



---

**SISTEMA TERMOREGULATORIO**

**SENSORES DE TEMPERATURA**

**VARIABILIDAD DE LA FRECUENCIA CARDIACA**



## SISTEMA TERMORREGULATORIO

El organismo humano es homeotermo, lo cual significa que para mantener de una forma constante la temperatura corporal dentro de unos límites tan estrechos (de 36 a 37° C), necesita, ante elevaciones importantes de la temperatura exterior, poner en marcha una serie de mecanismos de termorregulación.

Ante un ejercicio muscular intenso se producen importantes cambios fisiológicos encaminados a disminuir la temperatura corporal y que consisten en una redistribución sanguínea hacia la piel (con pérdida de calor al exterior) y los músculos, con sobrecarga circulatoria y aumento de la frecuencia cardíaca; de la misma manera, ante un ambiente exterior frío se produce un aumento del flujo sanguíneo a través de la piel con pérdida de calor. Sin embargo, si la temperatura ambiental es igual o superior a la corporal, el único medio para disminuir la temperatura corporal es la evaporación por el sudor. El objetivo fundamental es que el organismo trata de refrigerarse en dichas circunstancias.

El sistema de termorregulación depende fundamentalmente de varios factores:

- ☞ La constitución del individuo, sobre todo, del grado de obesidad.
- ☞ La edad, siendo peor en ancianos y encamados.
- ☞ El entrenamiento del sujeto al calor: Adaptación conocida como aclimatación.
- ☞ El grado de humedad atmosférico: A más humedad aumenta la dificultad para absorber la sudoración producida.
- ☞ El viento: Al disminuir la aireación se dificulta la evaporación del sudor.
- ☞ La vestimenta: más perjudiciales las oscuras y gruesas.
- ☞ La existencia de enfermedades que dificultan la sudoración: diabetes, alteraciones cardíacas, pulmonares y renales.
- ☞ Enfermedades que cursan con aumento de la producción de calor: infecciones, hipertiroidismo y aquellas que se acompañan de fiebre.
- ☞ Consumo de ciertos fármacos: sedantes, anfetaminas y antidepresivos, fundamentalmente.
- ☞ Psicopatías y estados de etilismo agudo o crónico que disminuyen la tolerancia al calor excesivo.



## Control de temperatura del cuerpo humano

Como se mencionó anteriormente. Los seres humanos son homeotermos; el centro de control de temperatura está en el hipotálamo, donde se recibe, interpreta, procesa y emiten instrucciones para conservar y regular la función energética del organismo, resultado de fenómenos de combustión interna de elementos y su relación con la actividad corporal y medio ambiente.

El proceso de regulación térmica se cumple en tres etapas:

### 1. Detección térmica aferente

Al hipotálamo llega información proveniente de sensores de temperatura ubicados en el organismo de acuerdo al calor o frío.

*☞ Detectores de calor:* Se encuentran concentrados en las vísceras abdominales y médula espinal; están encargados de vigilar básicamente las partes internas y profundas del organismo, siendo activados por la temperatura de la sangre que los irriga. Sus impulsos comienzan a llegar al sistema nervioso central (SNC) por intermedio de las fibras C, en un rango de detección que va desde aproximadamente 32°C a 40°C.

*☞ Los sensores de frío:* Se encuentran vigilando el impacto del medio ambiente exterior sobre el cuerpo (piel); se activan alrededor de los 40°C y su nivel máximo de emisión está aproximadamente a 27°C, sus impulsos llegan al SNC a través de las fibras nerviosas A-delta.

### 2. Regulación central

De acuerdo a la información recibida, en el centro de control térmico y energético del hipotálamo se analizan los datos, incluso información cerebral para la ideal respuesta del programa termorregulador para mantener el punto set (37°C temperatura corporal) con un límite íter umbral que está alrededor de 0.5°C en condiciones normales, llegando a variar hasta 3.5°C bajo influencia de fármacos como anestésicos, función tiroidea, ingestión de alimentos, ritmo circadiano, incluso adaptación al calor y frío.



### **3. Respuesta eferente**

El centro de control en el hipotálamo envía órdenes hacia los diferentes puntos del organismo con el fin de favorecer o luchar contra las condiciones fuera del punto set.

Para mantener constante la temperatura del cuerpo, el organismo utiliza fundamentalmente dos sistemas:

#### **1. Vasodilatación**

Regulado por el hipotálamo, consiste en aumentar el riego sanguíneo en determinadas zonas, principalmente desde los órganos internos hacia la periferia. En condiciones de ejercicio intenso lo que ocurre es que se transmite el calor desde los órganos hacia los tejidos periféricos a través de la sangre, por medio de conducción y convección; y desde la sangre al exterior, mediante conducción y radiación. Todo este proceso se realiza gracias al gradiente de temperatura, el problema aparece cuando la temperatura ambiente es tan elevada como la temperatura de la piel o de la sangre, con lo que el gradiente es nulo y por lo tanto es muy costoso perder calor a través de este proceso.

Las consecuencias de una vasodilatación excesiva, pueden en primer lugar aumentar el flujo sanguíneo periférico, conlleva una disminución del riego en otros órganos de menor importancia durante el ejercicio; y en segundo lugar, y más relacionado con el rendimiento, encontramos que como consecuencia de este aumento de flujo sanguíneo periférico, se aumenta el gasto cardiaco, con lo que la FC se ve aumentada. En condiciones de calor extremo, podemos llegar a un punto en el cual a pesar de este aumento de la FC, haya una bajada de la presión arterial acompañada de un menor riego sanguíneo en los músculos activos, con la consecuente sensación de debilidad.

#### **2. Sudoración**

La sudoración responde a un sistema de termorregulación constituido, por una parte, por receptores a la temperatura ubicados en piel y en el interior del cuerpo. Estos receptores están conectados por vías aferentes nerviosas a un núcleo ubicado en el hipotálamo anterior. De allí, los impulsos eferentes son llevados a las glándulas sudoríparas a través del



sistema nervioso autónomo principalmente por vías parasimpáticas y un mediador colinérgico. Sin embargo, las glándulas pueden también aumentar su secreción por acción de la adrenalina, que es un agonista simpático.

### **Mecanismos para la pérdida de calor**

El hombre mantiene una temperatura corporal constante, pese a que en el exterior la temperatura sea tan baja como 12 °C o tan alta como 60 °C. Esta constancia es el resultado, como para tantas otras cosas, del balance entre entradas y salidas. El hombre PRODUCE calor como un resultado secundario de sus procesos metabólicos y lo debe PERDER en la misma cantidad. Para estas pérdidas dispone de 4 mecanismos básicos:

- ☞ Radiación
- ☞ Conducción
- ☞ Convección
- ☞ Evaporación

La radiación es el calor que es emitido por el cuerpo en forma de radiación infrarroja. Si la temperatura ambiente es mayor que la temperatura corporal, el cuerpo no perderá calor por radiación sino que lo ganará, ya que los cuerpos que lo rodean también la emiten.

La conducción del calor ocurre entre dos cuerpos en contacto directo y, para el caso del hombre, la mayor parte del calor se conduce por el aire que rodea su cuerpo. Sin embargo, si éste no se mueve, rápidamente adquiere la temperatura del cuerpo y no se pierde más calor por esta vía.

Si hay una corriente de aire, esta renovación del aire, que se llama convección, aporta aire "nuevo", con capacidad de conducir y el mecanismo de conducción vuelve a ser eficiente.

La evaporación es la transformación del agua en vapor y es el único que funciona a temperaturas ambientales superiores a los 37 °C, siempre que el aire no esté saturado de vapor de agua. Un ventilador no baja la temperatura ambiente, pero aumenta la convección y ayuda a la evaporación, permitiendo una mayor pérdida de calor por el cuerpo del sujeto.



En el momento en el cual la temperatura ambiental es mayor que la temperatura de la piel, el gradiente o diferencia entre las temperaturas es negativa, por lo que el cuerpo tenderá a ganar calor. En este caso, el único medio utilizado para perder calor es la evaporación del sudor.

La sudoración es muy importante para mantener constante la temperatura durante el ejercicio realizado a alta temperatura, pero una alta tasa de sudoración puede tener consecuencias negativas. En primer lugar, la tasa de sudoración puede alcanzar hasta los 2 l/h, lo cual, se relaciona con una pérdida importante de agua y la consecuente deshidratación, la cual conllevará un aumento de la viscosidad de la sangre provocando un descenso del volumen sistólico.

Otra consecuencia de una elevada tasa de sudoración durante periodos de tiempo prolongados, puede ser el descenso de la producción de orina. Durante una sudoración excesiva se observan alteraciones en el funcionamiento del riñón, detectándose una disminución de la filtración glomerular y un aumento de la reabsorción de agua y sodio. Todos estos procesos se ponen en funcionamiento como respuesta al descenso del volumen plasmático inducido por la alta tasa de sudoración.

