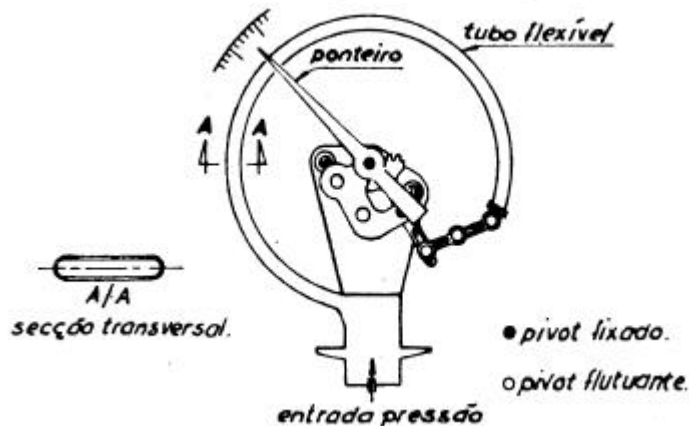


Introdução



O tubo de Bourdon é um medidor de pressão.

A medição da pressão assume grande importância na indústria sendo o manómetro de Bourdon uma das soluções mais frequentemente utilizadas. A patente original deste medidor data de 1852, tendo sido registada por E. Bourdon. Em baixo pode-se observar um esquema de um tubo de Bourdon.



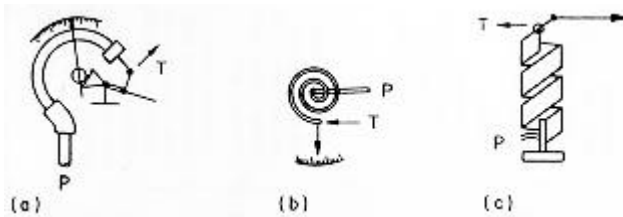
Princípio de funcionamento

O funcionamento deste tipo de manómetros é baseado na alteração da curvatura originada num tubo de secção elíptica pela pressão exercida no seu interior. A secção elíptica tende para uma secção circular com o aumento da pressão no interior do tubo levando a que o tubo se desenrole. Este tubo tem as duas extremidades fechadas e ligada a um mecanismo (com rodas dentadas e mecanismos de alavanca) que permite transformar o seu movimento de "desenrolar" (originado pelo aumento de pressão no interior do tubo) no movimento do ponteiro do manómetro.

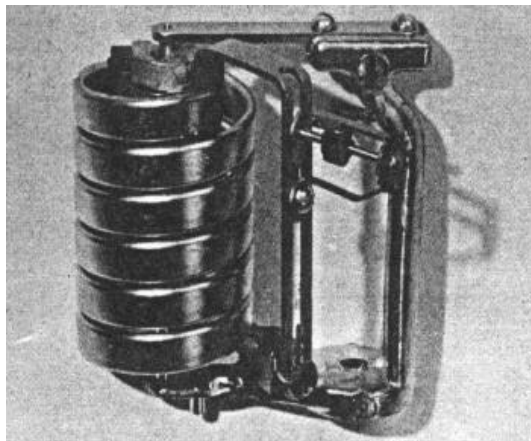
A medida da pressão é relativa uma vez que o exterior do tubo está sujeito à pressão atmosférica.

Construção e materiais

Os tubos do manómetro podem ter 3 formas distintas sendo que o tubo em espiral é usado para baixas pressões e o tubo em hélice é usado para altas pressões.



Tubo em C -figura a, Tubo em espiral - figura b e Tubo em Hélice - figura c.



Tubo em hélice



Tubo em espiral

Os materiais que constituem o tubo podem ser um metal ou uma liga metálica desde que permitam a elasticidade deste. De seguida apresenta-se uma tabela com alguns dos materiais que normalmente são usados bem como as suas aplicações.

Gama de pressões (Psi)	Material usado nos tubos	Aplicação recomendada
15 - 1 000	Bronze fosforoso	Ar, acetona, benzina, salmoura, ácido bórico, butano. álcool, éter, gasolina, azoto, vapor de água, ácido tânico, água, óleos, etc.
100 - 10 000	Cobre berílio	Oxigénio e todos os fluídos referidos anteriormente.
15 - 1 500	Aço de liga (SAE 4130 G150)	Amónia, acetileno, cloro (seco), gasolina, querosene, vapor de água e outros meios não corrosivos para o aço carbono.

