

Aplicação de termopares

WIKA folha de dados IN 00.23

Na medição de temperatura industrial, dois grupos de sensores são comumente utilizados:

- Termorresistências
- Termopares

Ambos os tipos de sensores têm suas vantagens e desvantagens. As termorresistências tipo Pt100 são comumente utilizadas para medições na faixa de temperatura de -200 ... +600 °C. Termopares, no entanto, (salvo algumas exceções) têm suas vantagens em temperaturas mais altas (até 1700 °C).

Alguns termopares podem medir temperaturas ainda mais altas (tungstênio-rênio, ouro-platina ou platina-paládio). Esses termopares muito específicos não estão descritos neste documento.

Enquanto na Europa os sensores Pt100 são utilizados principalmente para medir temperaturas baixas e médias, na América do Norte um uso claramente predominante de termopares pode ser observado. No entanto, isto nem sempre se aplica, por exemplo, uma refinaria construída na Europa equipada com tecnologia de medição de temperatura que é baseada nos padrões norte-americanos, pois o projeto foi concebido nos EUA. Isso também pode se aplicar à outra direção.

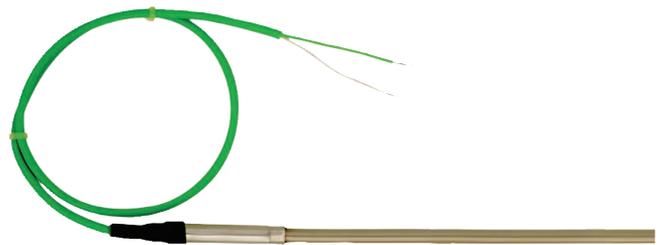
Outro critério para selecionar um termopar é o menor diâmetro possível de um termopar de isolamento mineral (consulte o capítulo "Termopares de isolamento mineral"). Os diâmetros de 0,25 mm, 0,5 mm ou 1 mm permitem tempos de resposta surpreendentemente curtos.

Em geral, os termopares reagem mais rápido que as termorresistências.

Se o instrumento for montado em um poço termométrico (maciço), os tempos de resposta dos dois grupos de sensores se aproximam. Ao levar em consideração a massa de um poço termométrico, sua condução térmica e a isolamento entre meio e sensor relativizam neste caso a vantagem de velocidade do termopar. Embora ainda seja mensurável, mas muitas vezes irrelevante, o tempo de resposta, nesse caso, pode estar no intervalo de minutos.



Montagem do termopar com tubo de proteção metálico



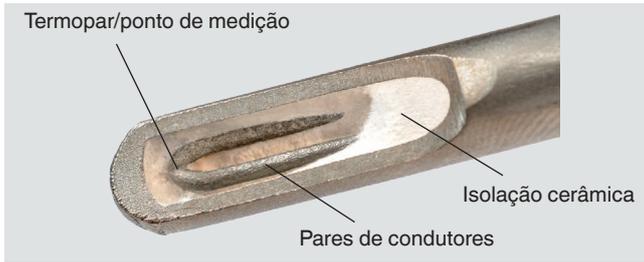
**Termopar com cabo, modelo TC40
(Construção: Termopar de isolamento mineral com cabo)**



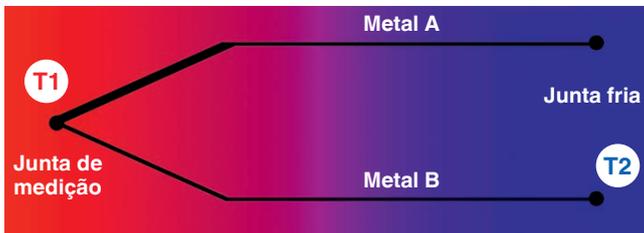
Exemplos de poços termométricos

Básico

Um termopar consiste em dois condutores de metais dissimilares conectados em uma extremidade, onde esta conexão é o ponto de medição.



Quando o ponto de medição é aquecido, a tensão nas extremidades dos fios (junção fria) pode ser medida; representando a temperatura do ponto de medição. (Efeito termoelétrico = efeito Seebeck)



Esta tensão (EMF = força eletromotriz) é produzida devido à densidade eletrônica diferente dos dois condutores de metal (dissimilares) dos fios usados - em combinação com a diferença de temperatura entre o junta quente e a junção fria.

Simplesmente, um termopar não mede a temperatura absoluta, mas a temperatura diferencial entre o

- T1: ponto de medição (junta quente)
e
- T2: ponto frio (junta fria)

Como a tensão é frequentemente medida à temperatura ambiente, o valor de tensão medido seria muito pequeno, considerando apenas a tensão da temperatura ambiente. Para obter o valor da temperatura do ponto de medição absoluto, é usada a chamada "compensação de junção fria".

