

## Transductores de temperatura

### INTRODUCCION

Es fácil realizar medidas de la temperatura con un sistema de adquisición de datos, pero la realización de medidas de temperatura *exactas y repetibles* no es tan fácil.

La temperatura es un factor de medida engañoso debido a su simplicidad. A menudo pensamos en ella como un simple número, pero en realidad es una estructura estadística cuya exactitud y repetitividad pueden verse afectadas por la masa térmica, el tiempo de medida, el ruido eléctrico y los algoritmos de medida. Esta dificultad se puso claramente de manifiesto en el año 1990, cuando el comité encargado de revisar la Escala Práctica Internacional de Temperaturas ajustó la definición de una temperatura de referencia casi una décima de grado centígrado. (Imaginemos lo que ocurriría si descubriéramos que a toda medida que obtenemos normalmente le falta una décima de amperio.)

Dicho de otra forma, la temperatura es difícil de medir con exactitud aún en circunstancias óptimas, y en las condiciones de prueba en entornos reales es aún más difícil. Entendiendo las ventajas y los inconvenientes de los diversos enfoques que existen para medir la temperatura, resultará más fácil evitar los problemas y obtener mejores resultados.

En el siguiente informe se comparan los cuatro tipos más corrientes de transductores de temperatura que se usan en los sistemas de adquisición de datos: detectores de temperatura de resistencia (RTD), termistores, sensores de IC y termopares. La elección de los transductores de temperatura adecuados y su correcta utilización puede marcar la diferencia entre unos resultados equívocos y unas cifras fiables. Los termopares son los sensores más utilizados pero normalmente se usan mal. Por eso vamos a dedicar una atención especial a estos dispositivos.

Una vez conocido la forma en que operan cada tipo de transductor de temperatura se analizarán las especificaciones técnicas de los mismos (de manera comercial) para determinar cuáles son los factores más importantes a considerar para la elección de los mismos.

### Conceptos Básicos Transductores de Temperatura

**Los transductores eléctricos de temperatura utilizan diversos fenómenos que son influidos por la temperatura y entre los cuales figuran:**

- • Variación de resistencia en un conductor (sondas de resistencia).
- • Variación de resistencia de un semiconductor (termistores).
- • f.e.m. creada en la unión de dos metales distintos (termopares).
- • Intensidad de la radiación total emitida por el cuerpo (pirómetros de radiación).
- • Otros fenómenos utilizados en laboratorio (velocidad del sonido en un gas, frecuencia de resonancia de un cristal, etc.).

**Los metales puros** tienen un coeficiente de resistencia de temperatura positivo bastante constante. **El coeficiente de resistencia de temperatura**, generalmente llamado **coeficiente de temperatura** es la razón de cambio de resistencia al cambio de temperatura. *Un coeficiente positivo* significa que la resistencia aumenta a medida que aumenta la temperatura. *Si el coeficiente es constante*, significa que el factor de proporcionalidad entre la resistencia y la temperatura es constante y que la resistencia y la temperatura se graficarán en una línea recta.

Quando se usa un alambre de metal puro para la medición de temperatura, se le refiere como *detector resistivo de temperatura*, o *RTD* (por las siglas en inglés de resistive temperature detector).

Quando se usan **óxidos metálicos** para la medición de temperatura, el material de óxido metálicos conformado en forma que se asemejan a pequeños bulbos o pequeños capacitores. El dispositivo formado así se llama *Termistor*. **Los termistores** tienen coeficientes de temperatura negativos grandes que no son constantes. En otras palabras, el cambio de resistencia por unidad de cambio de temperatura es mucho mayor que para el metal

puro, pero el cambio es en la otra dirección: la resistencia disminuye a medida que se aumenta la temperatura. El hecho de que el coeficiente no sea constante significa que el cambio en la resistencia por unidad de cambio de temperatura es diferentes a diferentes temperaturas.

La linealidad extrema de los termistores los hace poco apropiados para la medición de temperatura a través de rangos amplios. Sin embargo, para la medición de temperaturas dentro de bandas angostas, están muy bien dotados, pues dan una gran respuesta a un cambio de temperatura pequeño.

Como regla general, los termistores son preferibles cuando la banda de temperaturas esperada es angosta, mientras que los RTD son preferibles cuando la banda de temperatura esperada es amplia.

### Con tantos transductores, ¿con cuál nos quedamos?

Ningún transductor es el mejor en todas las situaciones de medida, por lo que tenemos que saber cuándo debe utilizarse cada uno de ellos. Como podemos ver, en la Tabla 1 se están comparando los cuatro tipos de transductores de temperatura más utilizados, y refleja los factores que deben tenerse en cuenta: las prestaciones, el alcance efectivo, el precio y la comodidad.