### **Comportamiento del organismo desde un punto de vista térmico**

El ser humano mantiene un equilibrio térmico a través de mecanismos reguladores internos que permiten conservar su temperatura basal en 37 °C con pequeñas variaciones, de 0,5 °C alrededor de este valor, según los individuos. Las alteraciones a esta temperatura provocan trastornos de tipo fisiológico que, mientras no alcance límites superiores a 39 °C o inferiores a 34 °C, no implican trastornos graves a la salud de la persona. La temperatura media de la superficie del cuerpo humano se determina aproximadamente:

$$t = 37,5 - 0,032 Q/S$$

Siendo Q la producción interna de calor y S la superficie en metros cuadrados de la persona.

El mecanismo de termorregulación del organismo tiene como finalidad esencial el mantenimiento de la temperatura interna constante. En



consecuencia en un balance térmico los calores generados internamente deben equilibrarse con el calor transmitido al exterior según la ecuación:

$$M - E_d - E_s - E_v - L = R + C = K$$

Que se puede simplifica:

$$M - E - L = R + C = K$$

Donde:

- ☞ M es la producción metabólica de calor o generación interna de calor.
- ☞ E es la pérdida de vapor de agua a través de la superficie de la piel por evaporación o difusión.
- ☞ R es el calor eliminado por radiación, que será función de la temperatura de la superficie del cuerpo humano y de las temperaturas de las diversas superficies del entorno que le rodea y se determina en función de las leyes de la radiación (Stefan Bolzman).
- ☞ C es el calor eliminado por convección en la superficie exterior, más el que pueda producirse por conducción.
- ☞ L la pérdida de calor sensible en la respiración.

La cantidad de calor eliminado por evaporación, cuyo valor máximo puede estimarse en un litro por hora, con un límite a lo largo de la jornada laboral de unos cuatro litros se puede conocer por la ecuación

$$E = k_2 \times V_m (P_p - p_a) W$$

Donde:

- ☞ E es el calor eliminado por unidad de tiempo.
- ☞  $k_2$  es un coeficiente a ajustar experimentalmente
- ☞ V es la velocidad del aire del entorno
- ☞ W es la superficie de piel humedecida
- ☞  $P_a$  y  $P_p$  son las presiones de vapor de agua a temperatura del aire y de la piel.
- ☞ m coeficiente cuyo valor varía entre 0,37 y 0,63 según autores.

La temperatura media del cuerpo humano se puede determinar por:

$$t_m = (I-K) t_{sk} + k t_{re}$$

$t_{re}$  = temperatura interna



tsk = temperatura piel  
K ~ 0,8 / 0,9

El calor del metabolismo engloba los efectos producidos internamente en el cuerpo humano como consecuencia de reacciones químicas como la digestión, y trabajos mecánicos, respiración, circulación de la sangre, movimientos, esfuerzos y demás actividades, en función del tipo de trabajo.

$$M = 71.3 P^{3/4} [1 + 0,004 (30-B) + 0,01 (S-43,4)]$$

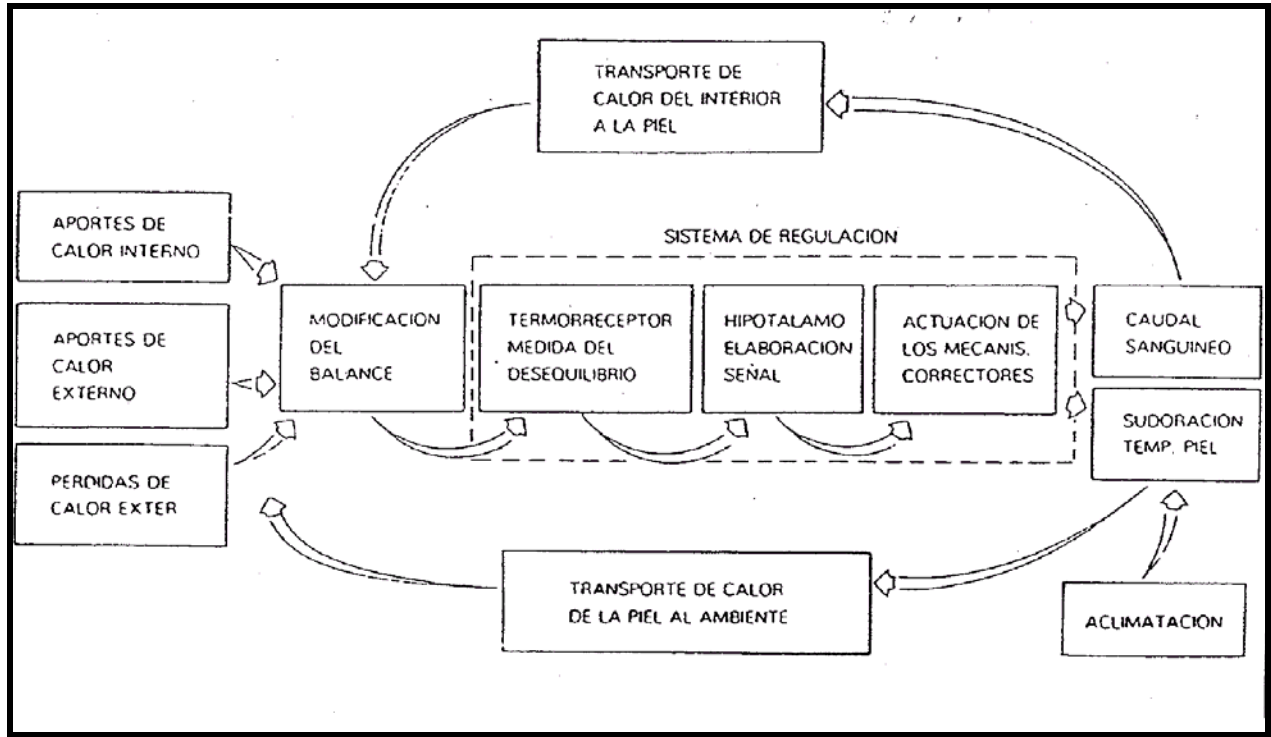
y su valor en reposo resulta aproximadamente 75 kcal/hora.

El metabolismo será siempre positivo, en tanto que es una producción interna de calor. La evaporación representará siempre un factor negativo, en tanto que significa una pérdida de calor desde el cuerpo. La convección será positiva o negativa según las condiciones ambientales del aire. Así mismo la radiación tendrá un efecto positivo o negativo según las temperaturas de las superficies del entorno.

Las variaciones de los parámetros modifican el balance térmico y la temperatura interna del cuerpo humano. La regulación de esta temperatura mediante mecanismos de retroalimentación nerviosos es función del hipotálamo, determinando la identificación de la temperatura y modificando la producción o las pérdidas de calor cuyos efectos de respuesta, sudoración, flujo sanguíneo periférico, etc. ajustan las condiciones de la piel (y sus poros) para aumentar o disminuir la superficie de transmisión y la sudoración.

La siguiente figura representa el mecanismo del sistema de termorregulación:





### ***Efectos de las temperaturas altas sobre el organismo***

- ☞ Se calienta (hipertermia)
- ☞ Vasodilatación
- ☞ Activación de las glándulas sudoríparas
- ☞ Aumento de la circulación periférica
- ☞ Cambio electrolítico del sudor: pérdida de NaCl

### ***Efectos de las temperaturas bajas sobre el organismo***

- ☞ Se enfría (hipotermia)
- ☞ Vaso constricción sanguínea
- ☞ Cierre de las glándulas sudoríparas
- ☞ Disminución circulación periférica
- ☞ Autofagia de grasas
- ☞ Encogimiento
- ☞ Muerte a temperatura. interior inferior a 28 °C por paro cardiaco



## TERMISTORES

Los termistores aprovechan, al igual que el ya visto PT-100, la dependencia que presenta la resistencia eléctrica de cualquier material conductor con la temperatura. La sensibilidad a la temperatura se ha exacerbado gracias a la utilización de materiales semiconductores, específicamente diseñados para que su resistencia dependa agudamente de la temperatura del elemento. Existen termistores de coeficiente positivo (su resistencia aumenta con la temperatura) o negativo, siendo este último más típico y de bajo costo.

En los termistores se observan relaciones de la resistencia con la temperatura que no son lineales, sino más bien de carácter exponencial. Para termistores comerciales comunes, la relación es del tipo

$$R(T) = R(T = T_0) \cdot e^{x \cdot \left[ \frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right]}$$

Donde "R(T)" es la resistencia (en ohms, abreviado por la letra griega W ) observada a temperatura "T", la que depende de un primer parámetro dado por la resistencia a una temperatura conocida "R(T=T<sub>0</sub>)", típicamente 25°C, y de un segundo parámetro de ajuste "x". Como caso ejemplo, "x" valdrá del orden 4.000 y R(T=25°C) valdrá del orden 800 W.

