



SENSORES Y ACONDICIONADORES

TEMA 4 (2)

SENSORES RESISTIVOS (RTD y Termistores)

Profesores: Enrique Mandado Pérez
Antonio Murillo Roldan



TERMORRESISTIVIDAD

La termorresistividad es la propiedad de algunos conductores y semiconductores cuya resistencia es función de la temperatura.

Conductores

El número de electrones libres no cambia apreciablemente con la temperatura, pero si ésta aumenta, las vibraciones de los átomos alrededor de sus posiciones de equilibrio son mayores, lo que hace que **se reduzca la velocidad media de los electrones**. Debido a ello los conductores tienen un coeficiente de temperatura positivo, es decir, **su resistencia aumenta con la temperatura**.

Semiconductores

El comportamiento de los semiconductores extrínsecos en relación con la temperatura **depende de la concentración de impurezas**. Esto hace que algunos semiconductores tengan un coeficiente de temperatura positivo y otros negativo.



SENSORES RESISTIVOS DE TEMPERATURA

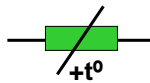
Resistencias metálicas **RTD**
(Resistance Temperature Detector)

Resistencias de semiconductores
Termistores (Thermistors)



SENSORES DE TEMPERATURA DE RESISTENCIA METÁLICA (RTD)

Los RTD son elementos sensores basados en la **termorresistividad de los conductores**. Los materiales más utilizados son el Pt, el Cu, el Ni y el W.



$$R_T = R_0 \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta T + \beta \cdot \Delta T^2 + \gamma \cdot \Delta T^3 + \dots)$$

En un rango
pequeño de
temperaturas



$$R_T = R_0 \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta T)$$

R_0 : Resistencia a $T_0=273$ K
 α : Coeficiente de temperatura
 $\alpha \cdot R_0$: Sensibilidad
 $\Delta T = T - T_0$ (Kelvin o Celsius)

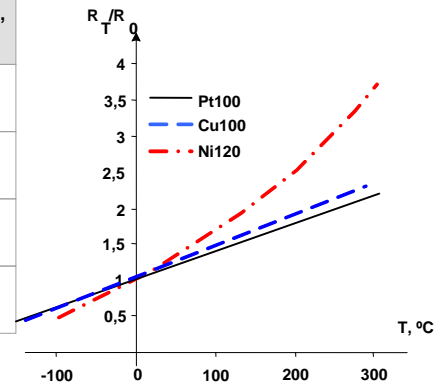


SENSORES DE TEMPERATURA DE RESISTENCIA METÁLICA (RTD)

Tipos de RTD

α depende de la temperatura pero en un margen pequeño se puede considerar constante

Metales	Resistividad (ρ), $\Omega\cdot m$	Coefficiente T (α), $(K)^{-1}$
Platino, Pt	$10,6\cdot 10^{-8}$	$3,9\cdot 10^{-3}$
Níquel, Ni	$6,84\cdot 10^{-8}$	$7\cdot 10^{-3}$
Wolframio, W	$5,6\cdot 10^{-8}$	$4,5\cdot 10^{-3}$
Cobre, Cu	$1,68\cdot 10^{-8}$	$4,3\cdot 10^{-3}$



Curvas de calibración normalizadas
Ro: Resistencia a 0° C



SENSORES DE TEMPERATURA DE RESISTENCIA METÁLICA (RTD)

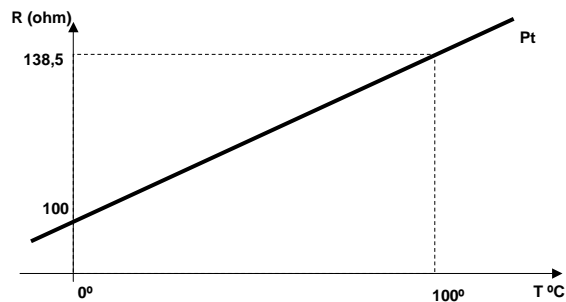
Las más utilizadas son las resistencias de Platino puro debido a su fácil fabricación, linealidad, precisión, estabilidad y repetibilidad.

Se llaman **PT-100**, porque su valor es 100 ohmios a 0°C.

Valores normalizados: **100 ohm para 0°C**
138,5 ohm para 100°C

con $\alpha = 3,85\cdot 10^{-3}$

El margen de uso industrial es de -100°C a 600°C.