15 - 1 500	Aço inox Tipo 316 30L (por extrusão)	Óleos com enxofre, hidrogénio, água oxigenada, ácido acético, ácido cítrico, formaldeído e anidrido carbónico (húmido).
1 000 - 10 000	Aço inox Tipo 316 30L (por furação)	Ácido carbólico e outros meios não corrosivos para este material.
1 000 - 10 000	Aço inox Tipo 431	Nitrato de amónio, etc.
15 - 100 000	"K" Monel	Salmoura, água do mar, cloro (seco), clorato de amónio, bromo (seco), cloreto de cálcio, cloreto de sódio, tetracloreto de carbono, etc.

Características estáticas

A precisão destes manómetros é da ordem de 0,1% fsd . Para pressões baixas e para aumentar a sensibilidade são normalmente utilizados os modelos com tubo em espiral ou em hélice. Deste modo consegue-se uma sensibilidade excelente, respondendo em cerca de 0,01% da pressão máxima. Se este manómetro contiver alguns mecanismos, como um pivot ou engrenagens, a sensibilidade diminui, sendo de 0,1% da pressão máxima.

Tal como em outros tipos de manómetros, o tubo de Bourdon também apresenta alguma histerese no seu ciclo. Esta histerese total é da ordem de 0,1 – 0,5% da pressão máxima do ciclo. Como a energia do tubo é suficiente para sobrepor todo o tipo de fricção e atrito dos seus movimentos, o tubo não apresenta histerese significativa (é praticamente nula). Uma medição industrial de pressão pode ter uma exactidão de cerca de 5% da amplitude da escala. Contudo, as condições de trabalho raramente o permitem, pois não são as ideais. É de referir ainda que desvios da temperatura de trabalho relativo à temperatura a que o aparelho está calibrado causa uma certa margem de erro. A magnitude do erro associado depende do coeficiente de expansão dos materiais que constituem o tubo.

A este tipo de manómetro estão associados dois erros:

Erro de pressão atmosférica

$$Erro = \frac{\Delta P_{atmosférica}}{P} \times 100$$

Quando o manómetro está graduado para pressões absolutas, e uma vez que mede a pressão relativa, e a pressão atmosférica se desvia do valor normal.

Erro hidrostático

$$Erro = \frac{h\rho}{P} \times 100$$

Quando o manómetro se encontra abaixo da cota de tomada de pressão e o tubo de ligação de encontra cheio de líquido. Onde h representa a altura vertical de líquido entre a tomada de pressão e o manómetro e P a banda de pressão do manómetro.

Gama de medida

O manómetro de Bourdon pode ser usado numa vasta gama de pressões bem como para medir diversos tipos de correntes. Nas secções relativas aos [fabricantes](#), [construção/materiais](#) e [outros](#) temos diversos exemplos de utilização deste tipo de manómetros em diferentes gamas de medida e condições de operação.

Calibração

Na calibração de todo tipo de manómetros um dos factores mais importantes é o ajuste do zero que é feito colocando-se o ponteiro no valor mínimo da escala com o tubo de Bourdon em estado de repouso, isto é, pressão interna do tubo igual à pressão atmosférica. Nesta posição, uma vez que este manómetro mede a pressão diferencial, o valor medido deve ser rigorosamente zero.

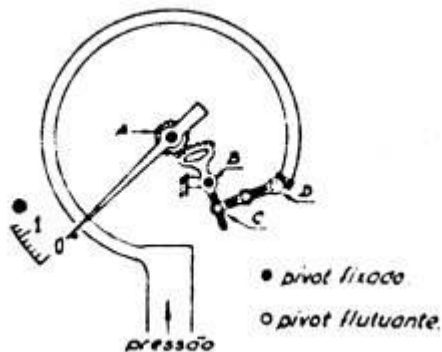


Figura exemplificativa da calibração de um manómetro de Bourdon

A multiplicação ou faixa é ajustada variando-se o comprimento BC da haste da alavanca dentada. Quanto maior for o seu comprimento, menor será a faixa. A angularidade do manómetro é ajustada variando-se o comprimento CD. O cabelo do manómetro não influi na calibração do manómetro, mas tem a função de eliminar a faixa morta devido à folga que há entre os dentes das engrenagens e dos pinos. A precisão dos manómetros comuns é da ordem de $\pm 1\%$ da escala total, mas os manómetros padrão devem ter uma precisão maior, da ordem de $\pm 1/4\%$.

