediárias não interferem na F.E.M. resultante.

**Lei das Temperaturas Intermediárias(sucessivas):-**

A F.E.M. desenvolvida por qualquer termopar de metal homogêneo com suas junções em duas temperaturas quaisquer  $T_1$  e  $T_3$  respectivamente é a soma algébrica da F.E.M. do mesmo termopar com suas junções à temperaturas  $T_2$  e  $T_3$  respectivamente.

A representação gráfica da figura a seguir mostra a lei mencionada.

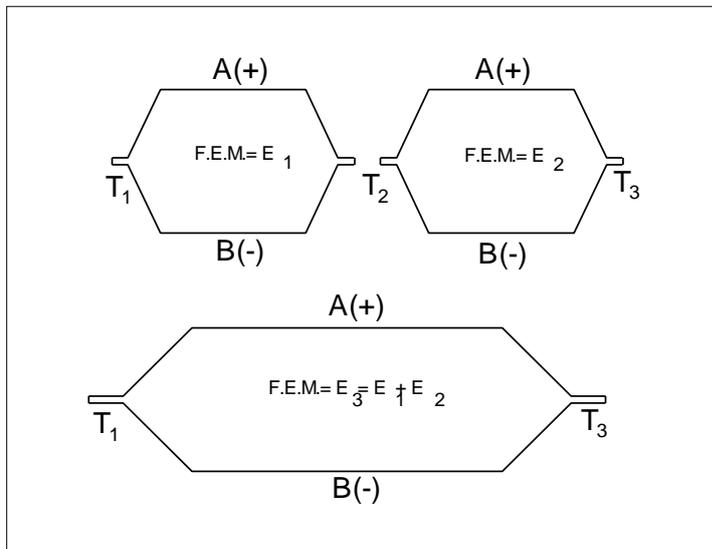


Figura 110.

$$E_1 = E_{T1} - E_{T2}$$

$$E_2 = E_{T2} - E_{T3}$$

$$E_3 = E_{T1} - E_{T3}$$

Se somarmos  $E_1 + E_2$  temos:

$$E_1 + E_2 = E_{T1} - E_{T2} + E_{T2} - E_{T3} = E_{T1} - E_{T3}$$

$$E_1 + E_2 = E_{T_1} - E_{T_3} = E_3$$

Portanto:

$$E_3 = E_1 + E_2$$

- Consequência:-

1º) Se a F.E.M., de vários metais versus um metal de referência, por exemplo, platina, é conhecida, então a F.E.M., de qualquer combinação dos metais pode ser obtida por uma soma algébrica.

2º) A temperatura da junta de referência pode estar em qualquer valor conveniente, e a temperatura da junta de medição pode ser encontrada, por simples diferença, baseando-se em uma tabela relacionada a uma temperatura padrão, por exemplo 0°C, 20°C.

### Lei do Metal Intermediário:-

A soma algébrica da F.E.M., em um circuito composto de um certo número de metais diferentes é ZERO se todo circuito estiver a uma só temperatura.

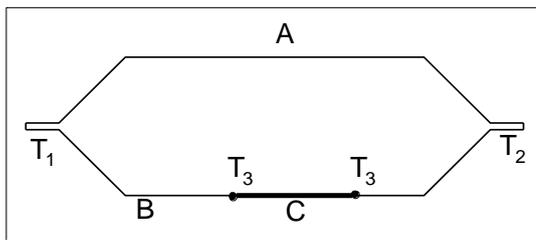


Figura 111.

De outra maneira:-

“A Fem E do termopar não será afetada se em qualquer ponto de seu circuito for inserido um metal qualquer, diferente do já existente, desde que as novas junções sejam mantidas a temperaturas iguais.”

- Consequência:- Em virtude desta lei, pode-se inserir o instrumento de medição da F.E.M. (Voltímetro) com seus fios de ligação em qualquer ponto do circuito termoeletrico sem alterar a F.E.M. original.

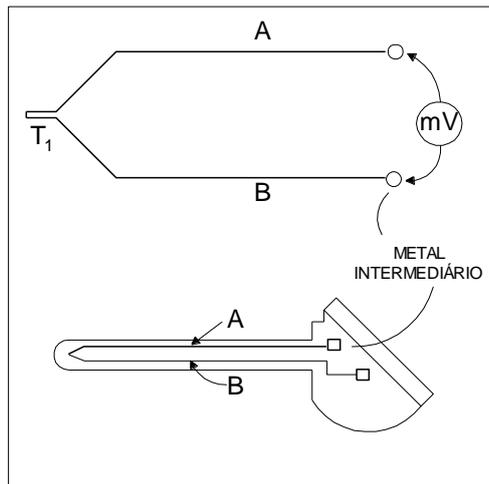


Figura 112.

Como já foi visto a F.E.M. desenvolvida em par termoelétrico, é função da diferença de temperatura entre as duas junções. Desta maneira o termopar não mede a temperatura real na junção de medição, e sim a diferença entre esta junção (medição) e a outra tomada como referência. Para se obter a temperatura real é preciso conhecer exatamente a temperatura da junta de referência e procurar mantê-la constante a fim de facilitar as leituras posteriores.

Existem alguns métodos para se manter a temperatura da junta de referência:-

1) Introduzindo-se a junta de referência em recipiente com gelo e água em equilíbrio, onde a temperatura é constante e próxima à 0°C. Como as tabelas de F.E.M. fornecidas normalmente são referidas à 0°C, este método é bastante cômodo, pois possibilita a leitura direta da temperatura na tabela conhecendo-se apenas a F.E.M. gerada no circuito.

Este método é utilizado em laboratório ou na indústria em alguns casos especiais. Evidentemente este processo não é muito prático, quando se necessita supervisionar a temperatura desejada por tempo bastante prolongado, devido a necessidade da reposição contínua do gelo na junta de referência.

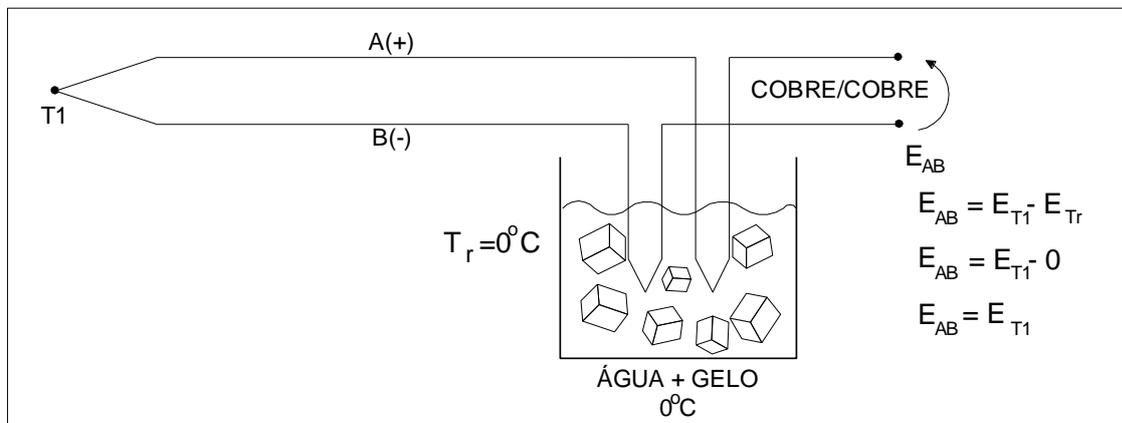


Figura 113. Junta de Referência a 0°C

2) Mantendo-se a junta de referência em um ambiente aquecido onde a temperatura é controlada por um sistema termostático. Este possui a vantagem de ser prático, sendo porém de precisão inferior ao do método precedente, salvo raras exceções.

Evidentemente a F.E.M. neste processo é inferior ao sistema de junta de referência a 0°C tendo em vista que a temperatura neste caso, é de cerca de 60°C, devendo-se dar a devida correção no caso de usar a tabela com a junta de referência em outra temperatura (0°C ou 20°C).

3) Hoje dispositivos alternativos foram desenvolvidos para simular automaticamente uma temperatura de zero grau, chamada de compensação automática da junta de referência ou temperatura ambiente. Nestes instrumentos encontra-se um sensor de temperatura que pode ser um resistor, uma termoresistência, termistor, diodo, transistor ou mesmo circuito integrado que mede continuamente a temperatura ambiente e suas variações, adicionando ao sinal que chega do termosensor uma mV correspondente à diferença da temperatura ambiente para a temperatura de 0°C.

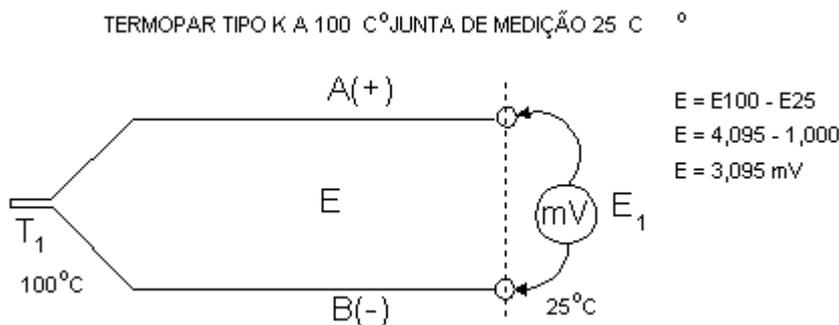


Figura 114.

Se não existisse a compensação, o sinal de 3,095mV seria transformado em indicação de temperatura pelo instrumento e corresponderia a aproximadamente 76°C, não correspondendo ao valor da temperatura existente na junta de medição.

No instrumento medidor está incorporado um sistema de compensação de temperatura ambiente, este gera um sinal como se fosse um outro termopar.

$$E_1 = E_{25} - E_0$$

$$E_1 = 1,000\text{mV} \text{ (sinal gerado pelo circuito de compensação)}$$

O sinal total que será convertido em temperatura pelo instrumento será a somatória do sinal do termopar e da compensação, resultando na indicação correta da temperatura na qual o termopar está submetido (independendo da variação da temperatura ambiente).

$$E_{\text{total}} = E - E_1$$

$$E_{\text{total}} = 3,095 + 1,000 = 4,095\text{mV}$$

$$E_{\text{total}} = 4,095\text{mV} \quad 100^{\circ}\text{C}$$

A indicação depois da compensação será de  $100^{\circ}\text{C}$ .

## Tipos de Termopares

Apesar de em princípio, qualquer par de metais prestar na construção de termopares, existem alguns tipos já padronizados na indústria.

A seguir mostramos os tipos mais usados nas indústrias:-

### Tipo T - Termopares de Cobre Constantan

Composição: Cobre(+) / Cobre-Níquel(-)

O fio negativo Cobre-Níquel é conhecido comercialmente como Constantan.

Características: Resistentes a corrosão em atmosferas úmidas e são adequados para medições de temperaturas abaixo de zero. É resistente à atmosfera oxidantes(excesso de Oxigênio), redutoras(rica em Hidrogênio, monóxido de Carbono), inertes(neutras), na faixa de  $-200$  a  $350^{\circ}\text{C}$ .

Faixa de trabalho: -  $-200$  a  $350^{\circ}\text{C}$ .

Aplicação: É adequado para trabalhar em faixas de temperatura abaixo de  $0^{\circ}\text{C}$ , encontradas em sistemas de refrigeração, fábrica de  $\text{O}_2$  etc..

Identificação da polaridade: Cobre (+) é avermelhado e o Cobre/Níquel (-) não.

### Tipo J - Termopares de Ferro - Constantan

Composição: Ferro(+) / Cobre-Níquel(-)

O fio negativo Cobre-Níquel é conhecido comercialmente como Constantan.

Características: Adequados para uso no vácuo, atmosferas oxidantes, redutoras e inertes. Acima de  $540^{\circ}\text{C}$ , a taxa de oxidação do ferro é rápida e recomenda-se o uso de tubo de proteção para prolongar a vida útil do elemento.

Embora possa trabalhar em temperaturas abaixo de  $0^{\circ}\text{C}$ , deve-se evitar quando houver possibilidade de condensação, corroendo o ferro e possibilitando a quebra do fio de ferro.

Não deve ser usado em atmosferas sulfurosas(contém enxofre) acima de  $540^{\circ}\text{C}$ . O uso em temperaturas abaixo de zero não é recomendado, devido à rápida oxidação e quebra do elemento de ferro tornando seu uso em temperaturas negativas menor que o tipo T. Devido a dificuldade de obtenção de fios de ferro com alto teor de pureza, o tipo J tem baixo custo e é o mais utilizado industrialmente.

Aplicação: Indústrias em geral até  $750^{\circ}\text{C}$ .

Identificação da polaridade: Ferro (+) é magnético e o Cobre (-) não.

### **Tipo E - Termopares de Cromel Constantan**

Composição: Níquel-Cromo (+)/Cobre-Níquel (-)

O fio positivo de Níquel-Cromo é conhecido comercialmente como Cromel e o fio negativo Cobre Níquel como Constantan.

Características: Podem ser utilizados em atmosferas oxidantes e inertes. Em atmosferas redutoras, alternadamente oxidante e redutora e no vácuo, não devem ser utilizados pois perdem suas características termoelétricas. Adequado para o uso em temperaturas abaixo de zero, desde que não sujeito a corrosão em atmosferas úmidas. Apresenta a maior geração mV/°C (potência termoelétrica) do que todos os outros termopares, tornando-se útil na detecção de pequenas alterações de temperatura.

Aplicação: Uso geral até 900°C.

Identificação da polaridade: O Níquel-Cromo (+) é mais duro que o Cobre-Níquel (-).

### **Tipo K - Termopares de Cromel Alumel**

Composição: Níquel-Cromo (+)/Níquel-Alumínio (-).

O fio positivo de Níquel-Cromo é conhecido comercialmente como Cromel e o negativo Cromo-Alumínio como Alumel. O Alumel é uma liga de Níquel, Alumínio, Manganês e Silício.

Características: São recomendáveis para uso em atmosferas oxidantes ou inertes no seu range de trabalho. Por sua resistência à oxidação, são melhores que os tipos T, J, E e por isso são largamente usados em temperaturas acima de 540°C.

Ocasionalmente podem ser usados em temperaturas abaixo de zero grau.

Não devem ser utilizados em:

- 1) Atmosferas redutoras ou alternadamente oxidante e redutora.
- 2) Atmosferas sulfurosas, pois o enxofre ataca ambos os fios e causa rápida ferrugem e quebra dos elementos.
- 3) Vácuo, exceto por curtos períodos de tempo, pois o Cromo do elemento positivo pode vaporizar-se causando erro no sinal do sensor (descalibração).
- 4) Atmosferas que facilitem a corrosão chamada de "green root". Green root, oxidação verde, ocorre quando a atmosfera ao redor do termopar possui pouco oxigênio, como por exemplo dentro de um tubo de proteção longo, de pequeno diâmetro e não ventilado.

O green-root pode ser minimizado aumentando o fornecimento de oxigênio através do uso de um tubo de proteção de maior diâmetro ou usando um tubo ventilado. Outro

modo é diminuir a porcentagem de oxigênio para um valor abaixo da qual proporcionará corrosão. Isto é feito inserindo-se dentro do tubo um “getter” ou elemento que absorve oxigênio e vedando-se o tubo. O “getter” pode ser por exemplo uma pequena barra de titânio.

Aplicação: É o mais utilizado na indústria em geral devido a sua grande faixa de atuação até 1200°C.

Identificação da polaridade: Níquel-cromo (+) não atrai ímã e o Níquel-Alumínio (-) levemente magnético.

#### **Tipo N Nicrosil - Nisil**

Composição: Níquel 14,2%-Cromo 1,4%-Silício (+) / Níquel 4,4%-Silício0,1%-Magnésio (-)

Desenvolvido na Austrália, este termopar foi aprovado mundialmente, estando inclusive normalizado pela ASTM (American Society for Testing and Materials), NIST(Antigo NBS- National Bureau of Standards) e ABNT.

Está se apresentando como substituto do termopar tipo , de -200 a 1200°C, possui uma potência termoelétrica menor em relação ao tipo K, porém uma maior estabilidade, excelente resistência a corrosão e maior vida útil. Resiste também ao “green-root” e seu uso não é recomendado no vácuo.

#### **Tipo S Platina Ródio-Platina**

Composição: Platina 90% - Ródio 10% (+) / Platina (-)

#### **Tipo R Platina Ródio-Platina**

Composição: Platina 97% - Ródio 13% (+) / Platina (-)

Características: São recomendados para uso em atmosferas oxidantes ou inertes no seu range de trabalho. O uso contínuo em altas temperaturas causam excessivo crescimento de grão, podendo resultar em falha mecânica do fio de Platina (quebra de fio), e tornar os fios susceptíveis à contaminação, causando redução da F.E.M. gerada.

Mudanças na calibração também são causadas pela difusão ou volatilização do Ródio do elemento positivo para o fio de Platina pura do elemento negativo. Todos estes efeitos tendem a causar heterogeneidades que influenciam na curva característica do sensor.

Os tipos S e R não devem ser usados no vácuo, em atmosferas redutoras ou atmosferas com vapores metálicos a menos que bem protegidos com tubos protetores e isoladores cerâmicos de alumina e quando se usa tubo de proteção de Platina (tubete) que por ser do mesmo material, não contamina os fios e dá proteção necessária aos elementos.

Apresentam grande precisão e estabilidade em altas temperaturas sendo utilizados como sensor padrão na calibração de outros termopares. A diferença básica entre o

tipo R e S está na diferença da potência termoeétrica, o tipo R gera um sinal aproximadamente 11% maior que o tipo S.

Aplicação: Processos com temperaturas elevadas ou onde é exigido grande precisão como indústrias de vidro, indústrias siderúrgicas, etc.

Identificação da polaridade: Os fios positivos de Platina-Ródio 10% e Platina-Ródio 13% são mais duros que o fio de platina (-).

### **Tipo B - Platina-Ródio / Platina-Ródio**

Composição: Platina 70%-Ródio 30% (+) / Platina 94%-Ródio 6% (-)

Características: Seu uso é recomendado para atmosferas oxidantes e inertes, também adequado para curtos períodos no vácuo. Não deve ser aplicado em atmosferas redutoras nem as que contem vapores metálicos, requerendo tubo de proteção cerâmico como os tipo R e S. O tipo B possui maior resistência mecânica que os tipos R e S.

Sua potência termoeétrica é baixíssima, em temperaturas de até 50°C o sinal é quase nulo.

Não necessita de cabo compensado para sua interligação. É utilizado cabos de cobre comum (até 50°C).

Aplicação: Utilizado em industrias no qual o processo exige altas temperaturas.

Identificação da polaridade: Platina 70%-Ródio 30% (+) é mais duro que o Platina 94%-Ródio 6% (-).

### **Termopares novos**

Com o desenvolvimento de novos processos industriais ao longo do tempo, novos tipos de termopares foram desenvolvidos para atender condições que os termopares que foram vistos até agora não atendiam.

Muitos destes termopares ainda não estão normalizados e também não são encontrados no Brasil.

Platina 60%-Ródio 40% (+) / Platina 80%-Ródio 20% (-)

Para uso contínuo até 1800 1850°C, substituindo o tipo B. Não é recomendado para atmosferas redutoras.

Írídio 60%-Ródio 40% (+) / Írídio(-)

Podem se usados até 2000°C em atmosferas inertes ou no vácuo, não recomendado para atmosferas redutoras ou oxidantes.

Platinel 1 - Paládio 83%-Platina 14%-Ouro 3% (+) / Ouro 65%-Paládio 35% (-).

Aproxima-se do tipo K, atuando na faixa de até 1250°C. Sua composição é apenas de metais nobres, apresentando excelente estabilidade em atmosfera oxidante, mas não em atmosferas redutoras ou vácuo.

Tungstênio 95%-Rhênio 5% (+) / Tungstênio 74%-Rhênio 26% (-)

Ainda não normalizado, denominado termopar tipo C. Pode ser utilizado continuamente até 2300°C e em curtos períodos até 2700°C no vácuo, na presença de gás inerte ou hidrogênio. Não recomendado em atmosfera oxidante. Sua principal aplicação é em reatores nucleares.

### Termopares Isolação Mineral

Após a soldagem dos dois fios, eles são isolados entre si, por meio de pequenos tubos, ou melhor ainda, por meio de isoladores com dois furos (missangas). O material dos isoladores é normalmente de cerâmica, porcelanas, quartzo, etc (fig.)

Este conjunto é então protegido por um ou mais tubos concêntricos apropriados à cada aplicação. A parte superior é ligada a uma borracha ou bloco de terminais de abonite ou cerâmica instalada dentro de um cabeçote de ligação.

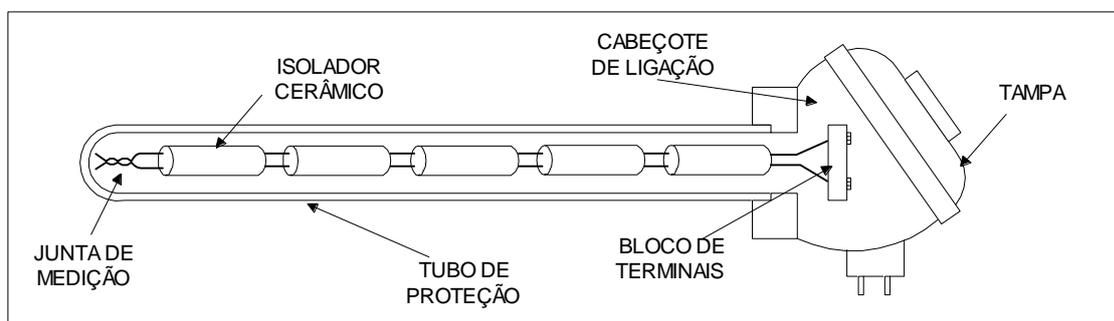


Figura 115.

O desenvolvimento dos termopares isolação mineral partiu da necessidade de satisfazer as severas exigências do setor nuclear. Desde então, os benefícios deste trabalho puderam ser transmitidos à indústria em geral, que os utiliza numa grande variedade de aplicações devido a série de vantagens que oferecem, tais como grande estabilidade, resistência mecânica entre outras.

O termopar isolação mineral consiste de 3 partes básicas: um ou mais pares de fios isolados entre si por um material cerâmico compactado em um bainha metálica externa. Este tipo de montagem é de extrema utilidade pois os fios ficam completamente isolados dos ambientes agressivos, que podem causar a completa deterioração dos termoelementos, além da grande resistência mecânica o que faz com que o termopar isolação mineral possa ser usado em um número quase infinito de aplicações.

### Construção do cabo isolamento mineral

O processo de fabricação dos termopares isolamento mineral começa com os termoelementos de diâmetros definidos, inseridos num tubo metálico e isolados entre si e o tubo por um material cerâmico (pó de óxido de magnésio). Através de um processo mecânico de estiramento (trefilação), o tubo e os termoelementos são reduzidos em seus diâmetros (aumentando seu comprimento) e o óxido de magnésio fica altamente compactado, isolando e posicionando os fios em relação a bainha metálica.

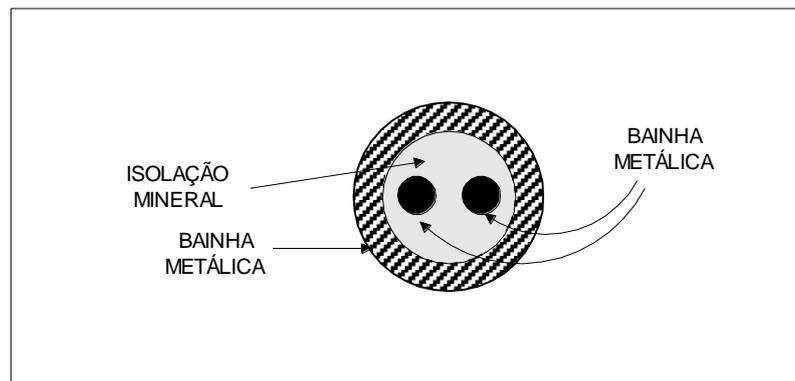


Figura 116.

O óxido de magnésio é um excelente isolante elétrico e um bom condutor térmico, de maneira que quando compactado, ocupa todos os espaços internos, isolando eletricamente os fios entre si e a bainha além de dar alta resistência mecânica ao conjunto, proporciona boa troca térmica. Como este processo de trefilação ou estiramento (redução do diâmetro e aumento do comprimento proporcionalmente), cria tensões moleculares intensas no material, torna-se necessário tratar termicamente o conjunto.

Este tratamento térmico alivia estas tensões e recoloca o termopar em sua curva característica; obtendo assim um produto final na forma de cabos compactados, muito reduzidos em seus diâmetros (desde 0,5 mm até 8,0 mm de diâmetro externo), porém mantendo proporcionalmente as dimensões e isolamento da forma primitiva.

Além do óxido de magnésio, usa-se também como material isolante a alumina, óxido de berílio e óxido de tório, porém o óxido de magnésio é mais barato, compatível com os termoelementos e mais comum de ser encontrado. Uma grande atenção deve ser tomada com a pureza química e metalúrgica dos componentes envolvidos na fabricação do termopar isolamento mineral.

### Isolação Elétrica do Cabo Isolação Mineral

Devido a tendência natural do óxido de magnésio em absorver umidade (higroscópico) e outras substâncias que podem vir a contaminar os termoelementos, uma isolação elétrica mínima admitida entre os condutores e bainha é de no mínimo  $100m\Omega$  em temperatura ambiente ( $20^{\circ}C$ ). Várias precauções devem ser mantidas para a fabricação do termopar isolação mineral, tais como:

- Não deixar o cabo aberto exposto no ambiente por mais de 1 minuto. Imediatamente sele a ponta aberta com resina, depois de aquecê-la para retirar a umidade.

- O armazenamento deve ser em local aquecido e seco (aproximadamente 38°C e 25% de umidade relativa do ar).

### **Vantagens do Termopar Isolação Mineral**

#### Estabilidade na F.E.M.

Esta estabilidade é caracterizada pelos condutores estarem totalmente protegidos de ambientes agressivos que normalmente causam oxidação e envelhecimento dos termopares.

#### Resposta Rápida

O pequeno volume e alta condutividade térmica do óxido de magnésio, promovem uma rápida transferência de calor, superior aos termopares com montagem convencional.

#### Grande Resistência Mecânica e Flexibilidade

Devido a alta compactação do óxido de magnésio dentro da bainha metálica mantendo os termoelementos uniformemente posicionados, permite que o cabo seja dobrado, achatado, torcido ou estirado, suportando pressões externas e "choques térmicos" sem qualquer perdas de suas propriedades termoelétricas.

#### Facilidade de Instalação

A dimensão reduzida, a grande maleabilidade e a alta resistência mecânica do cabo isolação mineral, asseguram uma facilidade de instalação mesmo em locais de difícil acesso.

#### Resistência a Corrosão

Os termopares isolação mineral são disponíveis com diversos tipos de capas metálicas, para garantir sua integridade em qualquer tipo de ambiente corrosivo, qualquer que seja o termopar.

#### Resistência de Isolação (a frio)

A resistência de isolação entre condutores e bainha é sempre superior a 100MW (a 20°C) qualquer que seja o diâmetro, em qualquer tipo de ambiente corrosivo, em qualquer condição de umidade.

#### Blindagem Eletrostática

A bainha metálica devidamente aterrada, oferece excelente blindagem contra interferências eletrostáticas (ruídos).

## Poço termométrico

Sua principal função é proteger os termopares do ambiente de trabalho aumentando a sua durabilidade. Não são indicados para áreas onde se necessita a vedação. Para especificar um tubo é necessário levar em consideração todas as condições de uso do termopar, como temperatura, atmosfera do processo, resistência mecânica, pressão, tipos de fluido em contato, velocidade de resposta, etc.

Das diversas condições do processo que os termopares devem ser protegidos está a proteção contra os metais (sólido, líquido e vapor), gases e fumos de combustão, enxofre, óxidos metálicos, eletrólitos e outras diversas substâncias que causariam a degradação e perda da calibração do sensor.

Os tubos de proteção estão divididos em metálicos e cerâmicos.

Possui a mesma função do tubo de proteção, porém a sua principal característica é que ele possui estanqueidade, isto é, veda o processo não permitindo vazamentos, perda de pressão e contaminações. São usados onde onde as condições de processo requisitam segurança em altas temperaturas e pressões, fluidos muito corrosivos, vibrações e alta velocidade de fluxo.

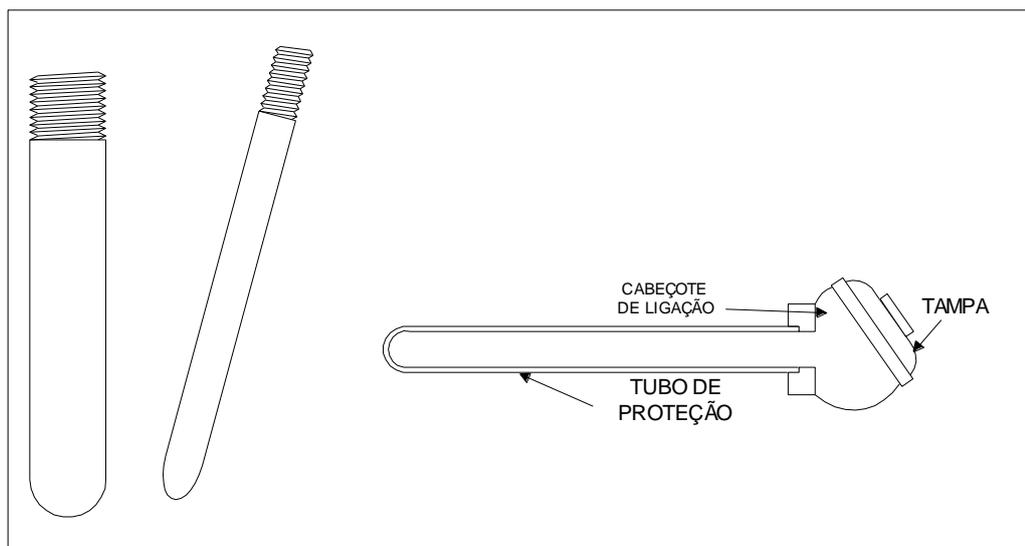


Figura 117.

Diferença básica em relação aos tubos de proteção é a sua construção, já que os materiais utilizados são os mesmos. Os poços são feitos a partir de uma barra maciça usinada, executando um furo interno longitudinal mantendo-se assim a espessura da parede de acordo com as especificações pré-determinadas, proporcionando ao conjunto final resistência mecânica à pressão e deformação superiores aos tubos metálicos.

A fixação é feita por rosca externa, solda, flange ou outros meios de fixação hermética. Isto elimina a parada e esvaziamento do processo para troca ou

manutenção do elemento sensor. Um problema muito perigoso em que os poços estão sujeitos é o efeito da vibração.

É importante que ele possua rigidez mecânica, pois o fluido de processo quando atrita no poço, forma uma turbulência que possui uma frequência definida na relação entre o diâmetro do poço e a velocidade do fluido.

Se o poço entrar em ressonância durante a turbulência, ele tende a quebrar-se, perdendo o poço, contaminando o processo, pode haver transbordo de fluido e o elemento será afetado. Os poços com haste cônica são os que apresentam melhores resultados frente ao problema de vibração, proporcionam maior rigidez mecânica mantendo a sensibilidade em relação aos poços de haste reta ou paralela.

Todos os poços termométricos passam por uma série de testes para verificar sua integridade e garantir a vedação do processo. São feitos testes utilizando líquidos penetrantes, pressão hidrostática, ultra som e raios X. O conjunto termopar, tubo de proteção e cabeçote de ligação recebe vulgarmente o nome de "Termopar" na falta de um nome apropriado ao conjunto.

### **Fios e cabos de Extensão e de Compensação**

Os fios utilizados normalmente na confecção de termopares, são geralmente dispendiosos devido ao custo da matéria prima (platina, ródio, cromo e níquel) utilizada e ao critério na composição das diversas ligas. Geralmente, não é possível manter a junta de referência junto ao ponto de medição mormente nas instalações industriais, devido às condições do local de medição serem inadequadas.