No passado (em laboratórios de calibração ainda hoje), isso era atingido por meio da imersão da junta da extremidade fria do termopar e, dos fios do medidor de tensão em um banho de gelo.

Nos instrumentos atuais com entrada para termopar (transmissores, instrumentos de medição portáteis ou dispositivos montados em painel, etc.), a compensação de junção fria eletrônica é incluída nos circuitos do instrumento.

Todo metal tem uma eletronegatividade específica. (Eletronegatividade = tendência dos átomos em aceitar ou liberar elétrons)

Para alcançar as mais altas tensões termoelétricas possíveis, pares de materiais especiais, cujas eletronegatividades individuais são tão distantes quanto possível são usados para formar termopares. Esses pares de materiais têm certas limitações - por exemplo, devido à temperatura máxima de operação do termopar.

As seguintes normas definem os termopares

IEC 60584-1: Termopares: valores básicos e de tolerância das tensões termoelétricas

IEC 60584-3: Termopares: Cabos de termopar e cabos de compensação

ASTM E230:

Tabelas das especificações normalizadas e força eletromotriz (EMF) por temperatura, para termopares padronizados.

Tensões termoeletricas

Temperatura de referência: 0 °C

Temperatura em °C	Termopar							
	Tipo K	Tipo J	Tipo N	Tipo E	Tipo T	Tipo S	Tipo R	Tipo B
-200					-5,603			
-180					-5,261			
-160					-4,865			
-140					-4,419			
-120					-3,923			
-100					-3,379			
-80					-2,788			
-60					-2,153			
-40	-1,527	-1,961	-1,023	-2,255	-1,475			
-20	-0,777	-0,995	-0,518	-1,152	-0,757			
0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
20	0,798	1,019	0,525	1,192	0,790	0,113	0,111	
40	1,612	2,059	1,065	2,420	1,612	0,235	0,232	
60	2,436	3,116	1,619	3,685	2,467	0,365	0,363	
80	3,267	4,187	2,189	4,985	3,358	0,502	0,501	
100	4,096	5,269	2,774	6,319	4,279	0,646	0,647	
150	6,138	8,010	4,302	9,789	6,704	1,029	1,041	
200	8,138	10,779	5,913	13,421	9,288	1,441	1,469	
250	10,153	13,555	7,597	17,181	12,013	1,874	1,923	
300	12,209	16,327	9,341	21,036	14,862	2,323	2,401	
350	14,293	19,090	11,136	24,964	17,819	2,786	2,896	
370	15,133	20,194	11,867	26,552	19,030	2,974	3,099	
400	16,397	21,848	12,974	28,946		3,259	3,408	
450	18,516	24,610	14,846	32,965		3,742	3,933	
500	20,644	27,393	16,748	37,005		4,233	4,471	
550	22,776	30,216	18,672	41,053		4,732	5,021	
600	24,905	33,102	20,613	45,093		5,239	5,583	1,792
650	27,025	36,071	22,566	49,116		5,753	6,041	2,101
700	29,129	39,132	24,527	53,112		6,275	6,743	2,431
750	31,213	42,281	26,491	57,080		6,806	7,340	2,782
760	31,628	42,919	26,883	57,970		6,913	7,461	2,854
800	33,275		28,455	61,017		7,345	7,950	3,154
850	35,313		30,416	64,922		7,893	8,571	3,546
870	36,121		31,199	66,473		8,114	8,823	3,708
900	37,326		32,371	68,787		8,449	9,205	3,957
950	39,314		34,319			9,014	9,850	4,387
1000	41,276		36,256			9,587	10,506	4,834
1050	43,211		38,179			10,168	11,173	5,299
1100	45,119		40,087			10,757	11,850	5,780
1150	46,995		41,976			11,351	12,535	6,276
1200	48,838		43,846			11,951	13,228	6,786
1250	50,644		45,694			12,554	13,926	7,311
1260	51,000		46,060			12,675	14,066	7,417
1300						13,159	14,629	7,848
1350						13,766	15,334	8,397
1400						14,373	16,040	8,956
1450						14,978	16,746	9,524
1480						15,341	17,169	9,868
1500						15,582	17,451	10,099
1550						16,182	18,152	10,679

Continua na próxima página

Temperatura em °C	Termopar							
	Tipo K	Tipo J	Tipo N	Tipo E	Tipo T	Tipo S	Tipo R	Tipo B
1600						16,777	18,849	11,263
1650								11,850
1700								12,430

Legenda:

