



TÉCNICAS DE TÉCNICAS DE MEDIÇÃO DE TEMPERATURA

Eng. Marcelo Saraiva Coelho



MÉTODO DE MEDIÇÃO

Dois grandes grupos:

1º grupo (contato direto)

- Termômetro à dilatação
 - de líquidos
 - de sólido
- Termômetro à pressão
 - de líquido
 - de gás
 - de vapor
- Termômetro a par termoeletrico
- Termômetro à resistência elétrica

2º grupo (contato indireto)

- Pirômetro óptico
- Pirômetro fotoelétrico
- Pirômetro de radiação

Eng. Marcelo Saraiva Coelho



PROJETOS EM INSTRUMENTAÇÃO E AUTOMAÇÃO
INSTRUMENTAÇÃO - TEMPERATURA

	DIRETO	INDIRETO
Condição necessária para medir com precisão	1) Estar em contato com o objeto a ser medido. 2) Praticamente não mudar a temperatura do objeto devido ao contato do detector.	1) A radiação do objeto medido tem que chegar até o detector.
Característica	1) É difícil medir a temperatura de um objeto pequeno, porque este tem tendência de mudança de temperatura quando em contato com um objeto cuja temperatura é diferente. 2) É difícil medir o objeto que está em movimento	1) Não muda a temperatura do objeto porque o detector não está em contato direto com o mesmo. 2) Pode medir o objeto que está em movimento. 3) Geralmente mede a temperatura da superfície. 4) Depende da emissividade
Faixa de Temperatura	É indicado para medir temperaturas menores que 1600°C.	É adequado para medir temperaturas elevadas (> -50 °C).
Precisão	Geralmente, ± 1% da faixa	Geralmente 3 a 10 °C
Tempo de Resposta	Geralmente grande (> 5min)	Geralmente pequeno (0,3 ~ 3 s)

Eng. Marcelo Saraiva Coelho

PROJETOS EM INSTRUMENTAÇÃO E AUTOMAÇÃO
INSTRUMENTAÇÃO - TEMPERATURA

TERMÔMETROS DE DILATAÇÃO VOLUMÉTRICA

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

$$V = V_0 (1 + \rho_a \cdot t)$$

Onde:

V = volume aparente à temperatura t.

V₀ = volume aparente à temperatura 0°.

ρ_a = coeficiente de dilatação aparente do líquido.

t = temperatura do líquido.



Eng. Marcelo Saraiva Coelho



PROJETOS EM INSTRUMENTAÇÃO E AUTOMAÇÃO INSTRUMENTAÇÃO - TEMPERATURA

TERMÔMETROS DE DILATAÇÃO VOLUMÉTRICA

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

$$V = V_0 (1 + \alpha_a t)$$

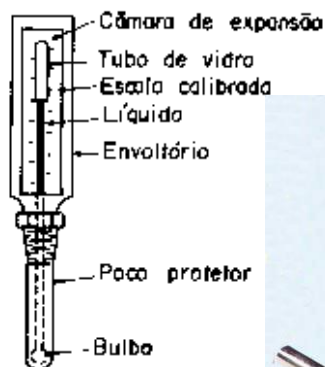
Onde:

V = volume aparente à temperatura t .

V_0 = volume aparente à temperatura 0° .

α_a = coeficiente de dilatação aparente do líquido.

t = temperatura do líquido.



Eng. Marcelo Saraiva Coelho



PROJETOS EM INSTRUMENTAÇÃO E AUTOMAÇÃO INSTRUMENTAÇÃO - TEMPERATURA

TERMÔMETROS DE DILATAÇÃO VOLUMÉTRICA



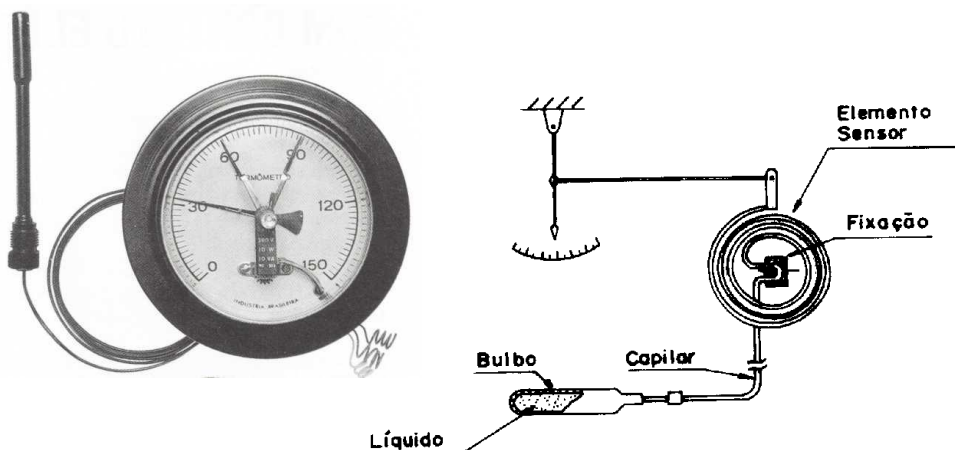
Eng. Marcelo Saraiva Coelho



PROJETOS EM INSTRUMENTAÇÃO E AUTOMAÇÃO

INSTRUMENTAÇÃO - TEMPERATURA

TERMÔMETROS DE DILATAÇÃO VOLUMÉTRICA



Eng. Marcelo Saraiva Coelho

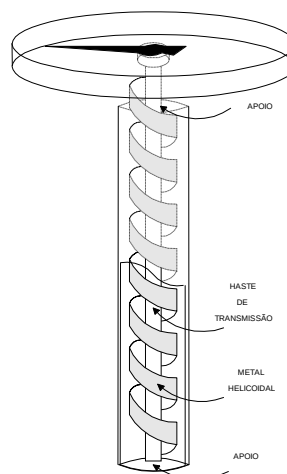
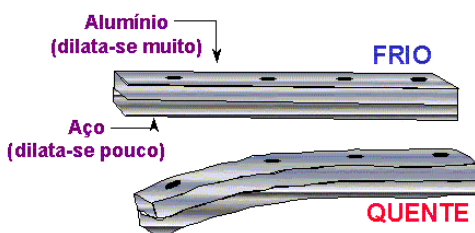


PROJETOS EM INSTRUMENTAÇÃO E AUTOMAÇÃO

INSTRUMENTAÇÃO - TEMPERATURA

TERMÔMETRO BIMETÁLICO

A operação deste tipo de termômetro se baseia no fenômeno da dilatação linear dos metais com a temperatura. 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.



Eng. Marcelo Saraiva Coelho

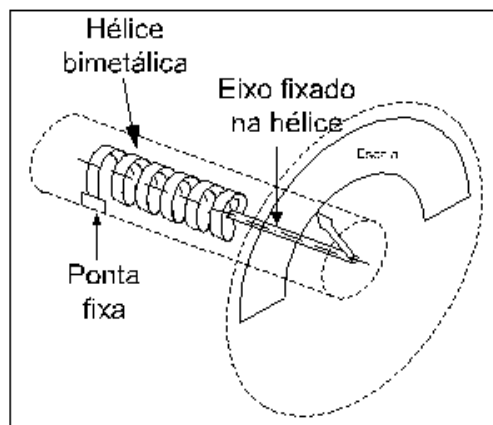


PROJETOS EM INSTRUMENTAÇÃO E AUTOMAÇÃO

INSTRUMENTAÇÃO - TEMPERATURA

TERMÔMETRO BIMETÁLICO

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

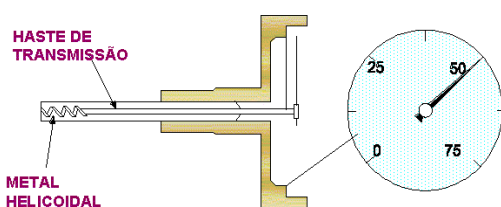


Eng. Marcelo Saraiva Coelho



PROJETOS EM INSTRUMENTAÇÃO E AUTOMAÇÃO

INSTRUMENTAÇÃO - TEMPERATURA



Recomendações na instalação

- Utilizar sempre poço protetor metálico para evitar corrosão, dar proteção mecânica e permitir manutenção com o processo em operação.
- Em baixa temperatura a caixa do termômetro bimetálico deve ser hermeticamente selada para evitar que a penetração da umidade venha a formar gelo, prejudicando os componentes internos do instrumento.
- Para evitar erros devido à temperatura ambiente, o bimetálico deve estar completamente imerso no fluido.

Eng. Marcelo Saraiva Coelho



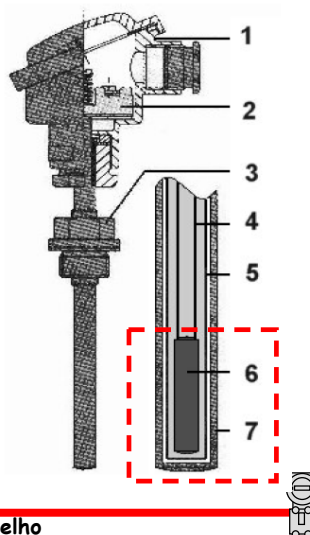


PROJETOS EM INSTRUMENTAÇÃO E AUTOMAÇÃO INSTRUMENTAÇÃO - TEMPERATURA

Principais características - Termoresistência

Principais componentes de uma RTD

- 1) Cabeçote
- 2) Bloco de ligação / TT
- 3) Conexão de processo
- 4) Fios
- 5) Inserto de medição / Bainha
- 6) Sensor
- 7) Poço de proteção



Eng. Marcelo Saraiva Coelho



PROJETOS EM INSTRUMENTAÇÃO E AUTOMAÇÃO INSTRUMENTAÇÃO - TEMPERATURA

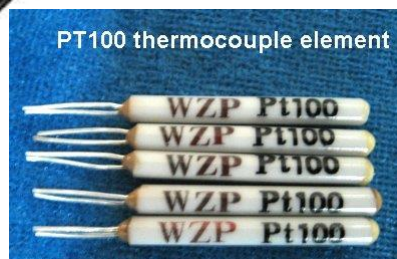
Termômetro de Resistência:

Os metais utilizados com maior frequência na confecção de termo resistência são:

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.



