

Construcción y aplicación de termoelementos

Efecto termoelectrico

El efecto esencial para el modo de actuar de los termoelementos es el efecto **Seebeck o termoelectrico**. Cuando un conductor metálico es sometido a una diferencia de temperatura, entre sus extremidades surge una fuerza electromotriz (f.e.m.) en magnitud de orden de milivoltios (tensión termoelectrica o térmica), como consecuencia de la redistribución de los electrones en el conductor cuando éstos se someten a un gradiente de temperatura.

La magnitud de la f.e.m. generada depende de las características eléctricas del material conductor elegido y del gradiente de temperatura entre sus extremidades (coeficiente Seebeck o sensibilidad termoelectrica).

Si dos hilos metálicos de diferente material se unen en uno de sus finales y se someten a una diferencia de temperatura, surge una tensión entre sus dos finales libres producto de la f.e.m.. Esta tensión depende de la diferencia de temperatura a lo largo de los dos hilos metálicos. Para poder medir la temperatura en el punto de unión debe ser conocida la temperatura en el final libre. Si el final del termoelemento posee una temperatura desconocida, debe ser prolongado con un cable de compensación hasta la zona de temperatura conocida (punto de referencia).

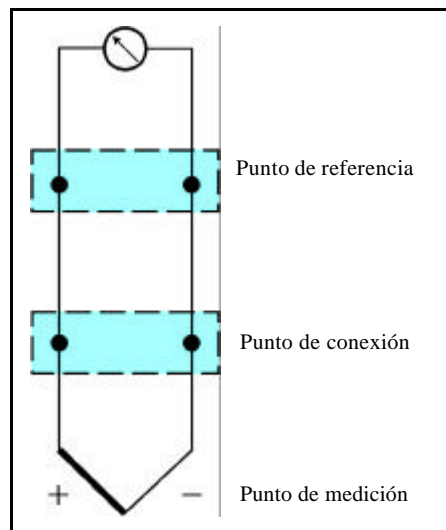


Gráfico 1: dispositivo de medida (principio)

La temperatura del punto de referencia debe ser conocida y constante. Si no existe una temperatura constante en el punto de referencia, el punto de referencia se conceptua como termostato o su temperatura es registrada con un segundo sensor.

Termoelementos según DIN EN 60 584 y DIN 43710

Ante la multitud de combinaciones metálicas posibles se eligieron unas concretas (tablas 1 y 2) y

Elemento	Temperatura máxima	Definida hasta	Polo positivo	Polo negativo
Fe-CuNi „J“	750°C	1200°C	negro	blanco
Cu-CuNi „T“	350°C	400°C	marrón	blanco
NiCr-Ni „K“	1200°C	1370°C	verde	blanco
NiCr-CuNi „E“	900°C	1000°C	violeta	blanco
NiCrSi-NiSi „N“	1200°C	1300°C	lila	blanco
Pt10Rh-Pt „S“	1600°C	1540°C	naranja	blanco
Pt13Rh-Pt „R“	1600°C	1760°C	naranja	blanco
Pt30Rh-Pt6Rh „B“	1700°C	1820°C	sin indicación	blanco

Tabla 1: termoelementos según DIN EN 60 584

Elemento	Temperatura máxima	Definida hasta	Polo positivo	Polo negativo
Fe-CuNi „L“	700°C	900°C	rojo	azul
Cu-CuNi „U“	400°C	600°C	rojo	marrón

* Temperatura constante en aire puro

Tabla 2: termoelementos según DIN 43 710

se han normalizado las series de tensiones así como las desviaciones límite permitidas (gráfico 2 y tablas 3 y 4).

Hay que tener en cuenta que dos termoelementos del tipo Fe-CuNi (tipo „J“ y „L“) y Cu-CuNi (tipo „T“ y „U“) están normalizados tanto en la DIN EN 60584 como también en la DIN 43710.

Los elementos „antiguos“ „L“ y „U“ quedan mientras en un segundo plano frente a los elementos „J“ y „T“ según DIN EN 60584.

Los elementos respectivos no son compatibles por sus diferentes aleaciones; si se conecta un elemento Fe-CuNi del tipo „L“ a una linealización según curva característica del tipo „J“, se producen errores de varios Kelvin por motivo de las tensiones termoelectricas diferentes. Esto mismo es válido para los elementos del tipo „U“ y „T“.

La temperatura máxima es aquél valor hasta el cual está fijada una desviación límite.

Bajo „definido hasta“ se indica la temperatura hasta la cual está normalizada la tensión termoelectrica.

En los termopares representados, el primer polo mencionado siempre es positivo. Los colores distintivos indicados se refieren tanto a los propios termoelementos como también a los cables de compensación. Si los hilos térmicos no están señalizados las siguientes características diferenciales pueden ser de utilidad:

- Fe-CuNi: polo positivo es magnético
- Cu-CuNi: polo positivo es de color cobre
- NiCr-Ni: polo negativo es magnético
- PtRh-Pt: polo negativo es más blando

Esto no es válido para cables de compensación. Se utilizan materiales cerámicos para el aislamiento de los termopares en bastidores de protección.

En cables se utilizan aislamientos de PVC, silicona, PTFE o fibra de vidrio.

Desviaciones límite

Para termoelementos según DIN EN 60 584 están definidas tres clases de tolerancia, válidas habitualmente para hilos térmicos con diámetros de 0,25 hasta 3mm y que se refieren al estado de suministro. No se puede afirmar nada sobre un posible envejecimiento posterior, ya que este depende en gran medida de las condiciones de utilización. Los límites de temperatura fijados para las clases de tolerancia no tienen que ser por obligación los límites recomendados de la temperatura de utilización (tablas 3 y 4). Es válido respectivamente el valor más alto.

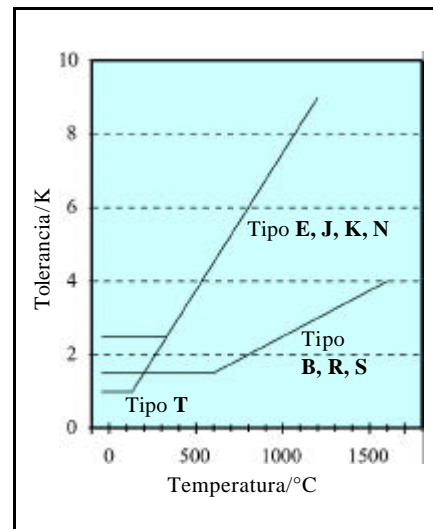


Gráfico 2: desviaciones límite



Linealización

La tensión emitida por un termoelemento no es lineal a la temperatura y por ello debe ser linealizada con los componentes electrónicos subsiguientes. En los aparatos digitales las tablas de linealización están ya previamente programadas o el usuario debe introducir puntos de apoyo. En instrumentos de aguja a menudo se encuentran graduaciones de escala no lineales. Las curvas características de los termopares (gráfico 3) están fijadas por las series de tensión de tal manera que existe una completa intercambiabilidad.

Esto significa que un termoelemento-Fe-CuNi del tipo „J“ por ejemplo puede ser reemplazado por cualquier otro elemento del mismo tipo, independientemente del fabricante, sin que sea necesario un recalibrado de los aparatos conectados.

Cables de compensación según DIN EN y DIN

Las características eléctricas y mecánicas de los cables de compensación para termoelementos están fijadas en las normas DIN EN 60584 y DIN 43714. Están fabricados del mismo material que el propio elemento (hilos térmicos, cables de extensión) o de materias primas especiales con las mismas características termoelectricas en campos de temperaturas restringidos (cables de compensación). La utilización de cables de compensación ahorra el suplemento de metales nobles en algunos materiales.

Los cables de compensación constan de hilos trenzados y se caracterizan por un código de colores y letra indicativa, de la forma siguiente:

- 1.letra: letra indicativa para el tipo de elemento según norma
- 2.letra: X: misma materia prima que el elemento según la norma
C: material especial
- 3.letra: Con varios cables de compensación, estos se distinguen con una 3ª letra.