	<b>RTD</b>	<b>Termistor</b>	<b>Sensor de IC</b>	<b>Termopar</b>
<b>Ventajas</b>	Más estable.  Más preciso.  Más lineal que los Termopares.	Alto rendimiento  Rápido  Medida de dos hilos	El más lineal  El de más alto rendimiento  Económico	Autoalimentado  Robusto  Económico  Amplia variedad de formas físicas  Amplia gama de temperaturas
<b>Desventajas</b>	Caro.  Lento.  Precisa fuente de alimentación.  Pequeño cambio de resistencia.  Medida de 4 hilos  Autocalentable	No lineal.  Rango de Temperaturas limitado.  Frágil.  Precisa fuente de alimentación.  Autocalentable	Limitado a < 250 °C  Precisa fuente de alimentación  Lento  Autocalentable  Configuraciones limitadas	No lineal  Baja tensión  Precisa referencia  El menos estable  El menos sensible

Un análisis más detallado de cada uno de estos cuatro tipos nos ayudará a entender las diferencias.

## TIPOS DE TRANSDUCTORES DE TEMPERATURA

### Termómetros de Resistencia

La medida de temperatura utilizando sondas de resistencia depende de las características de resistencia en función de la temperatura que son propias del elemento de detección.

El elemento consiste usualmente en un arrollamiento de hilo muy fino del conductor adecuado bobinado entre capas de material aislante y protegido con un revestimiento de vidrio o de cerámica.

El material que forma el conductor se caracteriza por el llamado "**coeficiente de temperatura de resistencia**" que expresa, a una temperatura especificada, la variación de la resistencia en ohmios del conductor por cada grado que cambia su temperatura.

La relación entre estos factores puede verse en la expresión lineal siguiente:

$$R_t = R_0 (1 + \alpha t)$$

En la que:

$R_0$  = Resistencia en ohmios a 0°C.

$R_t$  = Resistencia en ohmios t °C.

$\alpha$  = Coeficiente de temperatura de la resistencia.

**El detector de temperatura de resistencia (RTD)** se basa en el principio según el cual la resistencia de todos los metales depende de la temperatura. La elección del platino en los RTD de la máxima calidad permite realizar medidas más exactas y estables hasta una temperatura de aproximadamente 500 °C. Los RTD más económicos utilizan níquel o aleaciones de níquel, pero no son tan estables ni lineales como los que emplean platino.

En cuanto a las desventajas, el platino encarece los RTD, y otro inconveniente es el autocalentamiento. Para medir la resistencia hay que aplicar una corriente, que, por supuesto, produce una cantidad de calor que distorsiona los resultados de la medida.

Una tercera desventaja, que afecta al uso de este dispositivo para medir la temperatura, es la resistencia de los RTD. Al ser tan baja, la resistencia de los hilos conductores que conectan el RTD puede provocar errores importantes. En la denominada técnica de dos hilos (Figura 1a), la resistencia se mide en los terminales del sistema de adquisición de datos, por lo que la resistencia de los hilos forma parte de la cantidad desconocida que se pretende medir. Por el contrario, la técnica de cuatro hilos (Figura 1b) mide la resistencia en los terminales del RTD, con lo cual la resistencia de los hilos queda eliminada de la medida. La contrapartida es que se necesita el doble de cables y el doble de canales de adquisición de datos. (La técnica de tres hilos ofrece una solución intermedia que elimina un cable, pero no es tan precisa.)

= Coeficiente de temperatura de la resistencia.

