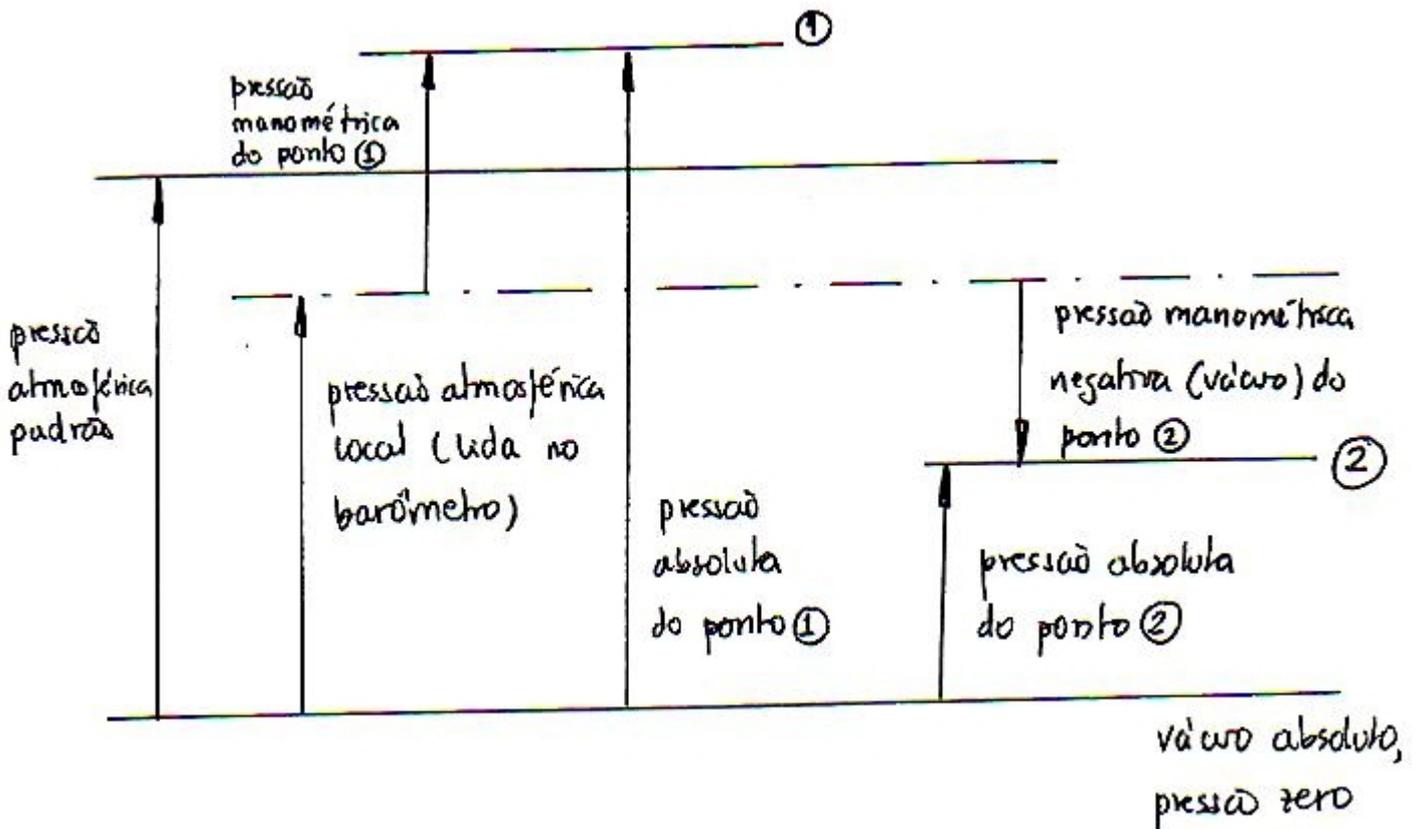


9. MEDIDA DE PRESSÃO

Pressão não é uma grandeza fundamental, sendo derivada da força e da área.

- **Pressão Absoluta:** valor da pressão em relação ao vácuo absoluto
- **Pressão Manométrica:** também denominada pressão relativa. Representa a diferença entre a pressão absoluta e a pressão atmosférica.



Diversas unidades são comumente utilizadas para a medida de pressão: segundo o sistema internacional, a unidade de pressão é o Pascal, definido como:

“O N/m^2 , Pascal, é a pressão exercida por uma força constante igual a 1 Newton, uniformemente distribuída sobre uma superfície plana de área igual a 1 metro quadrado, perpendicular à direção da força”.

1 atmosfera (atm)	= 14,696 16f/in ² absoluta
	= 1,01325 x 10 ⁵ N/m ² (Pa)
	= 760 mm Hg
	= 29,9213 in Hg
1 bar	= 10 ⁵ N/m ²
1 mm Hg	= 1333,22 microbar
1 torr	= 1 mm Hg

Padrões de Pressão

Na verdade não podemos falar de padrões de pressão, pois a medida de pressão depende de outras grandezas fundamentais. Quando nos referimos a padrões de pressão, falamos de instrumentos com grande exatidão que são utilizados para aferir outros instrumentos.