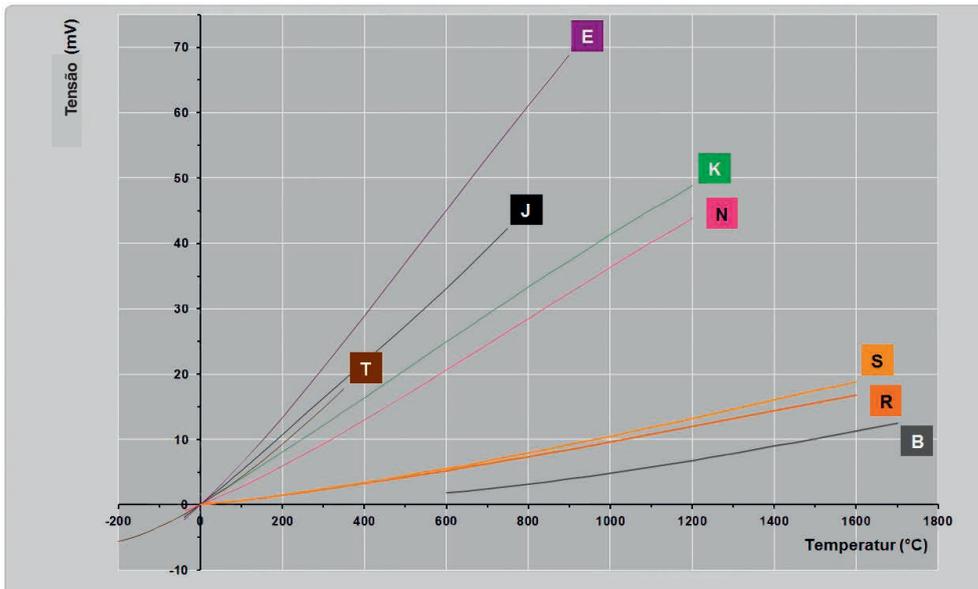
Preto: IEC 60584-1 e ASTM E230

Azul: Somente IEC 60584-1

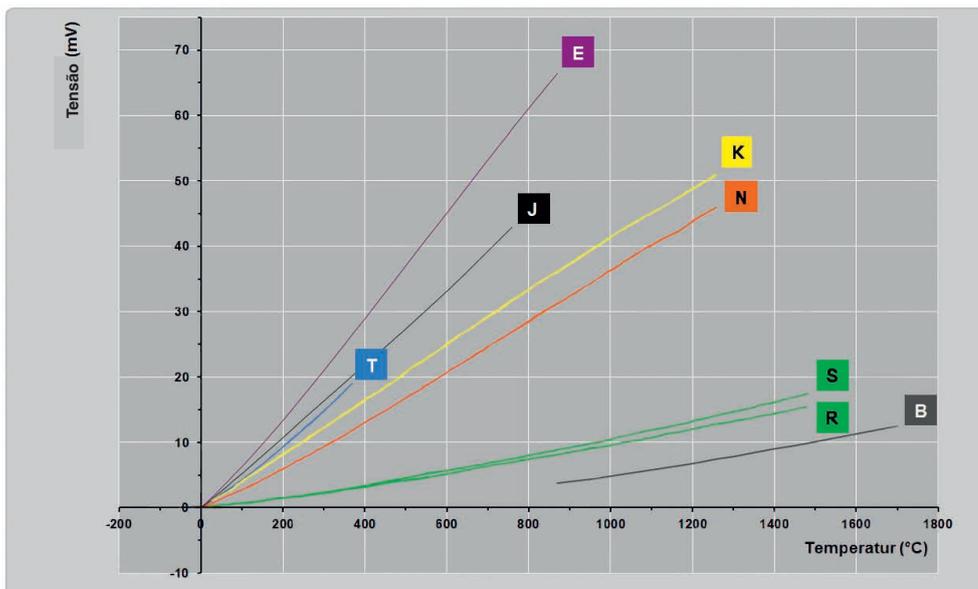
Vermelho: Somente ASTM E230

Curvas de tensões termoeletricas

■ IEC 60584-1



■ ASTM E230



Os gráficos ilustram as curvas correspondentes às faixas de temperatura conforme normas IEC 60584-1 / ASTM E230.

Fora dessas faixas de temperatura, o valor de tolerância permitido não é padronizado.

Limites operacionais e exatidões dos termopares (IEC 60584, ASTM E230)

A tabela a seguir contém valores de tolerância admissíveis da IEC 60584-1 incl. os valores de tolerância da norma ASTM E230 que são comuns na América do Norte:

Valores de tolerância dos termopares conforme IEC 60584-1 / ASTM E230 (temperatura de referência 0°C)