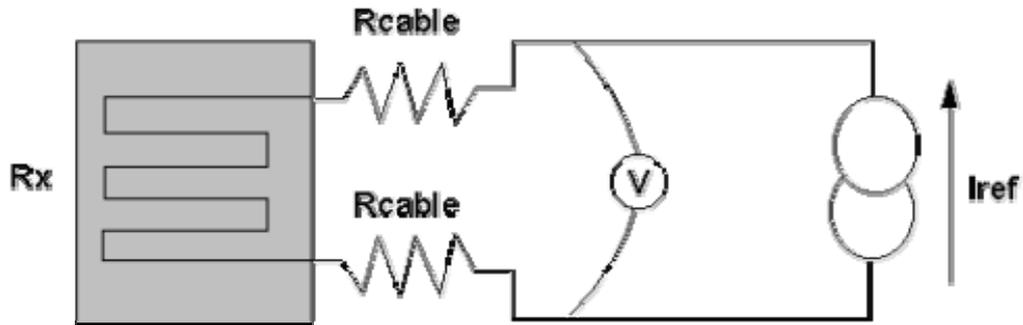


Figura 1a

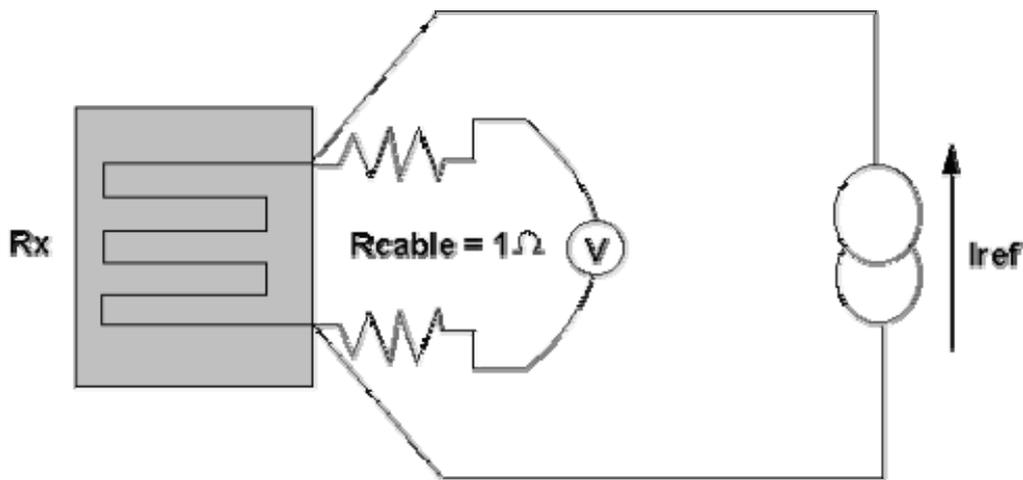


Figura 1b

## Termistores

Los Termistores son semiconductores electrónicos con un coeficiente de temperatura de resistencia negativo de valor elevado y que presentan una curva característica lineal tensión-corriente siempre que la temperatura se mantenga constante.

La relación entre la resistencia y la temperatura viene dada por la expresión.

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

En la que:

$R_t$  = Resistencia en ohmios a la temperatura absoluta  $T_t$ .

$R_0$  = Resistencia en ohmios a la temperatura absoluta de referencia  $T_0$ .

$\beta$  = constante dentro de un intervalo moderado de temperaturas.

Hay que señalar que para obtener una buena estabilidad en los termistores es necesario envejecerlos adecuadamente.

Los termistores se conectan a *puentes de Wheatstone* convencionales o a otros circuitos de medida de resistencia. En intervalos amplios de temperatura, los termistores tienen características no lineales. Al tener un alto coeficiente de temperatura poseen una mayor sensibilidad que las sondas de resistencia estudiadas y permiten incluso intervalos de medida de 1°C (span). Son de pequeño tamaño y su tiempo de respuesta depende de la capacidad térmica y de la masa del termistor variando de fracciones de segundo a minutos.

*La distancia entre el termistor y el instrumento de medida* puede ser considerable siempre que el elemento posea una alta resistencia comparada con la de los cables de unión. La corriente que circula por el termistor a través del circuito de medida debe ser baja para garantizar que la variación de resistencia del elemento sea debida exclusivamente a los cambios de temperaturas del proceso.

Los termistores encuentran su *principal aplicación* en la compensación de temperatura, como temporizadores y como elementos sensibles en vacuómetros.

Los termistores, que son detectores resistivos fabricados normalmente de semiconductores cerámicos, ofrecen una impedancia mucho más alta que los RTD, por lo que la reducción de los errores provocados por los hilos conductores hace bastante factible el uso de la técnica de dos hilos, que es más sencilla. Su alto rendimiento (un gran cambio de resistencia con un pequeño cambio de temperatura) permite obtener medidas de alta resolución y reduce aún más el impacto de la resistencia de los hilos conductores. Por otra parte, la bajísima masa térmica del termistor minimiza la carga térmica en el dispositivo sometido a prueba.

No obstante, la baja masa térmica también plantea un inconveniente, que es la posibilidad de un mayor autocalentamiento a partir de la fuente de alimentación utilizada en la medida. Otro inconveniente del termistor es su falta de linealidad, que exige un algoritmo de linealización para obtener unos resultados aprovechables.

## Sensores de IC

Los sensores de circuitos integrados resuelven el problema de la linealidad y ofrecen altos niveles de rendimiento. Son, además, relativamente económicos y bastante precisos a temperatura ambiente.

Sin embargo, los sensores de IC no tienen tantas opciones de configuraciones del producto o de gama de temperaturas, y además son dispositivos activos, por lo que requieren una fuente de alimentación.

Los sensores de IC forman parte de la tendencia hacia los "sensores inteligentes", que son unos transductores cuya inteligencia incorporada facilita las actividades de reducción y análisis de datos que el usuario debe realizar normalmente en el sistema de adquisición de datos.

## Termopares

Los termopares se utilizan extensamente, ya que ofrecen una gama de temperaturas mucho más amplia y una construcción más robusta que otros tipos. Además, no precisan alimentación de ningún tipo y su reducido precio los convierte en una opción muy atractiva para grandes sistemas de adquisición de datos. Sin embargo, para superar algunos de los inconvenientes inherentes a los termopares y obtener resultados de calidad, es importante entender la naturaleza de estos dispositivos.

