

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL

FACULTAD REGIONAL MENDOZA

DEPARTAMENTO DE ELECTRÓNICA

CÁTEDRA DE TECNOLOGÍA ELECTRÓNICA

RESISTORES ESPECIALES

PROFESOR TITULAR:

ING. ADOLFO F. GONZÁLEZ

PROFESOR ADJUNTO:

ING. RICARDO M. CESARI

AYUDANTE TRABAJOS PRÁCTICOS:

ING. RUBÉN O. VICIOLI

2009

---

**ÍNDICE**

RESISTORES FUSIBLES	4
TERMISTORES	4
NTC - (Negative Temperature Coefficient)	4
Fabricación	4
Formatos comerciales	5
Curvas Características	5
Características R - T	6
Características E-I	7
Constate de disipación $\delta$	7
Características I – t	8
Resistencia a nivel de potencia cero (Ro)	9
Usos del termistor	9
Mediciones de temperaturas	9
Compensación de bobinas con alambre de cobre	10
Compensación en transistores	11
Control de temperatura	12
Detector de nivel	12
Retardos de tiempos	13
Mediciones de potencia:	13
Altimetría:	14
Consideraciones especiales.	15
Uso del termistor auto calentado.	15
$\beta$ o pendiente	16
Temperatura ambiente	16
Termistores compuesto	17
Resistores de coeficiente positivo o Balasto	18
PTC ( Positive Temperature Coefficient )	18
Características R-T	18
Características V - I	19
Formatos	21
Aplicaciones	21
RTD (Resistance Temperature Detector) o TERMORESISTENCIA	23
Resistencia nominal a 0°C	23
Pureza del platino	23
Rango de temperatura	23
Intercambiabilidad entre unidades	23
Estabilidad a largo término	23
Dimensiones	23
Tiempo de respuesta ( $\tau$ )	23
Encapsulado	23
Configuración de los terminales	24
Algunos formatos comerciales	25
RESISTOR Fe - H	25
VDR (Voltage Dependent Resistor) o VARISTORES (vario - resistencia)	25
Fabricación	26

---

---

Comportamiento a la corriente continua	26
Ejemplo	28
Ejemplo	29
Valores prácticos de $\beta$ y C	29
Especificaciones y tolerancias	29
VDR en serie	29
VDR en paralelo	29
Valor de la resistencia	30
Potencia	30
Coeficiente de temperatura	30
Aplicación	31
VDR en corriente alterna	31
Aplicaciones	32
LDR ( Light Dependent Resistor)	32
Sensibilidad	33
Revisión de algunos conceptos	33
Sensibilidad espectral	33
Frecuencia de trabajo	33
Disipación	34
Temperatura de trabajo	34
Tolerancias	34
Tensión de trabajo	34
Costo	34
Algunas aplicaciones con LDR	35
MAGNETO RESISTORES (MDR o MR)	36
Construcción del MR	36
La frecuencia de trabajo	37
Aplicaciones	37
GENERADOR DE HALL (año 1879)	37
BIBLIOGRAFÍA	39

## RESISTORES FUSIBLES

Son resistores fabricados especialmente, para aquellos casos en que se debe producir un circuito abierto para ciertas condiciones de sobrecarga con tiempo controlado de fusión, normalmente para proteger semiconductores, aunque la variedad de aplicación es muy amplia.

Se fabrica con alambre de bajo diámetro bobinado. Actúa en el rango de los milisegundos y su valor óhmico oscila entre los  $0,5 \Omega$  a  $200 \Omega$  como rango estándar de fabricación. Las aleaciones actúan entre  $1000$  y  $1500^\circ\text{C}$  mientras que en un buen resistor en trabajo estable no excede los  $350^\circ\text{C}$ . El bobinado de bajo diámetro es moldeado sobre un núcleo de vidrio, luego encapsulado y cementado con una cerámica, esto hace que en condiciones normales la masa disipa bien. Bajo condiciones de extrema corriente, ocurre un efecto complejo: Si la corriente es muy alta la resistencia puede detonar, para ello se hace el encapsulado de manera que contenga el metal derretido. También se están desarrollando resistores de película porque permiten más alto potencial entre los extremos.

Tiene ventajas con respecto al fusible común de aleación de plata, porque el tiempo de fusión es más controlado. Todos los equipos modernos en el área de computadoras y periféricos lo tienen.

Para su uso es deseable conocer:

- La corriente normal de operación ( $I$  nominal).
- Resistencia total deseada y tolerancia.
- Corriente en función del tiempo de fusión requerido.
- Temperatura límite de operación.
- Descripción del transitorio, magnitud, duración, repetición.
- Requerimientos físicos, tamaño y peso.
- Temperatura ambiente de trabajo.
- Requerimientos especiales de encapsulado como de datos complementarios.
- Gráfica de sobre elevación de potencia en % en función de la altitud (sobre el nivel del mar).
- Gráfica de incremento de potencia en %, en función de la velocidad del aire, (para refrigeración forzada).
- Gráfica del incremento en % del ciclo de potencia al que está expuesto el resistor fusible.

## TERMISTORES

Se llaman Termistores a aquellos resistores que varían su resistencia en forma considerable con la temperatura, la forma correcta del termino se refiere a aquellos que tienen coeficiente de temperatura negativo (NTC), aunque a veces se involucra a aquellos que presentan coeficiente positivo (PTC).

### NTC - (Negative Temperature Coefficient)

#### Fabricación

Se sigue un proceso comparable al que se utiliza en la industria de la cerámica. Una vez mezclados los componentes cuidadosamente, se añade un aglomerante plástico, al que se le da la forma adecuada, ya sea por extrusión (varillas) o compresión hidráulicas (discos), a continuación se someten a las piezas formadas a SINTERIZACIÓN, es decir a presión y temperaturas elevadas. El paso final consiste en la colocación de los contactos eléctricos, soldándolos con pasta de plata o bien por otros métodos como plateado electrolítico o pulverización metálica. Los termistores NTC miniatura, se fabrican aplicando una gota de pasta de óxido, entre dos hilos de aleación de platino paralelos de  $60$  micrones de diámetro y separados  $0,25$  mm. Después se somete al conjunto al secado y sinterización correspondiente, con lo que la gota se une a los hilos formando un sólido y seguro contacto. Estos termistores luego se montan en ampollas de vidrio, estas sirven de protección contra gases y líquidos corrosivos. Se fabrican a partir de óxidos semiconductores de los metales de transición del grupo del hierro como Cr, Mn, Fe, Co, Ni. La resistencia específica de

estos óxidos en estado puro es muy elevada, pero se transforman en semiconductores al añadirles pequeñas cantidades de otros iones de distinta valencia.

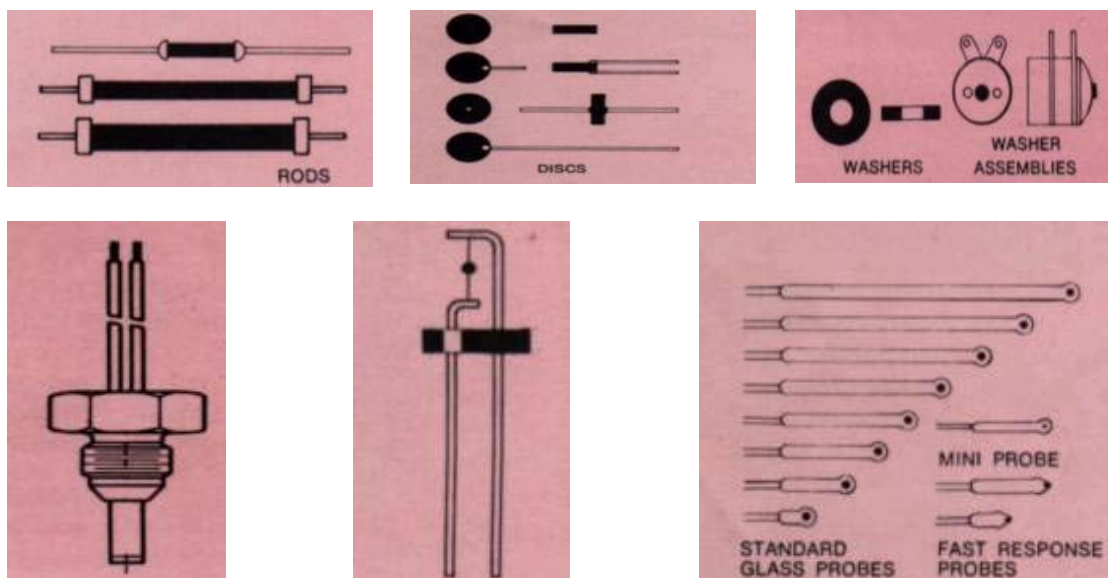
Ejemplo: Óxido férrico ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) con sustitución de algunos de sus iones  $\text{Fe}^{3+}$  por  $\text{Ti}^{4+}$ . Para que el óxido resultante siga siendo eléctricamente neutro se compensan estos iones con una cantidad igual de iones  $\text{Fe}^{2+}$ . A bajas temperaturas estos iones permanecen junto con los  $\text{Fe}^{3+}$  en las proximidades de los  $\text{Ti}^{4+}$ , pero al aumentar aquellos, abandona gradualmente estas posiciones y contribuyen a la conductividad. En este caso tenemos un semiconductor tipo N.

Si ahora se hace el procedimiento con óxido de níquel  $\text{NiO}$  o de cobalto  $\text{CoO}$  con sustitución parcial de iones  $\text{Ni}^{2+}$  con iones  $\text{Li}^{1+}$  se obtienen semiconductores tipo P.

El empleo de uno u otro de estos materiales depende del coeficiente de temperatura y de la resistencia específica que se desea obtener.

El  $\alpha$  (coeficiente de temperatura) se puede expresar en  $\%/^{\circ}\text{C}$  y para tener una idea, los termistores a temperatura ambiente pueden llegar de 5,8 % a 6 $\%/^{\circ}\text{C}$ , mientras que el platino tiene un coeficiente de 0,36  $\%/^{\circ}\text{C}$ .

### Formatos comerciales



A partir de estas formas básicas se presentan en una gran variedad de montajes y encapsulados, las características más importantes de los modelos anteriores son:

Gota: El rango de valores oscila entre 300  $\Omega$  y 1000  $\Omega$ , los diámetros oscilan entre 0,15 mm y 2,54 mm.

Punta de prueba: El rango de variación va de 500  $\Omega$  a 10 M $\Omega$ , con un diámetro máx. de 2,54 mm y longitudes variables de 6,35 mm a 50,8 mm.

Disco: El rango de variación va de 5  $\Omega$  a 10 K $\Omega$  con diámetros que van de 2,54 mm a 25,4 mm y un espesor de 0,5 mm a 12,5 mm.

Arandela: El rango de variación va de 10  $\Omega$  a 415  $\Omega$  y el diámetro normal es de 19 mm pero a pedido se pueden obtener otros, el espesor va de 1,34 mm a 4,39 mm.

Varilla: El rango va de 1 K $\Omega$  a 150 K $\Omega$  con diámetros que van de 1,34 mm a 4,39 mm.

### Curvas Características

Hay tres características importantes de los termistores que los hacen útiles en circuito electrónicos y eléctricos, estas características son:

1. Características R -T (resistencia en función de la temperatura).
2. Características E - I (tensión en función de la corriente).
3. Características I - t (corriente en función del tiempo ).

### Características R -T

La resistencia del termistor es función solamente de la temperatura absoluta, esto significa que para su utilización en esta forma se debe tener mucho cuidado con la corriente que se le hace circular, esto se debe a que dicha I puede provocar un auto calentamiento disminuyendo el valor de la resistencia, sin que haya variado la temperatura del ambiente exterior.

Al valor de la resistencia medida sin corriente o siendo esta muy pequeña, se la llama  $R_0$ .

La ecuación matemática que la relaciona con el valor absoluto de la temperatura, es la siguiente :

$$\frac{R_{0T}}{R_{0T_0}} = e^{\beta \left( \frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right)}$$

$R_{0T}$  = resistencia a la Temp. absoluta T.

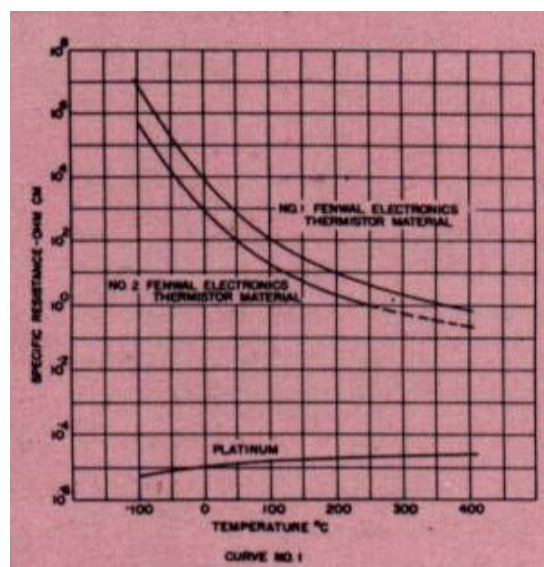
$R_{0T_0}$  = resistencia a la Temp. absoluta  $T_0$ .

$\beta$  = constante que depende del material que está construido el termistor. Los valores de  $\beta$  oscilan entre 2000 y 6000 , y para los productos fabricados por Fenwall es aproximadamente 4000.