Seleccção

A selecção do tipo de instrumento a utilizar deve ter em conta a várias características de cada um, de modo a que o instrumento escolhido possa responder ao tipo de medição que se pretende. O instrumento escolhido deve ser o mais barato possível, pois o factor económico é bastante importante, por vezes decisivo, na indústria. Um critério de selecção que tem sido muito utilizado consiste na aplicação da pressão ao elemento e, de repente, retirá-la. A pressão a que fica no "zero" de 1% da deflecção obtida é considerado um resultado de operação satisfatório. Nas secções de [fabricantes](#), [outros](#) e [construção/materiais](#) existem tabelas que podem ajudar, numa fase preliminar, a selecção da instrumentação mais adequada.

Custos e fabricantes

Os tubos de Bourdon são vendidos normalmente como conjuntos completos de medição de pressão. Os principais fabricantes deste tipo de manómetro são Omega, Finesa, Nava e Kobold. Relativamente ao primeiro referido é apresentada uma tabela com algumas das principais características e preços.

Nota : Tipo comercial (tipo C), do tipo de painel (P), para baixas pressões (tipo L), para trabalhos gerais (S), de bolso com caixa (T), de processo (H e J), e de teste (T).

Especificações	Tipo C	Tipo P	Tipo L	Tipo S	Tipo T, de bolso	Tipo H e J	Tipo T
Preços	\$12.00	\$20.00	\$40.00	\$51.00	\$99.00	\$110.0	\$195.00
Sensibilidade	3%	3%	2%	1%	½%	½%	¼%
Garantia (anos)	1	1	1	2	1	1	1
Escala (pol.)	2 e 2½	2½	2½	2½ e 3½	2½ e 3½	4½ e 6	4½ e 6
Tubo bourdon	Bronze	Bronze		Aço inox.	Aço inox.	Aço inox.	Aço inox.
Ligação	¼ NPT	¼ NPT	¼ NPT	¼ NPT	¼ NPT	½ NPT	½ NPT
Pressão (Psi)	< 600	< 600	10 até 300 polegadas de água	< 10000	15 até 1000	< 20000	< 10000
Caixa	Ferro pintado	Ferro pintado	Ferro pintado	Aço	Aço	Alumínio	Liga de Alumínio
Mostrador	Polycarbonato	Polycarbonato	Polycarbonato	Polycarbonato	Vidro	Vidro duplo	Vidro
Movimento	Bronze	Bronze	Bronze	Aço	Aço	Aço	Aço
Ponteiro	Fixo	Fixo	Fixo	Ajustável	Ajustável	Ajustável	Ajustável
Líquido	Não	Não	Não	Opcional	Não	Opcional	Não
Oxigénio	Não	Não	Não	Opcional	Opcional	Opcional	Opcional
Resistência ao tempo	Não	Não	Não	Sim	Sim	Sim	Sim
Aplicações	Instalação em bombas, compressores, sistemas pneumáticos e hidráulicos	Painel de instrumentos, compressores	Sistemas de arrefecimento, fornalhas.	Ambientes severos incluindo os corrosivos, caldeiras de vapor	Sistemas de teste portatéis, caixa de ferramentas	Todo o tipo de industrias	Laboratórios onde a fiabilidade e precisão é necessária

www.nava.it



www.omega.com

www.finesa.com.mx



www.kobold.com

Vantagens e desvantagens

O manómetro de Bourdon tem como principais vantagens o seu baixo custo e elevada longevidade o que seja um instrumento muito utilizado na indústria. Os manómetros em espiral e em hélice permitem, relativamente aos manómetros com o tubo em C, uma maior amplitude de movimentos permitindo também uma maior rapidez de resposta.