Tipo	Termopar	Limite de erro	Classe	Faixa de temperatura	Limite de erro
K N	NiCr-NiAl (NiCr-Ni) NiCrSi-NiSi	IEC 60584-1	1	-40 ... +1000 °C	$\pm 1,5 \text{ °C}$ ou $0,0040 \cdot t $ ¹⁾²⁾
			2	-40 ... +1200 °C	$\pm 2,5 \text{ °C}$ ou $0,0075 \cdot t $
		ASTM E230	Especial	0 ... +1260 °C	$\pm 1,1 \text{ °C}$ ou $\pm 0,4 \%$
			Padrão	0 ... +1260 °C	$\pm 2,2 \text{ °C}$ ou $\pm 0,75 \%$
J	Fe-CuNi	IEC 60584-1	1	-40 ... +750 °C	$\pm 1,5 \text{ °C}$ ou $0,0040 \cdot t $
			2	-40 ... +750 °C	$\pm 2,5 \text{ °C}$ ou $0,0075 \cdot t $
		ASTM E230	Especial	0 ... +760 °C	$\pm 1,1 \text{ °C}$ ou $\pm 0,4 \%$
			Padrão	0 ... +760 °C	$\pm 2,2 \text{ °C}$ ou $\pm 0,75 \%$
E	NiCr-CuNi	IEC 60584-1	1	-40 ... +800 °C	$\pm 1,5 \text{ °C}$ ou $0,0040 \cdot t $
			2	-40 ... +900 °C	$\pm 2,5 \text{ °C}$ ou $0,0075 \cdot t $
		ASTM E230	Especial	0 ... +870 °C	$\pm 1,0 \text{ °C}$ ou $\pm 0,4 \%$
			Padrão	0 ... +870 °C	$\pm 1,7 \text{ °C}$ ou $\pm 0,5 \%$
T	Cu-CuNi	IEC 60584-1	1	-40 ... +350 °C	$\pm 0,5 \text{ °C}$ ou $0,0040 \cdot t $
			2	-40 ... +350 °C	$\pm 1,0 \text{ °C}$ ou $0,0075 \cdot t $
			3	-200 ... +40 °C	$\pm 1,0 \text{ °C}$ ou $0,015 \cdot t $
		ASTM E230	Especial	0 ... +370 °C	$\pm 0,5 \text{ °C}$ ou $\pm 0,4 \%$
			Padrão	-200 ... 0 °C	$\pm 1,0 \text{ °C}$ ou $\pm 1,5 \%$
			Padrão	0 ... +370 °C	$\pm 1,0 \text{ °C}$ ou $\pm 0,75 \%$
R S	Pt13%Rh-Pt Pt10%Rh-Pt	IEC 60584-1	1	0 ... +1600 °C	$\pm 1,0 \text{ °C}$ ou $\pm [1 + 0,003 (t - 1100)] \text{ °C}$
			2	0 ... +1600 °C	$\pm 1,5 \text{ °C}$ ou $\pm 0,0025 \cdot t $
		ASTM E230	Especial	0 ... +1480 °C	$\pm 0,6 \text{ °C}$ ou $\pm 0,1 \%$
			Padrão	0 ... +1480 °C	$\pm 1,5 \text{ °C}$ ou $\pm 0,25 \%$
B	Pt30%Rh-Pt6%Rh	IEC 60584-1	2	+600 ... +1700 °C	$\pm 0,0025 \cdot t $
			3	+600 ... +1700 °C	$\pm 4,0 \text{ °C}$ ou $\pm 0,005 \cdot t $
		ASTM E230	Especial	-	-
			Padrão	+870 ... +1700 °C	$\pm 0,5 \%$

1) |t| é o valor da temperatura em °C, independentemente do sinal.

2) O maior valor aplicável

Há diferenças na notação do termopar tipo K na Europa e América do Norte:

Europa: NiCr-NiAl ou NiCr-Ni

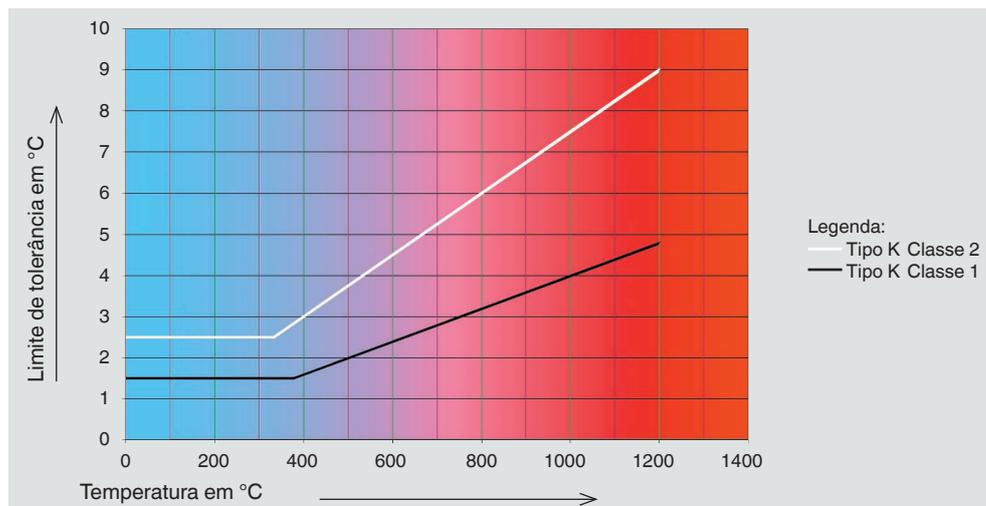
América do Norte: Ni-Cr / Ni-Al

Não há nenhuma diferença técnica entre estas notações, as nomenclaturas são diferentes apenas por questões históricas.

