

Capítulo 7 - Medição de pressão



7.1 - Introdução

A pressão significa “força por unidade de área” que atua sobre uma superfície.

Unidades:

- mmHg
- mH₂O (mCA)
- psi (libras por polegada quadrada)
- kgf/cm²
- Pa = N/m²
- bar (10⁵ N/m²)
- mbar (10² N/m²) = hPa

Pressão absoluta: Pressão positiva a partir do vácuo completo.

Pressão manométrica ou relativa:

Diferença entre a pressão medida e a pressão atmosférica.

Pressão diferencial

Quando um sensor mede a diferença entre duas pressões desconhecidas, sendo que nenhuma delas a pressão atmosférica, então essa pressão é conhecida como pressão diferencial.

Essa diferença de pressão pode ser utilizada para medir indiretamente outras grandezas como vazão, nível e outras grandezas.

A pressão atmosférica ou pressão barométrica é a força por unidade de área exercida pela atmosfera terrestre em um determinado local.

Sua medida é realizada através dos instrumentos denominados barômetros. O italiano Evangelista Torricelli (1608-1647), foi o primeiro a desenvolver um barômetro.

Denominam-se manômetros e vacuômetros os instrumentos utilizados para medir pressão acima e abaixo da pressão ambiente atmosférica local, respectivamente.

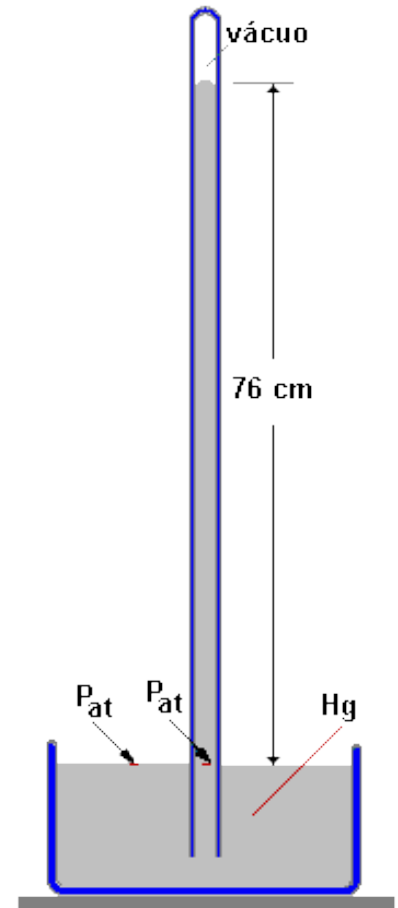
7.2 - Barômetros

7.2.1 - Barômetros de mercúrio

Sabe-se que uma coluna líquida de altura h , de massa específica ρ , em um local onde a aceleração da gravidade é g , exerce na sua base uma pressão que equilibra a pressão atmosférica p_{atm} , de onde se conclui pela relação:

$$p_{\text{atm}} = p_v + \rho gh.$$

Usa-se frequentemente, como líquido, o mercúrio, por sua grande massa específica (menores valores de h).



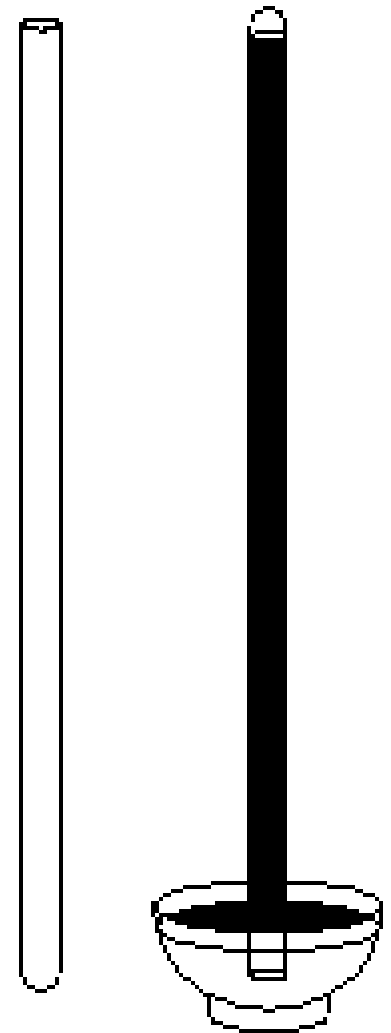
7.2.1 - Barômetros de mercúrio

A) Barômetro de cuba

$$p_{\text{atm}} = p_v + \rho gh.$$

Conhecendo a massa específica do mercúrio, ρ e a aceleração da gravidade no local, g , determina-se a pressão atmosférica ambiente.

Esse procedimento é a síntese da experiência de Torricelli.



Barômetro de cuba

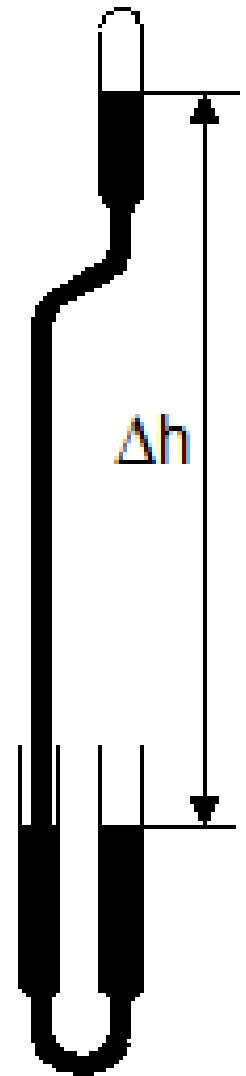
7.2.1 - Barômetros de mercúrio

B) Barômetro Normal

Compõe-se de um tubo em forma de J, com cerca de 80 cm de altura e 2 cm de diâmetro, fixo a um suporte que permite mantê-lo na vertical. A leitura é feita por meio de uma escala adaptada a ele e próxima ao tubo.

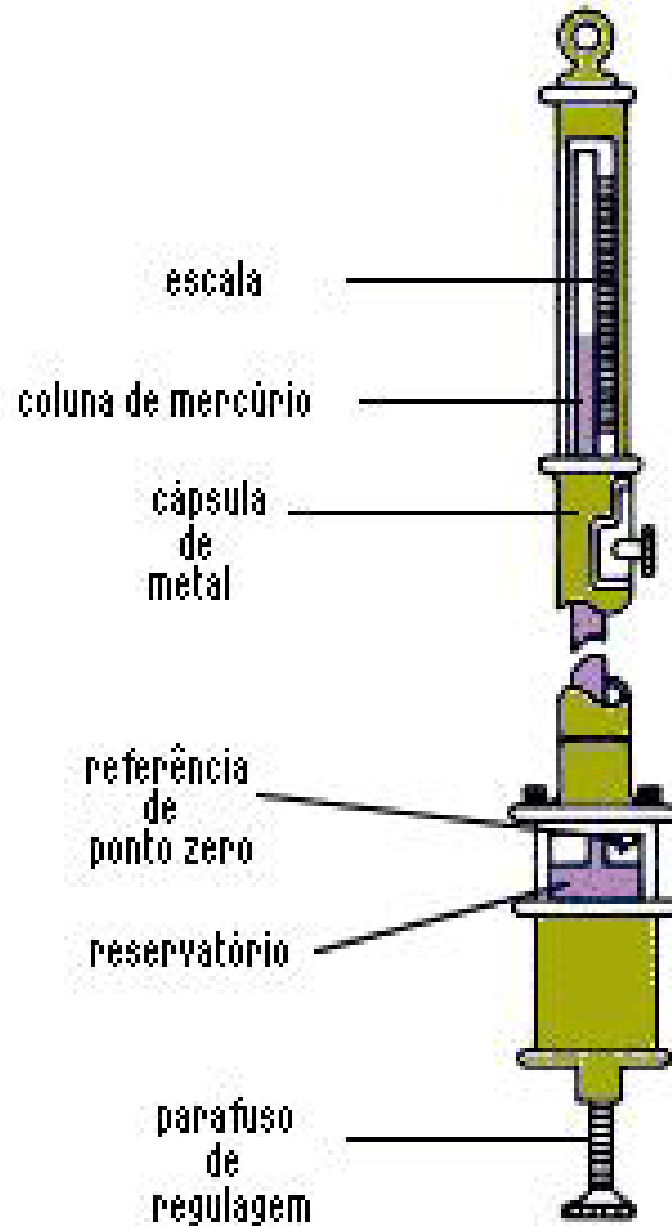
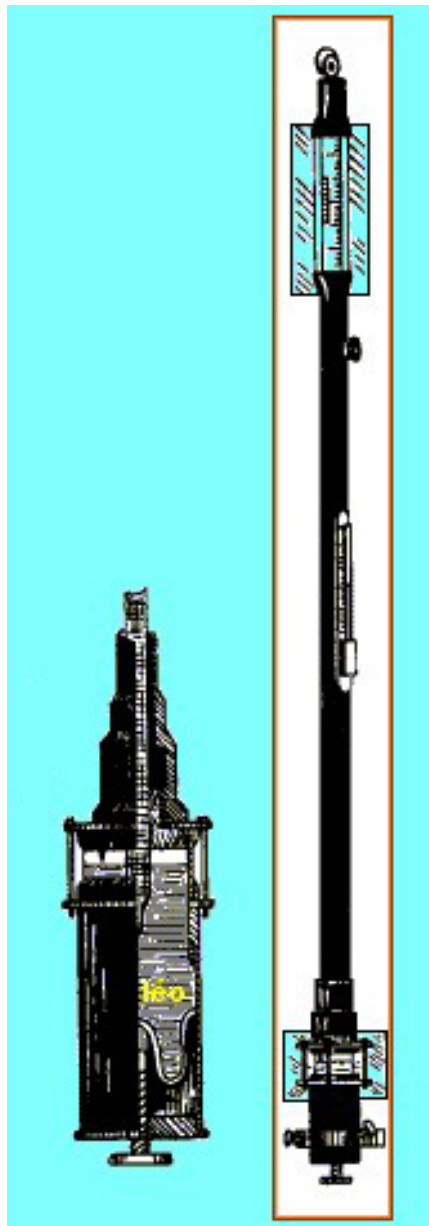
Com o objetivo de se evitar o efeito da capilaridade, o tubo tem suas extremidades, onde se realizam as leituras de nível, alargadas em relação ao restante do tubo.

Para maior precisão deve-se utilizar um termômetro para corrigir o efeito da temperatura sobre os comprimentos medidos e massa específica do mercúrio.