Outros

Group I alloys	Nominal composition, %	Modulus of elasticity $\times 10^5$	Temper usually supplied from mill	Rockwell B hardness	Nominal grain size, min.	Usual heat treatment	Common joining			Relative ease of forming	Application and remarks
							Weld	Braze	Soft solder		
Trumpet brass	Cu 81 Zn 18 Sn 1	15	3-4 B & S hard	80	0.035	None	—	X	X	Excellent	Widely used in low-pressure field under 500 psi (35.1 kg/cm ²)
Cartridge brass	Cu 70 Zn 30	15	3-4 B & S hard	80	0.035	None	—	X	X	Excellent	Low-pressure gages with drift and hysteresis not critical
Phosphor bronze, grade A	Cu 95 Sn 5 (P 0.035)	15.5	3-4 B & S hard	80	0.035	None	—	X	X	Good	Low-pressure gages. (Resistance to corrosion and fatigue)
Silicon bronze, grade B	Si 1.50 Mn 0.25 Cu Bal.	15	3-4 B & S hard	80	0.035	None	X	X	—	Excellent	Low-pressure gages. Difficult to solder because of surface oxide
AISI Type 304 stainless steel	Cr 18 Ni 9 C 0.08 max	28-29	5-10% reduction area	92	0.050	Stress relief 600-700°F	X	—	—	Fair	Low- to medium-pressure gages. High corrosion resistance. Work-hardens rapidly
AISI Type 316 stainless steel	Cr 17 Ni 13 Mo 3 C 0.08 max	27.5-28.5	5-10% reduction area	92	0.060	Stress relief 600-700°F	X	—	—	Fair	Same as above, except somewhat better corrosion resistance than Type 304 especially for sulfates and chlorides

Group II alloys	Nominal composition, %	Modulus of elasticity $\times 10^5$	Temper usually supplied from mill	Rockwell B hardness	Nominal grain size, min.	Usual heat treatment	Common joining			Relative ease of forming	Application and remarks
							Weld	Braze	Soft solder		
Beryllium copper	Be 1.80 Co 0.25 Ni 0.30 Cu Bal.	18.5-19.0	5-10% reduction area	75	0.035	1-2 h at 600-650°F (316-343°C). Furnace- or air-cooled	—	X	X	Good	Medium- to high-pressure (over 50 gages). Low hysteresis and relaxation. High endurance limits
Monel K	Ni 65-67 Al 2.0-4.0 Ti 0.50 Cu Bal.	26	5-10% reduction area	90	0.020	16 h at 1100°F (593°C). Slow cool 25°F (14°C)/h to 900°F (482°C) or 8 h at 1100°F (593°C), 4 h at 1000°F (538°C), 4 h at 900°F (482°C). Air-cooled	X	X	—	Good	Medium- to high-pressure gages. High fatigue strength. Low hysteresis and good corrosion resistance
Inconel X	Ni 70 min. Cr 15.0 Ti 2.5 Cb 1.0 Al 0.40-1.00	31	5-10% reduction area	—	Not usually specified	16 h at 1350°F (732°C) recommended. However, satisfactory results obtained with 4-8 h at 1350°F (732°C)	X	X	—	Fair	For high-pressure gages 1000 psi, or higher. Excellent mechanical and corrosion properties
Ni-Span C	Ni 42 Cr 5.5 Ti 2.5 Mn 0.4 C 0.06 Si 0.5 Al 0.4	24-27 Depending on cold work and heat treatment	5-10% reduction area	85	Not usually specified	8 h at 1100°F (593°C) or 4.5 h at 1250°F (677°C). Air-cooled	—	X	X	Good	Medium- to high-pressure gages. Constant modulus alloys, having good resistances

Group III alloys	Nominal composition, %	Modulus of elasticity $\times 10^5$	Temper usually supplied from mill	Rockwell B hardness	Nominal grain size, min.	Usual heat treatment	Common joining			Relative ease of forming	Applications and remarks
							Weld	Braze	Soft solder		
AISI 4130	C 0.28-0.33 Cr 0.80-1.10 Mo 0.15-0.25	28.5	Annealed	85	Not specified	Oil quench from 1600°F (871°C). Temper 750-950°F (400-510°C)	X	X	—	Good	Medium- to high-pressure gages. Low hysteresis and relaxation
AISI 8630 steel	C 0.28-0.34 Cr 0.40-0.60 Ni 0.40-0.70 Mo 0.15-0.25	28.5	Annealed	85	Not specified	Oil quench from 1600°F (871°C). Temper 750-950°F (400-510°C)	—	X	—	Good	Medium- to high-pressure gages. Low hysteresis and relaxation
AISI 403 steel	C 0.15 max Cr 11.00-12.50 Ni 0.35-0.55 Mo 0.40-0.60	28.5	Annealed	86	Not specified	Oil quench 1750-1800°F (954-982°C). Temper 450-750°F (232-400°C)	X	X	—	Good	Medium- to high-pressure gages. Good combination of mechanical and corrosion properties