SENSORES DE TEMPERATURA DE RESISTENCIA METÁLICA (RTD)

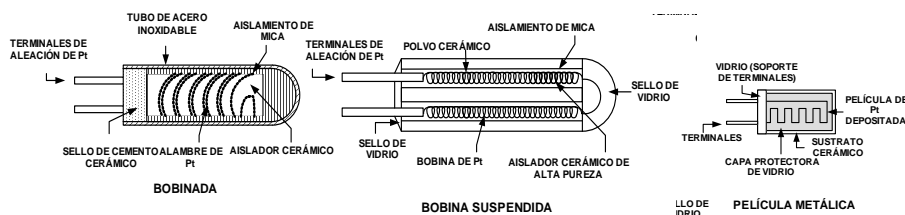
Tipos de RTD

Bobinadas

El hilo conductor se bobina sobre un aislante eléctrico. La bobina se empaqueta con mica y se coloca en un tubo de protección. En los de bobina suspendida, el hilo se bobina helicoidalmente dentro de tubos de cerámica rellenos polvos cerámicos y sellados con vidrio. Las RTD bobinadas se utilizan inmersas en fluidos (líquidos y gases).

De película metálica

El hilo se dispone en un plano y se recubre con vidrio fundido. Este tipo de RTD se utiliza en la medida de la temperatura de superficies y es más económico que el bobinado.



SENSORES DE TEMPERATURA DE RESISTENCIA METÁLICA (RTD)

Aplicaciones

Las RTD son sensores de temperatura muy utilizados hoy en día en los controladores de temperatura de los equipos de frío y calor, en el automovil (p.ej. control del aire acondicionado), en los hornos, en los edificios (p.ej. Para controlar la temperatura de un depósito de agua caliente), etc.

La sonda de platino proporciona una medida estable y exacta, y se utiliza como patrón entre las temperaturas de $-182,96\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $630\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Para reducir el coste del sensor, se utiliza el níquel.

Para la medida de temperaturas muy altas, se emplea el wolframio.

RTD más utilizada: Pt100: Platino con $R = 100\Omega$ a 0°C

Existen también otros tipos de RTD:

Pt-1000 resistencia de platino de 1000 ohmios a 0°C

Ni-120 resistencias de Níquel de 120 ohmios a 0°C .

Etc.



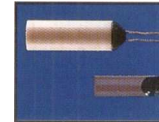
SENSORES DE TEMPERATURA DE RESISTENCIA METÁLICA (RTD)

Consideraciones importantes

- No se pueden medir temperaturas próximas ni superiores a la de fusión del conductor.
- Se debe evitar las deformaciones mecánicas que provoquen cambios del valor de la resistencia.
- El cambio de las dimensiones del material con la temperatura provoca cambios no lineales de la resistencia. Esta no linealidad varía mucho de unos materiales a otros, lo que hace que no todos los metales sean adecuados para la realización de RTD.
- La corriente eléctrica que pasa a través de la RTD produce una disipación de energía que puede aumentar su temperatura por encima de la del medio en que se encuentra (autocalentamiento), lo que introduce un error en la medida.
- El comportamiento de una RTD ante variaciones en el tiempo de su temperatura es el de un sistema lineal de primer orden si no está recubierta. Si la RTD está recubierta se comporta como un sistema lineal de segundo orden sobreamortiguado, debido a la capacidad calorífica del recubrimiento.

VENTAJAS:

- Estabilidad (10 veces mayor que los termopares), precisión
- Gran variedad de encapsulados

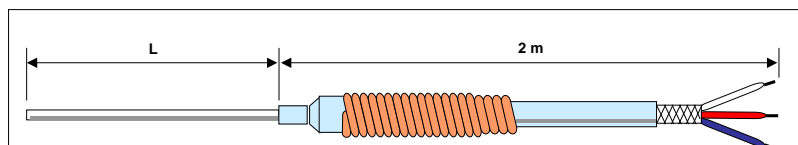


Tema 4 - 9



SENSORES DE TEMPERATURA DE RESISTENCIA METÁLICA (RTD)

SONDAS TERMOMETRICAS PT-100



Sonda Pt-100, clase A, 100 ohm a 0°C según normas DIN 43.760

Montaje: 2 o 3 hilos

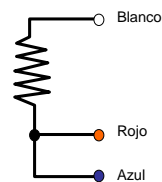
Tipo de vaina: Inox. 304 L

Cable: 3 cond. sección 0,22 mm², aislam. PVC con malla, longitud 2 m.

Temperatura de trabajo: 450°C máximo.

Temperatura del cable: 80°C máximo.