Ejemplo:

KX: cable de compensación para elemento NiCr-Ni, Tipo „K“ de material térmico

RCA: cable de compensación para elemento PtRh-Pt, Tipo „R“, de material especial, Tipo „A“

Para los cables de compensación están definidas las clases de tolerancia 1 y 2. La clase 1 tiene una tolerancia mas estrecha y solo se alcanza por cables de compensación del mismo material que los elementos, es decir, tipos X. De serie se suministran cables de compensación de clase 2. La tabla 5 indica las desviaciones límite de las diferentes clases de cables de compensación.

Elemento		Clases de tolerancia			
Fe-CuNi	„J“	Clase 1	- 40...+ 750 °C:	±0,004xt	o ±1,5K
		Clase 2	- 40...+ 750 °C:	±0,0075xt	o ±2,5K
		Clase 3			
Cu-CuNi	„T“	Clase 1	- 40...+ 350 °C:	±0,004xt	o ±0,5K
		Clase 2	- 40...+ 350 °C:	±0,0075xt	o ±1,0K
		Clase 3	-200...+ 40 °C:	±0,0015xt	o ±1,0K
Ni-CrNi	„K“	Clase 1	- 40...+1000 °C:	±0,004xt	o ±1,5K
		Clase 2	- 40...+1200 °C:	±0,0075xt	o ±2,5K
NiCrSi-NiSi	„N“	Clase 3	-200...+ 40 °C:	±0,015xt	o ±2,5K
NiCr-CuNi	„E“	Clase 1	- 40...+ 800 °C:	±0,004xt	o ±1,5K
		Clase 2	- 40...+ 900 °C:	±0,0075xt	o ±2,5K
		Clase 3	-200...+ 40 °C:	±0,015xt	o ±2,5K
Pt10Rh-Pt	„S“	Clase 1	0...+1600 °C:	±[1+(t-1100)x0,003]	o ±1,0K
		Clase 2	- 40...+1600 °C:	±0,0025xt	o ±1,5K
Pt13Rh-Pt	„R“	Clase 3			
Pt30Rh-Pt6Rh	„B“	Clase 1			
		Clase 2	600... 1700 °C:	±0,0025xt	o ±1,5K
		Clase 3	600... 1700 °C:	±0,005xt	o ±4,0K

Tabla 3: desviaciones limite según DIN EN 60 584

Elemento		Tolerancias	
Cu-CuNi	„U“	100... 400 °C:	±3K
		400... 600 °C:	±0,0075xt
Fe-CuNi	„L“	100... 400 °C:	±3K
		400... 900 °C:	±0,0075xt

Tabla 4: desviaciones limite según DIN 43 710, año 1977

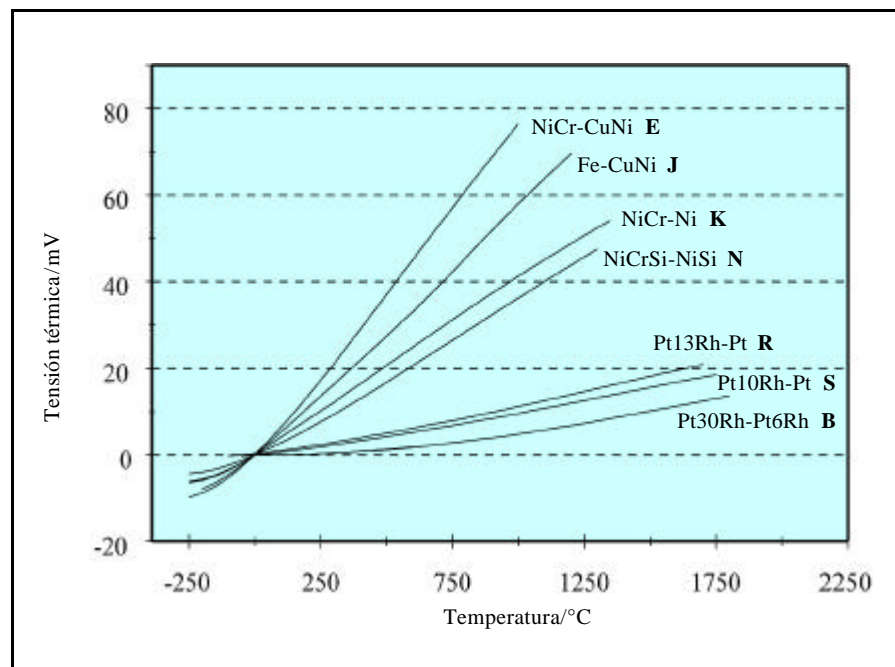


Gráfico 3: curva característica de termoelementos según DIN EN 60 584

El campo de aplicación de temperatura en la tabla 5 caracteriza la temperatura a la que puede estar expuesta toda la línea conductora incluidos los puntos de unión en el termoelemento



para no sobrepasar las tolerancias indicadas. A causa de la no linealización de las tensiones térmicas, las desviaciones límite solo son válidas en mV o K en las temperaturas medidas indicadas en la columna de la derecha.

En concreto esto significa por ejemplo:

Un termoelemento del tipo „J“ esta conectado a un cable de compensación del tipo „JX“, clase 2. Si la temperatura medida alcanza de forma constante 500°C y la temperatura de los bornes y/o la temperatura del cable de compensación oscila entre 0 ...+200°C, entonces la temperatura indicada varia solo como máximo ±2,5K.

Colores distintivos de cables de compensación

La caracterización de los cables de compensación por colores esta fijada en la DIN EN 60 584 y en la DIN 43713 (diseño de 1990). Para los elementos según DIN EN 60584 (tabla 6) es válido:

El polo positivo tiene el mismo color que el mantel, el polo negativo es blanco. Para los elementos „antiguos“ del tipo „L“ y „U“ según DIN 43713 (tabla 7) tienen validez distintivos diferentes a estos.

Para el elemento Pt30Rh-Pt6Rh del tipo „B“ no se da ninguna indicación. Como cables de compensación se pueden utilizar aqui cables de conexión de cobre de uso comercial habitual .

Según la DIN 43 714, los hilos se trenzan para lograr una aislamiento electromagnético. Adicionalmente se puede lograr un aislamiento mediante folios metálicos o mallas. La resistencia de aislamiento de los hilos entre si y el aislamiento no debe ser inferior a $10^7 \Omega \times m^{-1}$ con temperatura máxima.

La tensión disruptiva es superior a 500 VAC.

Además de éstos colores distintivos para cables de compensación, existen también otros según DIN 43714 de 1979 (tabla 8). Difieren en algunos puntos de los descritos mas arriba.

Si no existe distintivo de colores, no tienen validez las características distintivas de „comportamiento magnético“, „color“ y „resistencia“ de los termopares.

En cables de compensación del tipo „KCA“ y „KCB“ el polo positivo es magnético, al contrario que con el hilo termico „KX“ y con el termopar tipo „K“.