En ambos casos (PT100 y termistores), dado que se mide resistencia, se debe cuidar, en primer lugar, que la resistencia de los cables de conexión (que también cambia con la temperatura) no incida sobre la medición y, en segundo lugar, que la corriente que circule por el elemento para medir su resistencia sea lo suficientemente pequeña como para calentar sólo mínimamente el propio sensor. A ese fin se utilizan sistemas de compensación que incorporan cables idénticos pero sin el sensor, en el brazo adyacente de un puente de Wheastone, amén de circular una corriente nula por el sensor.

CLASE	DENOMINACION	SIMBOLO	RANGO	TIPO
Termistores	Negative Temperature Coefficient	NTC	-50° - 200°	
	Positive Temperature Coefficient	PTC	-50° - 200°	



### *Principio*

Por la variación de la resistencia. Los conductores eléctricos experimentan una variación de su resistencia con la temperatura que puede medirse con un puente de Wheatstone. La fórmula para el platino es muy exacta y sirve por tanto, como norma primaria sobre un amplio intervalo de temperaturas. En trabajos de precisión se usa la ecuación de Gellendar.

$$T = 100 * ((R_t - R_0) / (R_{100} - R_0)) + C(t - 100)t$$

### **Terminología en termistores.**

Los termistores al igual que cualquier dispositivo construido en base a semiconductores tienen algunos parámetros que deben ser considerados para su elección. Los términos que con mayor frecuencia se emplean son:

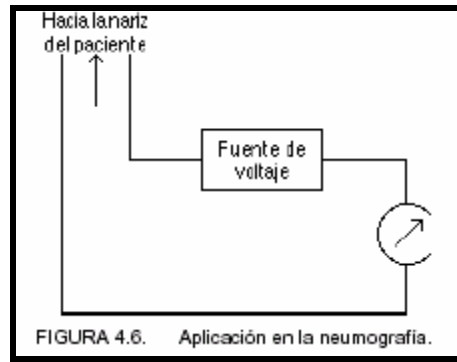
1. Resistencia a potencia cero. Resistencia del termistor cuando no existe efecto de autocalentamiento.
2. Variación de la resistencia con la temperatura. Sensibilidad; típicamente de 4W/oC.
3. Constante de disipación de potencia: Potencia requerida para que el termistor aumente su temperatura en un grado Celsius respecto al medio que lo circunda.
4. Estabilidad: Capacidad de un termistor para mantener sus características dentro del rango 0.03 oC/año en un periodo de 12 años.
5. Autocalentamiento: Potencia disipada en el termistor.
6. Temperatura de operación máxima: Temperatura máxima en la cual el termistor conservará su operación con características de estabilidad aceptables (-75oC - 150oC).

A continuación a manera de resumen se dan algunas de las características más importantes de los termistores:

1. Alta sensibilidad.
2. Alto coeficiente térmico.
3. Envejecen.
4. Tienen un tiempo de respuesta variable.
5. Sufren de autocalentamiento.
6. No son lineales.
7. Son de tamaño reducido.
8. Son susceptibles a contaminación.

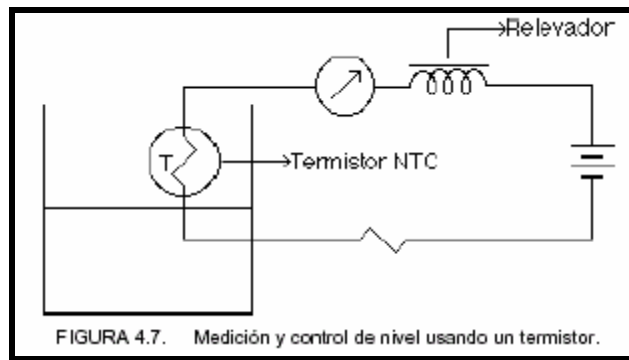
## Aplicaciones Neumografía.

En este caso se coloca un termistor dentro de las fosas nasales del paciente para detectar la diferencia entre la temperatura del aire frío inhalado y el aire tibio exhalado. Este sistema cuenta con una fuente de corriente constante y se monitorea la caída de tensión en las terminales del termistor debidamente acondicionada.



## Medición de nivel.

En este caso cuando el termistor se encuentra fuera del líquido su resistencia se decrementa permitiendo que se tenga el suficiente flujo de corriente en el circuito para activar el relevador que controla el encendido y apagado de una motobomba.



## TERMISTORES NTC

NTC: resistores no lineales cuya resistencia disminuye fuertemente con la temperatura. El coeficiente de temperatura es negativo y elevado.

$$\alpha = \frac{1}{R} \frac{dR}{dT}$$

de -2 a -6 % / °C a Temperatura ambiente.



### ***Resistor lineal (efecto parásito)***

$$\alpha \approx - 200 \text{ ppm} / ^\circ\text{C} \quad \Rightarrow \quad R(25^\circ\text{C}) = 10 \text{ K} \quad R(50^\circ\text{C}) = 9,95 \text{ K}$$

### ***Resistor no lineal NTC (efecto intencionado)***

$$\alpha \approx - 4 \text{ \%} / ^\circ\text{C} \quad \Rightarrow \quad R(25^\circ\text{C}) = 10 \text{ K} \quad R(50^\circ\text{C}) = 3,9 \text{ K}$$

### **Característica R(T)**

#### Materiales apropiados

Óxidos metálicos con características semiconductoras intrínsecas

#### Resistividad del material

$$\rho = 1 / q\mu n_i = A T^{-n} \exp(B / T)$$

(Disminuye al aumentar T)

#### Resistencia del componente

$$R(T) = R_0 \exp(B / T)$$

(Ro incluye la geometría del componente)