∅ mm	L mm	Nº identificación
1,6	50	330 111-503
1,6	100	330 111-506
1,6	150	330 111-507
3,2	100	330 112-506
3,2	250	330 112-509



Tema 4 - 10



TERMISTORES

Son elementos sensores basados en la termoresistividad de los semiconductores.

Pueden ser de dos tipos:

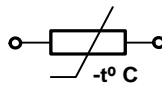
a) De coeficiente de temperatura negativo [NTC (Negative Temperature Coefficient)]

Están constituidos por un semiconductor extrínseco o poco impurificado (dopado), en el que los portadores libres aumentan al elevar la temperatura.

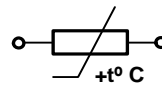
b) De coeficiente de temperatura positivo [PTC (Positive Temperature Coefficient)]

Están constituidos por un semiconductor muy impurificado con óxidos metálicos que adquiere propiedades metálicas al aumentar la temperatura en un margen limitado.

Ambos se caracterizan por su no linealidad.



(a)



(b)



TERMISTORES NTC

Modelo de dos parámetros (Ro, B)

En un margen de temperaturas reducido (50 °C) la dependencia de la resistencia con la temperatura se puede considerar de tipo exponencial de la forma:

$$R_t = R_o e^{B(1/T - 1/T_o)}$$

en la cual R_o = resistencia a la temperatura de referencia (normalmente 25°C).

T_o = temperatura de referencia en grados kelvin ($T_o = 273+25 = 298^\circ\text{K}$).

B = temperatura característica del material (aprox. 4000°K).

Cálculo de B

Se mide la resistencia a dos temperaturas T_1 y T_2 diferentes. Se aplica el modelo de dos parámetros:

$$B_{T_1, T_2} = \frac{\ln \frac{R_1}{R_2}}{\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}}$$



TERMISTORES NTC

Coeficiente de temperatura o sensibilidad:

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

A 25°C y con $B = 4000$ K, resulta $\alpha = 4,5\%/^{\circ}\text{K}$
(10 veces superior a la Pt-100)

Ejemplo:

Una formula alternativa es $R_T = A e^{B/T}$.

Determine A si $B = 4100$ K y el valor de R es 150 kΩ a 25°C. Calcule el valor de "α" a 0° y 50°C, y el error de linealidad del termistor en ese tramo.

Se deduce $A = R_0 e^{-(B/T_0)} = 1,5 \cdot 10^5 e^{-(4100/298)} = 0,1588$ ohm

A 0°C = 273 K $\alpha(0) = -B / T^2 = 4100/273^2 = -5,5\%/K$

A 50°C = 323 K, $\alpha(100) = 4100/323^2 = -3,0\%/K$

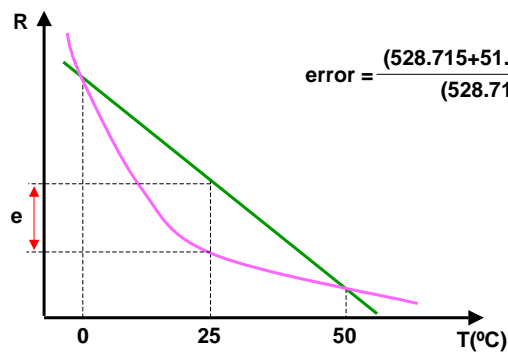


TERMISTORES NTC

El error de linealidad (desviación máxima entre la recta que une los extremos y la curva real) se suele dar a la mitad del intervalo (25°C).

$$R(0^{\circ}\text{C}) = A e^{-(4100/273)} = 528.715 \text{ ohm}$$

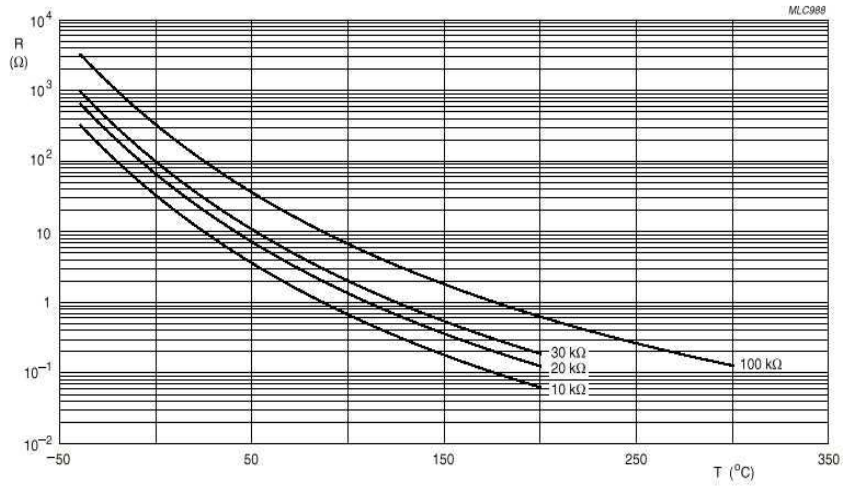
$$R(50^{\circ}\text{C}) = A e^{-(4100/323)} = 51.709 \text{ ohm}$$