Tipo de elemento y línea	Clases de desviaciones límite [K]		Campo de temperatura de aplicación [°C]	Temperatura de medición [°C]
	1	2		
„JX“	± 85µV/±1,5K	± 140µV/±2,5K	-25 ... +200	500
„TX“	± 30µV/±0,5K	± 60µV/±1,0K	-25 ... +100	300
„EX“	± 120µV/±1,5K	± 200µV/±2,5K	-25 ... +200	500
„KX“	± 60µV/±1,5K	± 100µV/±2,5K	-25 ... +200	900
„NX“	± 60µV/±1,5K	± 100µV/±2,5K	-25 ... +200	900
„KCA“	-	± 100µV/±2,5K	0 ... +150	900
„KCB“	-	± 100µV/±2,5K	0 ... +100	900
„NC“	-	± 100µV/±2,5K	0 ... +150	900
„RCA“	-	± 30µV/±2,5K	0 ... +100	1000
„RCB“	-	± 60µV/±5,0K	0 ... +200	1000
„SCA“	-	± 30µV/±2,5K	0 ... +100	1000
„SCB“	-	± 60µV/±5,0K	0 ... +200	1000

Tabla 5: desviaciones límite de clases de hilo termico y de cables de compensación

Elemento	Tipo	Mantel	Polo positivo	Polo negativo
Cu-CuNi	„T“	marrón	marrón	blanco
Fe-CuNi	„J“	negro	negro	blanco
NiCr-Ni	„K“	verde	verde	blanco
NiCrSi-NiSi	„N“	lila	lila	blanco
NiCr-CuNi	„E“	violeta	violeta	blanco
Pt10Rh-Pt	„S“	naranja	naranja	blanco
Pt13Rh-Pt	„R“	naranja	naranja	blanco

Tabla 6: colores característicos para elementos según DIN EN 60 584

Elemento	Tipo	Mantel	Polo positivo	Polo negativo
Fe-CuNi	„L“	azul	rojo	azul
Cu-CuNi	„U“	marrón	rojo	marrón

Tabla 7: colores característicos para elementos según DIN 43 713

Elemento	Tipo	Mantel	Polo positivo	Polo negativo
NiCr-Ni	„K“	verde	rojo	verde
Pt10Rh-Pt	„S“	blanco	rojo	blanco
Pt13Rh-Pt	„R“	blanco	rojo	blanco

Tabla 8: colores característicos para elementos según DIN 43 714, año 1979

Construcción de termoelementos

Junto a una cantidad inabarcable de ejecuciones especiales, existen también aquellas, cuyos componentes están perfectamente definidos por normas.

Termoelementos con cabeza de conexión

Este tipo de termoelemento es construido de forma modular. Se compone de termopar, tubo de inserción, zócalo de conexión, tubo de protección y cabeza de conexión. Para su sujeción se puede prever una brida de anclaje o un racor.

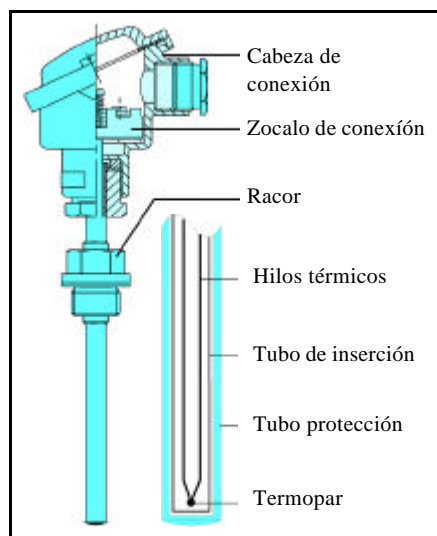


Gráfico 4: construcción de un termoelemento

El inserto de medición es una unidad confeccionada que consta del termopar y del zócalo de conexión, estando colocado el termopar en un tubo de inserción de 6 o 8 mm de diámetro de SnBz6 según DIN 17 681 (hasta 300°C) o de níquel. Este se introduce en el tubo protector que a menudo es de acero inoxidable. La base del tubo de inserción choca enrasado con la base del tubo de protección para garantizar una perfecta transmisión del calor. Los tornillos de sujeción del inserto de medición se montan sobre muelles de tal forma, que queda garantizado el contacto enrasado incluso con diferentes dilataciones térmicas longitudinales entre el tubo de inserción y el tubo de protección. De esta forma el inserto de medición es fácilmente sustituible.

Los termómetros se fabrican en versión simple o doble. Las medidas están fijadas en la DIN 43 735. Si no se utiliza el inserto de medición, el termopar con aislamiento se encuentra directamente en el **tubo de protección**.

La elección del material del tubo de protección depende de las condiciones químicas, térmicas y mecánicas de la aplicación.

Tubos de protección metálicos de acero resistente al calor, p.e. material nº 1.4749, se utilizan para mediciones de temperatura hasta 1150°C. La durabilidades de los materiales de los tubos de protección están descritas en la DIN 43 720.

Estos datos son valores orientativos y no exigen de realizar las pruebas de material del tubo de protección sobre su idoneidad en las condiciones de funcionamiento. Las temperaturas indicadas se refieren a la aplicación sin carga mecánica y - si no se indica lo contrario - en aire puro.

Los tubos de protección cerámicos se utilizan cuando las condiciones de medición descartan bastidores metálicos, ya sea por motivos químicos o por temperaturas extremadamente altas. El principal campo de aplicación son temperaturas entre 1000 y 1650°C. Pueden entrar en contacto con el medio directamente o separar el termoelemento del tubo de protección como tubo interior hermético al gas. Una fisura capilar puede llevar a que un termoelemento se contamine y derive. La resistencia al choque de temperatura de una cerámica aumenta con la capacidad de transmisión de calor y la resistencia a la tracción. Cuanto menor sea el coeficiente termico de dilatación, mayor será ésta resistencia. También adquiere gran importancia el espesor de la pared del material; se debe dar preferencia a tubos de paredes finas frente a los de paredes gruesas.

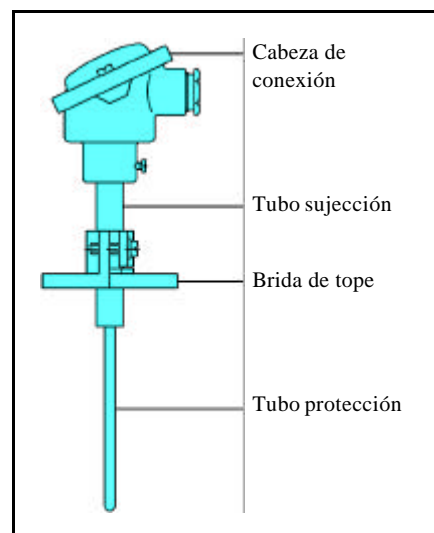


Gráfico 5: termoelemento con tubo de protección cerámico

En los termoelementos nobles (los que contienen platino, "S", "R", "B") se le exige a la cerámica un alto grado de pureza: **Los elementos de platino** son muy sensibles a la contaminación por átomos extraños, como pueden ser especialmente silicio, arsenico, fósforo, azufre y boro.

Hay que tener especialmente en cuenta, que en los bastidores para temperaturas muy altas los materiales de aislamiento y del tubo de protección no contengan estos elementos. En este sentido, se conceptúa como especialmente dañino el SiO₂. La contaminación sucede más rápidamente en una atmósfera neutral y reducida. El origen está en el SiO₂, que se reduce a SiO y reacciona con el platino a Pt₅Si₂. Con solo el 0,2% de SiO₂ en el material de aislamiento o en el tubo de protección es suficiente en atmósfera reducida para la formación de estos siliciuros frágiles.

Termoelementos con tubos de protección permeables al gas no se pueden utilizar por tanto en atmosferas reducidas como p.e. en hornos de recocido, mientras que sí se pueden utilizar en un entorno oxidante o de gas inerte. Si se utiliza un tubo interior de cerámica hermética al gas el tubo protector exterior puede ser permeable al gas.

En el campo de alta temperatura, las características de aislamiento de los materiales utilizados son importantes. Tubos de protección de óxido de aluminio (KER 610) y óxido de magnesio se convierten en temperaturas por encima de 1000°C en notables conductores. Esto ocasiona un flujo paralelo que falsea la señal de salida del termoelemento. El comportamiento del aislamiento de las cerámicas empeora con un contenido creciente alcaílico. Cerámicas de óxido puro de aluminio poseen las mejores características. Por ello se utilizan para el aislamiento varillas de cuatro agujeros y tubos de protección de KER 710.

Se presentan dos cerámicas herméticas al gas cuyas características están determinadas en la DIN 43 724:

Con **KER 710** se denomina una cerámica pura de óxido de más del 99,7% Al₂O₃ así como trazas de MgO, Si₂O y Na₂O, con una resistencia ignífuga hasta 1900°C y un punto de fusión de 2050°C. Es la mejor materia prima cerámica de aislamiento con una resistencia de aislamiento de 10⁷Ω xcm a 1000°C, con una buena resistencia a cambios de temperatura por buenas características de transmisión de calor y escasa dilatación por calor. En termoelementos de platino, tanto la varilla de aislamiento como el tubo protector deben ser de KER 710.