Coefficiente de temperatura: el coeficiente de variación por temperatura  $\alpha$  es la relación entre el cambio de resistencia con temperatura y la resistencia del termistor a una temperatura dada, a este coeficiente se lo expresa en  $\%/^{\circ}\text{C}$  y viene dado por la siguiente ecuación:

$$\alpha = \frac{1}{R_{0T}} \cdot \frac{dR_0(T)}{dT} = -\frac{\beta}{T^2}$$

Tenemos un gráfico que nos muestra la variación de la resistencia específica con la temperatura para dos materiales distintos comparadas con el Platino, por variaciones de temperatura entre  $-100^{\circ}\text{C}$  y  $400^{\circ}\text{C}$ .

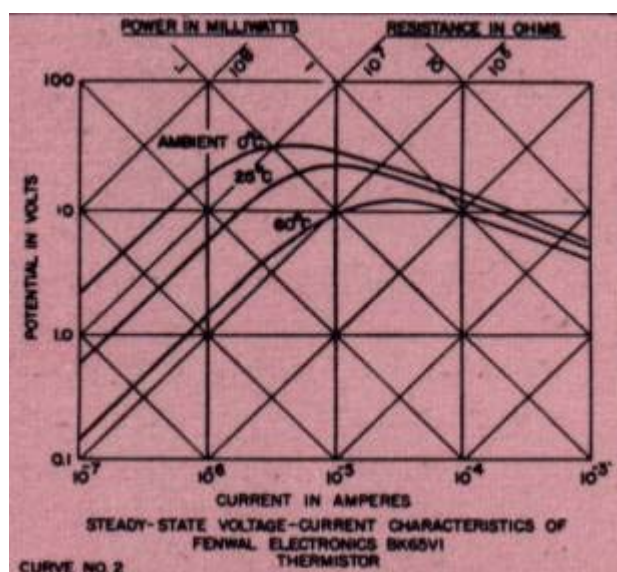


## Características E-I

Si se aplica una pequeña diferencia de potencial a los terminales del termistor, fluirá una pequeña cantidad de corriente, cuidando que esa corriente no produzca un auto calentamiento, podamos entonces hacer que el termistor lea la temperatura del medio que lo rodea, modificando su resistencia de acuerdo a las variaciones de temperatura. En estas condiciones se cumplirá la ley de Ohm o sea la corriente que circula será proporcional al voltaje aplicado, en la figura 7 el tramo lineal de pendiente creciente. Si la tensión aplicada es incrementado se incrementará la corriente circulante y esta producirá un auto calentamiento del termistor, esto a su vez provocará una disminución de la resistencia del termistor con lo que aumenta la  $I$ , además la disminución de la resistencia produce una disminución de la tensión entre sus bornes, esto hace que no se cumpla la ley de Ohm presentando una zona de resistencia negativa.

En estas condiciones el termistor puede llegar a su auto destrucción, para evitar esto una resistencia en serie con el termistor que limita la  $I$  circulante.

La gráfica que nos muestra esta característica es la siguiente:



La zona de pendiente negativa que es la zona de auto calentamiento, tiene muchas aplicaciones donde el termistor reacciona más por cambio de dos medios disipativos diferente que por la temperatura de los mismos, por ejemplo auto calentando el aire y luego pasarlo a agua o aceite.

Cuando por estos medios, pasa de pendiente (-) a (+), se dice que el termistor trabajando en conmutación.

A los efectos de poder contemplar el amplio rango de trabajo, tanto como en corriente, los fabricantes dan al gráfico en escala doble logarítmica. Una vez fijada la temperatura ambiente, el valor de resistencia del termistor es función de la potencia que tiene que disipar por sí mismo. En operación normal, o sea a bajas  $I$ , la temperatura ambiente que lo rodea puede ser de 200°C a 300°C bajando la resistencia a un valor de 1000 veces.

### Constate de disipación $\delta$

Se define a la constante de disipación  $\delta$  como la potencia que requiere el termistor en mV para alcanzar 1 °C la temperatura de su cuerpo por encima de la temperatura ambiente. El aumento de temperatura del termistor debido a esa potencia disipada depende de la eficacia con que es eliminado el calor de su cuerpo, por este motivo  $\delta$  es dependiente de los factores que le permiten perder calor al cuerpo del termistor, o sea: conducción, convección y radiación. Esto nos dice deberemos tener en cuenta :

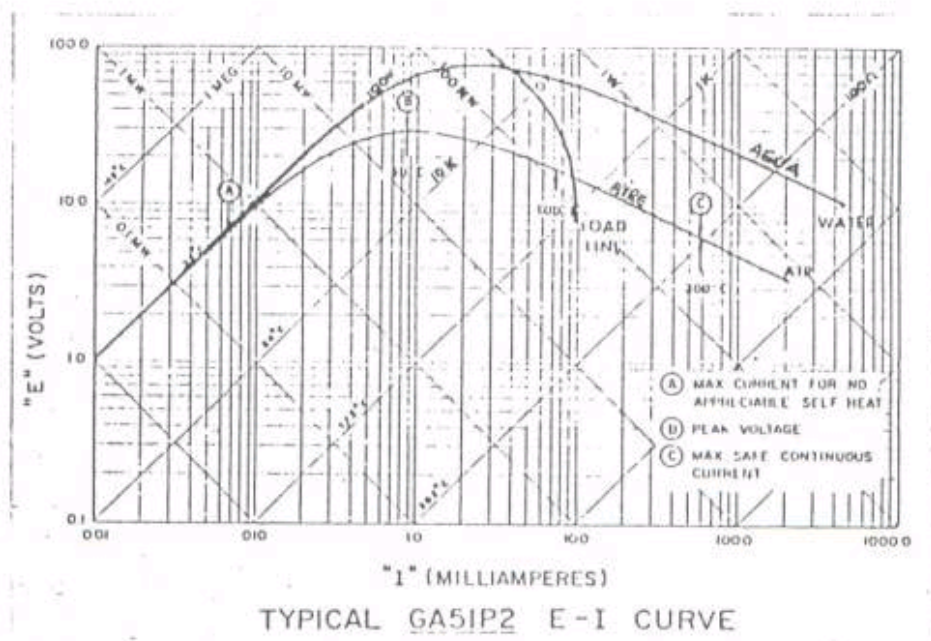
- La conductividad térmica del medio donde se coloca el termistor.
- La velocidad relativa del medio donde se coloca el termistor.

- Los terminales, diámetro y composición del termistor.
- El tamaño, configuración y superficie reflectante del termistor.

Si cualquiera de estos factores mencionados se modifican, el termistor ganará o perderá calor por lo tanto la constante de disipación  $d$  se verá disminuida o aumentada, o sea que la variación de  $d$  depende del medio.

Por ejemplo la const.  $d$  para un disco de 0,4" de diámetro (VECO tipo 21E2) cuando está colocado en aire estático vale 8 mV/°C y si al mismo elemento se lo coloca en aire en movimiento a razón de 1 pies / min. , la constante  $d$  será 35 mV/°C.

La figura siguiente nos muestra para el mismo termistor la constante para el aire y para el agua .



### Características I – t

Si se aplica una tensión a un termistor al cual se le ha colocado una resistencia en serie, fluirá una determinada corriente que dependerá de la tensión que se aplica y de la resistencia total que se tiene en el circuito. Si la tensión que se aplica es lo suficientemente alta, algo de calor se generará en el cuerpo del termistor, esto hará aumentar su temperatura con lo cual disminuirá su resistencia, esto a su vez hará que se incremente la corriente, esto a su vez hará disminuir aún más la resistencia del termistor. Esto ocurre hasta que se alcanza el máximo de temperatura que sea posible la cual está dada por la potencia en juego en el circuito. Este proceso lo cumple el termistor en un cierto tiempo.

Dado que el termistor tiene una cierta masa, ella toma un cierto tiempo para elevar su temperatura hasta el valor máximo, este tiempo será entonces función de : la masa del termistor, del valor de la resistencia en serie y de la tensión aplicada.

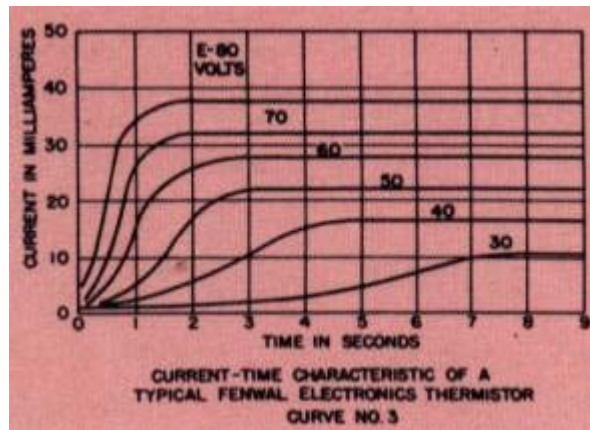
La curva siguiente muestra el tiempo de retardo para alcanzar el máximo de corriente para un termistor, en la gráfica se ve que dicho tiempo es función de la tensión aplicada. Efectuando la elección del termistor y de los elementos asociados, es posible producir retardos de tiempo del orden de 0,001 seg. hasta varias horas.

Podemos definir una constante de tiempo  $t$ , como el tiempo requerido por el termistor para producir un 63% de diferencia entre la temperatura que tenía inicialmente y aquella temperatura debida al medio cuando no se disipa potencia en el termistor, esta constante depende de la transferencia de calor entre el termistor y el medio, por ejemplo puede llegar a valer 100 seg. para aire estático y 30 seg. para aire en movimiento ( 1000 p / min.). A mayor masa el termistor tarda más tiempo en alcanzar el valor final de temperatura.



### Resistencia a nivel de potencia cero ( $R_0$ )

Pueden darse valores óhmicos diferentes para termistores de un tamaño, forma y configuración dada, dentro de ciertos límites. En la generación de curvas E-I para termistores de igual configuración física (parámetros) pero con valores de resistencia diferentes, la unidad que tenga más alta y un termistor que tenga más bajo el valor lo hará con una línea de resistencia constante mas baja en valor. Por lo tanto, la potencia requerida para alcanzar una temperatura determinada es igual tanto para uno como para otro, este se debe a que  $d$  es igual ya que se trata de termistores de iguales parámetros físicos. Ver la figura siguiente : curva E-I



Nota : justificación de la retícula formada por las rectas de resistencias y las de potencias. Por ser una escala doble logarítmica y con el objeto de evitar indeterminaciones, el origen del par de ejes de coordenadas no es cero, sino que se lo hace próximo a él. Para la tensión en 0,1 V y para la corriente 0,01 mA. Esto indica que, por allí necesariamente pasa la respuesta de una resistencia lineal de  $10\text{K}\Omega$ .

$$0,1 \text{ V} / 0,01 \text{ mA} = 10 \text{ K}\Omega$$

Para el punto de 1,0 V y el origen de corriente 0,01 mA pasa la recta de 100 KW y así sucesivamente se trazan las otras. En el caso de las potencias que son lineales porque las resistencias lo son, se procede de la siguiente forma: se determinan dos puntos y se traza.

El punto en el eje de ordenada para la tensión de 1,0 V con respecto al origen, la potencia vale:

$$V^2/R = 1/10\text{KW} = 0,1 \text{ mW}$$

El punto en el eje de abscisa vale para ese valor de potencia 0,1 mW;  $0,1 \text{ mW} = 0,1 \text{ V} * I$  (mA), de donde obtenemos que la corriente es :  $I = 0,1\text{mW}/0,1 \text{ V} = 0,01 \text{ mA}$  y así se trazan el resto de las rectas de potencia siempre respecto a la resistencia a nuestro origen de coordenadas que es  $10\text{K}\Omega$ .

Conclusión: la retícula así formada, permite rápidamente en cualquier punto de las curvas de los termistores, ver como se aparta de la respuesta lineal y para un valor de tensión o corriente elegido, cuanto está disipando.

### Usos del termistor

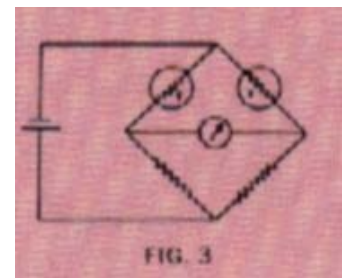
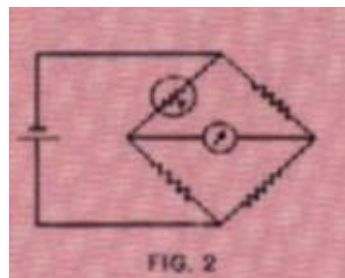
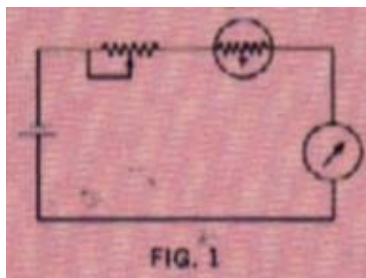
El número de sucesivas aplicaciones que se efectúa con gran éxito mediante el uso de termistores en los últimos años, hace que los límites queden impuestos por la imaginación del proyectista. Algunos de los principales usos son los siguientes:

#### Mediciones de temperaturas

Un circuito simple para medir temperatura consta de una batería, un termistor y un mili amperímetro ( Fig. N° 1). Cuando la temperatura cambia, cambia la resistencia del

termistor y se produce un cambio en la corriente que circula y que será acusada por el mili amperímetro. Para este fin se debe calibrar al mili amperímetro en temperatura. Hay que tener en cuenta que muchas veces se suele colocar al termistor a gran distancia sea mayor que 100 Kw., esto es para evitar que al variar la temperatura ambiente y varíe por consiguiente la resistencia de los conductores utilizados, no se produzcan errores en la medición.