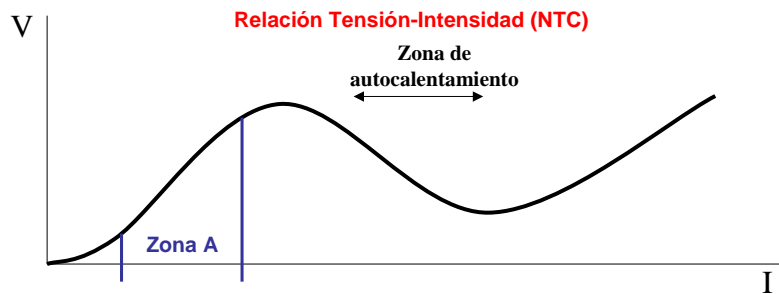
TERMISTORES NTC

Relación Resistencia-Temperatura (NTC)



TERMISTORES NTC

Relación Tensión-Intensidad (NTC)

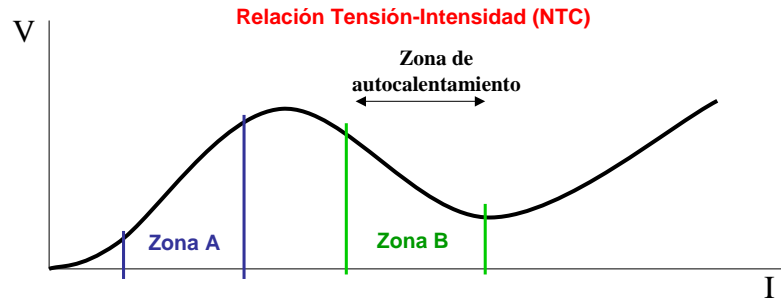


$$R_t = R_0 e^{B(1/T_a - 1/T_0)}$$

Zona A: Para corrientes bajas, el efecto de autocalentamiento es despreciable y la temperatura del termistor es la del ambiente. Además su resistencia es constante y la tensión en su bornes es proporcional a la corriente.



TERMISTORES NTC



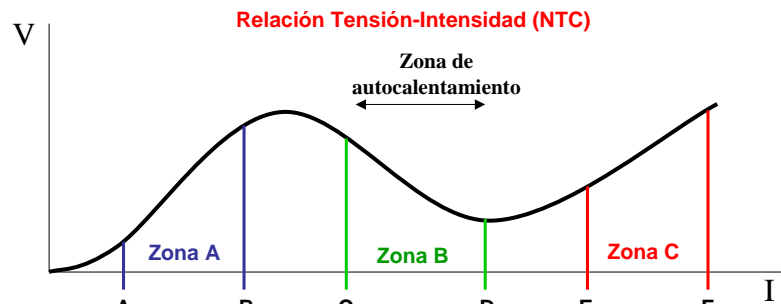
$$R_t = R_o e^{B(1/T_a - 1/T_o)} \quad R_t = R_o e^{B(1/T - 1/T_o)}$$

Zona B: La corriente produce autocalentamiento y el termistor alcanza una temperatura superior a la del ambiente, *lo que* reduce su resistencia. En esta zona el termistor es sensible a cualquier efecto que altere el ritmo de disipación de calor lo que permite aplicarlo a las medidas de caudal, nivel, conductividad calorífica,

Si la velocidad de extracción del calor es constante, el termistor es sensible a la potencia eléctrica aplicada, y se puede utilizar para controlar el nivel de tensión o de potencia.



TERMISTORES NTC



$$R_t = R_o e^{B(1/T_a - 1/T_o)} \quad R_t = R_o e^{B(1/T - 1/T_o)} \quad R_t = R_o e^{B/T_o}$$

Zona C: Para intensidades elevadas, la potencia disipada supera la zona en la que la NTC tiene un coeficiente de temperatura negativo (agotamiento de portadores). A partir de este punto su comportamiento es como el de un conductor con coeficiente positivo hasta alcanzar el valor máximo admisible de potencia disipada que destruye el termistor.



