



Fundamentos de medición de temperatura



- ✓ Termistores
- ✓ Termopares

David Márquez
Jesús Calderón



Termistores

- Resistencia variable con la temperatura
- Construidos con semiconductores
- **NTC:** Coeficiente de temperatura negativo
- **PTC:** Coeficiente de temperatura positivo





Termistores

Los termistores son sensores de temperatura de tipo resistivo. Se dividen en dos grupos atendiendo al signo del coeficiente de temperatura de la resistencia:

- NTC que presentan un coeficiente de temperatura negativo
- PTC con un coeficiente de temperatura positivo.



Termistores

Ventajas

- ☛ Bajo coste.
- ☛ Buena sensibilidad (mayor que las RTD).
- ☛ Respuesta rápida.
- ☛ Medidas a dos hilos.

Inconvenientes

- ☛ No son lineales.
- ☛ Requieren excitación.
- ☛ Margen de medida: - 70 a 500 °C
- ☛ Autocalentamiento.



Termistores

Las NTC son resistencias de material semiconductor cuya resistencia disminuye cuando aumenta la temperatura. Están construidas con una mezcla de óxidos metálicos.

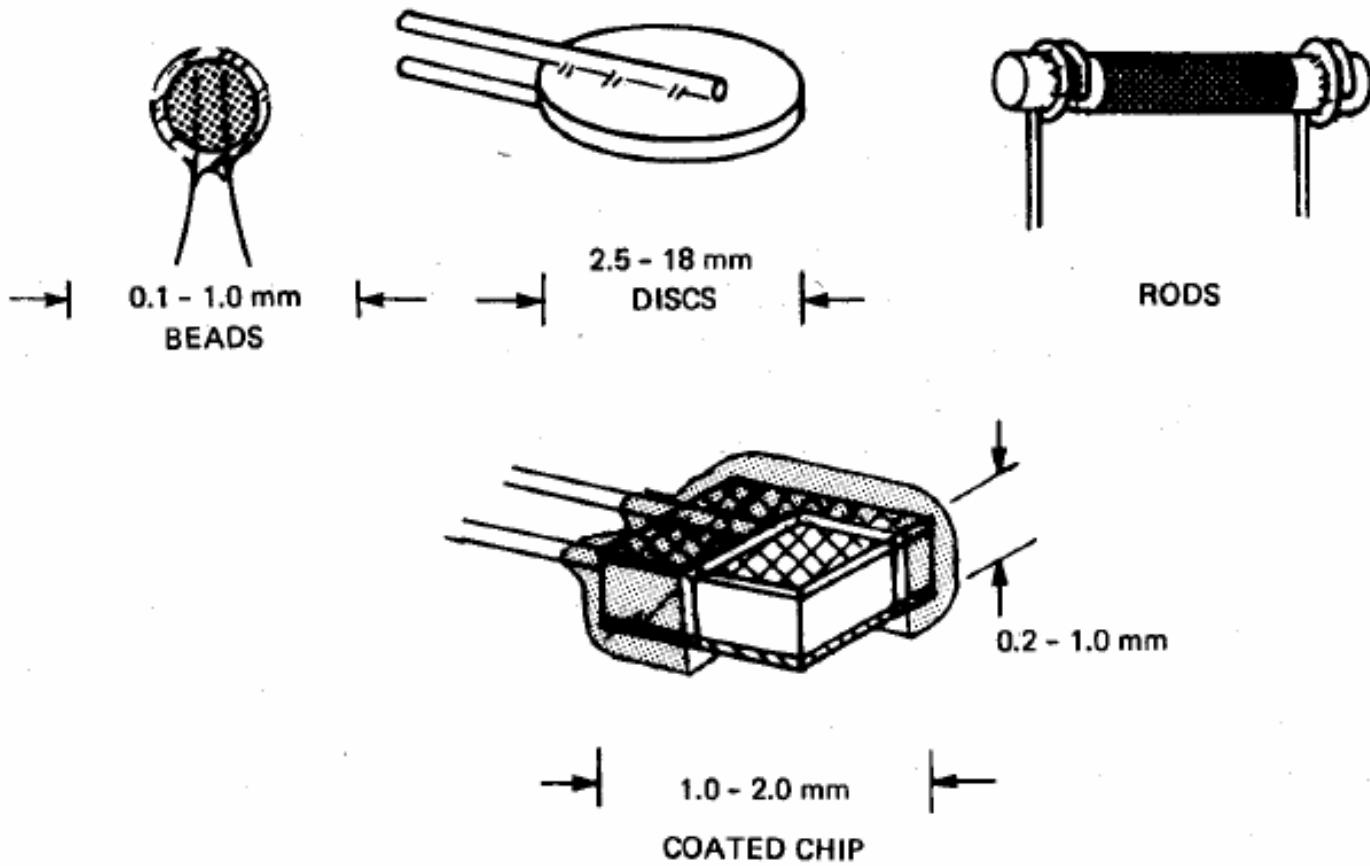
Generalmente se utilizan combinaciones de:
Ni–Mn–O, Ni–Cu–Mn–O y Ti–Fe–O.

Básicamente, el incremento de temperatura aporta la energía necesaria para que se incremente el número de portadores capaces de moverse, lo que lleva a un incremento en la conductividad del material.