- **Calibrador de Peso Morto**

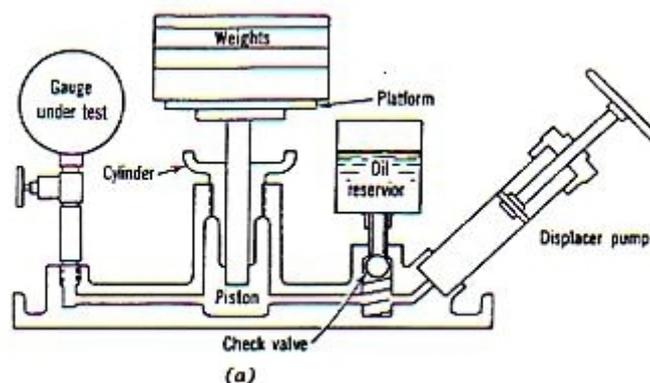
É um instrumento formado por um pistão e cilindro usinados, com baixíssimas tolerâncias dimensionais. Utiliza um número de massas conhecidas para imprimir uma pressão no fluido:

$$p = \frac{F_E}{A_E}$$

A força efetiva, F_E , deve ser corrigida pela aceleração da gravidade local e pelo empuxo do ar sobre as massas utilizadas.

A área efetiva, A_E , é normalmente corrigida para efeitos térmicos e nível de pressão.

A faixa de utilização do peso morto é de 10⁻³ a 700 kgf/cm². A incerteza na leitura varia na faixa de 0,01 a 0,05% da leitura.



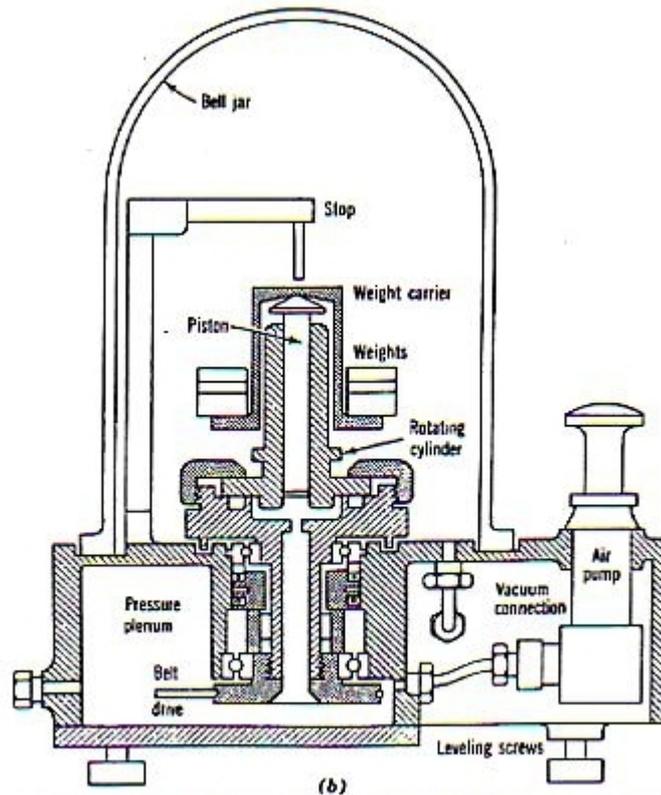
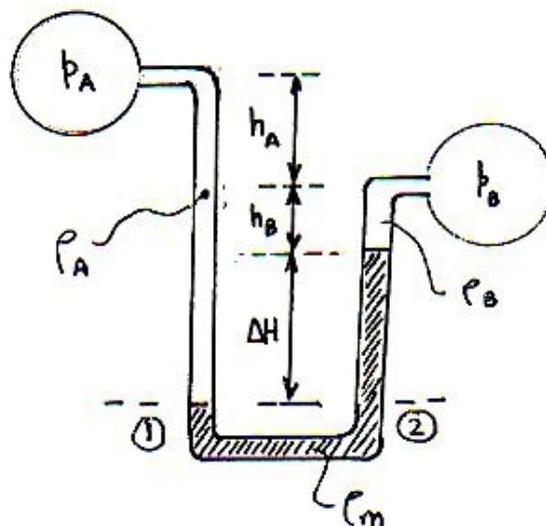


FIGURE 15.1 Various deadweight piston gauges. (a) High-pressure hydraulic gauge. (b) Low-pressure gas gauge. (Source: After ASME PTC 19.2 [37].)

- **Manômetros**

São instrumentos utilizados desde 1662 por Boyle. Por serem baseados nos princípios fundamentais da mecânica dos fluidos e devido à sua simplicidade construtiva, os manômetros de tubo em U são utilizados como padrões para as faixas de pressão 2.5mm de coluna de água até cerca de 7kgf/cm^2 . A faixa de incerteza varia de 0,02 a 0,2% da leitura.