Tipos R, S e B

Não disponível como versão de cabo de isolamento mineral na classe 1 de acordo com IEC 60584 ou "Especial" conforme ASTM E230

Para o limite de erro dos termopares, é tomada como base a junção de referência (junta fria) a temperatura de 0 °C. Ao utilizar um cabo de compensação ou um cabo termopar/extensão, um desvio adicional de medição deve ser considerado.



Exemplo:

Valor de tolerância das classes de exatidão 1 e 2 para o termopar tipo K

Informações sobre a aplicação dos termopares

■ Termopares de metal base

Tipo K

+ Condutor	- Condutor
NiCr	NiAl
Níquel-cromo	Níquel-Alumínio (ferromagnético)

Os termopares NiCr-NiAl são adequados para uso em atmosferas de gases oxidantes ou inertes até 1200 °C (ASTM E230: 1260 °C) com o maior tamanho de fio. Proteja termopares de atmosferas sulfurosas. Como são menos suscetíveis à oxidação do que os termopares feitos de outros materiais, eles são usados principalmente para aplicações em temperaturas acima de 550 °C até a pressão máxima de trabalho do termopar.

Tipo J

+ Condutor	- Condutor
Fe	CuNi
Ferro (ferromagnético)	Cobre-Níquel

Os termopares Fe-CuNi são adequados para uso em vácuo, em atmosferas oxidantes e redutoras ou em atmosferas de gases inertes. Eles são usados para medições de temperatura de até 750 °C (ASTM E230: 760 °C) com o maior tamanho de fio.

Tipo N

+ Condutor	- Condutor
NiCrSi	NiSi
Níquel-cromo-silício	Níquel-silício

Os termopares NiCrSi-NiSi são adequados para uso em atmosferas oxidantes, em atmosferas de gases inertes ou em atmosferas de redução a seco até 1200 °C (ASTM E230: 1260 °C).

Eles devem ser protegidos de atmosferas sulfurosas. Eles são muito precisos em altas temperaturas. O potencial termoelétrico (EMF) e a faixa de temperatura são quase os mesmos que do tipo K. Eles são usados em aplicações em que uma vida útil mais longa e maior estabilidade são necessárias.

Tipo E

+ Condutor	- Condutor
NiCr	CuNi
Níquel-cromo	Cobre-Níquel

Os termopares NiCr-CuNi são adequados para uso em atmosferas de gases oxidantes ou inertes até 900 °C (ASTM E230: 870 °C) com o maior tamanho de fio. Os termopares tipo E, de todos os termopares comumente usados, desenvolvem a maior tensão termoelétrica (FEM) por °C.

Tipo T

+ Condutor	- Condutor
Cu	CuNi
Cobre	Cobre-Níquel

Os termopares Cu-CuNi são adequados para temperaturas abaixo de 0 °C com um limite superior de temperatura de 350 °C (ASTM E230: 370 °C) e podem ser usados em atmosferas oxidantes, redutoras ou de gases inertes. Eles não corroem em atmosferas úmidas.

■ Termopares de metais preciosos

Tipo S

+ Condutor	- Condutor
Pt10%Rh	Pt
Platina-10%Ródio	Platina

Os termopares tipo S são adequados para uso contínuo em atmosferas oxidantes ou inertes a temperaturas de até 1600 °C. Cuidado com a fragilização devido à contaminação.

Tipo R

+ Condutor	- Condutor
Pt13%Rh	Pt
Platina-13%Ródio	Platina

Os termopares tipo R são adequados para uso contínuo em atmosferas gasosas ou inertes a temperaturas de até 1600 °C. Cuidado com a fragilização devido à contaminação.

Tipo B

+ Condutor	- Condutor
Pt30%Rh	Pt6%Rh
Platina-30%Ródio	Platina-6%Ródio

Os termopares tipo B são adequados para uso contínuo em atmosferas oxidantes ou de gases inertes e para uso a curto prazo em ambientes a vácuo para temperaturas de até 1700 °C. Cuidado com a fragilização devido à contaminação.

Os termopares dos tipos R, S e B são comumente instalados em um tubo de proteção de cerâmica de alta pureza. Se um tubo de proteção metálico for usado, é necessária a utilização de um tubo de proteção interno de material inerte. Termopares de metais preciosos são suscetíveis à contaminação. É altamente recomendável a proteção destes termopares com material cerâmico.