Barômetro
Normal

Figuras de barômetros de mercúrio



Fatores de imprecisão de leitura em barômetros de mercúrio

Iluminação

Alinhamento vertical do barômetro

Temperatura: Para manter a imprecisão dentro de uma faixa de 0,01% (0,1 mmHg) a temperatura do mercúrio deve ser mantida dentro de uma faixa de $\pm 1^\circ \text{C}$.

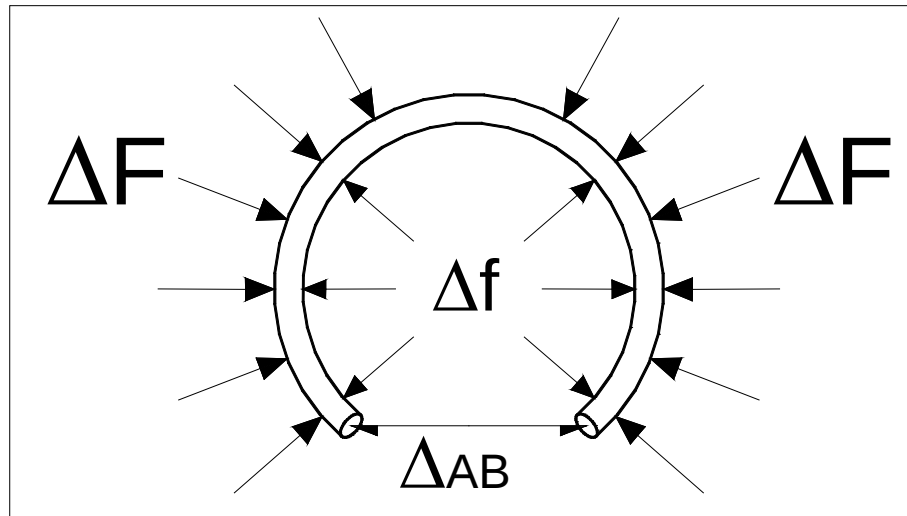
Efeitos capilares – A qualidade do barômetro é função do diâmetro do tubo utilizado.

7.2.2 - Barômetros metálicos

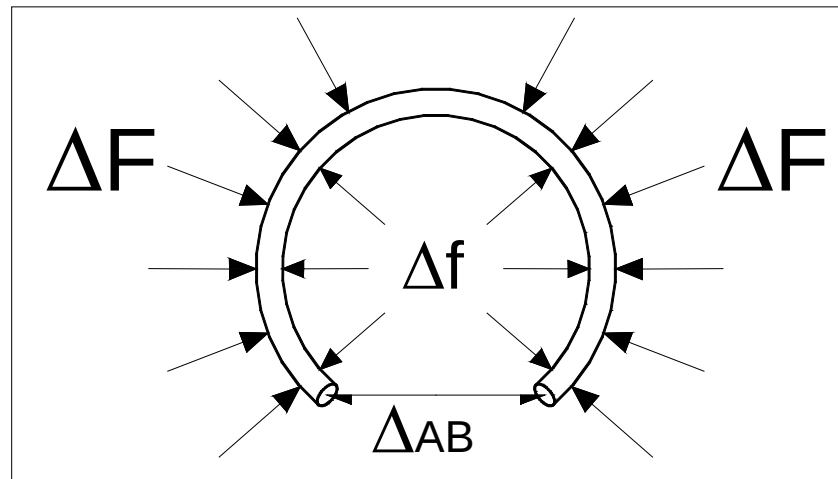
Caracterizam-se por não possuírem coluna barométrica. Podem ser portáteis, embora de menor precisão.

7.2.2.1 - Barômetro aneróide

O dispositivo sensível à pressão é um tubo fechado, metálico, de paredes muito delgadas; constitui uma superfície toroidal desprovida de ar internamente (sob vácuo).



Da figura observa-se que, um aumento de pressão provoca um acréscimo da força externa $\Delta F = \Delta p \cdot S$ em direção ao centro e um acréscimo $\Delta f = \Delta p \cdot s$ em direção oposta do toróide.



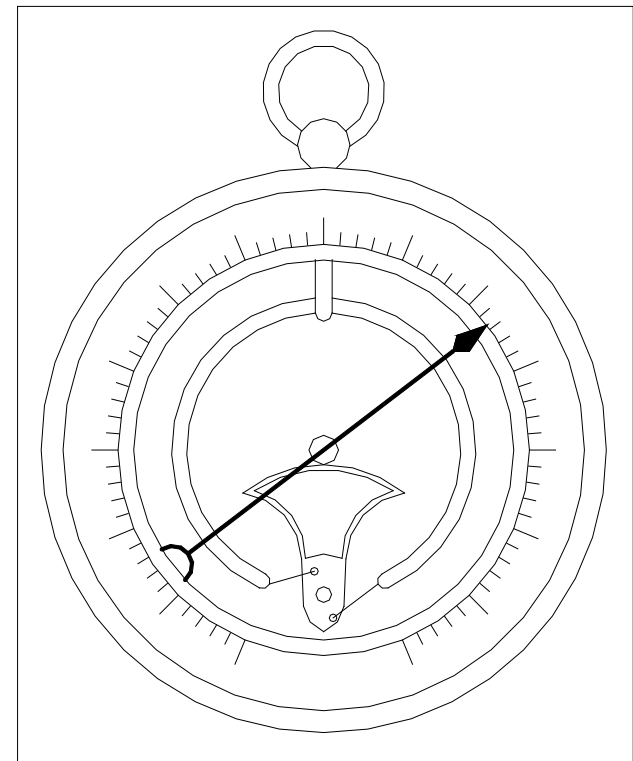
Como $S > s$, resulta $\Delta F > \Delta f$. S e s são as áreas das faces externa e interna do toróide, elemento sensor do barômetro aneróide.

Como resultado, um aumento de pressão aproxima os extremos A e B e uma diminuição os afasta. Considerando uma relação linear, K, entre a variação da distância AB, Δ_{AB} , e diferença de forças, $\Delta F - \Delta f$, tem-se:

$$\Delta_{AB} = \frac{K}{\Delta F - \Delta f} = \frac{K}{\Delta p(S - s)}$$

portanto, ΔAB é inversamente proporcional a Δp .

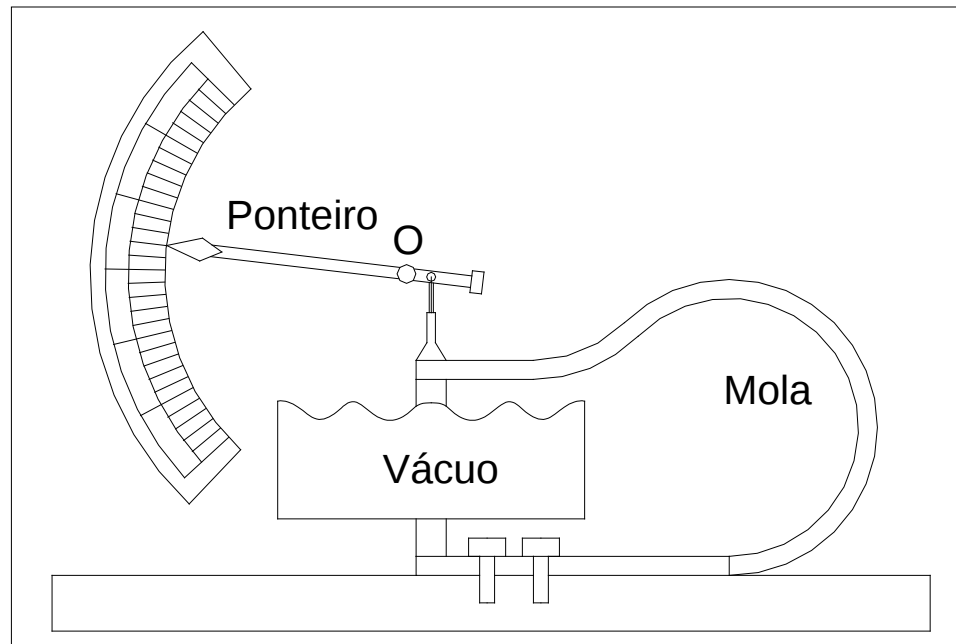
Uma engrenagem leve e um ponteiro ampliam as variações ΔAB , que podem ser medidas em uma escala (expressa em unidades de pressão).



7.2.2.2 - Barômetro de Vidi

Mede a pressão atmosférica tomando como referência as deformações produzidas sobre uma caixa metálica, hermeticamente fechada na parte superior por uma lâmina metálica ondulada e flexível, em cujo interior é feito vácuo.

Um ponteiro amplia as deformações e percorre uma escala.



Figuras de barômetro metálicos



Sistema de alavancas

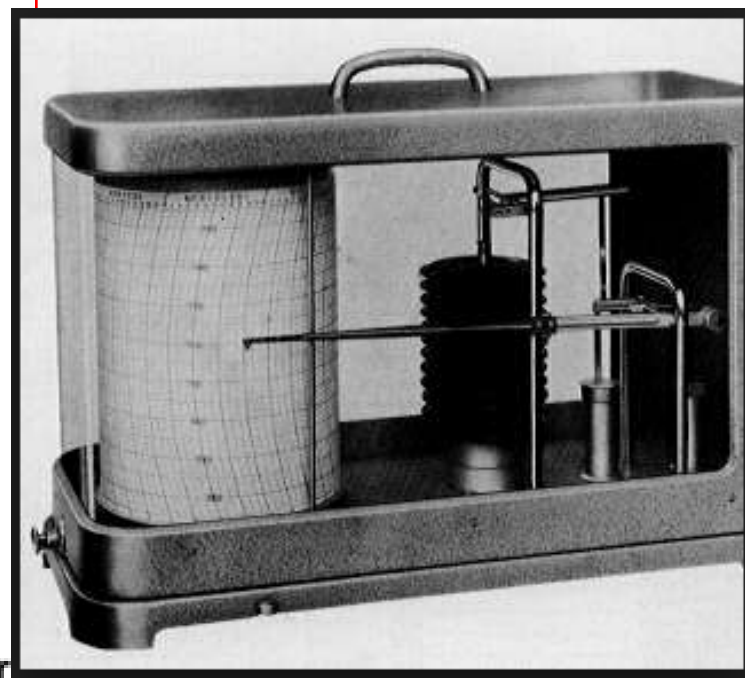
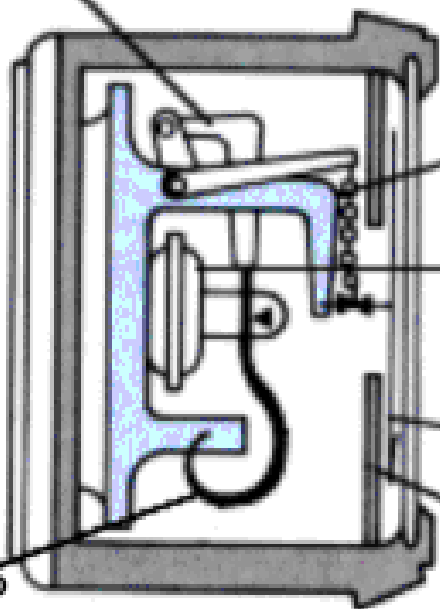
Corrente