Estudios realizados sobre el comportamiento de termopares han permitido establecer tres leyes fundamentales:

- I. **Ley del circuito homogéneo.** En un conductor metálico homogéneo no puede sostenerse la circulación de una corriente eléctrica por la aplicación exclusiva de calor.
- II. **Ley de metales intermedios.** Si en un circuito de varios conductores la temperatura es uniforme desde un punto de soldadura A a otro punto B, la suma algebraica de todas las fuerzas electromotrices es totalmente independiente de los conductores metálicos intermedios y es la misma que si se pusieran en contacto directo A y B.

- III. **Ley de las temperaturas sucesivas.** La f.e.m. generada por un termopar con sus uniones a las temperaturas  $T_1$   $T_3$  es la suma algebraica de la f.e.m. del termopar con sus uniones a  $T_1$   $T_2$  de la f.e.m. del mismo termopar con sus uniones a las temperaturas  $T_2$   $T_3$ .

### Cómo funcionan los Termopares

El comportamiento de un termopar se basa en la teoría del gradiente, según la cual los propios hilos constituyen el sensor. La Figura 2A ilustra este concepto. Cuando se calienta uno de los extremos de un hilo, le produce una tensión que es una función de (A) el gradiente de temperatura desde uno de los extremos del hilo al otro, y (B) el coeficiente de Seebeck, una constante de proporcionalidad que varía de un metal a otro.

Un termopar se compone sencillamente de dos hilos de diferentes metales unidos en un extremo y abiertos en el otro (Figura 2b). La tensión que pasa por el extremo abierto es una función tanto de la temperatura de la unión como de los metales utilizados en los dos hilos. Todos los pares de metales distintos presentan esta tensión, denominada tensión de Seebeck en honor a su descubridor, Thomas Seebeck.

Figura 2a

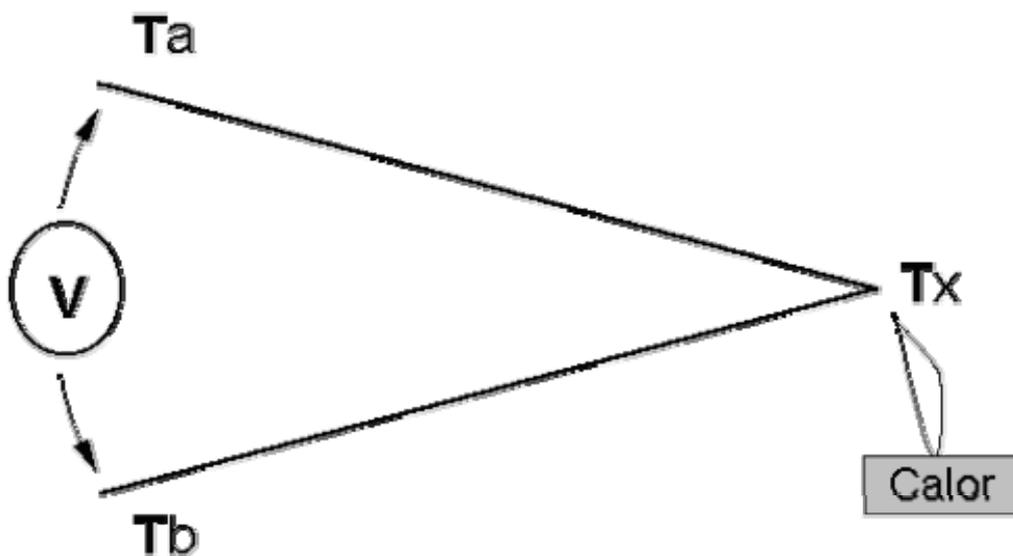


Figura 2b

En pequeñas gamas de temperaturas, los coeficientes de Seebeck de los dos hilos son constantes y la tensión de Seebeck es, por consiguiente, proporcional, pero en gamas más grandes, el propio coeficiente de Seebeck es una función de la temperatura, convirtiendo la tensión de Seebeck en no lineal. Como consecuencia, las tensiones del termopar también tienden a ser no lineales.

Los RTD, termistores y sensores de IC miden todos ellos temperaturas absolutas, pero el termopar mide solamente temperaturas relativas, y el motivo resulta obvio cuando pensamos en la conexión de un termopar a un voltímetro o a un sistema de adquisición de datos. Supongamos que estamos utilizando un termopar Tipo J, que es el más normal y consiste en un hilo de hierro y otro de constantan (una aleación con un 45% de níquel y un 55% de cobre). ¿Qué ocurrirá cuando conectemos los dos hilos conductores de prueba, que probablemente sean de cobre? Que crearemos otros dos termopares (Figura 3), cada uno de los cuales aportará una tensión al circuito, con lo que tendremos tres termopares y tres temperaturas desconocidas.