Limite de temperatura recomendado

(Operação contínua)

- Termopares de isolamento mineral (consulte também a tabela “Tensões termoelétricas de acordo com IEC 60584-1”)

Tipo do termopar	Limite de temperatura recomendado em °C							
	Com diâmetro da bainha em mm							
	0,5	1,0	1,5	2,0	3,0	4,5	6,0	8,0
K	700	700	920	920	1070	1100	1100	1100
J	260	260	440	440	520	620	720	720
N	700	700	920	920	1070	1100	1100	1100
E	300	300	510	510	650	730	820	820
T	260	260	260	260	315	350	350	350

Material de bainha Inconel 2.4816 (Inconel 600)

Especificações sob consideração das condições otimizadas de laboratório (relacionadas ao ar sem gases nocivos).
Outros materiais estão disponíveis, resultando em diferentes limites de temperatura.

- Termopares convencionais (consulte também a tabela “Tensões termoelétricas de acordo com IEC 60584-1”)

Tipo do termopar	Limite de temperatura recomendado em °C			
	Com diâmetro do condutor em mm			
	0,35	0,5	1,0	3,0
K	700	700	800	1000
J	400	400	600	700
N	700	700	800	1000
E	400	400	600	700
T	200	200	300	350
S	1300	1300	-	-
R	1300	1300	-	-
B	1500	1500	-	-

Especificações sob consideração das condições otimizadas de laboratório (relacionadas ao ar sem gases nocivos).

- Termopares convencionais (consulte também a tabela “Limites de temperatura sugeridos para termopares convencionais” conforme ASTM E230)

Tipo do termopar	Limite de temperatura para vários diâmetros de condutores (AWG) em °C					
	# 30 0,25 mm [0,010"]	# 28 0,33 mm [0,013"]	# 24 0,51 mm [0,020"]	# 20 0,81 mm [0,032"]	# 14 relativa 1,63 mm [0,064"]	# 8 3,25 mm [0,128"]
T	150	200	200	260	370	
J	320	370	370	480	590	760
E	370	430	430	540	650	870
K e N	760	870	870	980	1090	1260
R e S			1480			
B			1700			

Aviso:

As temperaturas operacionais máximas especificadas aplicam-se ao termopar sob condições ambientais ideais. A temperatura máxima de trabalho dos poços termométricos é geralmente bem abaixo da temperatura do termopar!

- Termopares de isolamento mineral (consulte também a tabela “Limites de temperatura sugeridos para termopares de isolamento mineral” conforme ASTM E608 / E608M)

Diâmetro da bainha		Limite de temperatura para vários diâmetros de bainha em °C			
		Tipo do termopar			
mm	polegadas	T	J	E	K e N
0,5	0,020	260	260	300	700
-	0,032	260	260	300	700
1,0	0,040	260	260	300	700
1,5	0,062	260	440	510	920
2,0	-	260	440	510	920
-	0,093	260	480	580	1000
3,0	0,125	315	520	650	1070
4,5	0,188	370	620	730	1150
6,0	0,250	370	720	820	1150
8,0	0,375	370	720	820	1150

Aviso:

As temperaturas operacionais máximas especificadas aplicam-se ao termopar sob condições ambientais ideais. A temperatura máxima de trabalho dos poços termométricos é geralmente bem abaixo da temperatura do termopar!

Potenciais erros de medição

Fatores importantes que comprometem a estabilidade dos termopares em longo prazo

Efeito de envelhecimento/contaminação

- Os processos de oxidação em termopares que não são apropriadamente protegidos (fios dos termopares expostos) resultam na modificação das curvas termoeletricas características
- Átomos que não fazem parte das ligas dos termopares (contaminantes) se difundem em meio a estas ligas, levando a alterações quanto a composição química, assim modificando as curvas características dos termopares.
- A influência do hidrogênio leva à fragilização dos termopares.

Os termopares “base-metal” estão sujeitos ao envelhecimento e, portanto, mudam sua curva característica de temperatura / tensão térmica.

Os termopares de metais preciosos PtRh-Pt dos tipos R e S mostram praticamente nenhum envelhecimento até 1400 °C. No entanto, eles são muito sensíveis à contaminação. O silício e o fósforo destroem a platina rapidamente. Na presença de Platina, o Silício pode ser liberado das partes cerâmicas isoladas, mesmo em atmosfera levemente redutora. A redução de SiO₂ em Si contamina o condutor de platina pura (Pt) do termopar. Isso leva a erros de 10 °C ou mais, mesmo se o volume de silício estiver na faixa de alguns ppm.

Devido a uma melhor relação entre o volume total do material e a superfície sensível a contaminação, a estabilidade a longo prazo dos termopares de metais preciosos aumenta com o aumento do diâmetro do fio do termopar. É por isso que os sensores dos tipos S, R e B com diâmetros de fio de termopar Ø 0,35 mm ou Ø 0,5 mm (0,015" ou 0,020") estão disponíveis. Mas: os fios do termopar com Ø 0,5 mm (0,020") têm duas vezes a área da seção transversal dos fios com Ø 0,35 mm (0,015") - e, portanto, também são duas vezes mais caros. No entanto, pode valer a pena, pois uma vida útil consideravelmente mais longa pode igualar os custos de manutenção possivelmente altos (tempo de parada de planta).