TERMISTORES NTC

Linealización analógica

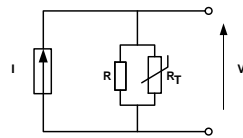
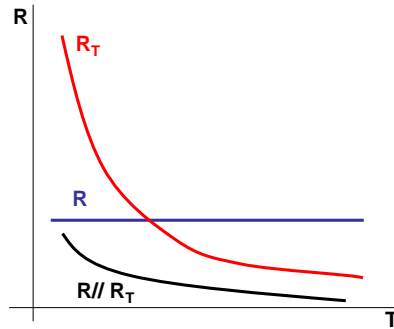
A veces es necesario linealizar la curva del termistor. Para ello se suele utilizar una resistencia en paralelo. Aunque la resistencia resultante no es totalmente lineal, su variación con la temperatura es menor.

Elevar la linealidad implica reducir la sensibilidad.

$$R_p = \frac{R_T R}{R_T + R}$$

$$dR_p/dT = \frac{R^2}{(R_T + R)^2} dR_T/dT$$

$$\alpha_p = \frac{1}{R_p} \frac{dR_p}{dT} = \alpha \frac{R}{R_T + R} < \alpha$$



TERMISTORES NTC (Linealización analógica)

Método de los tres puntos

El método analítico consiste en forzar tres puntos de paso en la curva R/T . Por ejemplo, que a tres temperaturas equidistantes, R_p esté sobre una recta:

$$\frac{R_{p1} - R_{p2}}{T_1 - T_2} = \frac{R_{p2} - R_{p3}}{T_2 - T_3}$$

Si las tres temperaturas son equidistantes:

$$\frac{R R_{T1}}{R + R_{T1}} - \frac{R R_{T2}}{R + R_{T2}} = \frac{R R_{T2}}{R + R_{T2}} - \frac{R R_{T3}}{R + R_{T3}}$$



y de esta expresión se obtiene el valor de la resistencia R a añadir:

$$R = \frac{R_{T2} (R_{T1} + R_{T3}) - 2R_{T1} R_{T3}}{R_{T1} + R_{T3} - 2R_{T2}}$$

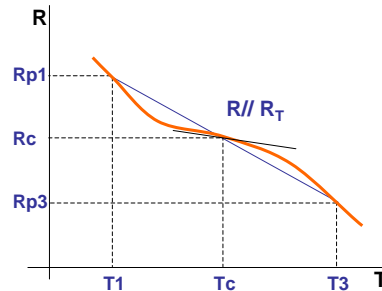


TERMISTORES NTC (Linealización analógica)

Método del punto de inflexión

Otro método analítico consiste en forzar un punto de inflexión en la curva R-T que esté justo en el centro del margen de medida. Para obtener el valor de R basta derivar otra vez con respecto a la temperatura e igualar el resultado a cero.

$$R = R_c \frac{B - 2T_c}{B + 2T_c}$$



TERMISTORES NTC

Modo de utilización con autocalentamiento

La temperatura de la NTC se eleva por encima de la del ambiente cuando la corriente que pasa a través de ella es significativa. Esto hace que su resistencia disminuya y en consecuencia también lo hace la tensión en sus bornes si la corriente que la atraviesa permanece constante.

La constante de tiempo es el tiempo que transcurre desde que se aplica una determinada tensión a la NTC hasta que se alcanza el valor estacionario de la corriente a través de ella. Esta característica se utiliza para generar retardos y eliminar transitorios.

La relación entre la potencia disipada P y ΔT es:

$$P_{\text{dis}} = \delta \Delta T$$

En la cual δ : coeficiente de disipación térmica que es la potencia en mW/K disipada que depende del tipo de encapsulado, de la superficie de contacto con el ambiente, etc.

ΔT : incremento de la temperatura interna de la NTC debida al autocalentamiento

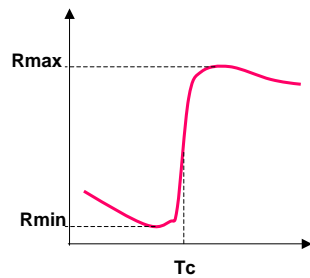


TERMISTORES PTC

El modelo matemático de los PTC es muy complejo.
El coeficiente positivo solo se da en un margen muy estrecho de temperaturas.
Generalmente se considera un sistema paso bajo de primer orden:

$$R_T = A + C e^{B/T} \quad \text{para } T_1 < T < T_2$$

En la cual A, B y C son constantes y T_1 y T_2 son la temperatura mínima y máxima de funcionamiento de la PTC.