Otra materia cerámica, denominada **KER 610**, posee un mayor contenido al cálcico (60% Al_2O_3 , 37% SiO_2 , 3% cálcico) y por ello una menor resistencia al aislamiento, de aprox. $10^4 \Omega \cdot cm$ a $1000^\circ C$. Por la gran cantidad de dióxido de silicio no se puede utilizar en atmósferas reducidas. Frente a KER 710 posee una capacidad de transmisión de calor nueve veces menor; la estabilidad mecánica es buena.

La ventaja frente a KER 710 está en el precio, que es cinco veces menor.

Para las cabezas de conexión están definidas la formas de construcción A y B en la DIN 43 729, diferenciándose en el tamaño y ligeramente también en la forma.

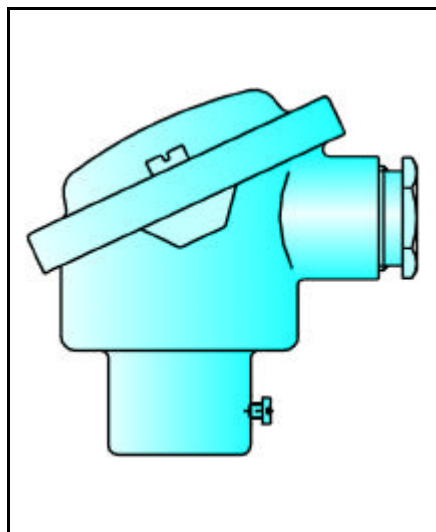


Gráfico 6: cabeza de conexión según DIN 43 729, forma B

Como materia prima se utiliza el aluminio.

El tipo de protección no esta normalizado, siendo habitual el IP 54 resistente a las salpicaduras. La medida nominal del diámetro del taladro para la admisión del tubo de protección alcanza para la cabeza de conexión:

- en forma A: 22, 24 o 32 mm.
- en forma B: 15 mm o rosca M 24x1,5.

Termoelementos según DIN 34 40

Los termoelementos que se conectan a reguladores de temperatura o a dispositivos limitadores de temperatura en generadores de calor deben cumplir con los requisitos según la norma DIN 34 40. (Se trata de termoelementos que además están homologados por un estamento oficial, como p.e., el TÜV)

Los termoelementos deben resistir como mínimo durante una hora a temperaturas de un 15%

por encima del límite superior y mantener determinados tiempos de respuesta en dependencia del medio (p.e. aire $t_{0,63} = 120s$). Los termómetros deben estar contruidos de tal manera, que resisten las cargas mecánicas por la presión exterior y por la velocidad del caudal del medio bajo temperatura.

(No están permitidos cambios en los termómetros sin una nueva homologación!)

Termoelementos con cable de compensación

En los termoelementos con cable de compensación se prescinde de un inserto de medición y de la cabeza de conexión. El termopar está directamente conectado al hilo térmico o al cable compensación e insertado en el tubo de protección. Para descargar de la tracción se aprieta el tubo de protección en la transición al cable de compensación.

De serie el termopar está aislado; para mejorar el contacto térmico también se le puede soldar a la base del tubo de protección. La temperatura de medición máxima se determina principalmente por la estabilidad de temperatura del mantel y del material de aislamiento del hilo térmico o del cable de compensación. La tabla 9 muestra ejemplarmente algunos materiales de aislamiento y sus temperaturas superiores.

Material	$t_{max}^\circ C$
PVC	80
Sillicona	180
PTFE	260
Fibra de vidrio	350

Tabla 9: limites de temperatura de algunos materiales de aislamiento

Los tipos de construcción de los termómetros son muy diferentes y en muchas ocasiones se adaptan a los deseos específicos del cliente. Por eso aquí solo se detallan algunos datos marco.

- Diámetro: 0,5...6mm
- Longitud tubo de protec.: 35...150mm
- Material tubo de protec.: acero inox. aceros resistente al calor o latón
- Conexión mecánica: brida fija o desplazable, racor fijo o de apriete

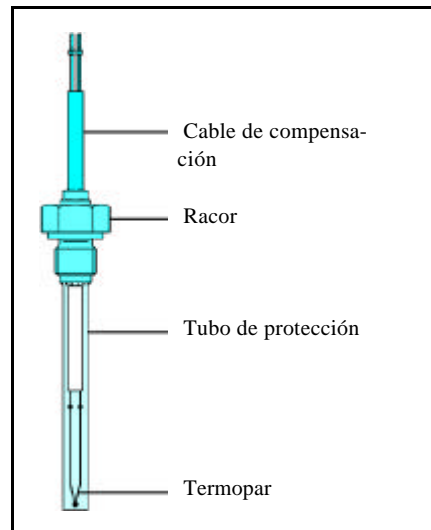


Gráfico 7: construcción de un termoelemento con cable de compensación

Termoelementos con cierre bayoneta

Otro tipo de construcción esta provista con un cierre de bayoneta. El muelle de presión de acero inoxidable, material n° 1.4310, que protege también contra dobladura, garantiza una presión constante de apriete del tubo de protección resp. de la punta de medición en el agujero del taladro.

La longitud de inmersión se puede variar girando el cierre de bayoneta. Los cierres de bayoneta y contrapiezas se pueden suministrar en los diámetros de 12, 15 y 16 mm.

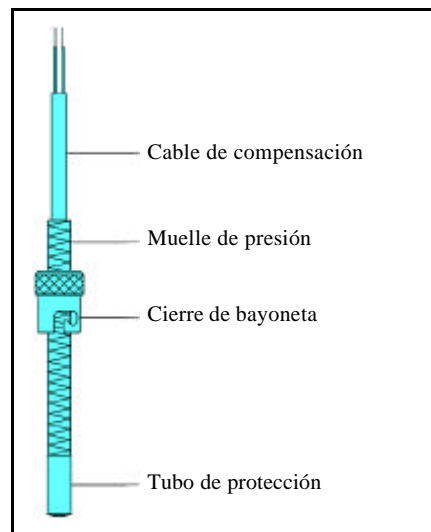


Gráfico 8: termoelemento con cierre de bayoneta

Los termoelementos con cierre de bayoneta se utilizan especialmente para mediciones de temperatura en cuerpos sólidos, cojinetes deslizantes y herramientas, p.e., en la industria del plástico. Por la forma especial de la punta de medición estos termoelementos son especialmente útiles en taladros planos y puntiagudos.

Termoelemento encamisado (tipo mantel)

Termoelementos tipo mantel se basan en un termopar convencional montado de forma aislada en un tubo de protección. En el tubo, de pared muy fina de acero inoxidable o acero resistente al calor (Inconel 600), los hilos térmicos internos están enfundados en óxido de magnesio prensado MgO2 ignífugo. Todo el conjunto es trefilado y los termoelementos quedan aislados entre sí por el polvo prensado MgO2 y protegidos por una vaina metálica flexible (el mantel), originalmente el tubo de protección.

Después del trefilado, el termopar es sometido a un tratamiento térmico con el objetivo de evaluar las tensiones mecánicas producidas en el trefilado.

Los termopares con aislamiento mineral se ensamblan con el punto de medición aislado, puesto a tierra o expuesto.

tienen una aplicación en instalaciones químicas, centrales térmicas, tuberías, construcción de motores, bancos de pruebas así como en todos aquellos puntos de medición en los que se requiera resistencia a las vibraciones, flexibilidad y montaje sin problemas.

Conexión de termoelementos

La longitud de la línea térmica o de compensación es de escasa importancia por la reducida resistencia interna. En longitudes de línea mayores con secciones pequeñas la resistencia de la línea térmica o de compensación puede adquirir valores comparativamente altos.