$$p_1 = p_A + \rho_A g (h_A + h_B + \Delta H)$$

$$p_2 = p_B + \rho_B g h_B + \rho_m g \Delta H \quad \text{mas } p_1 = p_2 \quad \text{então,}$$

$$p_A - p_B = \rho_m g \Delta H \left\{ 1 + \left(\frac{\rho_B}{\rho_A} \right) \left(\frac{h_B}{\Delta H} \right) - \frac{\rho_A}{\rho_m} \left[\frac{h_A + h_B}{\Delta H} + 1 \right] \right\}$$

$$C = \left\{ 1 + \left(\frac{\rho_B}{\rho_A} \right) \left(\frac{h_B}{\Delta H} \right) - \frac{\rho_A}{\rho_m} \left[\frac{h_A + h_B}{\Delta H} + 1 \right] \right\}$$

$$\text{então, } p_A - p_B = \rho_m g \Delta H C$$

$$\text{se } \rho_A = \rho_B \rightarrow C = 1 - \frac{\rho_A}{\rho_m} \left(1 + \frac{h_A}{\Delta H} \right)$$

$$\text{podemos ainda fazer } h_A = 0 \quad \therefore \quad C = 1 - \frac{\rho_A}{\rho_m}$$

$$\text{então, } p_A - p_B = \rho_m g \Delta H \left(1 - \frac{\rho_A}{\rho_m} \right) = g \Delta H (\rho_m - \rho_A)$$

Algumas correções podem ser aplicadas às leituras dos manômetros. A variação da massa específica dos fluidos com a temperatura é uma delas. Efeitos de capilaridade podem ser corrigidos, mas normalmente o uso de tubos com diâmetros suficientemente grandes foram desprezíveis. Cuidado especial deve ser tomado com a utilização de misturas de fluidos. A evaporação diferenciada dos componentes da mistura pode alterar sua massa específica. Na verdade deve-se evitar misturas de fluidos nas medidas onde se espera maior exatidão.

- **Micromanômetros**

São instrumentos derivados dos manômetros de tubo em U que expandem sua capacidade de medição para faixas de 0,005mm a 500mm de coluna d'água com incertezas de 0,02 a 2%.

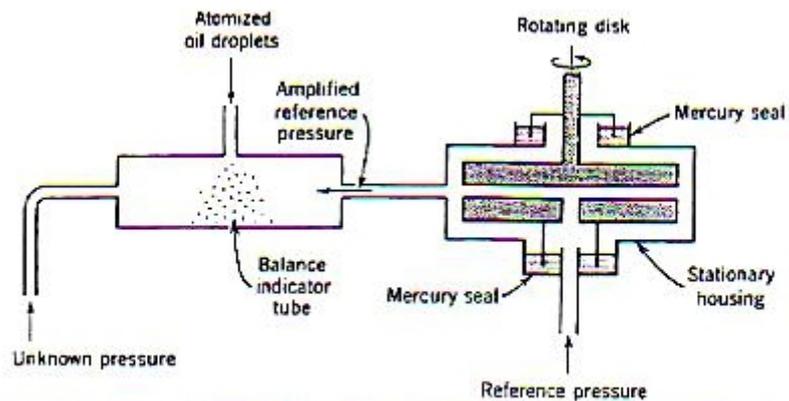
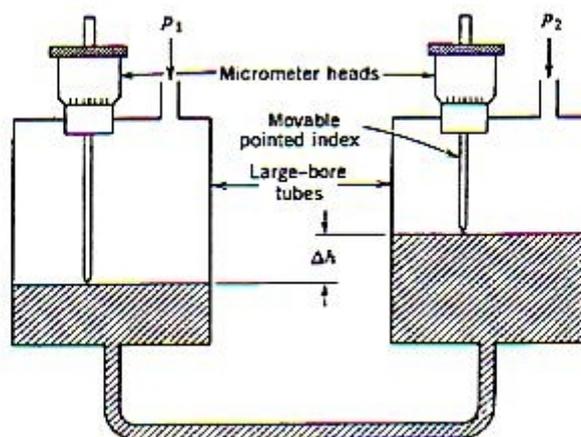
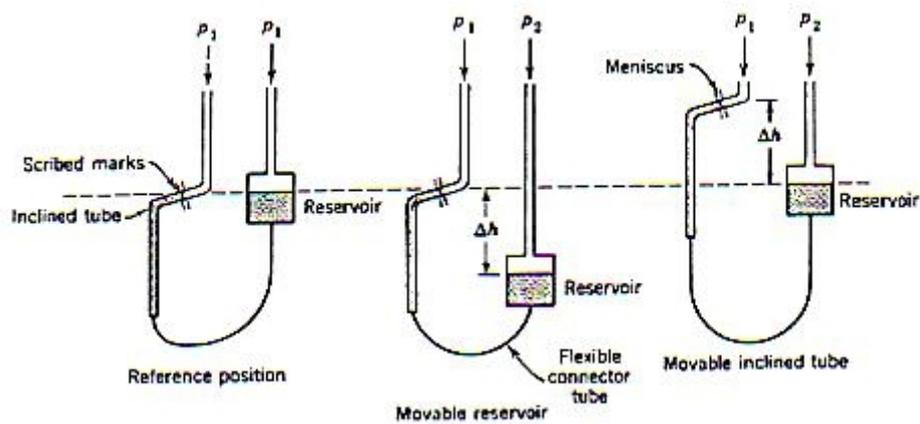


FIGURE 15.9 Air-type centrifugal micromanometer. (Source: After Kemp [13].)