Fios são condutores formados por um eixo sólido e cabos são condutores formados por um feixe de condutores de menor diâmetro.

#### **Fios e cabos de extensão**

São condutores formados com as mesma ligas dos termopares a que se destinam, apresentando a mesma curva de F.E.M. por temperatura. Apresentam custo inferior pois sua composição química não é tão homogênea quanto a do termopar, limitando sua exposição a temperaturas altas como do termopar.

#### **Fios e cabos de compensação**

São fabricados com ligas diferentes dos termopares a que se destinam, mas também apresentam a mesma curva F.E.M.x temperatura dos termopares. Usados principalmente com termopares nobres tipos (R e S), pois é economicamente inviável construir fios de extensão de Platina. Os fios de compensação são fabricados normalmente sob a forma de um cabo de dois condutores.

Os dois condutores são isolados individualmente recebendo posteriormente uma isolação externa comum podendo em alguns casos possuir uma blindagem metálica externa (shield). Os materiais mais empregados na isolação são: borracha, PVC, fibra de vidro, amianto, silicone e teflon.

**Ligação dos Fios de Compensação**

Apesar da aparente facilidade da ligação dos fios de compensação, esta operação pode trazer surpresas para o elemento despreparado, o motivo reside no fato de não haver uma padronização dos códigos de cores dos fios de compensação.

É importante que se os fios de compensação forem ligados invertidos à FEM resultante irá depender das duas temperaturas nos extremos dos fios de compensação. Quanto maior for a diferença entre as temperaturas deste dois pontos, maior será o erro. No caso de serem iguais, o erro será nulo (metal intermediário).

Tabela 17.

Tipo de Termopar	Tipo do Cabo	Material dos Condutores		Norma Americana ANSI MC 96.1			Norma Alemã DIN 43714			Norma Japonesa JISC 1610/81		
		+	-	cabo	+	-	cabo	+	-	cabo	+	-
T	extensão	cobre	cobre-níquel	azul	azul	vermelho	marrom	vermelho	marrom	marrom	vermelho	branco
J	extensão	ferro	cobre-níquel	preto	branco	vermelho	azul	vermelho	azul	amarelo	vermelho	branco
E	extensão	níquel - cromo	cobre-níquel	roxo	roxo	vermelho	preto	vermelho	preto	roxo	vermelho	branco
K	extensão	níquel-cromo	níquel-alumínio	amarelo	amarelo	vermelho	verde	vermelho	verde	azul	vermelho	branco
K	compensação	ferro	níquel-cobre	-	-	-	verde	vermelho	verde	azul	vermelho	branco
S	compensação	cobre	cobre-níquel	verde	preto	vermelho	branco	vermelho	branco	preto	vermelho	branco
R	compensação	cobre	cobre-níquel	verde	preto	vermelho	branco	vermelho	branco	preto	vermelho	branco
B	cabo comum	cobre	cobre	cinza	cinza	vermelho	cinza	vermelho	cinza	cinza	vermelho	branco
N	extensão	níquel-cromo-silício	níquel-silício	laranja	laranja	vermelho	-	-	-	-	-	-

## Erros de Ligação de Termopares

### Usando fios de cobre

Geralmente na aplicação industrial, é necessário que o termopar e o instrumento encontrem-se relativamente afastados, por não convir que o aparelho esteja demasiadamente próximo ao local onde se mede a temperatura. Nestas circunstâncias deve-se, processar a ligação entre os terminais do cabeçote e o aparelho, através de fios de extensão ou compensação.

Tal, procedimento é executado sem problemas desde que, o cabeçote onde estão os terminais do termopar e o registrador, estejam a mesma temperatura de medição.

Vejamos o que acontece quando esta norma não é obedecida.

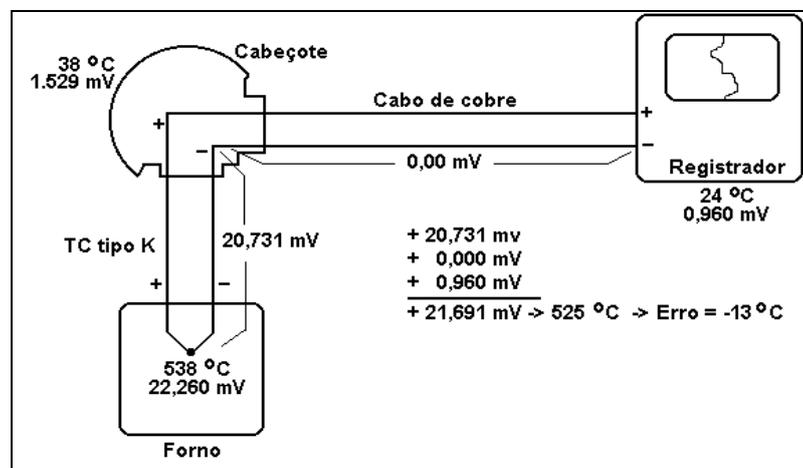


Figura 118.

Uma solução simples é que normalmente é usada na prática, será a inserção de fios de compensação entre o cabeçote e o registrador. Estes fios de compensação em síntese, nada mais são que outros termopares cuja função é compensar a queda da FEM que aconteceu no caso estudado, ocasionada pela diferença de temperatura entre o cabeçote e o registrador.

Vejamos o que acontece se, no exemplo anterior, ao invés de cobre usamos um fio compensado. A figura mostra de que maneira se processa a instalação.

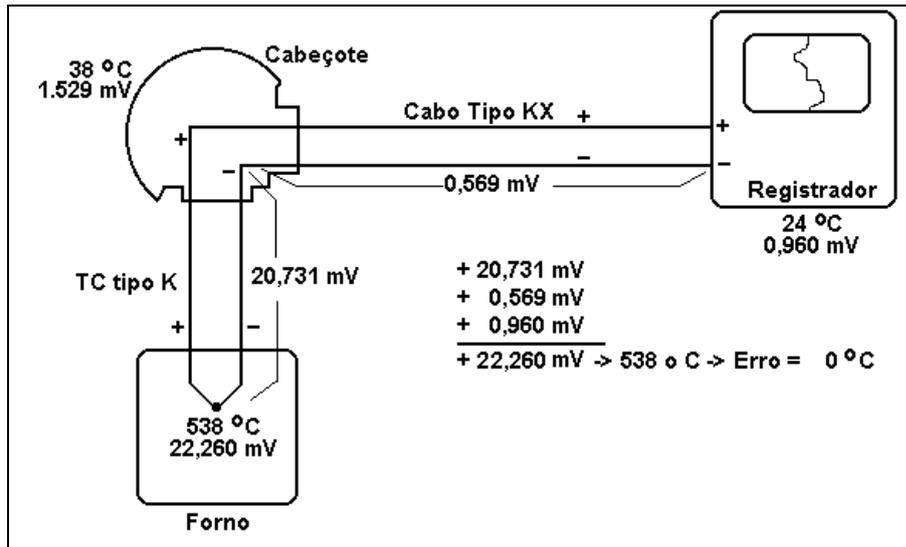


Figura 119.

Como no caso acima, a FEM efetiva no cabeçote é de 20,74 mV. Dela , até o registrador, são utilizados fios de extensão compensados, os quais adicionam à FEM uma parcela igual a 0,57 mV, fazendo assim com que chegue ao registrador uma FEM efetiva de 22,26 mV. Este valor corresponderá a temperatura real dentro do forno ( 538 °C ). A vantagem desta técnica provém do fato de que os fios de compensação, além de terem custo menor que os fios do termopar propriamente dito, também são mais resistentes.

**Inversão simples**

Conforme o esquema a seguir, os fios de compensação foram invertidos. Assume-se que o forno esteja a 538 °C, o cabeçote a 38 °C e o registrador a 24 °C. Devido a diferença de temperatura entre o cabeçote e o registrador, será gerada uma FEM de 0,57 mV. Porém em virtude da simples inversão, o fio positivo está ligado no borne negativo do registrador e vice-versa. Isto fará com que a FEM produzida ao longo do circuito se oponha àquela do circuito de compensação automática do registrador. Isto fará com que o registrador indique uma temperatura negativa.

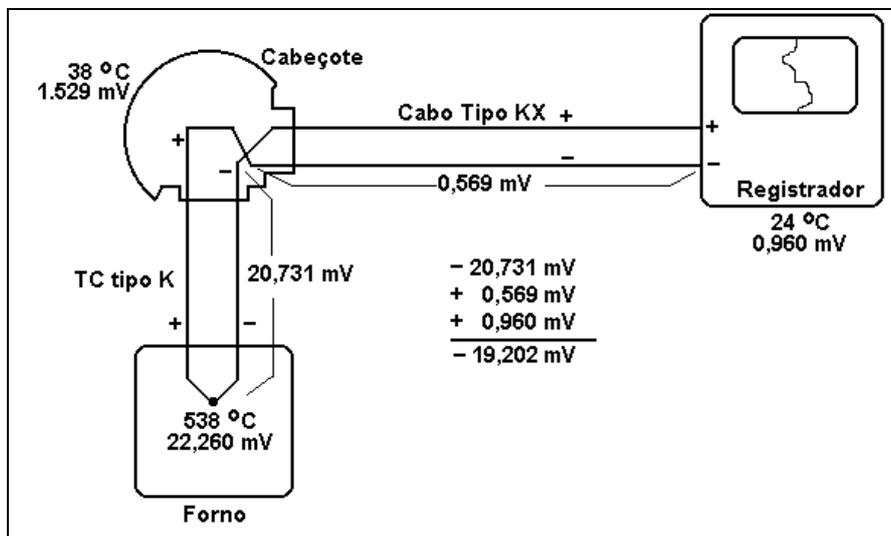


Figura 120.

**Inversão dupla**

No caso a seguir, consideramos o caso da existência de uma dupla inversão, isto acontece com frequência pois, quando uma simples inversão é constatada, é comum pensar-se que uma nova troca de ligação dos terminais compensará o erro. Porém isto não acontece, e a única maneira de solucionar o problema será efetuar uma ligação correta.

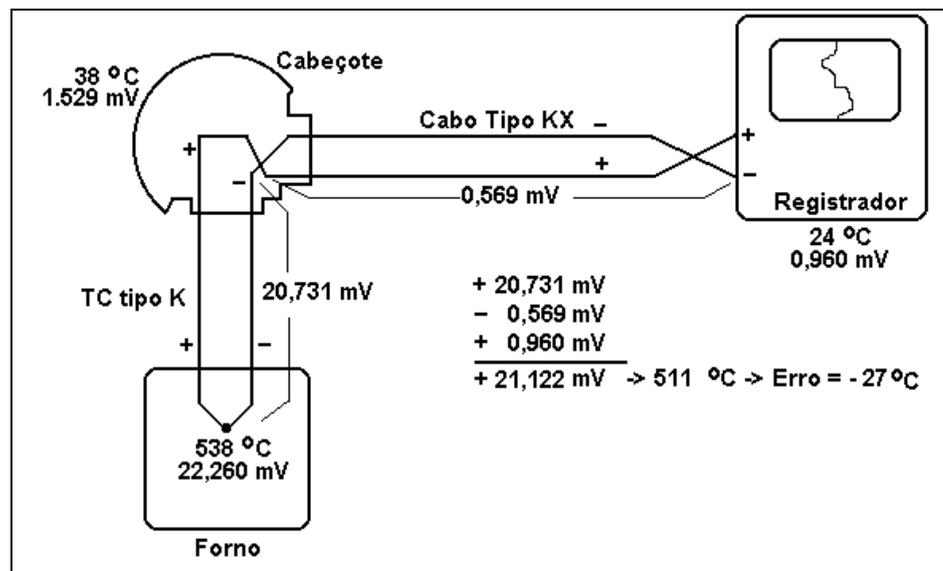
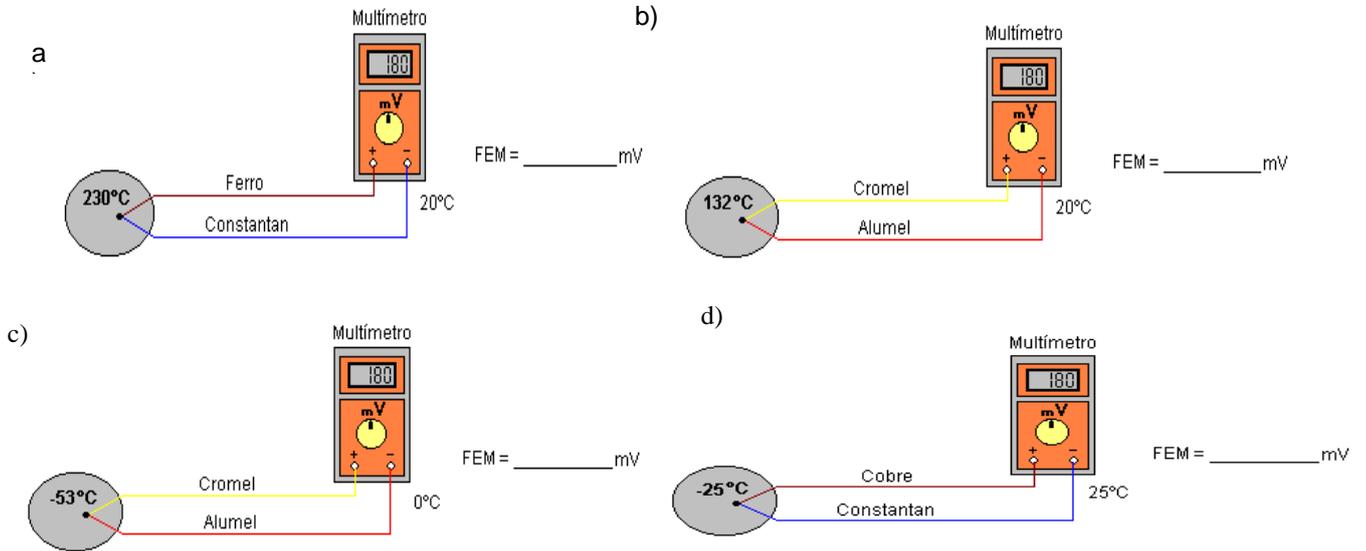


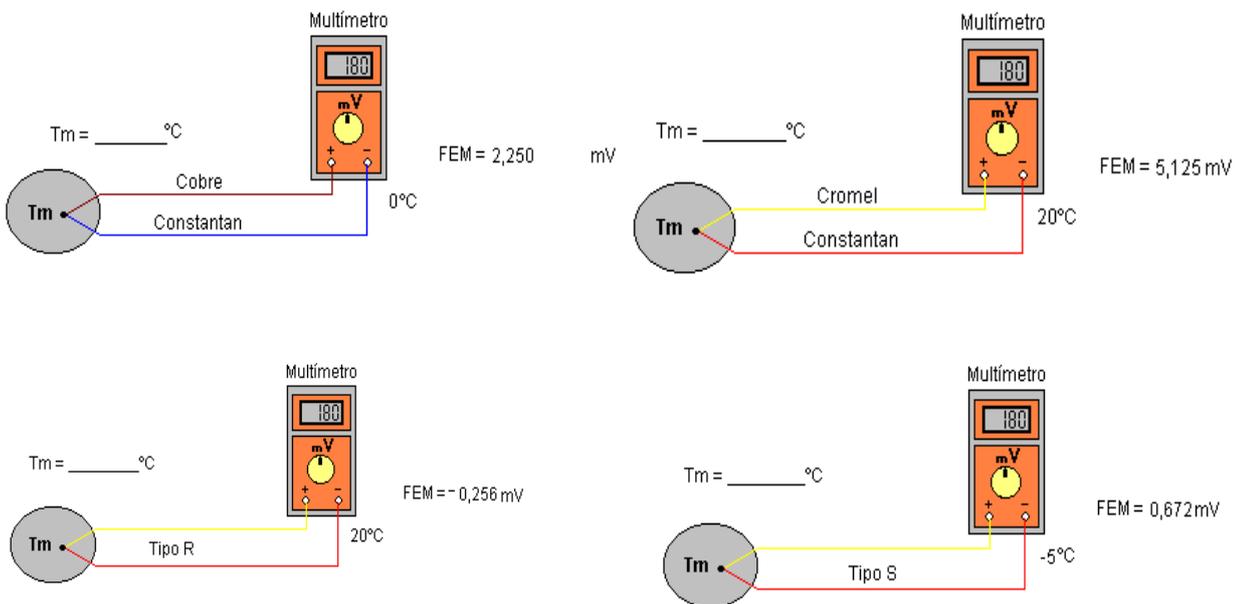
Figura 121.

## Exercícios sobre MEDIÇÃO DE TEMPERATURA

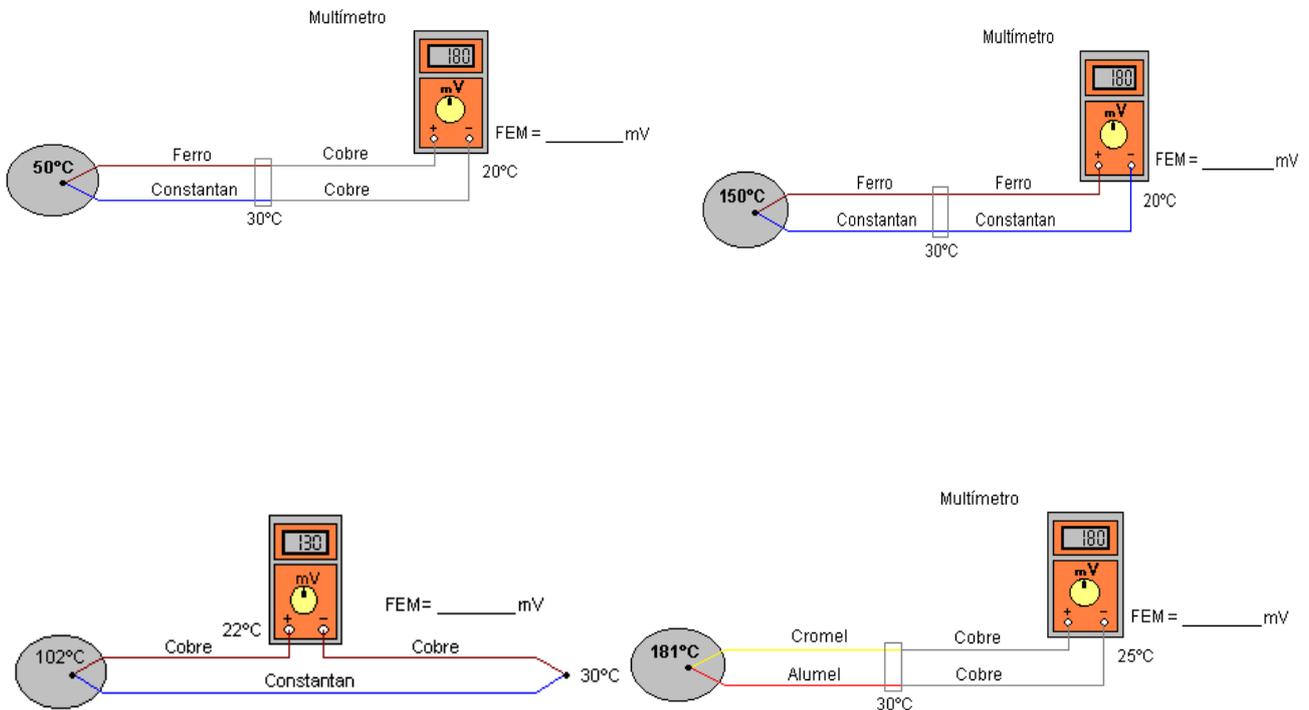
1. Calcule a FEM indicada pelo multímetro.



2. Calcule a temperatura na junta de medição ( $T_m$ )

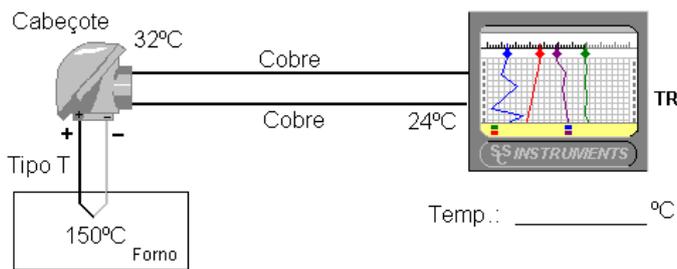


3. Calcule a FEM medida pelo multímetro.

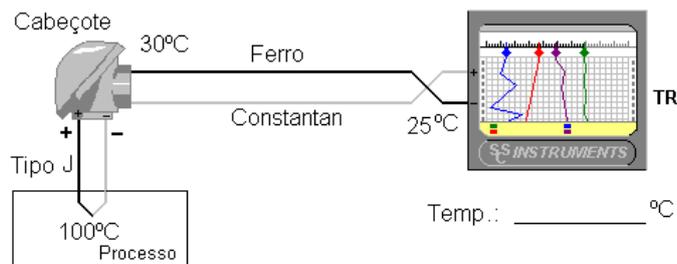


4. Determine a temperatura registrada, considerando que a temperatura ambiente esteja sendo compensada automaticamente pelo registrador:

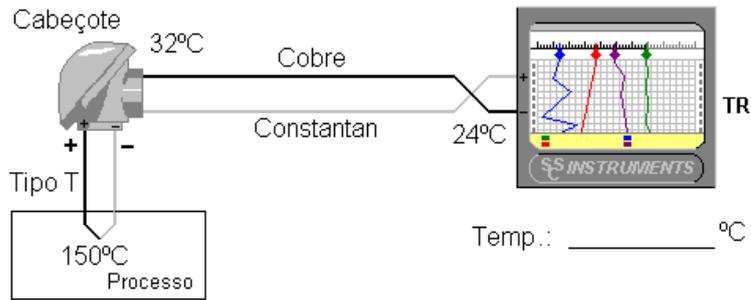
A.



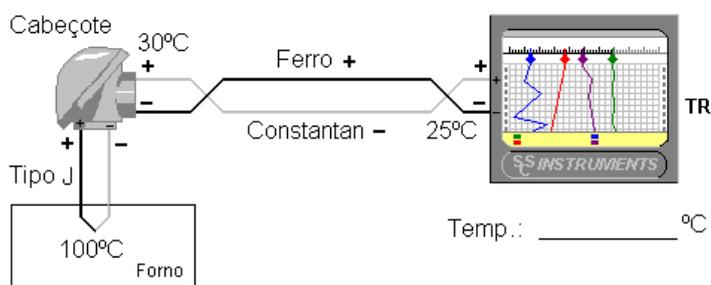
B.



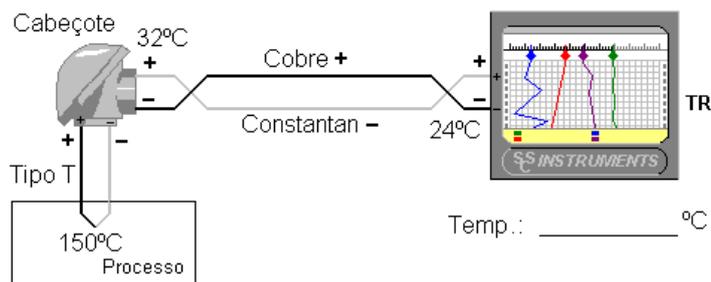
C.



D.



E.



## MEDIÇÃO DE VAZÃO

A vazão é considerada uma das principais variáveis em um processo contínuo, pois é através de sua medição que determina-se o controle e balanço de materiais. A qualidade e a correta técnica para sua medição é de fundamental importância, podendo representar economia altamente significativa.

A medição da vazão inclui no seu sentido mais amplo, a determinação da quantidade de líquidos, gases e sólidos que passa por um determinado local na unidade de tempo. Podem também ser incluídos os instrumentos que indicam a quantidade total movimentada, num intervalo de tempo.

A quantidade total movimentada pode ser medida em unidades de volume (litros, mm<sup>3</sup>, cm<sup>3</sup>, m<sup>3</sup>, galões, pés cúbicos) ou em unidades de massa (g, Kg, toneladas, libras). A vazão instantânea é dada por uma das unidades acima, dividida por uma unidade de tempo (litros/min, m<sup>3</sup>/hora, galões/min). No caso de gases e vapores, a vazão instantânea pode ser expressa, em Kg/h ou em m<sup>3</sup>/h.

Quando se mede a vazão em unidades de volume, devem ser especificadas as "condições base" consideradas. Assim no caso de líquidos, é importante indicar que a vazão se considera "nas condições de operação", ou a 0 °C, 20 °C, ou a outra temperatura qualquer. Na medição de gases, é comum indicar a vazão em Nm<sup>3</sup>/h (metros cúbicos normais por hora, ou seja a temperatura de 0 °C e a pressão atmosférica) ou em SCFM (pés cúbicos standard por minuto - temperatura de 60 °F e 14,696 PSIA de pressão atmosférica).

Vale dizer que:

$$1 \text{ m}^3 = 1000 \text{ litros}$$

$$1 \text{ libra} = 0,4536 \text{ kg}$$

$$1 \text{ pé cúbico} = 0,0283168 \text{ m}^3$$

$$1 \text{ galão (Americano)} = 3,785 \text{ litros}$$

### VAZÃO EM VOLUME (Q)

A vazão em volume é dada pela relação entre o volume escoado **V** e o tempo **t** que esse volume levou para escoar:

$$Q = V / t$$

A vazão que flui por um conduto de área de seção transversal **A** faz com que uma partícula do fluido percorra uma distância **h** entre os pontos **a** e **b** do conduto num dado tempo **t**, conforme a figura abaixo:

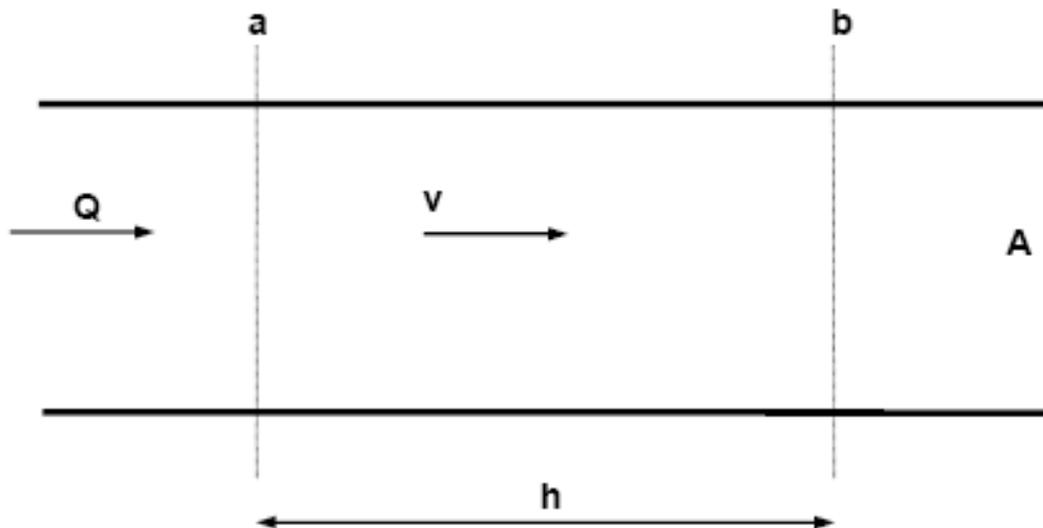


Figura 122.

A velocidade de escoamento  $v$  do fluido é dada por:

$$v = h / t$$

No mesmo tempo  $t$  que a partícula de fluido levou para se deslocar do ponto  $a$  para o ponto  $b$ , o volume  $V$  do fluido que passou pelo ponto  $a$  preenche toda a parte do conduto compreendida entre os pontos  $a$  e  $b$  e é dado por:

$$V = A.h$$

fazendo  $t = h / v$ , temos:

$$Q = V / t ; \quad Q = (A.h) / (h / v) ; \quad \text{então:}$$

$$Q = A.v$$

Ou seja, a vazão em volume é igual ao produto da área de seção transversal do conduto pela velocidade de deslocamento do fluido dentro desse conduto. É importante notar que essa equação não é válida para vazões em condutos ou tubulações parcialmente cheias.

### VAZÃO EM MASSA (W)

A vazão em massa é dada pela relação entre a massa escoada  $m$  e o tempo  $t$  que essa massa levou para escoar:

$$W = m / t$$

Como a massa específica  $\rho$  é a relação entre a massa  $m$  e o volume  $V$ , temos:

$$\rho = m / V \text{ e } m = \rho . V ; \text{ então } W = \rho . V / t ; \text{ como } V / t = Q, \text{ temos:}$$

$$W = \rho . Q$$

## VISCOSIDADE

A viscosidade do fluido é um fator de grande importância nos cálculos de elementos primários por pressão diferencial, pois interfere diretamente nos regimes de escoamento, ao qual é utilizado como fator corretivo. Considerando-se que as equações de origem para cálculo de vazão são puramente teóricas, ou seja, consideram o fluido como perfeito, tais correções tornam as equações teóricas reais.

### Viscosidade Absoluta ( $\mu$ )

A viscosidade pode ser definida como sendo a resistência que o fluido oferece ao escoamento. Para se determinar o valor da viscosidade absoluta ou dinâmica, usemos o esquema mostrado a seguir como exemplo, tendo duas placas, sendo uma fixa e outra móvel.

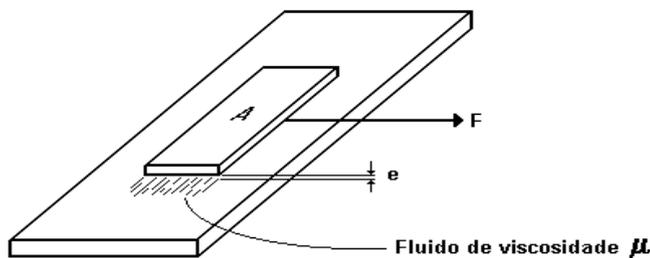


Figura 123.

O espaço entre as placas  $e$  é preenchido por um líquido. Ao aplicarmos uma força  $F$  sobre a placa móvel de área  $A$ , esta deslizará uniformemente sobre a placa fixa a uma velocidade uniforme  $V$ . A resistência do fluido à força tangencial é o valor da viscosidade absoluta, representada pela equação abaixo:

$$\mu = \frac{F \cdot e}{S \cdot v}$$

Onde:

$\mu$  é a viscosidade absoluta do fluido ( Pa . s )

$F$  é a força aplicada à placa móvel ( N )

$e$  é a espessura da camada fluida ( m )

$A$  é a área da placa móvel (  $m^2$  )

$V$  é a velocidade da placa móvel ( m/s )

A unidade no S.I. é o poiseuille ou pascal.seg :

$$Pa.s = \frac{N.s}{m^2}$$

Sendo a força igual a massa vezes a aceleração :

$$N = Kg \cdot \frac{m}{s^2}$$

reescrevemos a equação :

$$\mu = Pa.s = \frac{Kg}{m.s}$$

No sistema C.G.S. a unidade da viscosidade absoluta é o poise :

$$\mu = \frac{dina.s}{cm} = \frac{gr}{cm.s}$$

Em baixas viscosidades utiliza-se o centipoise : 1 cp = 0,01 poise . A viscosidade absoluta, como a massa específica, é uma grandeza de cada fluido e varia com a temperatura. A viscosidade geralmente decresce com o aumento da temperatura , porém, para os gases ocorre o inverso .

### Viscosidade Cinemática ( $\nu$ )

A viscosidade do cinemática de um fluido (  $\nu$  ) é a relação entre a viscosidade absoluta ( $\mu$ ) e a massa específica fluido (  $\rho$  ) , à mesma temperatura :

$$\nu = \frac{\mu}{\rho}$$

No sistema internacional ( S.I. ) a unidade é o metro quadrado por segundo

$$\nu = \frac{m^2}{s}$$

No sistema C.G.S. , a unidade é o stokes :

$$\nu = \frac{cm^2}{s} [stokes]$$

O centistokes ( cSt ) é a unidade usada geralmente para líquidos derivados do petróleo :

$$1cSt = 10^{-6} \cdot \frac{m^2}{s} = 0,01Stokes$$

## REGIME DE ESCOAMENTO DE FLUIDOS EM TUBULAÇÕES LAMINAR E TURBULENTO

O escoamento de um fluido numa tubulação pode ser caracterizado por um dos seguintes regimes : o laminar e o turbulento.