Para evitar errores de indicación, la resistencia interna del circuito de entrada de aparatos subsiguientes debe ser como mínimo 1000 veces mayor que la resistencia del termoelemento conectado.

Solo se deben utilizar cables de compensación del mismo material que el propio elemento o con las mismas características termoelectricas, ya que sino se creará un nuevo elemento en el punto de unión. El cable de compensación debe llegar hasta el punto de referencia. Se debe tener en cuenta la polaridad al conectar los termoelementos.

Comportamiento en caso de cortocircuito e interrupción

Un termoelemento no genera tensión si la temperatura medida es igual a la temperatura en el punto de referencia.

Si se produce un cortocircuito en el termoelemento o en el cable de compensación, se crea un nuevo punto de medición en el punto del cortocircuito. Si un cortocircuito de este tipo ocurre en la cabeza de conexión, ya no se indica la temperatura del punto de medición sino la de la cabeza de conexión. Si en el circuito de medición hay una interrupción, el aparato subsiguiente indicará la temperatura del punto de referencia.

Errores de medición por fallos de montaje

Una sonda de temperatura solo muestra la temperatura de su sensor sensible a la temperatura. Esta temperatura no tiene por que ser idéntica a la temperatura del medio a medir. El termómetro no esta montado aislado en el medio sino que está también en contacto térmico con el entorno. Se produce entonces un desplazamiento de temperatura (error de disipación de calor). Este error depende de muchos factores, como son: temperatura del medio, temperatura del entorno, características tecnicológicas del medio, velocidad de caudal y longitud de inmersión del termómetro. Para reducir de forma duradera el error, es muy importante la correcta elección del lugar de emplazamiento y la longitud de inmersión del termómetro en el medio. Como valor orientativo, para la medición en medios líquidos la profundidad de inmersión debería equivaler a 15 veces el diámetro del termómetro. En mediciones en gas se debe prever la máxima inmersión del termómetro. En aplicaciones críticas o requerimientos de errores de medición leves, se debe comprobar en un ensayo el error producido por motivos de montaje. Para ello se debe extraer el termómetro del lugar de emplazamiento (aprox. 10mm) y observar la indicación de la temperatura.

Uno de los errores mas comunes es el olvido o la errónea selección del cable de compensación. En un termoelemento se puede comprobar la existencia de una interrupción con un simple probador de continuidad o ohmiometro. La función del punto de medición y la correcta polaridad del termoelemento se pueden comprobar con un medidor de tensión (campo de medición en milivoltios) calentando el punto de medición.

Determinación de errores

Posibles errores de conexión y sus consecuencias:

- *instrumento de indicación indica temperatura ambiente*
termoelemento o conductor interrumpido.
- *indica valor correcto pero con signo negativo*
polaridad cambiada en el instrumento de indicación.
- *indicación demasiado alta o baja*
a) linealización errónea en el aparato de indicación.
b) cable de compensación incorrecto o polarización inversa.
- *indicación demasiado alta o baja por un valor determinado*
temperatura del punto de referencia errónea.
- *indicación correcta, pero se desvía lentamente a pesar de una temperatura de medición constante*
temperatura del punto de referencia no constante o no registrada.
- *con un elemento desconectado de un polo aún se muestra un valor*
a) interferencias electromagnéticas se acoplan al conductor de entrada.
b) se insertan tensiones parasitarias por faltar la separación galvánica y un aislamiento deficiente, p.e. mediante aislamiento del horno.
- *también se indica un valor alto en un elemento desconectado de dos polos*
a) Interferencias electromagnéticas se acoplan al conductor de entrada
b) Tensiones galvánicas parasitarias, p.e. aislamiento humedo en el cable de compen-

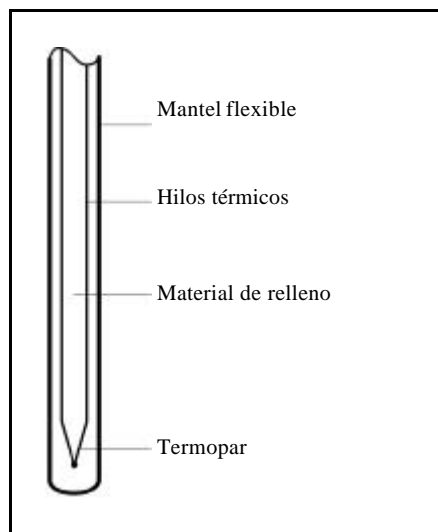


Gráfico 9: construcción de un termoelemento tipo mantel

La muy buena transmisión de calor entre mantel y termopar hace posible tiempos de respuesta cortos ($t_{0,5}$ desde 0,1s) y gran exactitud en las mediciones.

La construcción resistente a las vibraciones garantiza un largo periodo de vida.

La capacidad del mantel para curvarse con un radio mínimo de 5 veces el diametro externo de 0,5...6mm hace posible mediciones de temperatura en sitios de difícil acceso. Gracias a sus características, los termoelementos tipo mantel



sación.

Advertencia de seguridad

Todas las uniones por soldadura en termómetros y pozos de inmersión se comprueban por un sistema elemental de aseguramiento de la calidad según DIN 85 63, parte 113. Para la „zona de comprobación obligatoria“ (p.e. construcción de envases a presión) según §24 de las ordenanzas industriales, se requieren condiciones especiales. Si el cliente comunica que la aplicación se realizará en una zona de comprobación obligada, se realizan pruebas técnicas de soldadura según EN 287 y EN 288.

Carga de presión en sondas de temperatura

La resistencia a la presión en los bastidores de protección como se utilizan en termómetros eléctricos depende en gran medida de los diferentes parámetros de proceso, como son:

- temperatura
- presión
- velocidad de caudal
- vibraciones

Adicionalmente se deben tener en cuenta las características de los materiales del bastidor de protección como materia prima, longitud de inmersión, diámetro y tipo de conexión a proceso.

Los siguientes gráficos 10 y 11 proceden de la DIN 43 763 y muestran la carga limite para las diferentes formas de construcción en función de la temperatura y la longitud de inmersión así como de la velocidad de caudal, temperatura y medio.

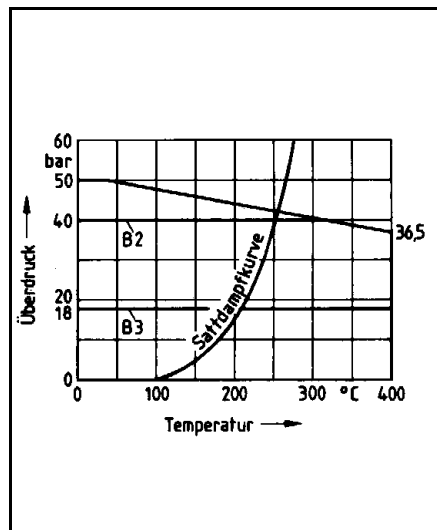


Gráfico 10: carga de presión para tubo de protección forma B
 (Sattdampfcurve=curva de vapor saturado)
 (Überdruck=sobrepresión)

Acero inoxidable 1.4571
 velocidad hasta 25m/s en aire
 velocidad hasta 3m/s en agua

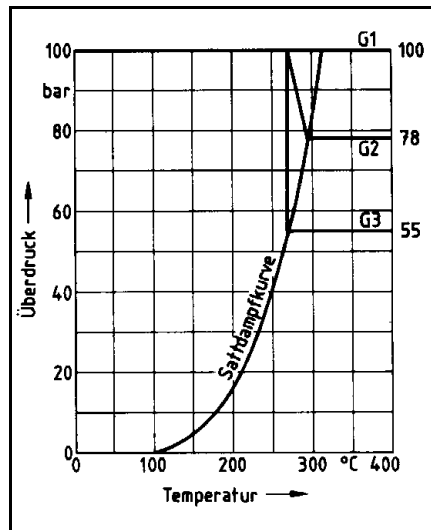


Gráfico 11: carga de presión para tubo de protección forma G

Acero inoxidable 1.4571
 velocidad hasta 40m/s en aire
 velocidad hasta 4m/s en agua

JUMO CONTROL S.A

Domicilio social:
Valle de Tobalina 18 Nave 1
28021 MADRID
Tel: 91 723 34 50
Fax: 91 795 46 04

Delegación Barcelona
Ámerica, 39
08041 BARCELONA
Tel: 93 410 94 92
Fax: 93 419 64 31

Delegación Bilbao
Correos, 8 Dpto. 403
48920 PORTUGALETE
Tel: 94 472 42 47
Fax: 94 472 42 48

E-Mail: info@jumo.es
Internet: www.jumo.es



Como ya se menciona en la norma, se trata de valores de orientación que deben comprobarse individualmente para cada aplicación. Pequeñas desviaciones de las condiciones de medición pueden ocasionar la rotura del tubo de protección.