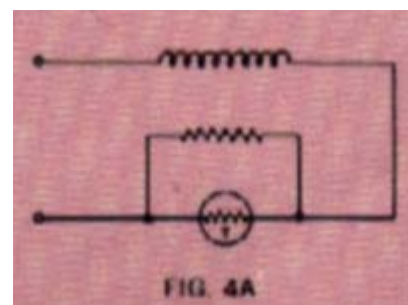
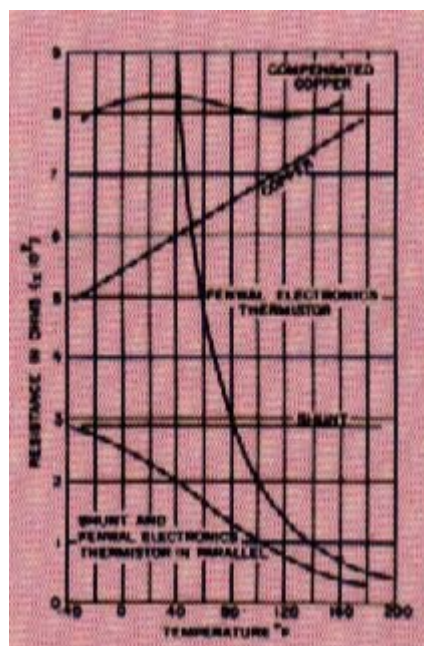
Los circuitos de la Fig. N° 2 y N° 3 presentan una mayor sensibilidad, además permiten el uso de instrumentos con el cero en el centro de la escala, esto nos dice que las mediciones que se realizan son del tipo diferencial. Hay que tener en cuenta que la calidad del termistor será quién nos dé la sensibilidad, se pueden obtener sensibilidades de hasta 0,0005 mV/°C aunque lo normal es que varíe de 18 mV/°C a 25 mV/°C, compárese este valor con una termocupla de Aluminio - Cromo que es de 0,04 mV/°C o con una de Hierro - Constanan de alrededor de 6 mV/100°C



En todos estos casos es posible colocar un amplificador operacional y luego recién el instrumento o el relé, mejorando de esta manera la sensibilidad y los factores de escala.

#### Compensación de bobinas con alambre de cobre

Supongamos que se quiere estabilizar un inductor frente a cambios de temperatura de 0° C a 60 °C, teniendo en cuenta que su resistencia varia de 4,555 W a 5,623 W. Este cambio en la resistencia implica una variación del "10,5 % esta variación se puede reducir mediante el uso de un termistor adecuado a valores del orden de un " 0,25 % lo que equivale a una variación de " 15 W. Esto se puede representar mediante la Fig. N° 4, un circuito simple de aplicación sería el de la Fig. N° 4.



También se los suele utilizar para compensar circuitos magnéticos, por ejemplo en las bobinas de instrumentos, se los coloca para mantener la impedancia constante en los yugos de deflexión, para eliminar el error de desplazamiento de fase en servo motores y generadores, para mantener constante la salida y velocidad de motores y generadores.

### Compensación en transistores

Se puede utilizar el termistor para compensar los corrimientos térmicos producidos en los transistores, estabilizando el funcionamiento de dichos circuitos. Se lo puede utilizar para controlar la tensión de emisor (Fig. N° 1) o controlar la tensión de base (Fig. N° 2). En el caso de la figura 1 el circuito contiene dos divisores de tensión, uno formado por los resistores  $R1$  y  $R4$  el otro formado por  $R2$  y  $RT1$ . El primer divisor polariza a la base y el segundo polariza al emisor.

Cuando se incrementa la temperatura se produce un aumento de la corriente de colector, pero al aumentar la temperatura disminuye la resistencia del termistor con lo que sube la tensión de polarización de emisor, como la tensión de polarización de base se mantiene constante, se reduce la tensión de polarización directa de la juntura base - emisor.

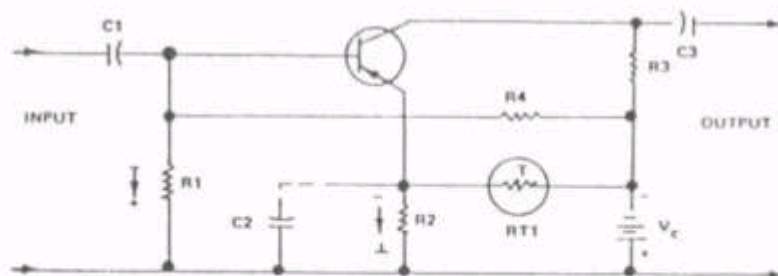


Figure 1. Transistor amplifier with thermistor control of emitter bias voltage

En el circuito de la figura N° 2 la polarización de base se logra mediante el divisor formado por los resistores  $R1$  y  $RT1$ . al aumentar la temperatura tiende a aumentar la corriente de colector, por otro lado tiende a disminuir la resistencia del termistor con la cual baja la tensión de polarización de base, esto hace disminuir la corriente de colector estabilizando el circuito.

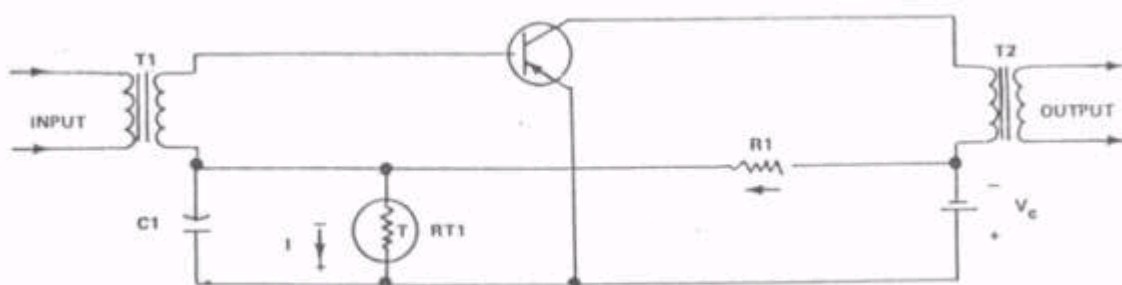
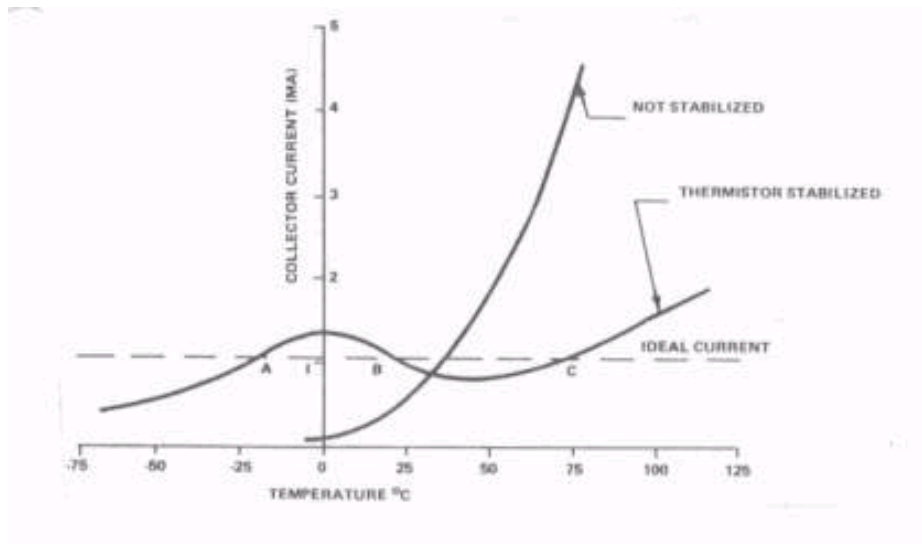


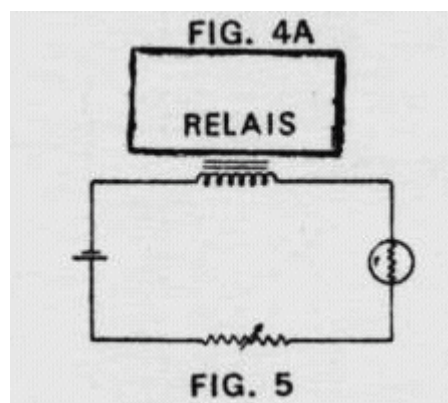
Figure 2. Transistor amplifier with thermistor control of base bias voltage

Los resultados que se obtienen con el uso del termistor se representan en la figura, en esta se represente la corriente de colector en función de la temperatura.

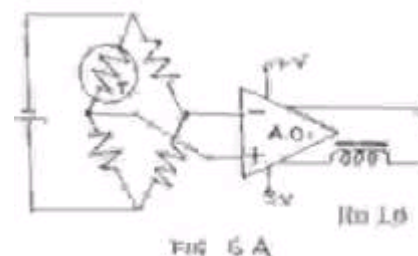
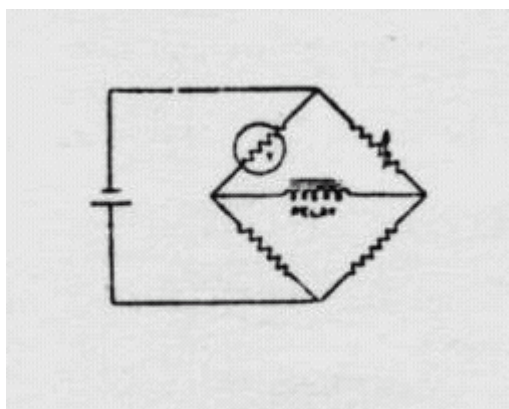


### Control de temperatura

Se puede realizar un control de temperatura colocando un termistor en serie con un relé y una batería. Esto se representa en la Fig. N° 5, variando el resistor se puede hacer que el relé se opere a distintas temperaturas.



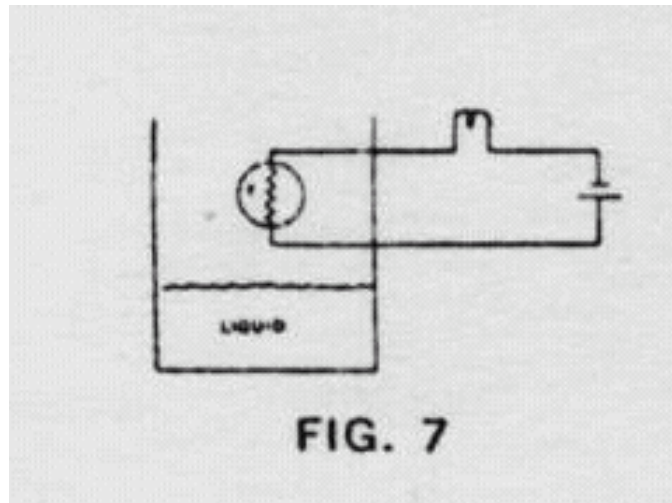
Si se quiere efectuar un control más sensible de la temperatura se debe utilizar el circuito de la Fig. N° 6. Si a este se le quiere conferir aún mayor sensibilidad, se debe agregar en lugar del relé un O.A. el que comandará al relé, Fig. N° 6 a.



### Detector de nivel

Se puede efectuar el detector de nivel colocando un termistor en serie con la batería y un relé o una lámpara, mientras el nivel no llega al termistor este presentará una

resistencia determinada que mantendrá al relé accionando o la lámpara encendida, pero cuando el nivel cubre el termistor, éste se encontrará en un medio de mayor conductividad térmica, esto hará incrementar la resistencia del termistor produciendo una disminución en la corriente que desactivará al relé o apagará la lámpara, esto se visualiza en la Fig. N° 7. Es una aplicación del termistor auto calentando (en conmutación).



#### Retardos de tiempos

Se puede producir un retardo de tiempo colocando, un termistor en serie con una batería, un resistor variable y un relé.

Figura N° 8: cuando se cierra el interruptor S, el termistor se encuentra en alta resistencia, esta comienza a disminuir por el calentamiento de su masa, esto hace que su corriente crezca hasta un determinado valor que hace que el relé se active.



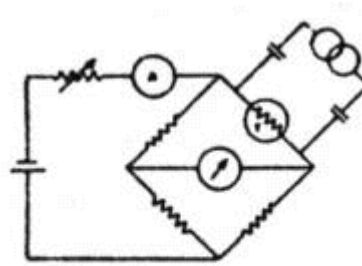
**FIG. 8**

Termistor trabajando en auto calentamiento (conmutación)

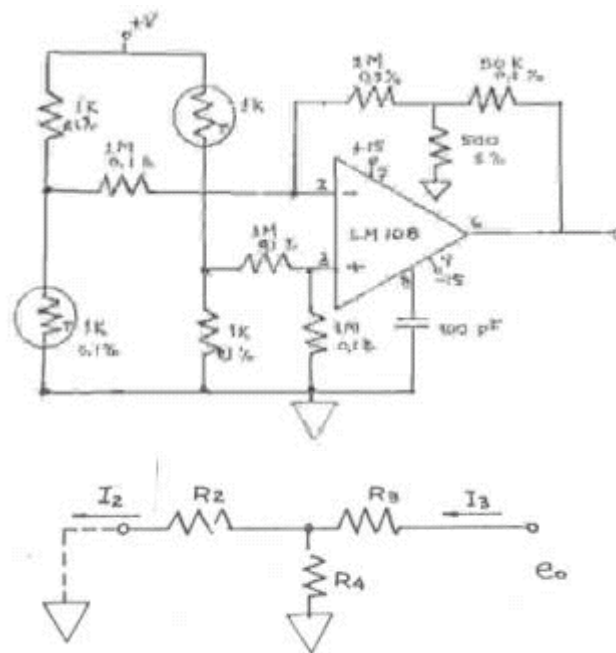
#### Mediciones de potencia:

Si se coloca un termistor en un puente Fig. N° 11, se balancea el puente mediante una resistencia variable, entonces se aplica al termistor la fuente externa producirá un calentamiento del termistor que hará variar su resistencia y por consiguiente se desbalancea el puente, esto lo acusa el instrumento, entonces se reduce mediante el resistor variable la potencia de C.C. aplicada originalmente hasta que queda balanceado nuevamente el puente, entonces la diferencia entre las dos potencias de C.C. se obtiene la potencia externa aplicada.