Câmara metálica com extremidade livre que se move com a pressão do ar

Agulha giratória

Escala graduada

Mola sobre a qual a câmara exerce pressão



Figuras de barômetro metálicos



7.3 - Manômetros

Existem quatro tipos de medidores de pressão relativa, ou manômetros e vacuômetros:

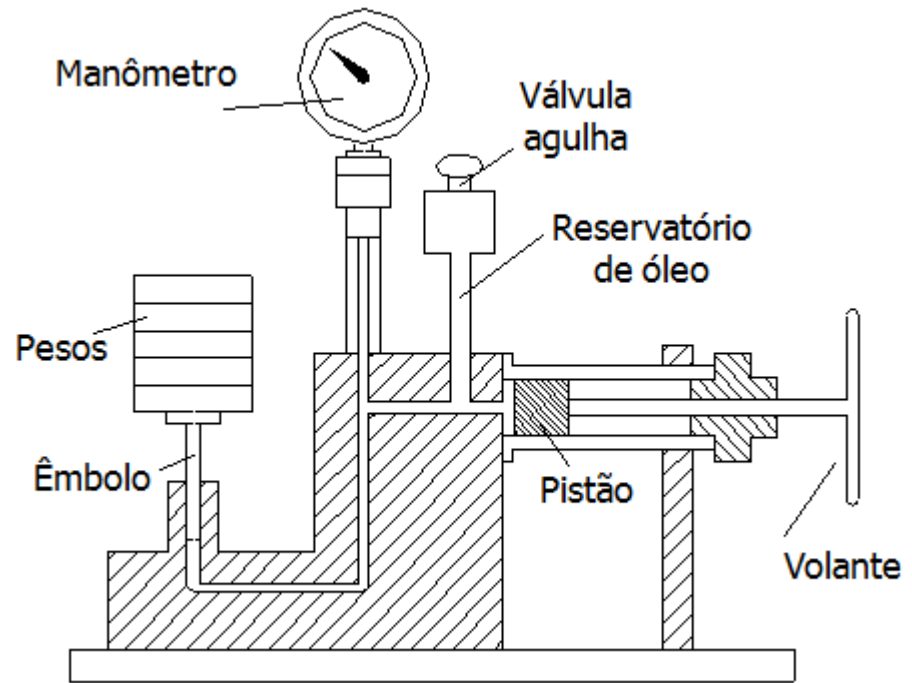
- Manômetro de peso morto
- Manômetros de coluna líquida
- Manômetros por deformação elástica
- Manômetros-transdutores de pressão

7.3.1 - Manômetro de peso morto

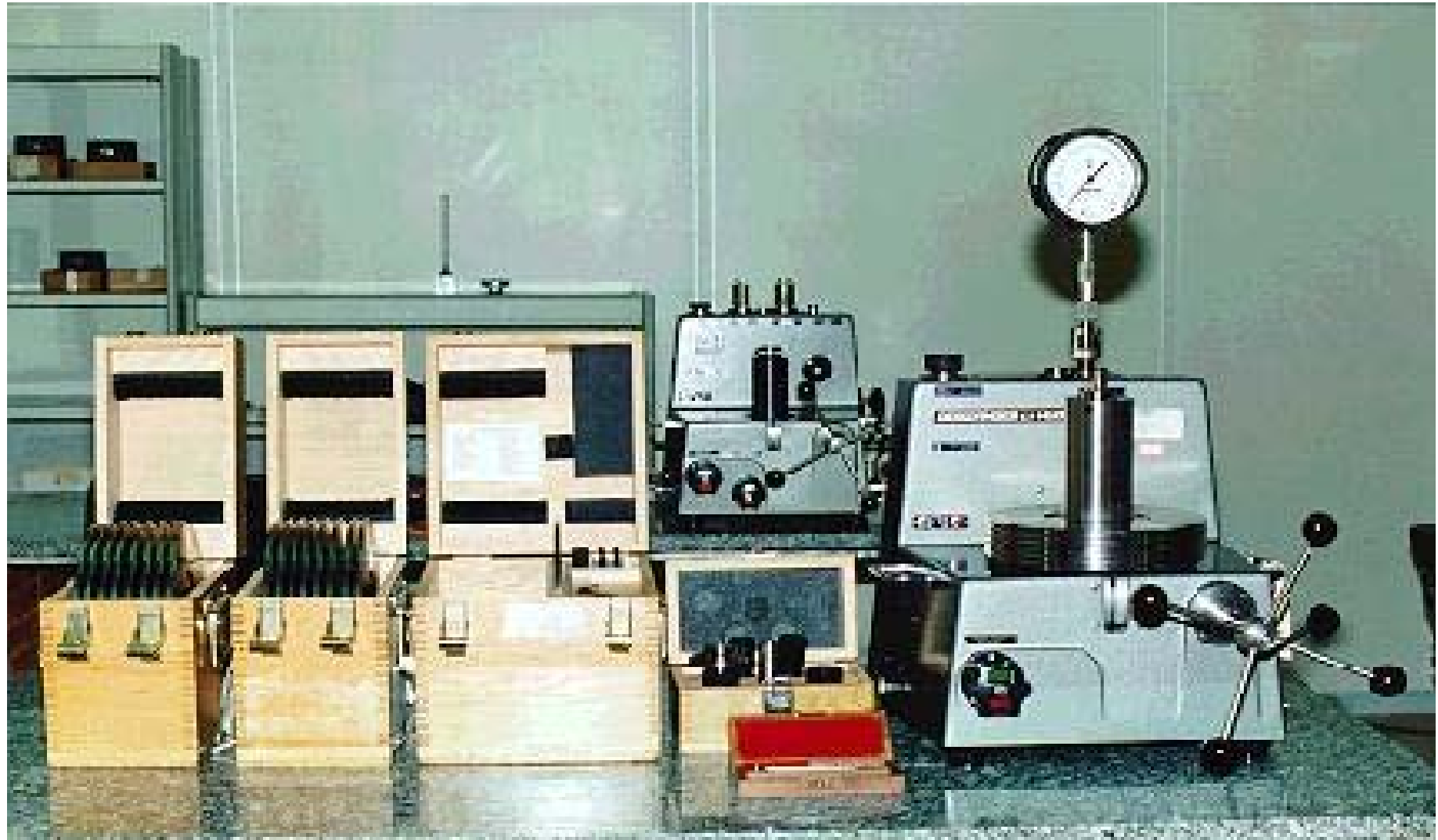
Utiliza-se o manômetro de peso morto na calibração de outros medidores de pressão devido a sua precisão.

A pressão é obtida pela colocação de massas padronizadas sobre um êmbolo de área também conhecida.

Para uma determinada força-peso sobre o êmbolo pode-se calcular a pressão exercida.



Figuras de manômetros de peso morto



7.3.2 - Manômetros de coluna líquida

Os manômetros de coluna líquida, outrora largamente utilizados, estão sendo progressivamente abandonados, principalmente devido ao fato de normalmente necessitar de um líquido manométrico mais denso que a água, como é o caso do mercúrio metálico.

Este líquido pode vazar para o interior da tubulação, provocando contaminações.

Outro problema é a grande dificuldade de adaptar sistemas de leitura remota e saídas para registradores e processadores.

Entretanto, os manômetros de coluna possuem uma grande vantagem: não necessitam calibração, desde que possa se garantir a densidade do líquido manométrico e a exatidão da escala que mede a altura da coluna.

Ainda hoje os manômetros de coluna líquida são utilizados como padrões práticos para calibração de transdutores de pressão.

As faixas de medição de pressão podem ser bastante extensas uma vez que o fluido manométrico (mercúrio, óleo ou água) pode ser mudado de acordo com a pressão ou depressão a serem medidas.

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

Em função do peso específico do líquido manométrico 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 mH₂O , caso se utilize água destilada, e 2 mHg com utilização do mercúrio.

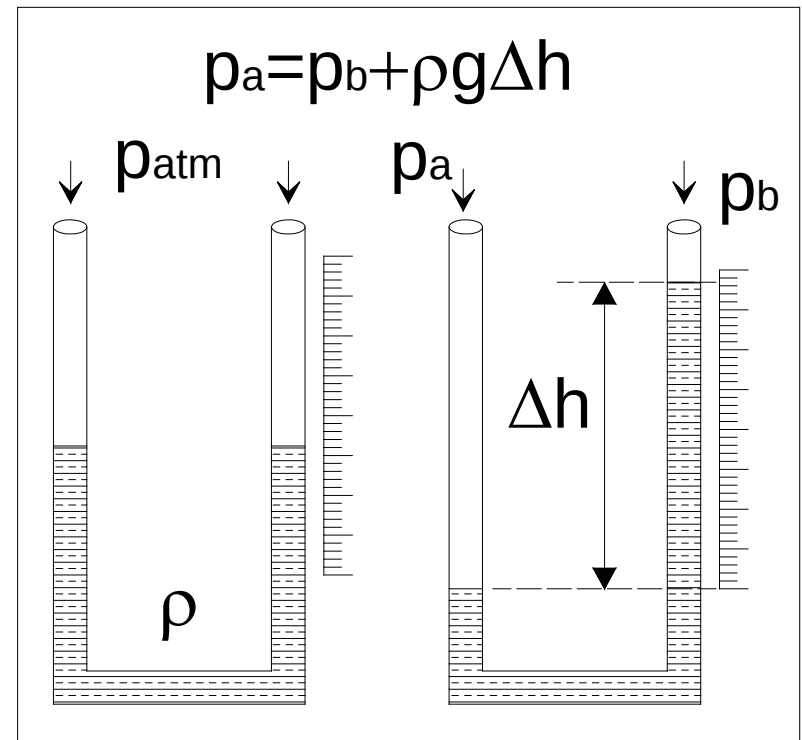
7.3.2.1 - Tubo em U

Na figura abaixo está esquematizado um tubo em U no qual se aplica somente um valor de pressão em cada um dos ramos (ramo a e ramo b).