Si se exige la comprobación del bastidor de protección en el pedido de un termómetro eléctrico, se deben indicar tipo de carga y valores límite.

Para un gran número de construcciones de termómetros, el gráfico 12 muestra los límites de carga (valores orientativos) para diferentes medidas de tubo. La carga máxima de presión para tubos cilíndricos de protección se representa como función del espesor de pared con diferentes diámetros de tubo.

Los datos son válidos para tubos de protección de acero inoxidable 1.4571, longitud de inmersión 100mm, velocidad de circulación 10m/s en aire o 4m/s en agua y un campo de temperatura de -20...+100°C. Se tuvo en cuenta un factor de seguridad de 1.8. Para temperaturas más altas u otros materiales, la carga máxima de presión se debe reducir por los valores porcentuales indicados en la tabla.

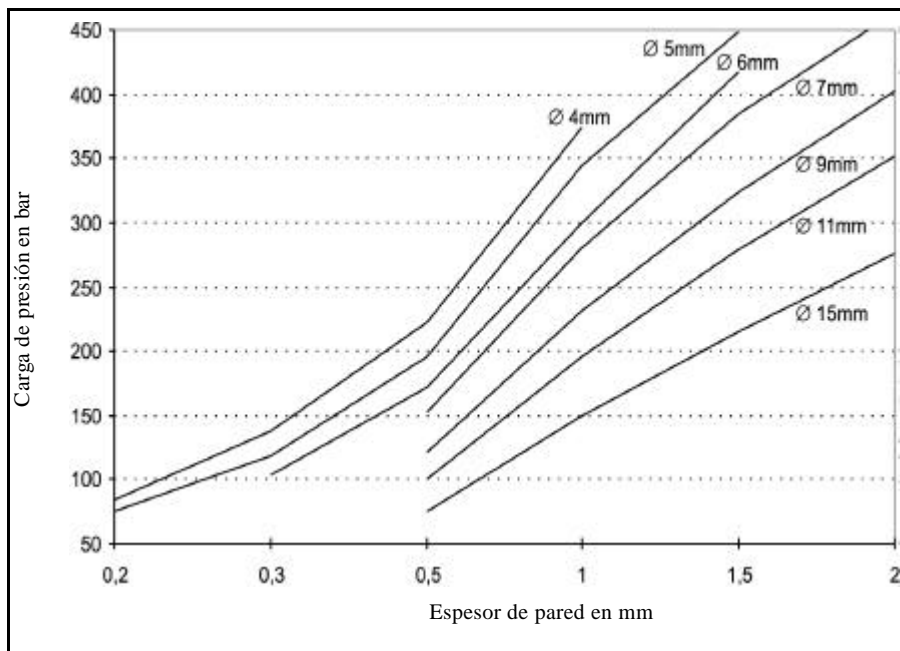


Gráfico 12: límite de carga del tubo de protección de las medidas del tubo

Material	Temperatura	Reducción
CrNi 1.4571	hasta +200°C	-10%
CrNi 1.4571	hasta +300°C	-20%
CrNi 1.4571	hasta +400°C	-25%
CrNi 1.4571	hasta +500°C	-30%
CuZn 2.0401	hasta +100°C	-15%
CuZn 2.0401	hasta +175°C	-60%

JUMO CONTROL S.A

Domicilio social:
Valle de Tobalina 18 Nave 1
28021 MADRID
Tel: 91 723 34 50
Fax: 91 795 46 04

Delegación Barcelona
Ámerica, 39
08041 BARCELONA
Tel: 93 410 94 92
Fax: 93 419 64 31

Delegación Bilbao
Correos, 8 Dpto. 403
48920 PORTUGALETE
Tel: 94 472 42 47
Fax: 94 472 42 48

E-Mail: info@jumo.es
Internet: www.jumo.es

**Tensiones térmicas según DIN EN 60 584**

en mV para temperaturas escalonadas de 10 en 10°C (punto de referencia 0°C)

Pt13Rh-Pt „R“										
°C	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
0	0	0,054	0,111	0,171	0,232	0,296	0,363	0,431	0,501	0,573
100	0,647	0,723	0,800	0,879	0,959	1,041	1,124	1,208	1,294	1,380
200	1,468	1,557	1,647	1,738	1,830	1,923	2,017	2,111	2,207	2,303
300	2,400	2,498	2,596	2,695	2,795	2,896	2,997	3,099	3,201	3,304
400	3,407	3,511	3,616	3,721	3,826	3,933	4,039	4,146	4,254	4,362
500	4,471	4,580	4,689	4,799	4,910	5,021	5,132	5,244	5,356	5,469
600	5,582	5,696	5,810	5,925	6,040	6,155	6,272	6,388	6,505	6,623
700	6,741	6,860	6,979	7,098	7,218	7,339	7,460	7,582	7,703	7,826
800	7,949	8,072	8,196	8,320	8,445	8,570	8,696	8,822	8,949	9,076
900	9,203	9,331	9,460	9,589	9,718	9,848	9,978	10,109	10,240	10,371
1000	10,503	10,636	10,768	10,902	11,035	11,170	11,304	11,439	11,574	11,710
1100	11,846	11,983	12,119	12,257	12,394	12,532	12,669	12,808	12,946	13,085
1200	13,224	13,363	13,502	13,642	13,782	13,922	14,062	14,202	14,343	14,483
1300	14,624	14,765	14,906	15,047	15,188	15,329	15,470	15,611	15,752	15,893
1400	16,035	16,176	16,317	16,458	16,599	16,741	16,882	17,022	17,163	17,304
1500	17,445	17,585	17,726	17,866	18,006	18,146	18,286	18,425	18,564	18,703
1600	18,842	18,981	19,119	19,257	19,395	19,533	19,670	19,807	19,944	20,080

Pt10Rh-Pt „S“										
°C	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
0	0	0,055	0,113	0,173	0,235	0,299	0,365	0,432	0,502	0,573
100	0,645	0,719	0,795	0,872	0,950	1,029	1,109	1,190	1,273	1,356
200	1,440	1,525	1,611	1,698	1,785	1,873	1,962	2,051	2,141	2,232
300	2,323	2,414	2,506	2,599	2,692	2,786	2,880	2,974	3,069	3,164
400	3,260	3,356	3,452	3,549	3,645	3,743	3,840	3,938	4,036	4,135
500	4,234	4,333	4,432	4,532	4,632	4,732	4,832	4,933	5,034	5,136
600	5,237	5,339	5,442	5,544	5,648	5,751	5,855	5,960	6,064	6,169
700	6,274	6,380	6,486	6,592	6,699	6,805	6,913	7,020	7,128	7,236
800	7,345	7,454	7,563	7,672	7,782	7,892	8,003	8,114	8,225	8,336
900	8,448	8,560	8,673	8,786	8,899	9,012	9,126	9,240	9,355	9,470
1000	9,585	9,700	9,816	9,932	10,048	10,165	10,282	10,400	10,517	10,635
1100	10,754	10,872	10,991	11,110	11,229	11,348	11,467	11,587	11,707	11,827
1200	11,947	12,067	12,188	12,308	12,429	12,550	12,671	12,792	12,913	13,034
1300	13,155	13,276	13,397	13,519	13,640	13,761	13,883	14,004	14,125	14,247
1400	14,368	14,489	14,610	14,731	14,852	14,973	15,094	15,215	15,336	15,456
1500	15,576	15,697	15,817	15,937	16,057	16,176	16,296	16,415	16,534	16,653
1600	16,771	16,890	17,008	17,125	17,243	17,360	17,477	17,594	17,711	17,826