Termistores

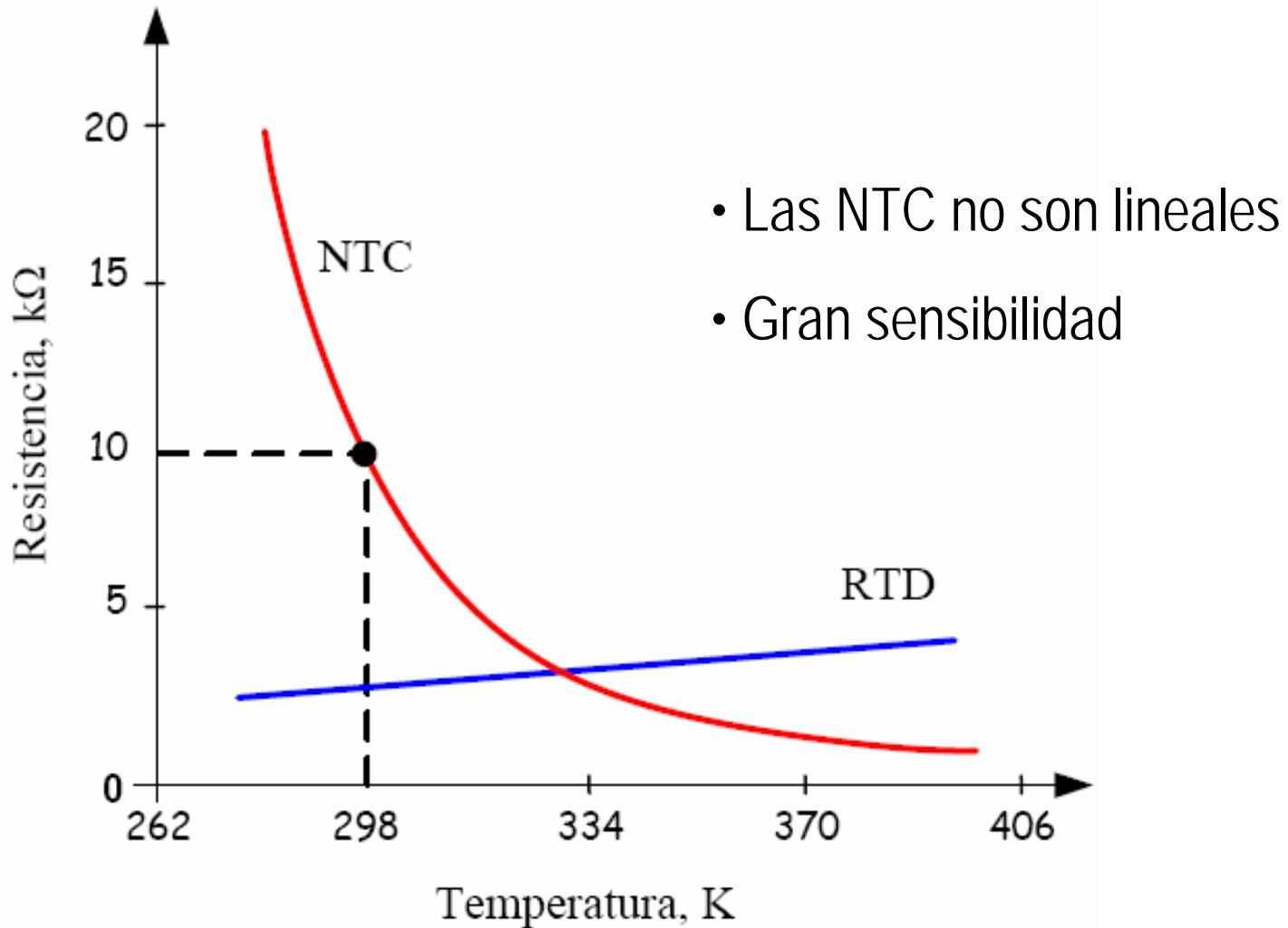
Configuraciones típicas





Termistores

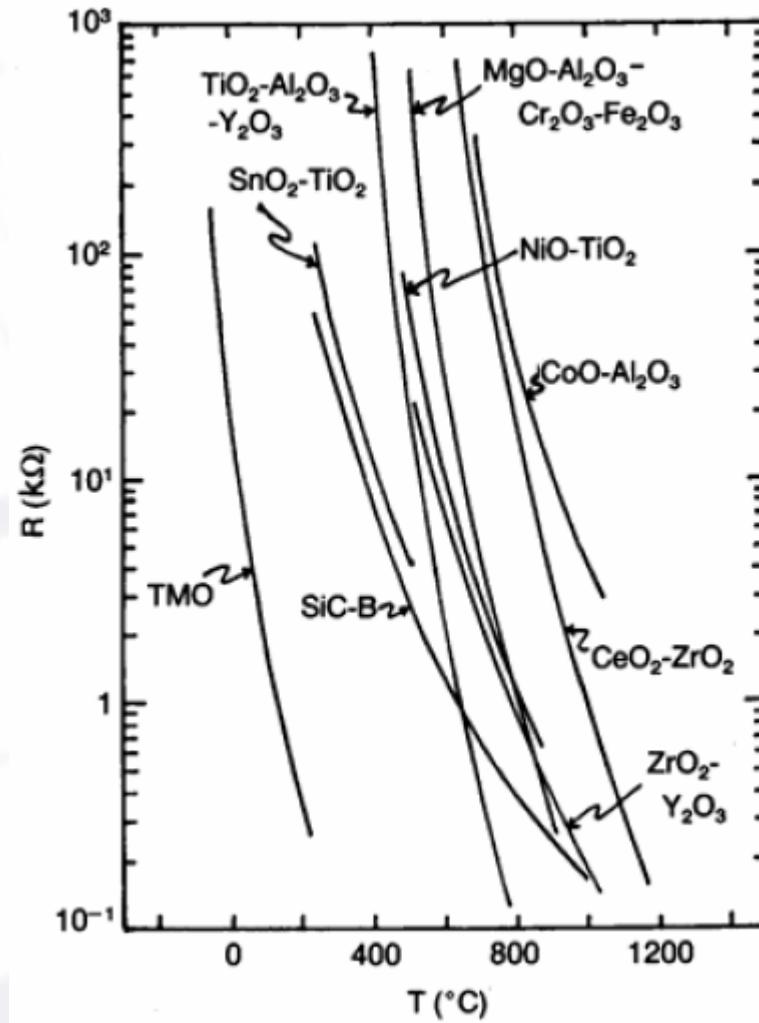
Característica R - T

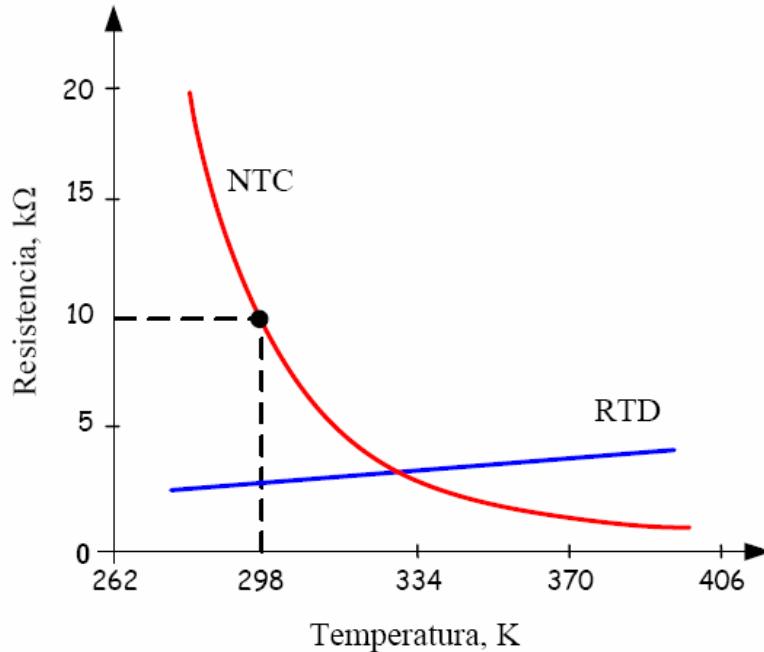




Termistores

Característica R – T de varios termistores (NTC)





Se observa que la relación entre la resistencia y la temperatura no es lineal, sobre todo, cuando se considera un margen de temperatura amplio.

La sensibilidad es muy grande a bajas temperaturas y va disminuyendo conforme aumenta esta.

Una sensibilidad alta es una característica muy deseable de cualquier sensor; de hecho, es la mayor ventaja de los termistores frente a otros sensores de temperatura.



Termistores

Modelo matemático

- En un margen reducido de unos 50 °C:

$$R_T = R_0 e^{\beta \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right)}$$

R_T = Resistencia del termistor a la temperatura T (°K)

T_0 = Temperatura de referencia en °K, normalmente 298 °K (25°C).

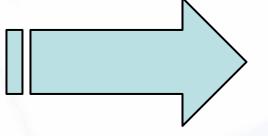
R_0 = Resistencia del termistor a T_0 .

β = Constante de temperatura del material (2000 °K – 6000 °K)

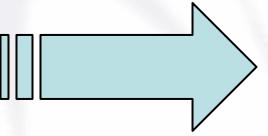


- Constante β : 

$$\beta = \frac{\ln\left(\frac{R_1}{R_2}\right)}{\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}}$$

- Temperatura: 

$$T = \frac{\beta T_0}{\beta + T_0 \ln\left(\frac{R_T}{R_{T_0}}\right)}$$

- Coeficiente térmico: 

$$\alpha = \frac{1}{R_T} \frac{dR_T}{dT} = -\frac{\beta}{T^2}$$



- ✓ La ecuación más sencilla que reproduce el comportamiento de un termistor (NTC) ideal en un margen de temperatura de unos 50 °C es la ecuación:

$$R_T = R_0 e^{\beta \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right)}$$

- ✓ Para evaluar los parámetros R_0 y β se necesitan dos puntos de calibración (T_1, R_1) y (T_2, R_2) . Se obtiene así el valor de β dado por la expresión:

$$\beta = \frac{\ln(R_1 / R_2)}{(1/T_1) - (1/T_2)}$$

Los fabricantes utilizan el parámetro β como una constante asociada al material con que se fabrica el termistor y suele variar entre 2000 y 6000 °K.