**FIG. 11**

Instrumentos que trabajan por conductividad térmica :Esta es una de las aplicaciones del termistor auto calentado, un circuito de aplicación típico sería el siguiente:



$$Z_{sc} = \frac{E_0}{I_2} = \frac{R_2 \cdot R_3 + R_2 \cdot R_y + R_3 \cdot R_y}{R_4} = R_f$$

Se ubican a los termistores en diferentes cavidades, esta pueden ser por ejemplo de bronce. Luego en una de las cavidades se reemplaza el aire por CO<sub>2</sub>. El error cometido es del orden del 0,5 %. Este mismo puente puede utilizar para medir flujo, con una calibración adecuada se puede medir flujo de 0,001 cm<sup>2</sup>/min., pudiéndose obtener relaciones de 100.000 a 1.

#### Altimetría:

Se puede construir un sensible altímetro sumergiendo al termistor en la masa de un líquido en estado de ebullición, el recipiente que los contiene debe estar abierto en su parte superior. Como la temperatura de ebullición es función de la presión sobre el líquido y este depende de la altitud, se obtiene entonces un instrumento que mide la altitud, a este instrumento se le da el nombre de Hipsómetro. Se pueden medir altitudes de hasta 38.000 mts. Con una precisión mayor al 1 %, ver Fig. N° 15

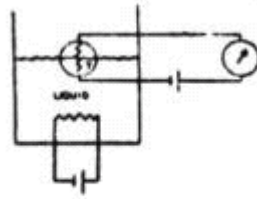
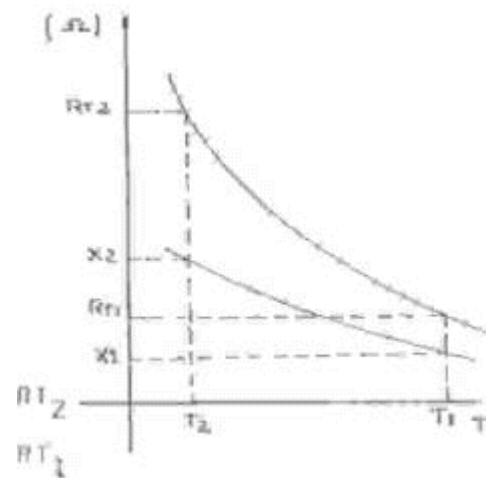
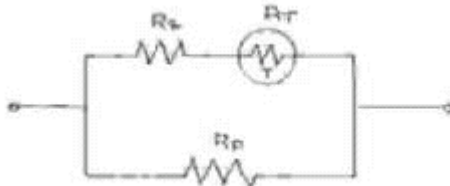


FIG. 15

### Consideraciones especiales.

Si no se conoce el  $\beta$  de la expresión (1), se puede obtener trabajando a dos temperaturas y midiendo las resistencias, luego le extraemos  $\ln$  y resolviendo se obtiene dicho valor.

Otra situación práctica que puede presentarse es que dada la curva de un termistor A, se pretenda que dicha curva pase por los puntos  $X_1$  y  $X_2$  o sea :



$X_2 = R_2$  para una temperatura  $T_2$  antes era  $R_{T2}$

$X_1 = R_1$  para una temperatura  $T_1$  antes era  $R_{T1}$

Si resolvemos el circuito obtenemos las siguientes ecuaciones :

$$R_2 = \frac{(R_S + R_{T2}) \times R_P}{R_S + R_{T2} + R_P} \quad R_1 = \frac{(R_S + R_{T1}) \times R_P}{R_S + R_{T1} + R_P}$$

Este es un sistema de ecuaciones con dos incógnitas perfectamente resoluble.

En estas condiciones al termistor se lo:

- Linealiza con respecto a la curva original.
- Su sensibilidad disminuye.

### Uso del termistor auto calentado.

Quando se usa el termistor auto calentado de deberá tener en cuenta la resistencia que se debe colocar en serie para limitar la corriente de auto calentamiento, con esto fijamos un punto en un lugar de las curvas E-I.

Se deben determinar la corriente y la tensión también la potencia necesaria para un punto de operación deseado, ya sea para seleccionar lecturas para control, dispositivos medidores, relés o luces. Para seleccionar la curva E-I se debe tener en cuenta que dicha curva para cada termistor depende:

1. De la constante de disipación
2. Resistencia a nivel de potencia cero ( $R_0$ )
3. Temperatura ambiente
4.  $\beta$  o pendiente del material termistor.

### **$\beta$ o pendiente**

El valor de  $\beta$  se expresa en K es esencialmente una constante para cada material dado, indica la relación del cambio de resistencia con la temperatura. Indicando a esta constante con las curvas E-I, se ve relacionado con el pico de la curva E-I. Como Ej. cuando  $\beta$  es cero, la resistencia del termistor no cambia con la temperatura ( o con la potencia aplicada ). Sin embargo la curva E-I continuará pasando a lo largo de una línea de resistencia constante.

La relación y el ángulo de desviación se incrementa con el aumento de  $\beta$  y también resultará en un incremento en la tensión pico de la curva. La temperatura en el pico de la curva E-I se expresa :

$$T_p = \frac{\beta}{2} - \left( \frac{\beta^2}{2} - T_a \right)^{\frac{1}{2}}$$

$T_p$  = Temperatura en el pico

$T_a$  = Temperatura ambiente

La ecuación que se usa para calcular la tensión pico, se expresa como sigue :

$$E_p = (R_p \cdot \alpha \cdot (T_p - T_a))^{\frac{1}{2}}$$

$E_p$  = Tensión al valor pico

$R_p$  = Resistencia al valor pico

$T_p$  = Temperatura al valor pico

$T_a$  = Temperatura ambiente

$\alpha$  = Otra medición de la pendiente, en el coeficiente de variación, se expresa : %  $\Delta R/^\circ C$

Ver la figura anterior N° 7

### **Temperatura ambiente**

Un cambio en la temperatura ambiente, afecta la resistencia del termistor aún sin que haya comenzado a disipar potencia. Esto afectará a la característica E-I. Para generar una nueva curva E-I a partir de la curva E-I para un termistor hecho con el mismo material, de igual configuración y a diferentes temperaturas ambientes, ver Fig. N° 7, la técnica que debe emplearse es la siguiente :

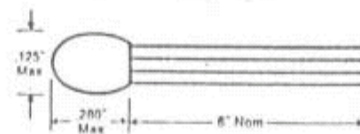
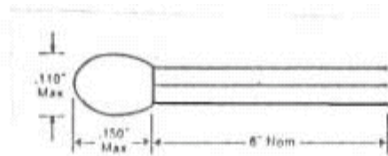
- El nuevo valor de resistencia se determina por la regla G 300 A, o por la hoja de valores que viene en el manual, o bien se hace la tabulación conociendo los parámetros del termistor en cuestión . este nuevo punto de referencia es marcado en la nueva línea de resistencia constante a cualquier línea de potencia constante.



- Medir la distancia existente entre líneas de resistencia constante de la curva de E-I ya existente a lo largo de una línea de potencia constante, hasta marcar el punto de intersección. Proceder a graficar la nueva curva E-I para la nueva temperatura ambiente, conservando la distancia medida constante, incrementando en la curva existente. Marcar puntos de referencia arbitrariamente y cerrar el intervalo siguiendo el contorno de la curva existente y conservando la distancia medida, igual a lo largo de la línea de resistencia constante y paralela a las líneas de potencia constante.

### Termistores compuesto

En todas aquellas aplicaciones donde se requiere un termistor con respuesta lineal a los cambios de temperatura, se puede utilizar un termistor compuesto. Estos termistores están formados por dos o más termistores dentro de una misma cápsula, estos termistores compuestos se forman con resistores formados con el mismo tipo de material. Algunos formatos son :



Cuando se los conecta en la forma indicada en la Fig. N° 3A y B se obtendrá una variación de resistencia o tensión lineal con la temperatura.

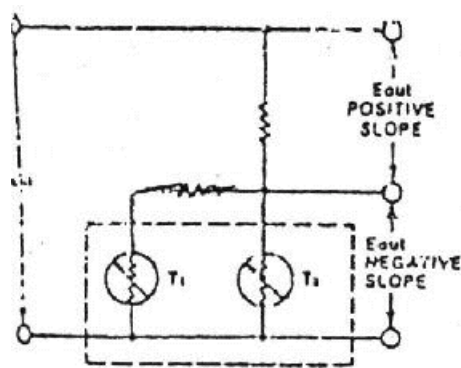


Figure 3A

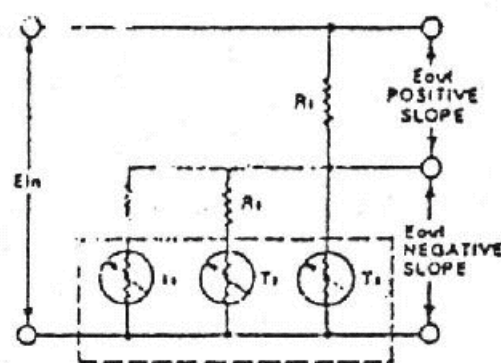


Figure 3B

Linear Voltage vs. Temperature

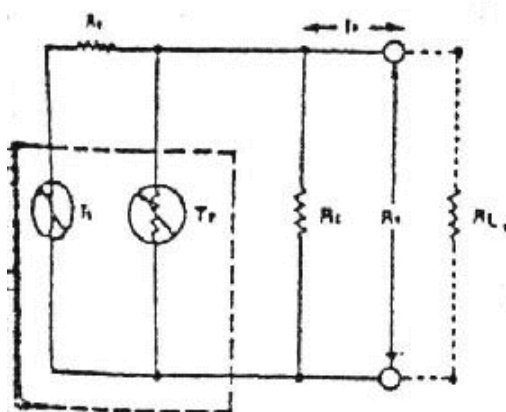


Figure 4A

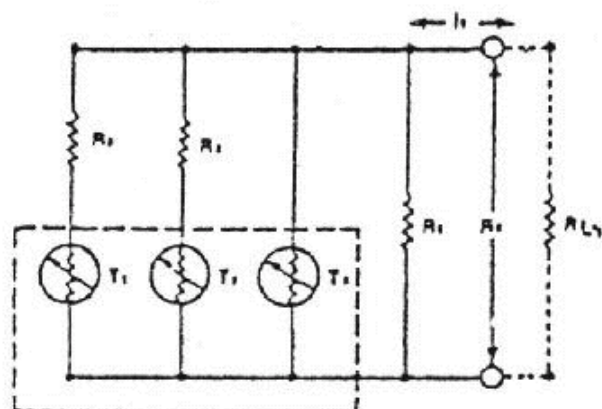


Figure 4B

En el caso del circuito de la Fig. N° 3 A y B la respuesta es lineal debido a lo siguiente :

La ecuación de un divisor de tensión viene dada por  $E_{out} = E_{in} \frac{R}{R + R_o}$

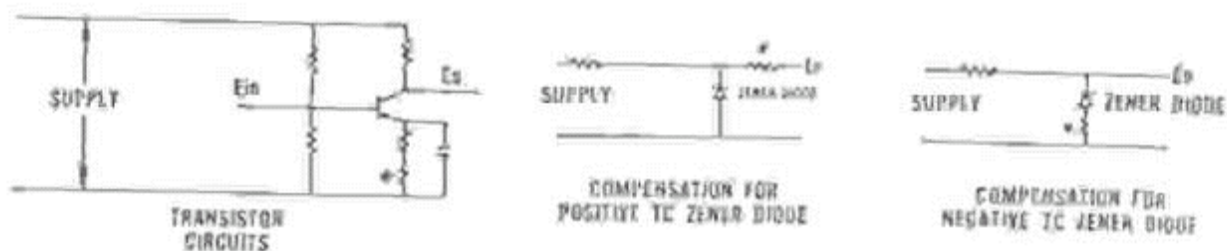
Donde  $E_{out}$  es la tensión a través de  $R$ , entonces si  $R$  es el termistor y gráfico la  $E_{out}$  en función de la temperatura, la curva resultante no será lineal, pero si se modifica  $R$  por la adición de otro termistor y resistor, se puede lograr que la curva resultante sea lineal a lo largo de todo el rango de variación de la temperatura. La sensibilidad de un termistor de este tipo es unas 400 veces mayor que la de una termocupla. Una aplicación de este termistor es usarlo con un voltímetro digital para obtener un termómetro preciso y sensible.

Nota: los números de las figuras no siguen un orden correlativo, porque se copiaron de hojas de especificaciones técnicas con la inclusión de dichos números.

### Resistores de coeficiente positivo o Balasto

También llamados balastos, término usado en USA. como Ballast que traducido a nuestro idioma Ballast resistor, quiere decir que es un estabilizador de corriente para fluctuaciones de tensión, ( equivalente a un zener pero de corriente).

Los balastos son resistores de alambre bobinados, con alto coeficiente positivo de variación por temperatura (58 % de Níquel altamente purificado y 61,1 % de Hierro ), con distintos nombres comerciales, tal como " Ballast Níquel " ( de la fábrica Wilbur B. Driver Co). El balasto actúa como un regulador de tensión sobre los extremos de una carga, cuando se coloca en serie por cuanto tiende a mantener constante la corriente. Cuando aumenta la corriente se incrementa su resistencia por lo tanto entre sus extremos hay un incremento de tensión que hace que en un circuito serie mantenga la corriente constante. Al final del capítulo se encuentran copias de hojas de especificaciones técnicas.