- **Barômetro**

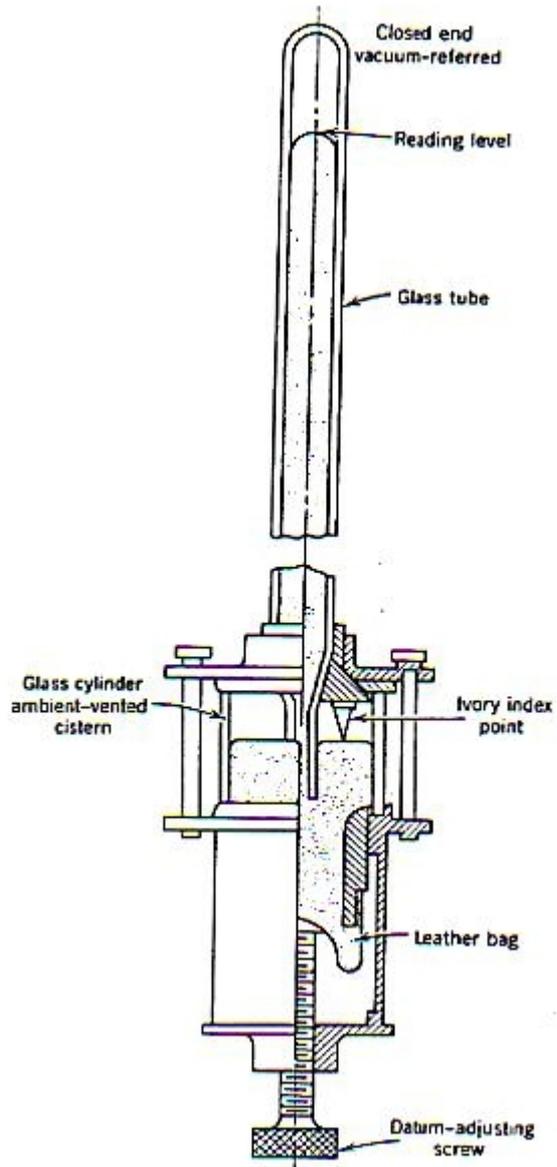
O barômetro mais utilizado é o do tipo Fortin (1750-1831)

faixa: 680 a 790 mm Hg

incerteza: 0.001 a 0.03%

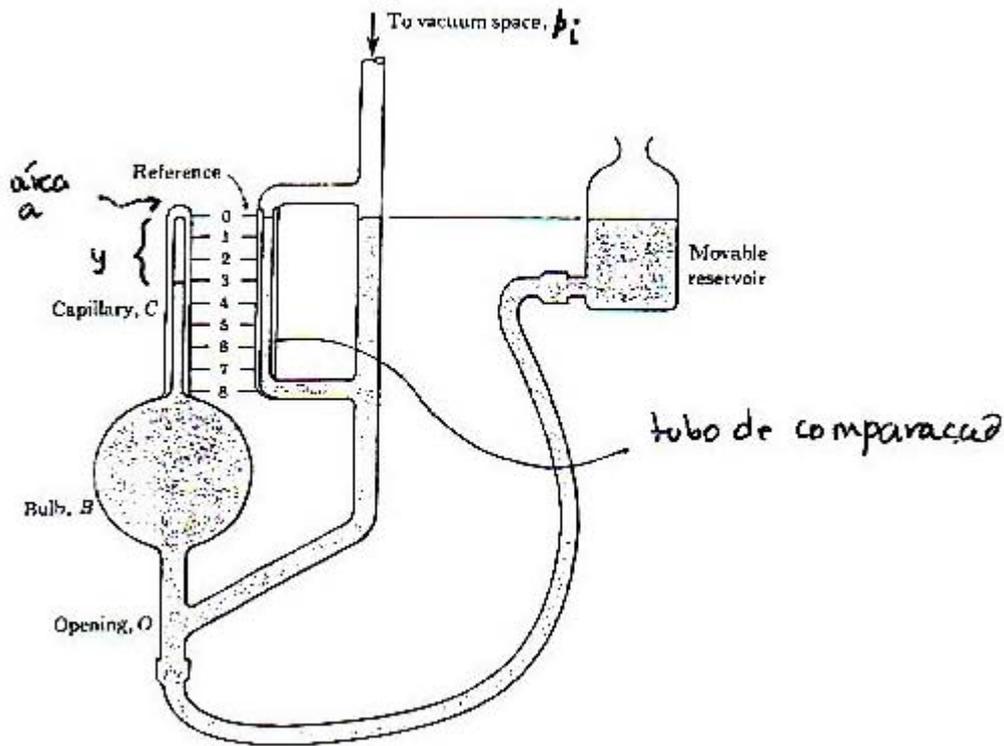
Correções aplicadas:

- correção de temperatura para a dilatação/contração do mercúrio
- correção da dilatação da escala
- alinhamento vertical é importante



- **Medidor McLeod (1874)**

É utilizado para medida de baixas pressões. É o padrão para a faixa de 1mm Hg acima do zero absoluto até 0,01mm Hg com incertezas de 0,5 a 3%.