El coeficiente de temperatura es:

$$\alpha = \frac{1}{R} \frac{dR}{dT} = \frac{BC e^{B/T}}{A + C e^{B/T}}$$



TERMISTORES PTC

Existen dos tipos de PTC que se diferencian por su composición y su grado de impurificación (*doping*).

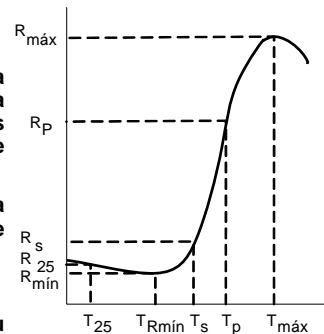
▪ **Posistores:**

Son de tipo cerámico y su resistencia cambia bruscamente cuando se alcanza la temperatura de Curie. Su coeficiente de temperatura es positivo en un margen estrecho de temperaturas.

La temperatura de conmutación (T_s) es la temperatura a la que la PTC tiene un valor de resistencia doble del valor mínimo (T_{Rmin}).

▪ **Silistores:**

Son de silicio impurificado y la variación de su resistencia con la temperatura es mas suave. Se han utilizado para medida de temperatura.



Curva característica resistencia-temperatura de un posistor

Las PTC pueden funcionar con y sin autocalentamiento.



TERMISTORES

Fabricación de termistores

Las NTC se fabrican **sinterizando silicio con óxidos metálicos de** (Ni, Co, Mn, Fe, Cu). en una atmósfera controlada.

La proporción de óxidos determina la resistencia y el coeficiente de temperatura. Para altas temperaturas ($> 1000^{\circ}\text{C}$), se emplean **óxidos de ytrio y circonio**.

Las PTC de **conmutación** se fabrican con **titanato de bario** y **titanato de plomo** o de **circonio** para determinar la temperatura de conmutación. Hay modelos entre -100° y $+250^{\circ}\text{C}$.

Las PTC de **medida** están basadas en **silicio impurificado**.

La **estabilidad** con el tiempo se logra sometiendo el termistor a un **envejecimiento artificial (calentamiento)**.

La **estabilidad con el medio** se consigue **recubriendo el termistor con vidrio** si el medio en el que va a trabajar afecta a este último.

La **intercambiabilidad** sólo está garantizada para modelos especiales.



TERMISTORES

Ventajas de los termistores

Las ventajas de los termistores hacen que se continúe utilizándolos.

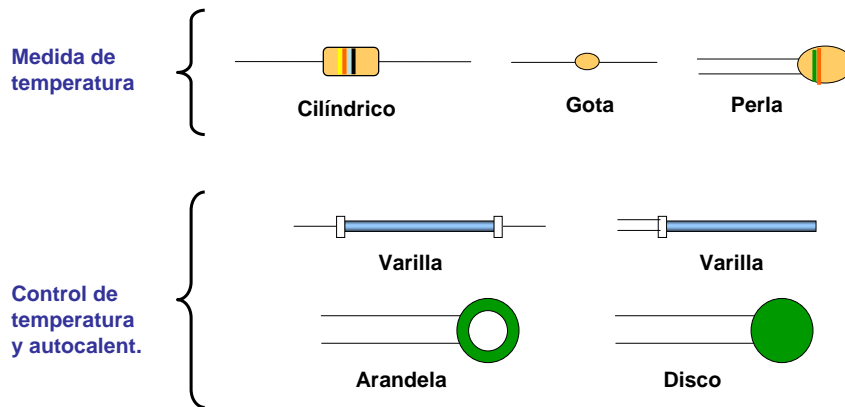
- Su **elevada sensibilidad** permite obtener alta resolución en la medida de temperaturas.
- Su **elevada resistividad** permite emplear hilos largos para su conexión porque tienen mayor resistencia y coeficiente de temperatura.
- Su **masa es muy pequeña** por lo cual su velocidad de respuesta rápida es alta.
- Se pueden utilizar en una **gran variedad de aplicaciones** en régimen de autocalentamiento.
- Su **coste es muy bajo**.



TERMISTORES

Tipos de termistores y aplicaciones

Las formas en que se presentan las NTC son múltiples, y cada una de ellas está orientada a un tipo concreto de aplicaciones.