- ✓ De la ecuación del comportamiento del termistor, se puede obtener la temperatura (T) y el coeficiente térmico (α), que depende de la temperatura:

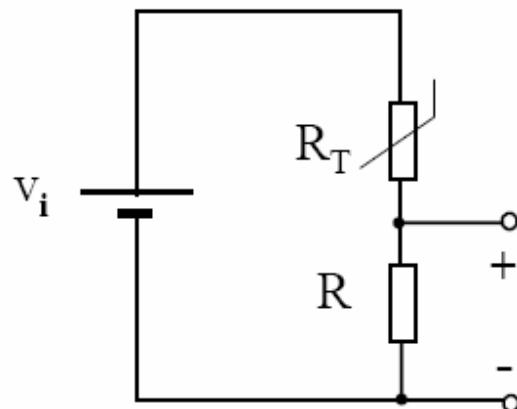
$$T = \frac{\beta T_0}{\beta + T_0 \ln \left(\frac{R_T}{R_{T_0}} \right)}$$

$$\alpha = \frac{1}{R_T} \frac{dR_T}{dT} = -\frac{\beta}{T^2}$$

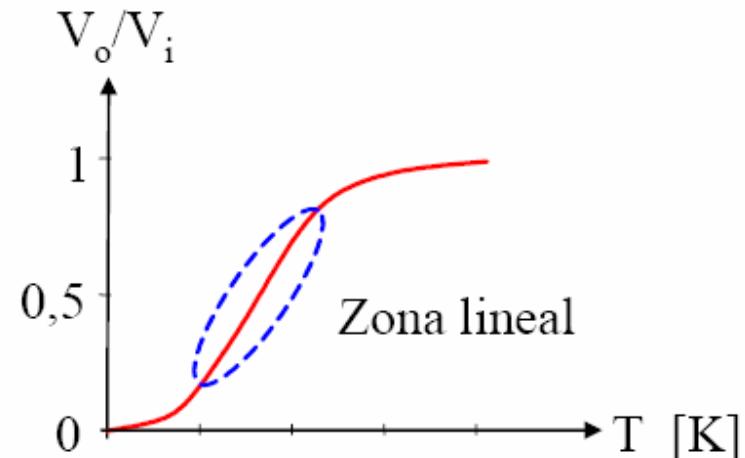


Termistores

Círcuito de medida – Linealización

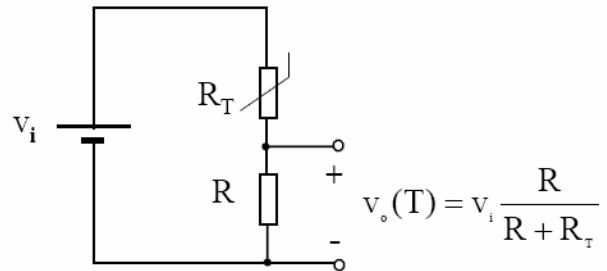


$$v_o(T) = v_i \frac{R}{R + R_T}$$

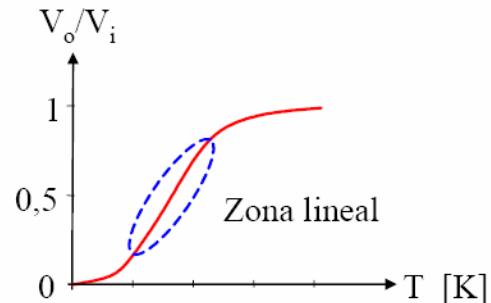


Cálculo de R: se hace coincidir el punto de inflexión de la curva con el punto medio del margen de medida, T_c . En el punto de inflexión:

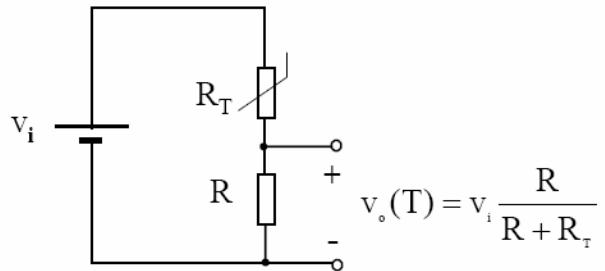
$$\frac{d^2V_0(T_c)}{dT^2} = 0 \quad \xrightarrow{\text{Zona lineal}} \quad R = \frac{\beta - 2T_c}{\beta + 2T_c} R_{T_c}$$



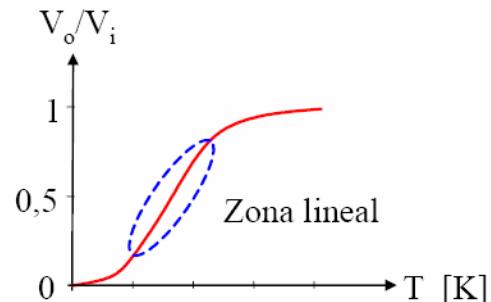
$$v_o(T) = V_i \frac{R}{R + R_T}$$



- ✓ El circuito permite que la tensión de salida se incremente conforme lo hace la temperatura.
- ✓ El objetivo es encontrar un valor de R que proporcione una linealidad óptima en el margen de temperatura de interés.
- ✓ Un método analítico para determinar el valor de R consiste en hacer coincidir el punto de inflexión de la curva de salida con el punto medio de nuestro margen de medida T_c . La condición de punto de inflexión implica que debe anularse la derivada segunda.



$$v_o(T) = v_i \frac{R}{R + R_T}$$

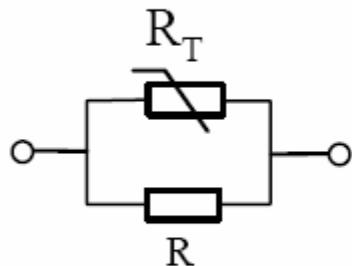


- ✓ En relación con la tensión de alimentación debe llegarse a un compromiso entre precisión, que lleva a elegir valores bajos de tensión para evitar el autocalentamiento y sensibilidad, que aconsejaría valores grandes.
- ✓ El incremento máximo de temperatura por autocalentamiento (máxima potencia aplicada, $P_{máx}$) se producirá cuando la resistencia del termistor R_T sea igual a la resistencia fija del divisor, R .

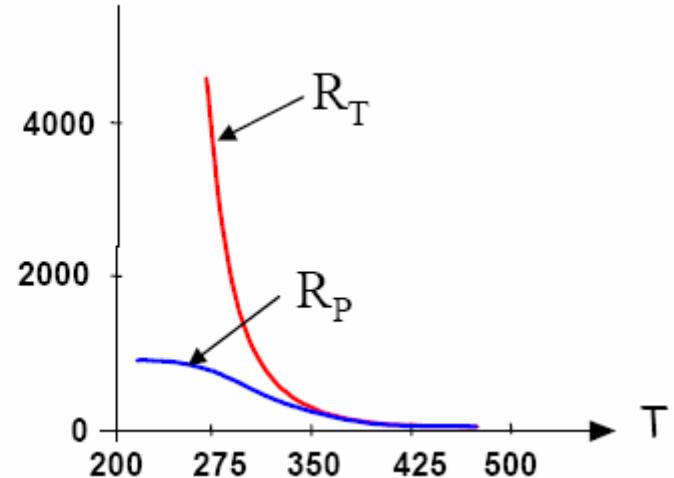


Termistores

Linealización con resistor en paralelo



$$R_p(T) = \frac{RR_T}{R + R_T}$$

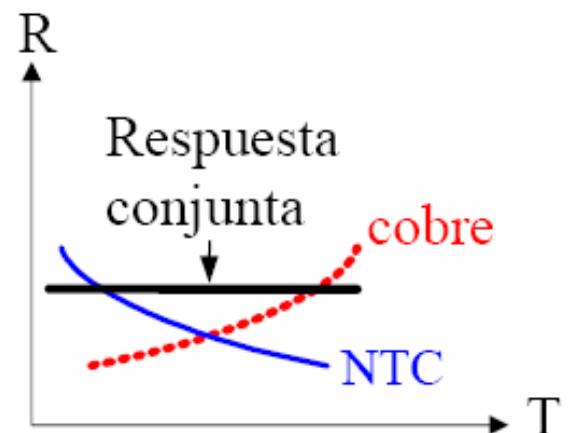
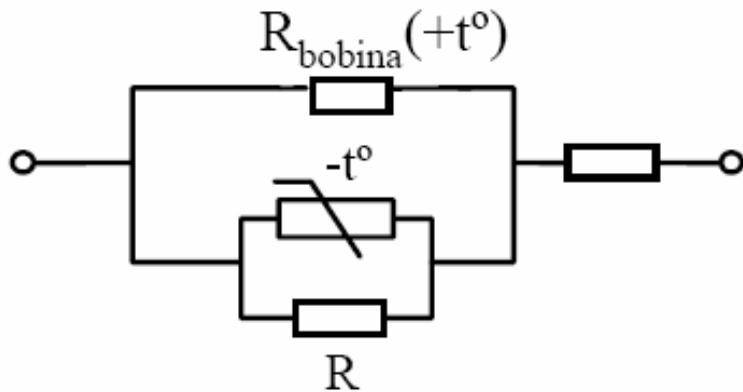


El objetivo, como antes, está en encontrar un valor de R que lleve a unas condiciones óptimas de linealidad. Podemos aplicar el método del punto de inflexión resultando un valor para la resistencia paralelo, R , como el expresado anteriormente



Una aplicación típica consiste en compensar los efectos de la temperatura sobre una bobina de cobre. El cobre tiene un coeficiente de temperatura positivo y un aumento de temperatura provoca un aumento de su resistencia, falseando la medida.

