

2. MEDIDORES DE TEMPERATURA POR DILATAÇÃO/EXPANSÃO

2.1 TERMÔMETRO A DILATAÇÃO DE LÍQUIDO

2.1.1 Características

Os termômetros de dilatação de líquidos, baseiam-se na lei de expansão volumétrica de um líquido com a temperatura dentro de um recipiente fechado.

A equação que rege esta relação é:

$$V_t = V_o \cdot [1 + \beta_1 \cdot (\Delta t) + \beta_2 \cdot (\Delta t)^2 + \beta_3 \cdot (\Delta t)^3]$$

onde:

t = Temperatura do líquido em °C

V_o = Volume do líquido à temp. de referência t_o

V_t = Volume do líquido à temperatura t

β₁, β₂, β₃ = Coeficiente de expansão do líquido °C⁻¹

Δt = t - t_o

Teoricamente esta relação não é linear, porém como os termos de segunda e terceira ordem são desprezíveis, na prática consideramos linear. E daí:

$$V_t = V_o \cdot (1 + \beta \cdot \Delta t)$$

Os tipos podem variar conforme sua construção:

.Recipiente de vidro transparente

.Recipiente metálico

2.1.2 Termômetros de dilatação de líquido em recipiente de vidro

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 temp. ultrapassar seu limite máximo.

Após a calibração, a parede do tubo capilar é graduada 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.

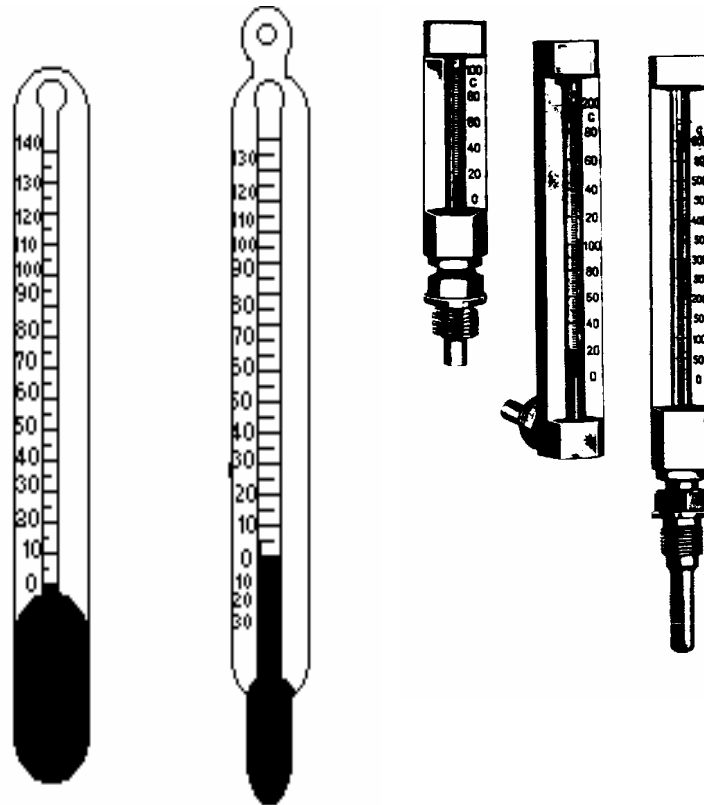
Os líquidos mais usados são: .Mercúrio .Tolueno .Álcool .Acetona

Nos termômetros industriais, o bulbo de vidro é protegido por um poço metálico e o tubo capilar por um invólucro metálico.

LÍQUIDO	PONTO DE SOLIDIFICAÇÃO(°C)	PONTO DE EBULIÇÃO(°C)	FAIXA DE USO(°C)
Mercúrio	-39	+357	-38 à 550
Álcool Etilico	-115	+78	-100 à 70
Tolueno	-92	+110	-80 à 100

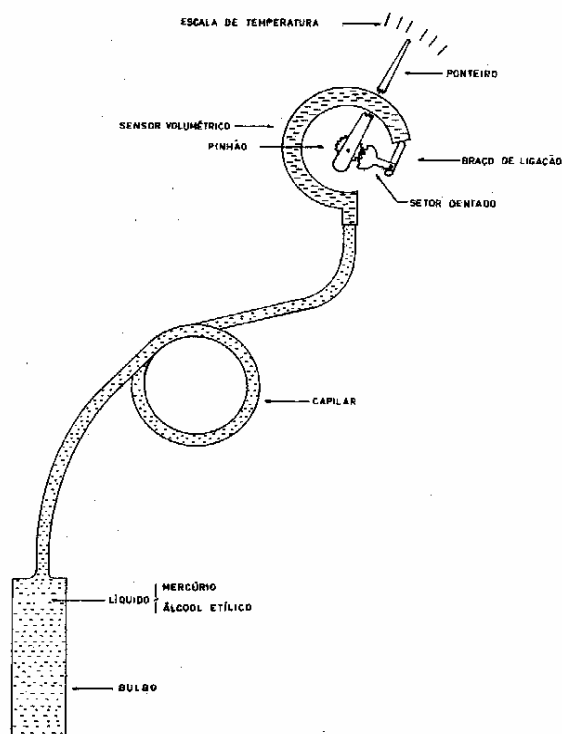
No termômetro de mercúrio, pode-se elevar o limite máximo até 550°C injetando-se gás inerte sob pressão, evitando a vaporização do mercúrio.