TERMISTORES

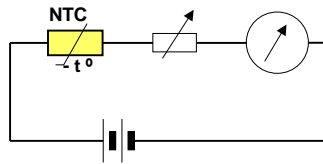
Aplicaciones de los termistores

- Basadas en el **calentamiento externo** del termistor :
 - Todas las relativas a la medida, control y compensación de temperatura.
 - Basadas en el **autocalentamiento del termistor**:
 - Medidas de caudal.
 - Medidas de nivel.
 - Medida de vacío (método Pirani).
 - Análisis de la composición de gases.
 - Control automático de volumen y potencia (obsoleta).
 - Generación de retardos .
 - Supresión de transitorios.
- En estos casos varía la conductividad térmica del medio alrededor del termistor

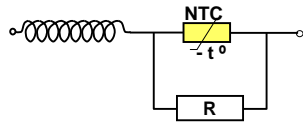
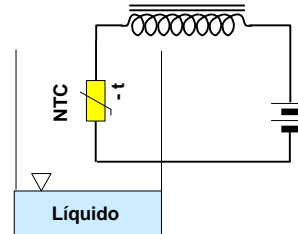


TERMISTORES

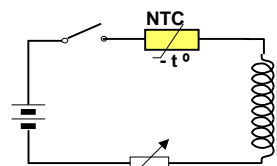
Aplicaciones de los termistores NTC



(a) Termostato



(b) Circuito de compensación térmica



(c) Circuito de control térmico



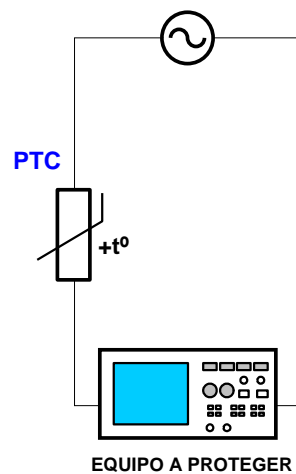
TERMISTORES PTC

Aplicación de las PTC

Protección contra sobretensiones

Cuando la tensión de la red tiene su valor nominal, la PTC tiene una resistencia tal que la mayor parte de la tensión se aplica al equipo a proteger.

Si se produce una sobretensión en la red, se calienta la PTC, lo que hace que aumente su resistencia y que se limite la tensión en bornes del equipo.

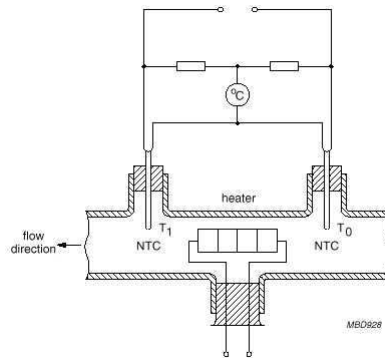




TERMISTORES

Aplicaciones de los termistores

Caudalímetro con Termistores NTC



El fluido se calienta mediante una pequeña resistencia atravesada por una corriente constante. Debido a ello recibe una cantidad de calor constante por unidad de tiempo y alcanza una temperatura que es función de la velocidad.

La lectura del micro amperímetro, colocado en una de las ramas del puente, depende de la diferencia de temperaturas ($T_1 - T_0$) a que se encuentran los termistores.

Si la velocidad del fluido es nula, el calor se reparte por igual en ambas direcciones y los dos termistores están a la misma temperatura.

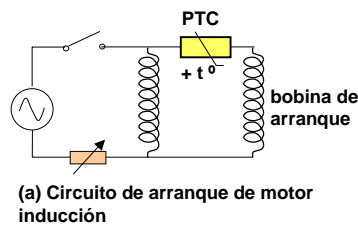
En este caso se debe ajustar el puente para que el indicador no se desvíe.

Si aumenta la velocidad del fluido, la temperatura T_0 disminuirá y la T_1 aumentará

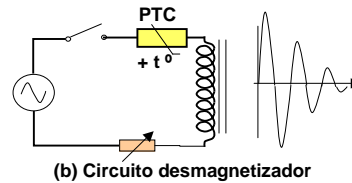


TERMISTORES

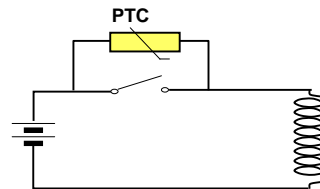
Aplicaciones de Termistores PTC



(a) Circuito de arranque de motor inducción



(b) Circuito desmagnetizador



(c) Supresor de arcos



TERMISTORES

Ejercicios

1.- ¿Que es la temperatura de conmutación de una PTC?

- a) La temperatura a la que su resistencia se hace doble que la resistencia mínima.
- b) La temperatura a la que su coeficiente es positivo.
- c) La temperatura a la que su resistencia se hace máxima.

2.- ¿Que tipo de termistor PTC se utiliza para la medida de temperaturas?