La solución clásica a este dilema consiste en añadir un termopar opuesto y una unión de referencia a una temperatura conocida (Figura 4). En este ejemplo, el termopar opuesto es otra unión de cobre y hierro equivalente a la unión de cobre y hierro que hemos creado al añadir un hilo conductor de cobre al hilo conductor

de hierro del termopar "real". Estas dos uniones, si están aisladas en un bloque isotérmico (temperatura constante), se anularán mutuamente.

Ahora tenemos sólo dos uniones, la unión original del termopar ( $T_x$ ) y la de referencia ( $T_{ref}$ ) que acabamos de añadir. Si conocemos la temperatura de la unión de referencia, podremos calcular  $T_x$ . (Muchos sistemas de adquisición de datos y muchos voltímetros que efectúan medidas con un termopar realizan este cálculo de forma automática.)

Lamentablemente, la naturaleza de la temperatura dificulta un poco las cosas en este caso, ya que hay muy pocos puntos de referencia prácticos y económicos para la temperatura. Los puntos de congelación y ebullición del agua, a 0 y a 100° C respectivamente, son prácticamente los únicos asequibles que nos ofrecen la Madre Naturaleza. Una forma habitual de determinar la temperatura de  $T_{ref}$  es introducir físicamente la unión en un baño de hielo, forzando la temperatura a 0° C. De hecho, todas las tablas de termopares utilizan un baño de hielo como referencia.