Por ser frágil e impossível registrar sua indicação ou transmiti-la à distância, o uso deste termômetro é mais comum em laboratórios ou em indústrias quando com proteção metálica.



2.1.3 Termômetro de dilatação de líquido em recipiente metálico.

Neste termômetro, o líquido preenche todo o recipiente e sob o efeito de um aumento de temperatura se dilata, deformando um elemento extensível (sensor volumétrico).



Características dos elementos básicos deste termômetro:

Bulbo

Suas dimensões variam de acordo com o tipo de líquido e principalmente com a sensibilidade desejada.

A tabela abaixo, mostra os líquidos mais usados e sua faixa de utilização

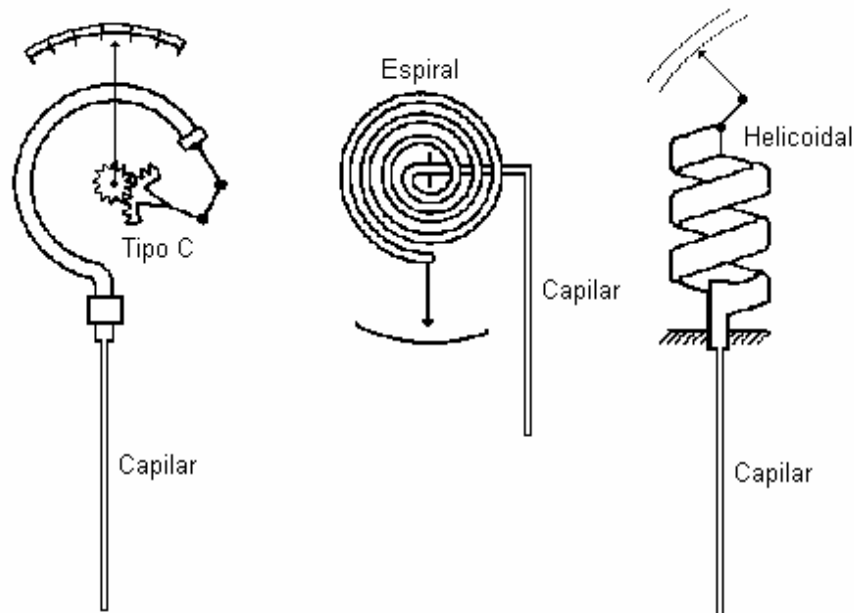
LÍQUIDO	FAIXA DE UTILIZAÇÃO (°C)
Mercúrio	-35 à +550
Xileno	-40 à +400
Tolueno	-80 à +100
Álcool	50 à +150

Capilar

Suas dimensões são variáveis, sendo que o diâmetro interno deve ser o menor possível, a fim de evitar a influencia da temperatura ambiente, porém não deve oferecer resistência a passagem do líquido em expansão.

Elemento de Medição

O elemento usado é o Tubo de Bourdon, podendo ser :



Os materiais mais usados são: bronze fosforoso, cobre - berílio , aço - inox e aço - carbono.

Pelo fato deste sistema utilizar líquido inserido num recipiente e da distância entre o elemento sensor e o bulbo ser considerável, as variações na temperatura ambiente afetam não somente o líquido no bulbo, mas em todo o sistema (bulbo, capilar e sensor) causando erro de indicação ou registro. Este efeito da temperatura ambiente é compensado de duas maneiras que são denominadas classe 1A e classe 1B.

Na classe 1B a compensação é feita somente no sensor, através de uma lamina bimetálica. Este sistema é normalmente preferido por ser mais simples, porém o comprimento máximo do capilar para este sistema de compensação é de aproximadamente 6 metros.

Quando esta distância for maior o instrumento deve possuir sistema de compensação classe 1A, onde a compensação é feita no sensor e no capilar, por meio de um segundo capilar ligado a um elemento de compensação idêntico ao de medição, sendo os dois ligados em oposição.

O segundo capilar tem comprimento idêntico ao capilar de medição, porém não está ligado a um bulbo.