#### Fórmula utilizada por los fabricantes

$$R(T) = R_{25} \exp(B / T - B / T_{25})$$

#### Expresión

$$R(T_{NTC}) = R_{25} \exp\left(\frac{B}{T_{NTC}} - \frac{B}{T_{25}}\right)$$

#### Parámetro B

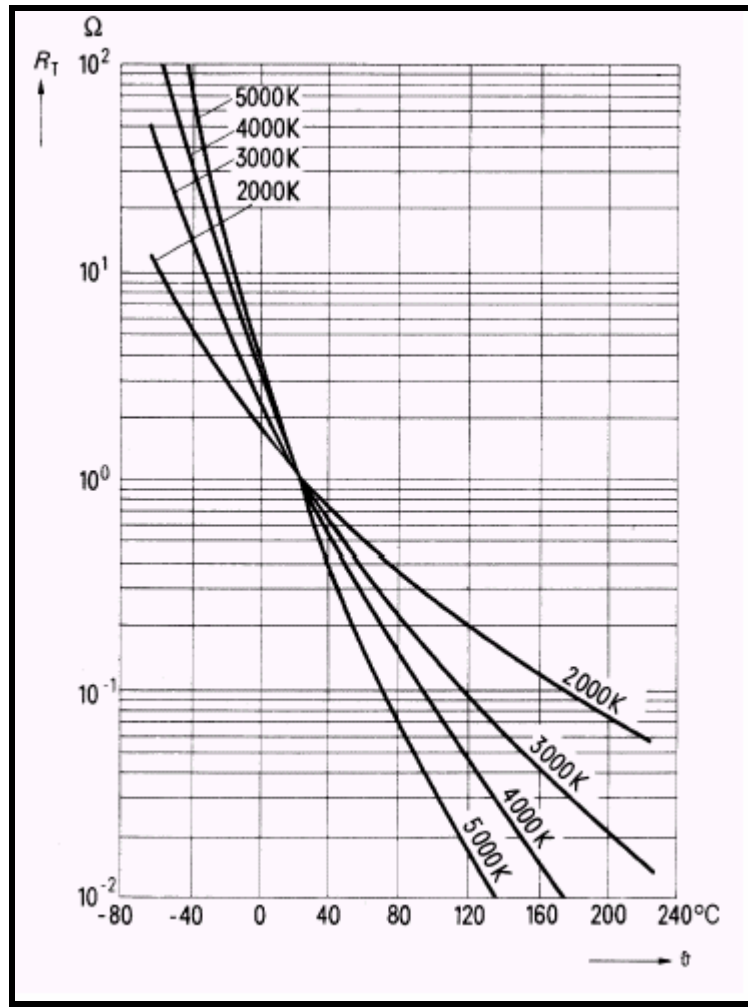
$$2000 \text{ K} < B < 5500 \text{ K}$$

#### Parámetro T25

$$T_{25} = 298 \text{ K (25+273 K)}$$

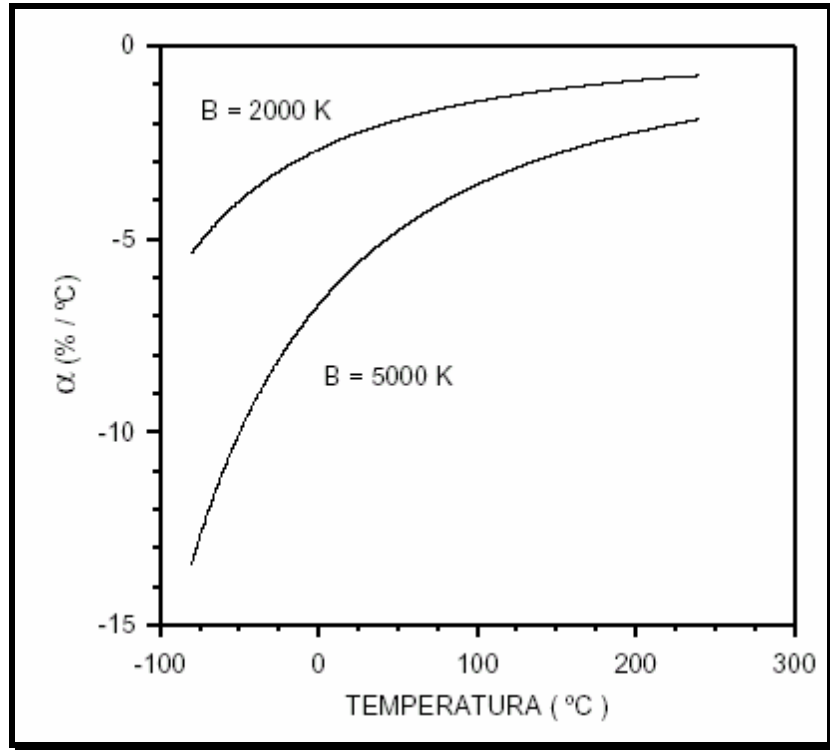
Parámetro R25

$$R_{25} = R (T_{NTC} = T_{25})$$



Coeficiente de temperatura

$$\alpha = \frac{1}{R} \frac{dR}{dT} = -\frac{B}{T^2} \quad T = 300 \text{ K} \quad -2 \% / \text{K} > \alpha > -6 \% / \text{K}$$



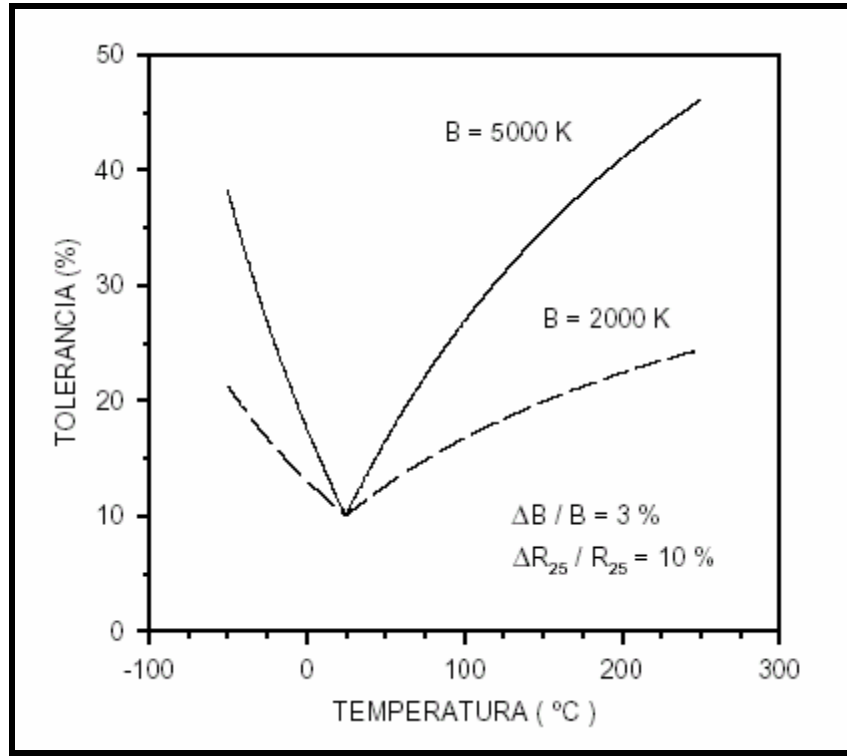
Tolerancia

Influencia:  $R_{25}$  y  $B$

$$\Delta R = \frac{\partial R}{\partial R_{25}} \Delta R_{25} + \frac{\partial R}{\partial B} \Delta B$$

$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{\Delta R_{25}}{R} + \left| B \left( \frac{1}{T} - \frac{1}{T_{25}} \right) \right| \frac{\Delta B}{B}$$

Dependiente de la temperatura



## TERMISTORES PTC

PTC: resistores no lineales cuya resistencia aumenta fuertemente con la temperatura. El coeficiente de temperatura es positivo y elevado.

$$\alpha = \frac{1}{R} \frac{dR}{dT} \quad \text{de } 10 \text{ a } 80 \% / ^\circ\text{C}$$

- Los materiales usados son cerámicas (titanatos) con estructuras multigrano.
- La conducción eléctrica está controlada por las fronteras entre los granos.
- La dependencia deseada de la resistencia con la temperatura solamente tiene lugar en determinado margen de temperaturas.

### Característica R(T)

Parámetros de interés



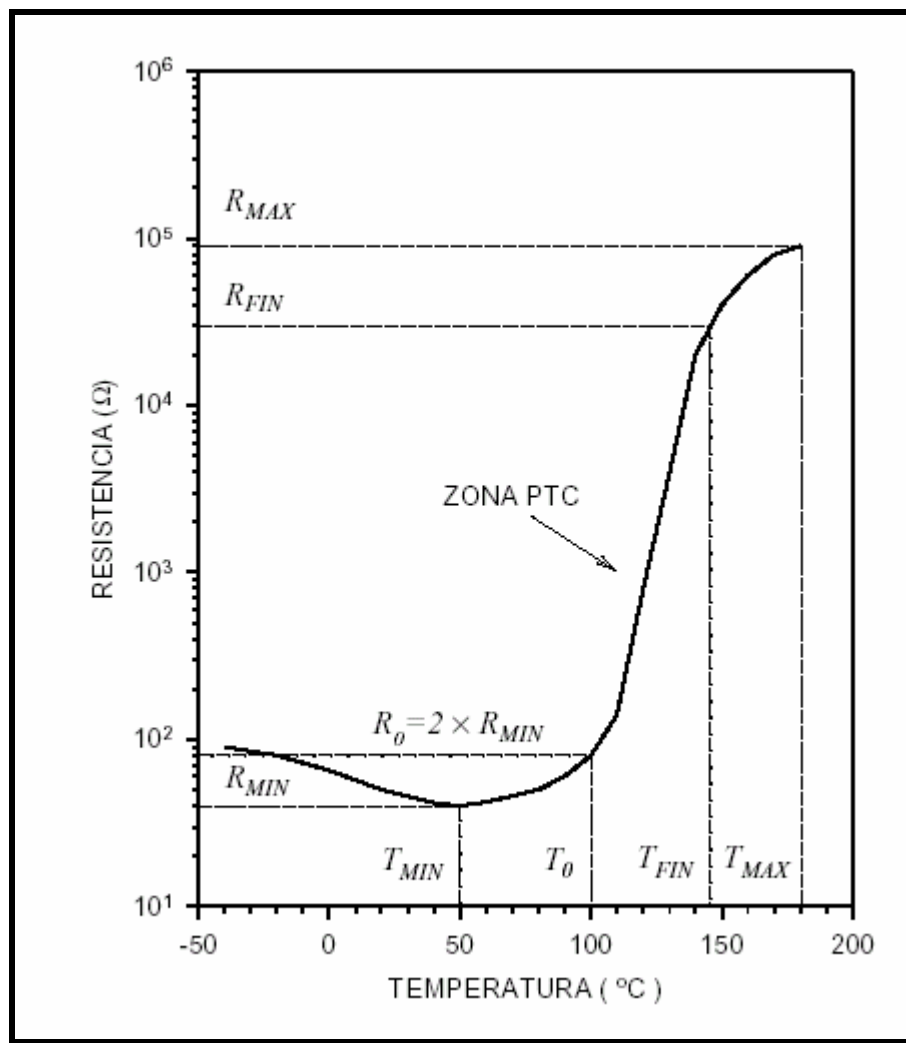


Mínima resistencia ( $T_{MIN} \Rightarrow R_{MIN}$ )  
Conmutación ( $T_0 \Rightarrow R_0 = 2 \times R_{MIN}$ )  
Final de intervalo ( $T_{FIN} \Rightarrow R_{FIN}$ )  
Límite operación ( $T_{MAX} \Rightarrow R_{MAX}$ )