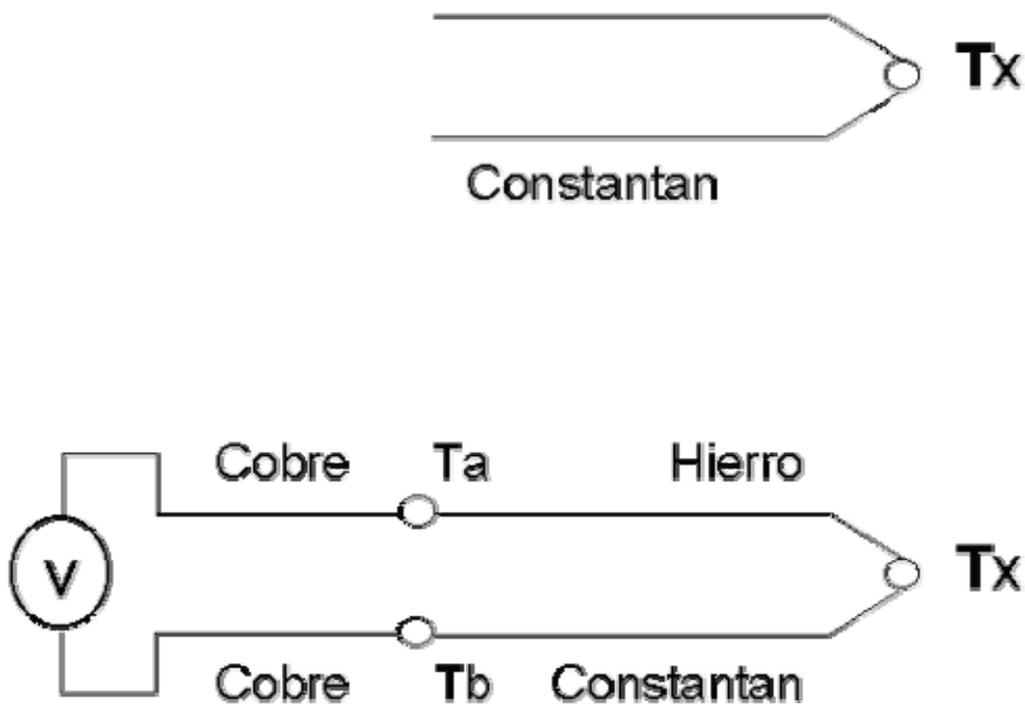


Figura 3

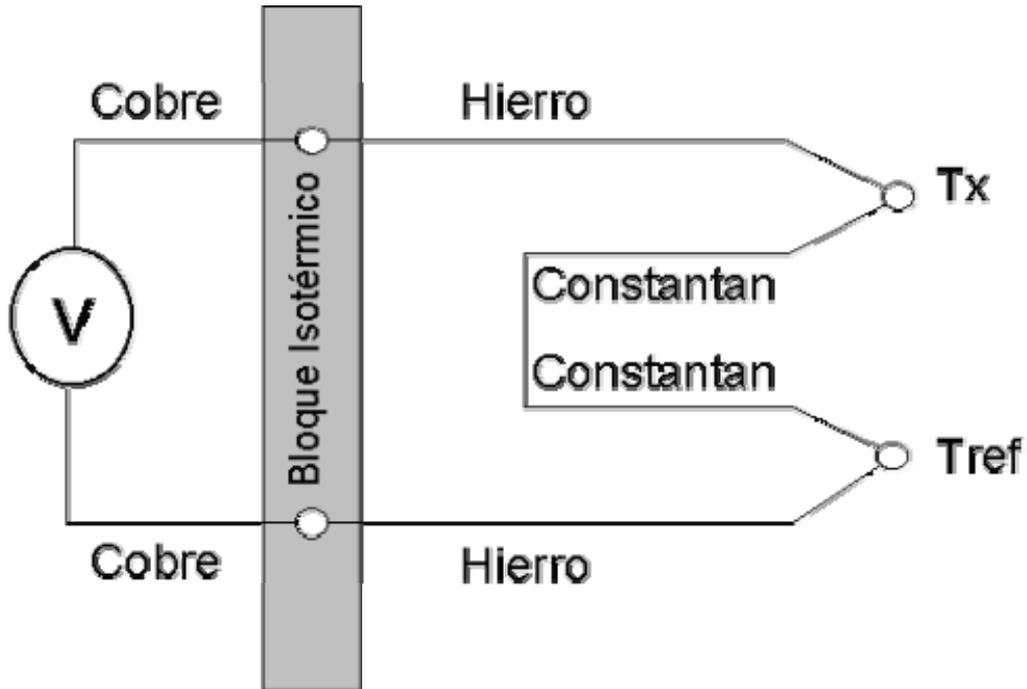


Figura 4

El enfoque del baño de hielo ofrece lecturas exactas, pero no es precisamente el accesorio más indicado para un sistema de adquisición de datos y, además, seguimos teniendo que conectar dos termopares. El primer paso hacia la simplificación es eliminar el baño de hielo. Si medimos Tref con un dispositivo de medida de temperaturas absolutas (como por ejemplo un RTD) y compensamos el resultado matemáticamente, no tenemos necesidad de forzarlo a 0° C.

El siguiente paso es eliminar el segundo termopar (Figura 5). Ampliando el bloque isotérmico para incluir Tref, ajustamos la temperatura del bloque isotérmico a Tref (puesto que los otros dos termopares del bloque siguen anulándose mutuamente).

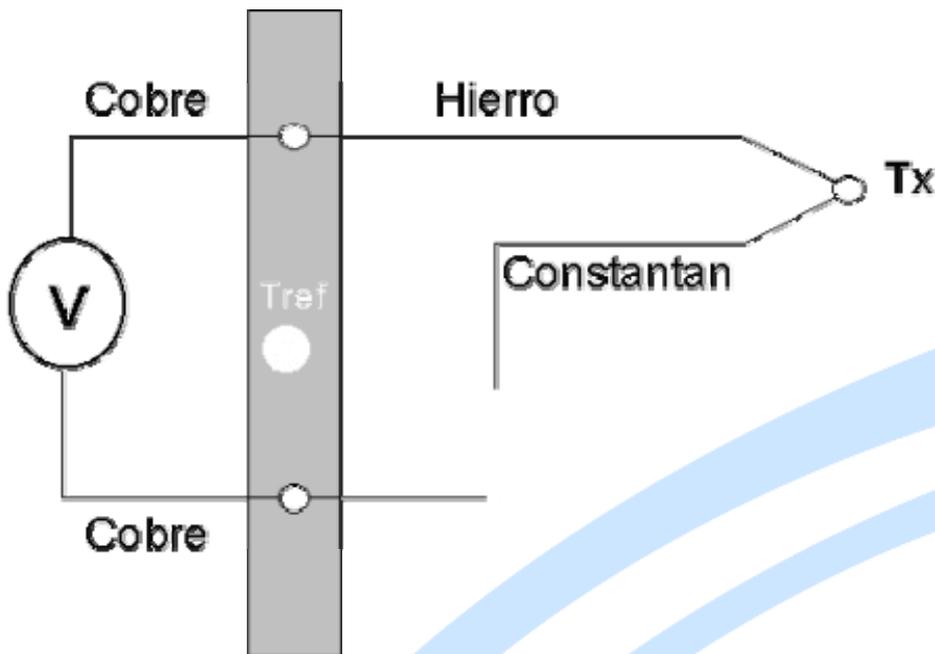


Figura 5

La determinación de Tref es cuestión de medir la temperatura del bloque isotérmico con el RTD o con otro cualquier dispositivo de medida de temperaturas absolutas.

Tref es una de las dos cantidades que necesitamos conocer para calcular Tx. La otra es V, que medimos con el sistema de adquisición de datos (o voltímetro). Aplicando la fórmula  $V = (Tx - Tref)$ , podemos calcular tensiones equivalentes para los dos valores de temperatura y a continuación restar para determinar el valor de Tx.

En realidad, no queremos hacer el cálculo nosotros mismos, ya que el coeficiente no lineal de Seebeck convierte esta tarea en un trabajo rutinario. Como hemos dicho anteriormente, los voltímetros y los sistemas de adquisición de datos que efectúan medidas con termopares se encargan a menudo de realizar el cálculo.