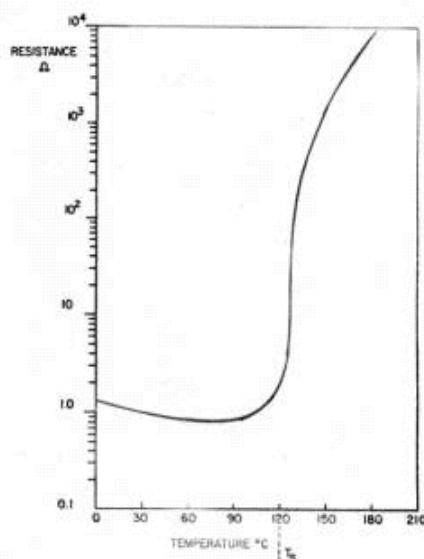


### PTC ( Positive Temperature Coefficient )

Los elementos PTC presentan coeficientes positivos de temperatura, o sea que a es mayor que cero, si analizamos un elemento de cobre, vemos que su resistencia se modifica 1,4 veces al variar la temperatura en un intervalo de 100 °C, pero si analizamos un elemento semiconductor, vemos que este es capaz de variar su resistencia unas 400 veces al variar la temperatura en un intervalo de 80 °C, por este motivo a los PTC se los construye con materiales semiconductores.

#### Características R-T

La curva correspondiente de variación de resistencia por temperatura no es logarítmica, como en el caso de los NTC, sino muy abrupta en el rango de temperatura crítica tal como se puede observar en la figura:



Los distintos tipos de PTC, tienen aproximadamente la misma resistencia a la temperatura ambiente ( 60 – 80 O ) y cambian algunos a más de 1 MO en un estrecho rango, llegando a la temperatura crítica. Este punto se llama punto Curie o Temperatura de Transición o switching  $T_s$ , a partir del cual comienza la variación efectiva de resistencia que depende del material básico del elemento PTC. Este punto puede variar de 40 °C a 180 °C, aproximadamente.

Estas características lo hacen útil para reemplazar, llaves bimetalicas, fisibles, elementos de calefacción, arranque de motores, des magnetización de bobinas de TV color, en carburadores eléctricos de automóviles, etc.

Por ejemplo puede controlarse la temperatura de un motor mediante un simple circuito con un PTC adecuado y un relevador serie. Al aumentar la temperatura por encima del valor crítico, aumentará su resistencia cortando la excitación del relevador. Los contactos del relevador además de señalar el defecto pueden desconectar el dispositivo de la fuente de alimentación.

El PTC también puede usarse como medidor de temperatura, y en todos los casos de aplicación tienen una tensión limitada, especificada en los manuales, que no es conveniente superar ya que alterará la resistencia estática en caliente. La tensión permisible esta en relación al espesor del elemento activo del PTC. Debido a la respuesta R-T del PTC, algunos autores lo interpretan como:

$$\text{RESISTOR} + \text{SWITCH} = \text{PTC}$$

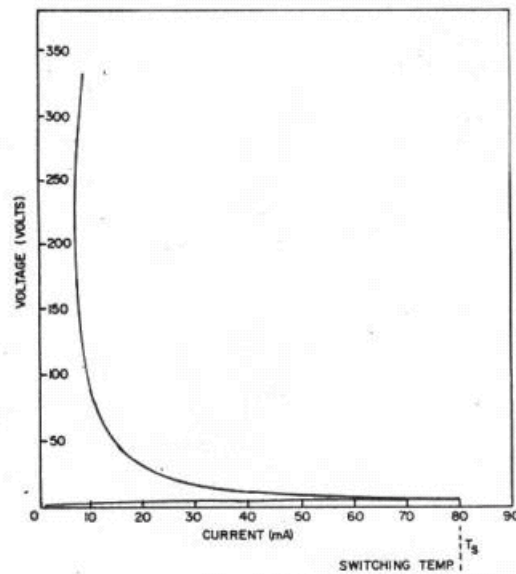
Siendo la temperatura switch, la ya mencionada Curie o  $T_s$ .

#### Características V - I

Cuando un PTC está calentado internamente (auto calentamiento por debajo de  $T_s$ , tiene una respuesta aproximadamente lineal la característica V-I, entre el origen y la corriente de switching  $I_s$ , se ve en la figura 2.

En esta región el PTC actúa como un resistor común, la potencia de disipación interna es quien define la temperatura que alcanza. Tan pronto se alcanza  $I_s$ , el calor interno producido en el PTC, hace que la temperatura pase al estado switching.

Cualquier incremento en la tensión requerida para alcanzar a producir  $I_s$ , hace que la corriente se reduzca abruptamente como se muestra en la figura.



El valor exacto de  $I_s$  es una fracción de la temperatura ambiente, de  $T_s$  y de la resistencia térmica del PTC a la temperatura ambiente. Si un PTC es internamente calentado, una ecuación aproximada de este comportamiento es la siguiente

$$P = K(T - T_a)$$

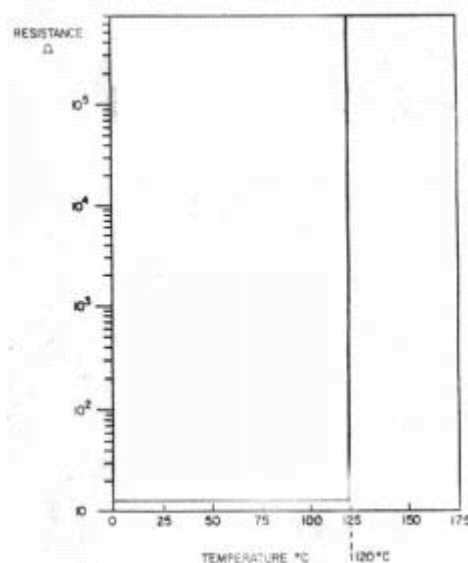
Donde :  $P$  = potencia disipada en mW

$K$  = constante de disipación en mW / °C

$T$  = temperatura para la que se quiere obtener  $P$

$T_a$  = temperatura ambiente en °C

La constante  $K$  depende de la diferencia con que el termistor transfiere calor de su cuerpo al medio, esta constante depende de : método de montaje, circulación de aire y del tamaño del PTC. En realidad  $K$  es solo constante bajo ciertas condiciones, pero usando solo un solo valor de  $K$  para todo el rango de temperatura no se comete un error significativo, para la mayoría de los problemas de ingeniería. Un modelo ideal del PTC, da una buena idea de la característica de operación cuando está internamente calentado.



Asumamos al dispositivo ideal :

$$R = \text{constante para } T < T_s$$

$$R = \% \quad \text{para } T > T_s$$

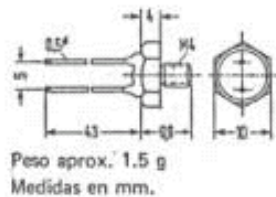
La potencia generada =  $V \cdot I = K (T - T_a)$

De la gráfica surge que debajo de  $T_s$ , la temperatura alcanzada en un PTC directamente proporcional a la potencia generada dentro del dispositivo. La corriente que circula por el PTC es directamente proporcional a la tensión aplicada, como en una resistencia común.

Quando se alcanza la temperatura switching ( $T_s$ ), la potencia se mantiene constante y cualquier incremento en la tensión reduce la corriente. Esto significa que como sensor de temperatura de debe trabajar minimizando la generación de potencia. En cambio cuando trabaja como limitador de corriente la generación interna de potencia es necesario que sea grande.

## Formatos

Se utilizan distintos tipos de formatos para la construcción de PTC, algunos son :

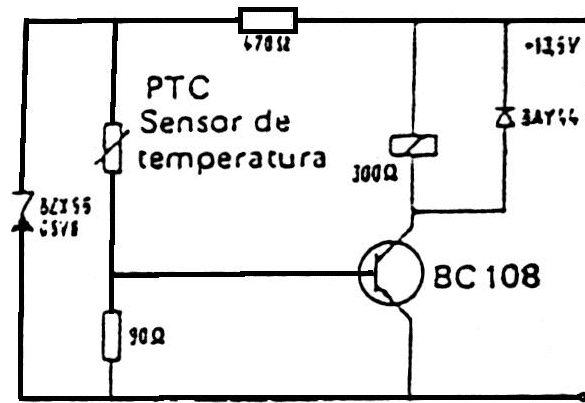


Instalación de un PTC para protección de sobretemperaturas.

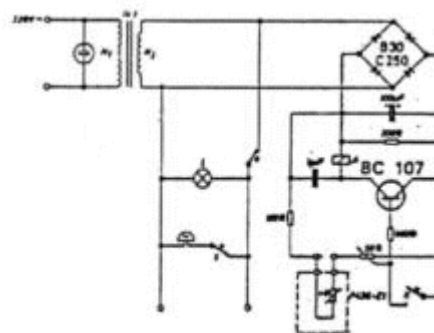
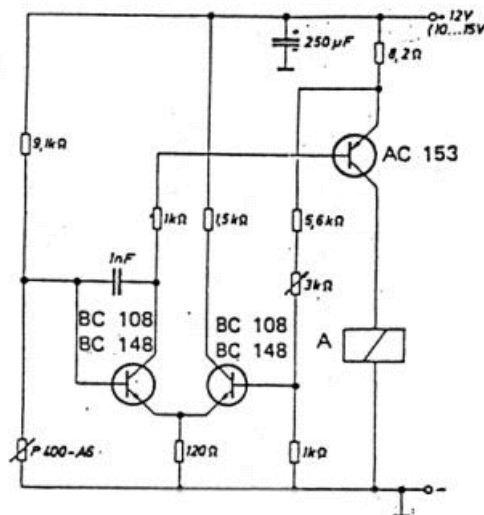
1. Cobertura Durez.
2. Soldadura (T. máx. 200°C).
3. PTC cerámico.
4. Contactos cubiertos de plástico de alta resistencia a la tensión y a la humedad.  
(Para P 430-C621 y P 430-C721) Manguera elástica de teflón.
5. Terminales aislantes en silicón. Terminales aislantes de teflón para P 430 - C 721).

## Aplicaciones

Las aplicaciones son muy diversas, un uso típico sería utilizarlo como sensor de temperatura, el circuito sería:



En éste, cuando  $T$  es menor que  $T_s$ , la resistencia del PTC es baja, por esto, el transistor está en saturación y circula corriente por la carga (relé), esto activa a este relé cuando la  $T$  es mayor que la  $T_s$ , la resistencia del PTC crece rápidamente y el transistor se va al corte, entonces no circula corriente por la carga y se desactiva el relé. Éste, por ejemplo puede conectar o desconectar un motor.



Todos estos circuitos pueden mejorarse en sensibilidad si se utilizan amplificadores integrados.

Éste podría ser el caso de querer controlar el aceite de un transformador, entonces cuando desciende el nivel de aceite, debido al diferente coeficiente de conducción térmica, el PTC se calienta y aumenta su resistencia y desactiva el relevador, el cual acciona las alarmas.

**RTD (Resistance Temperature Detector) o TERMORESISTENCIA**

Con el término RTD, se contemplan a los metales y aleaciones bobinados formando una resistencia dependiente de la temperatura. El más comúnmente utilizado es el platino, altamente refinado siendo un sensor menos sensible que los termistores, pero muy estable y la relación resistencia temperatura lineal y predecible el poco error que se comete, haciéndolo intercambiables, con error y drift a través del tiempo muy bajo.

Las mediciones estándar están en el rango de  $-270^{\circ}\text{C}$  a  $+660^{\circ}\text{C}$ , para la versión industrial. No se necesita compensación con fuente fría como el caso de las termocuplas y si se garantiza a la circuitería electrónica con poco corrimiento, por parte del RDT no hace falta recalibración.

El elemento sensor propiamente dicho es el alambre de platino altamente purificado, bobinado sobre una cerámica de manera que no se modifiquen sus características mecánicas, por las variaciones de temperatura a las que se lo somete.

**Resistencia nominal a  $0^{\circ}\text{C}$** 

Lo estándar 100 a 200 ohmio, puede ser 500 ohmio a 2K considerándose estos pedidos especiales. El coeficiente  $\alpha$  es de  $0.00393\ 1/^{\circ}\text{C}$

**Pureza del platino**

99.999% libre de compuestos extraños.

**Rango de temperatura**

Platino	$-200$ a $+850^{\circ}\text{C}$
Níquel	$-80$ a $+320^{\circ}\text{C}$
Cobre	$-200$ a $+260^{\circ}\text{C}$
Níquel - hierro	$-200$ a $+260^{\circ}\text{C}$

**Intercambiabilidad entre unidades**

$\pm 0.25\ ^{\circ}\text{C}$  a  $0^{\circ}\text{C}$ , también se puede especificar a otras temperaturas la Intercambiabilidad.

**Estabilidad a largo término**

El corrimiento (drift), es menor de  $\pm 0.05^{\circ}\text{C}$  cuando se usa hasta unos  $500^{\circ}\text{C}$  aproximadamente.

**Dimensiones**

Para un RDT de 100 ohmio, el alambre tiene un diámetro de soporte de 2.28mm y una longitud de 7.1mm.

**Tiempo de respuesta ( $\tau$ )**

El tiempo de respuesta puede ser para un RDT ya encapsulado, sumergido en agua alrededor de 5 segundos aproximadamente. Esto indica que en el aire es mucho mayor.