A corrente laminar se caracteriza por um escoamento em camadas planas ou concêntricas, dependendo da forma do canal ou do tubo, sem passagem das partículas do fluido de uma camada para outra e sem variação de velocidade, para determinada vazão.

A corrente turbulenta, ao contrário, é caracterizada por uma mistura intensa do líquido e oscilações de velocidades e pressões. O movimento das partículas é desordenado e suas trajetórias têm geralmente formas complicadas.

A experiência conhecida destinada a evidenciar os dois regimes de escoamento é mostrada na figura abaixo . A um recipiente com água, é ligado um tubo de vidro terminado por uma torneira. Um outro recipiente cheio de tinta permite a injeção de um pequeno filete de tinta no centro do tubo de vidro.

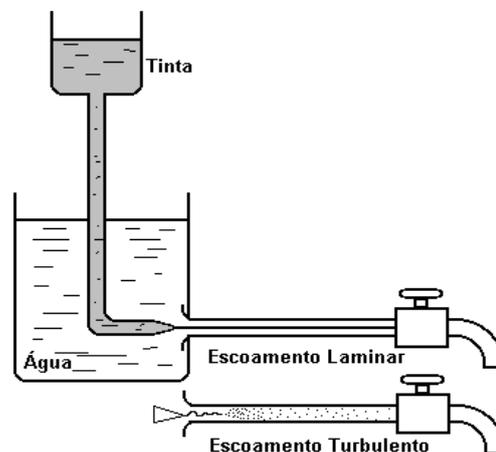


Figura 124.

Ao se abrir um pouco a válvula, observa-se que o filete de tinta não se mistura à água, caracterizando o regime laminar. Aumentando gradativamente a abertura da válvula, percebe-se que, a uma determinada vazão, o filete de tinta começa a se misturar com a água em redemoinhos característicos do regime turbulento. É possível voltar ao regime laminar diminuindo a abertura da torneira.

A mudança de regime de escoamento ocorre a uma velocidade chamada crítica, diretamente proporcional à viscosidade cinemática e inversamente proporcional ao diâmetro do tubo, ou seja:

$$V_{cr} = K_c \cdot \frac{\nu}{D}$$

## NÚMERO DE REYNOLDS

O coeficiente adimensional de proporcionalidade  $K_c$  tem um significado universal, isto é, é o mesmo para todos os líquidos e gases e qualquer diâmetro de tubo. Isto significa que a mudança de regime de escoamento ocorre quando a relação entre a velocidade, o diâmetro e a viscosidade apresenta um valor igual a:

$$K_c = \frac{V_{cr} \cdot D}{\nu}$$

Este número adimensional chama-se número crítico de Reynolds e se anota , de modo geral , da seguinte forma :

$$Re_{cr} = \frac{V_{cr} \cdot D}{\nu}$$

Como demonstrado experimentalmente, o número crítico de Reynolds é aproximadamente 2300 . Expressando o número de Reynolds pela de relação:

$$Re = \frac{V \cdot D}{\nu}$$

É possível dizer que , se  $Re > Re_{cr}$  , o escoamento é turbulento , e se  $Re < Re_{cr}$  o escoamento será laminar.

## EQUAÇÕES COM UNIDADES USUAIS PARA CÁLCULO DO Nº DE REYNOLDS

Utilizando Vazão em Volume (Q) e Viscosidade Absoluta ( $\mu$ ).

(equação 1)

$$Rd = \frac{353,66.Q.\rho}{D.\mu}$$

Utilizando Vazão em Volume (Q) e Viscosidade Cinemática ( $\nu$ ).

(equação 2)

$$Rd = \frac{353660.Q}{D.\nu}$$

Onde: Q = Vazão usual (0,7.  $Q_{\text{máx}}$ ) em  $\text{m}^3/\text{h}$

$\rho$  = Massa Específica em  $\text{Kg}/\text{m}^3$

$\mu$  = Viscosidade Absoluta em cp

$\nu$  = Viscosidade Cinemática em cst

D = Diâmetro interno da Tubulação em mm.

Obs.: Para calcular o nº de Reynolds, verifique os dados, identifique a equação a ser utilizada em função da vazão e da viscosidade, e converta os dados para o sistema usual.

Exemplo: Fluido: Óleo Combustível Unidades Usuais:

$Q_{\text{usual}}$  : 840 GPM    Q = 190,78  $\text{m}^3/\text{h}$

$\mu$  = 15 cp     $\mu$  = 15 cp

D: 0,127 m    D = 127 mm

$\rho$  : 0,94  $\text{gr}/\text{cm}^3$      $\rho$  = 940  $\text{Kg}/\text{m}^3$

Utilizar a equação (1):

$$Rd = \frac{353,66.190,78.940}{15.127} = 33293$$

## EQUAÇÃO DA CONTINUIDADE

Supondo um fluxo em regime permanente na tubulação abaixo, não podemos acumular massa no volume compreendido entre as seções **1** e **2**, pois neste caso pelo menos a massa específica variaria, deixando ser regime permanente.

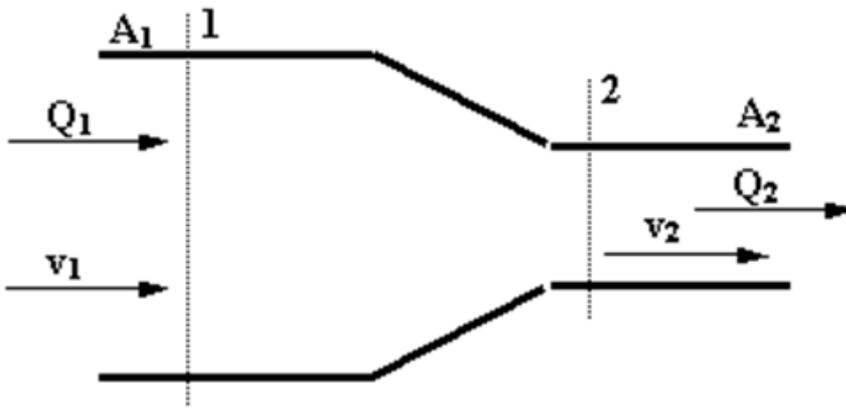


Figura 125.

Ou seja, a massa que entra na redução é igual à massa de produto que sai da redução, o que ocorre quando o fluido é incompressível e sua densidade absoluta não varia através da redução.

Nesse caso, pode-se dizer que  $Q_1 = Q_2$  e que  $Q_1 = V_1 \cdot A_1$  e  $Q_2 = V_2 \cdot A_2$ , então:

$$V_1 \cdot A_1 = V_2 \cdot A_2$$

### EQUAÇÃO DE BERNOULLI

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

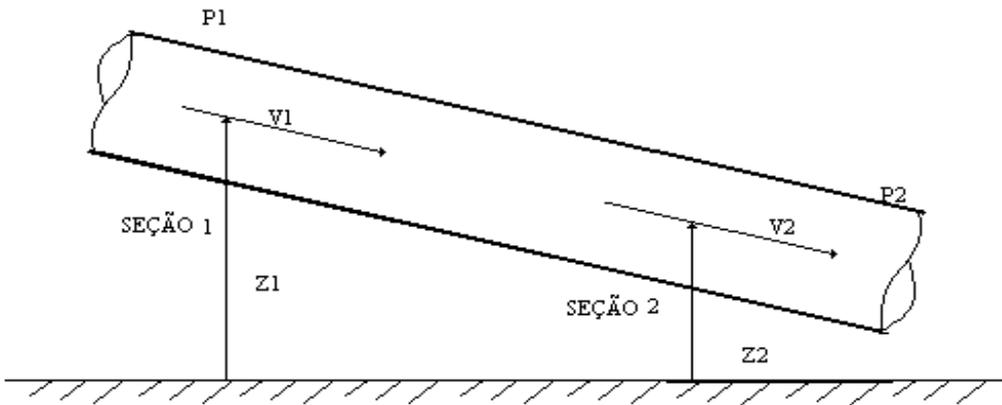


Figura 126.

Considerando-se que a energia total de um sistema dinâmico é constante, temos que:

$$\sum Et_1 = \sum Et_2$$

$$Ep_{po1} + Ep_{pr1} + Ec_1 = Ep_{po2} + Ep_{pr2} + Ec_2$$

onde:

$Ep_{po}$  = Energia potencial de posição

$Ep_{pr}$  = Energia potencial de pressão

$Ec$  = Energia cinética

Considerando-se os estados de energia parciais, temos:

$$M \cdot g \cdot Z_1 + \frac{P_1}{\gamma} \cdot W + M \cdot \frac{v_1^2}{2} = M \cdot g \cdot Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} \cdot W + M \cdot \frac{v_2^2}{2}$$

onde:

$M$  = Massa                       $g$  = Aceleração da gravidade

$W$  = Peso                         $P_1$  e  $P_2$  = Pressão nas seções 1 e 2

$\gamma$  = Peso específico         $v_1$  e  $v_2$  = Velocidades nas seções 1 e 2

Como  $M \cdot g = W$

$$W \cdot Z_1 + \frac{P_1}{\gamma} \cdot W + M \cdot \frac{v_1^2}{2} = W \cdot Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} \cdot W + M \cdot \frac{v_2^2}{2}$$

substituindo-se  $M$  por  $\frac{W}{g}$

$$W.Z_1 + \frac{P_1}{\gamma}.W + W.\frac{v_1^2}{2g} = W.Z_2 + \frac{P_2}{\gamma}.W + W.\frac{v_2^2}{2g}$$

Dividindo-se por W:

$$Z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g}$$

A equação acima é a equação de Bernoulli para fluidos perfeitos em regime permanente. É a base para cálculos de vazão, considerando-se qualquer seção do escoamento.

## MÉTODOS DE MEDIÇÃO DE VAZÃO

A especificação e seleção correta do medidor de vazão não é uma tarefa muito simples, pois exige conhecimentos e informações precisas sobre o fluido, características de operação e instalação. A enorme oferta de medidores e técnicas de medição é outro fator decisivo nesse processo de escolha, pois devem ser considerados critérios técnicos (precisão, confiabilidade, rangeabilidade, etc) além de critérios econômicos..

Existem vários métodos para medição de vazão e a cada dia novas tecnologias surgem no mercado. A evolução dos preços em função do sucesso de cada medidor também dificulta o processo seletivo pois exige uma constante atualização por parte do usuário.

Entre os métodos mais usados atualmente destacamos por classe:

1. Medição por deslocamento positivo
  - . Disco nutante; Pistão oscilante e Medidor rotativo
2. Medição por pressão diferencial (elementos deprimogênicos)
  - . Placa de Orifício; Tubo Venturi; Bocal de Vazão; Orifício Integral; Tubo Pitot e Tubo Annubar
3. Medição por área variável
  - . Rotâmetro
4. Medição através de velocidade
  - . Turbina
5. Medição por tensão induzida
  - . Medidor Magnético
6. Medidores Mássicos
  - . Efeito Coriolis
7. Medição por ultra-som
  - . Efeito doppler e Por tempo de transito
8. Medição Através de Vortices
9. Medição Térmica
10. Medição em canais abertos

. Calha Parschall e Vertedores

**Medidores de Deslocamento Positivo**

Medidores de deslocamento positivo são medidores que possuem uma relação bem definida entre o volume de produto que passa pelo medidor e o acionamento de um dispositivo de medição. Para cada unidade de volume que atravessa o medidor o dispositivo de medição é acionado um certo número de vezes. Esse tipo de medidor apresenta um fator que permite determinar a vazão em volume.

Por exemplo, um medidor de engrenagens tem um fator de 20 cm<sup>3</sup> para cada volta completa que um conjunto de engrenagens dá quando essas engrenagens são movidas pelo fluido que atravessa o medidor. Se o medidor contabilizar 10 voltas em 1 minuto, a vazão do fluido será de 200 cm<sup>3</sup>/min.

**Medidor de Engrenagens Ovais**

O fluido circula entre as engrenagens e as paredes da câmara de medição.

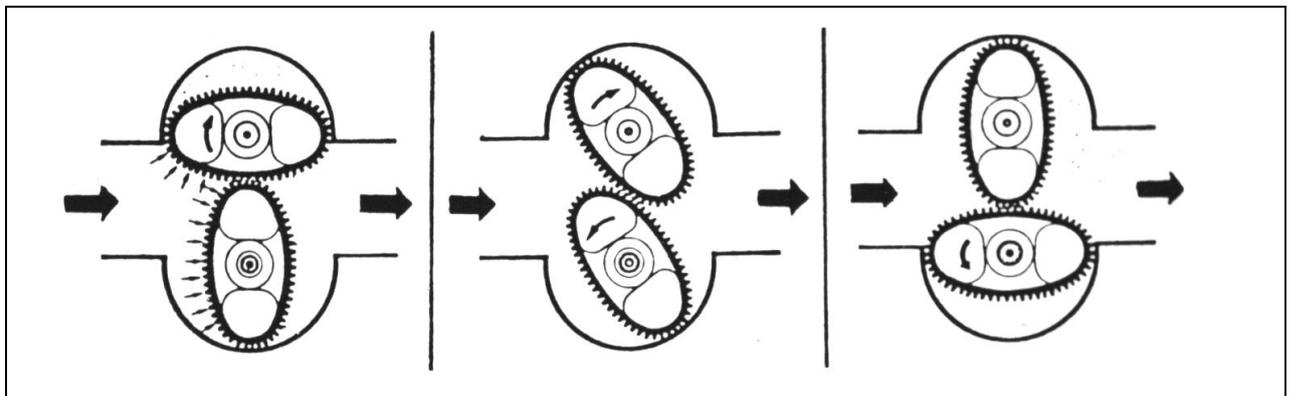


Figura 127.

**Medidor de Lóbulos**

O fluido circula entre os lóbulos e as paredes da câmara de medição.

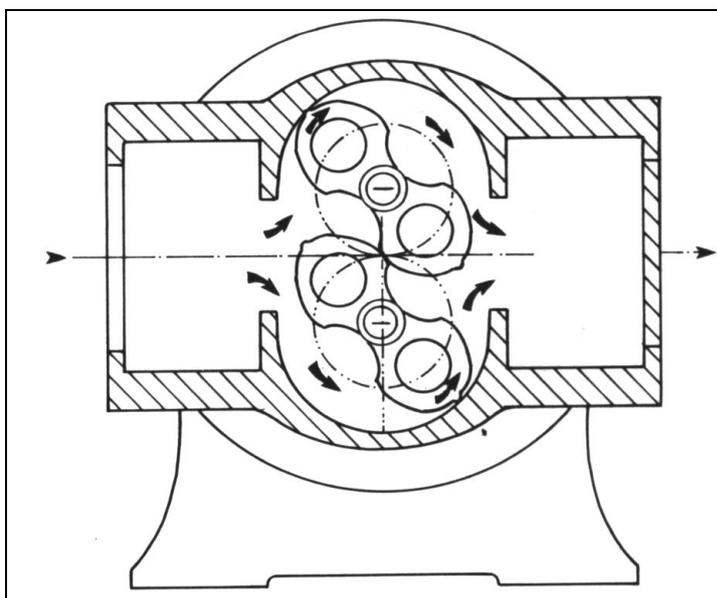


Figura 128.

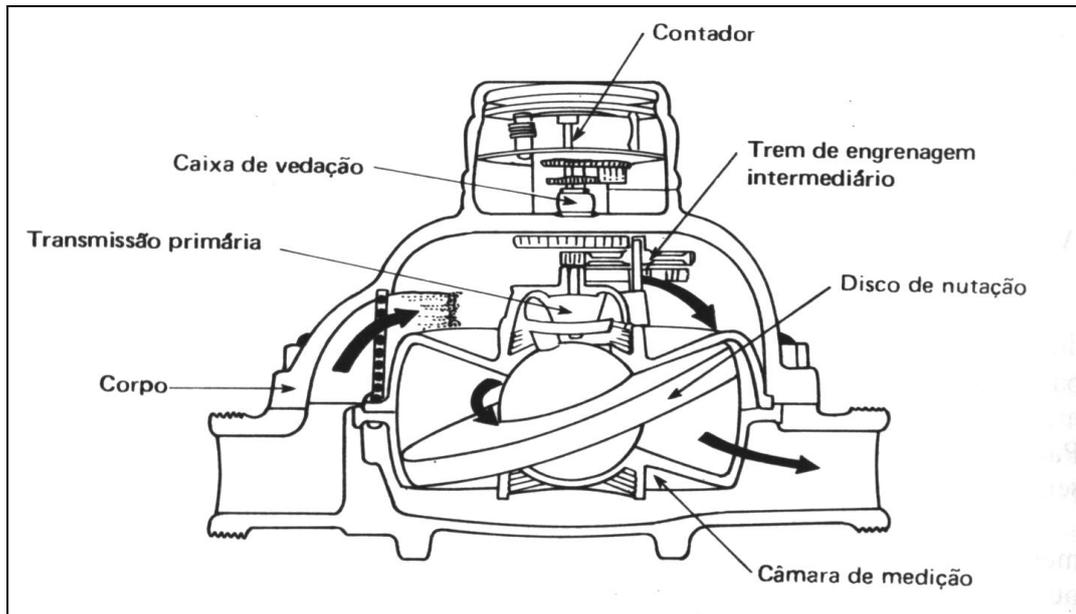
**Disco de Nutação**

Figura 129.

**MEDIÇÃO DE VAZÃO POR PRESSÃO DIFERENCIAL**

É um dos métodos mais utilizados para medir vazão e baseia-se na pressão diferencial produzida por elementos primários. A seleção desses elementos é feita de forma criteriosa, e o conhecimento das características do fluido, assim como a teoria que envolve essa técnica é de fundamental importância.

A pressão diferencial é produzida por vários tipos de elementos primários colocados na tubulação de forma tal que o fluido passa através deles. A sua função é aumentar a velocidade do fluido diminuindo a área da seção em um pequeno comprimento para haver uma queda de pressão. A vazão pode então, ser medida a partir desta queda.

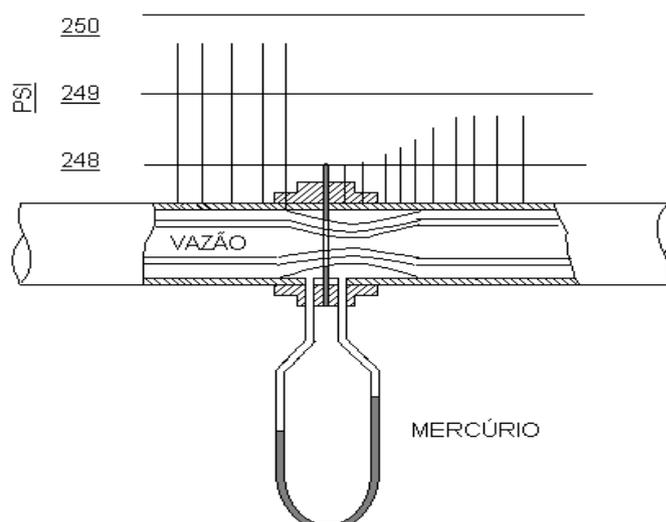


Figura 130.

Medidores deprimogênios são aqueles compostos por um elemento primário instalado na tubulação que gera uma perda de pressão no fluido escoando pela tubulação. A diferença entre as pressões estáticas antes e após o elemento primário permite determinar a vazão em massa ou em volume.

Uma vantagem primordial dos medidores de vazão por  $\Delta P$ , é que os mesmos podem ser aplicados numa grande variedade de medições, envolvendo a maioria dos gases e líquidos, inclusive fluídos com sólidos em suspensão, bem como fluídos viscosos, em uma faixa de temperatura e pressão bastante ampla. Um inconveniente deste tipo de medidor é a perda de carga que o mesmo causa ao processo, sendo a placa de orifício, o dispositivo que provoca a maior perda de carga "irrecuperável" ( de 40 a 80% do  $\Delta P$  gerado).

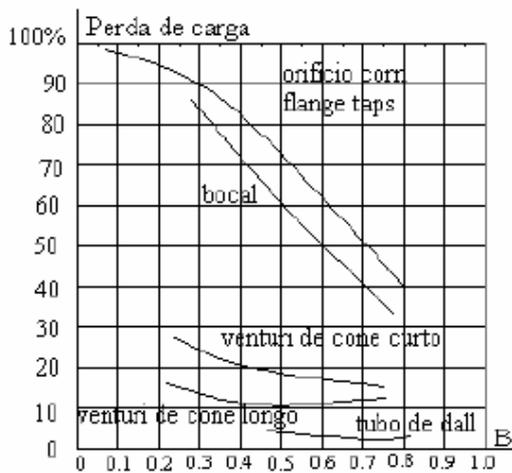


Figura 131.

**Equação Básica para Cálculos de Vazão**

O desenvolvimento da equação básica de elementos geradores de pressão diferencial tem como ponto de partida a equação de Bernoulli para fluído perfeito, incompressível e em regime permanente.

Considerando  $Z_1 = Z_2$  e agrupando-se os termos semelhantes:

$$\frac{P_1 - P_2}{\gamma} = \frac{v_2^2 - v_1^2}{2g}$$

como  $Q_1 = Q_2$ , através da equação da continuidade temos:

$$v_1 \cdot S_1 = v_2 \cdot S_2 \quad \rightarrow \quad v_1 = v_2 \cdot \frac{S_2}{S_1}$$

chamando de  $\beta$  a relação dos diâmetros, e como:

$$\beta = \frac{d}{D} \quad \rightarrow \quad \beta^2 = \frac{S_2}{S_1}$$

podemos dizer que:

$$v_1 = v_2 \cdot \beta^2$$

Chamando  $(P_1 - P_2)$  de  $\Delta P$ , e substituindo  $v_1$  na equação de Bernoulli, temos:

$$\frac{\Delta P}{\gamma} = \frac{v_2^2 - (v_2 \cdot \beta^2)^2}{2g}$$

Isolando  $v_2$ :

$$\frac{\Delta P}{\gamma} \cdot 2g = v_2^2 \cdot (1 - \beta^4) \quad \rightarrow \quad v_2 = \sqrt{\frac{\frac{\Delta P}{\gamma} \cdot 2g}{1 - \beta^4}}$$

chamando  $\sqrt{\frac{1}{1 - \beta^4}}$  de "E" (fator de velocidade de aproximação), temos:

$$v_2 = E \cdot \sqrt{\frac{\Delta P}{\gamma} \cdot 2g}$$

onde  $v_2$  é a velocidade do escoamento na garganta do elemento primário.

Como:  $v_1 \cdot S_1 = v_2 \cdot S_2$

a velocidade de escoamento na tubulação ( $v_1$ ) fica:

$$v_1 = v_2 \cdot \frac{S_2}{S_1}$$

ou então:

$$v_1 = E \cdot \sqrt{\frac{\Delta P}{\gamma} \cdot 2g} \cdot \frac{S_2}{S_1}$$

substituindo  $\frac{S_2}{S}$  por  $\beta^2$ , temos:

$$v_1 = \beta^2 \cdot E \cdot \sqrt{\frac{\Delta P}{\gamma} \cdot 2g}$$

como:  $Q = v \cdot S$

$$Q = S_1 \cdot \beta^2 \cdot E \cdot \sqrt{\frac{\Delta P}{\gamma} \cdot 2g}$$

A equação anterior é puramente teórica, principalmente pelo fato de considerar que, nas seções 1 e 2, as velocidades são uniformemente distribuídas e respectivamente iguais a  $v_1$  e  $v_2$ . Esta equação pode ser transformada adequadamente para uso prático, se incluirmos um coeficiente de correção que leve em consideração todos elementos de um escoamento real. Este coeficiente, chama-se coeficiente de descarga C:

$$C = \frac{\text{Vazão Real}}{\text{Vazão Teórica}}$$

portanto a vazão real será dada por:

$$Q_{real} = Q_{teórica} \cdot C$$

ou ainda:

$$Q = C \cdot S_1 \cdot \beta^2 \cdot E \cdot \sqrt{\frac{\Delta P}{\gamma} \cdot 2g}$$

Os valores de C são resultados experimentais variam em função de tipo de elemento primário, tomada de impulso, diâmetro (D) da tubulação, do N° de Reynolds (Rd) e da relação dos diâmetros  $\beta$ .

Na indústria, um dos métodos mais utilizado para medição da vazão por pressão diferencial é através da placa de orifício.

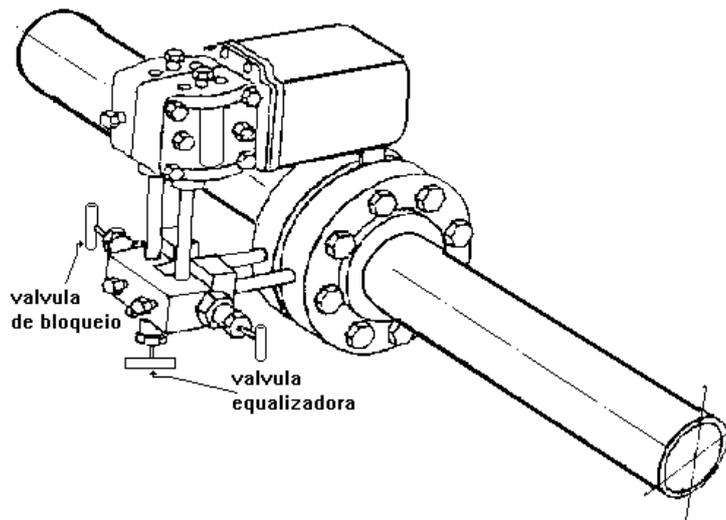


Figura 132.

Podemos representar esquematicamente esta malha de medição, através do fluxograma mostrado a seguir :

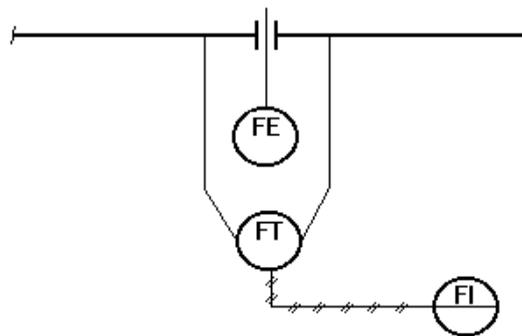


Figura 133.

Da equação básica deduzida no item anterior pode-se concluir que a vazão só irá variar em função de  $\Delta P$ , pois  $S_1$ ,  $E$ ,  $C$ ,  $\beta$ ,  $g$ , e  $\gamma$  são constantes. Portanto podemos simplificar a expressão, assim:

$$Q = K \cdot \sqrt{\Delta P}$$

Onde  $K$  representa a constante que torna a relação real, compatibiliza as unidades utilizadas e depende de fatores como tipo de elemento primário, tipo de tomada de impulso,  $\beta$  e as características do fluido entre outros.

É importante observar, que o  $\Delta P$  varia quadraticamente em função da vazão  $Q$ , como mostra a curva abaixo:

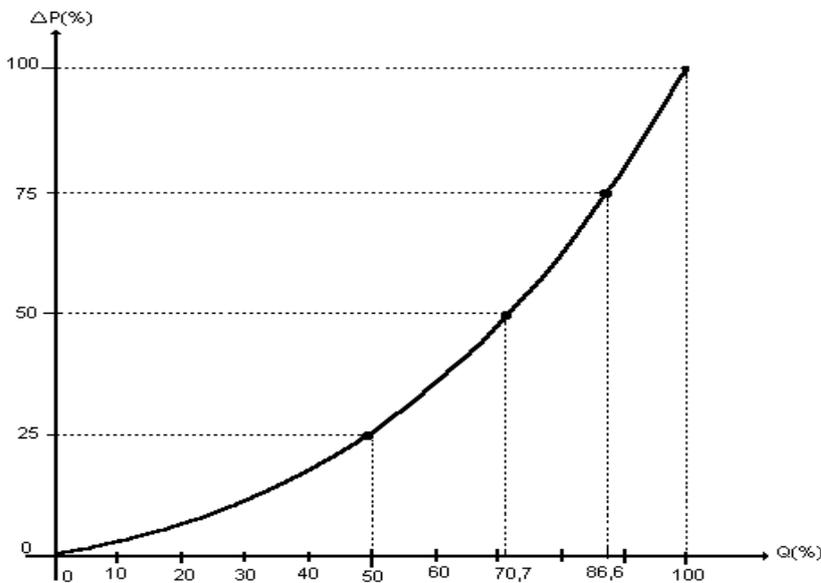


Figura 134.

Tabela 18.

Vazão (%)	ΔP (%)
0,0	0,0
50,0	25,0
70,7	50,00
86,6	75,00
100,00	100,00

Conhecendo-se o range do medidor e a vazão máxima, torna-se possível encontrar qualquer valor de vazão (ou pressão diferencial) compreendido na curva. Então:

$$Q_{m\acute{a}x.} = K \cdot \sqrt{\Delta P_{m\acute{a}x.}}$$

Supondo o fluxograma citado anteriormente com as seguintes características: Vazão máxima de 10 m<sup>3</sup>/h e o ΔP produzido com esta vazão é de 2500 mmH<sub>2</sub>O.

Como saber o valor da pressão diferencial quando a vazão for 8 m<sup>3</sup>/H e o sinal de saída do transmissor ( FT )?

Determinação do K para essa condição:  $K = \frac{Q_{m\acute{a}x.}}{\sqrt{\Delta P_{m\acute{a}x.}}}$

Para vazão máxima:

$$K = \frac{10}{\sqrt{2500}} = 0,2$$

Portanto:

$$\Delta P = \left(\frac{Q}{K}\right)^2 = \left(\frac{8}{0,2}\right)^2 = 1600 \text{ mmH}_2\text{O}$$

Um outro método de trabalho, baseia-se no cálculo em porcentagem adotando-se  $K = 10$ . Então:

8 m<sup>3</sup>/H equivale a 80% da vazão, portanto:

$$Q = K \cdot \sqrt{\Delta P} \qquad \Delta P = \left(\frac{Q}{K}\right)^2 = \left(\frac{80}{10}\right)^2 = 64\%$$

assim:

$$Q = 0,64 \times 2500 \text{ mmH}_2\text{O} = 1600 \text{ mmH}_2\text{O}$$

Considerando-se que o sinal de saída do transmissor é linear com a pressão diferencial, podemos também determinar esse valor. Se no exemplo tivermos um transmissor eletrônico com a saída calibrada em 4 à 20 mA, teremos:

$$Saída_{FT} = [(\% \Delta P) \times 16 \text{ mA}] + 4 \text{ mA}$$

Portanto, no exemplo, a saída do FT será:

$$S_{FT} = [64\% \times 16 \text{ mA}] + 4 \text{ mA} = 14,24 \text{ mA}$$

### Linearização da Vazão

O sinal de saída de um transmissor de vazão por pressão diferencial, varia linearmente em função do  $\Delta P$  e quadraticamente em função da vazão, portanto quando é acoplado um indicador para fazer a leitura de vazão vinda do transmissor, sua escala deve ser quadrática para termos leitura direta. Para linearizar o sinal de saída do transmissor em função de vazão, faz-se necessário o uso de um EXTRATOR DE RAIZ QUADRADA, conforme mostrado no fluxograma a seguir.

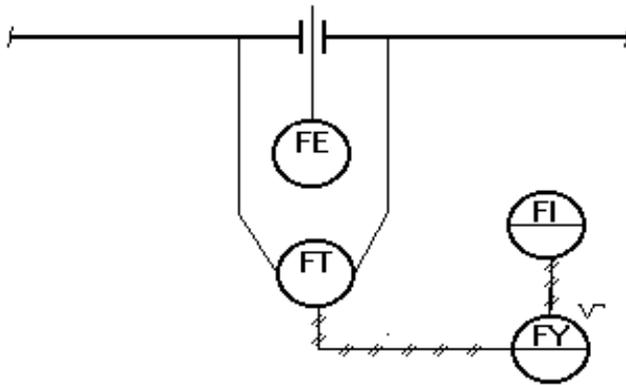


Figura 135.