A propósito, los coeficientes de Seebeck y las tensiones de salida resultantes son números *pequeños* (ver la Tabla 2), por lo que resulta difícil medir con exactitud tanto los niveles absolutos como los cambios relativos. En este punto el ruido eléctrico puede alterar la precisión de las medidas de temperatura. El acoplamiento magnético y electrostático se reduce utilizando cable de par trenzado, reduciendo al mínimo la longitud de los hilos conductores y permaneciendo alejado de campos magnéticos y eléctricos intensos. Por último, pero no por ello menos importante, se necesita instrumentación capaz de realizar medidas de bajo nivel limpias.

#### Coeficiente de Seebeck

Tipo de Termopar	a 0 °C	a 100 °C	Tensión de salida a 100 °C
B	-0,25 V/C	0,90 V/C	0,033 mV
E	58,7 V/C	67,5 V/C	6,32 mV
J	50,4 V/C	54,4 V/C	5,27 mV
K	39,5 V/C	41,4 V/C	4,10 mV
S	5,40 V/C	7,34 V/C	0,65 mV

**Tabla .** Coeficientes de Seebeck y tensiones de salida para los termopares utilizados habitualmente. Las dos cifras que representan los coeficientes para cada uno de los tipos muestran la no linealidad a través de una amplia gama de temperaturas.

Un asunto adicional muy importante en **el uso de termopares en la industria** tiene que ver con la variación de la temperatura ambiente en las uniones frías. Esta es la situación: si supiéramos de antemano la temperatura de las uniones frías, entonces en lugar de relacionar la lectura del voltímetro con la diferencia de temperatura, se podría relacionarla con la temperatura de la unión caliente misma. Esto sería posible pues podríamos construir las tablas de temperatura contra voltaje para que reflejaran el hecho de que las uniones frías están a una cierta *temperatura de referencia* (como se le denomina) conocida.

#### Ejemplo:

Considere un termopar tipo J. A una diferencia de temperatura de 400 °F, el voltaje de la malla del termopar es de 12 mV. Si se supiera que la unión fría siempre estará, digamos a 75 °F, entonces podríamos concluir que un voltaje de la malla de 12 mV representaría una temperatura de la unión caliente de 475 °F

(475 °F - 75 °F = 400 °F).

Mientras la unión fría se mantuviera constantemente a la temperatura de referencia de 75 °F se podría ir directamente a la tabla del termopar y sumar 75 °F a cada lectura de diferencia de temperatura. El valor de temperatura resultante entonces representaría la temperatura de la unión caliente.

De hecho, esto es exactamente lo que se hace en las tablas de termopares industriales. La cifra de 75 °F se ha escogido porque representa una estimación bastante razonable de la temperatura ambiental promedio en una instalación industrial. (En las tablas de termopares para uso de laboratorio, se considera normalmente que la temperatura de referencia es de 32 °F, el punto de congelación del agua)

Para que el enfoque anterior funcione adecuadamente, la unión fría debe mantenerse constantemente a la temperatura de referencia de 75 °F. Esto por lo general es impráctico, a menos que el dispositivo de medición de temperatura esté colocado en un cuarto con aire acondicionado. Con toda seguridad, el equipo de medición estará ubicado junto con el equipo industrial y la maquinaria. La temperatura ambiente podrá variar con facilidad de unos 50°F en el invierno a unos 100 °F en el verano. Son comunes los cambios de estación aún mayores en la temperatura ambiente. Debido a esta variación en la temperatura de la unión fría, las mallas de termopares industriales deben ser *compensados*

### Datos Técnicos de Referencia de las Termopares

Thermocouple Type	Names of Materials	Useful Application Range (°F)	mV
<b>B</b>	Platinum30% Rhodium (+)	100 – 3270	0.007-13.499
	Platinum 6% Rhodium (-)		
<b>C</b>	W5Re Tungsten 5% Rhenium (+)	3000-4200	-
	W26Re Tungsten 26% Rhenium (-)		
<b>E</b>	Chromel (+)	32 – 1800	0 – 75.12
	Constantan (-)		
<b>J</b>	Iron (+)	-300 – 1600	-7.52 – 50.05
	Constantan (-)		
<b>K</b>	Chromel (+)	-300 – 2300	-5.51 – 51.05
	Alumel (-)		
<b>N</b>	Nicrosil (+)	1200-2300	-
	Nisil (-)		
<b>R</b>	Platinum 13% Rhodium (+)	32 - 2900	0 – 18.636
	Platinum (-)		
<b>S</b>	Platinum 10% Rhodium (+)	32 - 2800	0 – 15.979
	Platinum (-)		
<b>T</b>	Copper (+)	-300 – 750	-5.28 – 20.80
	Constantan (-)		