O condutor de níquel (Ni) do termopar tipo K é frequentemente danificado pelo enxofre presente nos gases de exaustão. Termopares dos tipos J e T envelhecem ligeiramente quando o condutor de metal puro se oxida primeiro.

Em geral, o aumento elevado de temperatura leva a uma aceleração dos efeitos de envelhecimento dos termopares.

Corrosão verde (Green rot)

Caso os termopares do tipo K sejam utilizados em temperaturas entre 800 °C a 1050 °C, pode haver alterações consideráveis no comportamento termoeletrico do termopar. A causa disto está em uma depleção do cromo ou perda do cromo do condutor positivo (NiCr). A pré-condição para isso é uma baixa concentração de oxigênio ou vapor nos ambientes próximos ao termopar. O condutor positivo é afetado por conta disso. A consequência desse efeito é um desvio no valor medido da tensão termoeletrica em queda. Esse efeito é acelerado caso haja escassez de oxigênio (atmosfera redutora), uma vez que a camada completa de óxido, que o protegeria de uma maior perda do cromo não pode ser formada sobre a superfície do termopar.

O termopar é permanentemente destruído por esse processo. O termo “corrosão verde” vem da coloração esverdeada e cintilante que surge no ponto de ruptura do fio.

O termopar tipo N (NiCrSi-NiSi) tem, a esse respeito, uma vantagem devido ao seu composição de silício. Aqui, uma camada de óxido protetor se forma sobre sua superfície sob as mesmas condições.

Magnetização do termopar tipo K

O condutor positivo (NiCr) de um termopar do tipo K possui um alinhamento ordenado da estrutura cristalina, abaixo de aproximadamente 400 °C. Caso o termopar seja aquecido além disso, um estado de distorção ocorre no intervalo de temperatura entre aproximadamente 400 °C e 600 °C. Acima de 600 °C, uma estrutura cristalina ordenada é restaurada. Caso estes termopares se resfriem muito rapidamente (mais rápido que 100 °C por hora), uma indesejável desordem da estrutura cristalina ocorre mais uma vez durante o resfriamento entre 600 °C a 400 °C aproximadamente. No entanto neste caso a curva característica do tipo K é permanente alterada. Isso resulta em uma falha da tensão termoeletrica de até aproximadamente 0,8 mV (aproximadamente 5 °C) neste intervalo.

O efeito de magnetização no termopar tipo K é reversível e pode ser eliminado por meio de um tratamento térmico de recozimento acima de 700 °C, seguido de um resfriamento lento a temperatura ambiente.

Termopares de isolamento mineral finos são particularmente sensíveis a este respeito. O resfriamento em ar pode por si só levar a desvios de até 1 °C.

No termopar do tipo N, foi possível reduzir este efeito por meio da adição em ambos os condutores do termopar com silício.

Construções padrão de termopares

Termopares de isolamento mineral

Os termopares de isolamento mineral consistem em uma bainha metálica externa, contendo condutores internos, que são incorporados e isolados por um composto cerâmico altamente comprimido. (cabo de isolamento mineral, também chamado MI-Cable).

Os termopares de isolamento mineral são flexíveis e podem ser dobrados em um raio mínimo de cinco vezes o diâmetro da bainha. Devido a isso, os termopares de isolamento mineral também podem ser usados em locais de difícil acesso.

A extrema resistência à vibração é outro bom motivo para o uso de termopares de isolamento mineral.

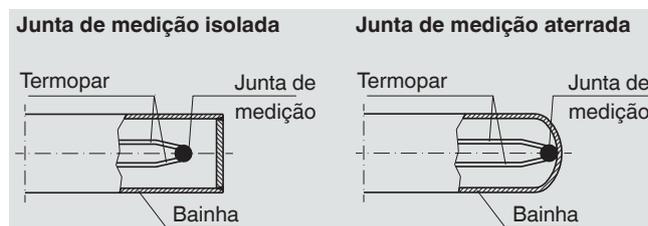
Diâmetros de bainha disponíveis

- 0,5 mm
- 1,0 mm
- 1,5 mm
- 3,0 mm
- 4,5 mm
- 6,0 mm
- 8,0 mm

Materiais da bainha

- Inconel 600 (2.4816)
 - até 1200 °C (ar)
 - material mais utilizado em aplicações que necessitem de características especiais de resistência a corrosão sob exposição a altas temperaturas, resistente contra corrosão sob tensão ou pite em ambientes contendo cloretos
 - resistente contra corrosão causada por amoníaco aquoso em todas as temperaturas e concentrações
 - altamente resistente a halogênios, cloro, cloreto de hidrogênio
- Aço inoxidável 316
 - até 850 °C (ar)
 - boa resistência a corrosão em meios agressivos, assim como vapor e gases de combustão em meios químicos
- Outros materiais sob consulta