Na figura da direita a pressão no ramo a é maior, provocando a elevação do líquido no ramo b.

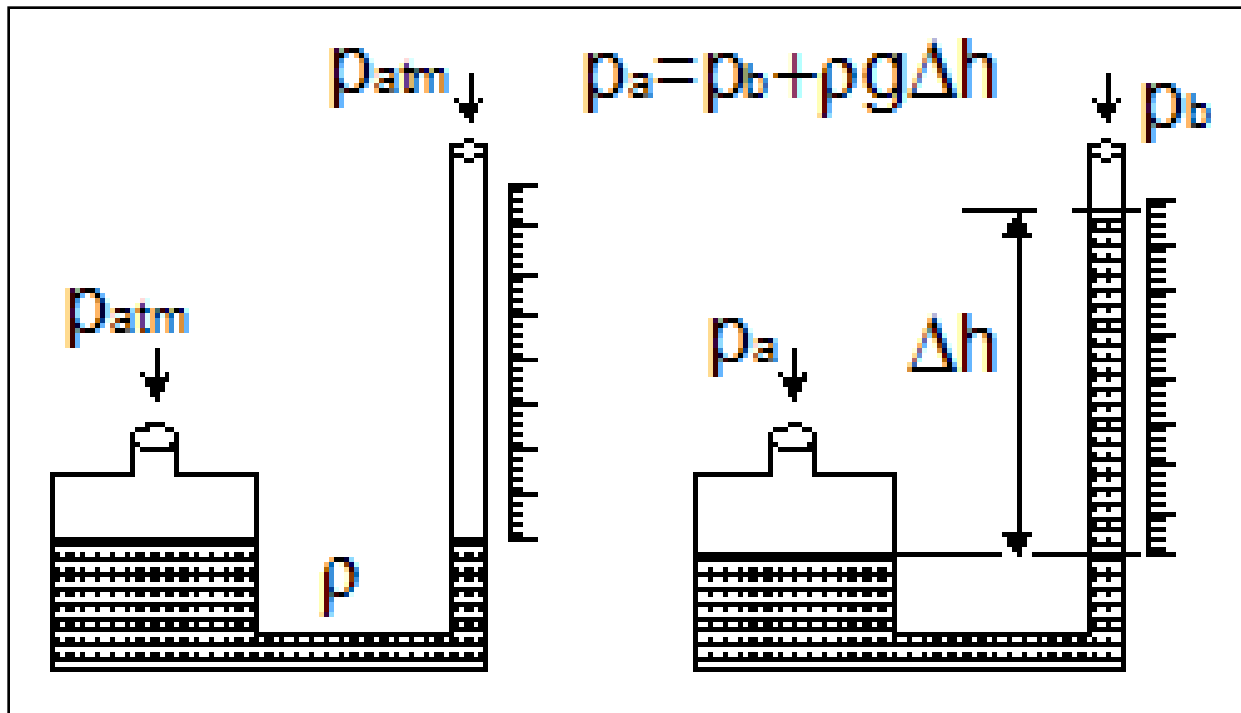
O desnível h se relaciona com a diferença $p_a - p_b$ por :

$$p_a - p_b = \rho g h$$



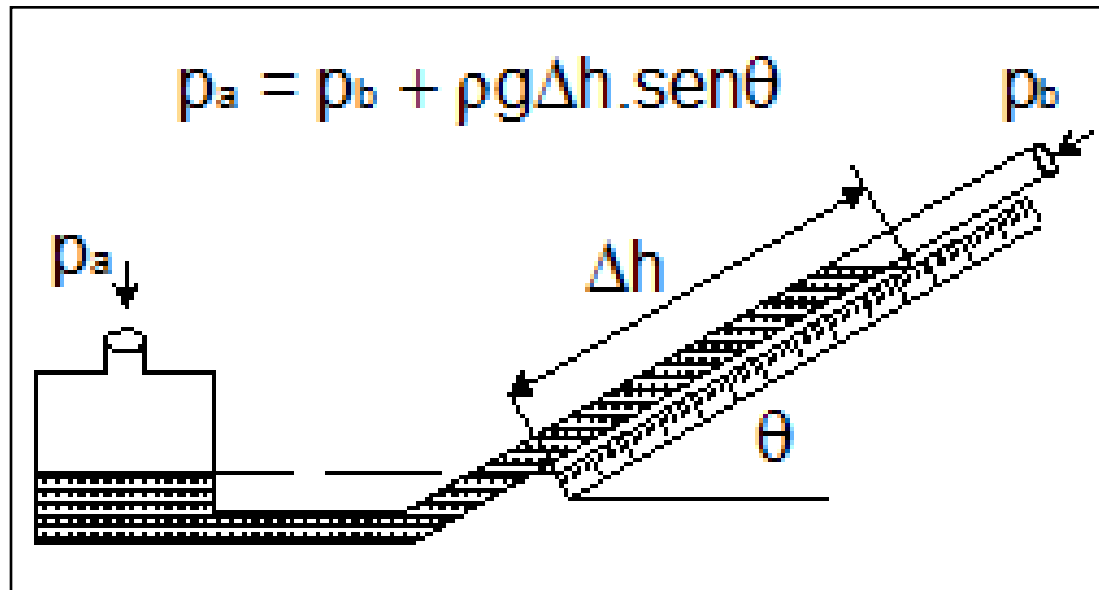
7.3.2.2 - Colunas de áreas diferentes

É constituída por dois vasos comunicantes, sendo um deles de diâmetro menor (um tubo) que o outro, no qual se faz a leitura da pressão pelo nível através de uma régua montada aplica pela altura da coluna líquida, como se vê na figura abaixo.



7.3.2.3 - Coluna inclinada

Se a coluna de menor área é posicionada em um ângulo θ com o plano horizontal, o comprimento preenchido pelo líquido será maior, para uma mesma diferença de pressão, melhorando a sensibilidade de medição.



Figuras de manômetro de coluna líquida



Manômetro de Betz
(áreas diferentes)



7.3.3 - Medição por deformação elástica

Os instrumentos que medem pressão manométrica por deformação elástica utilizam a deformação de um elemento sob pressão para mover um ponteiro, normalmente através de engrenagens intermediárias para amplificação da deformação.

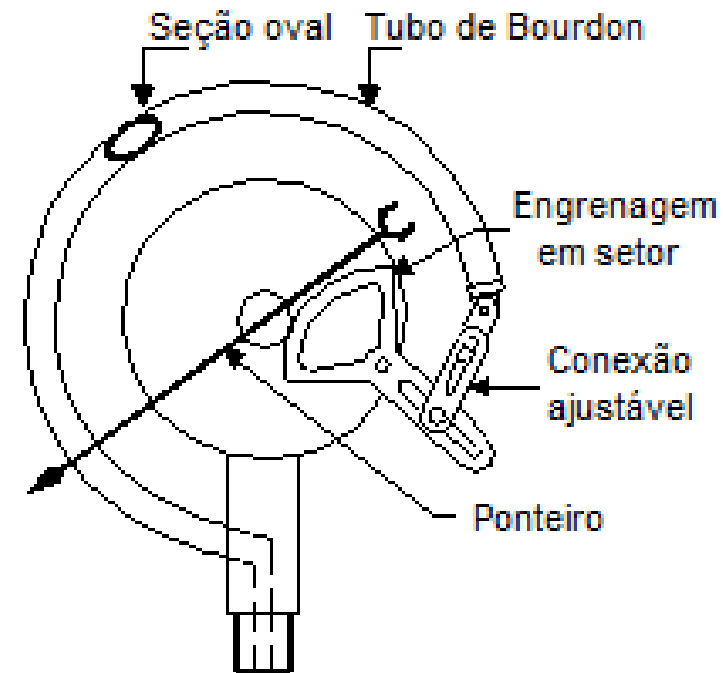
O mais comumente utilizado é o manômetro de Bourdon.

7.3.3.1 - Manômetro de Bourdon

A) Tubo de Bourdon simples

O manômetro de Bourdon é um medidor totalmente mecânico de pressão.

O tubo de Bourdon é o elemento sensor primário e o elemento conversor de variável, uma vez que é neste elemento que a pressão do fluido é convertida em uma deformação



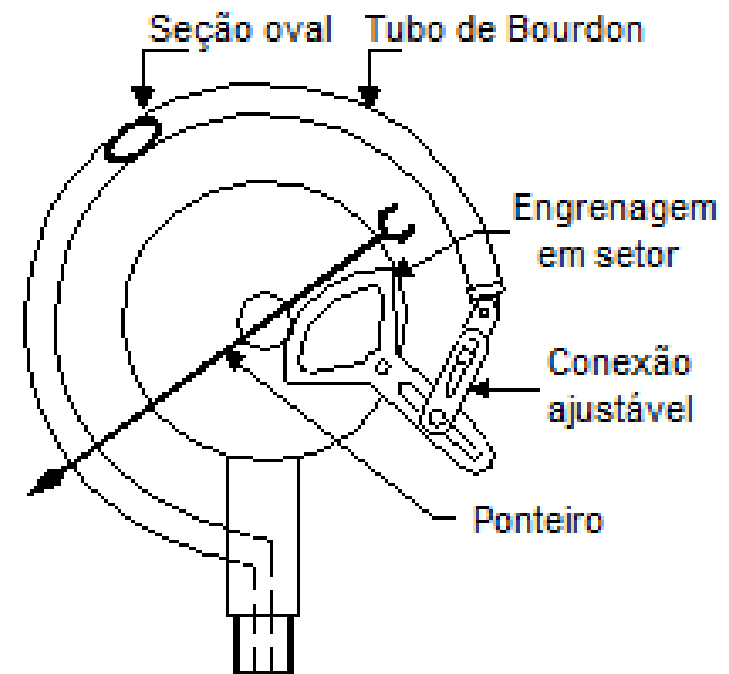
A articulação e a engrenagem em setor transmitem a deformação do tubo de Bourdon à engrenagem central através de um movimento giratório de pequena dimensão.