Eng. Marcelo Saraiva Coelho

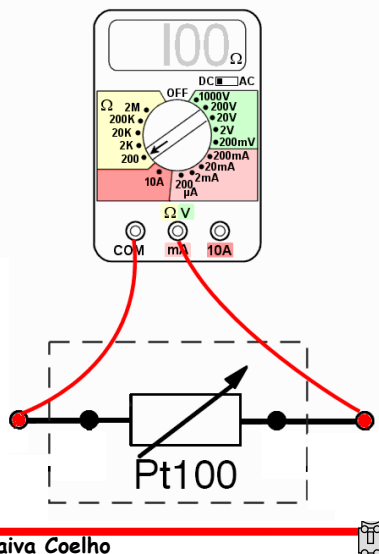




PROJETOS EM INSTRUMENTAÇÃO E AUTOMAÇÃO INSTRUMENTAÇÃO - TEMPERATURA

Termômetro de Resistência:

No Brasil usa-se normalmente a norma DIN-IEC 751/85 que estabelece para termômetros de resistência de platina o valor de $100,00\Omega$ a 0°C , e de $138,50\Omega$ a 100°C . Este sensor chama-se PT100.



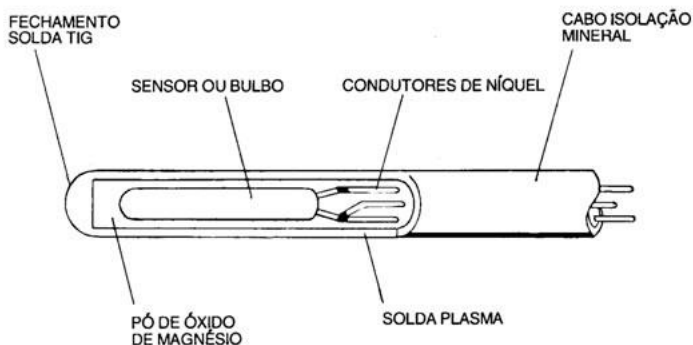
Eng. Marcelo Saraiva Coelho



PROJETOS EM INSTRUMENTAÇÃO E AUTOMAÇÃO INSTRUMENTAÇÃO - TEMPERATURA

Termômetro de Resistência:

No Brasil usa-se normalmente a norma DIN-IEC 751/85 que estabelece para termômetros de resistência de platina o valor de $100,00\Omega$ a 0°C , e de $138,50\Omega$ a 100°C . Este sensor chama-se PT100.



Eng. Marcelo Saraiva Coelho

PROJETOS EM INSTRUMENTAÇÃO E AUTOMAÇÃO

INSTRUMENTAÇÃO - TEMPERATURA

Termômetro de Resistência

O princípio de medição de temperatura por meio de termômetros de resistência, repousa 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 $t^{\circ}\text{C}$.
 R_0 = resistência à 0°C .
 α = coeficiente de variação de resistência do metal com a temperatura.
 t = temperatura.



Eng. Marcelo Saraiva Coelho



PROJETOS EM INSTRUMENTAÇÃO E AUTOMAÇÃO

INSTRUMENTAÇÃO - TEMPERATURA

Termômetro de Resistência

Equação Callendar-Van Dusen

Para a faixa de temperatura -200°C a 0°C :

$$R_T = R_0 \times [1 + aT + bT^2 + cT^3(T - 100)]$$

Para a faixa de temperatura 0°C a 850°C :

$$R_T = R_0 \times (1 + aT + bT^2)$$

Onde:

R_T = Resistência (Ω) em $T^{\circ}\text{C}$

R_0 = Resistência (Ω) em 0°C (100Ω para PT-100)

T = Temperatura em $^{\circ}\text{C}$

Eng. Marcelo Saraiva Coelho



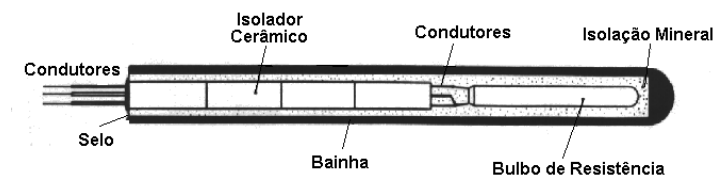


PROJETOS EM INSTRUMENTAÇÃO E AUTOMAÇÃO

INSTRUMENTAÇÃO - TEMPERATURA

Termômetro de Resistência Características Desejáveis:

- 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.



Eng. Marcelo Saraiva Coelho



PROJETOS EM INSTRUMENTAÇÃO E AUTOMAÇÃO

INSTRUMENTAÇÃO - TEMPERATURA

Termômetro de Resistência Classe de Exatidão

Temperatura °C	Tolerância			
	Classe A		Classe B	
	(±°C)	(±Ω)	(±°C)	(±Ω)
-200	0,55	0,24	1,3	0,56
-100	0,35	0,14	0,8	0,32
0	0,15	0,06	0,3	0,12
100	0,35	0,13	0,8	0,30
200	0,55	0,20	1,3	0,48
300	0,75	0,27	1,8	0,64
400	0,95	0,33	2,3	0,79
500	1,15	0,38	2,8	0,93
600	1,35	0,43	3,3	1,06
650	1,45	0,46	3,55	1,13
700	-	-	3,8	1,17
800	-	-	4,3	1,28
850	-	-	4,55	1,34

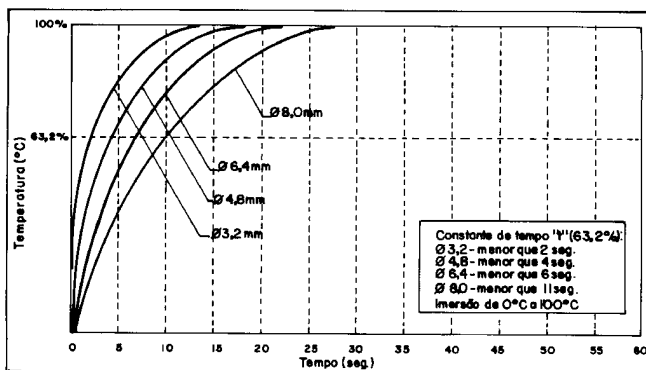
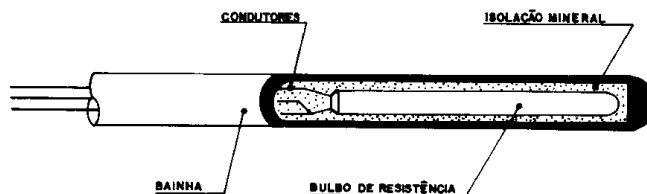
Eng. Marcelo Saraiva Coelho



PROJETOS EM INSTRUMENTAÇÃO E AUTOMAÇÃO

INSTRUMENTAÇÃO - TEMPERATURA

Termômetro de Resistência
Tempo de Resposta



Eng. Marcelo Saraiva Coelho



PROJETOS EM INSTRUMENTAÇÃO E AUTOMAÇÃO

INSTRUMENTAÇÃO - TEMPERATURA

Termômetro de Resistência - Bainha de Proteção

A escolha do material da bainha é fundamental para a vida útil do termopar com isolamento mineral, pois se a bainha resistir às condições do ambiente agressivo, o termoelemento também resistirá

Material da Bainha	Temp. Máx. Recom. °C	Considerações Gerais
Inóx 304	900	Boa resistência a corrosão, podendo ser usada em atmosfera oxidante, redutora, neutra e no vácuo. Não recomendável o uso na presença de enxofre ou chamas redutoras.
Inóx 310	1100	Boas propriedades de resistência a oxidação em altas temperaturas, utilizável em atmosfera oxidante, redutora, neutra ou no vácuo. Bom para uso em atmosfera sulfurosa.
Inóx 316	900	Maior resistência a corrosão do que o Inóx 304, boa resistência a ácidos e álcalis.
Alloy 600	1150	Excelente resistência a oxidação em altas temperaturas. Seu uso em atmosferas com enxofre deve ser evitado.
Aço cromo 446	1100	Excelente resistência à corrosão e oxidação em alta temperatura. Boa resistência em atmosferas sulfurosas.