Añadiendo una NTC linealizada mediante una resistencia en paralelo puede hacerse que el conjunto tenga un coeficiente de temperatura casi nulo.





Termistores

Termistores de coeficiente de temperatura positivo (PTC)

Las PTC son termistores con coeficiente de temperatura positivo. Presentan la propiedad de experimentar un cambio brusco en su valor resistivo cuando la temperatura supera un valor crítico característico del material. Están fabricadas con materiales cerámicos policristalinos dopados con impurezas. Se utilizan fundamentalmente compuestos de bario, plomo y titanio con aditivos tales como manganeso y tántalo. Su forma más común es un disco con las superficies metalizadas.

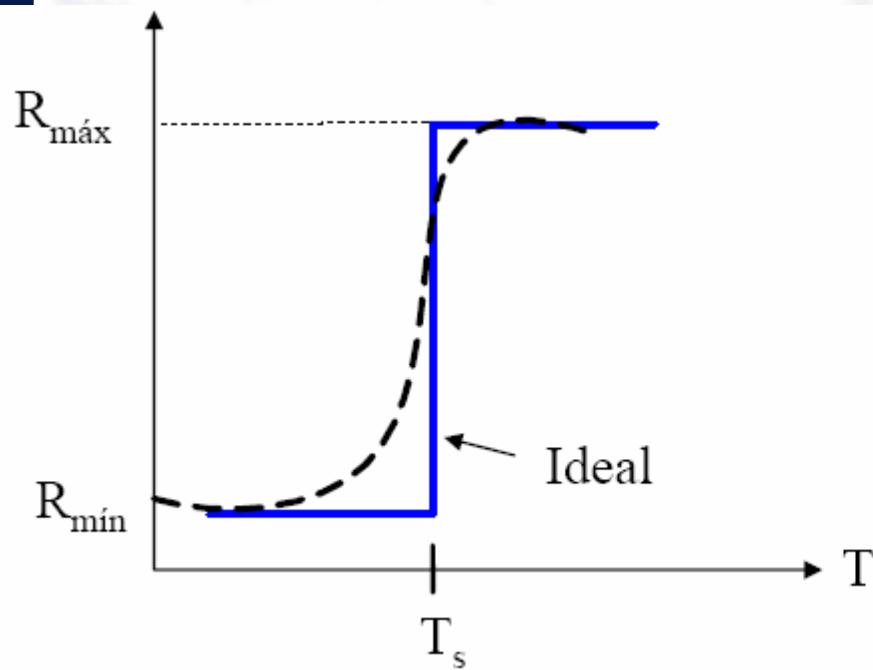




Termistores

Termistores de coeficiente de temperatura positivo (PTC)

- Cambio brusco en R cuando se supera un valor de temp. crítica.
- Materiales cerámicos policristalinos dopados con impurezas.



R_{\min} para $T < T_s$

R_{\max} para $T > T_s$

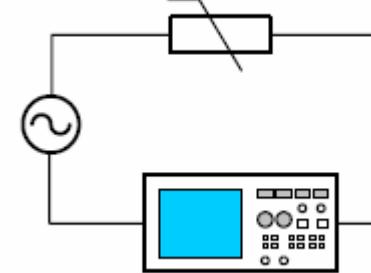
T_s = Temperatura de conmutación
o de Curie



Termistores

Ejemplos de aplicaciones – PTC

- Protección frente a sobrecorrientes



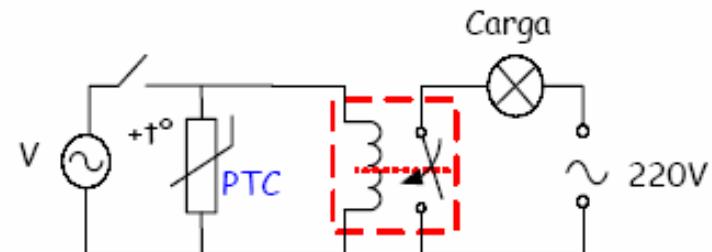
Protección de circuitos frente a sobrecorrientes. Si la corriente supera un límite debido a un fallo, por la PTC circulará más corriente y el efecto de autocalentamiento hará que se alcance T_s y aumente bruscamente la resistencia, limitando la corriente en el circuito. Tan pronto como se restablezcan las condiciones normales en el circuito, el sistema volverá a su estado normal.



Termistores

Ejemplos de aplicaciones – PTC

- Generación de retardos



Generación de retardos. Se sitúa una PTC en paralelo con la bobina del relé. En el momento de la conexión de la alimentación toda la corriente circula por la PTC debido a su bajo valor resistivo inicial, permaneciendo abierto el interruptor del relé. Conforme se calienta, llega un momento en que se alcanza la temperatura de comutación; en ese instante toda la corriente pasa a circular por la bobina del relé cerrándose su contacto.



Termopares



Termopares

En el campo de la instrumentación, las mediciones de temperatura son de lo más común, sin embargo, si no se emplean las técnicas o los equipos adecuados, estas mediciones pueden ser erróneas y/o costosas. El termopar es por mucho el sensor de temperatura más usado en la industria por diferentes razones, podemos mencionar entre otras el amplio intervalo de temperatura de uso, su robustez, la relativa buena exactitud, rápida respuesta a cambios de temperatura, versatilidad de uso y bajo costo.



Termopares

Efecto Seebeck

Cuando las uniones de dos conductores se unen por sus extremos para formar un circuito, y se colocan en un gradiente de temperatura, se manifiesta un flujo de calor y un flujo de electrones conocido como corriente Seebeck. La fuerza electromotriz (FEM) que genera la corriente se conoce como fuerza electromotriz de termopar o tensión Seebeck.

El coeficiente Seebeck (S) se define como la derivada de dicha $S = \frac{dE}{dT}$ tensión (E) con respecto a la temperatura (T):





Termopares

Efecto Peltier

Descubierto por Jean C. A. Peltier en 1834, consiste en el calentamiento o enfriamiento de una unión entre dos metales distintos al pasar corriente por ella. Al invertir el sentido de la corriente se invierte también el sentido del flujo de calor. Este efecto es reversible e independiente del contacto. Depende sólo de la composición y de la temperatura de la unión.

Efecto Thompson

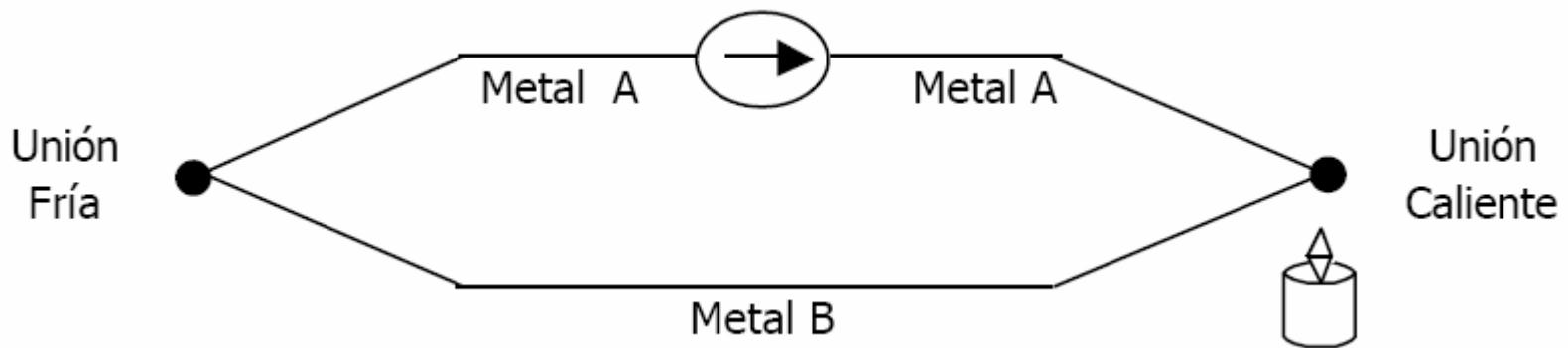
Descubierto por William Thompson (Lord Kelvin) en 1847-54, consiste en la absorción o liberación de calor por parte de un conductor homogéneo con temperatura no homogénea por el que circula una corriente. El calor liberado es proporcional a la corriente y por ello, cambia de signo al hacerlo el sentido de la corriente. Se absorbe calor si la corriente y el calor fluyen en direcciones opuestas, y se libera calor si fluyen en la misma dirección.