Expresión empírica

Zona de utilidad como PTC

$$T_0 \leq T_{PTC} \leq T_{FIN} \quad R(T_{PTC}) = R_0 \exp\left( B (T_{PTC} - T_0) \right)$$



Coeficiente de temperatura



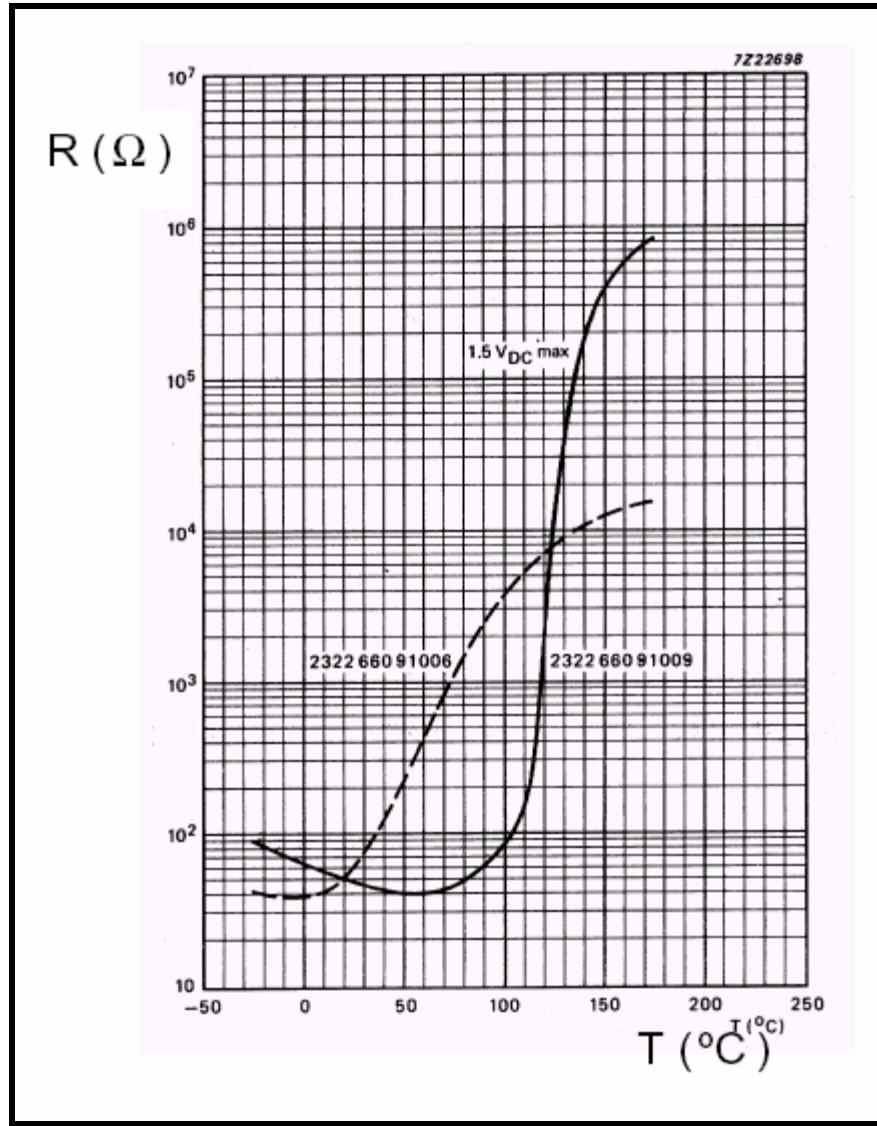
$$\alpha = \frac{1}{R} \frac{dR}{dT} = B$$

Pendiente de la curva R(T) en la zona de interés como PTC

$$T_0 \leq T_{PTC} \leq T_{FIN}$$

Independiente de la temperatura

$$10 \% / K \leq \alpha \leq 80 \% / K$$

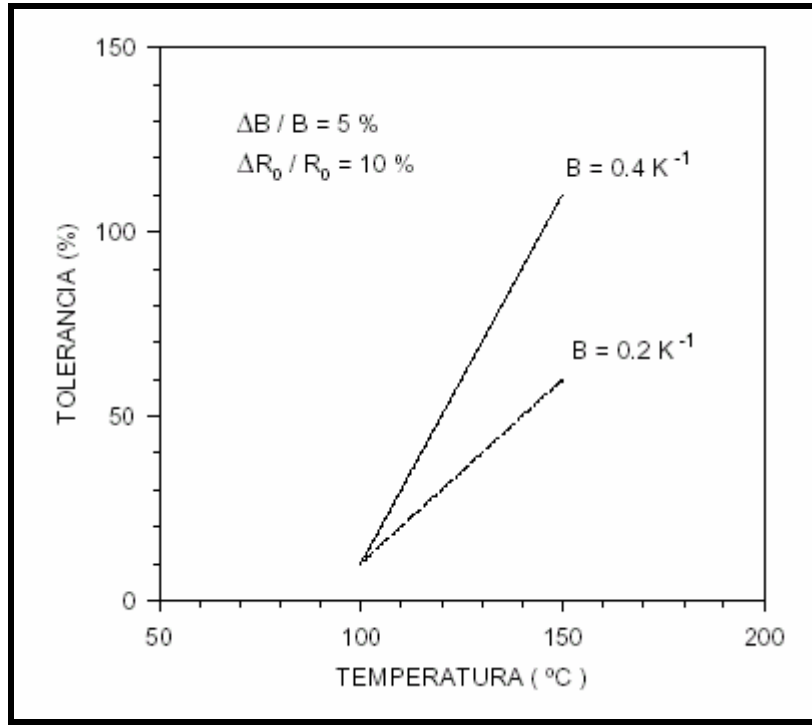


Tolerancia

Influencia:  $R_0$  y  $B$

$$\Delta R = \frac{\partial R}{\partial R_0} \Delta R_0 + \frac{\partial R}{\partial B} \Delta B \quad \frac{\Delta R}{R} = \frac{\Delta R_0}{R_0} + B(T - T_0) \frac{\Delta B}{B} \quad T_0 \leq T_{PTC} \leq T_{FIN}$$

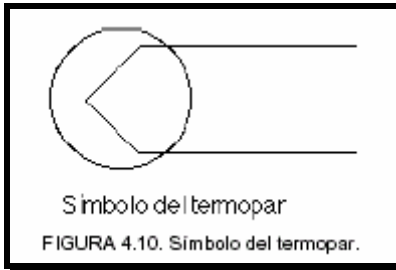
Dependiente de la temperatura



## TERMOPAR

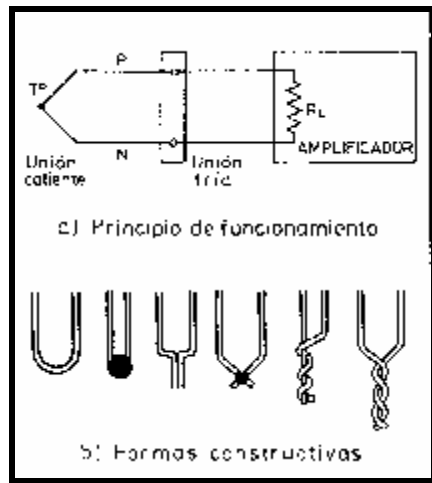
Un termopar es un dispositivo de estado sólido que se utiliza para convertir la energía en voltaje. Consta de dos metales diferentes empalmados en una juntura.

Los termopares son elementos de medición de temperatura activos, esto es, que generan una señal eléctrica proporcional a la temperatura a la que están sometidos. Los termopares se componen de dos conductores de diferente coeficiente térmico unidos en sus extremos. El símbolo del termopar se muestra en la figura:



### Principios

Se trata de sensores activos analógicos basados en el efecto Seebeck. Este efecto consiste en la aparición de una tensión eléctrica entre dos piezas de distintos metales unidas o soldadas por un extremo, cuando este se calienta (unión caliente) y se mantiene los otros dos a una misma temperatura inferior (unión fría), (Figura).



Por el potencial termoeléctrico. Cuando se ponen en contacto íntimo dos metales distintos se desarrolla un voltaje que depende de la temperatura en la junta y de los materiales particulares empleados. Si se conectan en serie dos juntas como la indicada con un instrumento medidor de voltaje, el voltaje medido será muy aproximadamente proporcional a la diferencia de las temperaturas de dos juntas.