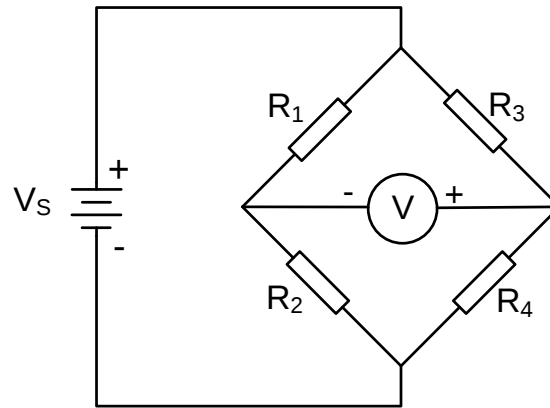
Eng. Marcelo Saraiva Coelho



PROJETOS EM INSTRUMENTAÇÃO E AUTOMAÇÃO
INSTRUMENTAÇÃO - TEMPERATURA

LIGAÇÃO A DOIS FIOS

Utilização: até 3m



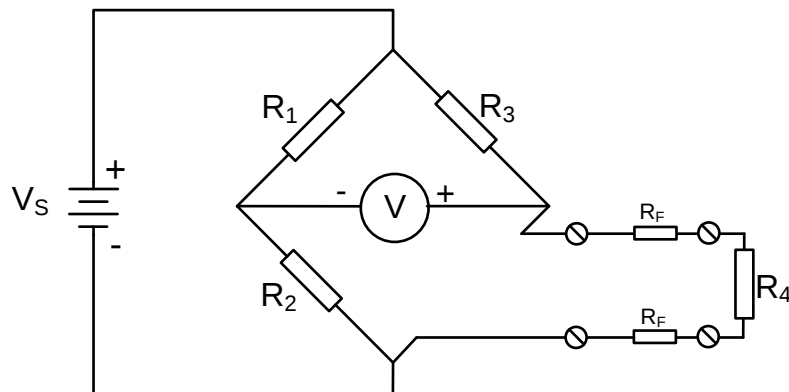
Eng. Marcelo Saraiva Coelho



PROJETOS EM INSTRUMENTAÇÃO E AUTOMAÇÃO
INSTRUMENTAÇÃO - TEMPERATURA

LIGAÇÃO A DOIS FIOS

Utilização: até 3m



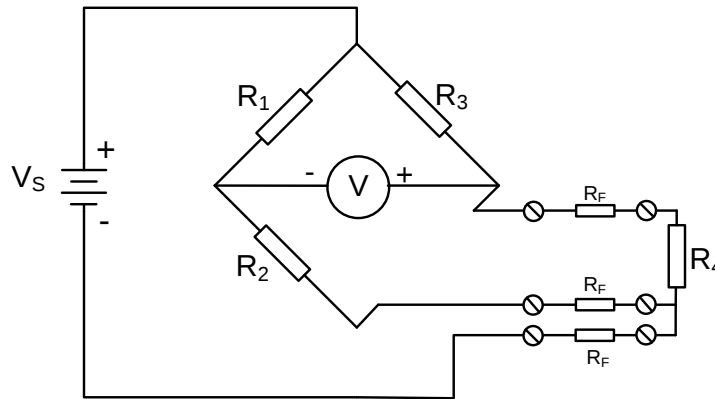
Eng. Marcelo Saraiva Coelho



PROJETOS EM INSTRUMENTAÇÃO E AUTOMAÇÃO
INSTRUMENTAÇÃO - TEMPERATURA

LIGAÇÃO A TRES FIOS

Utilização: com mais de 3m de distância entre sensor e circuito

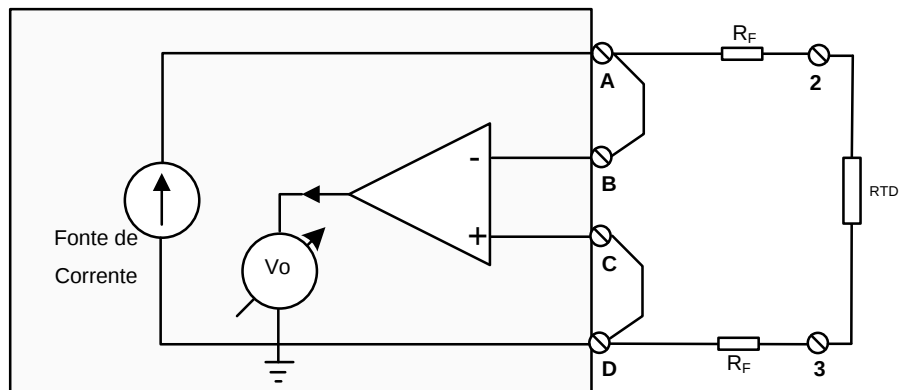


Eng. Marcelo Saraiva Coelho



PROJETOS EM INSTRUMENTAÇÃO E AUTOMAÇÃO
INSTRUMENTAÇÃO - TEMPERATURA

MEDIDAÇÃO COM FONTE DE CORRENTE CONSTANTE LIGAÇÃO A DOIS FIOS



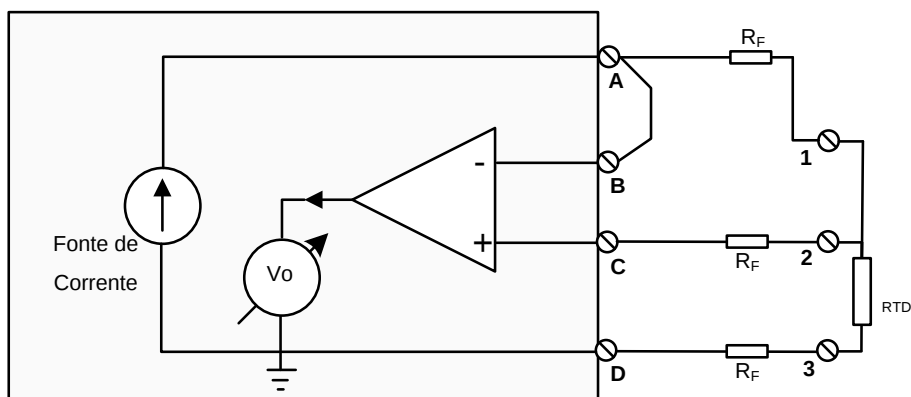
Eng. Marcelo Saraiva Coelho





PROJETOS EM INSTRUMENTAÇÃO E AUTOMAÇÃO INSTRUMENTAÇÃO - TEMPERATURA

MEDIÇÃO COM FONTE DE CORRENTE CONSTANTE LIGAÇÃO A TRÊS FIOS

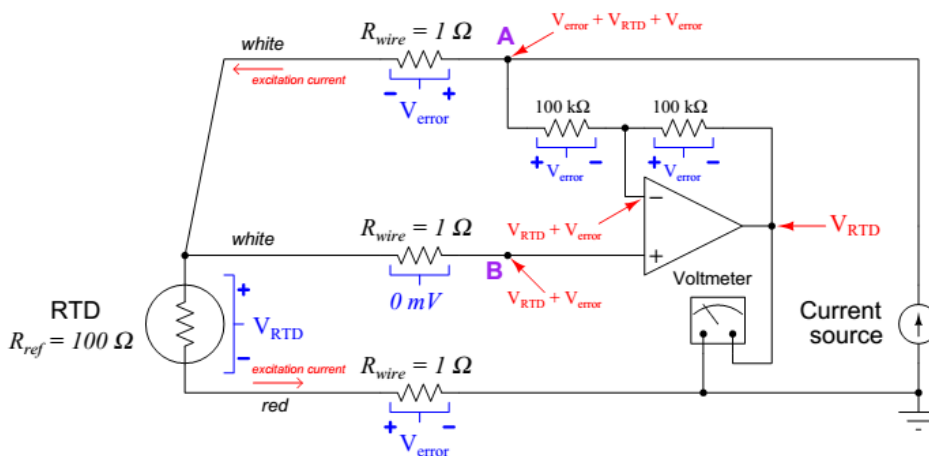


Eng. Marcelo Saraiva Coelho



PROJETOS EM INSTRUMENTAÇÃO E AUTOMAÇÃO INSTRUMENTAÇÃO - TEMPERATURA

MEDIÇÃO COM FONTE DE CORRENTE CONSTANTE



Eng. Marcelo Saraiva Coelho



MEDIÇÃO COM FONTE DE CORRENTE CONSTANTE LIGAÇÃO A QUATRO FIOS



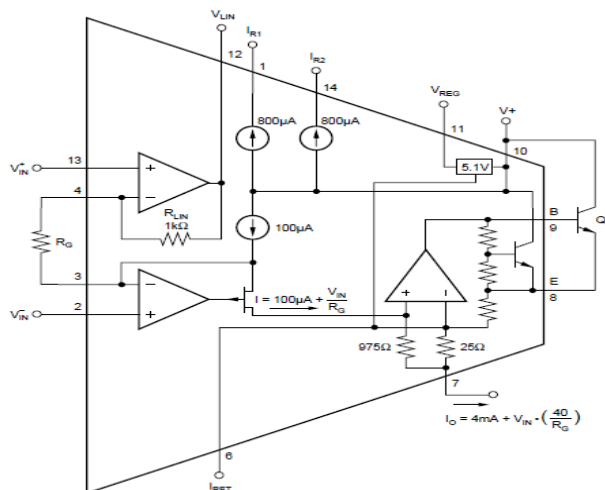
MEDIÇÃO COM FONTE DE CORRENTE CONSTANTE





PROJETOS EM INSTRUMENTAÇÃO E AUTOMAÇÃO INSTRUMENTAÇÃO - TEMPERATURA

MEDIÇÃO COM FONTE DE CORRENTE CONSTANTE



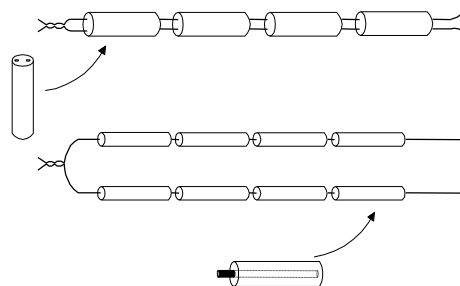
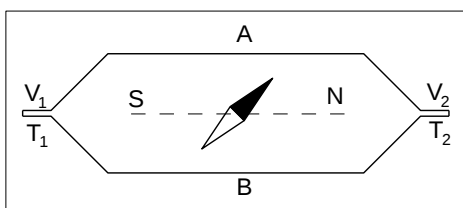
Eng. Marcelo Saraiva Coelho



PROJETOS EM INSTRUMENTAÇÃO E AUTOMAÇÃO INSTRUMENTAÇÃO - TEMPERATURA

TERMOPAR

A experiência de SEEBECK 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.