Termopares

El termopar fue descubierto por Thomas Seebeck en 1831.

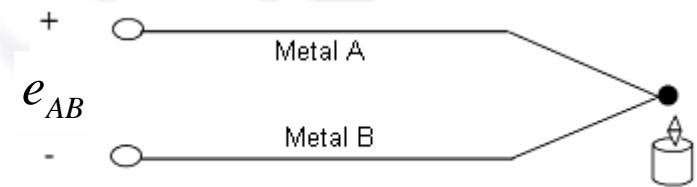
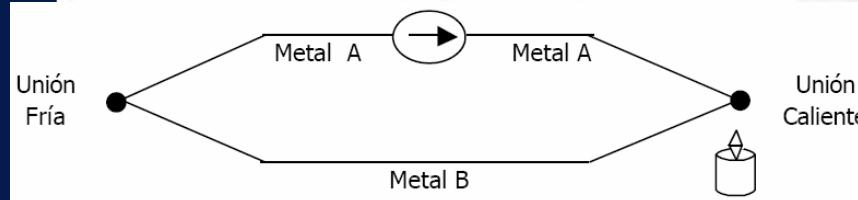
Seebeck descubrió que una corriente eléctrica fluía en un circuito cerrado de dos metales distintos cuando una de las uniones era calentada. La magnitud y dirección de la corriente son función de la diferencia de temperatura de las uniones y de las propiedades térmicas de los metales usados en el circuito. A este fenómeno se le conoce como efecto Seebeck.





Termopares

Si abrimos este circuito, obtenemos una diferencia de potencial pequeña (milivolts), la cual es directamente proporcional a la temperatura de la unión y a la composición de los dos metales.



Todos los metales distintos unidos de esta forma manifiestan este efecto. La tensión de Seebeck guarda una relación lineal con la temperatura en la forma :

$$e_{AB} = \alpha \cdot T$$

donde la constante de proporcionalidad α es el llamado coeficiente de Seebeck.



Termopares

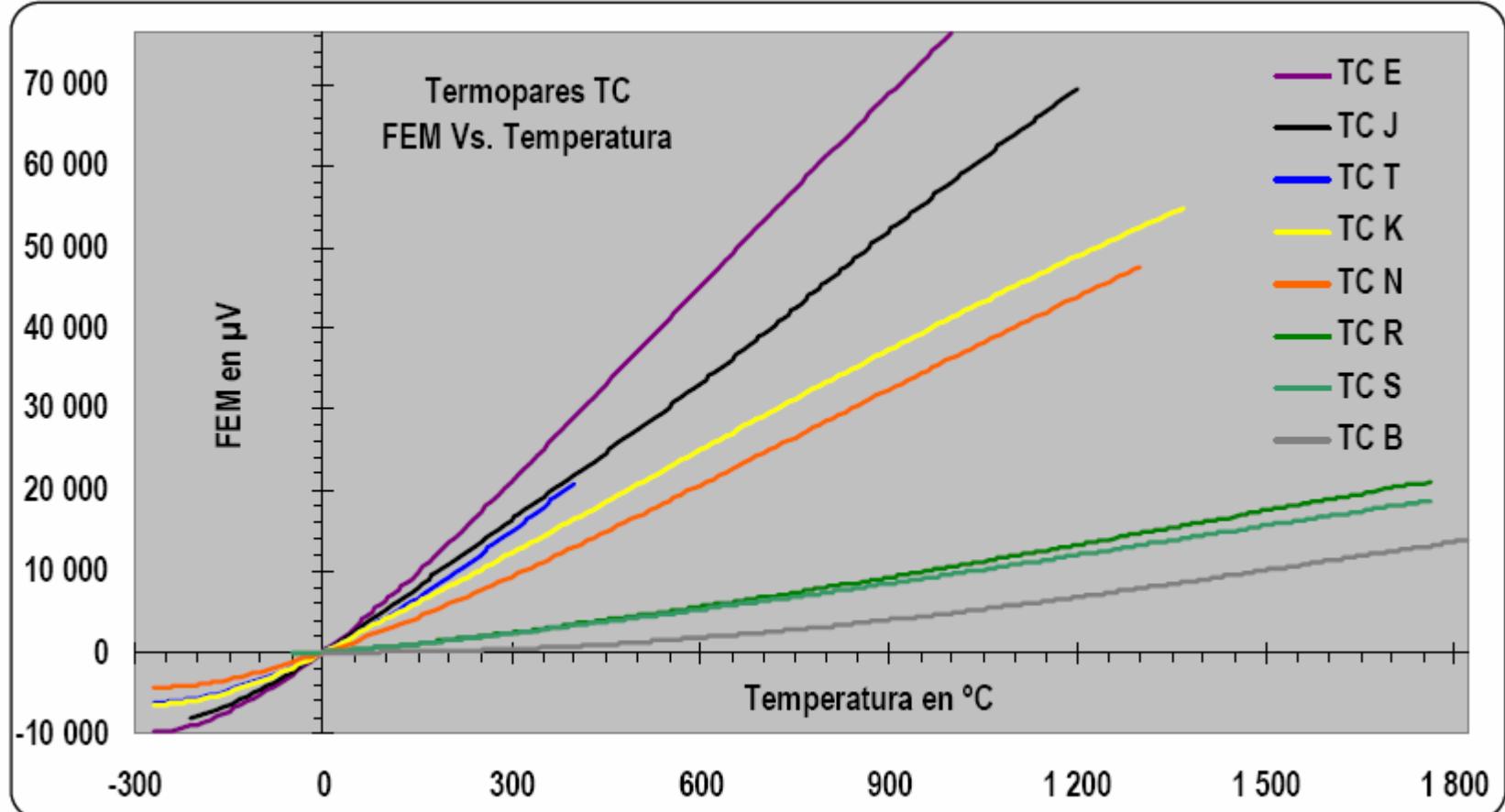
Tipos de Termopares

Tipo	Alcance Temperatura °C	Materiales y Aleaciones (+) Vs. (-)
Metal - Base		
E	-270 a 1 000	níquel - cromo Vs. cobre - níquel → Cromel – Constantan
J	-210 a 1 200	hierro Vs. cobre - níquel → Hierro – Constantan
T	-270 a 400	cobre Vs. cobre - níquel → Cobre – Constantan
K	-270 a 1 372	níquel - cromo Vs. níquel - aluminio → Cromel – Alumel
N	-270 a 1 300	níquel - cromo - silicio Vs. níquel - silicio - magnesio
Metal - Noble		
R	-50 a 1 768	platino - 13 % rodio Vs. platino
S	-50 a 1 768	platino - 10 % rodio Vs. platino
B	0 a 1 820	platino - 30 % rodio Vs. platino - 6 % rodio