Pt30Rh-Pt6Rh „B“										
°C	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
0	0	-0,002	-0,003	-0,002	-0	0,002	0,006	0,011	0,017	0,025
100	0,033	0,043	0,053	0,065	0,078	0,092	0,107	0,123	0,140	0,159
200	0,178	0,199	0,220	0,243	0,266	0,291	0,317	0,344	0,372	0,401
300	0,431	0,462	0,494	0,527	0,561	0,596	0,632	0,669	0,707	0,746
400	0,786	0,827	0,870	0,913	0,957	1,002	1,048	1,095	1,143	1,192
500	1,241	1,292	1,344	1,397	1,450	1,505	1,560	1,617	1,674	1,732
600	1,791	1,851	1,912	1,974	2,036	2,100	2,164	2,230	2,296	2,363
700	2,430	2,499	2,569	2,639	2,710	2,782	2,855	2,928	3,003	3,078
800	3,154	3,231	3,308	3,387	3,466	3,546	3,626	3,708	3,790	3,873
900	3,957	4,041	4,126	4,212	4,298	4,386	4,474	4,562	4,652	4,742
1000	4,833	4,924	5,016	5,109	5,202	5,297	5,391	5,487	5,583	5,680
1100	5,777	5,875	5,973	6,073	6,172	6,273	6,374	6,475	6,577	6,680
1200	6,783	6,887	6,991	7,096	7,202	7,308	7,414	7,521	7,628	7,736
1300	7,845	7,953	8,063	8,172	8,283	8,393	8,504	8,616	8,727	8,839
1400	8,952	9,065	9,178	9,291	9,405	9,519	9,634	9,748	9,863	9,979
1500	10,094	10,210	10,325	10,441	10,558	10,674	10,790	10,907	11,024	11,141
1600	11,257	11,374	11,491	11,608	11,725	11,842	11,959	12,076	12,193	12,310
1700	12,426	12,543	12,659	12,776	12,892	13,008	13,124	13,239	13,354	13,470

JUMO CONTROL S.A

Domicilio social:
 Valle de Tobalina 18 Nave 1
 28021 MADRID
 Tel: 91 723 34 50
 Fax: 91 795 46 04

Delegación Barcelona
 América, 39
 08041 BARCELONA
 Tel: 93 410 94 92
 Fax: 93 419 64 31

Delegación Bilbao
 Correos, 8 Dpto. 403
 48920 PORTUGALETE
 Tel: 94 472 42 47
 Fax: 94 472 42 48

E-Mail: info@jumo.es
 Internet: www.jumo.es

**Tensiones térmicas según DIN EN 60 584**

mV para temperaturas escalonadas de 10 en 10°C (punto de referencia 0°C)

Cu-CuNi „T“										
°C	0	-10	-20	-30	-40	-50	-60	-70	-80	-90
-200	-5,603	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-100	-3,378	-3,656	-3,923	-4,177	-4,419	-4,648	-4,865	-5,069	-5,261	-5,439
0	0	-0,383	-0,757	-1,121	-1,475	-1,819	-2,152	-2,475	-2,788	-3,089

°C	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
0	0	0,391	0,789	1,196	1,611	2,035	2,467	2,908	3,357	3,813
100	4,277	4,749	5,227	5,712	6,204	6,702	7,207	7,718	8,235	8,757
200	9,286	9,820	10,360	10,905	11,456	12,011	12,572	13,137	13,707	14,281
300	14,860	15,443	16,030	16,621	17,217	17,816	18,420	19,027	19,638	20,252

Fe-CuNi „J“										
°C	0	-10	-20	-30	-40	-50	-60	-70	-80	-90
-200	-7,890	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-100	-4,632	-5,036	-5,426	-5,801	-6,159	-6,499	-6,821	-7,122	-7,402	-7,659
0	0	-0,501	-0,995	-1,481	-1,960	-2,431	-2,892	-3,344	-3,785	-4,215

°C	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
0	0	0,507	1,019	1,536	2,058	2,585	3,115	3,649	4,186	4,725
100	5,268	5,812	6,359	6,907	7,457	8,008	8,560	9,113	9,667	10,222
200	10,777	11,332	11,887	12,442	12,998	13,553	14,108	14,663	15,217	15,771
300	16,325	16,879	17,432	17,984	18,537	19,089	19,640	20,192	20,743	21,295
400	21,846	22,397	22,949	23,501	24,054	24,607	25,161	25,716	26,272	26,829
500	27,388	27,949	28,511	29,075	29,642	30,210	30,782	31,356	31,933	32,513
600	33,096	33,683	34,273	34,867	35,464	36,066	36,671	37,280	37,893	38,510
700	39,130	39,754	40,382	41,013	41,647	42,283	42,922	43,563	44,207	44,852

JUMO CONTROL S.A

Domicilio social:
 Valle de Tobalina 18 Nave 1
 28021 MADRID
 Tel: 91 723 34 50
 Fax: 91 795 46 04

Delegación Barcelona
 América, 39
 08041 BARCELONA
 Tel: 93 410 94 92
 Fax: 93 419 64 31

Delegación Bilbao
 Correos, 8 Dpto. 403
 48920 PORTUGALETE
 Tel: 94 472 42 47
 Fax: 94 472 42 48

E-Mail: info@jumo.es
 Internet: www.jumo.es

**Tensiones térmicas según DIN EN 60 584**

en mV para temperaturas escalonadas de 10 en 10°C (punto de referencia 0°C)

NiCr-Ni „K“

°C	0	-10	-20	-30	-40	-50	-60	-70	-80	-90
-200	-5,891	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-100	-3,554	-3,852	-4,138	-4,411	-4,669	-4,913	-5,141	-5,354	-5,550	-5,730
0	0	-0,392	-0,778	-1,156	-1,527	-1,889	-2,243	-2,587	-2,920	-3,243

°C	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
0	0	0,397	0,798	1,203	1,612	2,023	2,436	2,851	3,267	3,682
100	4,096	4,509	4,920	5,328	5,735	6,138	6,540	6,941	7,340	7,739
200	8,138	8,539	8,940	9,343	9,747	10,153	10,561	10,971	11,382	11,795
300	12,209	12,624	13,040	13,457	13,874	14,293	14,713	15,133	15,554	15,975
400	16,397	16,820	17,243	17,667	18,091	18,516	18,941	19,366	19,792	20,218
500	20,644	21,071	21,497	21,924	22,350	22,776	23,203	23,629	24,055	24,480
600	24,905	25,330	25,755	26,179	26,602	27,025	27,447	27,869	28,289	28,710
700	29,129	29,548	29,965	30,382	30,798	31,213	31,628	32,041	32,453	32,865
800	33,275	33,685	34,093	34,501	34,908	35,313	35,718	36,121	36,524	36,925
900	37,326	37,725	38,124	38,522	38,918	39,314	39,708	40,101	40,494	40,885
1000	41,276	41,665	42,053	42,440	42,826	43,211	43,595	43,978	44,359	44,740
1100	45,119	45,497	45,873	46,249	46,623	46,995	47,367	47,737	48,105	48,473
1200	48,838	49,202	49,565	49,926	50,286	50,644	51,000	51,355	51,708	52,060
1300	52,410	52,759	53,106	53,451	53,795	54,138	54,479	54,819	-	-