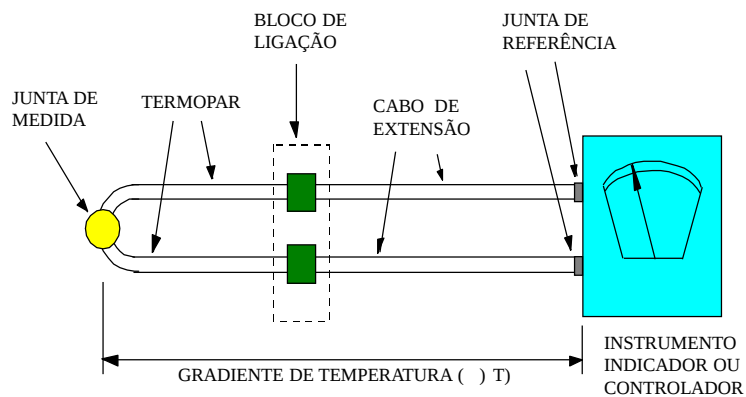
Eng. Marcelo Saraiva Coelho





PROJETOS EM INSTRUMENTAÇÃO E AUTOMAÇÃO INSTRUMENTAÇÃO - TEMPERATURA

TERMOPAR

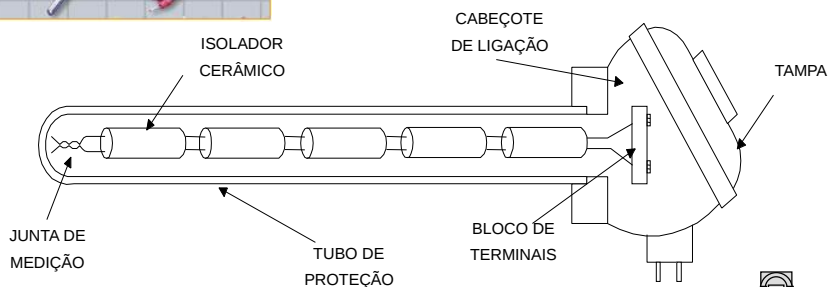


Eng. Marcelo Saraiva Coelho



PROJETOS EM INSTRUMENTAÇÃO E AUTOMAÇÃO INSTRUMENTAÇÃO - TEMPERATURA

TERMOPARES ASPECTOS CONSTRUTIVOS



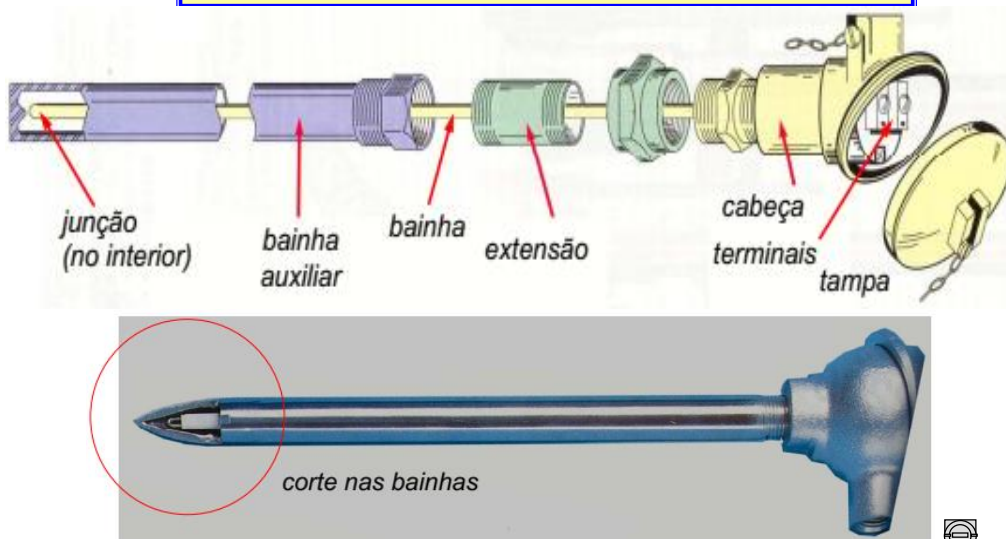
Eng. Marcelo Saraiva Coelho





PROJETOS EM INSTRUMENTAÇÃO E AUTOMAÇÃO INSTRUMENTAÇÃO - TEMPERATURA

TERMOPARES ASPECTOS CONSTRUTIVOS



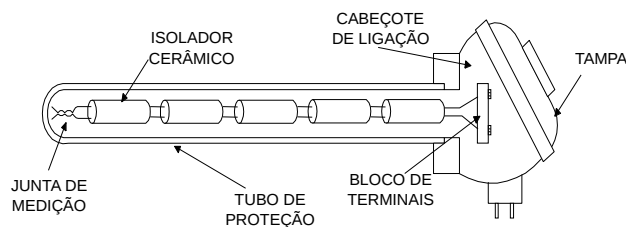
Eng. Marcelo Saraiva Coelho



PROJETOS EM INSTRUMENTAÇÃO E AUTOMAÇÃO INSTRUMENTAÇÃO - TEMPERATURA

TERMOPAR-Principais Qualidades Requeridas por um Termopar

- a) **Desenvolver uma F.E.M. a maior possível**, função contínua da temperatura de maneira a ser possível utilizar instrumentos de indicação de temperatura de construção simples e robusta. A faixa de F.E.M. normalmente vai de 10 a 50mV.
- b) **Precisão de calibração (intercambialidade)**. Um termopar deve ser capaz de ser calibrado com um padrão de F.E.M. versus temperatura e deve manter esta calibração mantendo-a por um longo período de tempo sem desvios. A intercambialidade entre dois termopares do mesmo material é a principal razão do seu uso em grande escala na indústria.



Eng. Marcelo Saraiva Coelho



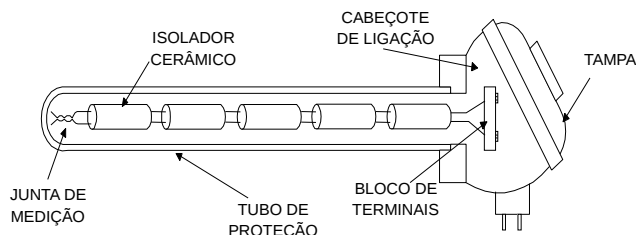


PROJETOS EM INSTRUMENTAÇÃO E AUTOMAÇÃO INSTRUMENTAÇÃO - TEMPERATURA

TERMOPAR-Principais Qualidades Requeridas por um Termopar

c) **Resistência à corrosão e oxidação (durabilidade).** Um termopar deve ser física e quimicamente resistente de maneira a possuir uma longa vida, e mais ainda exibindo a propriedade para uma dada temperatura gerar uma F.E.M. constante.

d) **Relação linear F.E.M. versus temperatura (linearidade).** É interessante possuir uma relação F.E.M. versus temperatura mais linear possível devido aos seguintes motivos:

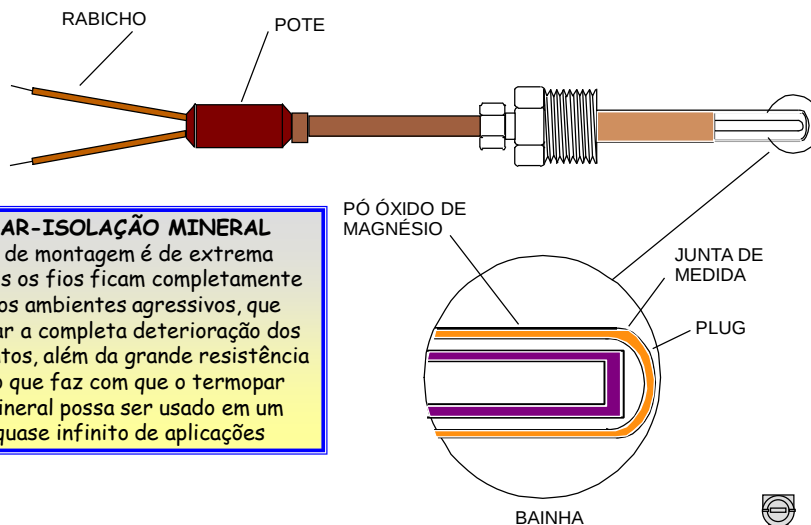


Eng. Marcelo Saraiva Coelho



PROJETOS EM INSTRUMENTAÇÃO E AUTOMAÇÃO INSTRUMENTAÇÃO - TEMPERATURA

Termopar de Isolação Mineral



TERMOPAR-ISOLAÇÃO MINERAL

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 isolamento mineral possa ser usado em um número quase infinito de aplicações

Eng. Marcelo Saraiva Coelho





PROJETOS EM INSTRUMENTAÇÃO E AUTOMAÇÃO INSTRUMENTAÇÃO - TEMPERATURA

Tipos de Termopar

TYPE	MATERIAL	RANGE	LIMITS OF ERROR	
			STANDARD (whichever is greater)	SPECIAL (whichever is greater)
J	Iron (+) white Constantan (-) red	0 to 760 °C	2.2 °C or 0.75%	1.1 °C or 0.4%
T	Copper (+) blue Constantan (-) red	-101 to -59 -59 to 93 93 to 371	2% 0.9 °C .75%	1% 0.52 °C 0.4%
K	Chromel (+) yellow Alumel (-) red	0 to 1260 °C	2.2 °C or 0.75%	1.1 °C or 0.4%
E	Chromel (+) purple Constantan (-) red	0 to 871 °C	1.7 °C or 0.5%	1 °C or 0.4%
S	Platinum 10% Rhodium (+) black Platinum (-) red	0 to 1482 °C	1.4 °C or 0.25%	0.8 °C or 0.1%
R	Platinum 13% Rhodium (+) black Platinum (-) red	0 to 1482 °C	1.4 °C or 0.25%	0.6 °C or 0.1%
B	Platinum 30% Rhodium (+) black Platinum 6% Rhodium (-) red	871 to 1705 °C	0.5%	
N	Nicrosil (+) orange Nisil (-) red	0 to 1260 °C	2.2 °C or 0.75%	1.1 °C or 0.4%
WR**	Tungsten (+) Tungsten 26% Rhenium (-)	0 to 2300 °C	±1%	
W3**	Tungsten 3% Rhenium (+) Tungsten 25% Rhenium (-)	0 to 2300 °C	±1%	
W5**	Tungsten 5% Rhenium (+) Tungsten 26% Rhenium (-)	0 to 2300 °C	±1%	

** Not an ANSI symbol

Eng. Marcelo Saraiva Coelho



PROJETOS EM INSTRUMENTAÇÃO E AUTOMAÇÃO INSTRUMENTAÇÃO - TEMPERATURA

Tipo	Elemento Positivo	Elemento Negativo	Faixa de temp. usual	Vantagens	Restrições
T	Cobre	Constantan	- 184 a 370°C	1) Resiste a atmosfera corrosiva. 2) Aplicável em atmosfera redutora ou oxidante abaixo de 310°C. 3) Sua estabilidade o torna útil em temperaturas abaixo de 0°C.	1) Oxidação do cobre acima de 310°C.
J	Ferro	Constantan	0 a 760°C	1) Baixo Custo. 2) Indicado para serviços contínuos até 760°C em atmosfera neutra ou redutora.	1) Limite máximo de utilização em atmosfera oxidante de 760°C devido à rápida oxidação do ferro. 2) Utilizar tubo de proteção acima de 480°C.
E	Chromel	Constantan	0 a 870°C	1) Alta potência termoeletrica. 2) Os elementos são altamente resistentes à corrosão, permitindo o uso em atmosfera oxidante.	1) Baixa estabilidade em atmosfera redutora.

Eng. Marcelo Saraiva Coelho





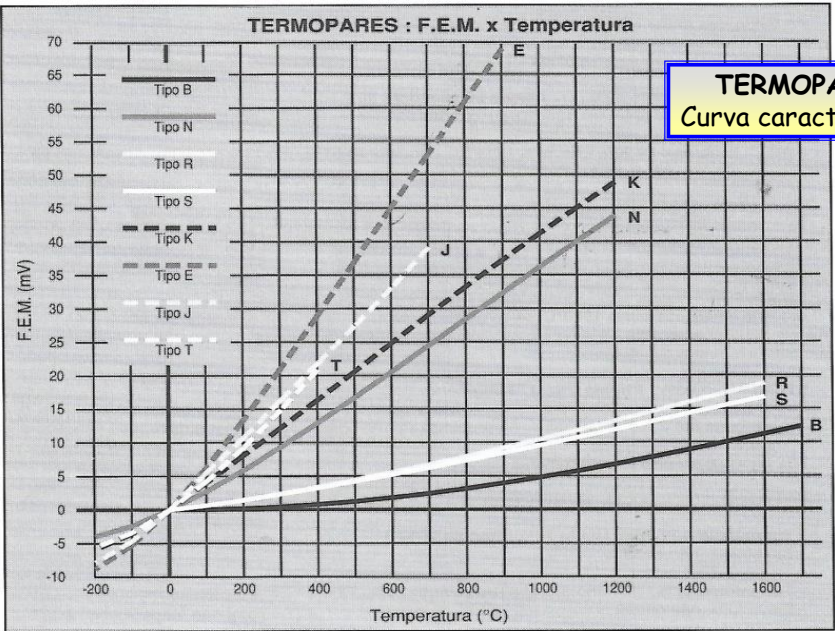
PROJETOS EM INSTRUMENTAÇÃO E AUTOMAÇÃO
INSTRUMENTAÇÃO - TEMPERATURA

Tipo	Elemento Positivo	Elemento Negativo	Faixa de temp. usual	Vantagens	Restrições
K	Chromel	Alumel	0 a 1260°C	1) Indicado para atmosfera oxidante. 2) Para faixa de temperatura mais elevada fornece rigidez mecânica melhor do que os tipos S ou R e vida mais longa do que o tipo J.	1) Vulnerável em atmosferas redutoras, sulfurosas e gases como SO ₂ e H ₂ S, requerendo substancial proteção quando utilizado nestas condições.
S	Platina 10% Rhodio	Platina	0 a 1480°C	1) Indicado para atmosferas oxidantes. 2) Apresenta boa precisão a altas temperaturas.	1) Vulnerável à contaminação em atmosferas que não sejam oxidante.
R	Platina 13% Rhodio	Platina			2) Para altas temperaturas, utilizar isoladores e tubos de proteção de alta alumina.