Termopares

Tipos de Termopares

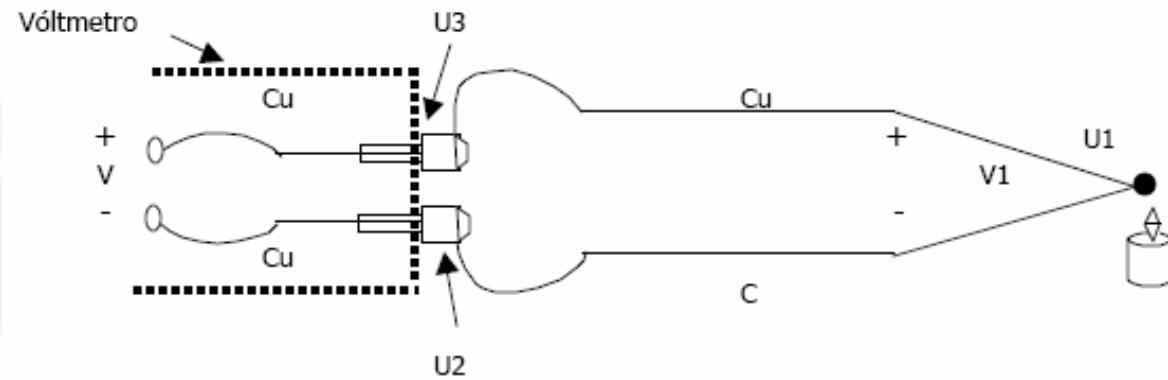




Termopares

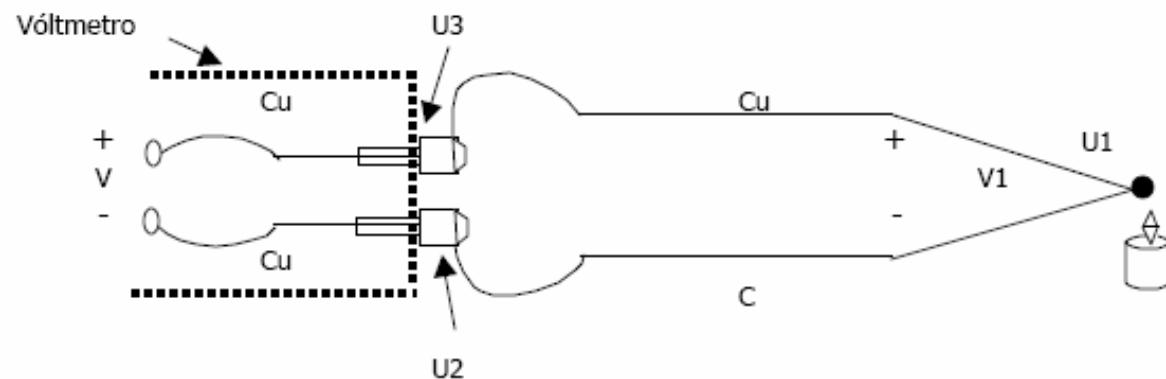
Medida de la tensión de un termopar

La diferencia de potencial (tensión de Seebeck) no puede medirse directamente conectando un voltímetro al termopar formado, pues los cables del voltímetro forman con los del termopar otra nueva unión termoeléctrica.

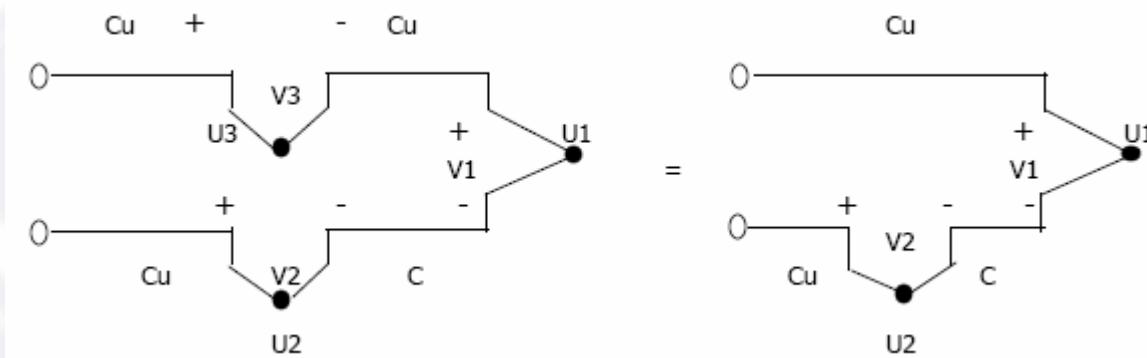




Vamos a suponer por ejemplo, que conectamos un voltímetro a un termopar tipo T (Cobre – Constantan) para conocer su ddp.

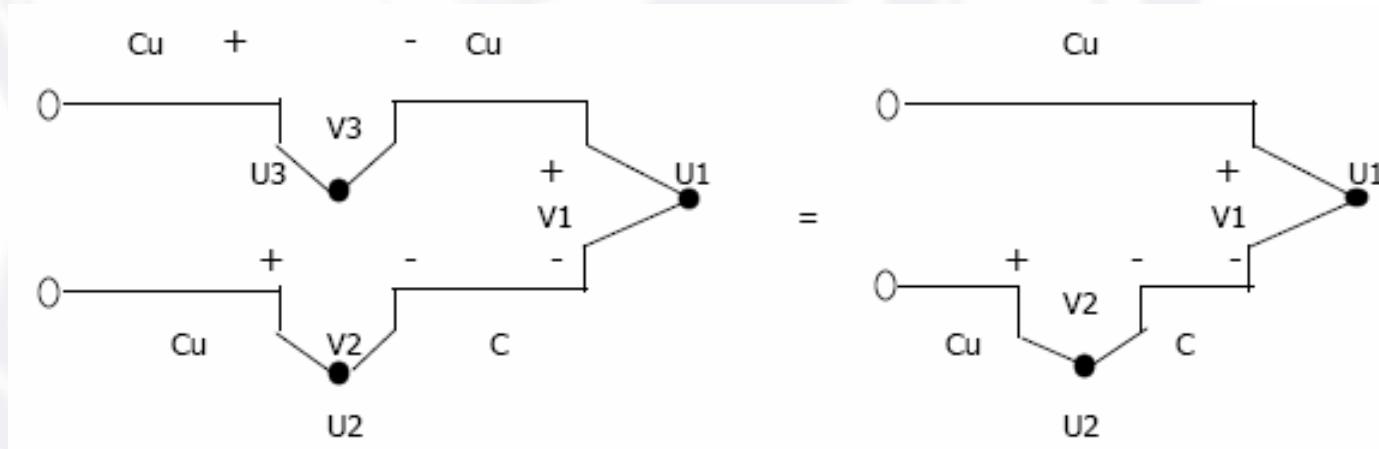


El circuito termoeléctrico equivalente que obtendríamos sería:



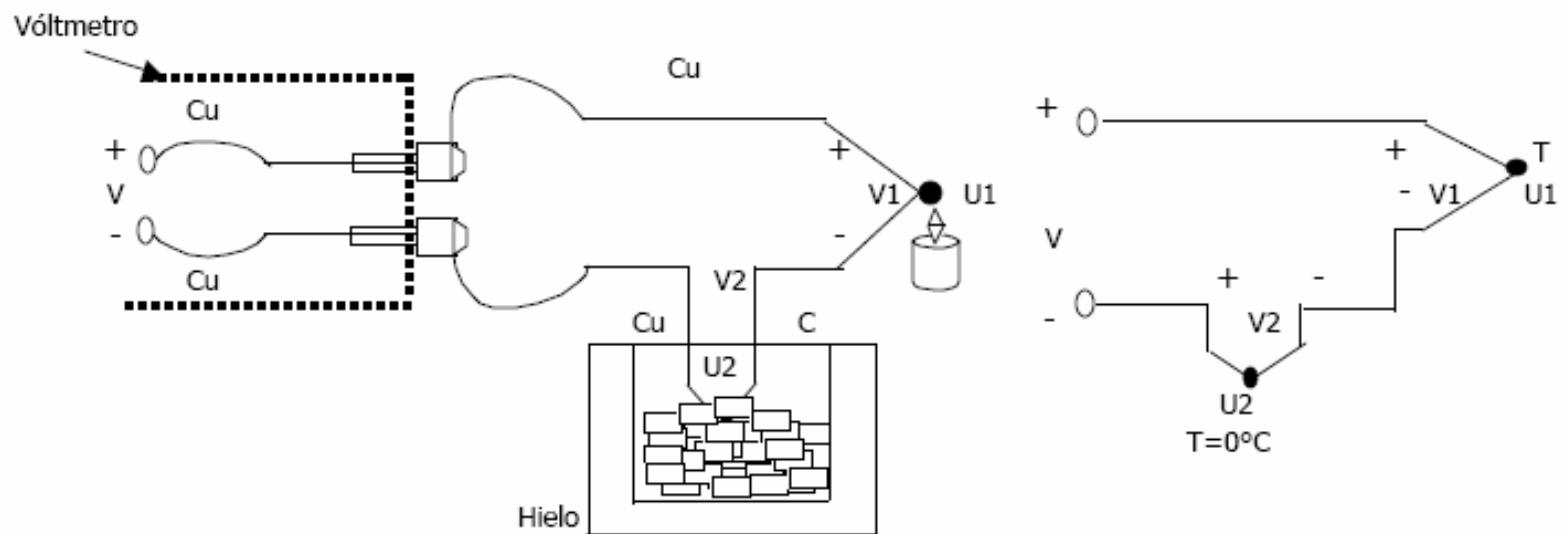


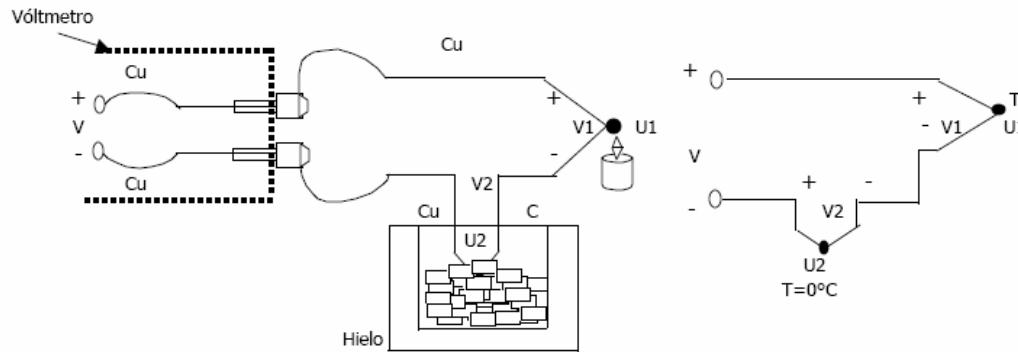
Quisiéramos conocer el valor de V_1 , pero al conectar el voltímetro estamos creando dos uniones más U_2 y U_3 . Debido a que U_3 es del mismo metal (cobre – cobre), la ddp es igual a cero volts ($V_3=0$). Sin embargo U_2 que es una unión de cobre – constan tan crea una V_2 en oposición a V_1 , por lo que la lectura resultante del voltímetro V será proporcional a la diferencia de temperaturas U_1 y U_2 . En otras palabras necesitamos conocer U_2 .





Una manera de determinar U_2 es colocar físicamente esta unión dentro un baño de hielo, forzando entonces a que su temperatura sea 0°C y estableciendo U_2 como la Unión de referencia (Unión fría).





- ✓ De esta forma, la lectura que da el voltímetro será ahora

$$V = V_1 - V_2 \cong \alpha (t_{U1} - t_{U2})$$

donde t_U es la temperatura de cada unión dada en grados Kelvin.

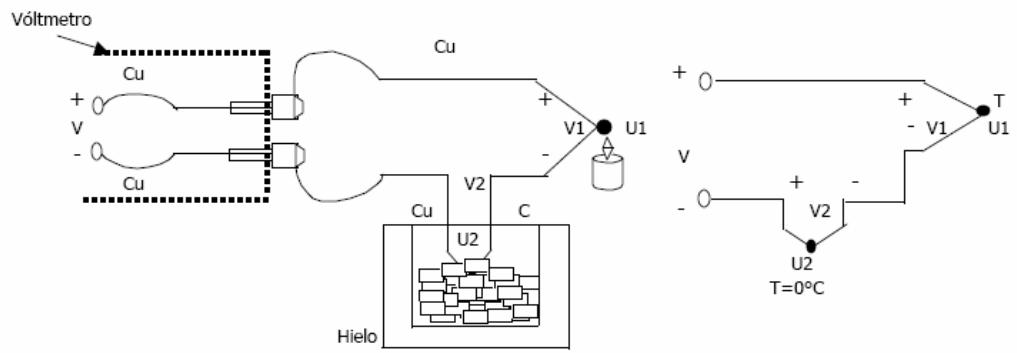
- ✓ Si se quiere expresar en grados Celsius:

$$V = V_1 - V_2 = \alpha [(T_{U1} + 273.15) - (T_{U2} + 273.15)] = \alpha (T_{U1} - T_{U2}) = \alpha (T_{U1} - 0)$$

con lo cual

$$V = \alpha \cdot T_{U1}$$

siendo T la temperatura en grados centígrados.



$$V = \alpha \cdot T_{U_1}$$

De esta forma, la lectura V está referenciada respecto a la temperatura de la unión de referencia ($0\text{ }^{\circ}\text{C}$).

Este método es muy preciso pues la temperatura de punto de hielo de la unión de referencia puede ser controlada de una forma muy precisa. Ello ha dado lugar a que el punto de hielo sea admitido como un punto de referencia fundamental por los organismos internacionales de normalización.

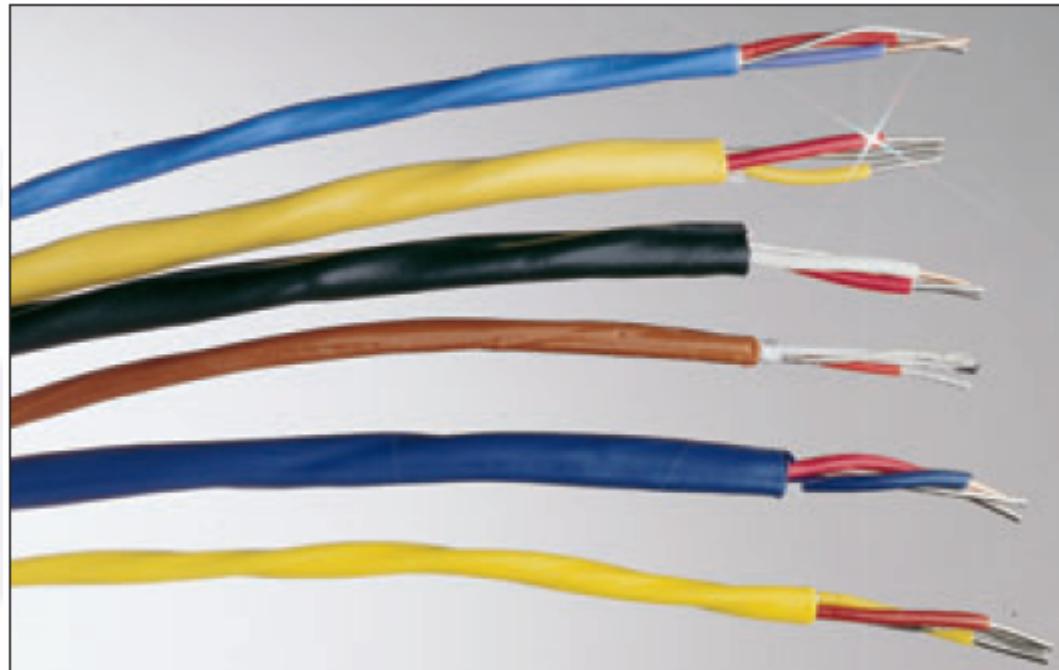
Existen tablas obtenidas experimentalmente en las que midiendo la tensión que aparece puede obtenerse la temperatura de la unión de medida T_{U_1} .

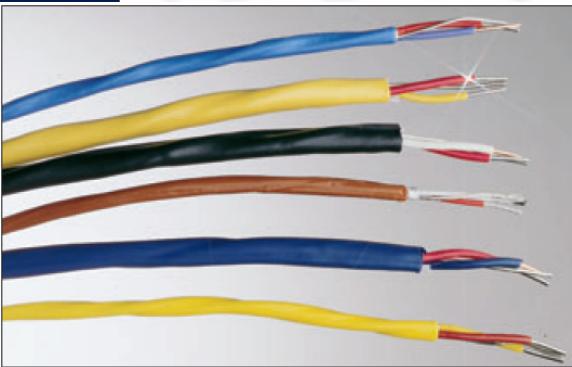


Termopares

Código de colores

El propósito es establecer uniformidad en la designación de los termopares y cables de extensión, por medio de colores en sus aislamientos e identificar su tipo o composición así como su polaridad.