A pressão de entrada no extrator ( $E_{FY}$ ) é linearmente proporcional ao  $\Delta P$ , e a pressão de saída do extrator ( $S_{FY}$ ) é linearmente proporcional à vazão  $Q$ . A equação que relaciona a entrada e a saída de um extrator de raiz quadrada com range de 4 a 20 mA, será então dada por:

$$S_{FY} = \left[ \left( \sqrt{\frac{E_{FY} - 4}{16}} \right) \cdot 16 \right] + 4 \quad (\text{mA})$$

Utilizando os dados do exemplo, teríamos na entrada do extrator, um sinal de 10,68 PSI e a saída seria portanto:

$$S_{FY} = \left[ \left( \sqrt{\frac{14,24 - 4}{16}} \right) \cdot 16 \right] + 4 = 16,8 \text{ mA}$$

Que representa 80% da vazão, e indicaria 80% em uma escala linear.

### Compensação de Temperatura e Pressão

Quando se mede vazão de gases e vapores a densidade do fluido variará dependendo da pressão e da temperatura. Por isso, é preciso efetuar a correção com compensação para essa variação.

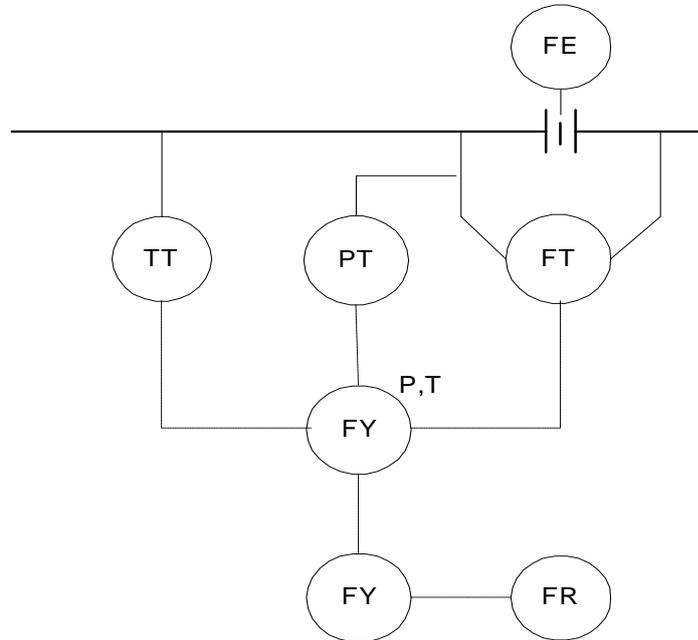


Figura 136.

A equação para efetuar a correção se escreve na seguinte forma:

$$Q = K \cdot \sqrt{\frac{P_a \cdot \Delta P}{T_a}}$$

onde:

Q = vazão (Nm<sup>3</sup>/h)

K = constante

P<sub>a</sub> = pressão absoluta (bar)

T<sub>a</sub> = temperatura absoluta (Kelvin)

ΔP = pressão diferencial (bar)

Torna-se portanto necessário medir a pressão e a temperatura real para que se proceda a correção que será executada pelos relés ou elementos de computação analógica. Nos instrumentos microprocessados a compensação é feita através de configuração interna, facilitando assim a aplicação.

Os elementos primários de medição de pressão diferencial mais usados são:

- a) Placas de Orifício;
- b) Tubos de Venturi;
- c) Tubo Pitot;
- d) Bocais.

### PLACA DE ORIFÍCIO

Dos muitos dispositivos inseridos numa tubulação para se criar uma pressão diferencial, o mais simples e mais comum empregado é o da placa de orifício.

Consiste em uma placa precisamente perfurada, a qual é instalada perpendicularmente ao eixo da tubulação.

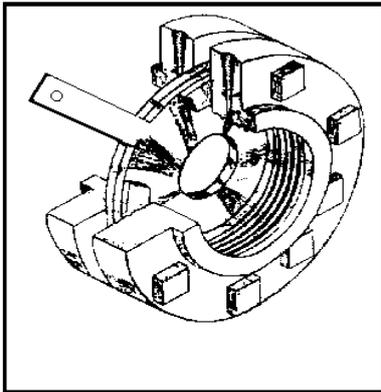


Figura 137.

É essencial que as bordas do orifício estejam sempre perfeitas, porque, se ficarem, imprecisas ou corroídas pelo fluido, a precisão da medição será comprometida. Costumeiramente são fabricadas com aço inox, monel, latão, etc., dependendo do fluido

#### VANTAGENS

- Instalação fácil
- Econômica
- Construção simples
- Manutenção e troca simples

#### DESVANTAGENS

- Alta perda de carga
- Baixa Rangeabilidade

Tipos de Orifício:

a) orifício concêntrico; b) orifício excêntrico; c) orifício segmental.

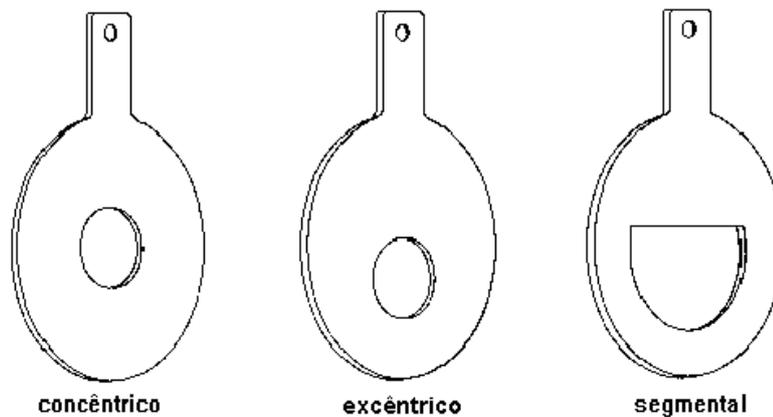


Figura 138.

a) Orifício concêntrico

Este tipo de placa é utilizado para líquidos, gases e vapor que não contenham sólidos em suspensão.

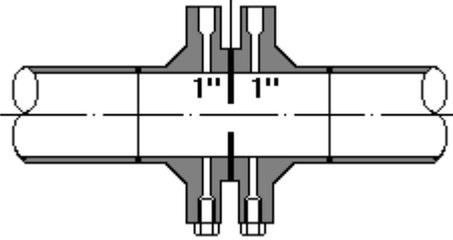
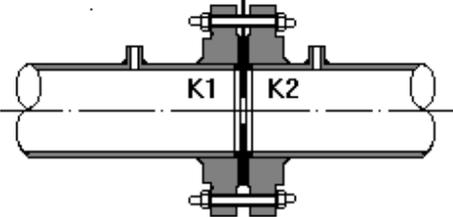
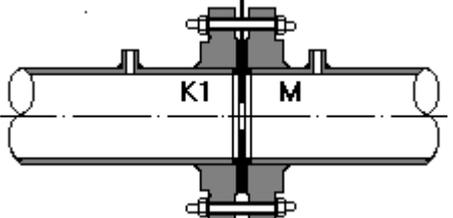
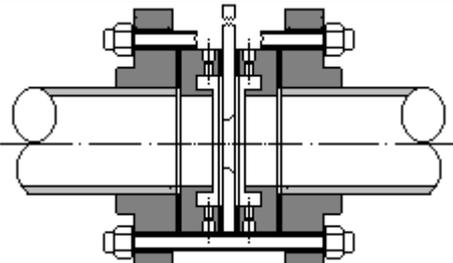
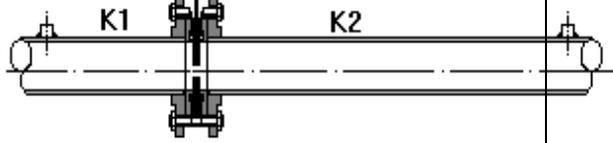
b) Orifício excêntrico

Utilizada quando tivermos fluido com sólidos em suspensão, os quais possam ser retidos e acumulados na base da placa, sendo o orifício posicionado na parte de baixo do tubo.

c) Orifício segmentado (segmental)

Esta placa tem a abertura para passagem de fluido, disposta em forma de segmento de círculo. É destinada para uso em fluidos laminados e com alta porcentagem de sólidos em suspensão.

Tabela 19. Tipos de Tomada de Impulso

Denominação na literatura inglesa	Denominação sugerida em português	Distância da tomada à face montante K1	Distância da tomada à face jusante K2	
Flange taps	Tomadas em flanges	1"	1"	
Radius taps	Tomadas à D e 1/2D (Tomada Radial)	1D	1/2D	
Vena contracta taps	Tomadas de Veia Contraída	1/2 à 2D	Depende de $\beta$	
Corner taps	Tomadas de canto	Junto	Junto	
Pipe taps	Tomadas à 2 1/2 D e 8D (Tomada de Tubulação)	2 1/2 D	8D	

## Legenda

D - diâmetro interno da tubulação

$\beta$  - relação entre o diâmetro interno **D** da tubulação e o diâmetro do orifício **d** da placa

$$\beta = d / D$$

A. Tomadas de flange: São as mais populares, onde os furos das tomadas já são feitos no próprio flange.

B. Tomadas D e D/2: Usada em tubulações de 2" a 30" com Reynolds entre 8000 e 400000 para  $\beta <$  entre 0,15 e 0,75

C. Tomadas na vena contracta: Utiliza flanges comuns, sendo o centro da tomada de alta pressão entre 1/2 e 2D (em geral 1D) e o centro da tomada de baixa estará no ponto de pressão mínima conforme figura abaixo, dependendo do  $\beta$ .

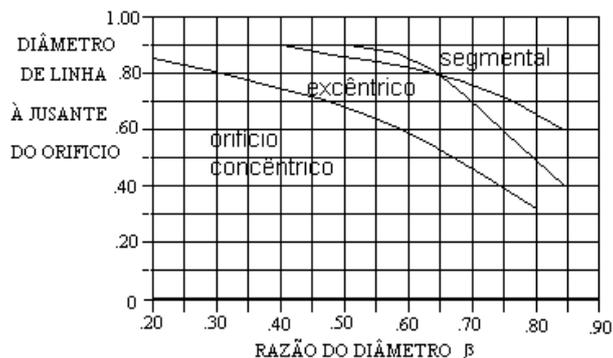


Figura 139.

D. Tomadas em canto: São construídas no próprio flange e seu uso principal é em tubulações menores que 2", tendo como desvantagem a grande possibilidade de entupimento.

E. Tomadas de tubulação: Possui o menor diferencial de pressão entre todas tomadas e perdem muita precisão devido a rugosidade do tubo.

## Tubo Venturi

O tubo Venturi, combina dentro de uma unidade simples, uma curta garganta estreitada entre duas seções cônicas e está usualmente instalado entre duas flanges, numa tubulações. Seu propósito é acelerar o fluido e temporariamente baixar sua pressão estática.

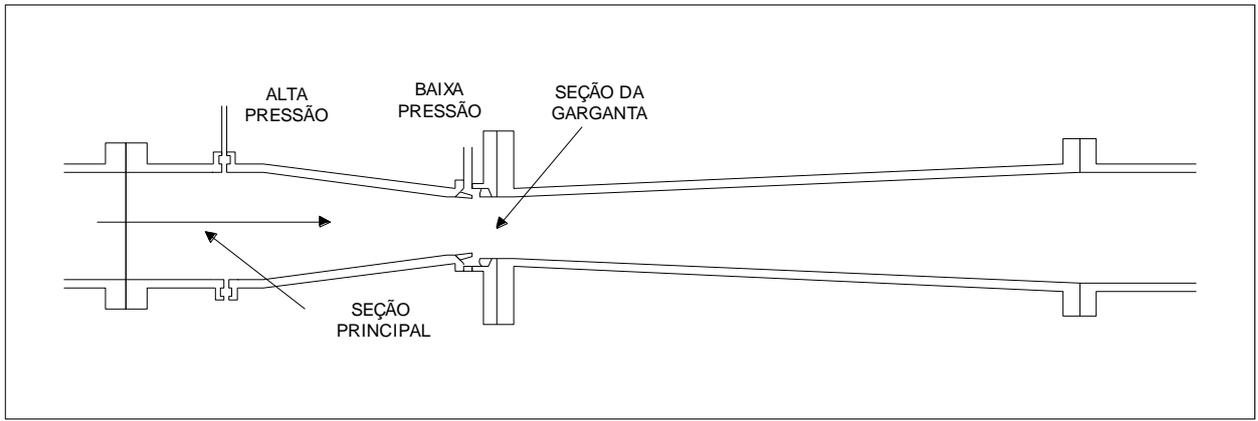


Figura 140.

A recuperação de pressão em um tubo Venturi é bastante eficiente, como podemos ver na figura a seguir, sendo seu uso recomendado quando se deseja um maior restabelecimento de pressão e quando o fluido medido carrega sólidos em suspensão. O Venturi produz um diferencial menor que uma placa de orifício para uma mesma vazão e diâmetro igual à sua garganta.

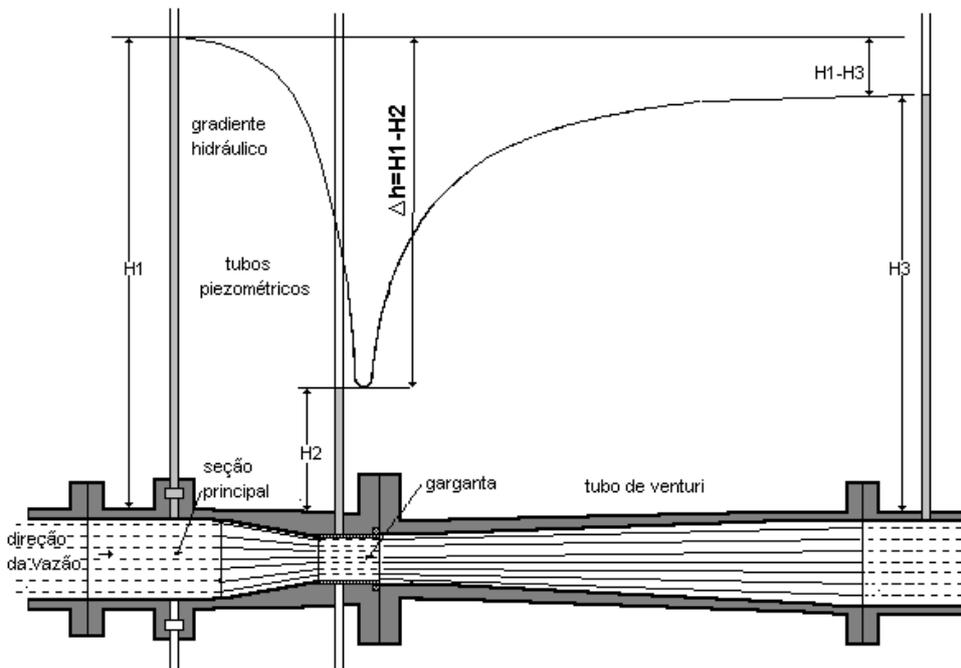


Figura 141.

A figura abaixo, mostra os detalhes de construção de um dispositivo Venturi

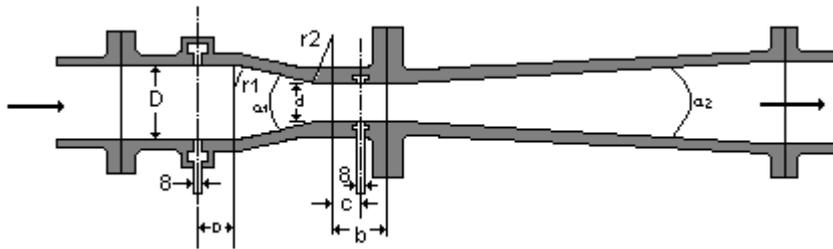


Figura 142.

onde:  $D$  = Diâmetro interno da tubulação

$d$  = diâmetro da garganta

$a$  = Localização da tomada de impulso de alta pressão

0,25 $D$  a 0,75 $D$  para 4" <  $D$  < 6"

0,25 $D$  a 0,50 $D$  para 6" <  $D$  < 32"

$b$  = comprimento da garganta igual a " $d$ "

$c$  = Localização da tomada de baixa pressão = " $d$ "/2

$\delta$  = Diâmetro interno da tomada de impulso

3/16 a 1/2"

$r_1$  = 0 a 1,375 $D$

$r_2$  = 3,5 a 3,75 $D$

$\alpha_1$  = 21° ± 2°

$\alpha_2$  = 5° a 15°

Em lugar de ser um simples furo, a tomada de impulso, é formada por vários furos espaçados em torno do tubo. Eles são interligados por meio de um anel anular chamado anel piezométrico. Isto é destinado para obter-se a média das pressões em torno do ponto de medição.

### Tubo Pitot

Este instrumento mede a diferença entre a pressão estática e a pressão total dada pela soma da pressão estática e aquela devida a velocidade do fluido. Um tubo Pitot possui duas aberturas para a medição das pressões, uma perpendicular ao eixo do fluxo, sendo esta a tomada de baixa pressão e a outra, com frente para o fluido, fornecendo o ponto de impacto é a tomada de alta.

A diferença entre a pressão total e a pressão estática da linha nos dará a pressão dinâmica, a qual é proporcional ao quadrado da velocidade.

É um dispositivo que mede a vazão através da velocidade detectada na tubulação.

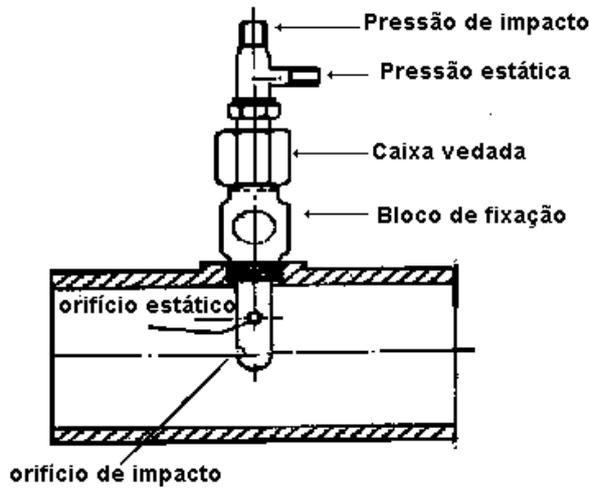


Figura 143.

$$P_d = \gamma V^2/2g \implies V = \sqrt{P_d \cdot 2g/\gamma}$$

onde:

$P_d$  = Pressão dinâmica = Pressão total - Pressão estática

$\gamma$  = Peso específico do fluido

$V$  = Velocidade do fluido no ponto de medição

$g$  = Aceleração da gravidade

Ao se determinar a velocidade de um fluido em um duto, sabe-se que ao centro deste a velocidade é máxima e para saber a velocidade média é necessário usar um fator "K" o qual é determinado em função do N° de Reynolds e rugosidade da tubulação. Então:

$$V_{\text{medio}} = V^{\text{max}} \cdot K = \sqrt{P_d \cdot 2g/\gamma} \cdot K$$

Na prática o fator "K" é descoberto, mantendo-se a vazão constante e medindo-se a velocidade em 10 pontos conforme figura abaixo e em seguida calcula-se a média das 10 velocidades e divide-se pela velocidade máxima encontrando-se o fator "K".

$$K = V_{\text{medio}} / V_{\text{max}} = (\sum V_1 \dots V_{10} / 10) / V_{\text{max}}$$

### Medidor Tipo Sonda Múltipla (Annubar)

O Annubar é um dispositivo de produção de pressão diferencial que ocupa todo o diâmetro do tubo . O annubar é projetado para medir a vazão total , de forma diferente dos dispositivos tradicionais de pressão diferencial .

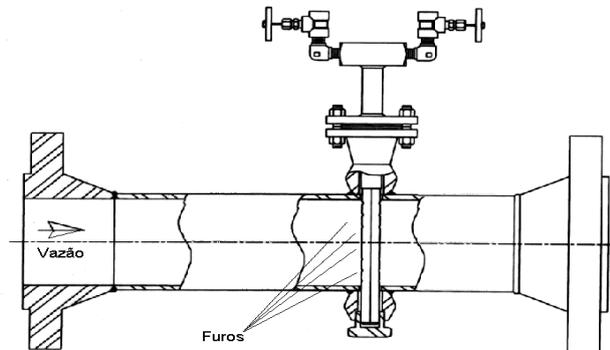


Figura 144.

A parte de alta pressão do sinal de  $\Delta P$  é produzido pelo impacto do fluido nos furos do sensor , sendo então separado e fluindo em volta do annubar . Precisamente localizados , os furos sensores na parte frontal sentem a pressão de impacto causada pelo fluido .

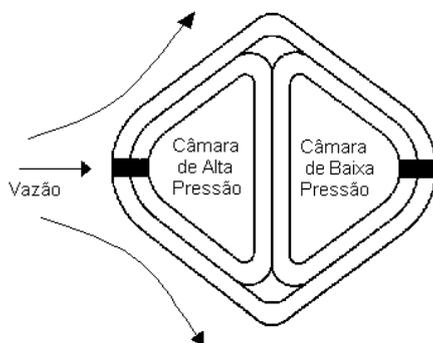


Figura 145.

Após o fluido separar-se em torno do sensor annubar, uma zona de baixa pressão (abaixo da pressão estática no tubo) é criada devido ao formato do sensor. O lado de baixa pressão do sinal de  $\Delta P$  é sentido pelos furos na jusante do annubar e é medida na câmara da jusante .

A diferença de pressão é proporcional a raiz quadrada da vazão assim como os medidores anteriores.

### BOCAL

O Bocal de vazão (Flow nozzle) é, em muitos aspectos um meio termo entre a placa de orifício e o tubo Venturi. O perfil dos bocais de vazão permite sua aplicação em serviços onde o fluido é abrasivo e corrosivo. O perfil de entrada é projetado de

forma à guiar a veia fluída até atingir a seção mais estrangulada do elemento de medição, seguindo uma curva elíptica (projeto ASME) ou pseudoelíptica (projeto ISA). Seu principal uso é em medição de vapor com alta velocidade, recomendado p/ tubulações > 50mm.

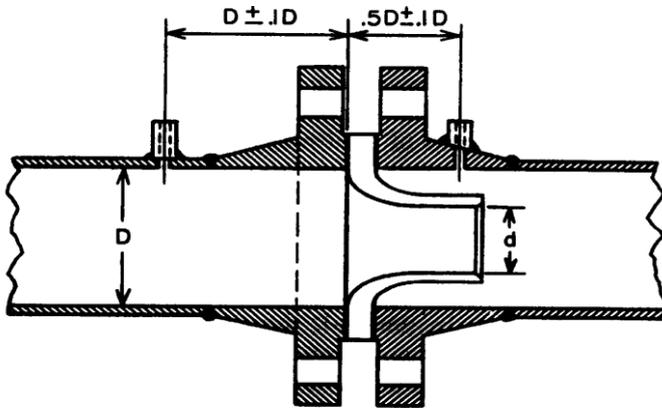


Figura 146.

A. Bocal ISA 1932

Neste tipo de bocal as tomadas de pressão são do tipo em canto (corner taps). Possui as limitações de:

$$0,32 < \beta < 0,8$$

$$50\text{mm} < D < 500\text{mm}$$

$$2 \cdot 10^4 < RD < 10^7$$

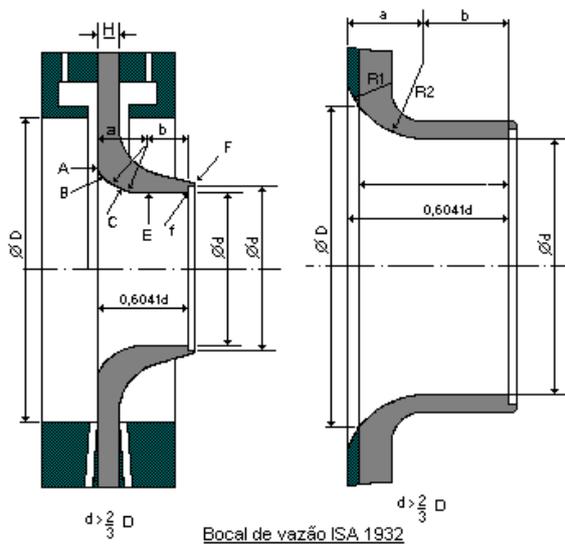


Figura 147.

## Medidor de Área Variável (ROTÂMETROS)

Rotômetros são medidores de vazão por área variável, nos quais um flutuador varia sua posição dentro de um tubo cônico, proporcionalmente à vazão do fluido.

Basicamente, um rotômetro consiste de duas partes.

1) Um tubo de vidro de formato cônico, o qual é colocado verticalmente na tubulação em que passará o fluido que queremos medir. A extremidade maior do tubo cônico ficará voltada para cima.

2) No interior do tubo cônico teremos um flutuador que se moverá verticalmente, em função da vazão medida.

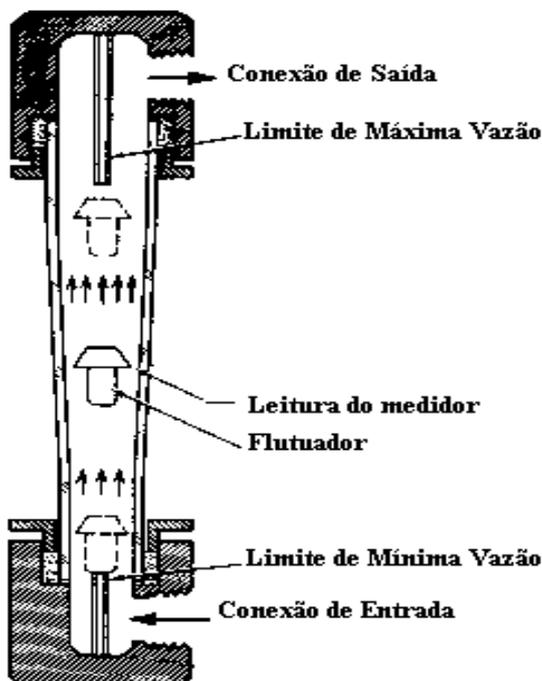


Figura 148.

O fluido passa através do tubo da base para o topo. Quando não há vazão, o flutuador permanece na base do tubo e seu diâmetro maior é usualmente selecionado de tal maneira que bloqueie a pequena extremidade do tubo, quase que completamente. Quando a vazão começa e o fluido atinge o flutuador, o empuxo torna o flutuador mais leve; porém, como o flutuador tem uma densidade maior que a do fluido, o empuxo não é suficiente para levantar o flutuador.

A área de passagem oferece resistência à vazão e a queda de pressão do fluido começa a aumentar. Quando a pressão diferencial, somada ao efeito de empuxo do líquido, excede a pressão devido ao peso do flutuador, então o flutuador sobe e flutua na corrente fluida.

Com o movimento ascendente do flutuador em direção à parte mais larga do tubo, a área anular, entre a parede do tubo de vidro e a periferia do flutuador, aumenta. Como a área aumente, o diferencial de pressão devido ao flutuador decresce. O flutuador ficará em equilíbrio dinâmico quando a pressão diferencial através do flutuador somada ao efeito do empuxo contrabalançar o peso do flutuador.

Qualquer aumento na vazão movimentará o flutuador para a parte superior do tubo de vidro e a diminuição causa uma queda a um nível mais baixo. Cada posição do flutuador corresponde a um valor determinado de vazão e somente um. É somente necessário colocar uma escala calibrada na parte externa do tubo e a vazão poderá ser determinada pela observação direta da posição do flutuador.

### CONDIÇÕES DE EQUILÍBRIO

As forças que atuam no flutuador estão representadas na figura a seguir. Para as condições de equilíbrio empregamos as seguintes equações:

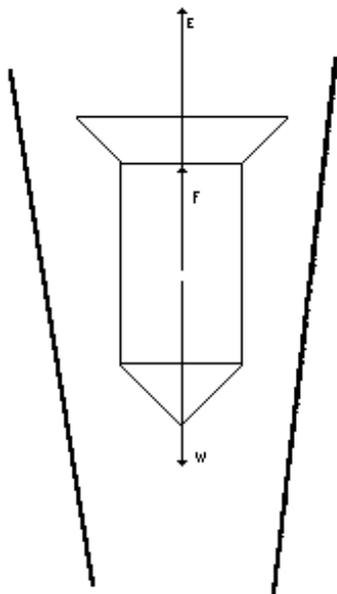


Figura 149.

$$W = v_f \cdot \gamma_f$$

$$E = v_f \cdot \gamma_1$$

$$F = C_d \cdot \gamma_1 \cdot A_f \cdot \frac{V^2}{2g}$$

$$2g$$

em que:

$W$  = peso do flutuador

$v_f$  = volume do flutuador

$y_f$  = peso específico do flutuador

$y_l$  = peso específico do fluido

$F$  = força de arraste do fluido sobre o flutuador

$E$  = força de empuxo do fluido sobre o flutuador

$C_d$  = coeficientes de arraste do fluido sobre o flutuador

$V$  = velocidade do fluido

$A_f$  = área da seção do flutuador

$A_w$  = seção interior do tubo ( livre )

Resolvendo as equações anteriores temos :

$$V = \sqrt{\frac{2g \cdot v_f \cdot (y_f - y_l)}{C_d \cdot y_l \cdot A_f}}$$

O valor de  $C_d$  depende da viscosidade do fluido e da aerodinâmica do flutuador . Por conveniência incorporamos o termo  $\sqrt{\frac{1}{C_d}}$  a este coeficiente de descarga , passando a expressão anterior para :

$$V = \sqrt{\frac{2g \cdot v_f \cdot (y_f - y_l)}{y_l \cdot A_f}}$$

Como a vazão é igual a :  $Q = V \cdot A_w$  temos:

$$Q = A_w \cdot \sqrt{\frac{2g \cdot v_f \cdot (y_f - y_l)}{y_l \cdot A_f}}$$

Como todos os dados dentro da raiz são constantes ( temperatura e viscosidade constantes ) podemos concluir que a vazão varia *linearmente* com a área de passagem, assim teremos uma escala de leitura também linear.

Os Flutuadores podem ter vários perfis de construção . Na figura a seguir , podemos ver os tipos mais utilizados :

1- Esférico - Para baixas vazões e pouca precisão ; sofre uma influência considerável da viscosidade do fluido .

2- Cilindro com Bordo Plana - Para vazões médias e elevadas ; sofre uma influência média da viscosidade do fluido .

3- Cilindro com Bordo Saliente de Face Inclínada para o Fluxo - Sofre menor influência da viscosidade do fluido .

4- Cilindro com Bordo Saliente contra o Fluxo - Sofre a mínima influência da viscosidade do fluido .

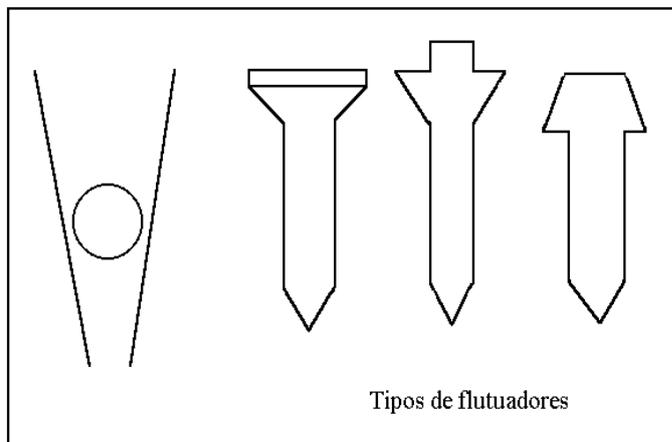


Figura 150.

### Medidor Tipo Turbina

O medidor é constituído basicamente por um rotor montado axialmente na tubulação . O rotor é provido de aletas que o fazem girar quando passa um fluido na tubulação do processo . Uma bobina captadora com um imã permanente é montada externamente fora da trajetória do fluido .