Un par térmico consta de dos cables de metales diferentes unidos, que producen un voltaje que varía con la temperatura de la conexión. Se emplean diferentes pares de metales para las distintas gamas de temperatura, siendo muy amplio el margen de conjunto: desde  $-248\text{ }^{\circ}\text{C}$  hasta  $1477\text{ }^{\circ}\text{C}$ . El par térmico es el termómetro más preciso en la gama de

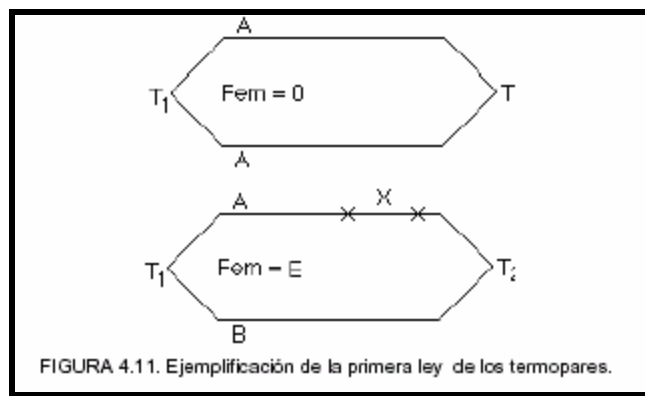
-631 °C a 1064 °C y, como es muy pequeño, puede responder rápidamente a los cambios de temperatura.



La operación de un termopar se rige por cuatro leyes que se exponen continuación:

### 1. Ley de la temperatura externa.

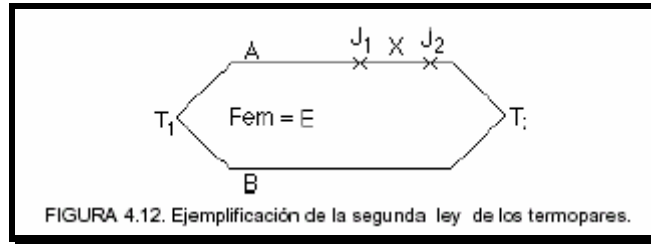
Una corriente eléctrica no se puede mantener en un circuito compuesto por un sólo metal homogéneo al aplicar calor en los extremos. Ahora, si dos metales, A y B, son sometidos a temperaturas  $T_1$  y  $T_2$  en sus uniones entonces, existirá una fuerza electromotriz generada en los extremos.



### 2. Ley del metal intermedio.

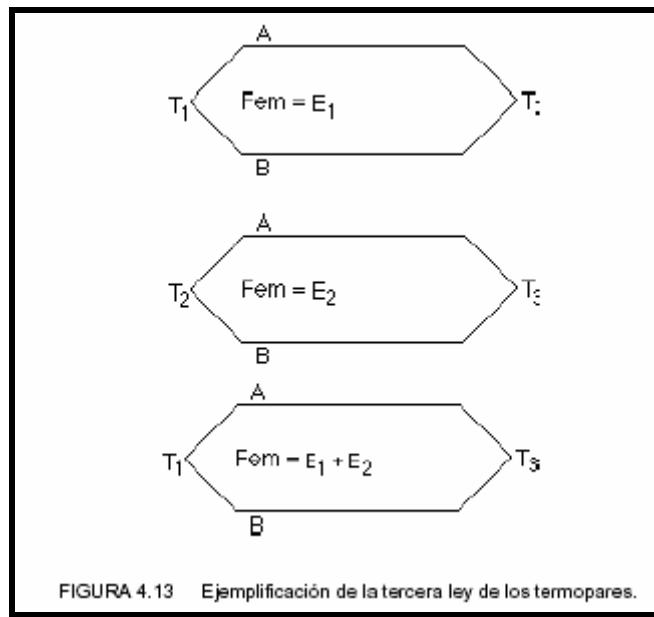
Dos metales homogéneos A y B tienen sus uniones a temperaturas  $T_1$  y  $T_2$ . Si un tercer metal X se conecta en un corte del metal A formando uniones  $J_1$  y  $J_2$  y la temperatura a la que está sometido el metal X es uniforme en

toda su longitud entonces, la fem generada en el arreglo será igual a aquella sin el conductor X.



### 3. Ley de la temperatura intermedia.

Si dos metales homogéneos A y B están sometidos a temperaturas  $T_1$  y  $T_2$  en sus uniones generando una fem  $E_1$  y se efectúa un cambio en las temperaturas  $T_2$  y  $T_3$  en sus extremos generando una fem  $E_2$ , entonces si las uniones se sometieran a temperaturas  $T_1$  y  $T_3$  la fem térmica generada será igual a  $E_1 + E_2$ .



### 4. Ley de la fem aditiva.

Si dos metales A y R son sometidos a temperaturas  $T_1$  y  $T_2$  en sus uniones, la fem generada será  $E_{ar}$ . Al unir dos metales R y B y someterlos a temperaturas  $T_1$  y  $T_2$  en sus uniones, la fem generada será  $E_{rb}$ . Entonces si se utilizan los metales A y B bajo las mismas condiciones de operación entonces la fem generada será  $E_{ab}$ .

De acuerdo al rango de operación y a la combinación de aleaciones que los componen los termopares se clasifican dentro de los siguientes tipos:

Tipo	Materiales
J	Hierro-Constantán (Galga 14).
T	Cobre-Constantán (Galga 20).
K	Cromel-Alumel (Galga 14).
R	Platino/Rodio(13%)-Platino.
S	Platino/Rodio(13%)-Platino.
J*	Hierro-Constantán (Galga 8).

En la figura se ven los rangos usuales de los distintos tipos de termopares indicando además su comportamiento. La característica más importante de los termopares para su utilización como sensores de temperatura es que son dispositivos que presentan gran linealidad (fig 4.16) dentro de su rango de operación y su costo es reducido.

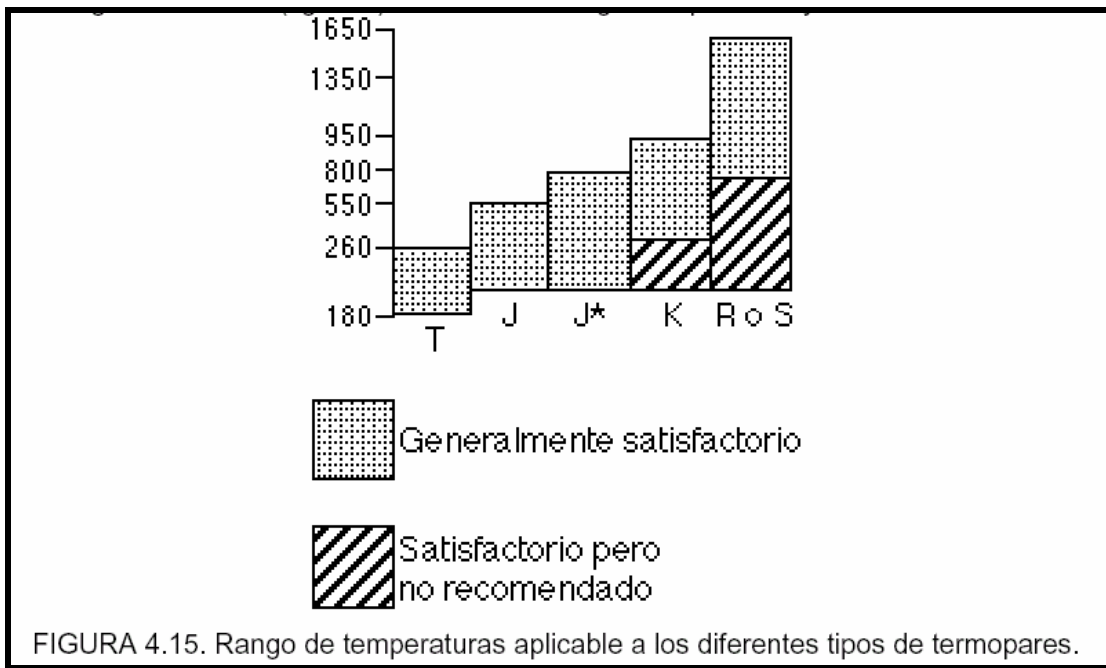
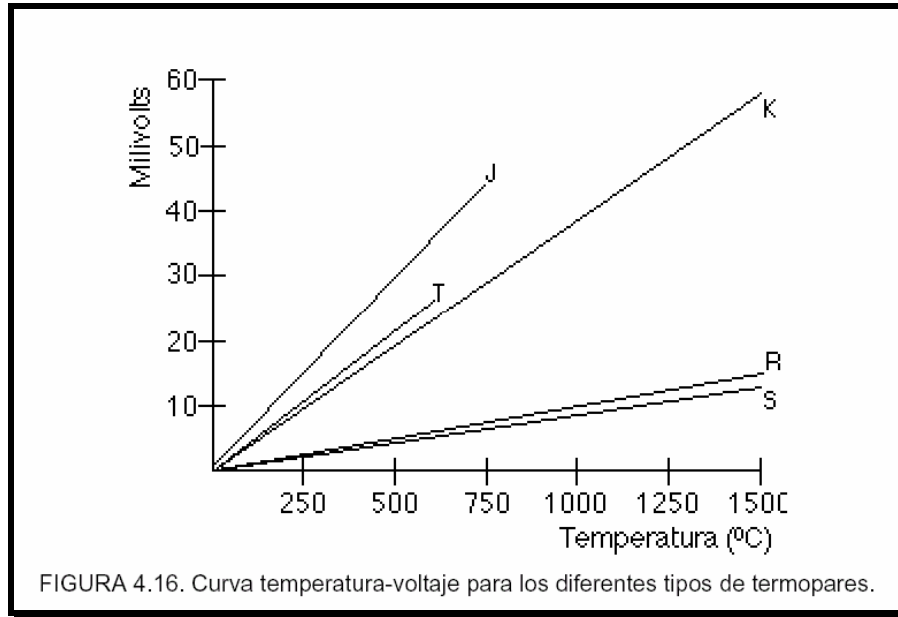


FIGURA 4.15. Rango de temperaturas aplicable a los diferentes tipos de termopares.