A engrenagem central amplifica o movimento giratório movimentando o ponteiro, e a escala relaciona a posição do ponteiro com a pressão manométrica.

O medidor tipo tubo de Bourdon é universalmente utilizado na faixa de 0 a 1 atm até 3.000 atm

Sua precisão depende do processo de fabricação chegando 0,1% ou 0,5% da escala.

Alguns desses medidores são ainda incrementados com compensadores térmicos, normalmente uma barra bimetálica integrada ao sistema do ponteiro para minimizar o distúrbio de temperatura.



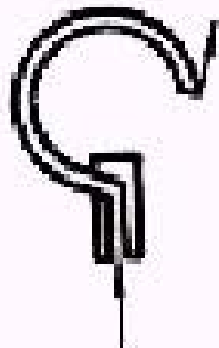
O tubo de Bourdon mais comum é formado por um tubo de secção elíptica que se deforma com a aplicação de uma pressão interna.

O tubo de Bourdon pode ser curvado em várias formas constituindo o elemento sensor de diversos medidores.

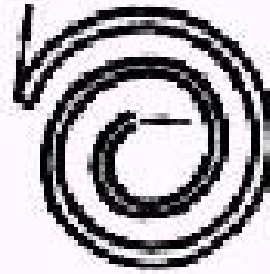
Existem configurações na forma de C, helicoidal, espiral e torcida.

O medidor de tubo helicoidal pode indicar uma maior deformação sem o uso de engrenagens, possuindo esta vantagem sobre a configuração em C.

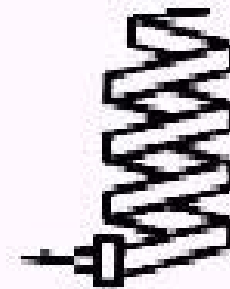
Figuras de Manômetro de Bourdon.



(a) "C"



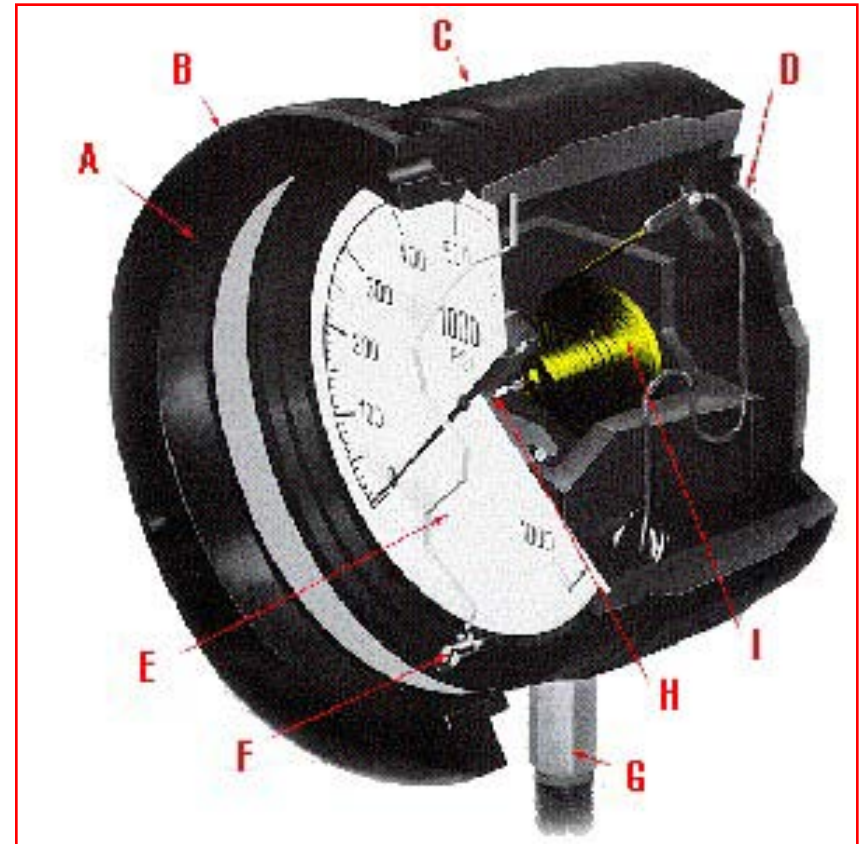
(b) Espiral



(c) Helicoidal



Figuras de Manômetro de Bourdon.



Manômetro, Vacuômetro ou Manovacuômetro com Tubo Bourdon

Série Petroquímica, Total em AÇO INOX, Classe A1 1% FDE. - Modelo BRPI 199

MODELO BAIXO CUSTO - Diâmetros nominais de mostrador disponíveis: 63, 100, 115 e 160 mm.

Aplicação

Manômetro Vacuômetro ou Manovacuômetro, total em Aço Inox para aplicação linha petroquímica modelo baixo custo. Adequado a todos os meios gasosos ou líquidos que não obstruam o sistema de medição nem ataquem as partes em Aço Inox.

Diâmetros de mostrador disponíveis.

63, 100, 115 e 160 mm

Classe de precisão A1.

Ø 63 mm : $\pm 1,6\%$ do FDE conf. ABNT.

Ø 100, 115 e 160 mm : $\pm 1\%$ do FDE conf. ABNT.

Faixa de medição.

Ø 63 mm: -760mmHg... 0... 700 kgf/cm².

Ø 100, 115 e 160 mm :-760mmHg...0...1000 kgf/cm².

Temperatura de operação.

Ambiente: T.MIN -20 a T.MAX +60°C

Processo: T.MAX + 80°C

Erro de Temperatura

Ocorre erro adicional quando a temperatura do elemento sensor de pressão desvia de +20°C

Temperatura ascendente: +0,3% / 10°C

Temperatura descendente: -0,3% / 10°C

Porcentagem do valor real da escala.

Conexão ao processo.

Conexão reta ou traseira, material aço inoxidável AISI-316.

Elemento sensor de pressão.

Material: Aço Inox 316, <100 kgf/cm² Bourdon tipo C, >100 kgf/cm² Bourdon tipo helicoidal.

Mecanismo.

Material: 100% Aço Inox 304.

Mostrador.

Alumínio branco com números pretos.

Ponteiro.

De alumínio preto, balanceado com ajuste micrométrico .

Caixa.

Em aço Inox 304.

Visor.

Vidro plano, ou Policarbonato.

Opcionais extras.

Outras conexões ao processo.

Disponível com enchimento líquidos de amortecimento na caixa e parafuso restritor.

Anéis para montagem em painel ou superfície

Outras unidades de engenharias e preparados para refrigeração com escala de correlação de temperatura X pressão.

Versões especiais.

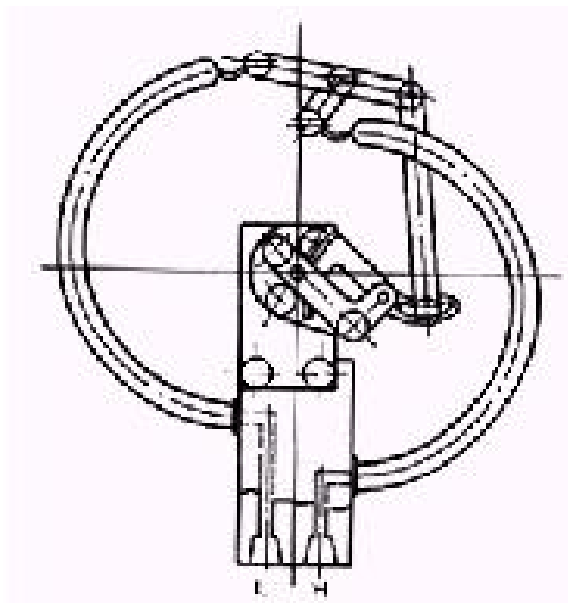
Manômetro para amônia e ou oxigênio.

7.3.3.1 - Manômetro de Bourdon

B) Manômetro de Pressão Diferencial

Este tipo construtivo, é adequado para medir a diferença de pressão entre dois pontos quaisquer do processo.

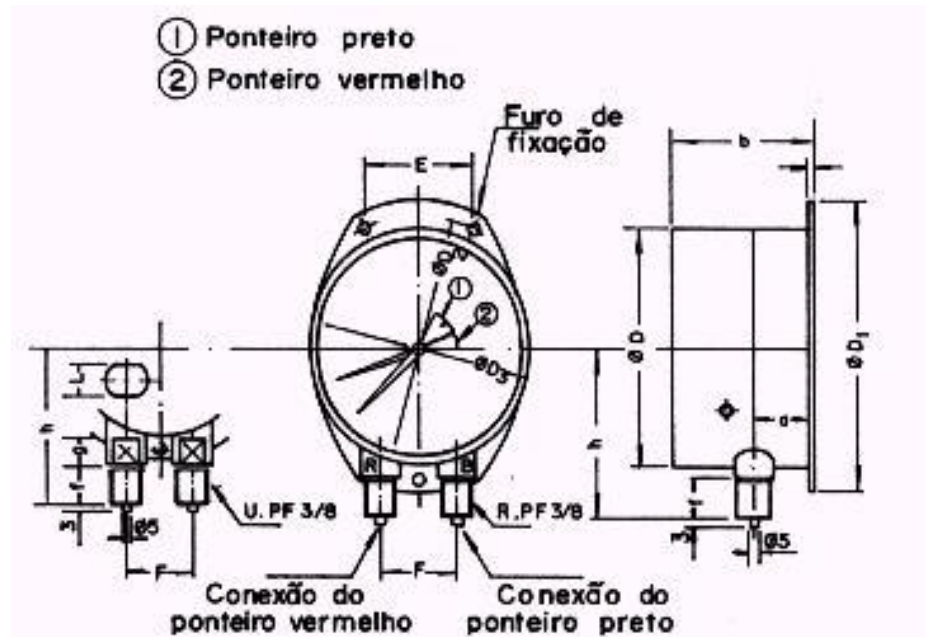
É composto de dois tubos de Bourdon dispostos em oposição e interligados por articulações mecânicas.



C) Manômetro de Bourdon Duplo

São manômetros com dois tubos de Bourdons e mecanismos independentes e utilizados para medir duas pressões distintas, porém com mesma faixa de trabalho.