Quando o nível de mercúrio está abaixo de 0, a pressão do gás é P_i e o seu volume V_i (conhecido da construção do instrumento). Quando o mercúrio é levantado até a marca de referência no tubo de comparação, o volume ocupado pelo gás no capilar é $V_f = ay$ e sua pressão é $p_f = p_i + \rho_{Hg} g y$

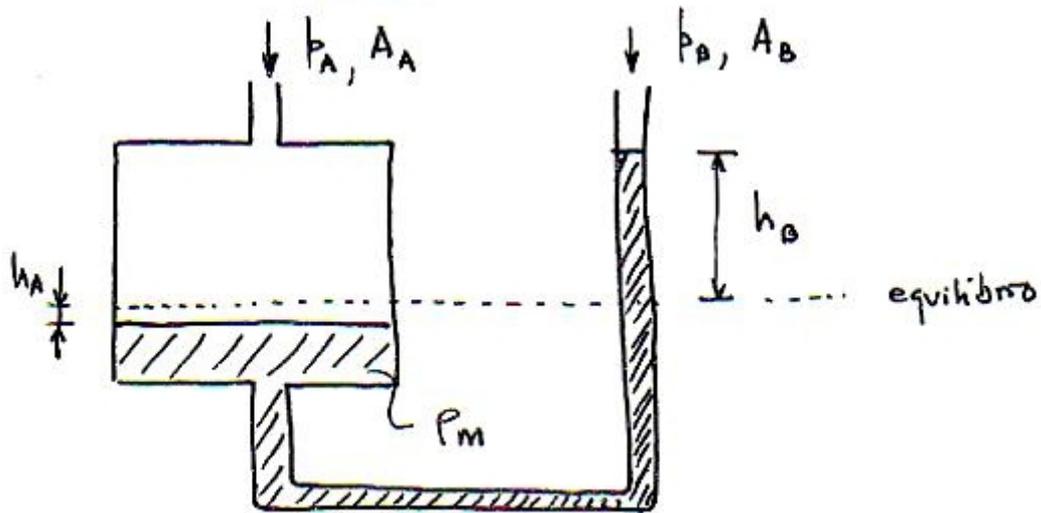
Assumindo a compressão isotérmica: $P_i V_i = P_f V_f$ então,

$$p_i = \frac{(p_i + \rho_{Hg} g y) ay}{V_i} \quad \text{resolvendo para } p_i$$

$$p_i = \frac{\rho_{Hg} g ay^2}{V_i - ay} \quad \text{normalmente } V_i \gg ay$$

Outros tipos de manômetros são largamente utilizados, mas não são considerados padrões.

- **Manômetro de Poço**



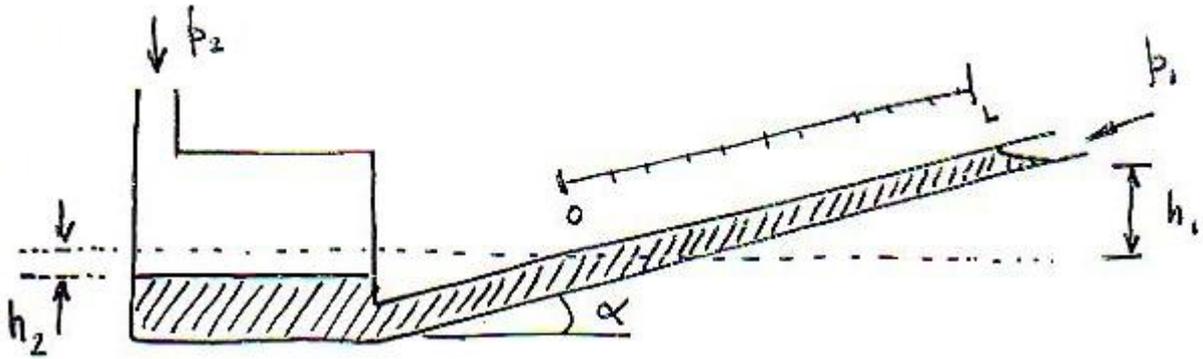
$$p_A - p_B = \rho_m g (h_A - h_B) \quad \text{e} \quad h_A A_A = h_B A_B$$

$$p_A - p_B = h_B g \left(\frac{A_B}{A_A} + 1 \right) \rho$$

Pode-se projetar o manômetro de tal forma que $A_B / A_A \ll 1$.

Note que este manômetro passou a depender das áreas, o que não acontece com o tubo em U convencional.

- **Manômetro Inclinado**

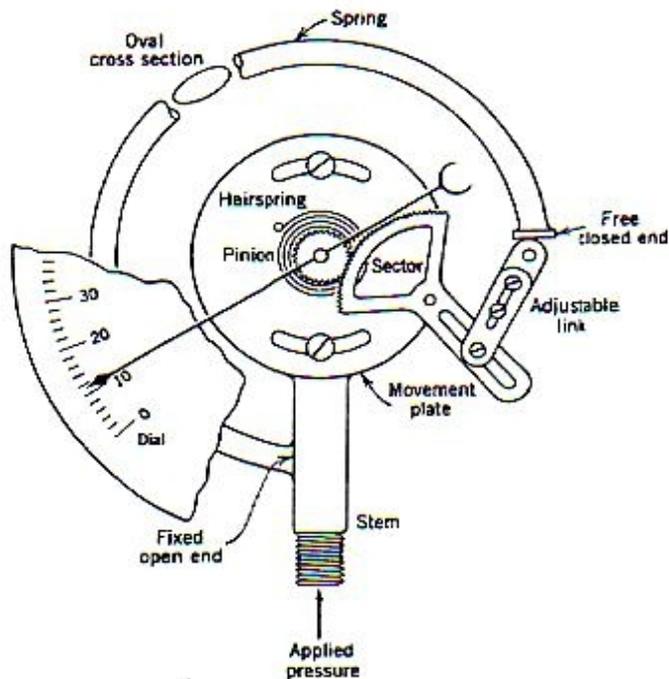


$$p_2 - p_1 = h_2 + (L \text{ sen } \alpha) \rho g \quad \text{e} \quad h_2 A_2 = L A_1$$