Pueden utilizarse como materiales para la fabricación de termopares, tales como: hierro y constantano, cobre y constantano o antimonio y bismuto.

Los termopares se emplean como sensores de temperatura e instrumentos semejantes a los termómetros denominados pirómetros. En un pirómetro, el voltaje producido por un termopar origina que una corriente circule a través de un medidor eléctrico, el cual se calibra para indicar directamente el valor de la temperatura. Un termopar puede colocarse en un horno; cuando aumenta la temperatura en el horno, también aumenta el voltaje que se genera en el termopar. En consecuencia pasa más corriente por el medidor. En tal caso, el medidor indica el aumento de corriente como una temperatura mayor. Con los pirómetros se puede medir con mucha precisión, temperaturas que van desde 2700 hasta 10,800°F (1,500 a 6,000°C).

Los termopares comerciales se designan por letras (T,E,J,K,R) que identifican los materiales que contienen, se especifican generalmente por su sensibilidad o coeficiente térmico MV/°C.

Para ciertos materiales existe una relación aceptablemente lineal entre la diferencia de temperaturas y la fuerza electromotriz generada, por tanto resultan ser buenos transductores, sin embargo aparecen problemas al añadir el circuito adicional de recogida de la señal en la unión fría, aparecen nuevas fuerzas electromotrices de contacto que sólo se verán compensadas si las uniones frías se mantienen exactamente a la misma temperatura. Si se requiere buena precisión será necesario compensar la



variaciones de temperatura en la unión fría utilizando un sensor adicional (NTC). Por otro lado los valores de sensibilidad en estos sensores son bastante bajos lo que requiere amplificadores de gran resolución y bajo ruido, aun cuando otra forma de aumentar la sensibilidad es colocar varios termopares en serie, dado que se trata de un sensor económico, y siempre que no haya problemas de espacio.

### **Introducción. Principio físico**

Las mediciones de temperatura que utilizan termopares se basan en el descubrimiento hecho por Seebeck en 1821 de que una corriente fluye en un circuito continuo de dos alambres metálicos diferentes, si las conexiones o uniones, se encuentran a temperaturas distintas.

A y B son los dos metales, y  $T_1$  y  $T_2$  son las temperaturas de las uniones. Si  $T_1$  es la unión más fría y la corriente termoeléctrica influye en la dirección señalada en la figura, el metal A se designa por costumbre como el punto termoelectricamente positivo en relación con el metal B.

En circuitos eléctricos la corriente depende de la fuerza electromotriz desarrollada y la resistencia del circuito. Para lograr mediciones de temperatura exactas, el instrumento de medición se construye de tal modo que se mida una fem sin corriente para eliminar los efectos de resistencia del circuito.

La unión de referencia se puede mantener a una temperatura constante, por ejemplo, los que se tiene en un baño de hielo o en un horno con termostato, o bien, se puede sostener a temperatura ambiente, pero con una compensación eléctrica, de tal manera que parezca conservarse a una temperatura constante.

También se pueden utilizar combinaciones en serie de varios termopares idénticos para proporcionar una señal de medición de temperatura mayor, o para promediar la temperatura en varios puntos.

Las uniones frías deben encontrarse a la misma temperatura, en caso contrario también será necesario promediarlas.

La gran ventaja de los termopares es que la determinación de la temperatura se realiza prácticamente en un punto, donde se haya colocado una de las uniones. También habría que considerar que la capacidad calorífica de un termopar puede ser muy pequeña, con lo que la respuesta a las variaciones de temperatura sería muy rápida. Como ventaja importante habría que señalar finalmente que la salida del sensor es una señal eléctrica producida por el mismo termopar y por tanto no es



necesario alimentarlo con ninguna corriente exterior, eliminando el error correspondiente al calentamiento inherente al efecto Joule.

Como inconveniente habría que decir que es necesario mantener la unión de referencia a una temperatura constante y conocida pues la incertidumbre en la temperatura de referencia produce una del mismo orden en la medida.

### *Materiales usados*

Las siguientes combinaciones de materiales son las mas comúnmente usadas para los pares termoeléctricos:

Platino soldado a una aleación de 90% de platino y 10,9 de radio. Se puede emplear a temperaturas altas hasta 1600 °C y es conveniente para uso continuo a temperaturas desde 0 hasta 1550 °C. Este par termoeléctrico fue adoptado por la Conferencia General de Pesos y Medidas en 1927 como medio para la definición de la escala internacional de temperaturas, desde la temperatura de fusión del antimonio hasta la temperatura de fusión del oro (630.5 - 1063 °C.). Tiene una fuerza termoeléctrica de unos 10 microvoltios por grado C y es sumamente estable y reproducible cuando se usa debidamente. No debe exponerse nunca a atmósferas reductoras a temperaturas superiores a 500 °C., porque se deteriora como resultado de la absorción de gases y del depósito de metales reducidos procedentes de los óxidos del tubo protector y de los aisladores de cerámica.

Cobre y constantán de Adam (aleación de 57% de cobre y 43 % de Níquel, aproximadamente, con porcentajes fraccionados de manganeso y de hierro). Este par es utilizable a temperaturas desde -250 hasta 300 °C, y por períodos cortos hasta 400 °C. Desde -200 hasta -100 °C., la fuerza termoeléctrica es aproximadamente de 20 microvoltios por grado C., y desde 200 hasta 300 °C. es de unos 55 microvoltios por grado C. El termoeléctrico de cobre-constantán es muy usado en las medidas de laboratorio a bajas temperaturas. No sirve a temperaturas superiores a 300 °C a causa de la oxidación del cobre.

Cromel (90 % de níquel y 10 % de cromo) y Alumel (94% de níquel, 3% de manganeso, 2% de aluminio y 1% de silicio).

Hierro y constantán. Utilizable entre -190 y 870 °C.



El intervalo de temperaturas en que es utilizable un termopar está limitado en la zonas de bajas temperaturas por la disminución de su poder termoeléctrico y en las altas temperaturas por la posibilidad de que se funda alguno de los conductores que lo constituyen.

### 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.

En la tabla siguiente se muestra los distintos tipos de termopares con su rango típico, su sensibilidad y la designación estándar.

Material de la unión	Rango Típico (°C)	Sensibilidad (μV/°C)	Designación
Pt6%/Rodio – Pt(30%)/Rodio	38 a 1800	7.7	B
Tungsteno(5%)/Renio–Tungsteno(26%)/Renio	0 a 2300	16	C
Cromo- Constantan	0 a 982	76	E
Hierro – Constantan	0 a 760	55	J
Cromo – Aluminio	-184 a 1260	39	K
Pt(13%)/Rodio – Pt	0 a 1593	11.7	R
Pt(10%)/Rodio – Pt	0 a 1538	10.4	S
Cobre- Constantan	-184 a 400	45	T

### Termopares Básicos

Los metales y aleaciones utilizadas son de bajo costo y son los mas utilizados industrialmente, dado que las aplicaciones lo admiten tienen un margen de error alto.

#### Tipo T

La nomenclatura T está adoptada por la norma ANSI. Los conductores son de cobre y constantan. El cobre tiene una pureza del 99,9% y el constantan



es una aleación de cobre en un 58% y níquel en un 42% aproximadamente.

El rango de utilización va desde  $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$  hasta  $370\text{ }^{\circ}\text{C}$ , produciendo una f.e.m. de  $-5,603$  hasta  $+19,027\text{ mV}$ .

Las aplicaciones mas comunes son en criometría, industrias de refrigeración, investigaciones agronómicas y ambientales, química y petroquímica.