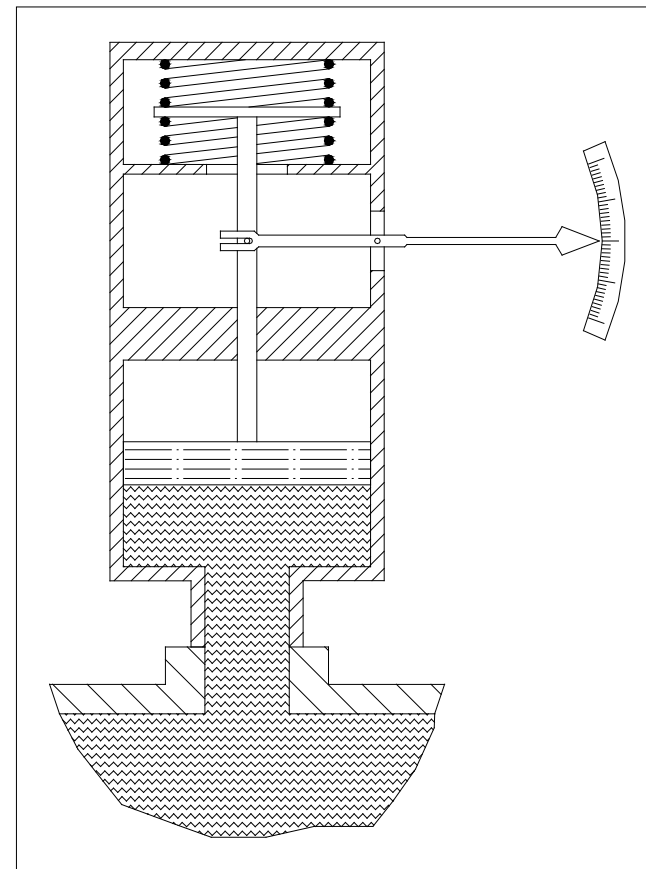
A vantagem desta configuração está no fato de utilizar uma única caixa e um único mostrador.



7.3.3.2 - Manômetro de pistão com mola

Neste tipo, o pistão é mantido em uma das extremidades do cilindro por ação de uma mola e é forçado à outra extremidade por ação da pressão a ser medida.

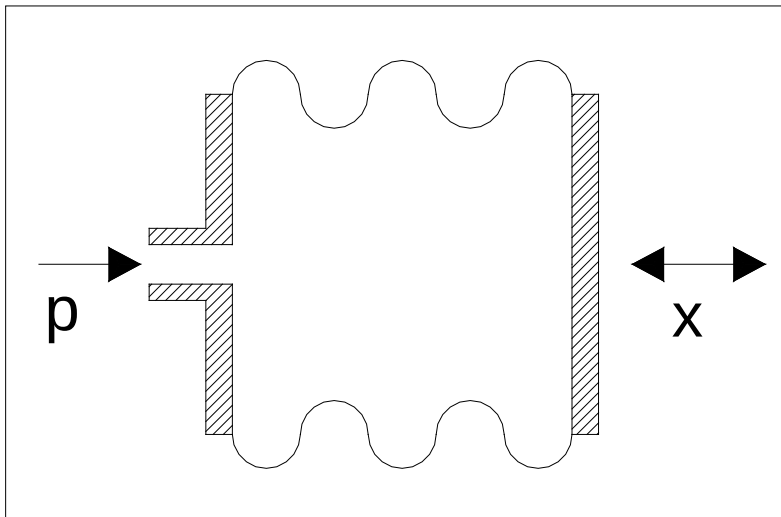
O movimento do êmbolo é transmitido a um ponteiro, posicionado sobre uma escala.



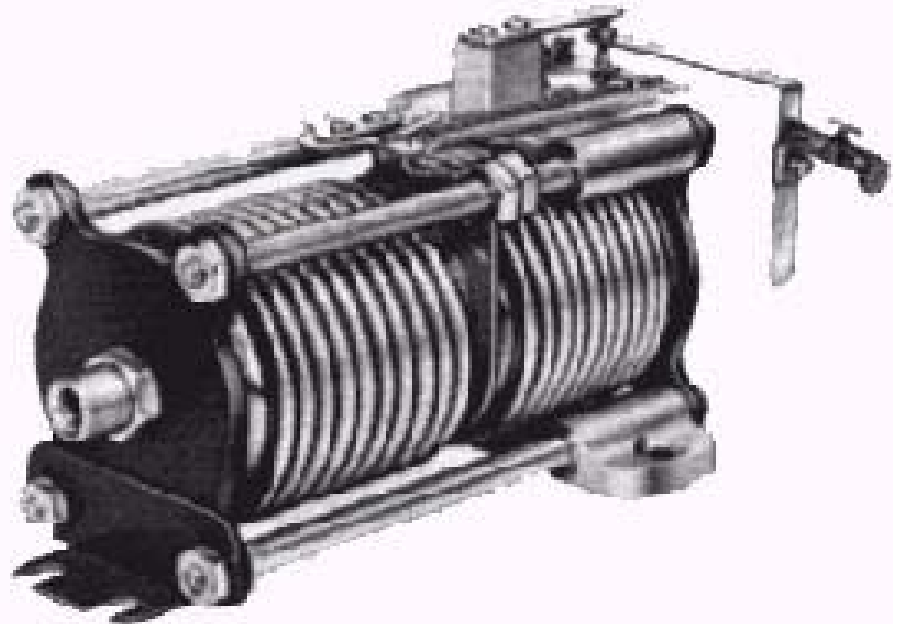
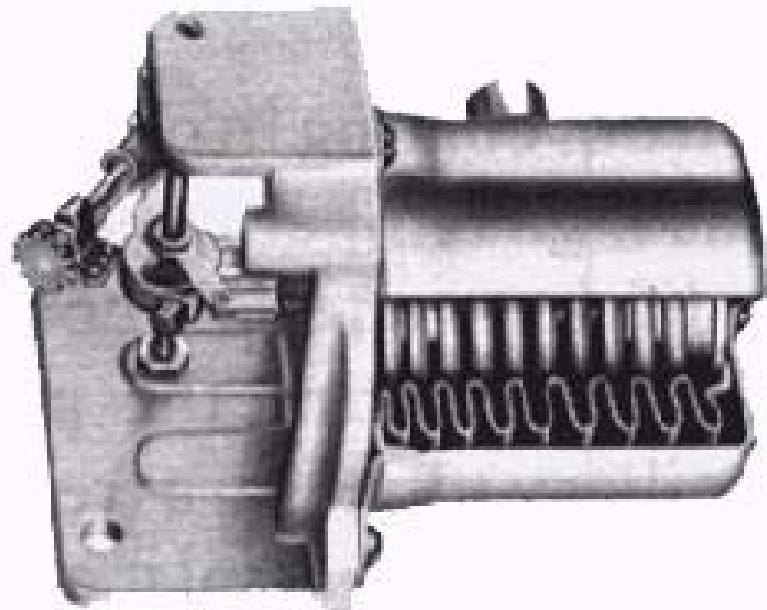
7.3.3.3 - Manômetro tipo fole

Os foles são tubos de paredes corrugadas cujas dimensões se alteram no sentido de aumentar longitudinalmente quando a pressão interna é maior que a externa.

Se a pressão interna diminui em relação à externa então o fole retorna à condição de repouso seja por ação de mola auxiliar ou pela elasticidade do próprio material do fole.



Figuras de manômetro tipo fole



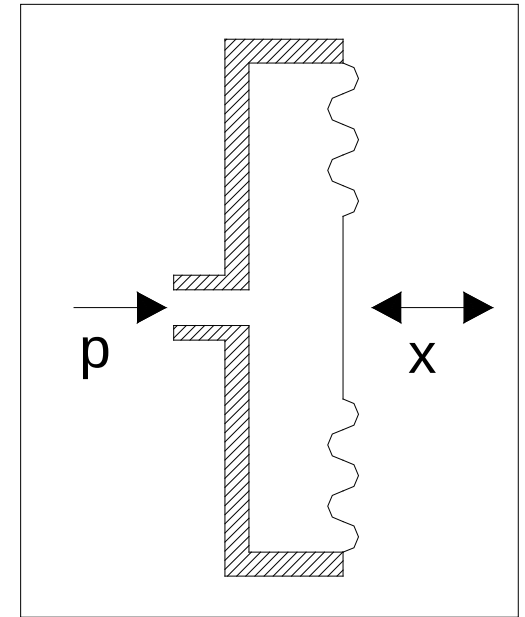
7.3.3.4 - Manômetro tipo diafragma

Os diafragmas podem ser metálicos ou não metálicos.

Os primeiros são em geral feitos de latão, bronze fosforoso, cobre - berílio, monel e aço inoxidável.

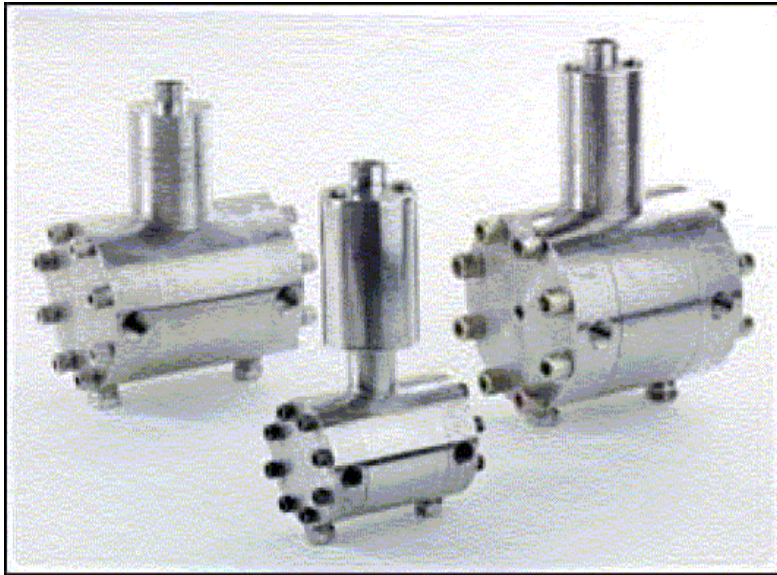
Já os não metálicos podem ser feitos em couro, neoprene, polietileno e teflon.

A pressão aplicada produzirá a flexão do material enquanto seu retorno à posição de repouso será garantido por uma mola auxiliar no caso dos não metálicos ou pela elasticidade do metal que os compõe no caso dos metálicos.