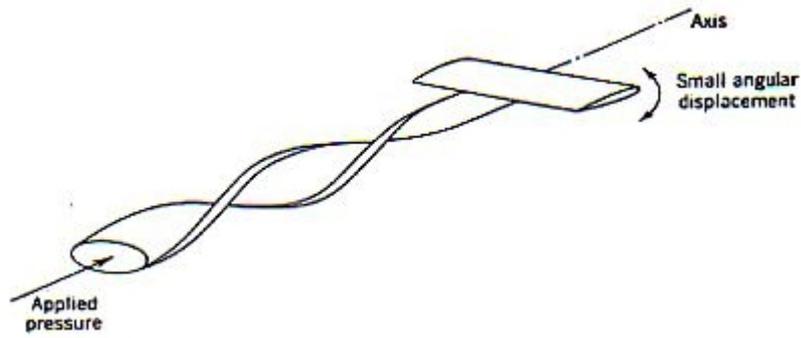
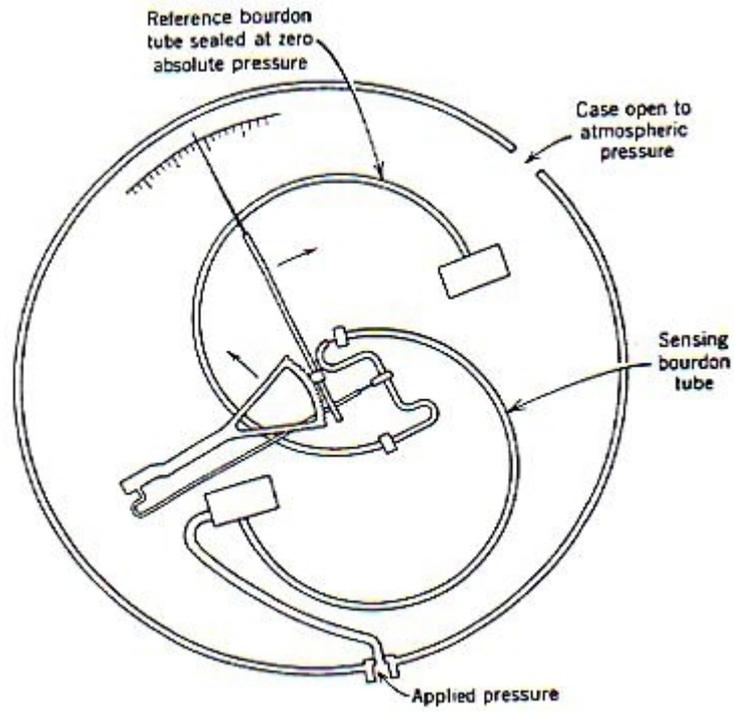
- **Transdutores Mecânicos de Pressão**

Baseiam-se na deformação mecânica de algum elemento elástico.