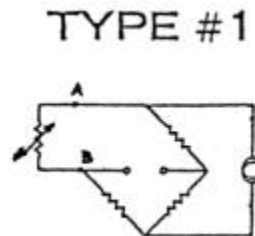
**Encapsulado**

Puede ser encapsulado en acero 316 o bien teflón, los terminales normalmente son de cobre con baño de níquel - plata. El de teflón se usa hasta  $260^{\circ}\text{C}$ , para mayores temperaturas se usan los de casero, pero con una aislación interna entre el sensor y la cápsula de fibra de vidrio. Los terminales por ser de otro metal, a veces necesita compensación, por eso existen 4 tipos de configuración de terminales.

Configuración de los terminales

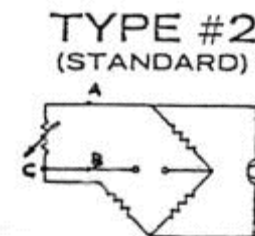
## Tipo #1.

El RTD viene con dos terminales (A y B). Este tipo de conexión es adecuada cuando la resistencia de los terminales del RTD se consideran como una constante del circuito.



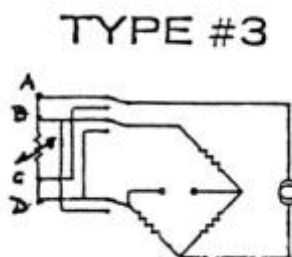
## Tipo #2.

Éste es el "más común", viene con tres terminales (A, B y C), como para poder realizar una compensación de los terminales



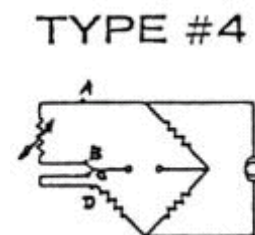
## Tipo #3.

Provee dos terminales a cada extremo del sensor (A y B; C y D). Se usan para medidas de alta precisión pero requiere de dos circuitos electrónicos, para computar el error y luego recién arrojar el resultado al display, graficador, etc.

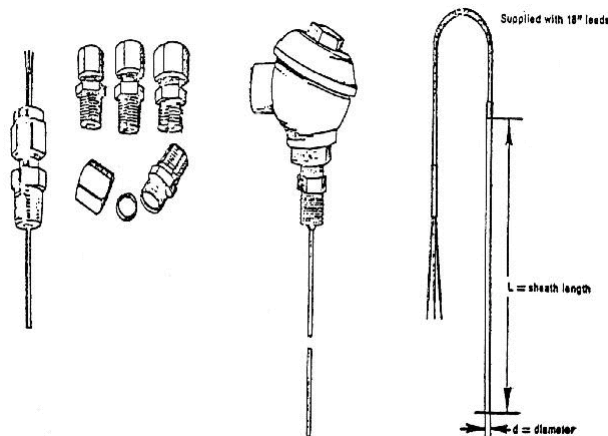


## Tipo #4.

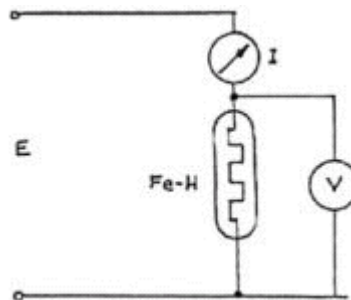
Esta configuración es similar al tipo #2 excepto que separa a los dos terminales para proveer la compensación de la resistencia de los terminales (A y B del sensor), (C y D para compensar la resistencia de los terminales).





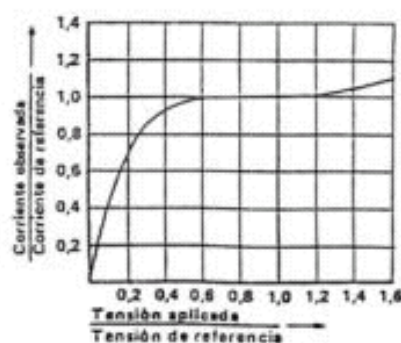
Algunos formatos comerciales**RESISTOR Fe - H**

Pertenece a la familia de los PTC, es el antiguo regulador de corriente en los receptores de radio de ambas corrientes.



Consiste en un fino alambre en una ampolla con Hidrógeno para mejorar la conductividad del calor.

$$I_o / I_n = \text{corriente observada} / \text{corriente de referencia}$$



Se refieren a las variaciones de corriente, como causa de las fluctuaciones de tensión por encima de la nominal. Para las tensiones ídem a lo anterior.

Para su funcionamiento imaginarse el zener, pero ahora como estabilizador de corriente.

**VDR (Voltage Dependent Resistor) o VARISTORES (vario - resistencia)**

Es un componente cuya resistencia óhmica depende de la tensión aplicada. Esta dependencia es debida a la resistencia de contacto entre los cristales de carburo de silicio (perteneciente a los semiconductores), material con el que se fabrican. La característica eléctrica del material prensado está determinado por un gran número de contactos íter cristalinos, lo cual forma una complicada red de

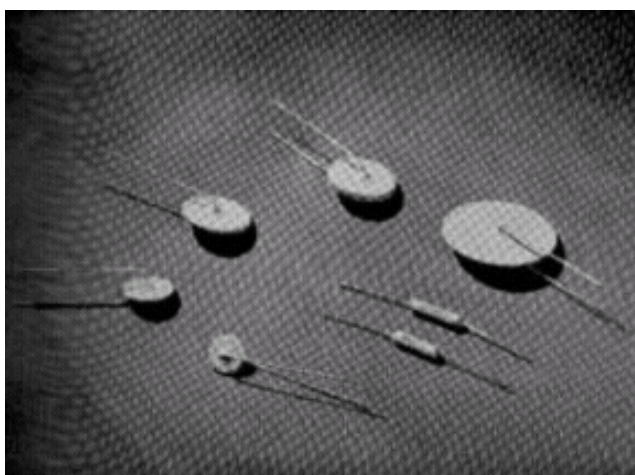
resistores en serie y en paralelo. Estos elementos se utilizan en la realización de circuitos de estabilización simples y tienen un gran número de aplicaciones en circuitos de TV e industriales. Como supresores de chispas, ofrecen una solución económica y segura para proteger contactos de relés.

### Fabricación

El material adopta forma de discos o varillas y consta de granos de carburo de silicio con propiedades eléctricas y tamaño adecuado, prensado junto con el material aglutinante cerámico, en un proceso análogo al empleado usualmente en la industria cerámica. Una vez desecados se somete a los VDR a una alta temperatura, teniendo el tiempo de cocción y la temperatura gran influencia sobre las características eléctricas finales.

Con el fin de obtener una buena unión eléctrica, los contactos se metalizan con cinc o cobre. Una vez soldados los terminales, los resistores son recubiertos con laca protectora. Algunos tipos especiales se suelen suministrar sin recubrimiento de laca y / o terminales.

El material aglutinante se comparable a la de otros productos cerámicos, por ejemplo la loza sin vidriar.

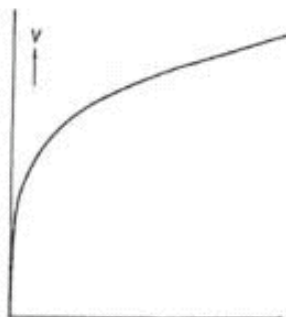


La figura muestra algunos tipos más comunes de VDR o vario - resistencias.

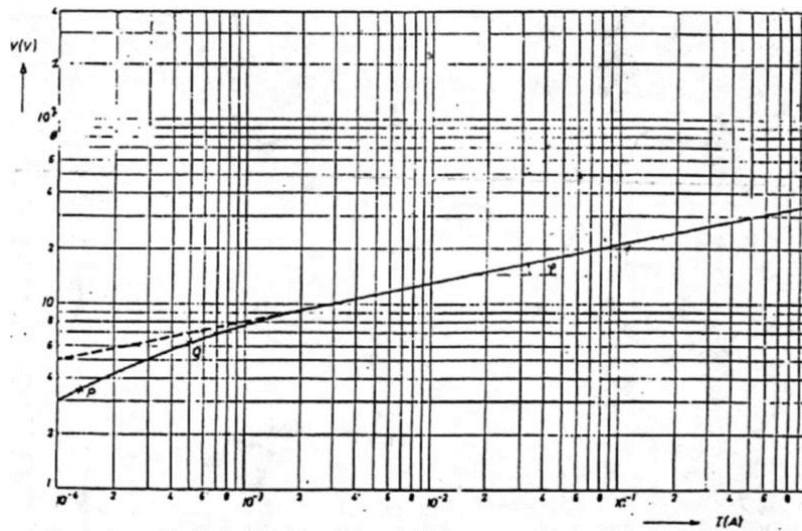
### Comportamiento a la corriente continua

Como su nombre lo indica la resistencia de un VDR no es constante, con el aumento de la tensión disminuye rápidamente. En otras palabras, la corriente no es en modo alguno proporcional a la tensión aplicada.

Trazando una escala lineal, el gráfico tensión - corriente se indica en la figura.



Si se traza la misma gráfica, en escala doble logarítmica, se obtiene el resultado siguiente.



Despreciando el error debido a valores pequeños de corriente y tensión, dicha relación puede representarse por una línea recta.

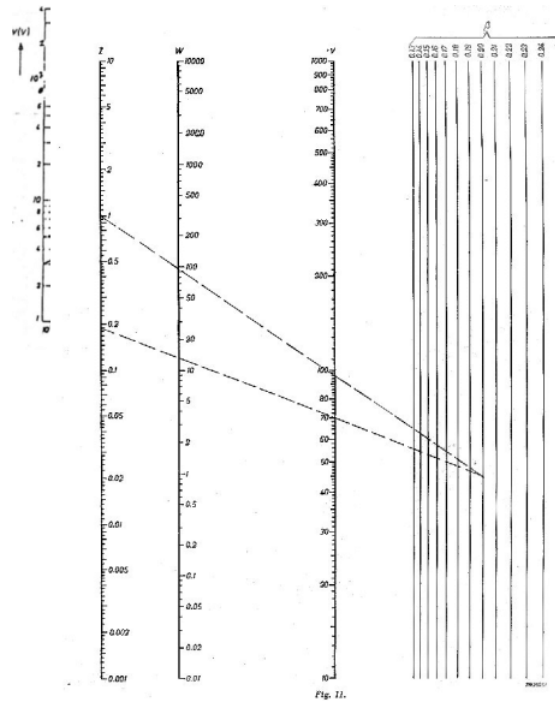


Fig. 11.

La relación entre corriente y tensión puede expresarse de manera aproximada por la ecuación:

$$\log V = \log C + b \log I$$

O sea:

$$V = C \cdot I^b \quad (1)$$

En donde:  $V$  = tensión en los extremos del VDR en voltios

$I$  = corriente a través del VDR en amperios

$b$  = coeficiente direccional de la línea recta ( $b = \tan j$ )

$C$  = tensión en la cual  $I$  es igual a un amperio ( 1 A )

En la mayor parte de los casos, este valor solo puede ser determinado extrapolando los valores medidos. La disipación térmica a 1 A será demasiado alta para aplicaciones dignas de confianza.

La ecuación (1) no es válida para valores pequeños de corriente y tensión, así, si medimos solamente los puntos P y Q, la interpolación daría valores más altos de C y b. Con objeto de determinar los valores exactos de estas constantes, es necesario medir tres puntos de la característica. Solamente puede emplearse la interpolación cuándo estos tres puntos estén en línea recta, sobre una escala doble logarítmica.

La ecuación (1) puede escribirse:

$$I = K V^{\alpha}$$

En donde,  $\alpha = 1/\beta$

$$Y \quad K = 1/C^{1/\beta} = 1/C^{\alpha}$$

Los resistores VDR no presentan efecto de polarización, esto significa que cuando la tensión varía de positivo a negativo, la corriente cambia de dirección, pero mantiene su valor, o sea que las ecuaciones (1) y (2) son válidas solamente cuando se toman valores absolutos para I y V. En c.a. esto puede ser importante.

Tan solo en el caso de que  $\alpha$  sea un número entero impar, (en la práctica solo 5), la ecuación (1) puede ser aplicada tanto a valores positivos como negativos de V.

Para eludir los enojosos cálculos con exponentes fraccionarios de la ecuación (1), se construyen ábacos, que de manera sencilla da los correspondientes valores de V e I para cualquier VDR.

En este ábaco, aparecen 4 escalas:

- 1- Escala de corriente.
- 2- Escala de potencia.
- 3- Escala de tensión.
- 4- Y una serie de líneas rectas para diferentes valores de b.

Si se traza una línea recta que vaya de I = 1 A de la 1ª escala y el punto C voltios en la tercera escala hasta cortar las líneas de b.

Todas las rectas que partan de ese punto b en cuestión a las escalas de tensión y corriente dan los valores de I y V pertenecientes al VDR en cuestión.