### Códigos de color de los Termopares

El alambrado de las termocuplas esta codificado dependiendo del tipo. Diferentes países utilizan códigos diferentes para los colores. Las códigos más comunes son:



#### United States ASTM:



#### British BS1843: 1952:



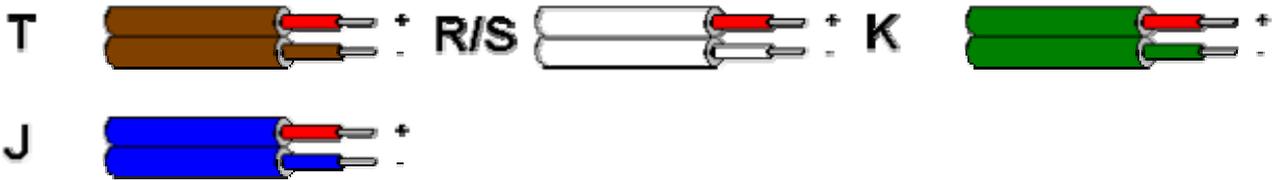
#### British BS4937: Part 30: 1993:



#### French NFE:



German DIN:



## Pirómetros de Radiación

**Los Pirómetros de radiación** se fundan en la ley de Stefan Boltzmann, que dice que la intensidad de energía radiante emitida por la superficie de un cuerpo aumenta proporcionalmente a la cuarta potencia de la temperatura absoluta del cuerpo, es decir,  $W=KT^4$ . En la figura se representa el gráfico de la energía radiante de un cuerpo a varias temperaturas en función de la longitud de onda. Desde el punto de vista de medición de temperaturas industriales, las longitudes de onda térmicas abarcan desde 0.1 micras para las radiaciones ultravioletas, hasta 12 micras para las radiaciones infrarrojas.

Los pirómetros de radiación miden, pues, la temperatura de un cuerpo a distancia en función de su radiación. Los instrumento que miden la temperatura de un cuerpo en función e la radiación luminosa que éste emite, se denominan pirómetros ópticos de radiación parcial o pirómetros ópticos y los que miden la temperatura captando toda o una gran parte de la radiación emitida por el cuerpo, se llaman pirómetros de radiación total.

## Pirometros Opticos

**Los pirómetros ópticos manuales** se basan en la desaparición del filamento de una lámpara al compararla visualmente con la imagen del objeto enfocado. Pueden ser de dos tipos:

- a. a. De corriente variable en la lámpara.
- b. b. De corriente constante en la lámpara con variación del brillo de la imagen de la fuente.

**Los pirómetros ópticos automáticos** son parecidos a los de radiación infrarrojos y consisten esencialmente en un disco rotativo que modula desfasadas la radiación del objeto y la de una lámpara estándar que inciden en fototubo multiplicador. Este envía una señal de salida en forma de onda cuadrada de impulsos de corriente continua que coinciden en brillo la radiación del objeto y la de la lámpara. En este momento la intensidad de corriente que pasa por la lámpara es función de la temperatura.

El factor de emisión de energía radiante depende mucho del estado de la superficie del cuerpo emisor; para un metal como el cobre pasa de 0,10 a 0,85 si el metal perfectamente cuenta con el valor de absorción de la superficie.

## **Pirómetros de Radiación Total**

El pirómetro de radiación total está formado por una lente de pyrex, sílice o fluoruro de calcio que concentra la radiación del objeto caliente en una termopila formada por varios termopares de Pt-Pt/Rd de pequeñas dimensiones y montado en serie. La radiación está enfocada incidiendo directamente en las uniones calientes de los termopares.

La f.e.m. que proporciona la termopila depende de la diferencia de temperaturas entre la unión caliente (radiación procedente del objeto enfocado) y la unión fría. Esta última coincide con la de la caja del pirómetro es decir, con la temperatura ambiente. La compensación de esta se lleva a cabo mediante una resistencia de níquel conectada en paralelo con los bornes de conexión del pirómetro.

La compensación descrita se utiliza para temperaturas ambientes máximas de 120°C. a mayores temperaturas se emplean dispositivos de refrigeración por aire o por agua, que disminuyen la temperatura de la caja en unos 10 a 40°C por debajo de la temperatura ambiente.

En la medición de bajas temperaturas la compensación se efectúa utilizando además una resistencia termostática adicional que mantiene constante la temperatura de la caja en unos 50°C, valor que es un poco más alto que la temperatura ambiente que pueda encontrarse y suficientemente bajo como para no reducir apreciablemente la diferencia de temperaturas útil.

El pirómetro puede apuntar al objeto bien directamente, bien a través de un tubo de mira abierto (se impide la llegada de radiación de otras fuentes extrañas) o cerrado (medida de temperatura en baños de sales para tratamientos térmicos, hornos).

Información obtenida de:

[www.cienciasmisticas.com.ar](http://www.cienciasmisticas.com.ar)