NiCr-CuNi „E“

°C	0	-10	-20	-30	-40	-50	-60	-70	-80	-90
-200	-8,824	-9,063	-9,274	-9,455	-9,604	-9,719	-9,797	-9,835	-	-
-100	-5,237	-5,680	-6,107	-6,516	-6,907	-7,279	-7,631	-7,963	-8,273	-8,561
0	0	-0,581	-1,151	-1,709	-2,254	-2,787	-3,306	-3,811	-4,301	-4,771

°C	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
0	0	0,591	1,192	1,801	2,419	3,047	3,683	4,329	4,983	5,646
100	6,317	6,996	7,683	8,377	9,078	9,787	10,501	11,222	11,949	12,681
200	13,419	14,161	14,909	15,661	16,417	17,178	17,942	18,710	19,481	20,256
300	21,033	21,814	22,597	23,383	24,171	24,961	25,754	26,549	27,345	28,143
400	28,943	29,744	30,546	31,350	32,155	32,960	33,767	34,574	35,382	36,190
500	36,999	37,808	38,617	39,426	40,236	41,045	41,853	42,662	43,470	44,278
600	45,085	45,891	46,697	47,502	48,306	49,109	49,911	50,713	51,513	52,312
700	53,110	53,907	54,703	55,498	56,291	57,083	57,873	58,663	59,451	60,237
800	61,022	61,806	62,588	63,368	64,147	64,924	65,700	66,473	67,245	68,015
900	68,783	69,549	70,313	71,075	71,835	72,593	73,350	74,104	74,857	75,608



Clases de desviaciones límite

para termopares (punto de referencia 0°C) según DIN EN 60 584

Termopar	Campo de aplicación	Desviación límite (±) ¹
Cobre/Cobre-Niquel „T“	- 40 ... + 350°C	0,5°C o 0,004 x ltl
Hierro/Cobre-Niquel „J“	- 40 ... + 750°C	1,5°C o 0,004 x ltl
Niquel-Cromo/Cobre-Niquel „E“	- 40 ... + 800°C	0,5°C o 0,004 x ltl
Niquel-Cromo/Niquel „K“	- 40...+ 1000°C	1,5°C o 0,004 x ltl
Platino-13% Rodio/Platino „R“	0 ... 1600°C	1 °C o [1+(t-1100) x 0,003]°C
Platino-10% Rodio/Platino „S“	0 ... 1600°C	1 °C o [1+(t-1100) x 0,003]°C
Platino-30% Rodio/Platino-6% Rodio „B“	-	-

Termopar	Campo de aplicación	Desviación límite (±) ¹
Cobre/Cobre-Niquel „T“	- 40 ... + 350°C	1 °C o 0,0075 x ltl
Hierro/Cobre-Niquel „J“	- 40 ... + 750°C	2,5°C o 0,0075 x ltl
Niquel-Cromo/Cobre-Niquel „E“	- 40 ... + 900°C	1 °C o 0,0075 x ltl
Niquel-Cromo/Niquel „K“	- 40...+ 1200°C	2,5°C o 0,0075 x ltl
Platino-13% Rodio/Platino „R“	0 ... 1600°C	1,5°C o 0,0025 x t
Platino-10% Rodio/Platino „S“	0 ... 1600°C	1,5°C o 0,0025 x t
Platino-30% Rodio/Platino-6% Rodio „B“	600... 1700°C	1,5°C o 0,0025 x t

Termopar	Campo de aplicación	Desviación límite (±) ¹
Cobre/Cobre-Niquel „T“	- 200 ... + 40°C	1 °C o 0,015 x ltl
Hierro/Cobre-Niquel „J“	- 200 ... + 40°C	2,5°C o 0,015 x ltl
Niquel-Cromo/Cobre-Niquel „E“	- 200 ... + 40°C	1 °C o 0,015 x ltl
Niquel-Cromo/Niquel „K“	- 200 ... + 40°C	2,5°C o 0,015 x ltl
Platino-13% Rodio/Platino „R“	-	-
Platino-10% Rodio/Platino „S“	-	-
Platino-30% Rodio/Platino-6% Rodio „B“	600 ... 1700°C	4 °C o 0,005 x t

La tolerancia estándar en termoelementos se corresponde con DIN 43 760 o DIN EN 60 584, clase 2.

Campos de tolerancia restringidos según clase 1 son posibles en termoelementos tipo mantel.

1. Para las desviaciones límite tienen validez los valores fijados en °C o los porcentajes referidos a temperaturas reales en °C.

Es válido respectivamente el valor más alto.

2. Termopares e hilos térmicos se suministran habitualmente de tal forma, que las desviaciones límite se cumplan según la tabla superior para las temperaturas por encima de -40°C. Las desviaciones de los termopares del mismo material pueden ser mayores con temperaturas por debajo de -40°C que las desviaciones fijadas en clase 3.

Si se precisan termopares que cumplan las desviaciones límite según las clases 1, 2 y/o 3, esto debe ser indicado por el cliente, siendo necesaria habitualmente una selección especial del material.

JUMO CONTROL S.A

Domicilio social:
 Valle de Tobalina 18 Nave 1
 28021 MADRID
 Tel: 91 723 34 50
 Fax: 91 795 46 04

Delegación Barcelona
 América, 39
 08041 BARCELONA
 Tel: 93 410 94 92
 Fax: 93 419 64 31

Delegación Bilbao
 Correos, 8 Dpto. 403
 48920 PORTUGALETE
 Tel: 94 472 42 47
 Fax: 94 472 42 48

E-Mail: info@jumo.es
 Internet: www.jumo.es



Tensiones térmicas según DIN 43 710

en mV para temperaturas escalonadas de 10 en 10°C (punto de referencia 0°C)

Cu-CuNi „U“										
°C	0	-10	-20	-30	-40	-50	-60	-70	-80	-90
-200	-5,70	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-100	-3,40	-3,68	-3,95	-4,21	-4,46	-4,69	-4,91	-5,12	-5,32	-5,51
0	0	-0,39	-0,77	-1,14	-1,50	-1,85	-2,18	-2,50	-2,81	-3,11

°C	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
0	0	0,40	0,80	1,21	1,63	2,05	2,48	2,91	3,35	3,80
100	4,25	4,71	5,18	5,65	6,13	6,62	7,12	7,63	8,15	8,67
200	9,20	9,74	10,29	10,85	11,41	11,98	12,55	13,13	13,71	14,30
300	14,90	15,50	16,10	16,70	17,31	17,92	18,53	19,14	19,76	20,38
400	21,00	21,62	22,25	22,88	23,51	24,15	24,79	25,44	26,09	26,75
500	27,41	28,08	28,75	29,43	30,11	30,80	31,49	32,19	32,89	33,60

Fe-CuNi „L“										
°C	0	-10	-20	-30	-40	-50	-60	-70	-80	-90
-200	-8,15	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-100	-4,75	-5,15	-5,53	-5,90	-6,26	-6,60	-6,93	-7,25	-7,56	-7,86
0	0	-0,51	-1,02	-1,53	-2,03	-2,51	-2,98	-3,44	-3,89	-4,33

°C	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
0	0	0,52	1,05	1,58	2,11	2,65	3,19	3,73	4,27	4,82
100	5,37	5,92	6,47	7,03	7,59	8,15	8,71	9,27	9,83	10,39
200	10,95	11,51	12,07	12,63	13,19	13,75	14,31	14,88	15,44	16,00
300	16,56	17,12	17,68	18,24	18,80	19,36	19,92	20,48	21,04	21,60
400	22,16	22,72	23,29	23,86	24,43	25,00	25,57	26,14	26,71	27,28
500	27,85	28,43	29,01	29,59	30,17	30,75	31,33	31,91	32,49	33,08
600	33,67	34,26	34,85	35,44	36,04	36,64	37,25	37,85	38,47	39,09
700	39,72	40,35	40,98	41,62	42,27	42,92	43,57	44,23	44,89	45,55
800	46,22	46,89	47,57	48,25	48,94	49,63	50,32	51,02	51,72	52,43