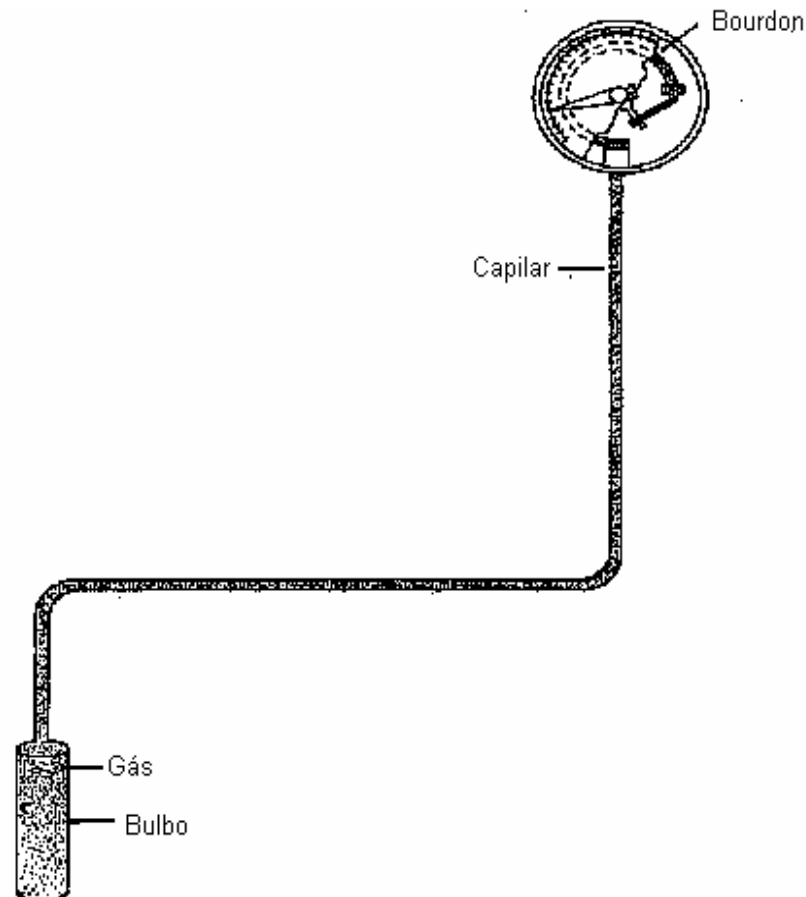
A aplicação destes termômetros, se encontra na indústria em geral para indicação e registro, pois permite leituras remotas e por ser o mais preciso dos sistemas mecânicos de medição de

temperatura, porém não é recomendável para controle por causa de seu tempo de resposta ser relativamente grande (mesmo usando fluido trocador de calor entre bulbo e poço de proteção para diminuir este atraso conforme figura abaixo). O poço de proteção, permite manutenção do termômetro com o processo em operação.

Recomenda-se não dobrar o capilar com curvatura acentuada para que não se forme restrições que prejudicariam o movimento do líquido em seu interior, causando problemas de medição.

2.2 TERMÔMETROS À PRESSÃO DE GÁS

2.2.1 Princípio de funcionamento



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 constante e preenchido com um gás a alta pressão. Com a variação da temperatura, o gás varia sua pressão conforme, aproximadamente a lei dos gases perfeitos, com o elemento de medição operando como medidor de pressão. A Lei de Gay-Lussac, expressa matematicamente este conceito:

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2} = \dots = \frac{P_n}{T_n}$$

Observa-se que as variações de pressão são linearmente dependentes da temperatura, sendo o volume constante.

2.2 Características

O gás mais utilizado é o N_2 e geralmente é enchido com uma pressão de 20 a 50 atm., na temperatura mínima a medir. Sua faixa de medição vai de -100 a 600 °C, sendo o limite inferior

devido a própria temperatura crítica do gás e o superior proveniente do recipiente apresentar maior permeabilidade ao gás nesta temperatura , o que acarretaria sua perda inutilizando o termômetro.