Eng. Marcelo Saraiva Coelho



PROJETOS EM INSTRUMENTAÇÃO E AUTOMAÇÃO
INSTRUMENTAÇÃO - TEMPERATURA





PROJETOS EM INSTRUMENTAÇÃO E AUTOMAÇÃO
INSTRUMENTAÇÃO - TEMPERATURA

TERMOPARES

Para boas medições são necessárias tabelas padrões ou representações polinomiais destas características (em sistemas microprocessados é facilmente empregada a aproximação polinomial). A expressão geral apresenta a forma:

$$T = a_0 + a_1.V + a_2.V^2 + a_3.V^3 + \dots + a_n.V^n$$

onde V é a f.e.m. observada em volts (mV), T é a temperatura da junção (°C) e os coeficientes apropriados para os tipos particulares de termopares são dados na Tabela a seguir.

Eng. Marcelo Saraiva Coelho



PROJETOS EM INSTRUMENTAÇÃO E AUTOMAÇÃO
INSTRUMENTAÇÃO - TEMPERATURA

TERMOPARES

Tabela de coeficientes polinomiais por tipo de termopar

	Tipo E	Tipo J	Tipo K	Tipo R	Tipo S	Tipo T
	Níquel-Cromo(+) Versus Cobre-Níquel(-)	Ferro(+) Versus Cobre-Níquel(-)	Níquel-Cromo(+) Versus Níquel-Alumínio(-)	Platina - 13% Ródio(+) Versus Platina(-)	Platina - 10% Ródio(+) Versus Platina(-)	Cobre (+) Versus Cobre-Níquel(-)
	-100°C a 1000°C ±0,5°C 9ª ordem	0°C a 760°C ±0,1°C 5ª ordem	0°C a 1370°C ±0,7°C 8ª ordem	0°C a 1000°C ±0,5°C 8ª ordem	0°C a 1750°C ±1°C 9ª ordem	-160°C a 400°C ±0,5°C 7ª ordem
a ₀	0,104967248	-0,048868252	0,226584602	0,263632917	0,927763167	0,100860910
a ₁	17189,45282	19873,14503	24152,10900	179075,491	169526,5150	25727,94369
a ₂	-282639,0850	-218614,5353	67233,4248	-48840341,37	-31568363,94	-767345,8295
a ₃	12695339,5	11569199,78	2210340,682	1,90002E + 10	8990730663	78025595,81
a ₄	-448703084,6	-264917531,4	-860963914,9	-4,82704E + 12	-1,63565E + 12	-9247486589
a ₅	1,10866E + 10	2018441314	4,83506E + 10	7,62091E + 14	1,88027E + 14	6,97688E + 11
a ₆	-1,76807E + 11		-1,18452E + 12	-7,20026E + 16	-1,37241E + 16	-2,66192E + 13
a ₇	1,71842E + 12		1,38690E + 13	3,71496E + 18	6,17501E + 17	3,94078E + 14
a ₈	-9,19278E + 12		-6,33708E + 13	-8,03104E + 19	-1,56105E + 19	
a ₉	2,06132E + 13				1,69535E + 20	





PROJETOS EM INSTRUMENTAÇÃO E AUTOMAÇÃO

INSTRUMENTAÇÃO - TEMPERATURA

Termopar Tipo K

Temperatura em Graus Celsius (ITS-90)

EMF em Milivolts		Junções à 0°C										
°C	-0	-1	-2	-3	-4	-5	-6	-7	-8	-9	-10	
VOLTAGEM TERMOELÉTRICA EM MILIVOLTS												
-40	-1.527	-1.564	-1.600	-1.637	-1.673	-1.709	-1.745	-1.782	-1.818	-1.854	-1.889	
-30	-1.156	-1.194	-1.231	-1.268	-1.305	-1.343	-1.380	-1.417	-1.453	-1.490	-1.527	
-20	-0.778	-0.816	-0.854	-0.892	-0.930	-0.968	-1.006	-1.043	-1.081	-1.119	-1.156	
-10	-0.392	-0.431	-0.470	-0.508	-0.547	-0.586	-0.624	-0.663	-0.701	-0.739	-0.778	
0	0.000	-0.039	-0.079	-0.118	-0.157	-0.197	0.236	-0.275	-0.314	-0.353	-0.392	
°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
0	0.000	0.039	0.079	0.119	0.158	0.198	0.238	0.277	0.317	0.357	0.397	
10	0.397	0.437	0.477	0.517	0.557	0.597	0.637	0.677	0.718	0.758	0.798	
20	0.798	0.838	0.879	0.919	0.960	1.000	1.041	1.081	1.122	1.163	1.203	
30	1.203	1.244	1.285	1.326	1.366	1.407	1.448	1.489	1.530	1.571	1.612	
40	1.612	1.653	1.694	1.735	1.776	1.817	1.858	1.899	1.941	1.982	2.023	
50	2.023	2.064	2.106	2.147	2.188	2.230	2.271	2.312	2.354	2.395	2.436	
60	2.436	2.478	2.519	2.561	2.602	2.644	2.685	2.727	2.768	2.810	2.851	
70	2.851	2.893	2.934	2.976	3.017	3.059	3.100	3.142	3.184	3.225	3.267	
80	3.267	3.308	3.350	3.391	3.433	3.474	3.516	3.557	3.599	3.640	3.682	
90	3.682	3.723	3.765	3.806	3.848	3.889	3.931	3.972	4.013	4.055	4.096	
100	4.096	4.138	4.179	4.220	4.262	4.303	4.344	4.385	4.427	4.468	4.509	
110	4.509	4.550	4.591	4.633	4.674	4.715	4.756	4.797	4.838	4.879	4.920	
120	4.920	4.961	5.002	5.043	5.084	5.124	5.165	5.206	5.247	5.288	5.328	
130	5.328	5.369	5.410	5.450	5.491	5.532	5.572	5.613	5.653	5.694	5.735	
140	5.735	5.775	5.815	5.856	5.896	5.937	5.977	6.017	6.058	6.098	6.138	



PROJETOS EM INSTRUMENTAÇÃO E AUTOMAÇÃO

INSTRUMENTAÇÃO - TEMPERATURA

Termopar Tipo J

Temperatura em Graus Celsius (ITS-90)

EMF em Milivolts		Junções à 0°C										
°C	-0	-1	-2	-3	-4	-5	-6	-7	-8	-9	-10	
-90	-4.215	-4.257	-4.300	-4.342	-4.384	-4.425	-4.467	-4.509	-4.550	-4.591	-4.633	
-80	-3.786	-3.829	-3.872	-3.916	-3.959	-4.002	-4.045	-4.088	-4.130	-4.173	-4.215	
-70	-3.344	-3.389	-3.434	-3.478	-3.522	-3.566	-3.610	-3.654	-3.698	-3.742	-3.786	
-60	-2.893	-2.938	-2.984	-3.029	-3.075	-3.120	-3.165	-3.210	-3.255	-3.300	-3.344	
-50	-2.431	-2.478	-2.524	-2.571	-2.617	-2.663	-2.709	-2.755	-2.801	-2.847	-2.893	
-40	-1.961	-2.008	-2.055	-2.103	-2.150	-2.197	-2.244	-2.291	-2.338	-2.385	-2.431	
-30	-1.482	-1.530	-1.578	-1.626	-1.674	-1.722	-1.770	-1.818	-1.865	-1.913	-1.961	
-20	-0.995	-1.044	-1.093	-1.142	-1.190	-1.239	-1.288	-1.336	-1.385	-1.433	-1.482	
-10	-0.501	-0.550	-0.600	-0.650	-0.699	-0.749	-0.798	-0.847	-0.896	-0.946	-0.995	
0	0.000	-0.050	-0.101	-0.151	-0.201	-0.251	-0.301	-0.351	-0.401	-0.451	-0.501	
°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
0	0.000	0.050	0.101	0.151	0.202	0.235	0.303	0.354	0.405	0.456	0.507	
10	0.507	0.558	0.609	0.660	0.711	0.762	0.814	0.865	0.916	0.968	1.019	
20	1.019	1.071	1.122	1.174	1.226	1.277	1.329	1.381	1.433	1.485	1.537	
30	1.537	1.589	1.641	1.693	1.745	1.797	1.849	1.902	1.954	2.006	2.059	
40	2.059	2.111	2.164	2.216	2.269	2.322	2.374	2.427	2.480	2.532	2.585	
50	2.585	2.638	2.691	2.744	2.797	2.850	2.903	2.956	3.009	3.062	3.116	
60	3.116	3.169	3.222	3.275	3.329	3.382	3.436	3.489	3.543	3.596	3.650	
70	3.650	3.703	3.757	3.810	3.864	3.918	3.971	4.025	4.079	4.133	4.187	
80	4.187	4.240	4.294	4.348	4.402	4.456	4.510	4.564	4.618	4.672	4.726	
90	4.726	4.781	4.835	4.889	4.943	4.997	5.052	5.106	5.160	5.215	5.269	





PROJETOS EM INSTRUMENTAÇÃO E AUTOMAÇÃO
INSTRUMENTAÇÃO - TEMPERATURA

Termopar Tipo E

Temperatura em Graus Celsius (ITS-90)