Tipo de junta de medição



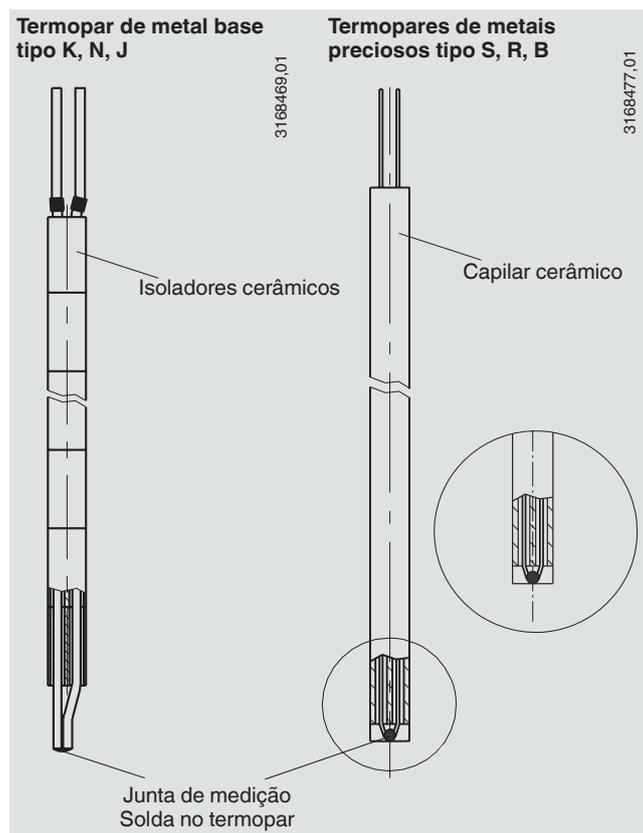
Cabo de isolamento mineral

Termopar convencional com tubo de proteção metálica ou cerâmica.



Modelos diferentes, modelo TC80

Detalhes internos, termopar convencional



Termopares de metais preciosos tipo S, R, B

Fio do termopar: Ø 0,35 mm ou Ø 0,5 mm
Isolação: Capilar cerâmico, cerâmica C 799 / Alumina

Termopar de metal base tipo K, N, J

Fio do termopar: Ø 1 mm ou Ø 3 mm
Isolação: Isoladores cerâmicos, cerâmica C 610 / mulita

Cabos de ligação para termopares

Para interligar a distância entre o termopar e a instrumentação, cabos de ligação especiais devem ser usados com termopares.

Uma distinção é feita aqui entre os cabos de termopar/ extensão (o material do fio corresponde ao material original do termopar) e os chamados cabos de compensação. Com cabos de compensação, o material do fio corresponde a uma faixa de temperatura limitada das propriedades termoelétricas do termopar original. Esses limites de temperatura estão listados na IEC 60584-3 ou ASTM E230. Informações sobre as classes de exatidão dos cabos são mostradas lá também.

O uso desses materiais de fios especiais é necessário para evitar “termopares parasitas”.

■ Cabo de termopar/extensão

Os condutores internos do cabo de termopar/extensão são feitos de materiais originais do termopar (não disponível para termopares preciosos por motivos de custo).

Os cabos estão disponíveis nas classes de exatidão 1 e 2.

■ Cabo de compensação

Os condutores internos do cabo de compensação são feitos de materiais que correspondem às propriedades termoelétricas dos termopares originais. Isso se aplica a uma faixa de temperatura definida no IEC 60584 / ASTM E230 no cabo de transição ↔ termopar e em todo o comprimento do cabo.

Disponível apenas na classe de exatidão 2.

Para o termopar tipo B, o uso de condutores internos feitos de cobre é permitido.

Erro esperado (exemplo): $40 \mu\text{V} / 3,5 \text{ C}$

Isso ocorre dentro de uma faixa de temperatura de 0 a $100 \text{ }^\circ\text{C}$ na junção do termopar e do cabo de compensação. A temperatura do ponto de medição neste exemplo é $1400 \text{ }^\circ\text{C}$.

Aviso:

As falhas potenciais do termopar e do cabo de ligação são adicionadas!



Cabo de ligação

Códigos de cores para cabos de termopar/extensão e compensação

	ASTM E230 Cabos termopar	ASTM E230 Cabos termopar/extensão e compensação	BS 1843	DIN 43714	ISC1610-198	NF C42-323	IEC 60584-3	IEC 60584-3 Intrinsecamente segura
N								
J								
K								
E								
T								
R								
S								
B								