Tipos de gás de enchimento

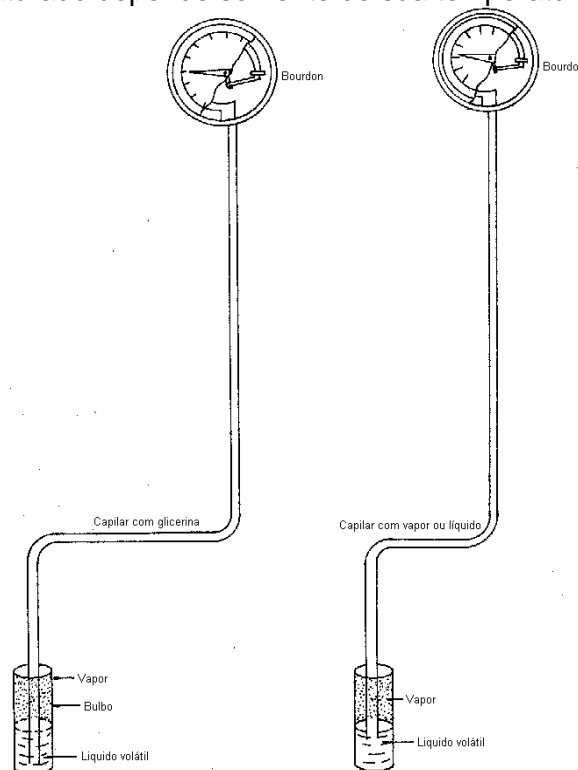
Gás	Temperatura Crítica
Hélio (He)	- 267,8 °C
Hidrogênio (H2)	- 239,9 °C
Nitrogênio (N2)	- 147,1 °C
Dióxido de Carbono (CO2)	- 31,1 °C

2.3 TERMÔMETRO À PRESSÃO DE VAPOR

2.3.1 Princípio de funcionamento

Sua construção é bastante semelhante ao de dilatação de líquidos, baseando o seu funcionamento na Lei de Dalton:

"A pressão de vapor saturado depende somente de sua temperatura e não de seu volume"



Portanto para qualquer variação de temperatura haverá uma variação na tensão de vapor do gás liqüefeito colocado no bulbo do termômetro e, em conseqüência disto, uma variação na pressão dentro do capilar.

A relação existente entre tensão de vapor de um líquido e sua temperatura é do tipo logarítmica e pode ser simplificada para pequenos intervalos de temperatura em:

$$\log P_1 / P_2 = H e . (1/T_1 - 1/T_2) / 4,58$$

onde:

P1 e P 2 = Pressões absolutas relativas as temperaturas

T1 e T2 = Temperaturas absolutas

H e = Representa o calor latente de evaporação do líquido em questão

A tabela a seguir, mostra os líquidos mais utilizados e seus pontos de fusão e ebulição

Líquido	Ponto de Fusão (°C)	Ponto de ebulição (°C)
Cloreto de Metila	- 139	- 24
Butano	- 135	- 0,5
Eter Etilico	- 119	34
Tolueno	- 95	110
Dióxido de enxofre	- 73	- 10
Propano	- 190	- 42

2.4 TERMÔMETROS À DILATAÇÃO DE SÓLIDOS (TERMÔMETROS BIMETÁLICOS)

2.4.1 Princípio de funcionamento

Baseia-se no fenômeno da dilatação linear dos metais com a temperatura. Sendo:

$$L_t = L_o \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta t)$$

onde:

t = temperatura do metal em °C

L_o = comprimento do metal à temp. de referência t_o

L_t = comprimento do metal à temp. t

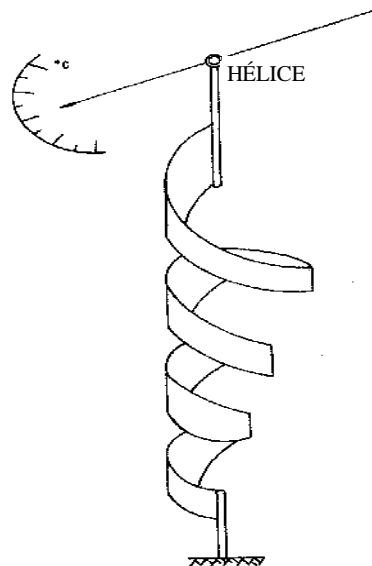
α = coeficiente de dilatação linear

$\Delta t = t - t_o$

2.4.2 Características de construção

O termômetro bimetálico consiste em duas laminas de metais com coeficientes de dilatação diferentes sobrepostas, formando uma só peça. Variando-se a temperatura do conjunto, observa-se um encurvamento que é proporcional a temperatura.

Na prática a lamina bimetálica é enrolada em forma de espiral ou hélice, o que aumenta bastante a sensibilidade.



O termômetro mais usado é o de lamina helicoidal, e consiste em um tubo bom condutor de calor, no interior do qual é fixado um eixo que por sua vez recebe um ponteiro que se desloca sobre uma escala.

Normalmente usa-se o invar (aço com 64% Fe e 36% Ni) com baixo coeficiente de dilatação e o latão como metal de alto coeficiente de dilatação.

A faixa de trabalho dos termômetros bimetálicos vai aproximadamente de -50 a 800 °C, sendo sua escala bastante linear. Possui exatidão na ordem de +/- 1%