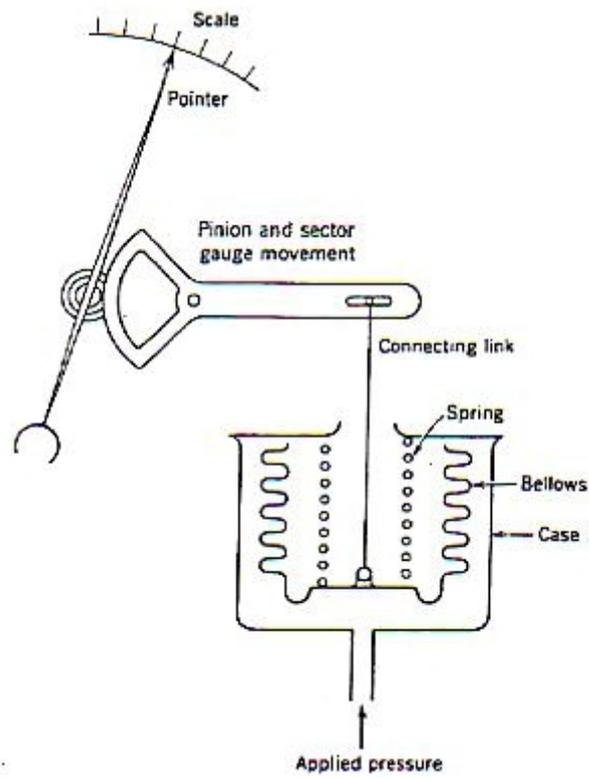
- Transdutor tipo Bourdon



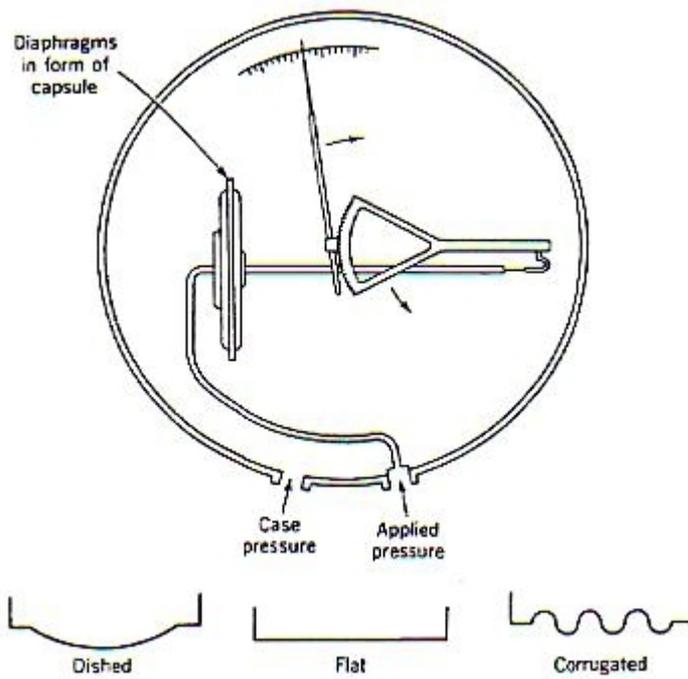
Normalmente a pressão é medida contra a atmosfera.



- Tipo Sanfona (Bellows)



- Tipo Diafragma

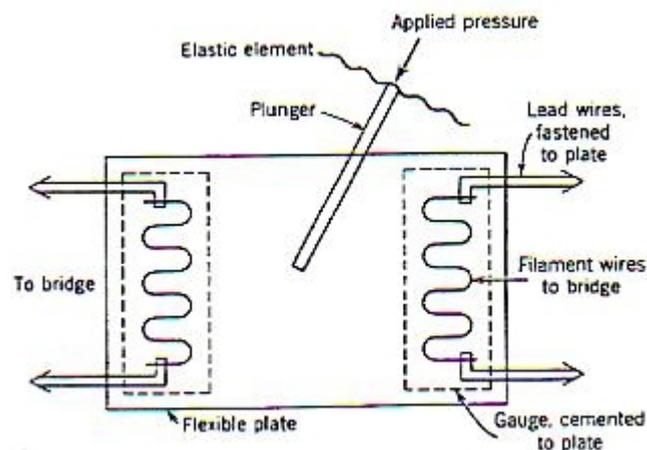
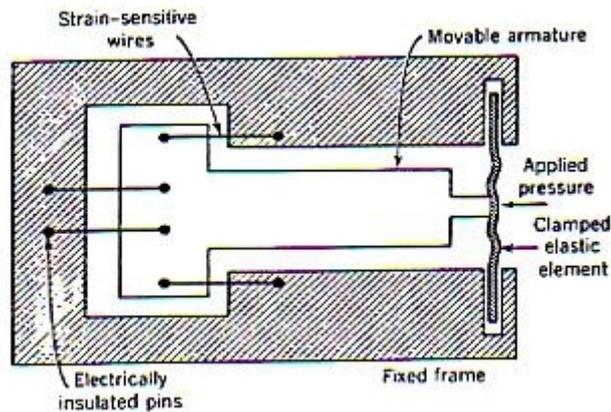


- **Transdutores com Saída Elétrica**

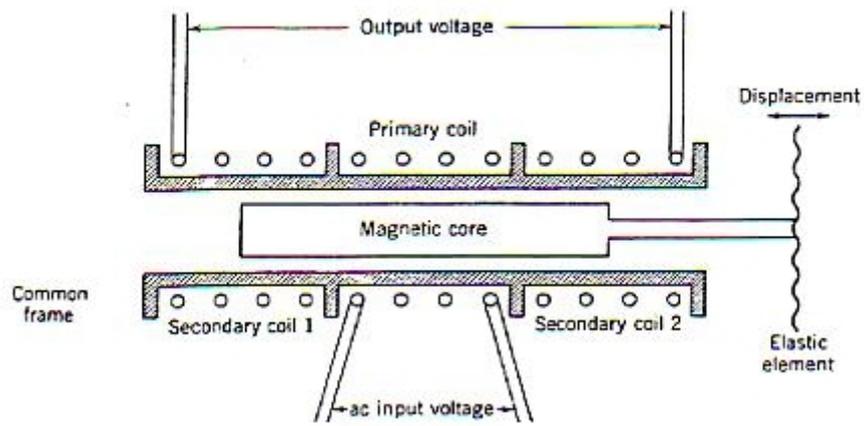
O único transdutor de pressão que gera seu próprio sinal é o transdutor piezoelétrico. A força causada pela pressão na face do cristal piezoelétrico produz uma tensão proporcional. Este tipo de transdutor só pode ser utilizado no caso de sinais transientes de pressão.

Outros tipos de transdutores são baseados em:

- strain gages
- capacitância
- resistores variáveis
- LVDT's, etc.