Quando este se movimenta através do tubo , o rotor gira a uma velocidade determinada pela velocidade do fluido e pelo ângulo das lâminas do rotor . À medida que cada lâmina passa diante da bobina e do imã , ocorre uma variação da *relutância* do circuito magnético e no fluxo magnético total a que está submetida a bobina . Verifica-se então a indução de um ciclo de tensão alternada .

A freqüência dos pulsos gerados desta maneira é proporcional á velocidade do fluido e a Vazão pode ser determinada pela medição / totalização de pulsos .

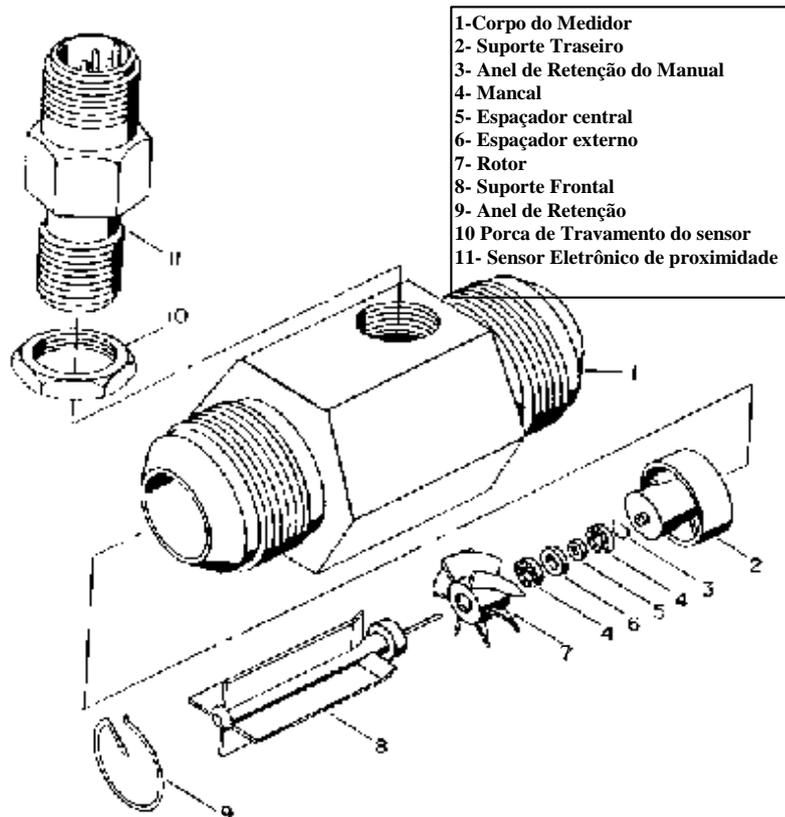


Figura 151.

### Influência da Viscosidade

Como visto acima a frequência de saída do sensor é proporcional à vazão, de forma que é possível, para cada turbina, fazer o levantamento do coeficiente de vazão  $K$ , que é o parâmetro de calibração da turbina, expresso em ciclos(pulsos) por unidade de volume.

Numa turbina ideal este valor  $K$  seria uma constante independente da viscosidade do fluido medido. Observa-se, entretanto, que à medida que a viscosidade aumenta, o fator  $K$  deixa de ser uma constante e passa a ser uma função da viscosidade e da frequência de saída da turbina. Abaixo de 2 cSt de viscosidade, o coeficiente  $K$  é aproximadamente constante para frequências de saída acima de 50 Hz.

Cada turbina sofre uma calibração na fábrica, usando água como fluido. Os dados obtidos são documentados e fornecidos junto com a turbina. Usando estes dados obtêm-se o fator médio de calibração  $K$  relativo à faixa de vazão específica. O fator é representado pela seguinte expressão:

$$K = 60.f / Q$$

OBS.: Relutância: é a dificuldade que um material magnético oferece as linhas magnéticas, o contrário é permeância.

## Medidor Eletromagnético de Vazão

O medidor magnético de vazão é seguramente um dos medidores mais flexíveis e universais dentre os métodos de medição de vazão. Sua perda de carga é equivalente a de um trecho reto de tubulação, já que não possui qualquer obstrução. É virtualmente insensível à densidade e à viscosidade do fluido de medição. Medidores magnéticos são portanto ideais para medição de produtos químicos altamente corrosivos, fluidos com sólidos em suspensão, lama, água, polpa de papel. Sua aplicação estende-se desde saneamento até indústrias químicas, papel e celulose, mineração e indústrias alimentícias. A única restrição, em princípio é que o fluido tem que ser eletricamente condutivo. Tem ainda como limitação o fato de fluidos com propriedades magnéticas adicionarem um certo erro de medição.

O medidor eletromagnético é um elemento primário de vazão volumétrica, independente da densidade e das propriedades do fluido (newtoniano ou não newtoniano). Este medidor não possui obstrução, e portanto, apresenta uma perda de carga equivalente a um trecho reto de tubulação. Para medição de líquidos limpos com baixa viscosidade o medidor eletromagnético é uma opção. Se o líquido de medição tiver partículas sólidas e abrasivas, como polpa de mineração ou papel, ele é praticamente a única alternativa.

Como o mesmo possui como partes úmidas apenas os eletrodos e o revestimento, é possível através de uma seleção cuidadosa destes elementos, medir fluidos altamente corrosivos como ácidos e bases. É possível, por exemplo a medição de ácido fluorídrico, selecionando-se eletrodos de platina e revestimento de teflon. Outro fluido, particularmente adequado para medição por essa técnica é o da indústria alimentícia. Como o sistema de vedação dos eletrodos não possui reentrâncias, as aprovações para uso sanitário são facilmente obtidas.

O medidor eletromagnético de vazão é baseado na Lei de Faraday. Esta lei foi descoberta por um cientista inglês chamado FARADAY em 1831, cerca de 165 anos atrás. Segundo esta lei, quando um objeto condutor se move em um campo magnético, uma força eletromotriz é gerada.

A relação entre a direção do campo magnético, movimento do fluido e fem induzida, pode facilmente ser determinada pela regra da mão direita de FLEMING. No caso do medidor eletromagnético o corpo móvel é o fluido que flui através do tubo detector. Desta forma, a direção do campo magnético, a vazão, e a fem estão posicionadas uma em relação a outra de um ângulo de 90 graus.

A fem induzida no medidor eletromagnético é expressa pela seguinte equação:

$$E = B.d.V \quad (1)$$

onde: E: fem induzida (V)

B: densidade do fluxo magnético (T)

d: diâmetro interno do detector (m)

V: velocidade do fluido (m/s)

De acordo com a equação 1, levando-se em consideração que a densidade de fluxo magnético B é constante, temos que a fem é proporcional à velocidade.

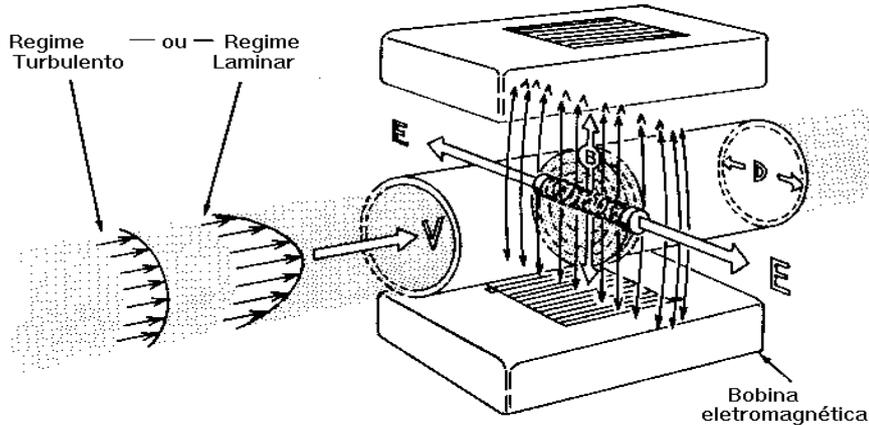


Figura 152.

Para a vazão temos a seguinte fórmula:

$$Q = S \cdot V \quad (2)$$

onde: Q: vazão

S: área da secção transversal do tubo (m)

V: velocidade média do fluido (m/s)

Fazendo uso das equações (1) e (2), podemos determinar que a fem induzida é proporcional à vazão.

$$S = \pi \cdot d^2 / 4 \quad (3)$$

$$E = B \cdot d \cdot V \quad (4)$$

Substituindo a equação (3) e (4) na equação (2).

$$Q = S \cdot V$$

$$Q = (\pi \cdot d^2 \cdot E) / (4 \cdot B \cdot d)$$

$$Q = (\pi \cdot d \cdot E) / (4 \cdot B) \quad (5)$$

Na equação 5, se B constante, então Q será proporcional a E, pois  $\pi \cdot d^2 / 4B$  torna-se constante. Em outras palavras, a fem induzida E, se conhecida, irá representar a vazão Q.

Para se conseguir retirar um sinal elétrico proporcional à vazão, é necessário que o interior do tubo seja isolado eletricamente. Se isto não for feito a fem será curto-

circuitada e dessa forma , não estará presente nos eletrodos . Se o tubo fosse de material isolante não haveria problema , mas , geralmente o tubo é feito de material condutor . Para evitar que a fem seja curto-circuitada pela parede condutiva do tubo , um isolante tal como teflon , borracha de poliuretano ou cerâmica . A escolha do material isolante é feita em função do tipo de fluido.

### **Eletrodo**

Eletrodos são dois condutores instalados na parede do tubo , para receber a tensão induzida no fluido . Existem vários materiais de fabricação tais como : aço inox , monel , hastelloy , platina e outros que dependem do tipo de fluido a ser medido .

### **Tubo Detetor**

O material de fabricação do tubo do medidor não pode ser de substâncias ferromagnéticas, tais como aço ou níquel, pois as mesmas causam distúrbios no campo eletromagnético, desta forma é geralmente usado para fabricação do detetor. Na prática o aço inox é o mais usado.

### **Influência da Condutividade**

A influência da condutividade nos medidores de vazão deve ser entendida como se específica a seguir. Considera-se o elemento primário como um gerador simples desenvolvendo uma fem  $e$ , conectado em série com a resistência interna do fluido  $R_f$ . A fem deste gerador é recebida pelo elemento secundário, que tem uma resistência  $R_s$ . A resistência  $R_f$  do fluido entre os eletrodos é dada aproximadamente pela seguinte fórmula:

$$R_f = 1 / E.d_e$$

Onde:

$E$  é a condutividade do fluido em siemens/ metro (S/m) (=mho/m) e

$d_e$  é o diâmetro dos eletrodos.

Desta forma, a relação da tensão de saída à tensão gerada é:

$$e_s / e = 1 - 1 / (1 + R_s \cdot E \cdot d_e)$$

Exemplificando: Se a impedância  $R_s$ , é de  $1 \text{ M}\Omega$  o fluido água com condutividade de  $0,01 \text{ S/m}$  e o diâmetro de eletrodo de  $0,01\text{m}$ , temos:

$$e_s / e = 1 - 1 / (1 + 10^6 \cdot 10^{-2} \cdot 10^{-2}) = 1 - 1 / (1 + 100) = 0,99$$

ou seja, 99%. Se a condutividade do fluido fosse aumentada de um fator 10, a relação acima passaria a 99,9%, ou seja: um aumento de 100% na condutividade só provocaria uma mudança inferior a 1% na relação. Todavia, se a condutividade tivesse diminuído 10 vezes, a relação  $e_s/e$  teria passado a 90% ou seja, 10% de variação.

Observamos, então, que, a partir de um certo *limite de condutividade*, que depende de determinadas combinações entre o elemento primário e o secundário, não há problema de influência de condutividade do fluido sobre a precisão da medição, desde que seja superior aos limites recomendados.

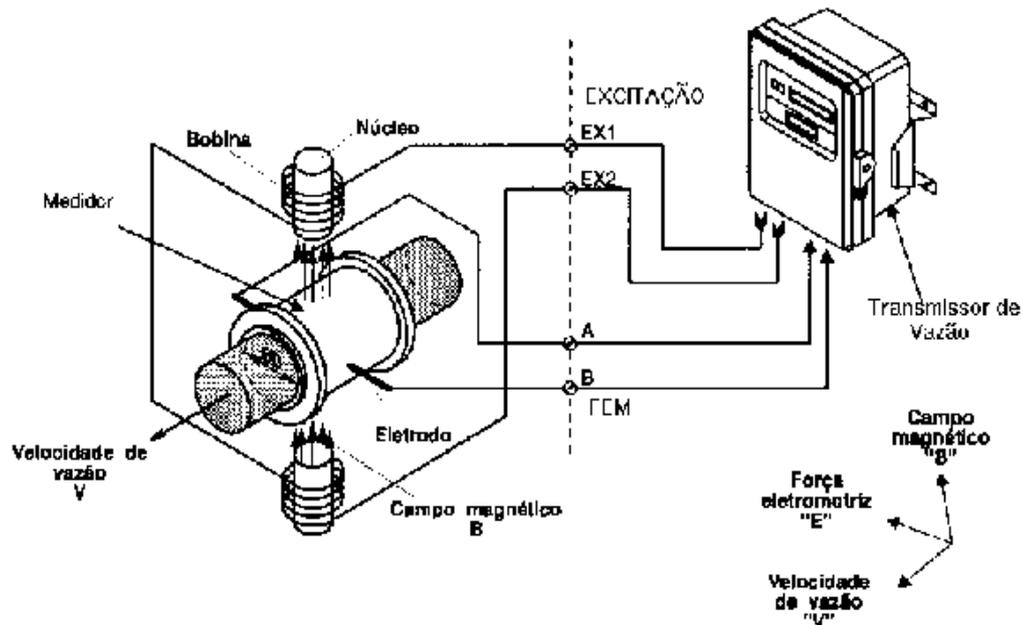


Figura 153.

### Aterramento

Por razões de segurança do pessoal e para obter uma medição de vazão satisfatória, é muito importante atender todos os requerimentos dos fabricantes quanto ao aterramento. Uma interligação elétrica permanente entre o fluido, o medidor, a tubulação adjacente e um ponto de terra comum é especialmente importante quando a condutividade do líquido é baixa.

A forma de efetuar o aterramento depende do tipo de medidor (revestimento interno, etc.). Quando o medidor é instalado entre tubulações não metálicas ou revestidas internamente, é normal instalar anéis metálicos entre os flanges do medidor e a tubulação. Assim é obtido o contato elétrico com o fluido para posterior aterramento. Estes anéis devem ser de diâmetro interno igual ao medidor e de diâmetro externo menor que a circunferência de furos dos flanges do medidor

### Escolha do Diâmetro

Os medidores magnéticos industriais apresentam um melhor desempenho relativo à precisão, quando a vazão medida corresponde a uma velocidade apreciável. Devem ser levadas em conta considerações relativas ao compromisso entre a decantação/incrustação e abrasão. Tipicamente, eles têm uma precisão de 1% da escala quando a velocidade que corresponde ao fim da escala de vazão, é superior a 1m/s e 2% quando compreendido entre 0,3 e 1m/s (os valores numéricos citados

variam dependendo do fabricante). Os fabricantes apresentam ábacos de escolha para seus medidores onde, conhecendo a velocidade ou a vazão máxima a medir, pode ser determinado o diâmetro do medidor magnético para efetuar a medição.

## Medidores Ultra-sônicos

Os medidores de vazão que usam a velocidade do som como meio auxiliar de medição podem ser divididos em dois tipos principais:

- Medidores a efeito doppler
- Medidores de tempo de trânsito.

Existem medidores ultra-sônicos nos quais os transdutores são presos à superfície externa da tubulação, e outros com os transdutores em contato direto com o fluido. Os transdutores-emissores de ultra-sons consistem em cristais piezoelétricos que são usados como fonte de ultra-som, para enviar sinais acústicos que passam no fluido, antes de atingirem os sensores correspondentes.

### Medidores por efeito Doppler

O efeito Doppler é aparente variação de freqüência produzida pelo movimento relativo de um emissor e de um receptor de freqüência. No caso, esta variação de freqüência ocorre quando as ondas são refletidas pelas partículas móveis do fluido. Nos medidores baseados neste princípio ( ver figura abaixo ), os transdutores-emissores projetam um feixe contínuo de ultra-som na faixa das centenas de khz. Os ultra-sons refletidos por partículas veiculadas pelo fluido têm sua freqüência alterada proporcionalmente ao componente da velocidade das partículas na direção do feixe. Estes instrumentos são conseqüentemente adequados para medir vazão de fluidos que contêm partículas capazes de refletir ondas acústicas.

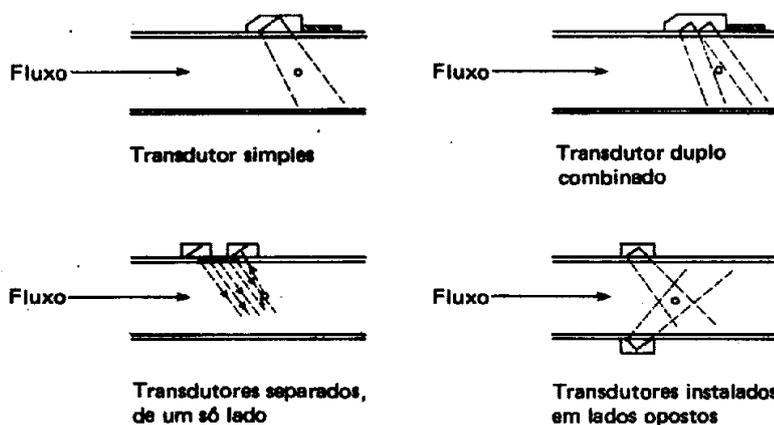


Figura 154.

### Medidores de Tempo de Trânsito

Ao contrário dos instrumentos anteriores, estes instrumentos não são adequados para medir vazão de fluidos que contêm partículas. Para que a medição seja possível, os medidores de tempo de trânsito devem medir vazão de fluidos relativamente limpos. Nestes medidores ( ver figura abaixo ), um transdutor – emissor - receptor de ultra-sons é fixado à parede externa do tubo, ao longo de duas geratrizes diametralmente

opostas. O eixo que reúne os emissores - receptores forma com o eixo da tubulação, um ângulo  $\alpha$ .

Os transdutores transmitem e recebem alternadamente um trem de ondas ultra-sônicas de duração pequena. O tempo de transmissão é levemente inferior ( $t_1$ ) orientada para a jusante, e levemente superior ( $t_2$ ) quando orientada para a montante. Sendo  $L$  a distância entre os sensores,  $V_1$  a velocidade média do fluido e  $V_2$  a velocidade do som no líquido considerado, temos:

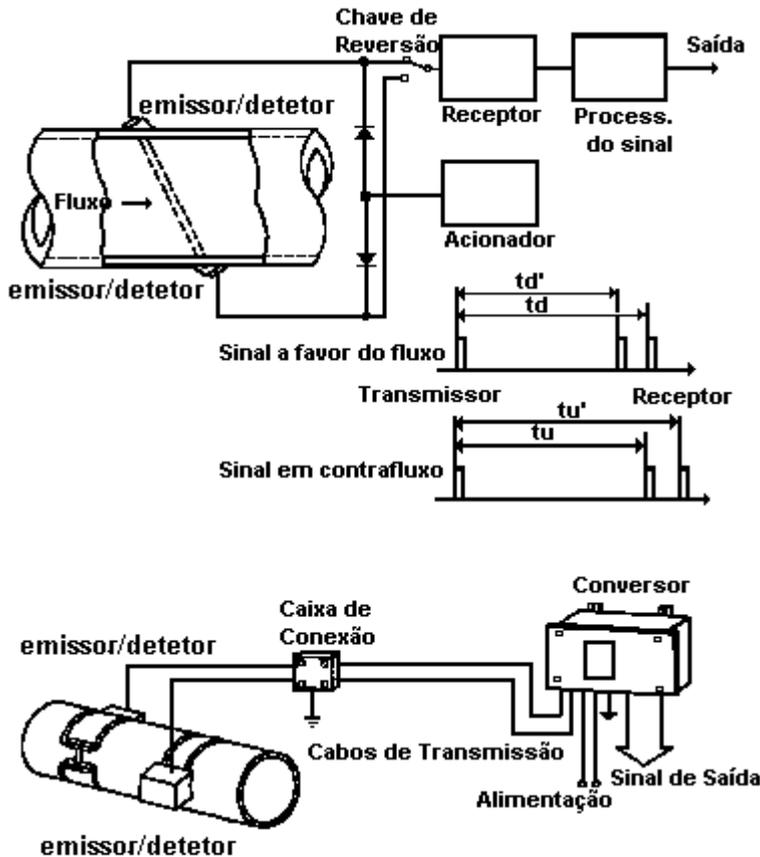


Figura 155.

$$\frac{1}{t_1} = \frac{V_s - V_1 \cos \alpha}{L}$$

$$\frac{1}{t_2} = \frac{V_s + V_1 \cos \alpha}{L}$$

A diferença dos tempos de trânsito  $t_1$  e  $t_2$  serve como base de medição da velocidade  $V_1$ .

Os dois tipos de medidores são complementares, já que o primeiro opera com líquidos que contêm partículas sólidas ou gasosas e o segundo requer fluídos limpos. Em ambos os tipos de medidores, o perfil de velocidades da veia fluida deve ser compensado.

Nos medidores de efeito Doppler, e dependendo das realizações práticas, a influência da densidade de partículas reflexivas poderá introduzir erros suplementares. Quando a quantidade de partículas for muito grande, as partículas próximas dos sensores, que são as mais lentas, serão as que mais contribuem na reflexão das ondas, introduzindo um erro para menos. Nos medidores de tempo de trânsito, a configuração geométrica do percurso do feixe acústico é perfeitamente definida. Será, então, possível corrigir a leitura adequadamente, levando em consideração o perfil padrão em função do número de Reynolds do escoamento.

Os circuitos eletrônicos dos instrumentos são previstos para eliminar os efeitos das turbulências, efetuando continuamente a média das velocidades numa base de tempo relativamente longa. É desaconselhada a aplicação destes instrumentos a produtos que depositam na superfície interna do tubo, formando uma camada absorvente de energia acústica.

### Medidor por Efeito Coriolis

É um instrumento de grande sucesso no momento, pois tem grande aplicabilidade desde indústria alimentícia, farmacêutica, química, papel, petróleo etc. e sua medição, independe das variáveis de processo - densidade, viscosidade, condutibilidade, pressão, temperatura, perfil do fluído.

Resumidamente, um medidor Coriolis possui dois componentes: tubos de sensores de medição e transmissor. Os tubos de medição são submetidos a uma oscilação e ficam vibrando na sua própria freqüência natural à baixa amplitude, quase imperceptível a olho nu. Quando um fluído qualquer é introduzido no tubo em vibração, o efeito do Coriolis se manifesta causando uma deformação, isto é, uma torção, que é captada por meio de sensores magnéticos que geram uma tensão em formato de ondas senoidais.

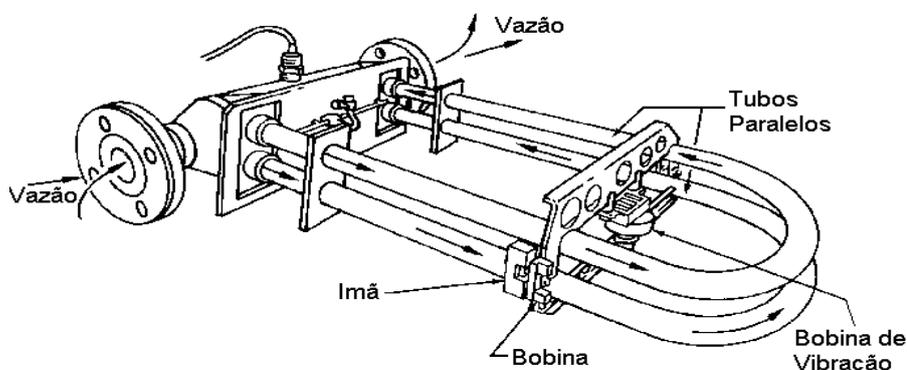


Figura 156.

As forças geradas pelos tubos criam uma certa oposição à passagem do fluido na sua região de entrada (região da bobina1) , e em oposição auxiliam o fluído na região de saída dos tubos.

O atraso entre os dois lados é diretamente proporcional à vazão mássica. Um RTD é montado no tubo, monitorando a temperatura deste, a fim de compensar as vibrações das deformações elásticas sofridas com a oscilação da temperatura.

O transmissor é composto de um circuito eletrônico que gera um sinal para os tubos de vazão, alimenta e recebe o sinal de medida, propiciando saídas analógicas 4 à 20 mA, de frequência (0 à 10 mil Hz) e até digital RS 232 e/ou RS 485. Estas saídas são enviadas para instrumentos receptores que controlam bateladas, indicam vazão instantânea e totalizada, ou para PLCs, SDCDs, etc.

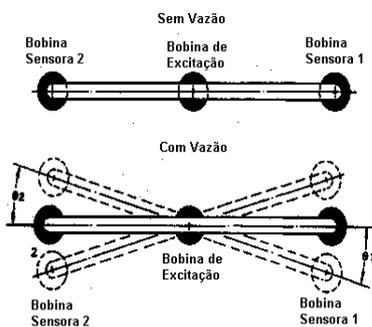


Figura 157.

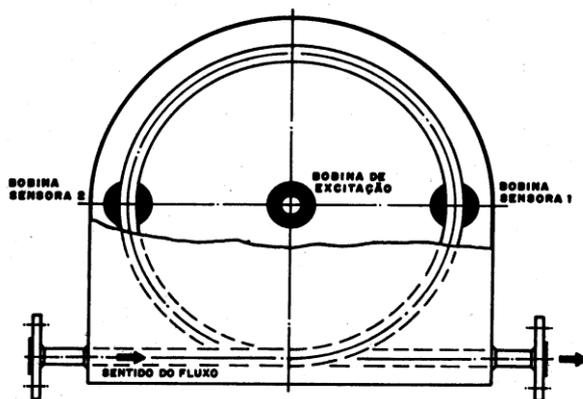


Figura 158.

Podemos encontrar o modelo com tubo reto , neste modelo , um tubo de medição oscila sobre o eixo neutro A-B sendo percorrido por um fluido com velocidade “V”.

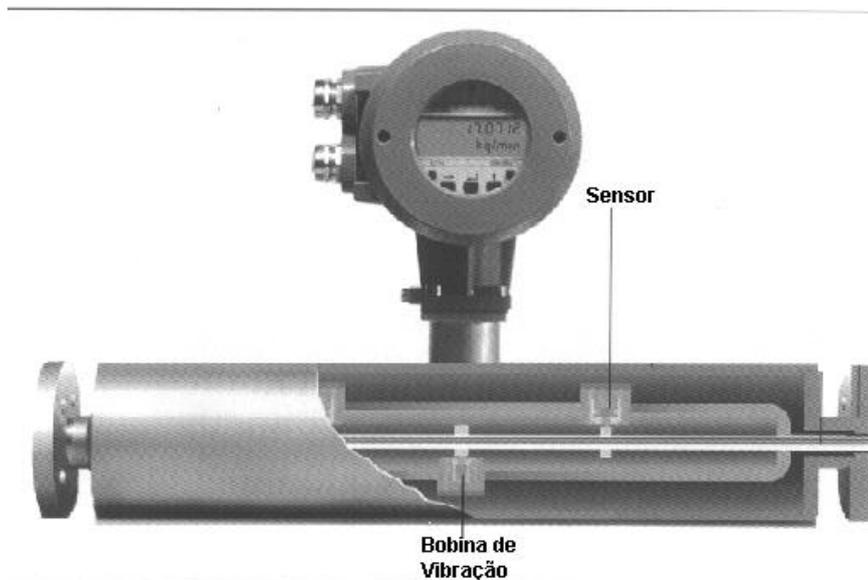


Figura 159.

Entre os pontos A-C as partículas do fluido são aceleradas de uma baixa para uma alta velocidade rotacional. A massa destas partículas aceleradas geram as forças de Coriolis ( $F_c$ ) oposta a direção de rotação. Entre os pontos C-B as partículas do fluido são desaceleradas o que leva a força de Coriolis no mesmo sentido da rotação. A força de Coriolis ( $F_c$ ), a qual atua sobre as duas metades do tubo com direções opostas, é diretamente proporcional à vazão mássica. O método de detecção é o mesmo do sistema anterior.

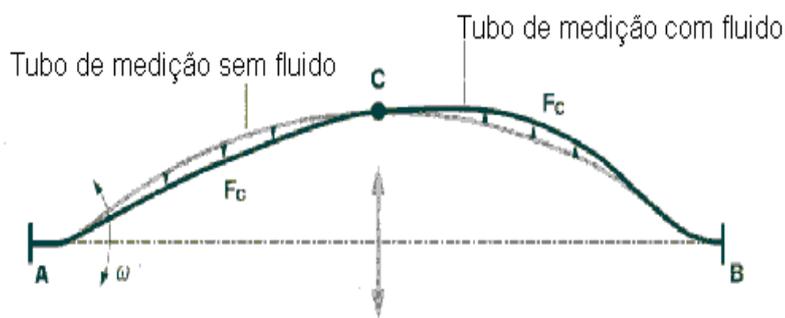


Figura 160.

### Medidor DE VAZÃO TIPO VORTEX

Quando um anteparo de geometria definida é colocado de forma a obstruir parcialmente uma tubulação em que escoar um fluido, ocorre a formação de vórtices; que se desprendem alternadamente de cada lado do anteparo, como mostrado na figura abaixo. Este é um fenômeno muito conhecido e demonstrado em todos os livros de mecânica dos fluidos.

Os vórtices também podem ser observados em situações freqüentes do nosso dia a dia, como por exemplo:

O movimento oscilatório da plantas aquáticas, em razão da correnteza;

As bandeiras flutuando ao vento;

As oscilações das copas das árvores ou dos fios elétricos quando expostas ao vento.

Assumindo que a frequência de geração dos vórtices provocados por um obstáculo colocado verticalmente no sentido de movimento de um fluido seja “f”, a velocidade do fluido seja “V” e a dimensão do obstáculo perpendicular ao sentido do fluxo seja “d”, a seguinte relação é obtida:

$$f = St \cdot V/d \quad (1)$$

St = número de Strouhal

Esta equação pode ser aplicada a um medidor vortex, quando medindo vazão em uma tubulação de processo. Adicionalmente, neste caso a seguinte expressão também é válida:

$$Q = A \cdot V \quad (2)$$

onde, Q = vazão volumétrica

A = área da seção da tubulação

Mediante uma simples substituição, e consideramos os parâmetros constantes agrupados em único fator, teremos:

$$Q = k \cdot f \quad (3)$$

Número de Strouhal É a relação entre o intervalo “L” entre cada vórtice e a dimensão “d” do anteparo perpendicular ao sentido do fluxo ou seja,

$$St = L/d \quad (4)$$

Logo, conforme pode ser verificado nas expressões acima, se o número de Strouhal for constante, a vazão volumétrica do fluido pode ser medida pela contagem do número de vórtices.

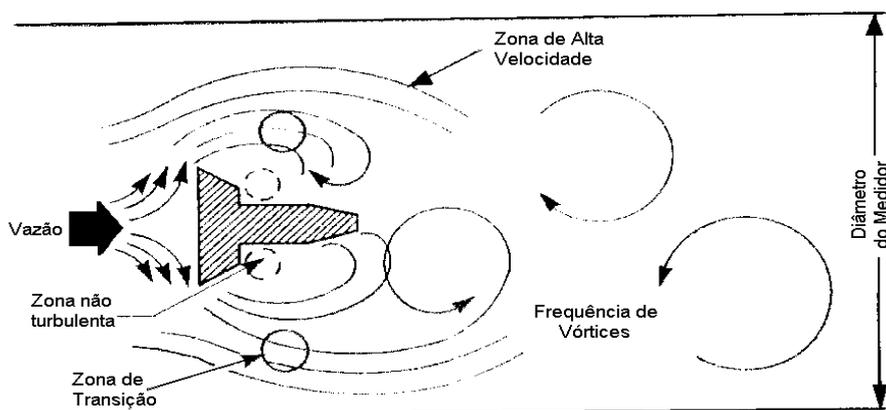


Figura 161.