EMF em Milivolts												Junções à 0°C											
°C	-0	-1	-2	-3	-4	-5	-6	-7	-8	-9	-10												
-90	-4.777	-4.824	-4.871	-4.917	-4.963	-5.009	-5.055	-5.101	-5.147	-5.192	-5.237												
-80	-4.302	-4.350	-4.398	-4.446	-4.494	-4.542	-4.589	-4.636	-4.684	-4.731	-4.777												
-70	-3.811	-3.861	-3.911	-3.960	-4.009	-4.058	-4.107	-4.156	-4.205	-4.254	-4.302												
-60	-3.306	-3.357	-3.408	-3.459	-3.510	-3.561	-3.611	-3.661	-3.711	-3.761	-3.811												
-50	-2.787	-2.840	-2.892	-2.944	-2.996	-3.048	-3.100	-3.152	-3.204	-3.255	-3.306												
-40	-2.255	-2.309	-2.362	-2.416	-2.469	-2.523	-2.576	-2.629	-2.682	-2.735	-2.787												
-30	-1.709	-1.765	-1.820	-1.874	-1.929	-1.984	-2.038	-2.093	-2.147	-2.201	-2.255												
-20	-1.152	-1.208	-1.264	-1.320	-1.376	-1.432	-1.488	-1.543	-1.599	-1.654	-1.709												
-10	-0.582	-0.639	-0.697	-0.754	-0.811	-0.868	-0.925	-0.982	-1.039	-1.095	-1.152												
0	0.000	-0.059	-0.117	-0.176	-0.234	-0.292	-0.350	-0.408	-0.466	-0.524	-0.582												
°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10												
0	0.000	0.059	0.118	0.176	0.235	0.294	0.354	0.413	0.472	0.532	0.591												
10	0.591	0.651	0.711	0.770	0.830	0.890	0.950	1.010	1.071	1.131	1.192												
20	1.192	1.252	1.313	1.373	1.434	1.495	1.556	1.617	1.678	1.740	1.801												
30	1.801	1.862	1.924	1.986	2.047	2.109	2.171	2.233	2.295	2.357	2.420												
40	2.420	2.482	2.545	2.607	2.670	2.733	2.795	2.858	2.921	2.984	3.048												
50	3.048	3.111	3.174	3.238	3.301	3.365	3.429	3.492	3.556	3.620	3.685												
60	3.685	3.749	3.813	3.877	3.942	4.006	4.071	4.136	4.200	4.265	4.330												
70	4.330	4.395	4.460	4.526	4.591	4.656	4.722	4.788	4.853	4.919	4.985												
80	4.985	5.051	5.117	5.183	5.249	5.315	5.382	5.448	5.514	5.581	5.648												
90	5.648	5.714	5.781	5.848	5.915	5.982	6.049	6.117	6.184	6.251	6.319												



PROJETOS EM INSTRUMENTAÇÃO E AUTOMAÇÃO
INSTRUMENTAÇÃO - TEMPERATURA

TERMOPARES-CABOS DE EXTENSÃO/COMPENSAÇÃO

Símbolo Termopar	CÓD.	Condutores (+) / (-)	Faixa de Temperatura °C	Tolerância	N O R M A S				
					AMERICANAS ANSI MC 96.1	ALEMÃ DIN 43714	INGLESA BS 1843/62	JAPONESA JIS C1610/81	FRANCESA NF C42-323
T	TX	EXTENSÃO TIPO T Cobre (+) / Cobre-Níquel (-)	-60 A 100°C	Standard ±1,0°C Especial ±0,5°C					
J	JX	EXTENSÃO TIPO J Ferro (+) / Cobre-Níquel (-)	0 a 200°C	Standard ±2,2°C Especial ±1,1°C					
E	EX	EXTENSÃO TIPO E Níquel-Cromo (+) / Cobre-Níquel	0 a 200°C	Standard ±1,7°C Especial -					
K	KX	EXTENSÃO TIPO K Níquel-Cromo (+) / Níquel-Alumínio (-)	0 a 200°C	Standard ±2,2°C Especial -					
K	WX	COMPENSAÇÃO TIPO K Ferro (+) / Níquel-Cobre (-)	-20 a 150°C	Standard ±3,0°C Especial -					

Eng. Marcelo Saraiva Coelho



PROJETOS EM INSTRUMENTAÇÃO E AUTOMAÇÃO

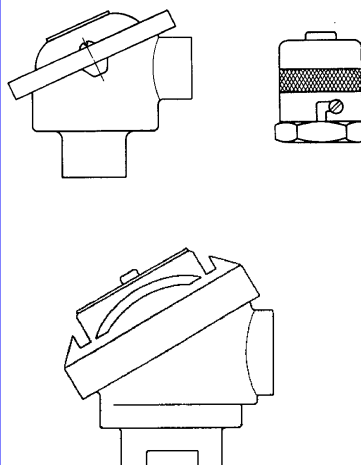
INSTRUMENTAÇÃO - TEMPERATURA

A função do cabeçote é proteger os contatos do bloco de ligação, facilitar a conexão do tubo de proteção e do conduíte, além de manter uma temperatura estável nos contatos do bloco de ligação, para que os contatos feitos de materiais diferentes do termopar não interfiram no sinal gerado por ele.

Os cabeçotes são feitos normalmente, de alumínio ou ferro fundido, existindo também em vários tipos e formatos, dependendo do ambiente a ser aplicado.

Seus tipos são:

- Universal/miniatura
- À Prova de Tempo
- À Prova de Explosão
- À Prova de Tempo e Explosão
- Cabeçote para Multitermopares



Eng. Marcelo Saraiva Coelho



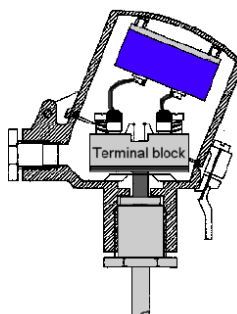
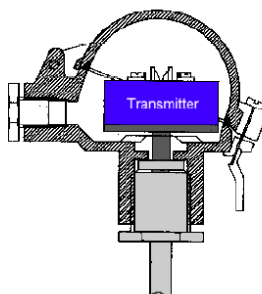
PROJETOS EM INSTRUMENTAÇÃO E AUTOMAÇÃO

INSTRUMENTAÇÃO - TEMPERATURA

Exemplos de montagem em cabeçote:

Montagem direta

Montagem na tampa do cabeçote



Recomendado para altas temperaturas ($T_{amb} > 85^{\circ}\text{C}$), por possuir melhor isolamento térmica e fácil manuseio em caso de manutenção.

Para altíssimas temperaturas ($T_{amb} > 105^{\circ}\text{C}$), recomenda-se usar montagem convencional do sensor, com transmissor montado em trilho.

Eng. Marcelo Saraiva Coelho





PROJETOS EM INSTRUMENTAÇÃO E AUTOMAÇÃO INSTRUMENTAÇÃO - TEMPERATURA

Motivos para utilizar um Transmissor de Temperatura.

Problemas da não utilização

- pontos de medição longe do processo
- sinal de saída "baixo" para Pt100 / Termopares
- interferência eletromagnética
- Custo do cabo para PT-100 3 fios
- Custo do cabo extensão para termopares

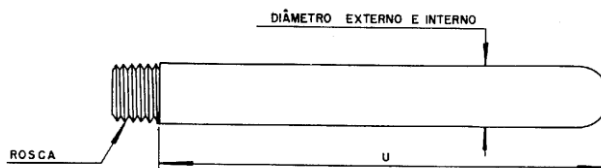
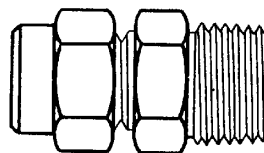
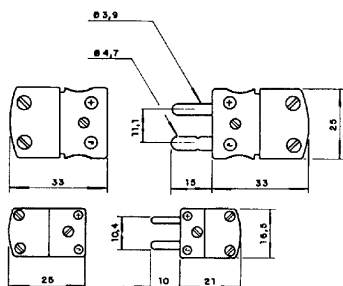
Benefícios da utilização

- sinal de saída "alto", 4...20mA
- proteção eletrostática
- necessidade de apenas dois cabos comuns na ligação
- Isolação entre sensor e sistema de controle

Eng. Marcelo Saraiva Coelho



PROJETOS EM INSTRUMENTAÇÃO E AUTOMAÇÃO INSTRUMENTAÇÃO - TEMPERATURA



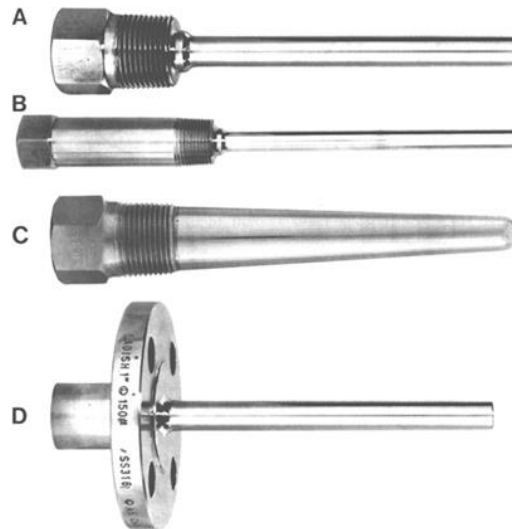
Eng. Marcelo Saraiva Coelho





PROJETOS EM INSTRUMENTAÇÃO E AUTOMAÇÃO

INSTRUMENTAÇÃO - TEMPERATURA

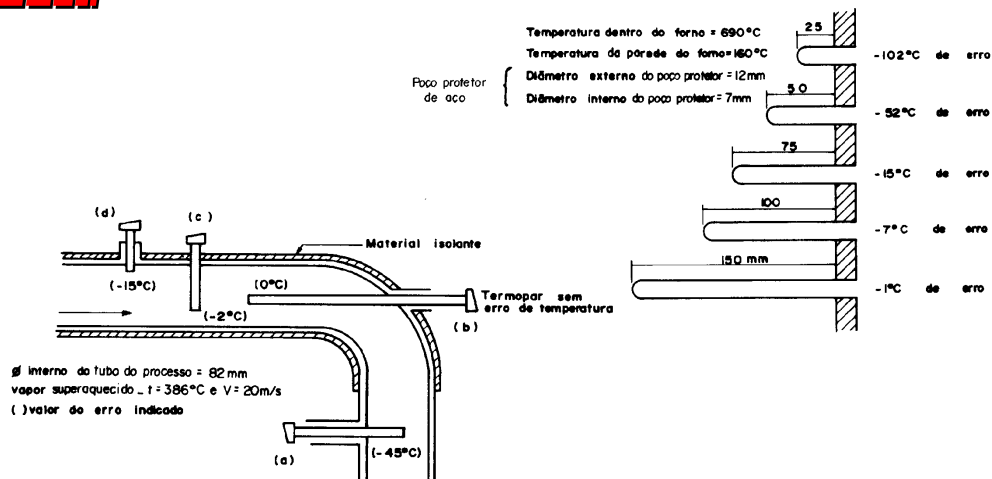


Eng. Marcelo Saraiva Coelho



PROJETOS EM INSTRUMENTAÇÃO E AUTOMAÇÃO

INSTRUMENTAÇÃO - TEMPERATURA



Eng. Marcelo Saraiva Coelho



COMPARATIVO: TERMOPAR / TERMORESISTÊNCIA

Características construtivas

Construção interna



Pt100 / RTD



Termopar / TC

Eng. Marcelo Saraiva Coelho



COMPARATIVO: TERMOPAR / TERMORESISTÊNCIA

RTD - Vantagens e Desvantagens

Vantagens:

- saída linear
- estável
- não precisa de cabo especial
- maior precisão do que o TC
- repetibilidade

Desvantagens:

- faixa limitada de -200 °C...+600 °C
- resposta lenta
- mais caro do que o TC
- menos robusto do que o TC

Eng. Marcelo Saraiva Coelho



PROJETOS EM INSTRUMENTAÇÃO E AUTOMAÇÃO
INSTRUMENTAÇÃO - TEMPERATURA

COMPARATIVO: TERMOPAR / TERMORESISTÊNCIA

TC - Vantagens e Desvantagens

Vantagens:

- barato
- resposta rápida
- robusto
- faixa de -200°C ... 2300°C
- sensor multi-ponto
- versátil
- resistente a vibrações

Desvantagens:

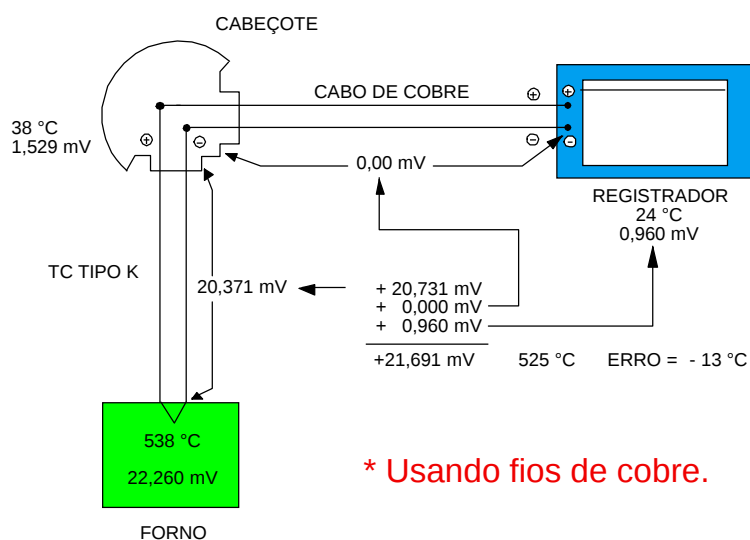
- não linear
- sinal de saída baixo
- necessita de cabo especial para ligação
- exatidão se altera com o passar do tempo
- menor precisão

Eng. Marcelo Saraiva Coelho



PROJETOS EM INSTRUMENTAÇÃO E AUTOMAÇÃO
INSTRUMENTAÇÃO - TEMPERATURA

ERROS DE LIGAÇÃO



* Usando fios de cobre.

Eng. Marcelo Saraiva Coelho

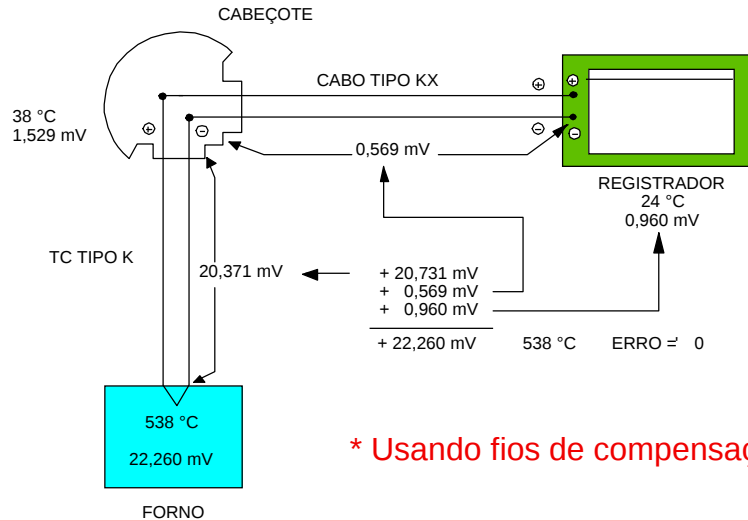




PROJETOS EM INSTRUMENTAÇÃO E AUTOMAÇÃO

INSTRUMENTAÇÃO - TEMPERATURA

ERROS DE LIGAÇÃO



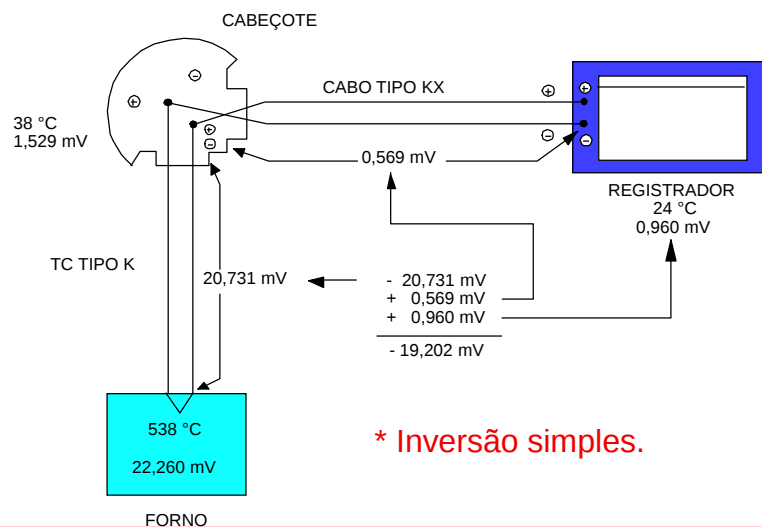
Eng. Marcelo Saraiva Coelho



PROJETOS EM INSTRUMENTAÇÃO E AUTOMAÇÃO

INSTRUMENTAÇÃO - TEMPERATURA

ERROS DE LIGAÇÃO



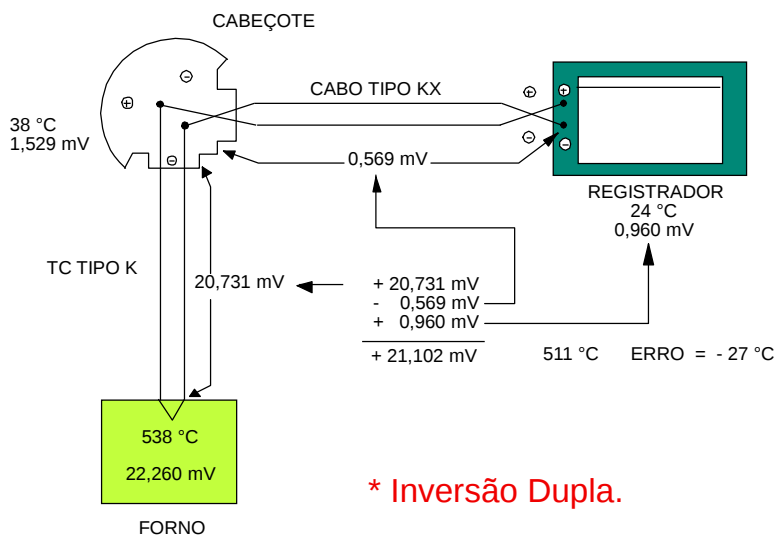
Eng. Marcelo Saraiva Coelho





PROJETOS EM INSTRUMENTAÇÃO E AUTOMAÇÃO INSTRUMENTAÇÃO - TEMPERATURA

ERROS DE LIGAÇÃO



Eng. Marcelo Saraiva Coelho



PROJETOS EM INSTRUMENTAÇÃO E AUTOMAÇÃO INSTRUMENTAÇÃO - TEMPERATURA

MEDIÇÃO DE TEMPERATURA POR RADIAÇÃO

Temperaturas acima de 1500°C (limite superior de uso de termopares de Pt-Pt, Rh) são comuns nas indústrias;

Progressos na técnica da fabricação de novos tipos de termopares, como V-V74 Re26 ou Ir40 Rh60, estenderam o intervalo de aplicação dos termopares cerca de 2000°C;

Mesmo assim, os pirômetros de radiação ocupam um lugar definido na pirometria pois não têm, em princípio, limite superior de temperatura.

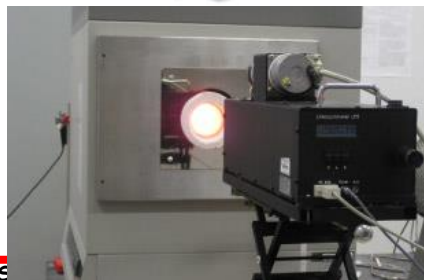
Eng. Marcelo Saraiva Coelho





PROJETOS EM INSTRUMENTAÇÃO E AUTOMAÇÃO INSTRUMENTAÇÃO - TEMPERATURA

MEDIÇÃO DE TEMPERATURA POR RADIAÇÃO

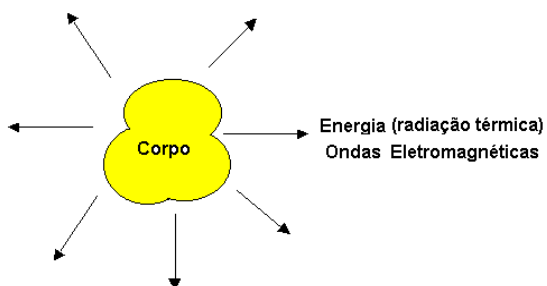


Eng. Marcelo S



PROJETOS EM INSTRUMENTAÇÃO E AUTOMAÇÃO INSTRUMENTAÇÃO - TEMPERATURA

MEDIÇÃO DE TEMPERATURA POR RADIAÇÃO



Todo corpo emite radiação, desde que sua temperatura não seja o zero absoluto ($-273,15^{\circ}\text{C}$)