Transdutor com strain gages colados



Transdutor com LDVT

16.3 Electrical Pressure Transducers

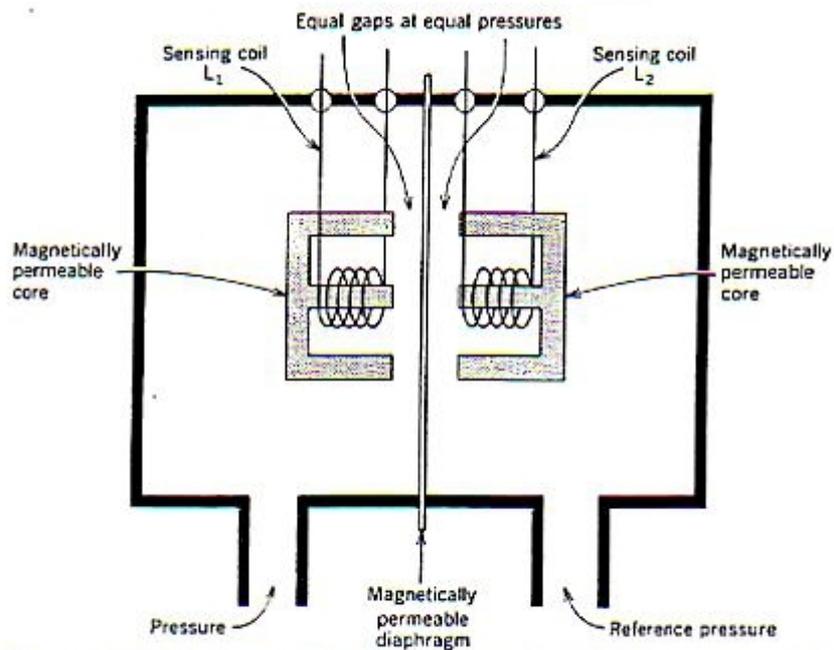
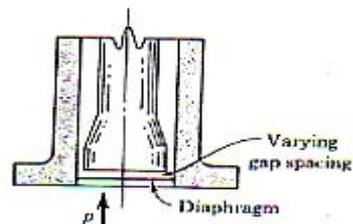


FIGURE 16.14 Magnetic reluctance differential pressure transducer. (Source: After Pace Wiancko literature.)



Transdutor capacitivo

- **Medida de Alta Pressão**

Sabe-se que a resistência elétrica de fios finos varia com a pressão linearmente, de acordo com

$$R = R_1 (1 + b\Delta p)$$

onde

R_1 : resistência de 1 atm

b : coeficiente de variação da resistência com a pressão

Δp : pressão aplicada no medidor

O transdutor baseado neste princípio é conhecido como transdutor de Bridgman e pode ser usado para medir pressões de até 100 000 atm com excepcional resposta transiente. A variação de resistência é medida com uma ponte do tipo wheatstone.

- **Medida de Baixa Pressão**

Quando a pressão de um gás é baixa, o caminho livre médio entre colisões moleculares é grande. Nesta faixa de pressões, a teoria cinética dos gases prevê uma relação linear entre pressão e condutividade térmica do gás. O medidor tipo Pirani faz uso deste efeito, detectando a variação da resistência elétrica de um fio devido à variação de temperatura causada pela variação da condutividade do gás.

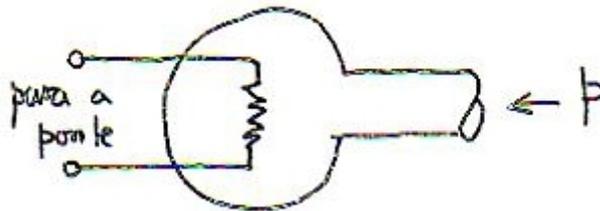


Figure 6-21 gives a convenient summary of the pressure ranges for which the gages discussed are normally employed in practice.

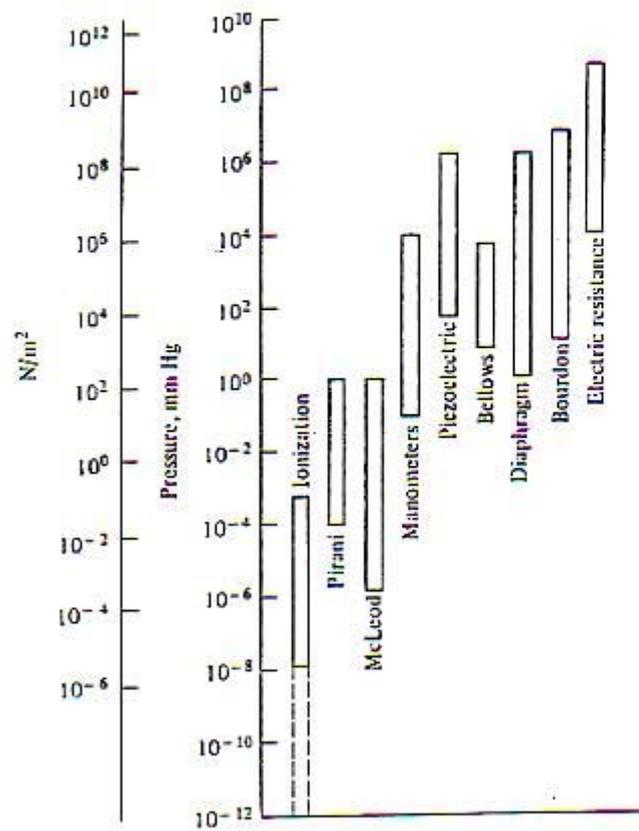


Figure 6-21 Summary of applicable range of pressure gages.