Para uma ampla faixa de número de Reynolds que define o regime de escoamento, temos que  $St$  é constante, conforme pode ser verificado no gráfico abaixo. Logo, para a imensa maioria das aplicações industriais, que estão situadas na faixa de número de Reynolds entre  $2 \times 10^4$  e  $7 \times 10^6$ , todas as expressões anteriores são totalmente válidas.

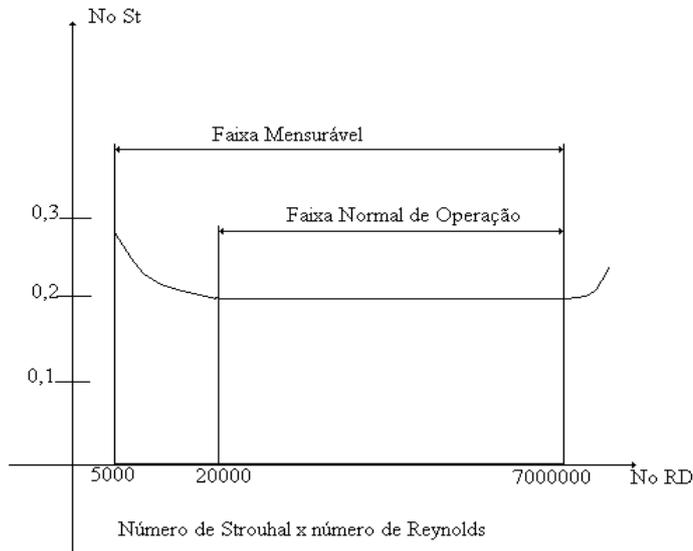


Figura 162.

Adicionalmente, nesta faixa, a frequência "f" de geração de vórtices não é afetada por variações na viscosidade, densidade, temperatura ou pressão do fluido

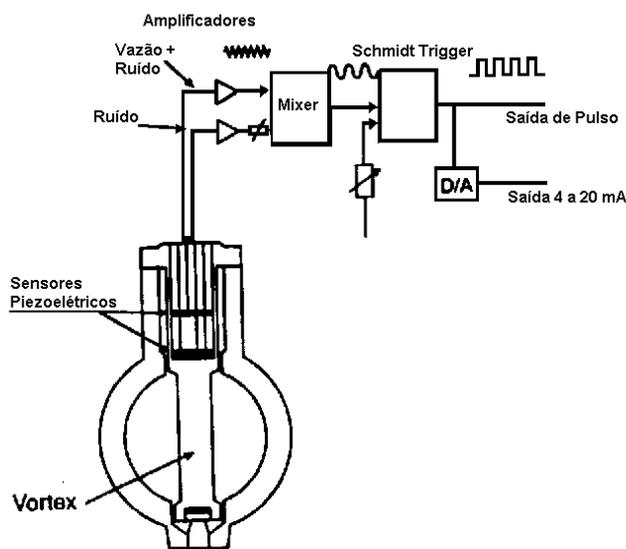


Figura 163.

**Método de detecção dos vórtices**

As duas maiores questões referentes ao desenvolvimento prático de um medidor de vazão, baseado nos princípios anteriormente mencionados, são:

a) A criação de um obstáculo gerador de vórtices (vortex shedder) que possa gerar vórtices regulares e de parâmetros totalmente estabilizados. Isto determinará a precisão do medidor.

b) O projeto de um sensor e respectivo sistema eletrônico para detectar e medir a frequência dos vórtices. Isto determinará os limites para as condições de operação do medidor.

Vortex shedder - Numerosos tipos de vortex shedder, com diferentes formas, foram sistematicamente testados e comparados em diversos fabricantes e centros de pesquisa. Um shedder com formato trapezoidal foi o que obteve um desempenho considerado ótimo.

O corte trapezoidal proporciona excelente linearidade na frequência de geração dos vórtices, além de extrema estabilidade dos parâmetros envolvidos.

**Sistema sensor**

Vários tipos de sensores têm sido propostos, porém nenhum mostrava-se totalmente adequado para resistir às severas condições de trabalho, as quais o medidor seria submetido no processo. A tabela abaixo apresenta a variedade de sensores que estiveram, ou ainda estão, disponíveis no mercado.

Tabela 20.

Grandeza Detectada	Sistema de Detecção	Tipo de Sensor
Mudanças na velocidade do fluxo	Troca Térmica	Termistor
	Variações de frequência ultra-sônica	Feixe de Ultra-som
Mudanças de Pressão	Detecção de Pressão Diferencial	Diafragma + Elementos Piezoelétricos
		Diafragma Capacitivo
		Diafragma Indutivo
	Equilíbrio de movimento	Strain-gauge
		Esfera + Indutância
	Deformações sobre o Vortex shedder	Strain gauge
Tensão ( Stress ) sobre o Vortex shedder	Elementos Piezoelétricos	

## Medidores térmicos

Os medidores térmicos são baseados em equações simples de transferência de calor. Esta técnica consiste em aquecer a corrente fluida por meio de uma resistência elétrica. A potência fornecida à resistência (Q) é igual ao calor transferido ao fluido e é medida por meio de um Wattímetro.

A temperatura do fluido é medida à montante (T1) e a jusante (T2) da resistência de aquecimento, por meio de um termopar ou por uma termoresistência. A vazão mássica é então igual ao calor transferido Q dividido pelo produto do calor específico do fluido medido (Cp) pela diferença de temperatura (T1-T2).

$$W = \frac{Q}{C_p(T_1 - T_2)}$$

## MEDIDORES DE VAZÃO EM CANAIS ABERTOS

Os dois principais tipos são: o vertedor e a calha de Parshall.

### Vertedor

O vertedor mede a altura estática do fluxo em reservatório que verte o fluido de uma abertura de forma variável.

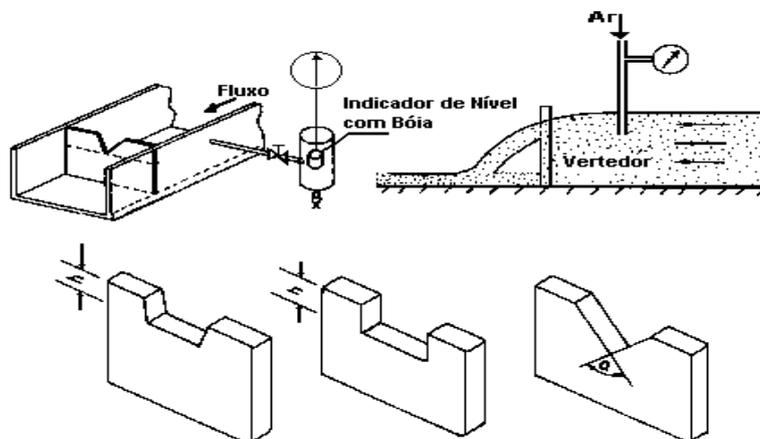


Figura 164.

### Calha de Parshall

O medidor tipo calha de Parshall é um tipo de Venturi aberto que mede a altura estática do fluxo. É um medidor mais vantajoso que o vertedor, porque apresenta menor perda de carga e serve para medir fluidos com sólidos em suspensão.

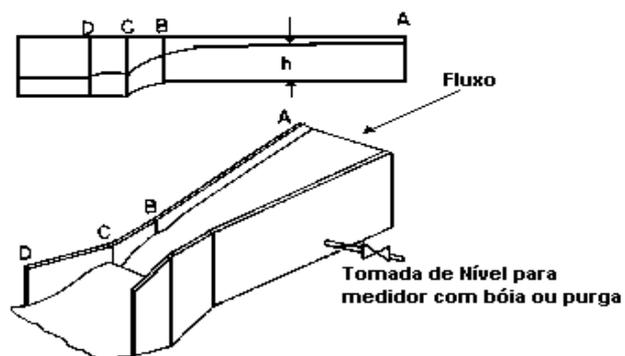


Figura 165.

Tabela 21. CONVERSÃO DE UNIDADES: UNIDADES DE VAZÃO VOLUMÉTRICA

PARA OBTER O RESULTADO EXPRESSO EM	$m^3/h$	$m^3/min$	$m^3/s$	GPM	BPH	BPD	pé <sup>3</sup> /h	pé <sup>3</sup> /min
MULTIPLICADOR POR								
O VALOR EXPRESSO EM								
$m^3/h$	1	0,016667	0,00027778	4,40287	6,28982	150,956	35,314	0,588579
$m^3/min$	60	1	0,016667	264.1721	377.3892	9057,34	2118,8802	35.3147
$m^3/s$	3600	60	1	15.850.33	22.643.35	543.440,7	127 132,81	2118,884
Galão por minuto GPM	0,22712	0,0037854	$63,09 \cdot 10^{-6}$	1	1.42857	34.2857	8,0208	0,13368
Barril por hora BPH	0,158987	0,0026497	$44.161 \cdot 10^{-6}$	0,7	1	24	5.614583	0,0935763
Barril por dia BPD	0,0066245	0,00011041	$1.8401 \cdot 10^{-6}$	0,029167	0,041667	1	0,23394	0,0038990
pé <sup>3</sup> /h CFH	0,0283168	0,00047195	$7.8657 \cdot 10^{-6}$	0,124676	0,178108	4.2746	1	0,016667
pé <sup>3</sup> /s CFS	1,69901	0,028317	0,00047195	7,480519	10,686	256,476	60	1

Tabela 22. CONVERSÃO DE UNIDADES: UNIDADES DE VAZÃO MÁSSICA

<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;">PARA OBTER O RESULTADO EXPRESSO EM</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;">MULTIPLICADOR POR</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;">O VALOR EXPRESSO EM</div>		t/dia	t/h	Kg/h	Kg/s	lb/h	lb/min	lb/s
<b>tonelada/dia</b>	<b>t/dia</b>	1	0,041667	41,667	0,011574	91,858	1.5310	0,025516
<b>tonelada/hora</b>	<b>t/h</b>	24	1	1000	0,27778	2204,6	36,7433	0,61239
<b>kilograma/hora</b>	<b>kg/h</b>	0,0240	0,001	1	0,000278	2,2046	0,03674	0,000612
<b>kilograma/segundo</b>	<b>kg/s</b>	86,400	3,6	3600	1	7936,6	132,276	2,2046
<b>libra/hora</b>	<b>lb/h</b>	0,01089	0,0004536	0,4536	0,000126	1	0,01667	0,000278
<b>libra/minuto</b>	<b>lb/min</b>	0,65317	0,02722	27,216	0,00756	60	1	0,01667
<b>libra segundo</b>	<b>lb/s</b>	39,1907	1,63295	1 632,95	0,45360	3600	60	1

## VÁLVULAS DE CONTROLE

É um mecanismo que varia a quantidade de energia ou material (agente de controle), em resposta ao sinal enviado pelo controlador, a fim de manter a variável controlada em um valor (ou faixa de valores) pré - determinado.



Figura 166.

A **válvula de controle** é o **elemento final** mais usado nos sistemas de controle industrial. Em sistemas de controle gases e ar são também usados o “damper”, porém poderemos citar outros elementos, tais como: inversores de frequência, resistências elétricas, motores, variadores de velocidade, etc.



Figura 167. Dumper



Figura 168. Inversor de Freqüência

Como o controlador, o elemento final de controle pode ser operado por meios elétricos, pneumáticos e mecânicos.

A posição do elemento final de controle (EFC) na cadeia automática de controle é mostrado na figura a seguir.

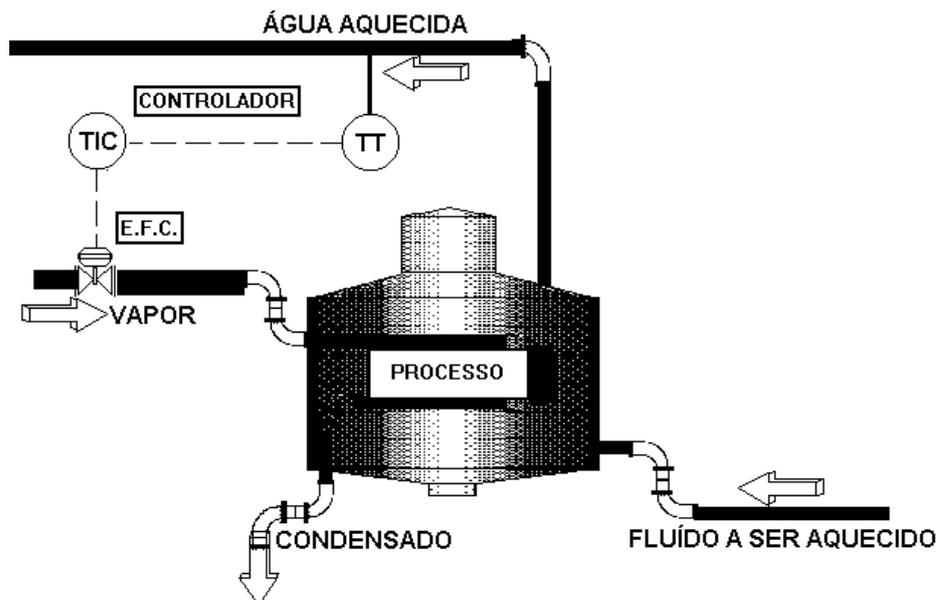


Figura 169.

A válvula de controle desempenha um papel muito importante no controle automático de modernas indústrias, que dependem da correta distribuição e controle de fluidos líquidos e gasosos. Tais controles, sejam para trocas de energia, redução de pressão ou simplesmente para encher um reservatório, dependem de algum tipo de **elemento final de controle** para fazer esse serviço.

Os elementos finais de controle podem ser considerados como o “músculo” do controle automático. Eles fornecem a necessária amplificação de forças entre os

baixos níveis de energia, fornecidos pelos controladores, e os maiores níveis de energia necessários para desempenho de suas funções de fluidos.

A válvula de controle é o elemento final de controle mais utilizado. Outros tipos de elementos finais de controle podem ser bombas dosadoras, dampers e louvers (variação de válvula borboleta), hélice de passo variável, motores elétricos para posicionamento de equipamentos que não sejam válvulas, etc.

Apesar de largamente utilizada, provavelmente não exista outro elemento qualquer no sistema de controle, que receba menor parcela de atenção. Em muitos sistemas, a válvula de controle é mais sujeita a severas condições de pressão, temperatura, corrosão e contaminação do que qualquer outro componente, e ainda assim, deve trabalhar satisfatoriamente com um mínimo de atenção. Uma válvula de controle funciona como uma resistência variável na tubulação, e é definida por alguns autores, como sendo um orifício de dimensões variáveis.

## PARTES PRINCIPAIS DE UMA VÁLVULA DE CONTROLE

Uma válvula de controle consiste basicamente de dois conjuntos principais:



Figura 170.

### Atuador

Constitui-se no elemento responsável em proporcionar a força motriz necessária ao funcionamento da válvula de controle. Sendo parte integrante do sistema de controle, ele quando corretamente selecionado, deve proporcionar à válvula meios de operacionalidade estáveis e suaves, contra a ação variável das forças dinâmicas e estáticas originadas na válvula através da ação do fluido de processo.

Dependendo basicamente do meio de produção da força motriz, o atuador utilizado em aplicações de controle modulado, classifica-se em três grupos principais: pneumático, elétrico e hidráulico.

### **Atuador Pneumático Tipo Mola Diafragma**

Este tipo de atuador é acionado através do ar comprimido e o retorno à posição original é feito através de mola. Normalmente ele provoca um deslocamento linear na haste da válvula. As figuras a seguir mostram este atuador.

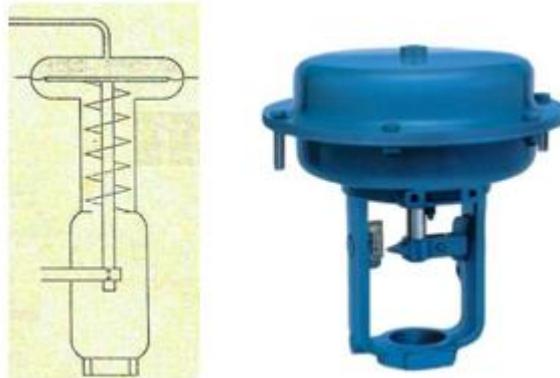


Figura 171. Atuador pneumático tipo mola diafragma



Figura 172. Instalação de uma válvula com atuador mola diafragma

### **Atuador Pneumático Tipo Pistão**

Este tipo de atuador é acionado também através do ar comprimido e o retorno à posição original é feito através de mola. Normalmente ele provoca um deslocamento rotativo na haste da válvula. As figuras a seguir mostram este atuador.

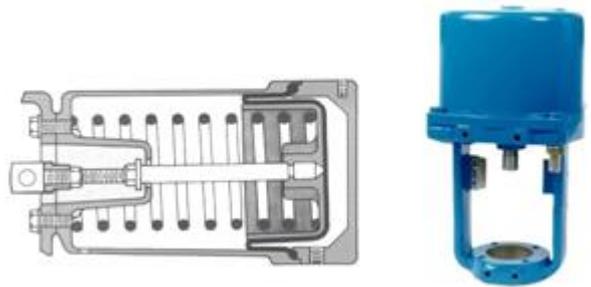


Figura 173. Atuador pneumático tipo pistão

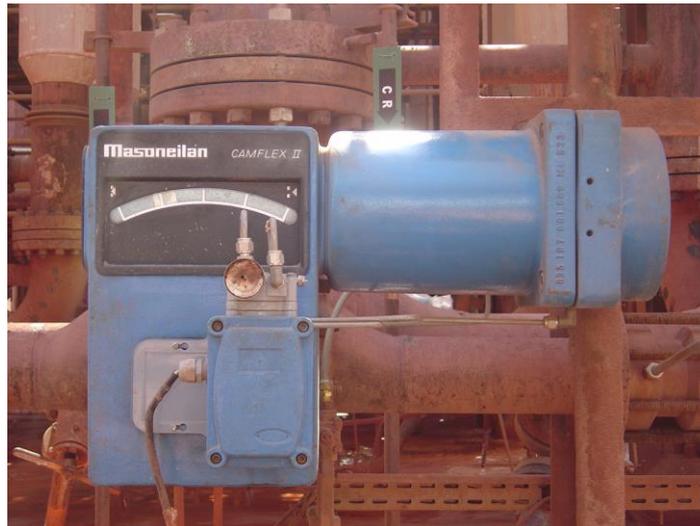


Figura 174. Instalação de uma válvula com atuador tipo pistão

### Atuador Pneumático Dupla Ação

Este tipo de atuador é acionado através do ar comprimido e tanto a ida do embolo como o retorno do mesmo a posição original é feito através do ar comprimido. Normalmente ele provoca um deslocamento rotativo na haste da válvula. As figuras a seguir mostram este atuador.

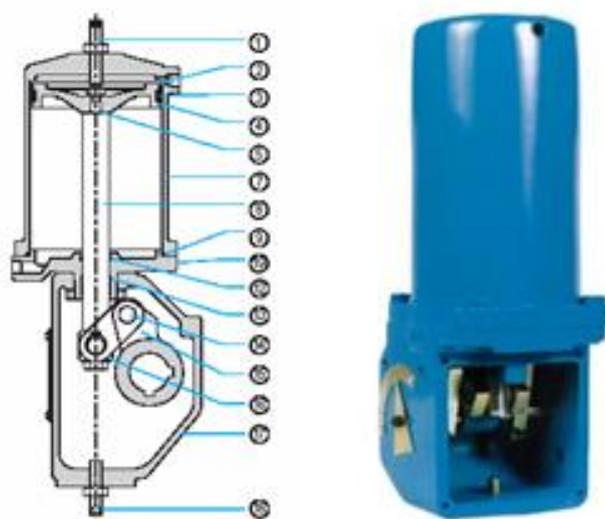


Figura 175. Atuador pneumático dupla ação



Figura 176. Instalação de uma válvula com atuador dupla ação

### Atuador Elétrico

Este tipo de atuador é na verdade um motor que recebe por exemplo um sinal de 4 a 20 mA e aciona o deslocamento do obturador. Já existem fabricantes que possuem atuadores elétricos que recebem sinais de redes digitais como por exemplo o Profibus PA e Devicenet .A figura a seguir mostra este atuador.



Figura 177. Atuador elétrico



Figura 178. Instalação de uma válvula com atuador elétrico

## Atuador Hidráulico

Este tipo de atuador é utilizado quando a força necessária para movimentar o obturador é muito alta, normalmente em tubulações de grandes diâmetros.

## Corpo

É a parte da válvula que executa a ação de controle permitindo maior ou menor passagem do fluido no seu interior, conforme a necessidade do processo. O conjunto do corpo divide-se basicamente nos seguintes subconjuntos:

- internos
- castelo
- flange inferior.

Nem todos os tipos de válvulas possuem obrigatoriamente o seu conjunto do corpo formado por todos os sub-componentes acima mencionados. Em alguns tipos de válvulas, corpo e castelo formam um só peça denominada de apenas corpo; em outros nem existe o flange inferior.

Porém, vamos por ora desconsiderar tais particularidades, optando por um conceito mais global, para posteriormente irmos restringindo-o na medida em que formos analisando cada tipo de válvula de controle.

Sendo o conjunto do corpo, a parte de válvula que entra em contato direto com o fluido, deve satisfazer os requisitos de pressão, temperatura e corrosão do fluido.

Os tipos de válvulas classificam-se em função dos respectivos tipos de corpos, e portanto, quando estivermos falando de tipos de válvulas sub-entendemos tipos de corpos.

Podemos agrupar os principais tipos de válvulas em dois grupos:

Tabela 23.

De deslocamento Linear	Globo Convencional
	Globo Três Vias
	Globo Gaiola
	Globo Angular
	Diafragma
	Bipartido
	Guilhotina
De deslocamento rotativo	Borboleta
	Esfera
	Obturador Excêntrico

## VÁLVULAS DE DESLOCAMENTO LINEAR DA HASTE

Define-se por válvula de deslocamento linear, a válvula na qual a peça móvel vedante descreve, um movimento retilíneo, acionado por uma haste deslizante.

Para cada tipo de processo ou fluido sempre temos pelo menos um tipo de válvula que satisfaça os requisitos técnicos de processo, independente da consideração econômica. Cada um desses tipos de válvulas possuem as suas vantagens, desvantagens e limitações para este ou aquele processo.

### Válvulas Globo

Válvula de deslocamento linear, corpo de duas vias, com formato globular, de passagem reta, interna de sede simples ou de sede dupla. É a que tem maior uso na indústria e o termo globo é oriundo de sua forma, aproximadamente esférica.

É do tipo de deslocamento de haste e a sua conexão com a linha pode ser através de flanges rosca ou solda. Ela será de sede simples ou dupla, de acordo com o número de orifícios que possua para a passagem do fluido.

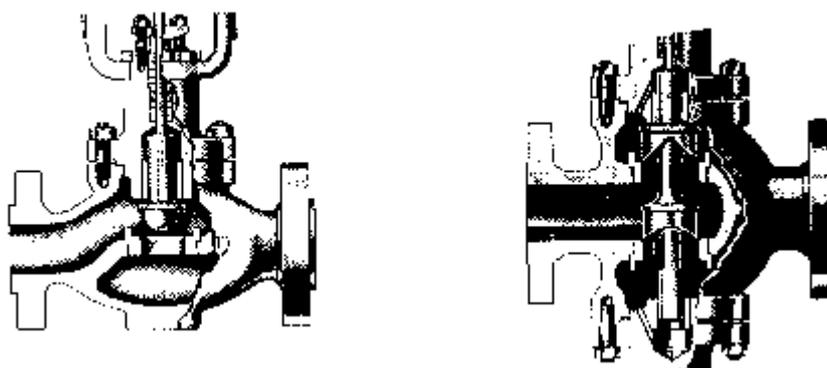


Figura 179. Válvula globo sede simples e válvula globo sede dupla

### Válvulas Globo Sede Simples

Uma válvula globo sede simples reversível é mostrada a seguir. O obturador é guiado na base, no topo e/ou em sua saia e sua montagem faz com que a válvula feche ao descer a haste.

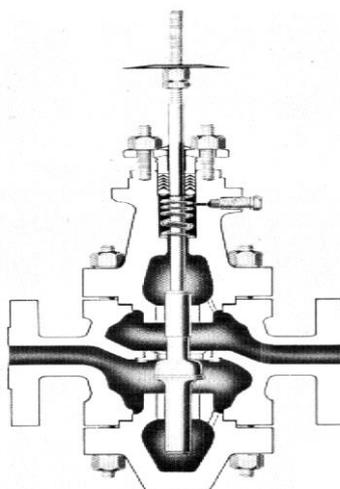


Figura 180.

Este estilo de corpo é chamado reversível porque poderemos montá-lo utilizando exatamente as mesmas peças. O tipo de ação mais desejável para uma aplicação específica é determinado pelos outros elementos da cadeia de controle e sobretudo pela possibilidade de perda de potência do atuador (falta de ar, por exemplo). Este tipo de corpo é fabricado em tamanhos de 1/2" até 12" e em valores de pressão ASA de 600 psi. Valores de pressão de 900 a 1.500 psi são fabricados em tamanhos menores.

Possuem menor custo de fabricação, fácil manutenção, operação simples e fecham com pouco ou nenhum vazamento, por possuírem obturador estaticamente não balanceado são classificadas como classe IV ou seja ocasionam um vazamento quando a válvula totalmente fechada da ordem de 0,01% da sua capacidade de vazão máxima.

Seu inconveniente é que mais força é necessário para o atuador posicionar o obturador, este fato se deve por ser uma válvula cujo obturador não é balanceado. A força que atua sobre o obturador quando a válvula está fechada é dada pelo **produto da área total do orifício pela pressão diferencial através da válvula**.

Sempre que possível, as válvulas de sede simples devem ser instaladas de tal forma que a vazão tende a abrir. Isto resulta em operações suave e silenciosa, com máxima capacidade . Quando válvulas de sede simples são instaladas de forma que a vazão tende a fechar a válvula, é possível o martelamento da sede pelo obturador fenômeno conhecido como “CHATTERING”, se a força de desequilíbrio é relativamente alta em comparação com a força de posicionamento do obturador . É possível existir condições que obriguem a instalação de válvulas com sedes simples e cuja vazão tende a fechar.

Tais instalações de válvulas com orifícios maiores que 1” e com atuadores pneumáticos trabalhando com altas quedas de pressão, devem ser feitas com cuidado. Válvulas com orifício menor que 1” de diâmetro podem usualmente trabalhar com vazão em qualquer direção.

Válvula de sede simples , com guia do obturador somente no topo, são usadas para orifício de 1” e menores. Ela fornece guias adequadas para pequenos diâmetros e permite que o fluido se escoe mais facilmente pelo orifício.

A figura a seguir mostra a atuação das forças dinâmicas provenientes do fluido agindo contra o obturador de uma válvula Globo sede simples.

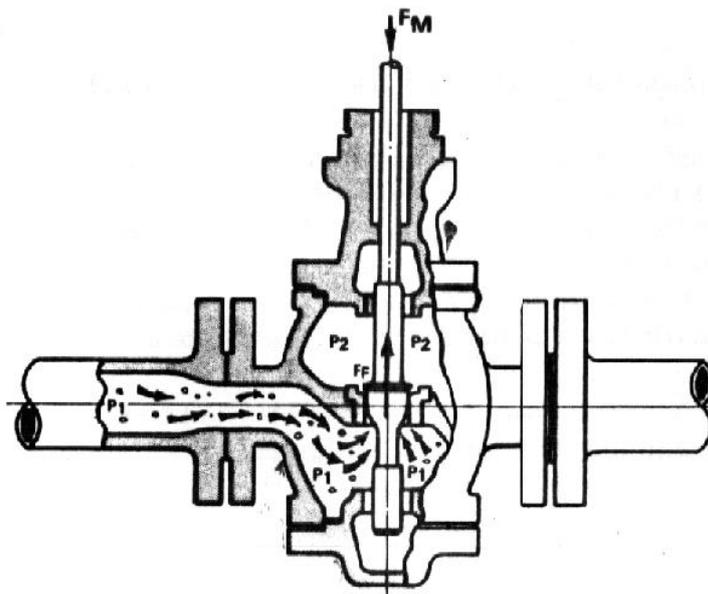


Figura 181.

Estando a válvula totalmente fechada e portanto  $P_2 = 0$ , a **pressão diferencial** através dela é  $\Delta P = P_1 - P_2 = P_1$ . Essa pressão diferencial, que é igual à pressão diferencial  $\Delta P_{MAX}$ , dado de principal importância na seleção de uma válvula e no dimensionamento do atuador.

Neste caso, o atuador produzindo uma força  $F_M$  dirigida de cima para baixo, transmite-a através da haste para o obturador. Por outro lado, a pressão  $P_1$  do fluido contra o obturador (que bloqueia a sede de diâmetro  $D_S$ ) produz uma força  $F_F$  para cima em sentido contrário à  $F_M$  do atuador. Para termos um funcionamento correto da válvula,  $F_M$  tem que ser suficientemente maior que  $F_F$ , ou seja :

$$F_M (\downarrow) > F_F (\uparrow) \quad F_M (\downarrow) > (P_1 - P_2) (A_S - A_H)$$

$$F_M (\downarrow) > (\Delta P) (A_S - A_H) \quad F_M (\downarrow) > (P_1 - 0) (A_S - A_H)$$

$$F_M (\downarrow) > (P_1) \pi/4 (D_S - D_H)$$

$$F_M (\downarrow) > 0,7854 (D_S - D_H)$$

$$F_M (\downarrow) > 0,7854 \cdot P_1 \cdot D^2$$

onde  $D^2 = D_S - D_H =$  diâmetro de passagem

A força  $F_M$  deve ser suficientemente maior que a  $F_F$ , pois há outras forças envolvidas, como por exemplo, a força da mola do atuador que é contrária a  $F_M$ , a força proveniente do atrito nas gaxetas e outras.

O índice de vazamento definido anteriormente, é para válvulas de fabricação normal, ou seja, com assento **metal - metal**. Contudo podemos atingir um índice de menor vazamento (sem aumentar a força de assentamento do atuador), utilizando a construção de assentamento composto, ou seja **metal - borracha**, **metal - teflon**, etc.

Este tipo de construção, muitas vezes ainda designado pelo seu nome em inglês, "**soft - seat**".

Obtemos desta forma um índice de vazamento praticamente nulo (da ordem de algumas bolhas de ar por minuto). Por exemplo numa válvula de 2" admite-se como permissível um vazamento de 3 bolhas de ar por minuto ou  $0,40 \text{ cm}^3 / \text{min}$ .



Figura 182. Instalação de uma válvula globo sede simples

Em algumas aplicações importantes as válvulas podem ter como acessório um volante manual para acionar a válvula em caso de falha do posicionador ou do atuador pneumático da válvula.

Este volante aciona mecanicamente a haste da válvula e quando aciona a abertura da válvula, não conseguimos acionar a válvula pneumaticamente pois a mesma fica travada mecanicamente. A figura a seguir mostra um exemplo.



Figura 183. Instalação de uma válvula com volante manual

### **Válvula Globo Sede Dupla**

É provavelmente mais usada que a de sede simples. Ela foi desenvolvida para atender a necessidade de uma válvula que poderia ser posicionada com força relativamente pequena do atuador.

Uma válvula globo reversível de sede dupla é mostrada a seguir. Se as 2 sedes forem do mesmo diâmetro, as pressões que atuam no obturador serão equilibradas na posição fechada e teoricamente pouca força será requerida para abrir e fechar a válvula. Na realidade, os orifícios são construídos com 1/16" a 1/8" um maior que o outro, no diâmetro. Esta construção é chamada "semi-balanceada" e é usada para possibilitar que o obturador menor passe através do orifício maior na montagem.