#### Ejemplo

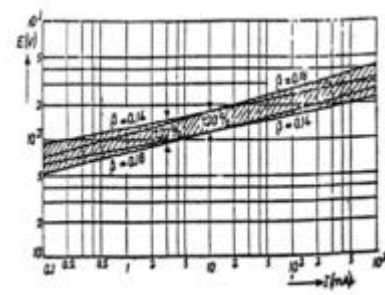
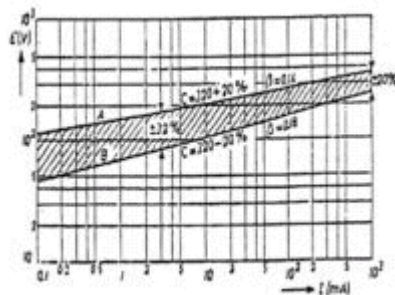
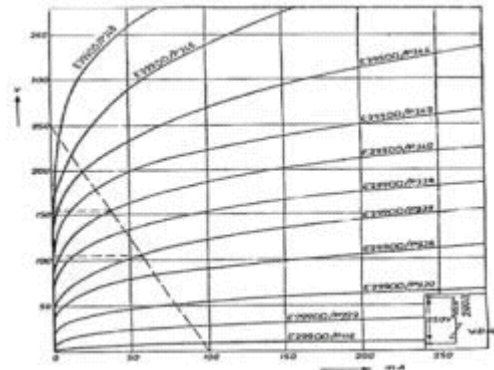
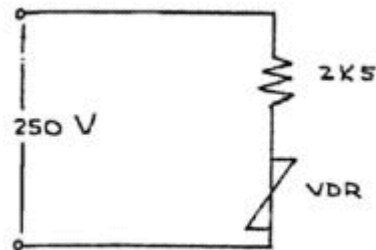
Un resistor VDR con C = 369 y b = 0.17 a 10 mA.

La tensión será de 180V, (ver líneas de trazo grueso en el ábaco). La potencia disipada se encontrará en la 2ª columna o escala, que en nuestro ejemplo es de 2 W aproximadamente.

Aunque el ábaco es utilizado en la mayoría de los casos, resulta a veces utilizar una escala lineal, por ejemplo cuando ha de determinarse la caída de tensión en un VDR, en un circuito serie con un resistor común. En este caso se traza la curva del VDR en un punto cuya ordenada da directamente la tensión en el VDR.

Ejemplo

Si el VDR utilizado es el E299/P340 de FAPESA, la caída de tensión sería de 160 V, mientras que para el tipo E299/P238 sería de 110V.

**Valores prácticos de  $\beta$  y C**

Los valores de  $\beta$  se hallan comprendidos entre 0.15 y 0.3 y es inherente a las propiedades del material. Los valores prácticos de C oscilan entre 14 y algunos miles de voltios, a pedido se fabrican de mayor tensión. El valor de C tiene que ver con la forma del VDR.

**Especificaciones y tolerancias**

Con la presentación de nuevos VDR, se abandona el método de especificar el valor de C y se especifica la tensión en el VDR con corrientes de 1; 10 y 100 mA en lugar de 1 A.

De esta manera es posible suministrar un VDR, con tolerancia más estrechas para la función que va a ser usada. No obstante, para el cálculo teórico resulta más cómodo usar C. Cuando el cálculo conduce a un cierto valor de C, puede hallarse fácilmente la tensión para corrientes de 1; 10 o 100 mA, con el ábaco de la Fig.

**VDR en serie**

Si dos elementos iguales están conectados en serie, partiendo de la ecuación (1):

$$V = C \cdot I^\beta \quad (1)$$

tenemos  $nV = C' \cdot I^\beta$

$$C' = n \cdot C$$

Esto indica que el C puede ser aumentado a voluntad. En otras palabras, el C aumenta con el grosor.

**VDR en paralelo**

Partiendo de la (1)  $V = C \cdot I^\beta$

Si se conectan  $N$  en paralelo con igual tensión  $V$ , la  $I$  en cada uno será la misma:

$$V = C'' \cdot (N I^\beta)$$

$$C'' = C / N^{-\beta}$$

Dado que  $\beta$  varía desde 0,15 a 0,30 resulta evidente que  $C$  disminuirá poco al conectarlos en paralelo.

### Valor de la resistencia

Definiendo a  $R$  como cociente entre la tensión y corriente, hallamos:

$$R = V / I = C \cdot I^\beta / I = C / I^{1-\beta}$$

O si partimos de la igualdad  $I = K V^\alpha$

$$R = V / I = K V^{\alpha+1}$$

Esto indica a las claras la dependencia de la  $R$  de la tensión y también de la corriente.

### Potencia

$$W = I V = K V^{\alpha+1}$$

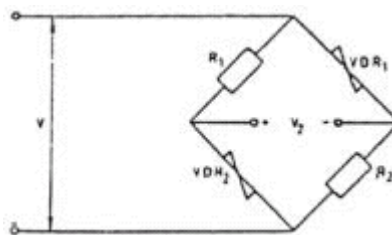
Si  $\alpha = 5$  la potencia disipada es proporcional a la sexta potencia de la tensión. Un aumento del 12% en la tensión doblará a la potencia disipada.

Como conclusión es importante que la tensión aplicada no exceda de cierto valor.

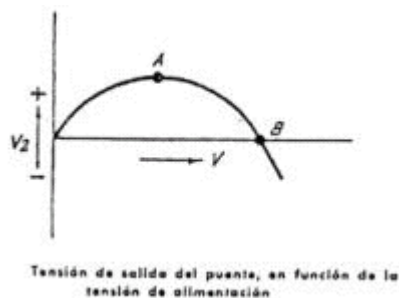
Aunque al ser de coeficiente de temperatura negativo, el VDR (recordar que es un semiconductor), puede disipar un poco más de lo previsto.

### Coeficiente de temperatura

$C$  posee un valor de coeficiente negativo de temperatura apreciable, 0,65% (más sensible que el alambre de platino usado como sensor de temperatura o RTD), esta no siempre puede despreciarse, por ejemplo en un circuito puente.



La  $V_2$  varía muy poco con la tensión aplicada  $V$



### Aplicación

En centrales eléctricas, en  $V_2$  se coloca un instrumento de aguja mili amperímetro o un relé neutro.

La constante  $C$  puede compensarse con un NTC en serie con cada resistor fijo del puente. Con aproximación  $C$  vale:

$$C_t = C_0 (1 + \alpha.T)$$

$C_t$  = Valor de  $C$  del VDR a  $T$  °C

$C_0$  = Valor de  $C$  del VDR a 0°C

$\alpha$  = Coeficiente de temperatura. Según los distintos materiales varía entre  $-0,0014$  y  $-0,002$

dado que  $K = C^{-\alpha}$

se tendrá  $dK/dT = -\alpha.C^{-\alpha-1} dC/dT$

De aquí se puede deducir el coeficiente de temperatura del valor  $K$ .

$$b = 1/K dK/dT = -\alpha /C dC/dT = -\alpha.a$$

Este coeficiente es positivo y tiene un valor comprendido entre  $0,005$  t  $0,008$  según los distintos materiales. Un aumento de temperatura de  $100^\circ\text{C}$  representa un aumento de  $K$  del 50% al 80%.

De las ecuaciones (a) y (b) se evidencia que el coeficiente de temperatura, (tempco) de la resistencia de un VDR es negativo y se halla comprendido entre  $-0,0014$  y  $-0,002$  en circuitos con corriente constante y  $-0,005$  y  $0,008$  en circuitos con tensión constante.

### VDR en corriente alterna

La frecuencia ha de ser relativamente baja, para despreciar la influencia de la capacidad. En usos prácticos, los límites máximos están comprendidos entre  $0,5$  y  $5\text{KHz}$ , de acuerdo con la aplicación.

Si se aplica una tensión senoidal al VDR, la corriente resultante no será senoidal, debido a las características V-I no lineal de ellos.

Pero por razones de simetría se incluirá solamente armónicos de orden impar. La siguiente figura muestra la corriente en función del tiempo.



Al medir c.a. en los extremos de un VDR, dará lectura errónea, porque los instrumentos de bobina móvil dan valores eficaces ( $V_{rms}$ ), para ondas senoidales, por supuesto que esto no sucede en los instrumentos digitales que miden verdadero valor eficaz (RMS) con exactitud considerable, algunos con  $\pm 0,05\%$  a  $10\text{MHz}$  y  $\pm 2\%$  a  $100\text{MHz}$ .



Cuando no se dispone de dicho instrumento digital, se hace necesario un gráfico, que da un factor de corrección  $f$ , que hay que multiplicar por el valor leído en el instrumento para obtener el valor eficaz (Vrms).

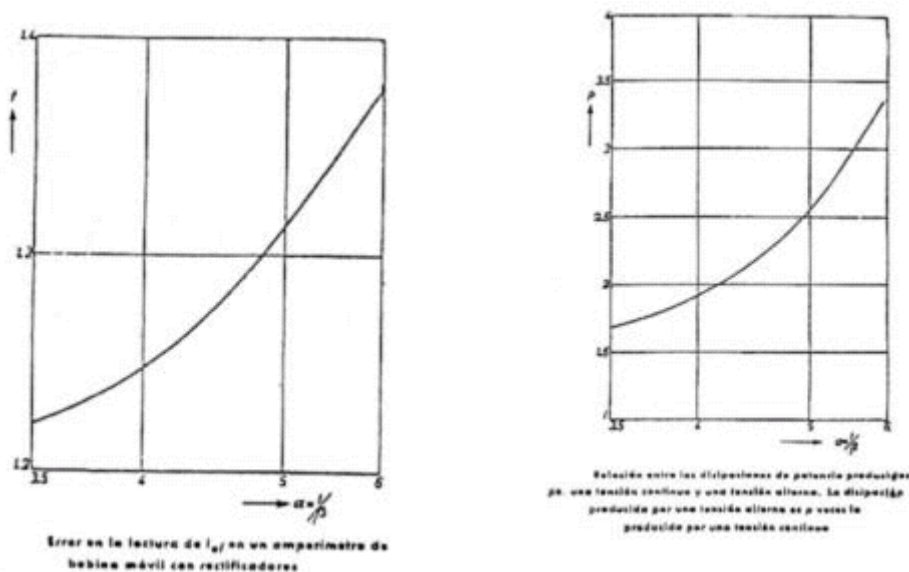


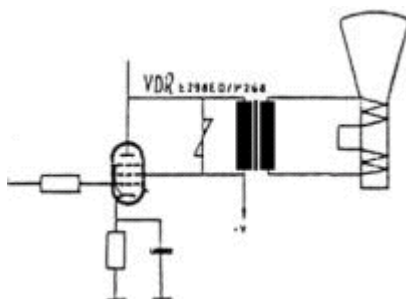
Fig. a: Error en la lectura en un amperímetro de bobina móvil con rectificadores.

Fig. b: Relación entre las disipaciones de potencia producidas por una tensión continua y una tensión alterna.

La disipación por una tensión alterna es  $p$  veces la producida por una tensión continua.

### Aplicaciones

Estabilizador de tensión.



VDR para limitar la tensión anódica de pico y oscilaciones amortiguadoras en las etapas de salida vertical de CRT.

### LDR ( Light Dependent Resistor)

Estos resistores que presentan la característica de variar su resistencia cuando varía la iluminación, se los conoce como células fotoconductoras, fotocélulas, fotoresistores, fotovaristores o simplemente LDR.

No confundir con la célula fotovoltaica, que genera tensión al incidir la luz.

El material más útil en la fabricación de los LDR es el sulfuro de cadmio (SCd), aún cuando se ha desarrollado también otras aleaciones como ser arseniuro de cadmio, telururo de cadmio, sulfuro de plomo (SPb), etc.

Para que el SCd tenga propiedades fotosensibles, es necesario que tenga impurezas activadoras: entre otras, el cobre, la plata y el galio. Entre las que producen el efecto contrario, es decir las desactivadoras, se puede mencionar al hierro, que no debe estar en una concentración superior a un átomo de Fe por cada millón de átomos de Cd.

El manejo de potencia de estos dispositivos van de 100mW a 10W.



## Sensibilidad

Se la define como el incremento de corriente, cuando el flujo luminoso se incrementa en un lumen.

### Revisión de algunos conceptos

680 lúmenes = 1 W de luz amarilla verdosa de  $\lambda = 0.55 \text{ mm}$

o bien,  $1 \text{ lux} = 1 \text{ lumen} / \text{m}^2$

1 bujía = a un flujo total de 4p lúmenes.

$1 \text{ lumen} / \text{pie}^2 = 1 \text{ bujía} / \text{pie}$

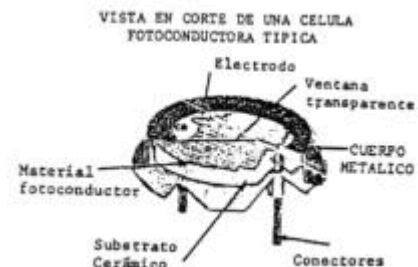
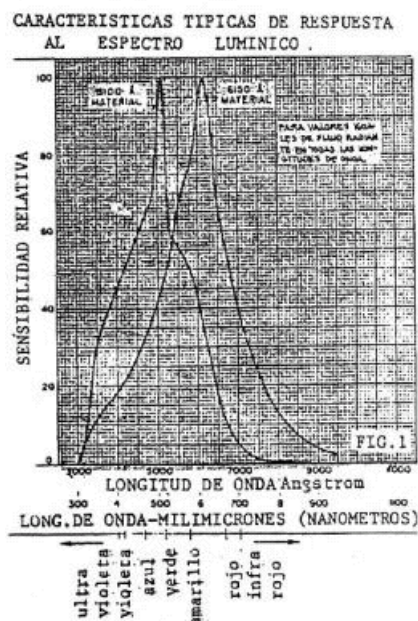
$1 \text{ candela} \cdot \text{pie} = 10.76 \text{ lux}$

Para una tensión de 10 Vcc, una iluminación de 54 lux, una temperatura de 2700 K (lámpara incandescente de tungsteno emite luz a 2700 K), los LDR alcanzan alrededor de 150 a 300 mA/lumen.

La duración de los LDR trabajándolos a temperatura y tensión límites es de unas 2000 horas aproximadamente. Si los LDR han sido almacenados a oscuras, se recuperan en sensibilidad y al cabo de un par de minutos de funcionamiento entran en régimen y pasada una hora se estabiliza completamente.