7.3.4 - Manômetros-transdutores de pressão

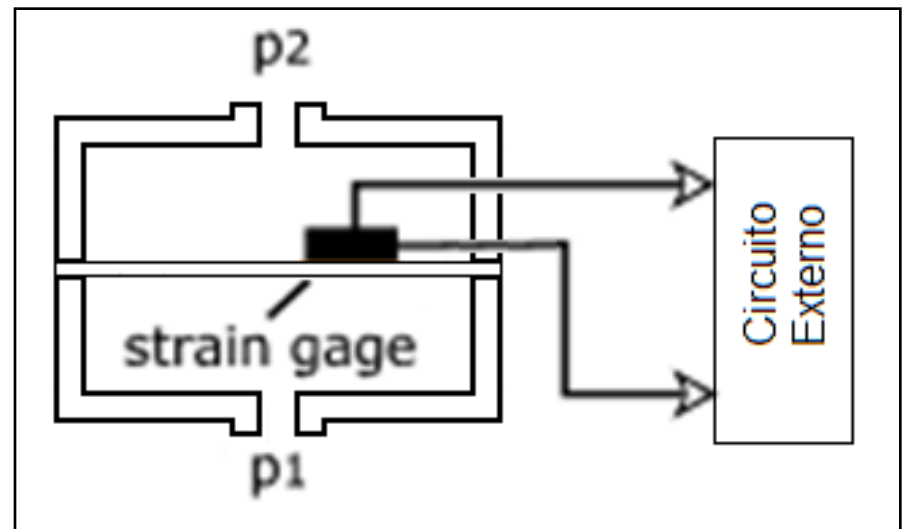
Os manômetros transdutores de pressão convertem as medidas de pressão em grandezas elétricas que são usadas, local ou remotamente, para monitoramento, medições ou controle de processos.



7.3.4.1 - Transdutores de pressão por deformação

O transdutor de deformação usa um sensor tipo "strain gage" para indicar a deformação do diafragma (ou placa metálica) provocada pela pressão.

Existem modelos disponíveis para as mais diversas faixas de pressões, inclusive para medições de pressão diferencial

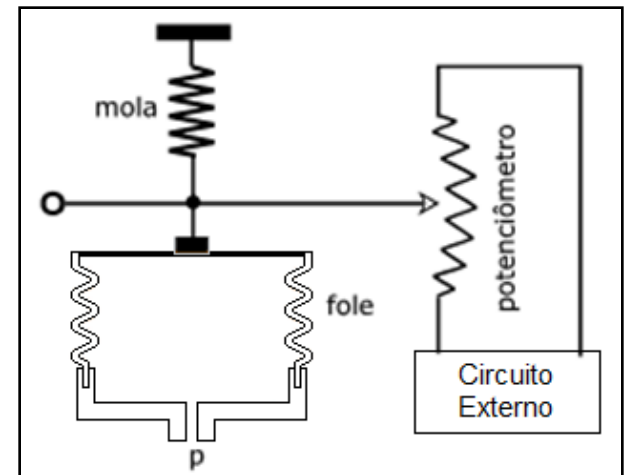


Escala de 0,001 a 1.400 MPa.

Precisão até aproximadamente 0,25% do fundo de escala.

7.3.4.2 - Transdutores de pressão potenciométricos

Neste tipo de transdutor, um fole (ou tubo de Bourdon) aciona um potenciômetro, convertendo os valores de pressão em valores de diferença de potencial elétrico.



O mecanismo produz desvios inerentes e têm sensibilidade a variações de temperatura. Como inconveniente neste tipo de medidor, há também o desgaste natural do potenciômetro.

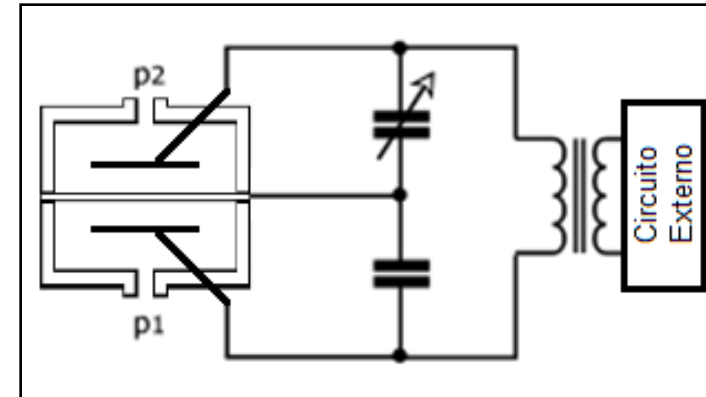
Escalas de pressões de 0,035 a 70 MPa.

Precisão na faixa de 0,5 a 1% do fundo de escala sem considerar as variações de temperatura.

7.3.4.3 - Transdutores de pressão capacitivos

Nos transdutores capacitivos o diafragma funciona como placa comum de dois capacitores em série.

O deslocamento do diafragma devido à variação de pressão resulta em aumento da capacitância de um e diminuição de outro.



Um circuito oscilador externo pode detectar essa variação, transformando-a em variação de tensão.

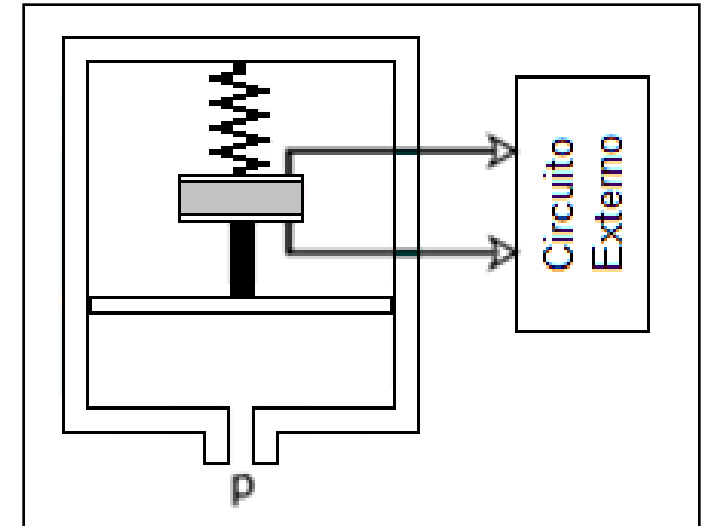
Usados para pressões desde vácuo até cerca de 70 MPa. Pode medir diferenças de pressão a partir de aproximadamente 2,5 Pa .

. Precisão de até 0,01 % do fundo de escala.

7.3.4.4 - Transdutores de pressão piezoelétricos

Utilizam o efeito piezelétrico para gerar o sinal elétrico.

Se o circuito processa apenas a tensão gerada devido ao efeito piezelétrico, o dispositivo registra apenas variações de pressão, pois a tensão cai rapidamente em condições estáticas.

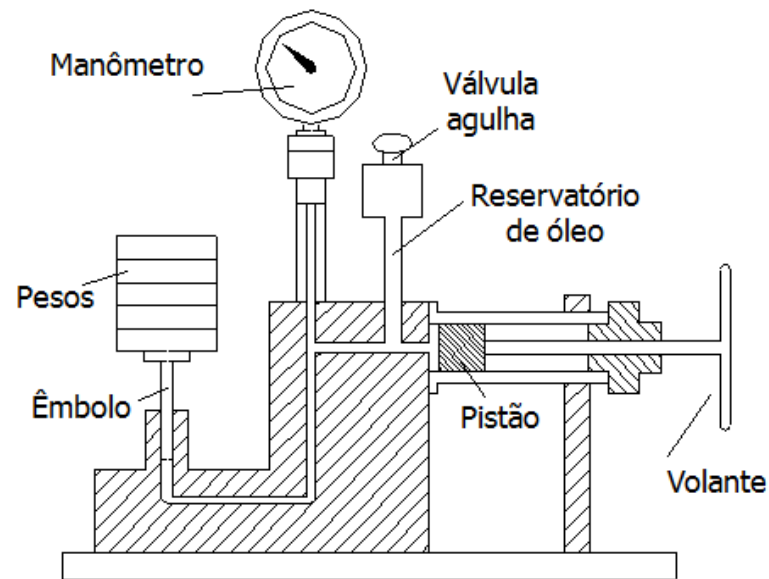


Isso pode ser muito útil em algumas aplicações. Mas há circuitos que detectam a frequência de ressonância do cristal e, portanto, podem medir pressões estáticas.

São sensíveis a variações de temperatura.

7.3.5 - Calibração de manômetros

Neste tipo de processo, o manômetro a ser calibrado é ligado a uma câmara cheia de fluido cuja pressão pode ser elevada por meio de algum tipo de bomba ou pistão de acionamento manual (ver figura) e aliviada através de válvula de sangria.



Esta câmara também é ligada por um cilindro-pistão vertical sobre o qual vários pesos padrões podem ser colocados.

No interior da câmara, a pressão cresce lentamente até que o pistão com o peso "flutue" e, neste momento a medida do instrumento deve ser igual ao peso suportado pelo pistão dividido por sua área.

Cilindro / Pistão para comparação de manômetros



7.3.6 – Aspectos operacionais e de montagem

Neste item serão mostrados os seguintes aspectos ligados a operação e montagem de manômetros, dentre outros:

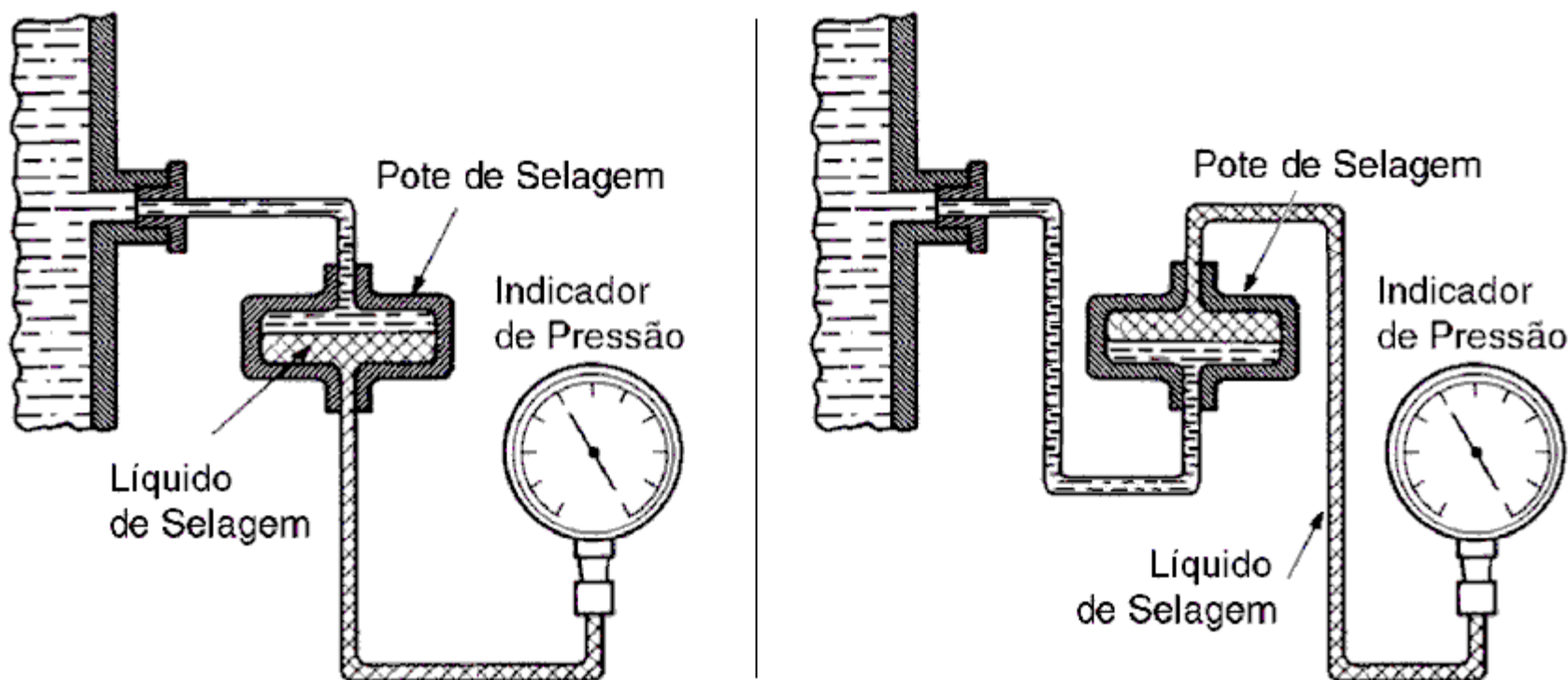
- Instalação com selagem líquida
- Atenuação de oscilações
- Montagem de tomadas de pressão

7.3.6.1 - Instalação 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 este não é adequado para essa aplicação, devido a:

- Efeitos da deformação proveniente da temperatura;
- Dificuldade de escoamento de fluidos viscosos;
- Ataque químico de fluidos corrosivos.

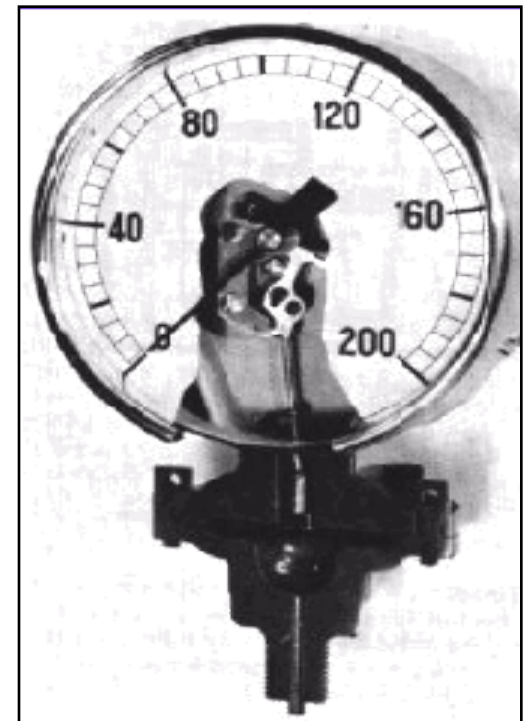
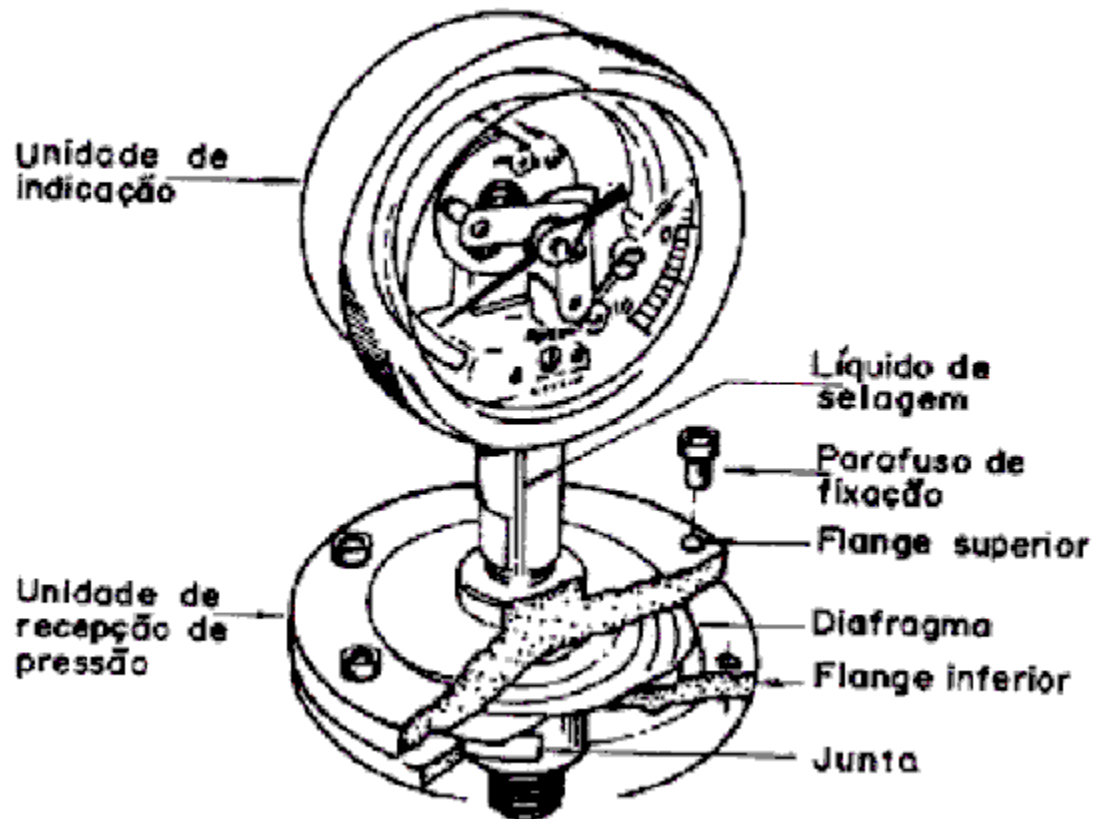
Pode-se empregar um fluido líquido inerte em contato com o manômetro e que não se mistura com o fluido do processo em um pote de selagem, como na figura.



Na configuração da esquerda o líquido de selagem é mais denso que o fluido do processo, e na direita o líquido de selagem é mais leve que o do processo.

O fluido de selagem mais utilizado por ser inerte a quase todos os fluidos é a glicerina.

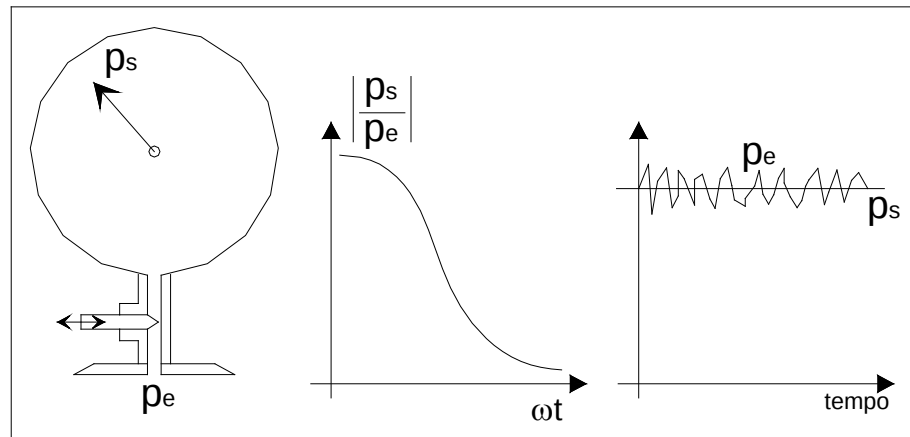
Alguns fabricantes fornecem manômetros com fluido interno e pote de selagem / diafragma para medição de pressão, sendo este tipo de montagem muito utilizada.

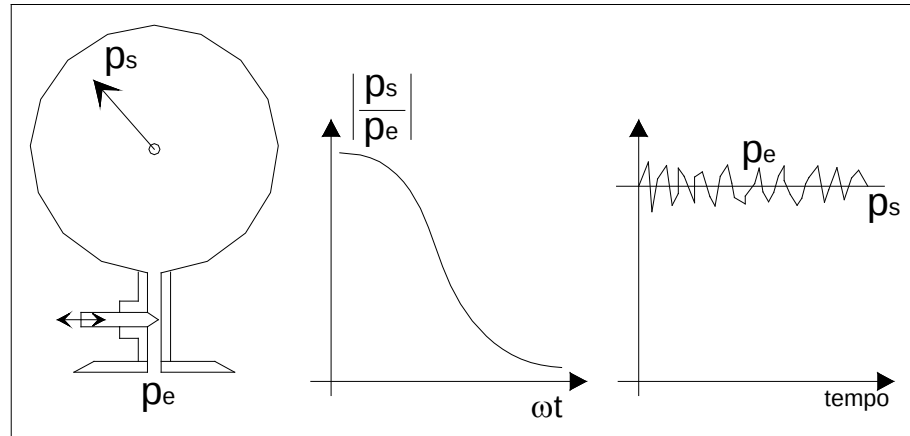


7.3.6.2 - Atenuação de oscilações

Para evitar oscilações na medição, quando existe flutuações na linha de pressão, pode-se utilizar um estrangulamento entre a fonte de pressão e o manômetro (com uma válvula de agulha, por exemplo).

A relação entre a amplitude do sinal de saída e a amplitude do sinal de entrada (p_o/p_i) em função da freqüência da oscilação é indicada na figura abaixo.





Pressões de entrada constantes ou em baixa frequência de oscilação podem ser medidas normalmente, enquanto que flutuações de alta frequência são atenuadas.

O estrangulamento pode ser alterado, por exemplo, por uma válvula de agulha, permitindo o ajuste do efeito de filtragem.

7.3.6.3 – Tomada de pressão