- a) Cerámicos
- b) De silicio
- c) De germanio

3.- Una NTC a 27°C tiene una resistencia de 1000 Ω, siendo el coeficiente de temperatura $\alpha = -0.03$. ¿Cuál es su temperatura característica?

- a) 4000
- b) 2700
- c) 1000

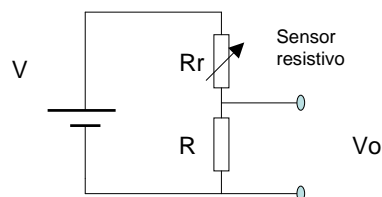


CIRCUITOS BÁSICOS DE ACONDICIONAMIENTO

a) Divisor resistivo

El divisor resistivo es adecuado cuando la variación x de resistencia por unidad de variación de la variable de entrada es elevada (por ejemplo en el caso de los termistores). Ello es debido a que si $x \ll 1$, la variación de V_o es pequeña con relación a V_o y cualquier error de medida produce un error porcentualmente elevado a la salida.

El divisor resistivo se utiliza en muchos sensores todo-nada que comparan V_o con una tensión de referencia y activan la salida cuando V_o supera su valor (p.ej. detectores de nivel de luz).



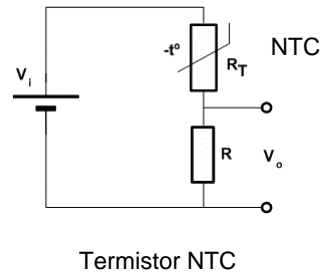
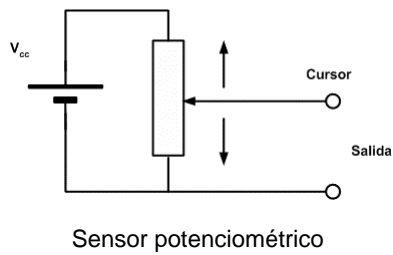
$$V_o = \frac{V}{R + R_r} R$$

$$R_r = R \frac{V - V_o}{V_o}$$



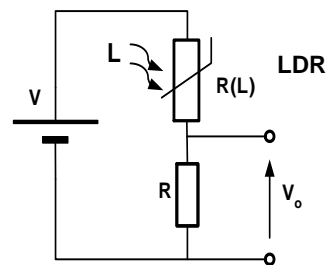
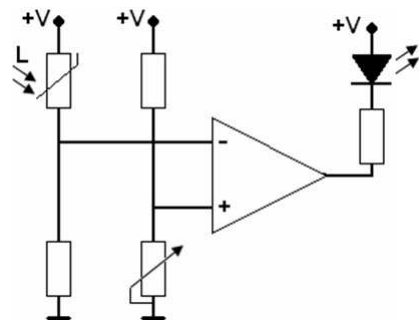
CIRCUITOS BÁSICOS DE ACONDICIONAMIENTO

a) Divisor resistivo



CIRCUITOS BÁSICOS DE ACONDICIONAMIENTO

a) Divisor resistivo

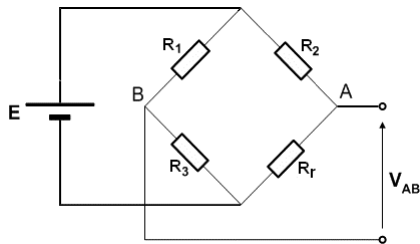




CIRCUITOS BÁSICOS DE ACONDICIONAMIENTO

b) Puento de Wheatstone

Es un método de medida basado en la comparación entre la tensión de un divisor fijo y otro en el que se coloca el sensor resistivo.



$$V_{AB} = V_A - V_B = \frac{ER_r}{R_2 + R_r} - \frac{ER_3}{R_1 + R_3}$$

$$\text{Si } R_1 = R_2 = R_3 = R$$

$$V_{AB} = \frac{ER_r}{R + R_r} - \frac{E}{2}$$

Puento balanceado

$$\text{Si } R_1 = R_2 \text{ y } R_3 = R_r \Rightarrow V_{AB} = 0$$

$$\text{Si } R_1 = R_3 \text{ y } R_2 = R_r \Rightarrow V_{AB} = 0$$



CIRCUITOS BÁSICOS DE ACONDICIONAMIENTO

b) Puento de Wheatstone

Es adecuado para los elementos sensores resistivos que poseen un valor de x reducida como por ejemplo las galgas extensométricas y las RTD.

La tensión de salida del puente se aplica a un amplificador que debe tener las características adecuadas.