### **Tipo J**

Nomenclatura adoptada por la norma ANSI. La combinación utilizada es hierro al 99,5 % y constantan. La proporción es 58% de Fe y 42 de constantan. El rango de utilización va desde los  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  a los  $760\text{ }^{\circ}\text{C}$ . La f.e.m. va desde  $-1,960$  hasta  $+42,922\text{ mV}$ .

Se utiliza en centrales de energía, metalúrgica, química, petroquímica etc.

### **Tipo E**

Nomenclatura adoptada por la norma ANSI. Es una combinación de chromel y constantan.

Chromel = Níquel (90%) y Cromo (10%)

Constantan = Cobre (58%) y Níquel (42%)

El rango de utilización va desde los  $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$  a los  $+870\text{ }^{\circ}\text{C}$

La f.e.m. producida es de  $-8,824$  a  $+66,473\text{ mV}$ .

Las aplicaciones mas comunes son química y petroquímica.

### **Tipo K**

Nomenclatura adoptada por la norma ANSI. Es una combinación de chromel y alumel.

Chromel = Níquel (90%) y Cromo (10%)

Alumel = Níquel (95,4%), Manganeso (1,8%), Silicio (1,6%) y Aluminio (1,2%)

El rango de utilización va desde los  $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$  a los  $+1260\text{ }^{\circ}\text{C}$

La f.e.m. producida es de  $-5,891$  a  $+50,99\text{ mV}$ .

Aplicaciones: metalúrgicas, fundición, cemento y cal, vidrios, cerámicas, etc.

### **Termopares nobles**

Son aquellos que utilizan platino en su composición. Por supuesto, su costo es elevado y exigen instrumentos de alta sensibilidad. Debido a su baja potencia termoeléctrica presentan altas precisiones.



### **Tipo S**

Nomenclatura adoptada por la norma ANSI. Es una combinación de platino con rhodio y platino.

Platino (90%) y Rhodio (10%)

Platino (100%)

El rango de utilización va desde los 0 °C a los +1600 °C

La f.e.m. producida es de 0 a 16,771 mV.

Aplicaciones: metalúrgicas, fundición, cemento y cal, vidrios, cerámicas, etc. Entre 1200 y 1600 °C, en algunos casos se utilizan sensores descartables.

### **Tipo R**

Nomenclatura adoptada por la norma ANSI. Es una combinación de platino con rhodio y platino.

Platino (87%) y Rhodio (13%)

Platino (100%)

El rango de utilización va desde los 0 °C a los +1600 °C

La f.e.m. producida es de 0 a 18,842 mV.

Aplicaciones: metalúrgicas, fundición, cemento y cal, vidrios, cerámicas, etc.

### **Tipo B**

Nomenclatura adoptada por la norma ANSI. Es una combinación de platino con rhodio y platino con rhodio.

Platino (70%) y Rhodio (30%)

Platino (94%) y Rhodio (6%)

El rango de utilización va desde los 600 °C a los +1700 °C

La f.e.m. producida es de 1,791 a 12,426 mV.

Aplicaciones: Altas temperaturas en general.

### **Termopares especiales**

A lo largo de los años, se han desarrollado diferentes tipos de termopares con alguna característica útil para alguna aplicación en particular.

**Tungsteno – Rhenio:** termopar que puede ser utilizado en forma continua hasta 2300 °C y por periodos cortos hasta 2750 °C

**Iridio – Rhodio/Iridio:** Utilizados por periodos limitados hasta 2000°C

**Oro –Hierro/Chromel:** Utilizados en temperaturas criogénicas

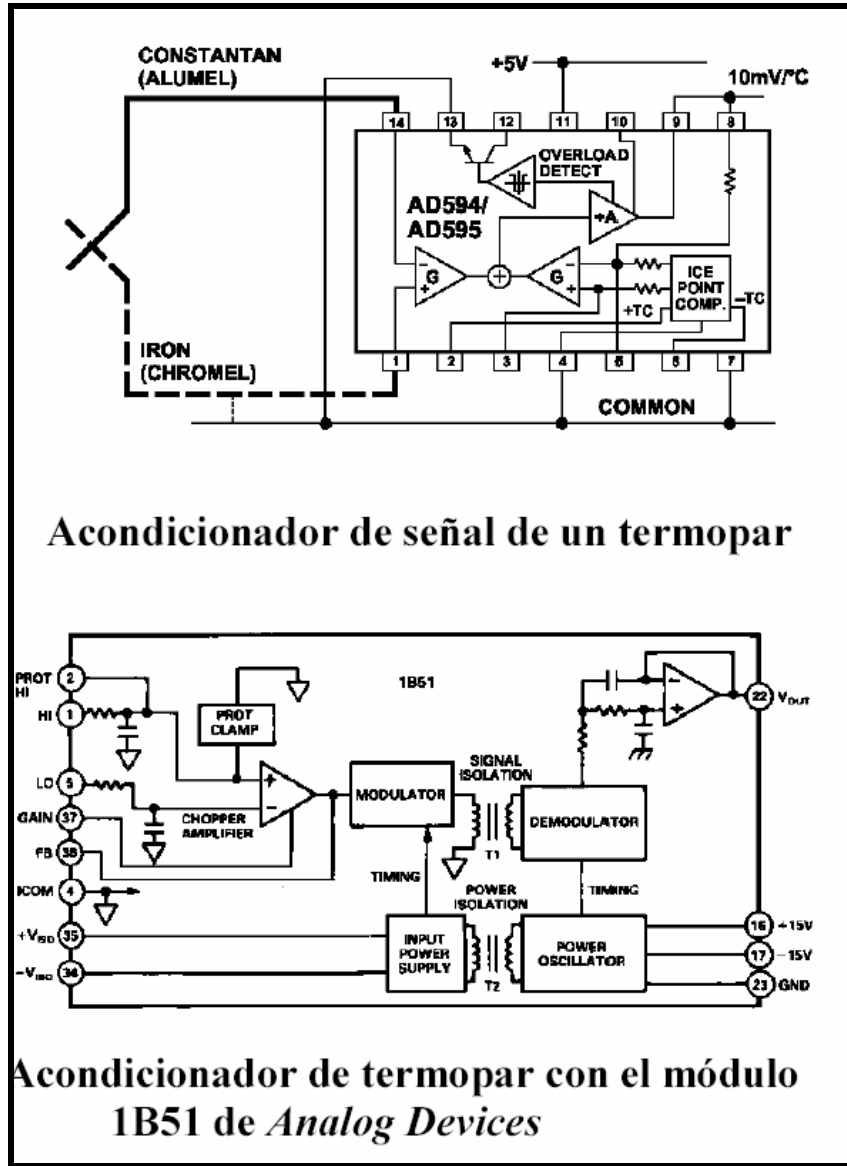


---

### **Acondicionadores de señal para Termopares. AD594**

*Analog Devices* dispone de unos circuitos integrados acondicionadores de señal para termopares, como el AD594, mostrado en la figura siguiente, para termopares tipo J que tienen un amplificador de instrumentación y un compensador lineal, una salida de alarma de rotura o desconexión del termopar, se alimenta a +5V y suministra una salida de 10mV/°C.

*Analog Devices* con la división denominada *lomation* tiene una serie de acondicionadores de señal en forma de módulos híbridos y en concreto para termopares tiene el módulo 1B51 aislado para aplicaciones industriales, donde dan una solución completa.



## BIBLIOGRAFIA

- [http://www.saludalia.com/Saludalia/web\\_saludalia/urgencias/doc/documentos/doc/i\\_documentos.htm](http://www.saludalia.com/Saludalia/web_saludalia/urgencias/doc/documentos/doc/i_documentos.htm)
- [www.datex-ohmeda.es/aula-bioingenieria/todos\\_los\\_articulos/colaboracion/Numero-09-Colaboracion-01.pdf](http://www.datex-ohmeda.es/aula-bioingenieria/todos_los_articulos/colaboracion/Numero-09-Colaboracion-01.pdf)
- [http://www.sectorfitness.com/0magazine/articulo\\_124.shtml](http://www.sectorfitness.com/0magazine/articulo_124.shtml)
- [www.fundabiomed-uc.org.ve/cap31.pdf](http://www.fundabiomed-uc.org.ve/cap31.pdf)
- <http://cipres.cec.uchile.cl/~iq54a/>
- <http://www.info-ab.uclm.es/labeledc/solar/Componentes/STEMPERATURA.HTM>
- <http://www.monografias.com/trabajos14/termoins/termoins.shtml>
- [http://www.tvtronica.com.ar/transductores\\_de\\_temperatura.htm](http://www.tvtronica.com.ar/transductores_de_temperatura.htm)
- [www.desi.iteso.mx/elec/instru/cap4.pdf](http://www.desi.iteso.mx/elec/instru/cap4.pdf)