Código ANSI	Combinación de la aleación		Código de color	
	+	-	Termopar	Extensión
E	Cromel níquel - cromo Ni-Cr	Constantan cobre - níquel Cu-Ni	 + -	 + -
J	hierro Fe	Constantan cobre - níquel Cu-Ni	 + -	 + -
T	cobre Cu	Constantan cobre - níquel Cu-Ni	 + -	 + -
K	Cromel níquel - cromo Ni-Cr	Alumel níquel - aluminio Ni-Al	 + -	 + -
N	Nicrosil níquel - cromo - silicio Ni-Cr-Si	Nisil níquel - silicio - magnesio Ni-Si-Mg	 + -	 + -
R	platino - 13% rodio Pt-13% Rh	platino Pt	No establecido	 + -
S	platino - 10% rodio Pt-10% Rh	platino Pt	No establecido	 + -
B	platino - 30% rodio Pt-30% Rh	platino - 6% rodio Pt-6% Rh	No establecido	 + -



Twisted Shielded Extension Grade Thermocouple Wire

UL Listed

TWSH-UL Wire

\$245

1000' Spool
Basic Unit

Spool Pricing

1. Determine price per 1000 ft. spool

2. Establish price per foot for the standard lengths available:

$$25 \text{ ft.} = \frac{\text{Price per 1000'}}{1000} \times 2.5$$

$$50 \text{ ft.} = \frac{\text{Price per 1000'}}{1000} \times 2$$

$$100 \text{ ft.} = \frac{\text{Price per 1000'}}{1000} \times 1.75$$

$$200 \text{ ft.} = \frac{\text{Price per 1000'}}{1000} \times 1.5$$

$$500 \text{ ft.} = \frac{\text{Price per 1000'}}{1000} \times 1$$

$$1000 \text{ ft.} = \frac{\text{Price per 1000'}}{1000} \text{ (Net per ft)}$$

3. Multiply price per foot by spool length desired.

4. Round price to the nearest dollar.

Example:

50 ft. spool of type EX wire, 16 gage (EXPP-E-16-TWSH-UL:
Price = \$685 for 1000'): $\frac{\$685 \times 2}{1000} = \1.37 per foot,

$$\$1.37 \times 50 \text{ ft.} = \$68.50 \text{ or} \\ \$69.00 \text{ 50 ft spool}$$

Extension Grade
CHROMEGA®-
ALOMEGA®
Duplex
ANSI Type KX



IN STOCK FOR FAST OFF-THE-SHELF DELIVERY!



Use with Low Noise Thermocouple Probe Shown in Section A:
CTM055-002C-8, Low Noise Miniature Thermocouple, 827

- ✓ UL Listed Type PLTC,
300 V; Listed Under UL
Subject 13, File E153789
- ✓ Extruded PVC Single
Conductor and
Duplex Insulation
- ✓ Aluminized Polyester
Shield with Drain Wire
Reduces Electrical
Noise
- ✓ ANSI Color Coded
- ✓ Resistant to Moisture,
Abrasion, Chemicals,
and UV Light
- ✓ Optional Stainless Steel
and Tinned Copper Wire
Overbraiding

ANSI Color Code: Positive Wire, Yellow;
Negative Wire, Red; Overall, Yellow

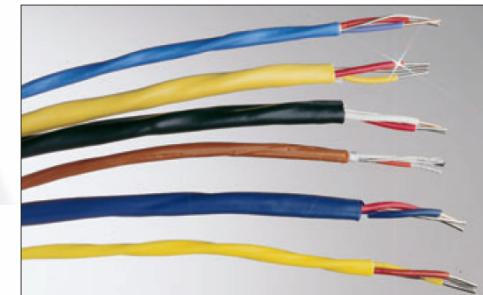
**FOR LONGER LENGTHS
CONSULT SALES FOR PRICE
AND DELIVERY!**

Model Number	AWG	Bare Conductor Diameter		Nominal Insulation Thickness				Nominal Overall Size		Approx. Ship Wt. lb/1000' spool	Price/ 1000 ft
		inches	mm	Conductor	Overall	inches	mm	inches	mm		
EXPP-K-16-TWSH-UL	16	0.051	1.29	0.020	0.026	0.035	0.669	0.255	0.50	49	9575
EXPP-K-18S-TWSH-UL	18S	0.060	1.52	0.020	0.026	0.035	0.669	0.275	0.58	50	1065
EXPP-K-20-TWSH-UL	20	0.062	0.613	0.015	0.021	0.035	0.669	0.195	0.50	28	350
EXPP-K-20S-TWSH-UL	20S	0.062	0.615	0.015	0.021	0.035	0.669	0.110	0.33	30	600

Note: Overbraiding wire included. UL Rating: Ordering Example: 1000' of type EXPP-K-16-TWSH-UL extension grade thermocouple wire, 16 gage, type K, listed as above, UL listed 24875.



Termopares



Extension Grade
CHROMEGA®-
ALOMEGA®
 Duplex
 ANSI Type KX



ANSI Color Code: Positive Wire, Yellow;
 Negative Wire, Red; Overall, Yellow

Model Number	AWG	Bare Conductor Diameter		Nominal Insulation Thickness				Nominal Overall Size		Approx. Ship Wt lb/1000' spool	Price/ 1000 ft		
				Conductor		Overall							
		Inches	mm	inches	mm	inches	mm	inches	mm				
EXPP-K-16-TWSH-UL	16	0.051	1.29	0.020	0.508	0.035	0.889	0.256	6.50	49	\$675		
EXPP-K-16S-TWSH-UL	16S	0.060	1.52	0.020	0.508	0.035	0.889	0.275	6.98	50	1095		
EXPP-K-20-TWSH-UL	20	0.032	0.813	0.015	0.381	0.035	0.889	0.198	5.03	28	350		
EXPP-K-20S-TWSH-UL	20S	0.038	0.965	0.015	0.381	0.035	0.889	0.210	5.33	30	600		

Extension Grade
CHROMEGA®/Constantan
 Duplex
 ANSI Type EX

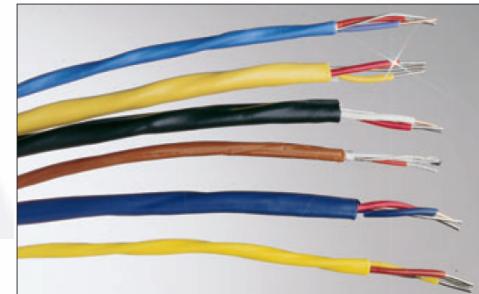


ANSI Color Code: Positive Wire, Purple;
 Negative Wire, Red; Overall, Purple

Model Number	AWG	Bare Conductor Diameter		Nominal Insulation Thickness				Nominal Overall Size		Approx. Ship Wt lb/1000' spool	Price/ 1000 ft		
				Conductor		Overall							
		Inches	mm	inches	mm	inches	mm	inches	mm				
EXPP-E-16-TWSH-UL	16	0.051	1.29	0.020	0.508	0.035	0.889	0.256	6.50	49	\$685		
EXPP-E-16S-TWSH-UL	16S	0.060	1.52	0.020	0.508	0.035	0.889	0.275	6.98	50	1110		
EXPP-E-20-TWSH-UL	20	0.032	0.813	0.015	0.381	0.035	0.889	0.198	5.03	28	615		
EXPP-E-20S-TWSH-UL	20S	0.038	0.965	0.015	0.381	0.035	0.889	0.210	5.33	24	620		



Termopares



Extension Grade
Iron/Constantan
Duplex
ANSI Type JX

JX

ANSI Color Code: Positive Wire, White;
Negative Wire, Red; Overall, Black

Model Number	AWG	Bare Conductor Diameter		Nominal Insulation Thickness				Nominal Overall Size		Approx. Ship Wt lb/1000' spool	Price/ 1000 ft
				Conductor		Overall					
		inches	mm	inches	mm	inches	mm	inches	mm		
EXPP-J-16-TWSH-UL	16	0.051	1.29	0.020	0.508	0.035	0.889	0.256	6.50	49	\$460
EXPP-J-16S-TWSH-UL	16S	0.060	1.52	0.020	0.508	0.035	0.889	0.275	6.98	50	765
EXPP-J-20-TWSH-UL	20	0.032	0.813	0.015	0.381	0.035	0.889	0.198	5.03	28	240
EXPP-J-20S-TWSH-UL	20S	0.038	0.965	0.015	0.381	0.035	0.889	0.210	5.33	30	380

Extension Grade
Copper/Constantan
Duplex
ANSI Type TX

TX

ANSI Color Code: Positive Wire, Blue;
Negative Wire, Red; Overall, Blue

Model Number	AWG	Bare Conductor Diameter		Nominal Insulation Thickness				Nominal Overall Size		Approx. Ship Wt lb/1000' spool	Price/ 1000 ft
				Conductor		Overall					
		inches	mm	inches	mm	inches	mm	inches	mm		
EXPP-T-16-TWSH-UL	16	0.051	1.29	0.020	0.508	0.035	0.889	0.256	6.50	49	\$460
EXPP-T-16S-TWSH-UL	16S	0.060	1.52	0.020	0.508	0.035	0.889	0.275	6.98	50	765
EXPP-T-20-TWSH-UL	20	0.032	0.813	0.015	0.381	0.035	0.889	0.198	5.03	28	240
EXPP-T-20S-TWSH-UL	20S	0.038	0.965	0.015	0.381	0.035	0.889	0.210	5.33	24	380