Eng. Marcelo Saraiva Coelho



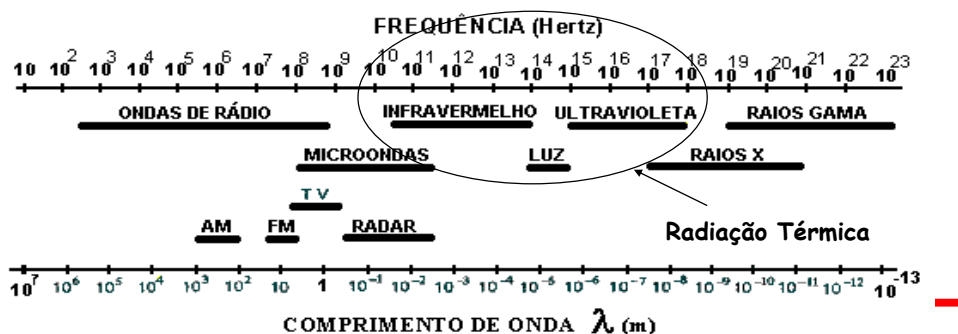


PROJETOS EM INSTRUMENTAÇÃO E AUTOMAÇÃO INSTRUMENTAÇÃO - TEMPERATURA

MEDIÇÃO DE TEMPERATURA POR RADIAÇÃO

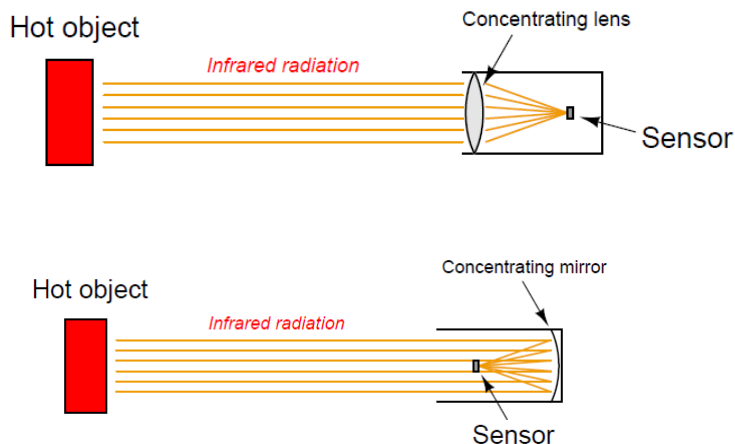
Um corpo aquecido emite energia, a radiação térmica, transportada por ondas eletromagnéticas com predominância de frequências bem menores que as do espectro visível, enquanto o corpo está à temperatura não muito elevada;

Na ordem de 500 °C, o brilho do corpo fica visível e começa a emitir radiações com frequência de luz: (espectro visível).



PROJETOS EM INSTRUMENTAÇÃO E AUTOMAÇÃO INSTRUMENTAÇÃO - TEMPERATURA

MEDIÇÃO DE TEMPERATURA POR RADIAÇÃO





PROJETOS EM INSTRUMENTAÇÃO E AUTOMAÇÃO INSTRUMENTAÇÃO - TEMPERATURA

MEDICÃO DE TEMPERATURA POR RADIAÇÃO

Lei que relaciona a radiância de um corpo com sua temperatura.

$$W = \epsilon \cdot \delta \cdot T^4$$

Onde:

W = energia radiante (Watts/m²);

T = Temperatura absoluta (K);

ϵ = Emissividade;

δ = Constante de Stefan-Boltzmann ($5,7 \cdot 10^{-8} \cdot \frac{W \cdot K^4}{m^2}$)

À uma mesma temperatura, materiais diferentes
emitem radiações diferentes

Eng. Marcelo Saraiva Coelho



PROJETOS EM INSTRUMENTAÇÃO E AUTOMAÇÃO INSTRUMENTAÇÃO - TEMPERATURA

MEDICÃO DE TEMPERATURA POR RADIAÇÃO

Incidência de Radiação sobre um corpo

Onde:

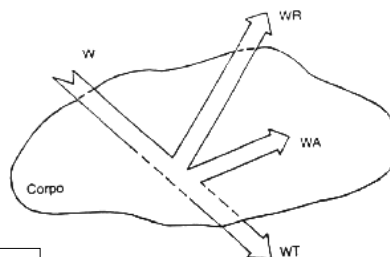
W = energia Incidente

W_A = energia absorvida

W_R = energia refletida

W_T = energia transmitida

$$W = W_A + W_R + W_T$$



Eng. Marcelo Saraiva Coelho





PROJETOS EM INSTRUMENTAÇÃO E AUTOMAÇÃO INSTRUMENTAÇÃO - TEMPERATURA

MEDIÇÃO DE TEMPERATURA POR RADIAÇÃO

Corpo negro ou radiador perfeito, é um corpo que absorve toda a radiação que sobre ele incide, emitindo por sua vez, energia em todos os comprimentos de onda, com máximo em comprimento de onda é função de sua temperatura. Para o corpo negro a máxima emissividade é igual a um, portanto:

$$W = \delta \cdot T^4$$

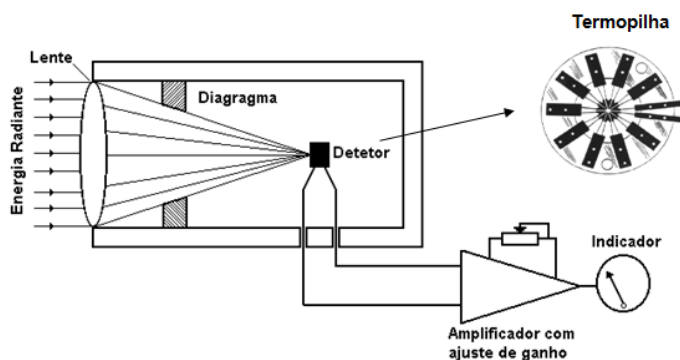
Embora o corpo negro seja uma idealização, existem certos corpos como laca preta, placas ásperas de aço, placas de asbesto, com poder de absorção e de emissão de radiação térmica tão altos que podem ser considerado idênticos ao corpo negro.

Eng. Marcelo Saraiva Coelho



PROJETOS EM INSTRUMENTAÇÃO E AUTOMAÇÃO INSTRUMENTAÇÃO - TEMPERATURA

MEDIÇÃO DE TEMPERATURA POR RADIAÇÃO



Eng. Marcelo Saraiva Coelho



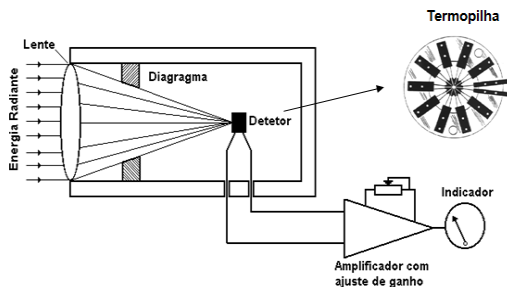


PROJETOS EM INSTRUMENTAÇÃO E AUTOMAÇÃO INSTRUMENTAÇÃO - TEMPERATURA

MEDIÇÃO DE TEMPERATURA POR RADIAÇÃO

É possível medir a temperatura de um corpo pela medida do fluxo radiante emitido por ele.

A radiação é coletada por um arranjo óptico fixo concentrando o feixe radiante sobre uma superfície absorvente (corpo negro) atuando como detetor, o qual é aquecido pela radiação incidente.

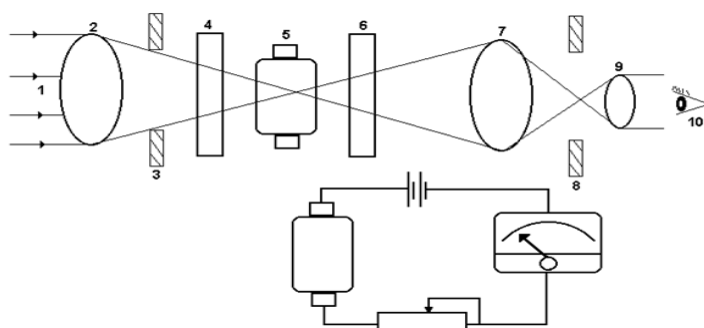


Eng. Marcelo Saraiva Coelho



PROJETOS EM INSTRUMENTAÇÃO E AUTOMAÇÃO INSTRUMENTAÇÃO - TEMPERATURA

MEDIÇÃO DE TEMPERATURA POR RADIAÇÃO



- | | | |
|-----------------------|---------------|---------------------|
| 1 - Alvo | 2 - Lente | 3 - Diafragma |
| 4 - Filtro absorvente | 5 - Lâmpada | 6 - Filtro vermelho |
| 7 - Lente objetiva | 8 - Diafragma | 9 - Lente ocular |
| 10 - Observador | | |

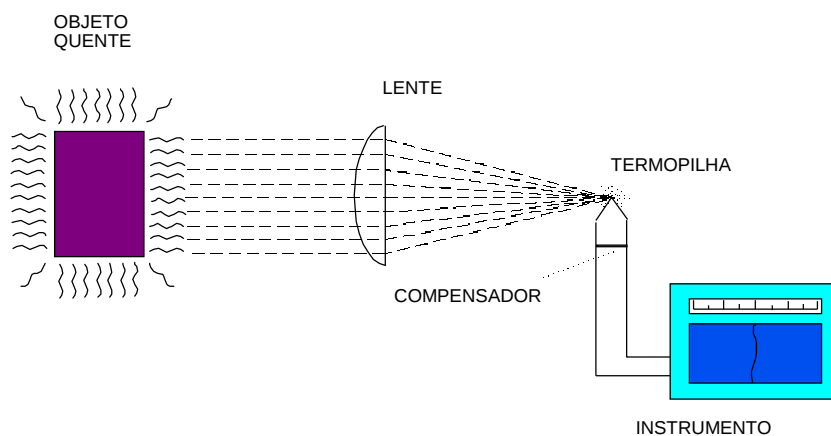
Eng. Marcelo Saraiva Coelho





PROJETOS EM INSTRUMENTAÇÃO E AUTOMAÇÃO INSTRUMENTAÇÃO - TEMPERATURA

PIRÔMETRO DE RADIAÇÃO

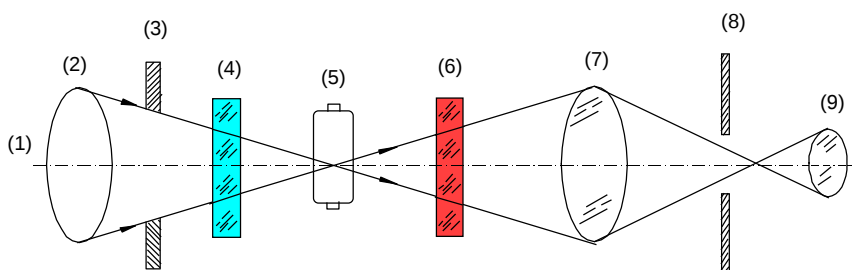


Eng. Marcelo Saraiva Coelho



PROJETOS EM INSTRUMENTAÇÃO E AUTOMAÇÃO INSTRUMENTAÇÃO - TEMPERATURA

PIRÔMETRO ÓPTICO



- | | |
|------------------------|----------------------|
| 1. - Alvo | 5. - Lâmpada |
| 2. - Lente objetiva | 6. - Filtro vermelho |
| 3. - Diafragma | 7. - Lente objetiva |
| 4. - Filtro absorvente | 8. - Diafragma |

Eng. Marcelo Saraiva Coelho