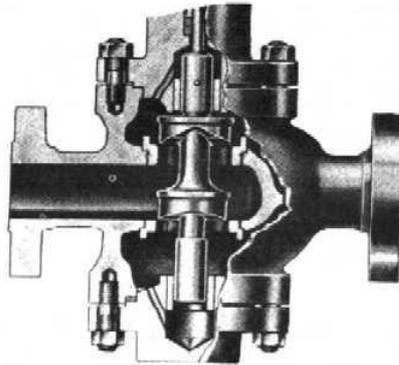


Figura 184.

É fabricada normalmente em diâmetros de 3/4" a 14", e com conexões das extremidades rosqueadas ( até 2" ), flanqueadas ou soldadas, nas classes 150,300,600,900 e 1.500 lbs.

A principal vantagem da válvula sede dupla é o fato dela ser estaticamente quase estável sem necessitar, portanto, de uma força de atuação tão grande quanto à válvula sede simples.

Como desvantagem, apresentam um vazamento, quando totalmente fechadas de no máximo 0,5 % da sua máxima capacidade de vazão, conforme norma ANSI B16.104 a válvula tipo **standard**, possui um índice de vazamento **Classe II**.

O fato de esse vazamento ser maior que na sede simples se deve a dois fatores:

- Por ser semibalanceada, um pequeno esforço é suficiente para deslocar a haste de qualquer posição (nesse caso, tal facilidade pode surgir como desvantagem).
- Devido ao fato de ser impossível fechar os dois orifícios simultaneamente, principalmente em casos de fluídos suficientemente quentes para produzir uma dilatação volumétrica desigual no obturador.



Figura 185. Instalação de uma válvula globo sede dupla

### Válvula Globo Tipo Gaiola

Válvula de concepção antiga onde possui seus internos substancialmente diferente da globo convencional. O amplo sucesso deste estilo de válvula está totalmente fundamentado nos seguintes aspectos:

- facilidade de remoção das partes internas, pela ausência de roscas o que facilita bastante a operação na própria instalação;
- alta estabilidade de operação proporcionada pelo exclusivo sistema de guia do obturador;
- capacidade vazão da ordem de **20 a 30%** maior que a globo convencional;
- menor peso das partes internas, resultando assim um menor vibração horizontal conseqüentemente menor ruído de origem mecânica do que as válvulas globo duplamente guiadas;
- não possuindo flange inferior a válvula é algo mais leve que as globo convencionais.

Por não possuir flange inferior, seu corpo não pode ser reversível, e assim a montagem dos seus internos é do tipo **entra por cima**. A drenagem do fluído quando necessária, pode ser realizada através da parte inferior do corpo, por meio de um tampão rosqueado.

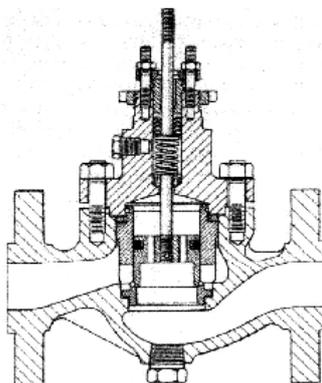


Figura 186.

### Válvula Globo Tipo Gaiola Sede Simples Não Balanceada

Neste tipo de válvula o fluido entra por baixo do anel da sede, passando pelo orifício e pelas janelas da gaiola. Apresenta apenas guia na gaiola, trata-se de um tipo não balanceado como a globo convencional, pois a força do fluido tende a abrir a válvula, não é balanceada e por isso apresenta o mesmo inconveniente de precisar de uma grande força de atuação.

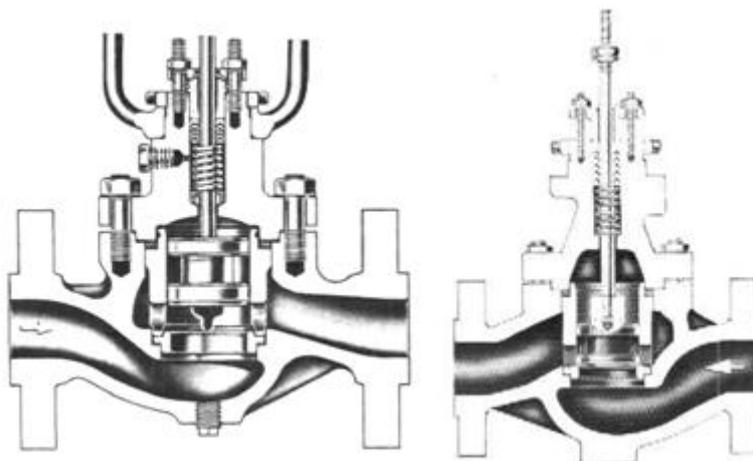


Figura 187. Válvula Gaiola Sede Simples Não Balanceada

Apresenta um vazamento de 0,01% da sua máxima capacidade de vazão, quando totalmente fechada, enquadrada na Classe IV. Fabricada em diâmetros de 1/2" até 6" nas classes de 150, 300 e 600 lbs.

As conexões das extremidades podem ser rosqueadas (até 2"), flangeadas ou soldadas.

### Válvula Globo Tipo Gaiola Sede Simples Balanceada

Neste tipo de válvula o obturador é balanceado dinamicamente, devido ao orifício interno no obturador, que faz com a pressão do fluido comunique-se com ambos o lado do obturador, formando-se assim um balanceamento de forças de atuação neste caso do que no anterior sede simples. O fluido neste tipo de válvula entra por cima e

não apresenta uma boa vedação, permitindo um vazamento de até 0,5% da máxima capacidade de vazão, estando a mesma classificada na **Classe II**.

Fabricada em diâmetros de 3/4" até 6" nas classes 150, 300 e 600 lbs, podendo suas conexões serem rosqueadas ( até 2" ), flangeadas ou soldadas.

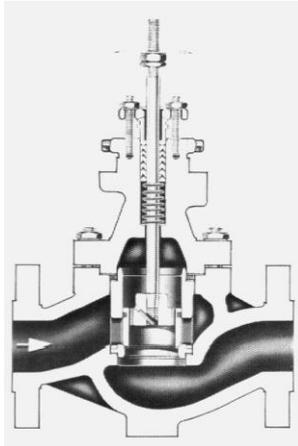


Figura 188. Válvula Gaiola Sede Simples Balanceada



Figura 189. Instalação de uma válvula gaiola balanceada

### Válvula de Controle Tipo Diafragma ou Saunders

Este tipo de válvula, cuja configuração é totalmente diferente das outras válvulas de controle, é utilizada no controle de fluídos corrosivos, líquidos altamente viscosos e líquidos com sólidos em suspensão. A válvula de controle tipo diafragma consiste de um corpo em cuja parte central apresenta um encosto sobre o qual um diafragma móvel, preso entre o corpo e o castelo, se desloca para provocar o fechamento. Possui como vantagem um baixo custo, total estanquidade quando fechada, já que o assento é composto por um diafragma de borracha, e facilidade de manutenção.

Como desvantagem não apresenta uma boa característica de vazão para controle, além de uma alta e não uniforme força de atuação que faz com que

praticamente este tipo de válvula seja limitado em diâmetros de até 6" para efeito de aplicação em controle modelado.

Outra desvantagem é que devido ao material do seu obturador (diafragma de neoprene ou Teflon), a sua utilização é limitada pela temperatura do fluido em função do material do diafragma.

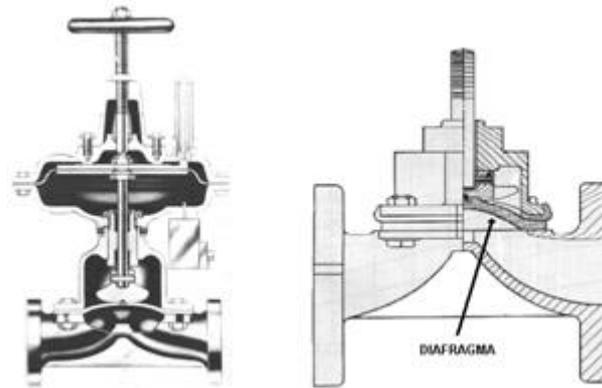


Figura 190. Válvula Tipo Diafragma

### Válvula de Controle Tipo Guilhotina

Trate-se de uma válvula originalmente projetada para a indústria de papel e celulose, porém, hoje em dia a sua aplicação tem atingido algumas outras aplicações em indústrias químicas, petroquímicas, açucareiras, abastecimentos de água, etc.

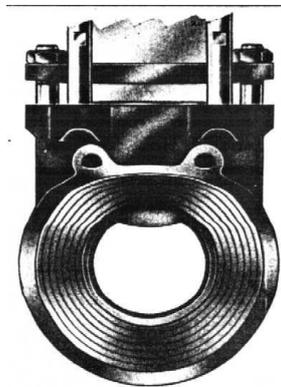


Figura 191.

Contudo, a sua principal aplicação continua sendo em controle biestável com fluidos pastosos, tais como massa de papel.

Fabricada em diâmetros de 2" até 24" com conexões sem flanges para ser instalada entre par de flanges da tubulação.

### Válvula de Controle 3 vias

São que podem ser válvulas utilizadas para fazer misturas ou desvios de produtos, pois possuem 3 passagens que possibilitam esta aplicação. A figura a seguir mostra um exemplo.



Figura 192. Instalação de uma válvula 3 vias

## Válvulas de Deslocamento Rotativo da Haste

Nos últimos anos tem-se notado um substancial aumento no uso das válvulas denominadas de rotativas. Basicamente estes tipos de válvulas apresentam vantagens e desvantagens. nas vantagens podemos considerar baixo peso em relação aos outros tipos de válvula, desenho simples, capacidade relativa maior de fluxo, custo inicial mais baixo, etc.

Dentre as desvantagens citamos a limitações em diâmetros inferiores a 1" ou 2" e quedas de pressão limitadas principalmente em grandes diâmetros.

### Válvula de Controle tipo Borboleta

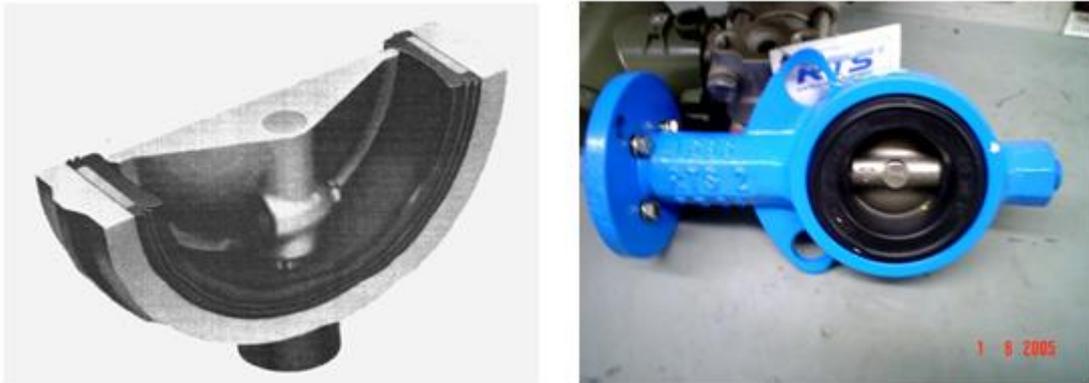


Figura 193.

Válvula de deslocamento rotativo, corpo de duas vias de passagem reta, com internos de sede simples e elemento vedante constituídos por um disco ou lâmina de formato circular acionados por eixo de rotação axial. São muito usadas em tamanhos maiores que 3" e são fabricadas em tamanhos tão pequenos quanto 1". A válvula borboleta consiste de um corpo cilíndrico com um disco solidário a um eixo instalado perpendicularmente ao eixo do cilindro. O corpo cilíndrico pode ser flangeado em ambas as extremidades ou fabricado na forma de um anel sólido. Este último tipo é instalado em uma tubulação entre 2 flanges.

Quando as válvulas borboletas são atuadas por atuadores convencionais pneumáticos, o movimento alternativo da haste é usualmente transformado em movimento rotativo através de um simples jogo de alavancas.



Figura 194. Instalação de uma válvula borboleta

Válvulas borboletas têm grande capacidade, pois o diâmetro do furo do cilindro e usualmente o diâmetro interno da tubulação na qual estão instaladas e a única obstrução é o disco. Em tamanhos grandes elas são mais econômicas do que as válvulas globo. Sua aplicação, entretanto, é limitada pelo fato de requerer força considerável para sua operação em altas pressões diferenciais. Sua característica de vazão não é adequada para algumas aplicações.

As forças de torção no eixo de uma válvula borboleta aumentam com o abrir da válvula, atingindo um valor máximo em um ponto entre 70 a 75° a partir de uma perpendicular à linha, após a qual tende a diminuir.

Para maior estabilidade na operação de estrangulamento, a válvula borboleta não é aberta a um ângulo superior àquele em que a curva muda sua inclinação. Isto limita a abertura máxima em cerca de 75° da vertical. Alguns fornecedores fabricam a válvula de tal maneira que haja o fechamento total do disco com 15° da perpendicular. Isto resulta em uma rotação efetiva de 60°, que é o recomendado. O vazamento normal para uma válvula com disco e sede de metais e em torno de 0,5 a 1% da capacidade total. Sedes de elastômeros dão fechamento estanque.

Entretanto devem ser aplicadas com cuidado em serviços de estrangulamento com atuadores pneumáticos de diafragmas, desde que elas tenham a tendência de emperrar na posição fechada.



Figura 195. Abertura da válvula borboleta

### Válvula de Controle Esfera

Inicialmente a válvula de controle tipo esfera encontrou a sua principal aplicação na indústria de papel e celulose, face às características fibrosas de determinados fluídos nesse tipo de processo industrial. Porém a sua utilização tem apresentado uma crescente introdução em outros tipos de processos, tanto assim que é recomendado para trabalhar com líquidos viscosos, corrosivos e abrasivos além de gases e vapores.

Devido ao seu sistema de assentamento, proporciona uma vedação estanque, constituindo-se numa das poucas válvulas de controle que além de possuir ótimas condições de desempenho de sua principal função, (isto é, prover uma adequada ação de controle modulado) permite, ainda uma total estanqüidade quando totalmente fechada.

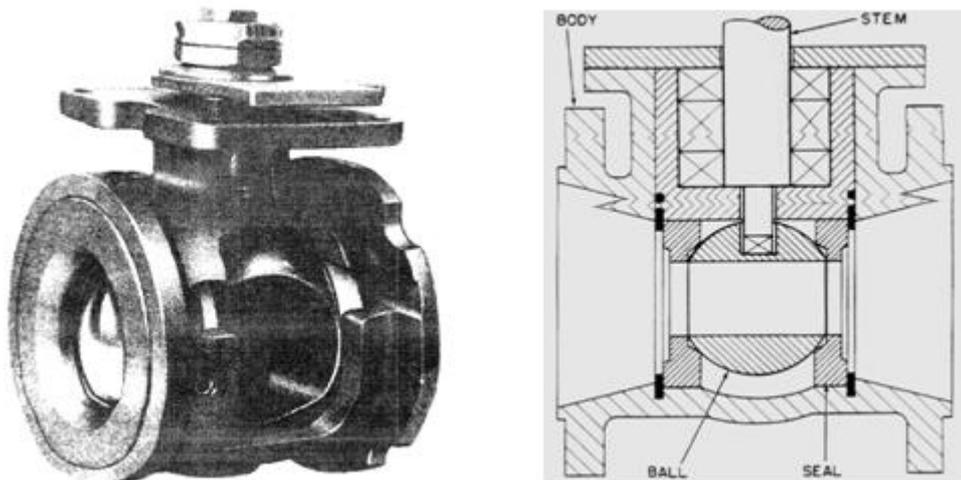


Figura 196.

O corpo da válvula e do tipo bipartido (para possibilitar a montagem dos internos), sendo que a esfera gira em torno de dois anéis de Teflon ( construção padrão ) alojados no corpo e que fazem a função de sede. Possibilita a passagem do fluido em qualquer direção sem problemas dinâmicos, e possui um curso total de 90°.

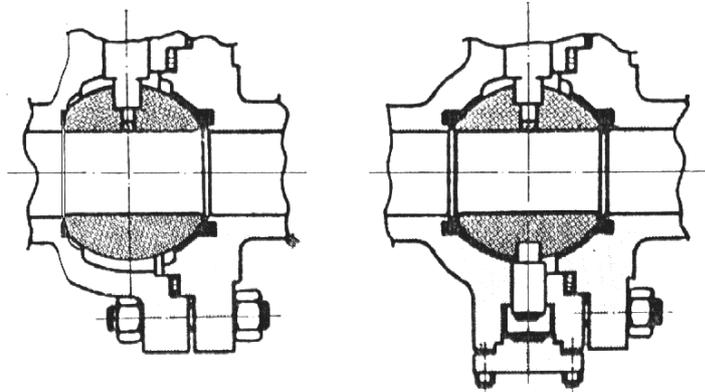


Figura 197.

#### Tipos de guia do obturador na válvula esfera

O seu castelo é integral ao corpo e até 6" é guiada superiormente e na sede; de 8" em diante a guia é superior e inferior e nas sedes.

A válvula esfera é a de todas a de maior capacidade de fluxo, devido a sua passagem ser praticamente livre sem restrições. Em relação ao tipo globo, chega a alcançar de 3 a 4 vezes maior a vazão.

Este tipo de válvula apresenta, (assim como também a válvula borboleta), em função da característica geométrica dos seus internos, uma alta tendência a cavitarem e a atingir condições de fluxo crítico a relativos menores diferenças de pressão do que os outros tipos de válvulas.

**OBSERVAÇÃO: Cavitação** é a transformação de parte do líquido em vapor durante uma rápida aceleração deste através do orifício da válvula, e o subsequente retorno das bolhas de vapor à condição líquida.

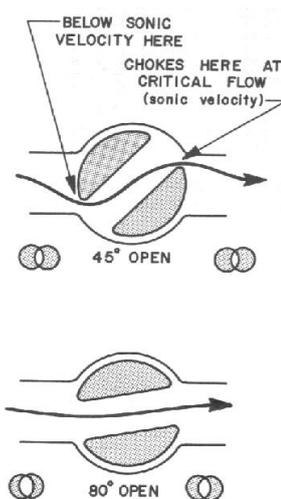


Figura 198.

Dinamicamente, as forças provenientes do fluido tendem sempre a fechar a válvula e portanto é uma válvula não balanceada, da mesma forma que acontece à válvula borboleta.



Figura 199. Instalação de uma válvula esfera

### Válvula de Controle tipo Obturador Rotativo - Excêntrico

Idealizada originalmente para, basicamente, qualquer aplicação de processo, tem mostrado realmente vantagens em apenas alguns processos industriais, tais como papel e celulose e de forma genérica trata-se de uma válvula recomendada para aplicações de utilidades, ou auxiliar. Possui corpo, com extremidade sem flanges, classe 600 lbs, sendo fabricada em diâmetros de 1" até 12" . O curso do obturador é de 50° em movimento excêntrico da parte esférica do obturador. Tal particularidade de movimento excêntrico possibilita-lhe uma redução do torque de atuação permitindo uma operação mais estável com o fluido entrando na válvula em qualquer sentido.

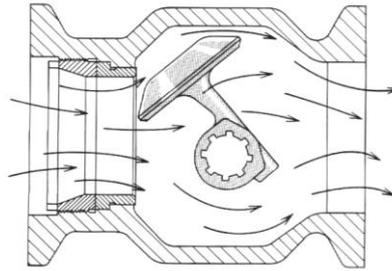


Figura 200.

### Válvula Tipo Obturador Rotativo Excêntrico

Apresenta, quando totalmente fechada, um índice de vazamento de 0,01% da sua máxima capacidade de fluxo, sendo uma válvula de nível de vazamento **Classe IV** conforme a ANSI B16.104 .

O obturador possui guia dupla possibilitando, desta forma, uma resistência menor à passagem de fluxo do que a apresentada em outros tipos de válvulas de desenho semelhante.



Figura 201. Instalação de uma válvula camflex II

## INTERNOS DAS VÁLVULAS

Normalmente costuma-se definir ou representar os internos da válvula de controle como o coração da mesma.

Se considerarmos a função à qual se destina a válvula, realmente as partes denominadas de internos representam o papel principal da válvula de controle, ou seja, produzir uma restrição variável à passagem do fluido conforme a necessidade imposta pela ação corretiva do controlador produzindo assim, uma relação entre a vazão que passa e a abertura da válvula.

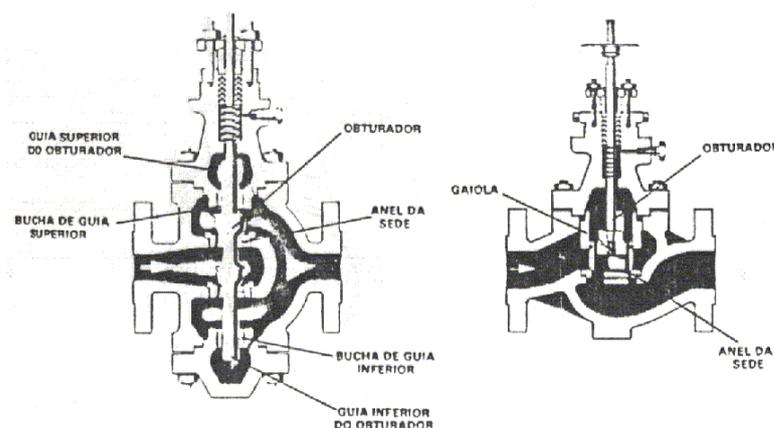


Figura 202.

### Obturador

Elemento vedante, com formato de disco, cilíndrico ou com contorno caracterizado, que se move linearmente no interior do corpo obturando o orifício de passagem de modo a formar restrição variável ao fluxo.

Na válvula globo convencional, quer seja sede simples ou dupla o obturador é o elemento móvel da válvula que é posicionado pelo atuador da válvula para controlar a vazão. Em geral, a ação do obturador pode ser proporcional ou de 2 posições (on-off). Em controle proporcional, o obturador é posicionado em qualquer ponto intermediário entre aberto e fechado, sendo continuamente movido para regular a vazão de acordo com as necessidades do processo.

### Obturadores Torneados

Obturadores duplos torneados devem ser guiados na base e no topo, enquanto válvulas de sede simples podem ser guiados no topo e na base ou somente no topo.



Figura 203.

Recomenda-se o uso de Obturadores torneados nos seguintes casos:

⇒ Líquidos sujos ou abrasivos

⇒ Quando o fluído controlado forma incrustações no plug.

### Obturadores com entalhes em “ V ”

Desde que o obturador com entalhe em  $\nabla$  sólido, é projetado para sair inteiramente da sede, eles são feitos com guias na base e no topo. Eles podem ser simples ou duplos. Devido à sua conformação lateral existe uma grande área do obturador sempre em contato com a superfície interna da sede e que possibilita uma menor vazão inicial quanto o obturador torneado, que possui uma vazão inicial maior, quando comparado ao obturador em entalhe em  $\nabla$  sólido. Este último apresenta conseqüentemente maior rangeabilidade.



Figura 204.

Em tamanhos maiores ( 4” e maior ) os tipos com saia tendem a vibrar em altas freqüências quando sujeitos a altas velocidades de gás ou vapor. Esta vibração pode situar-se na faixa audível, produzindo assobio estridente e desagradável, ou pode ser supersônica. Em qualquer caso, a conseqüência final poderá ser a quebra das peças da válvula.

Para reduzir a tendência de vibração, costuma-se usar o obturador tipo sólido, entalhe em  $\nabla$  , que possui maior massa e mais rigidez. São as seguintes as razões para uso do obturador em entalhe em  $\nabla$ .

❶ É o que melhor satisfaz as condições de escoamento percentual que é a característica mais usada.

② Quando alta rangeabilidade é desejada, pois, este tipo de obturador proporciona vazão inicial menor.

### ***Não deve ser usado***

① Quando o fluido controlado é erosivo ou muito sujo. Os cantos vivos do corte em  $\nabla$  são atacados ou obstruídos, modificando a característica de controle.

② Quando o fluido controlado forma incrustações no obturador.

### **Obturadores Simples Estriados ou Perfilados**



Figura 205.

Obturadores simples estriados ou perfilados com guia somente no topo são muito usados em orifícios com diâmetro de 1" ou menos para aplicações de altas pressões.

### **Obturadores de Abertura Rápida**

São usados em controle “**Tudo ou Nada**”, para fechamento de emergência, descargas, etc.. Podem eventualmente ser empregados em processos simples de alta sensibilidade (faixa proporcional até 5%), sem atraso de resposta, sob condições de carga e pressão estáveis e que exijam controle apenas entre 10 e 70% de abertura da válvula. Um processo com tal característica não é facilmente encontrado.

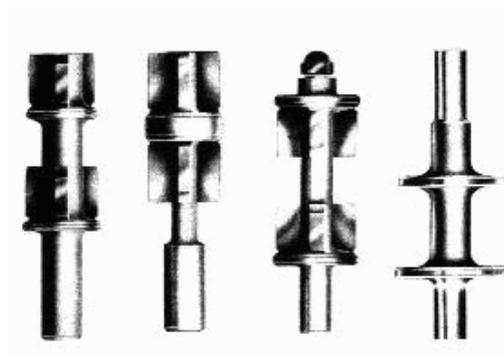


Figura 206.

### **Obturadores com Disco ou O-Ring**

São usados em distribuição de gás dentro de uma indústria. São feitos, os discos, com borracha, Neoprene, Buna N, Silastic, Teflon, Kel F, Viton ou outro componente

elástico e é fornecido com corpo de sede simples ou dupla, para controle proporcional ou tudo ou nada.

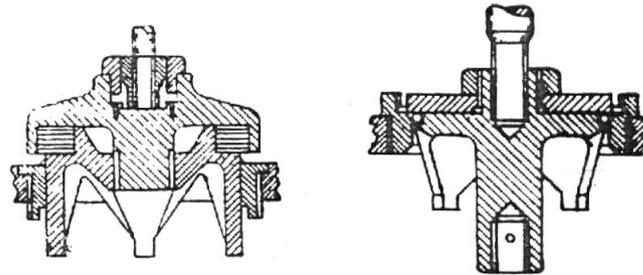


Figura 207.

Estes tipos de obturadores não são adequados para quedas de pressões superiores a 150 psi e a borracha, Neoprene e Buna N, não são recomendados para temperatura acima de 65°C. Silastic, Teflon ou Kel-F, podem ser usados satisfatoriamente para temperatura tão altas quanto 200°C. O Teflon e o Kel-F são resistentes a toda as corrosões químicas. Estes Obturadores possibilitam absoluta estanqüidade do miolo da válvula.

### Obturadores Tipo Gaiola

Os obturadores tipo gaiola, teve seu início de utilização por volta de 1940 em aplicações de alta pressão como no caso de produção de óleo e gás, alimentação de água de caldeira, etc...

Estando nos internos a única diferença entre as válvulas globo convencional e gaiola, o perfeito tipo de guia do obturador, em conjunto com a possibilidade de balanceamento das forças do fluido agindo sobre o obturador e uma distribuição uniforme do fluxo ao redor do obturador por meio do sistema de janelas, resulta nas 4 principais vantagens deste tipo de obturador:

- ❶ **Estabilidade de controle em qualquer pressão;**
- ❷ **Redução do esforço lateral e atrito;**
- ❸ **Possibilidade de estanqüidade de grandes vazões a altas pressões com atuadores normais;**
- ❹ **Maior vida útil do chanfro da sede.**

O desenho de gaiola caracterizada reduz a erosão separando as área de assentamento e de restrição ou controle fazendo assim com que a sede não esteja numa zona de alta velocidade do fluido.

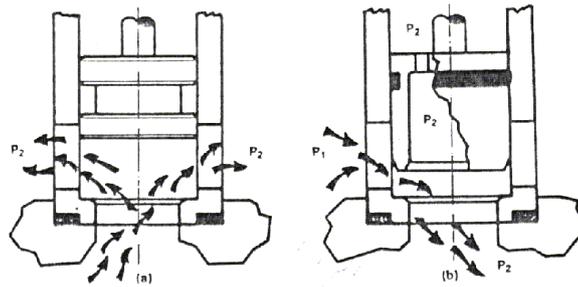


Figura 208.

Princípio de funcionamento da ação de controle (modulação e vedação ) dos internos tipo gaiola :

A- Sede Simples

B- Balanceada

O funcionamento da restrição e modulação provida por este tipo de válvula, é mediante o sistema de gaiola, em cujo interior desloca-se o obturador, como se fosse um pistão de cilindro. A gaiola possui um determinado número de passagens ou janelas, as quais distribuem uniformemente o fluxo ao redor do obturador.



Figura 209.

Tais janelas apresentam formatos caracterizados sendo elas, em conjunto com a posição relativa do obturador, que proporcionam a característica de vazão, ao invés de ser o formato do obturador como na globo convencional.

### Anel de Sede

Anel circular montado no interior do corpo formando o orifício de passagem do fluxo.



Figura 210. Anel sede da válvula globo



Figura 211. Anel sede da válvula gaiola

## CLASSE DE VAZAMENTOS

Existem normas internacionais que determina qual o máximo vazamento permitido quando a válvula estiver totalmente fechada. A seguir mostraremos esta tabela:

<b>Classe de Vazamento</b>	<b>Definição da Classe</b>		<b>Tipos de Válvulas</b>	
<b>CLASSE I</b>	Qualquer válvula pertencente as classes II, III ou IV, porém mediante acerto entre fabricante e usuário não há necessidade de teste		Válvulas listadas nas classes II, III e IV	
<b>CLASSE II</b>	Vazamento de até 0,5 % da capacidade máxima de vazão		Válvulas Globo Sede Dupla, Válvulas Globo Gaiola balanceadas. Superfície de assentamento metal – metal	
<b>CLASSE III</b>	Vazamento de até 0,1 % da capacidade máxima de vazão		Válvulas listadas como pertencentes a classe II, porém possuindo uma maior força de assentamento	
<b>CLASSE IV</b>	Vazamento de até 0,01 % da capacidade máxima de vazão		Válvulas Globo Sede Simples com assentamento metal – metal. Válvulas de Obturador Rotativo Excêntrico	
<b>CLASSE V</b>	Vazamento de até $5 \times 10^{-4} \text{ cm}^3$ por minuto de água, por polegada de diâmetro de orifício, por psi de pressão diferencial ou $5 \times 10^{-12} \text{ m}^3$ por segundo de água, por mm de diâmetro do orifício por bar de pressão diferencial		Válvulas instaladas na classe IV, porém utilizadas com atuadores superdimensionado para aumentar a força de assentamento.	
<b>CLASSE VI</b>	Diâmetro Nominal do orifício de passagem em “	Vazamento Máximo Permissível		Válvulas Globo com assentamento composto ( soft seat ). Válvulas borboletas revestidas com sedes de elastômeros ou com anéis de vedação. Válvulas esferas com anéis de TFE. Válvulas diafragmas. Válvulas de obturador rotativo excêntrico com assentamento composto
		cm <sup>3</sup> / min	Bolhas / min	
	1	0,15	1	
	1 ½	0,30	2	
	2	0,45	3	
	2 ½	0,50	4	
	3	0,90	5	
	4	1,70	11	
6	4,00	27		
8	6,75	45		

## CASTELO

O castelo, geralmente uma parte separada do corpo da válvula que pode ser removida para dar acesso às partes internas das válvulas, é definido como sendo “ um conjunto que inclui, à parte através da qual a haste do obturador da válvula move-se, em um meio para produzir selagem contra vazamento através da haste “.Ele proporciona também um meio para montagem do atuador.

Normalmente o castelo é preso ao corpo por meio de conexões flangeadas e para casos de válvulas globo de pequeno porte, convencionou-se a utilização de castelo rosqueado devido ao fator econômico, em aplicações de utilidades gerais como ar, água, etc., como é o caso das denominadas válvulas de controle globo miniaturas.