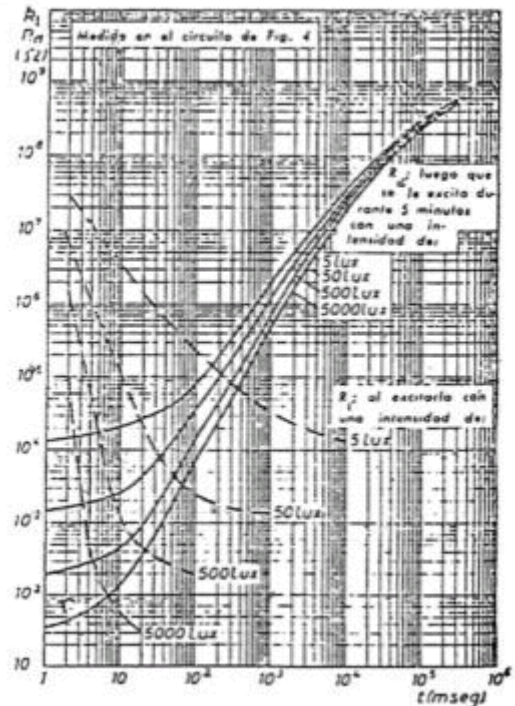
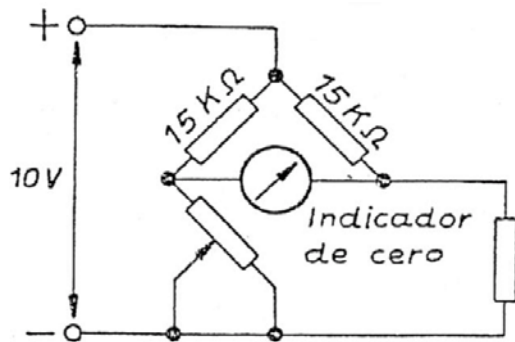
## Sensibilidad espectral

Se define como sensibilidad espectral a la relación existente entre la radiación monocromática relativa y la longitud de onda.



## Frecuencia de trabajo

Las fotoválvulas pueden llegar a los 100 MHz.



La de los LDR de SCd es de aproximadamente 150 Hz, esta baja velocidad de reacción obedece al tiempo medio de vida relativamente grande de los portadores.

Si se toma como ejemplo una RPY 20 de Philips, circuito y gráfico doble logarítmica como lo indica las figuras, podemos definir:

Tiempo de crecimiento (rise time), como el necesario para que la célula aumente su  $R$  desde un valor inicial, (medido no menos de 5 minutos en iguales condiciones) al valor de 1MW.

Tiempo de decrecimiento (decay time), como el necesario para que la resistencia de la LDR disminuya desde su valor a oscuridad, (medida luego de 16 horas en oscuridad) a un valor de 10KW.

### Disipación

Dada la gama de potencias que va de 100mW a 10W, da la posibilidad de simplificación en el diseño de circuitos con LDR, cuando la potencia de ésta, en los órdenes superiores, hay que usar disipadores.

### Temperatura de trabajo

La temperatura de trabajo de las LDR se encuentra entre  $-40^{\circ}\text{C}$  y los  $+70^{\circ}\text{C}$ , siendo en algunos casos más restrictivas.

### Tolerancias

En algunas aplicaciones como ser fotómetro de cámara fotográfica son del  $\pm 10\%$ , lo cual satisface los requerimientos generales de este tipo de uso, el resto supera el  $\pm 10\%$ .

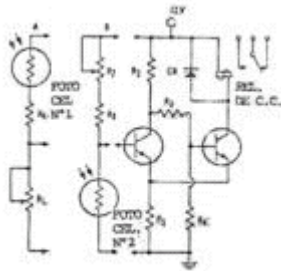
### Tensión de trabajo

Los LDR presentan ventajas, al poder funcionar tanto en c.c. como en c.a. y algunas conectadas directamente a la red de 220V.

### Costo

Su costo es inferior a las fotoválvulas y tienen menor volumen.

### Algunas aplicaciones con LDR



#### Componentes

Fotocélula #1: SQ-2508

#2: SQ-2536

Q1 transistor NPN de Si 40234 o equivalente

Q2 transistor NPN 40084 o equivalente

R1 potenciómetro 5 K $\Omega$  ¼ W

R2 820  $\Omega$  ¼ W

R3 270  $\Omega$  1/8W

R4 820  $\Omega$  1/8W

R5 10  $\Omega$  ¼ W

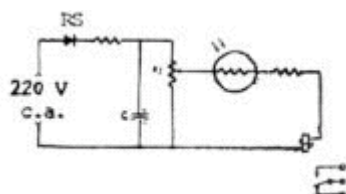
R6 1 K $\Omega$  ¼ W

R7 Potenciómetro 10 K $\Omega$  ¼ W

R8 1.2 K $\Omega$  1/8W

Relé para cc 12 V 96W aprox.

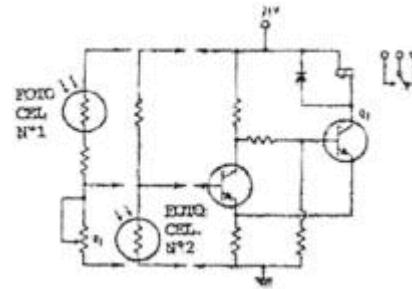
CR rectificador de Si 1N4002 o equivalente



#### Componentes

Fotocélulas: 4403: 4403, 4404 o 7163

Capacitor electrolítico 8 mF 250V



#### Componentes

Fotocélula #1: SQ-2508

#2: SQ-2519

Q1, Q2 transistor NPN 40084 o equivalente

R1 potenciómetro 1 K $\Omega$  ¼ W

R2, R3 2.2 K $\Omega$  1/8W

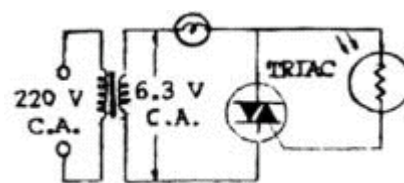
R4 300  $\Omega$  1/8W

R5 12  $\Omega$  1/8W

R6 10 K $\Omega$  1/8W

R7 75K $\Omega$  1/8W

Relé para cc 12 V 360W aprox.



#### Componentes

Fotocélulas tipo SQ-2519

Q triac de Si 40528 o equivalente

R1 5.6  $\Omega$  1 W

L carga 2.5 A/15 W máximo

R2 potenciómetro 25 K $\Omega$  5 WR3 2 K $\Omega$  1/2W

Relé de cc 2.5mA excitación y 10 KW R bobina.

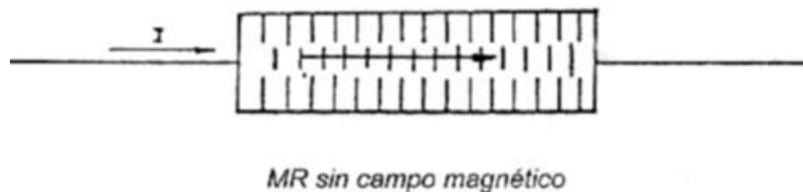
CR rectificador de Si 1N 1763 A o equivalente.

Nota: En todos los casos, los LDR pueden ser reemplazados por equivalentes de otras fábricas, recordar que las tolerancias son de  $\pm 10\%$  o más.

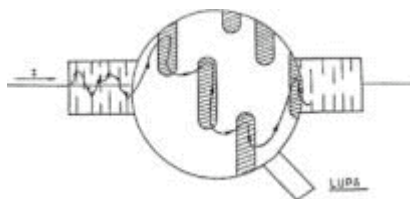
### MAGNETO RESISTORES (MDR o MR)

Son semiconductores cuya resistencia aumenta con el aumento del campo magnético.

Mientras que los espirales de Bismuto aumentan en un 50% cuando se hallan en presencia de una inducción de  $B = 10$  KGs, los de antimonio de indio - níquel antimonio, sufren un incremento de 5 a 15 veces. El aumento de la resistencia es independiente de la polaridad de la corriente. El semiconductor posee dominio de conducción metálica como se muestra en la siguiente figura.

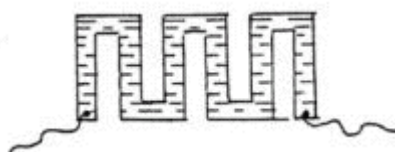


La distancia entre los dominios es de algunas centésimas de milímetro. Sin embargo si se aplica un campo magnético, su resistencia se verá modificada y esta variación es independiente del sentido del vector inducción  $B$ , pero la máxima sensibilidad se observa cuando el MR está casi perpendicular a  $B$ . Este ángulo es de  $80^\circ$  aproximadamente, de desviación de la corriente con respecto a la dirección anterior de la corriente, provocando un aumento en la trayectoria y con ello aumentando la resistencia. ( $R = \rho \cdot L/s$ )



Este ángulo de deflexión de  $80^\circ$  es para un campo de 1 tesla = 10 KGs.

### Construcción del MR



Un espesor de 20 mm de semiconductor que es depositado sobre un sustrato de 0.1 mm con el método de la figura, se cambian los terminales de posición y se obtienen diferentes valores de  $R_0$  (resistencia sin campo), variando de unos pocos a cientos de ohmio.

Dependiendo de la aplicación el MR se puede colocar sobre un sustrato magnético: hierro o ferrita con cubierta de aislación, o un sustrato no magnético: cerámico o de epoxi.

La potencia de disipación de los MR a 25°C está alrededor de 0.5 a 1 W. Son sensibles a la temperatura, su coeficiente es de  $-0.16$  a  $-0.7\% / ^\circ\text{C}$ .

La máxima temperatura de trabajo es de 130°C y la mínima de  $-40^\circ\text{C}$ .

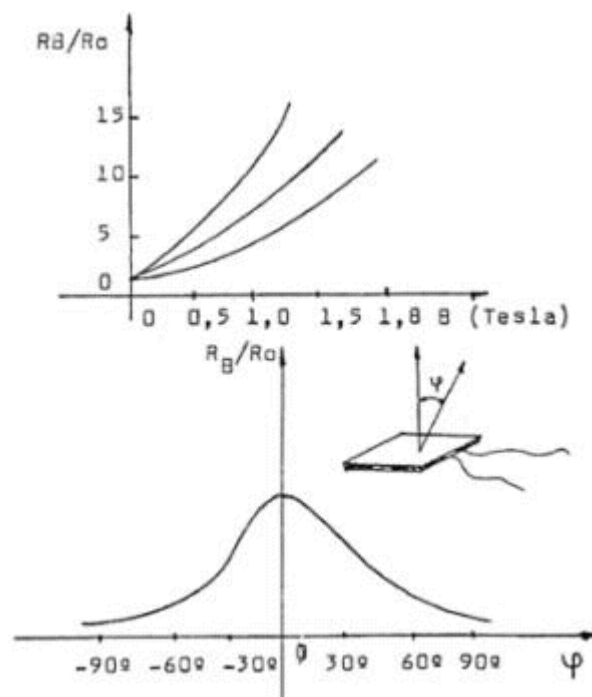
### La frecuencia de trabajo

- Montado en hierro: por encima del MHz
- Montado en epoxi: por encima de los 10 MHz

Curva  $R_B / R_0$  en función de  $B$

$R_B$  resistencia en presencia del campo magnético.

$R_0$  resistencia sin campo magnético.



### Aplicaciones

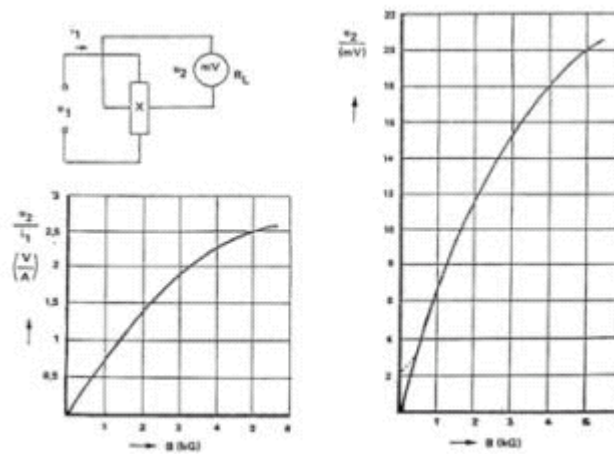
- Mediciones de campos magnéticos ya sea de imán permanente o electroimanes.
- Por ejemplo para la medición del campo en el entre hierro (air gap)
- En circuitos todo o nada, como detectores y / o alarma.

### GENERADOR DE HALL (año 1879)



Peso aproximado 0.5g

Fabricados a base de los MR, o sea, con arseniuro de indio. El concepto de funcionamiento es que, al hacer circular una corriente entre las caras menores, mientras es atravesado por un campo magnético, en las caras laterales aparece una tensión conocida como tensión de Hall. La figura siguiente lo esquematiza.



Con este tema se pretende completar, el buen uso de los componentes mencionados.

En un circuito electrónico que lleva normalmente componentes activos y pasivos interconectados, se hace necesario visualizar rápidamente, en qué sector se produjo una sobre elevación de la temperatura. Por ello algunas fábricas, producen pinturas, cintas, lacas, lápices de color, píldoras y aerosoles sensibles a la temperatura. Y estos elementos se pueden colocar sobre la plaqueta o sobre los componentes, con el objeto de tener una rápida visión de la zona donde la sobre elevación de temperatura, pasó de cierto valor prefijado.

**BIBLIOGRAFÍA**

- HANDBOOK OF COMPONENTS FOR ELECTRONICS-Charles A. Harper-Ed. Mc. Graw Hill.
- Manuales de componentes y sistemas de diferentes industrias: Motorola - National-RCA-Toshiba-etc.