Os principais tipos são:

- ⊙ Normal
- ⊙ Aletado
- ⊙ Alongado
- ⊙ Com foles

### Castelo Normal

É o castelo padrão utilizado para as aplicações comuns nas quais a temperatura está entre  $-18$  a  $232^{\circ}\text{C}$ . Esta limitação está imposta pelo material da gaxeta já que a sua localização está bem próxima do flange superior do corpo e portanto bem próxima ao fluido.

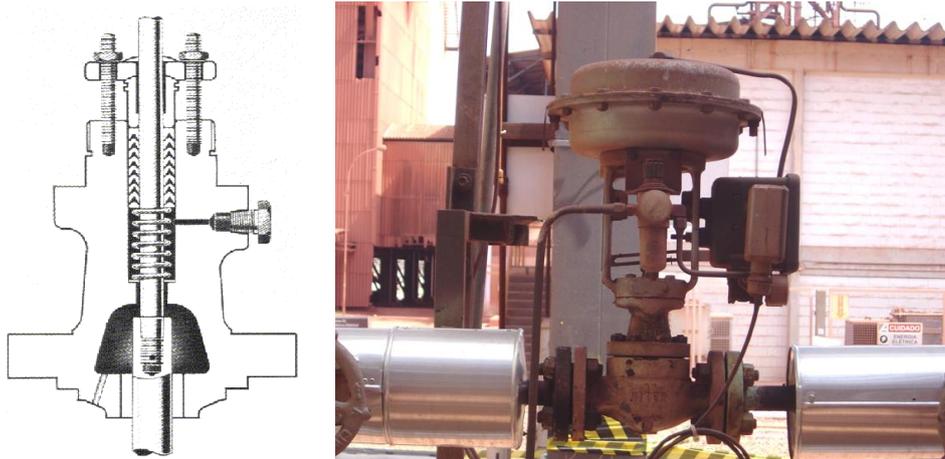


Figura 212. Exemplo de castelo normal

### Castelo Aletado

É usado quando a temperatura do fluido controlado é superior a 200°C .Deve ser suficiente para dar o abaixamento de temperatura indicado ou no máximo de 250°C de resfriamento. No caso da válvula operar vapores condensáveis o aletamento não reduzirá a temperatura abaixo do ponto de saturação do líquido, pois uma vez atingida esta temperatura haverá condensação de vapor e o líquido fluirá para a tubulação, sendo substituída por uma outra porção de vapor com temperatura mais elevada.

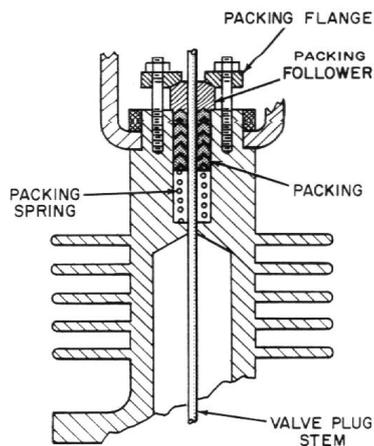


Figura 213.Exemplo de castelo aletado

### Castelo Alongado

São usados para prevenir o congelamento das gaxetas em aplicações de baixas temperaturas. Devem ser usadas para temperatura inferiores a 5°C e devem ser suficientemente longos para que a temperatura das gaxetas não vá abaixo de 25°C.

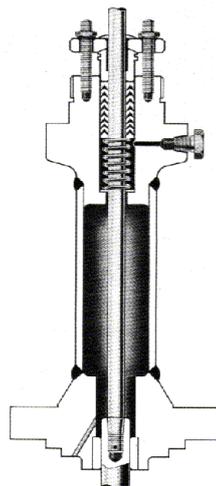


Figura 214.Exemplo de castelo alongado

## Castelo com Fole

São usados para fluidos radiativos ou tóxicos, servindo como um reforço das gaxetas. O fole é normalmente feito de uma liga resistente à corrosão e devem ser soldados à haste da válvula. Este sistema é limitado a pressões de aproximadamente 600 psi.

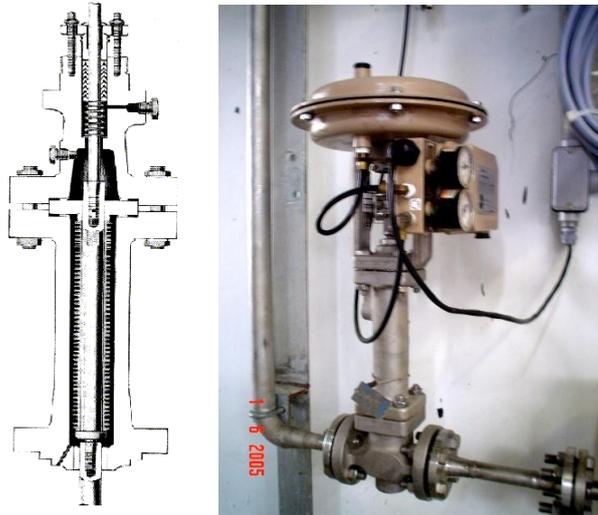


Figura 215. Exemplo de castelo com fole

## CAIXA DE GAXETAS

Construção contida no castelo que engloba os elementos de vedação da passagem do fluido para o exterior através do eixo. A finalidade principal desta parte é impedir que o fluido controlado passe para o exterior da válvula. Serve ainda como guia da haste. Em geral o castelo é ligado por flanges ao corpo da válvula, podendo porém, ser rosqueadas. O castelo flangeado é preferível, do ponto de vista de manutenção e segurança.

De qualquer forma o castelo rosqueado só é aceitável em válvulas de 1/2".

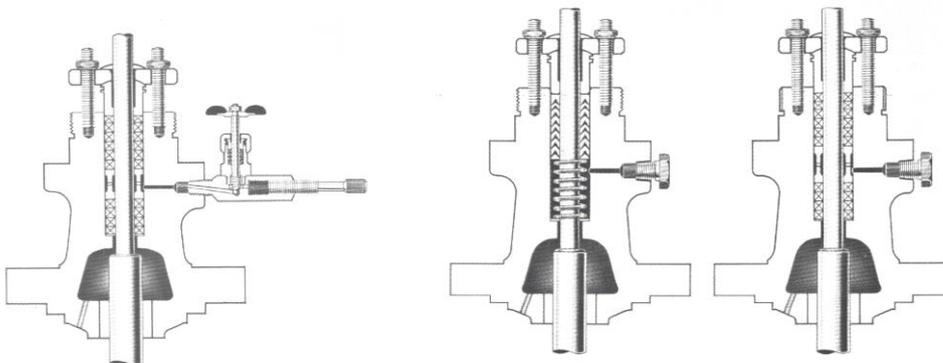


Figura 216.

Em válvulas com castelo flangeado, parafusos encastrados são aceitáveis até o padrão ASA 600 lbs. Para pressões maiores, parafusos passantes são recomendados.

A caixa de gaxetas deve comportar uma altura de gaxetas equivalente a seis vezes o diâmetro da haste.

Por motivos de segurança, a **sobreposta flangeada** é a **mais recomendada**, por permitir melhor distribuição de tensões sobre a haste e pelo perigo potencial que a sobreposta rosqueada oferece quando números insuficientes de fios estão engajados.

## Gaxetas

Principais características do material utilizado para a gaxeta:

- devem ter elasticidade, para facilitar a deformação;
- produzir o mínimo atrito e
- deve ser de material adequado para resistir as condições de pressão, temperatura e corrosão do fluido de processo.

Os principais materiais de gaxetas são: **Teflon e amianto impregnado**.

### Teflon (TFE)

É o material mais amplamente utilizado devido as suas notáveis características de mínimo coeficiente de atrito, e de ser praticamente inerte quimicamente a qualquer fluido. Devido as suas características, a gaxeta de Teflon **não requer lubrificação** externa e a sua **principal limitação** é a **temperatura**. Conforme visto na tabela a seguir.

A gaxeta de Teflon é formada de anéis em “V “ de Teflon sólido, e **requer uma constante compressão** para o seu posicionamento firme e compacto, provida por meio de uma mola de compressão.

### Amianto Impregnado

É ainda um material de gaxeta bastante popular devido às características adicionadas às de alguns aditivos e à facilidade de manutenção e operação. Não sendo autolubrificante, o amianto utiliza-se impregnado com aditivos tais como **Teflon, mica, Inconel, grafite, etc..** Os limites de uso em função da temperatura e fluidos para este tipo de gaxeta são dados na tabela a seguir. Este tipo de gaxeta é do tipo quadrada e comprimida por meio de prensa gaxeta. Requer lubrificação externa, com exceção ao amianto impregnado com Teflon.

Tabela 24. Limite de Temperatura para os diversos materiais da gaxeta, em função do tipo de castelo

Material da gaxeta	Serviço	Pressões	Lubrificação	Tipos de Castelo		
						Extra Longo
Teflon	Limitado àqueles fluidos que não atacam o Teflon e aço inox tipo 3/6 ( material da mola da gaxeta)	Líquidos e Gases secos - 1500 psi Vapor - 250 psi	Não	-18 a 232	-45 a 430	-268 a 430
Amianto c/ Teflon	Todo exceto Álcalis quentes e ácido hidrofluorídrico quente	Líquidos e Gases secos - 6000 psi Vapor - 250 psi	Opcional, porém recomendada	-18 a 232	-45 a 430	-268 a 430
Amianto Grafitado com fios de Inconel	Vapor ou Petróleo	Qualquer fluido - 6000 psi	Sim	-18 a 232	-45 a 540	-45 a 540

Recentemente surgiu um novo material de gaxeta denominado de **Grafoil**. Trata-se de material à base de grafite e comercializado em fitas flexíveis de vários tamanhos. É um material praticamente inerte quimicamente e suporta temperaturas altíssimas (o ponto de volatilização é de 3650°C). Seu único inconveniente reside no fato de que produz um certo travamento da haste, já que por ser fita, ela deve ser enrolada ao redor da haste e socada para compactá-la formando diversos anéis.

## CARACTERÍSTICAS DE VAZÃO

A escolha da adequada **característica de vazão** de uma válvula de controle, em função da sua aplicação em um determinado processo, continua sendo um assunto não somente bastante complexo, como principalmente muito controvertido. Inúmeros trabalhos publicados por eminentes pesquisadores sobre o assunto não foram o suficiente para termos uma solução teórica, digna de total crédito. Os problemas a serem resolvidos são realmente complexos começando pelo próprio dilema de qual deve ser a fração da queda de pressão total do sistema que deve ser absorvida pela válvula de controle. E ainda, face às interferências instaladas no sistema, como a própria **tubulação, desvio, reduções, equipamentos, malha de controle, etc.**

O objetivo agora é o de definir diversos parâmetros principais, explicar as suas diferenças e dar algumas regras práticas que possam auxiliar na escolha da correta característica de vazão de uma válvula de controle.

Porém salientamos que a seleção da característica de vazão de uma válvula não é um problema apenas relativo à válvula mas também ao **sistema de controle completo e instalação**.

### Característica de Vazão

Como tivemos a oportunidade de observar no item referente aos internos da válvula, o obturador, conforme se desloca, produz uma área de passagem que possui uma determinada relação característica entre a fração do curso da válvula e a correspondente vazão que escoar através da mesma. A essa relação deu-se o nome de *característica de vazão* da válvula.

Por outro lado, sabemos também que, a vazão que escoar através de uma válvula varia com a pressão diferencial através dele e portanto tal variação da pressão diferencial deve afetar a característica de vazão. Assim sendo, definem-se dois tipos de características de vazão: **Inerente e Instalada**

A **característica de vazão inerente**, é definida como sendo a relação existente entre a vazão que escoar através da válvula e a variação percentual do curso, quando se mantém constante a pressão diferencial através da válvula. Em outras palavras, poderíamos dizer que se trata da relação entre a vazão através da válvula e o correspondente sinal do controlador, sob pressão diferencial constante, através da válvula.

Por outro lado, a **característica de vazão instalada** é definida como sendo a real característica de vazão, sob condições reais de operação, onde a pressão diferencial não é mantida constante.

Do fato da pressão diferencial, através da válvula num determinado sistema de controle de processo, nunca manter--se constante, temos que, quando da seleção da característica de vazão, pensar na **característica de vazão instalada**. As características de vazão fornecidas pelos fabricantes das válvulas de controle são **inerentes**, já que não possuem condições de simular toda e qualquer aplicação da válvula de controle.

A **característica de vazão inerente** é a teórica, enquanto que, a **instalada** é a prática.

### Características de Vazão Inerentes

A característica de vazão é proporcionada pelo formato do obturador (caso das válvulas globo convencionais), ou pelo formato da janela da gaiola (caso das válvulas tipo gaiola) ou ainda pela posição do elemento vedante à sede (caso das válvulas borboletas e esfera).

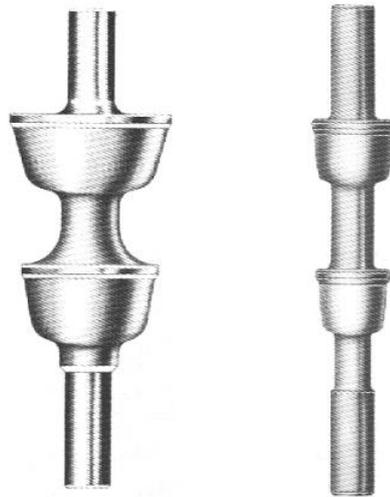


Figura 217.

Existem basicamente quatro tipos de características de vazão inerentes:

- a) *Linear*
- b) Igual porcentagem (50:1)
- c) *Parabólica modificada*
- d) *Abertura rápida.*

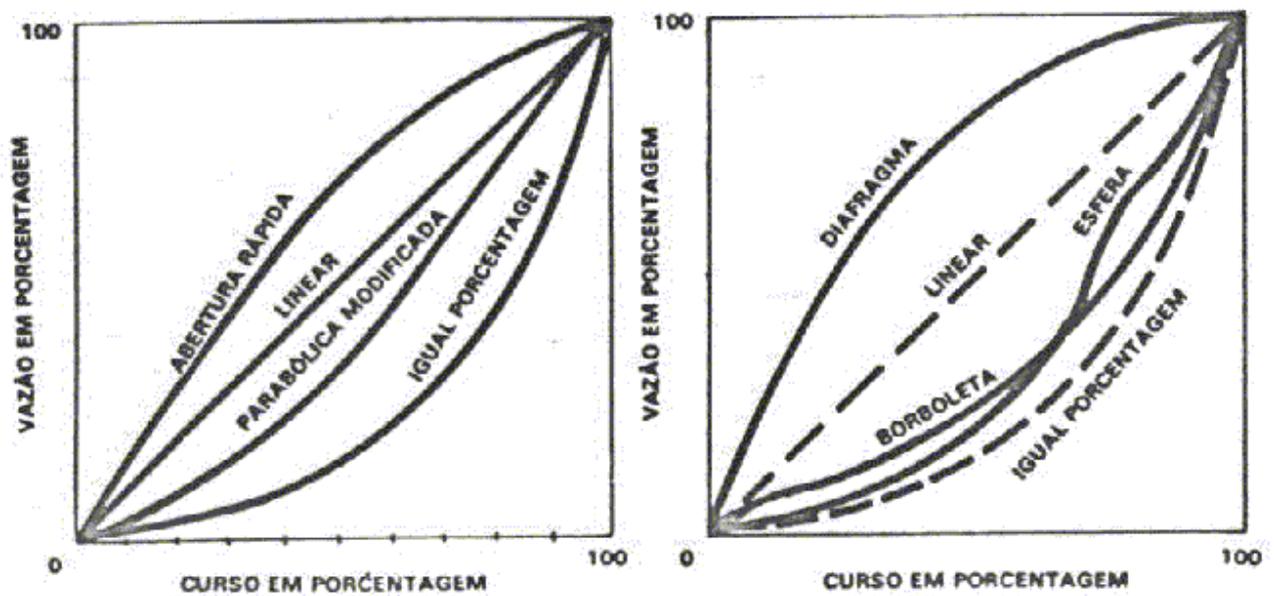


Figura 218.

## CARACTERÍSTICA DE VAZÃO INSTALADA DAS VÁLVULAS DE CONTROLE

A característica de vazão instalada é definida como sendo a real característica de vazão, sob condições reais de operação, onde a pressão diferencial não é mantida constante. De fato a pressão diferencial num determinado sistema de controle de processo, nunca se mantém constante. As características de vazão fornecidas pelos fabricantes das válvulas de controle são inerentes, já que não possuem condições de simular toda e qualquer aplicação da válvula de controle. A característica de vazão inerente é teórica, enquanto que a característica de vazão instalada é a real.

Instalada a válvula de controle de processo, a sua característica de vazão inerente sofre profundas alterações. O grau de alteração depende do processo em função do tipo de instalação, tipo de fluido, etc. Nessa situação a característica de vazão inerente passa a denominar-se característica de vazão instalada. Dependendo da queda de pressão através da válvula e a queda de pressão total do sistema, a característica de vazão pode alterar-se consideravelmente e, o que é mais interessante, é que se a característica de vazão inerente for linear, esta tende a abertura rápida, enquanto que as características inerentes iguais porcentagem, tendem a linear conforme podemos ver pelas figuras a seguir.

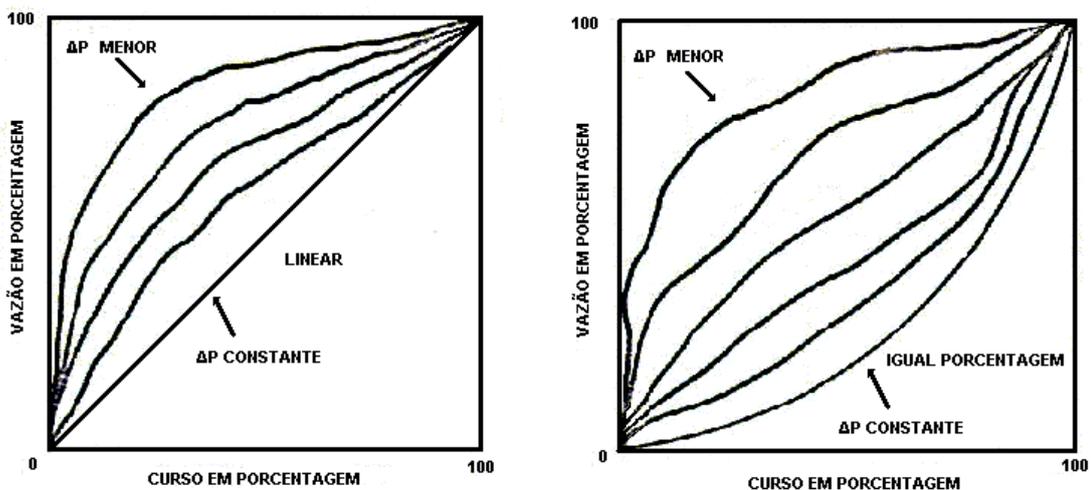


Figura 219.

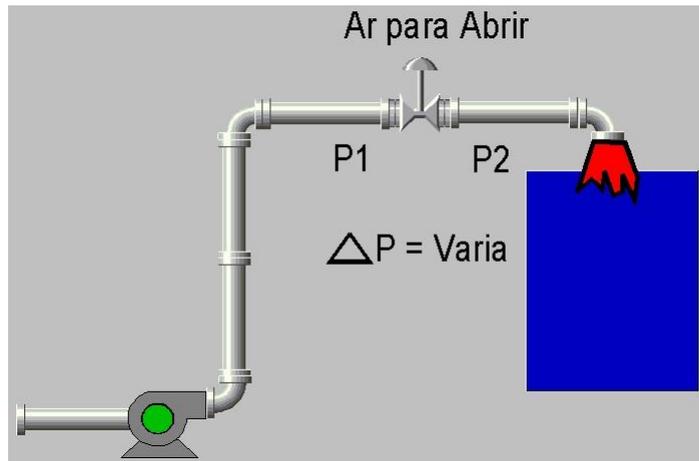


Figura 220. Exemplo de aplicação de uma válvula com característica inerente = 100% onde o  $\Delta p$  varia

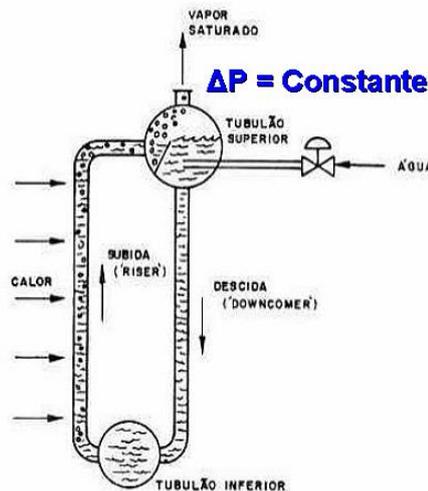


Figura 221. Exemplo de aplicação de uma válvula com característica inerente linear onde o  $\Delta P$  é constante

### Alcance de Faixa da Válvula

O alcance de faixa de uma válvula, pode ser definido como sendo a relação entre a vazão máxima e mínima controláveis. Ele é obtido dividindo-se o coeficiente de vazão (em porcentagem) mínimo efetivo ou utilizável pelo coeficiente de vazão (em porcentagem) máximo efetivo ou utilizável.

Da mesma forma que a característica de vazão, o **alcance de faixa** se *define como alcance de faixa inerente e alcance de faixa instalado*.

O **alcance de faixa inerente** é determinado em condições de queda de pressão constante através da válvula, enquanto que, o **alcance de faixa instalado** obtém-se em queda de pressão variável.

O **alcance de faixa inerente** varia de válvula para válvula em função do estilo do corpo. Na **válvula globo** é da ordem de 50:1, na **esfera** de 50:1 até 100:1, na **borboleta** 20:1, etc..

O alcance de faixa instalado pode também ser definido como sendo a relação entre o alcance de faixa inerente e a queda de pressão.

## COEFICIENTE DE VAZÃO (CV)

O termo CV , por definição , é a quantidade de água a 60 °F medida em galões , que passa por uma determinada restrição em 1 minuto , com uma perda de carga de 1 psi .

Ex : Uma válvula de controle com CV igual a 12 , tem uma área efetiva de passagem quando totalmente aberta , que permite o escoamento de 12 GPM de água com uma pressão diferencial de 1 psi .

Basicamente é um índice de capacidade , com o qual estimamos rápida e precisamente o tamanho requerido de uma restrição em um sistema de escoamento de fluidos .



Figura 222.O CV de uma válvula define o diâmetro do anel sede e do obturador

Quando fizermos a troca de uma válvula por outro devemos observar se o CV e a característica de vazão das mesmas são iguais para que a válvula instalada possa funcionar corretamente.

## POSICIONADORES

É o dispositivo que trabalha em conjunto com o atuador da válvula de controle para posicionar corretamente o obturador em relação à sede da válvula . O posicionador compara o sinal emitido pelo controlador com a posição da haste da válvula e envia ao atuador da válvula a pressão de ar necessária para colocar o obturador na posição correta .

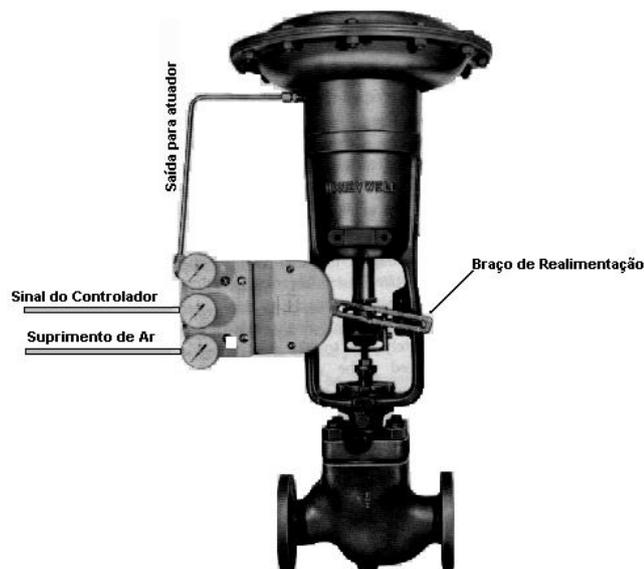


Figura 223.

### 11.1 - Principais aplicações do posicionador em válvulas

- Vencer o atrito na haste da válvula quando a gaxeta é comprimida com grande pressão , para evitar vazamento do fluido .
- Para válvulas de sede simples , recoloca a válvula na abertura correta , quando a pressão exercida no obturador variar .
- Modificar o sinal do controlador . O posicionador , por exemplo , recebe um sinal de 3 a 15 psi do controlador e emite um sinal de 6 a 30 psi para o atuador .
- Aumentar a velocidade de resposta da válvula . Usando-se um posicionador , eliminam-se : o atraso de tempo provocado pelo comprimento e diâmetro dos tubos de ligação entre a válvula e o controlador e volume do atuador .
- Inverter a ação do controlador .

### Limitações do uso do posicionador

As aplicações anteriores são muito usadas , entretanto , em processos rápidos , o uso do posicionador pode ser prejudicial para a qualidade do controle , principalmente no controle de vazão . Quando necessário , podem ser usados boosters para pressão ou volume ao invés do posicionador .

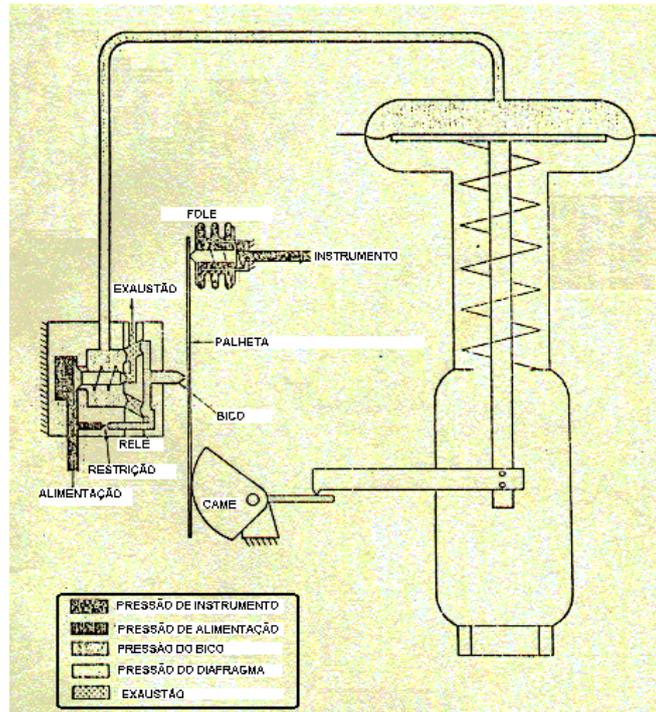


Figura 224.

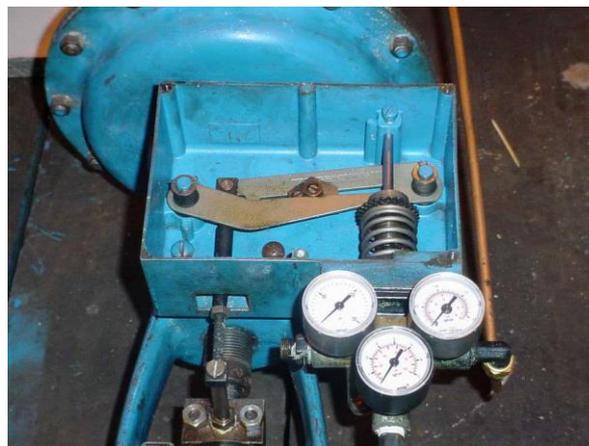


Figura 225.Exemplo de instalação de um posicionador pneumático

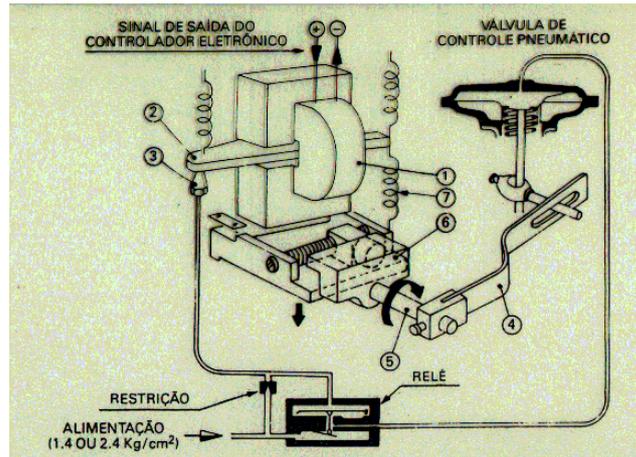


Figura 226.



Figura 227. Exemplo de instalação de um posicionador eletropneumático

## POSICIONADOR INTELIGENTE

O posicionador inteligente é um equipamento de última geração microprocessado e totalmente programável.

Uma das diferenças entre os posicionadores inteligentes e os outros é a eliminação do link mecânico, sendo que a realimentação, ou seja, a posição da haste da válvula de controle é feita através do efeito “Halls” (campo magnético).

Existem basicamente três formas de programar o instrumento: localmente no seu visor, através de um Hand Held (programador) ou através de um software de programação.

O posicionador inteligente permite através de sua programação obtermos as seguintes informações:

- Leitura da posição da válvula, sinal de entrada e pressão no atuador
- Comandos de posição da válvula, configuração e auto calibração

- Auto ajustes
- Tempo de fechamento e abertura, No. de ciclos
- Gráficos de pressão x posição
- Histórico da configuração
- Caracterização de fluxo através do programa de came: linear, abertura rápida etc
- Limites de posição

A seguir citamos algumas vantagens dos posicionadores inteligentes:

- Eleva a confiança nas manutenções preventivas
- O melhor posicionamento e controle dinâmico da válvula aumentam o rendimento do processo.
- Reduz as variações no processo
- Calibração, configuração e gerenciamento do posicionador dentro da sala de controle
- Posicionamento e resposta da válvula melhorados



Figura 228. Posicionador inteligente

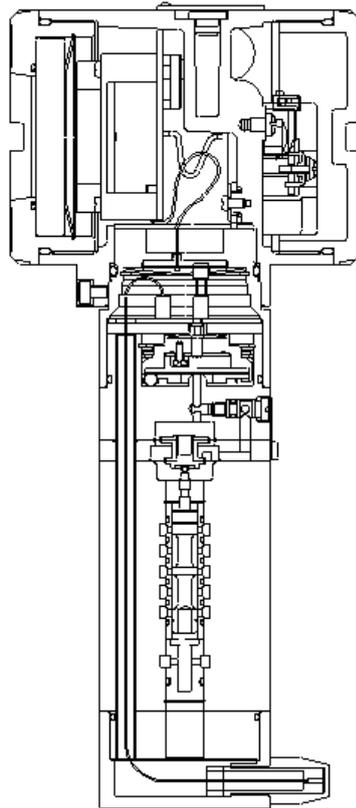


Figura 229. Exemplo do posicionador inteligente

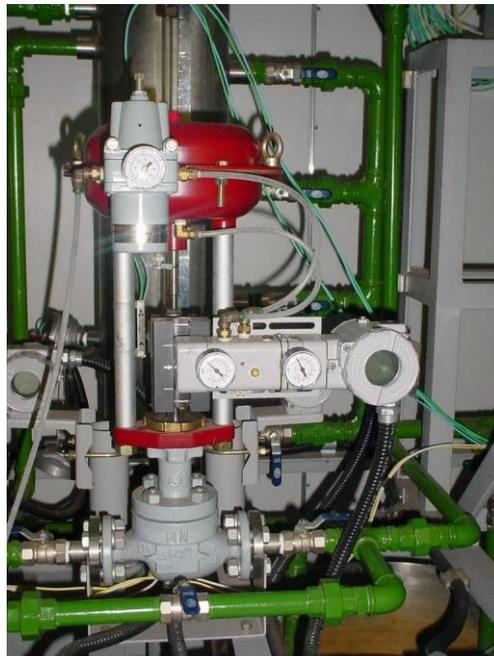


Figura 230. Exemplo de instalação de um posicionador inteligente