

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL

FACULTAD REGIONAL MENDOZA

DEPARTAMENTO DE ELECTRÓNICA

CÁTEDRA DE TECNOLOGÍA ELECTRÓNICA

RESISTORES NORMALES

PROFESOR TITULAR:

ING. ADOLFO F. GONZÁLEZ

PROFESOR ADJUNTO:

ING. RICARDO M. CESARI

JEFE DE TRABAJOS PRÁCTICOS:

ING. RUBÉN O. VICIOLI

2009

## ÍNDICE

DEFINICIÓN DE RESISTENCIA	3
CLASIFICACIÓN DE LAS RESISTENCIAS	4
REPRESENTACIÓN GRÁFICA	4
DEFINICIÓN DE TÉRMINOS	5
Tolerancia	5
Disipación de potencia	5
Coeficiente térmico	5
Máxima tensión de trabajo	5
Coeficiente de tensión	5
Ruido	5
Máxima temperatura de trabajo	6
Frecuencia de trabajo	7
Estabilidad	7
CRITERIOS DE SELECCIÓN	7
RESISTORES FIJOS	8
Resistores de Composición	8
Proceso de fabricación	9
Resistencia de película de carbón (pirolítica)	10
Método de fabricación del horno	10
Método de fabricación continuo	11
Resistores de película metálica	12
Código de colores	12
Ejemplo	13
Valores de los resistores	14
Resistores de alambre	15
Montaje de los resistores de Alambre	16
Comparación de las características de los resistores fijos	17
Resistores Integrados	24
Resistores de película gruesa	24
Resistores de película delgada	26
RESISTORES FIJOS ESPECIALES	27
Resistores de precisión	27
Resistores para alta tensión	28
RESISTORES AJUSTABLES	29
Resistores ajustables de composición	30
Resistores ajustables de cermet	30
Resistores ajustables de película de carbón	31
Resistores ajustables de plásticos	31
Resistores ajustables de película metálica	31
Resistores ajustables de alambre	31
Términos aplicables a resistores ajustables	32
Valores comparativos de los distintos resistores ajustables	33
Rango de R, Disipación, Temp. Máx., Tolerancia	34
RESISTORES VARIABLES	34
Potenciómetro de composición	34
Potenciómetros de plástico conductivos	35
Preset Multivuelta Circular	35
Preset Multivuelta Rectilíneo	36
Preset de una vuelta encapsulado DIL	36
Potenciómetros de cermet	36
Potenciómetros de alambre	37
Potenciómetros híbridos	38
Potenciómetros de Precisión	38
Potenciómetros no lineales	40
Selección de los potenciómetros	41
Gráficos de Conformidad para potenciómetros no lineales	42
Designación de las características de los potenciómetros	42
Diales para potenciómetros de precisión multivuelta	43
BIBLIOGRAFÍA	44

## DEFINICIÓN DE RESISTENCIA

Se llama resistor al elemento físico cuya propiedad física es la resistencia o sea, la propiedad de provocar una caída de potencial entre sus extremos al pasar una corriente eléctrica, teóricamente sin deformar la onda de corriente.

Otra definición para decir lo mismo que es más, representativa es:

Resistencia es la propiedad escalar en un circuito que determina la proporción de energía eléctrica convertida en energía térmica (efecto joule) mientras fluye una corriente eléctrica. Tiene la analogía a pérdidas por fricción de la viscosidad en sistemas mecánicos.

En términos matemáticos la resistencia es igual a la potencia térmica disipada dividido el cuadrado de la corriente eléctrica que circula, también está la física que es la resistencia de 1 ohmio absoluto cuando tiene aplicada una diferencia de potencial de 1 voltio y provoca la circulación de 1 coulomb por segundo (1 Amperio).

El ohmio internacional usado antes de 1948 es 1,00049 ohmio absoluto.

Existen dos tipos de resistencia: la estática y la dinámica.

$$R_{\text{dinámica}} = \left. \frac{\partial E}{\partial I} \right|_p$$

$$R_{\text{estática}} = \frac{E}{I}$$

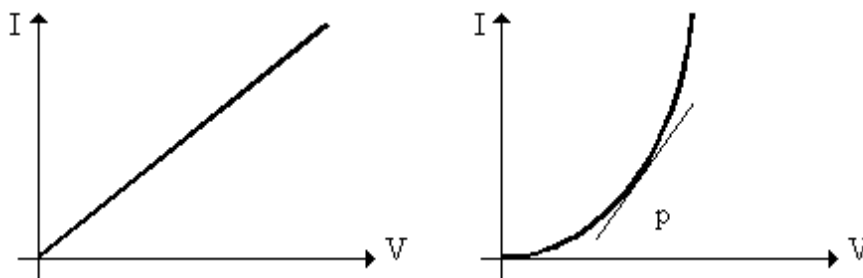


Figura 1

La resistencia estática es la expresión de la ley de ohm y la dinámica es la extrapolación de la misma ley.

La unidad de resistencia es el ohm ( $\Omega$ ) siendo una unidad derivada. El patrón de resistencia se toma en base a la que presenta una columna de mercurio de determinadas condiciones geométricas y para valores normales de presión y temperatura.

En la actualidad se cuenta con resistencias patrones de alambre.

La resistencia de un conductor es función de las dimensiones geométricas y de la resistividad específica del material conductor por los cuales, variando estos parámetros se pueden obtener distintos valores de resistencia.

$$R = \rho \times \frac{l}{s}$$

Los valores normales de resistencia varían entre:

$$R = 10^{-3} \Omega \text{ y } R = 10^9 \Omega$$

Por lo que el rango de variación es de:

$$\Delta R = 10^{12} \Omega$$

La potencia que pueden disipar varía entre 0 y 300 vatios.

La tolerancia puede ser para las resistencias comerciales de  $\pm 20\%$ ,  $\pm 10\%$ ,  $\pm 5\%$ .

La tolerancia para las de precisión es de  $\pm 1\%$ ,  $\pm 0.1\%$ ,  $\pm 0.01\%$  a  $\pm 0.05\%$ .

CLASIFICACIÓN DE LAS RESISTENCIAS

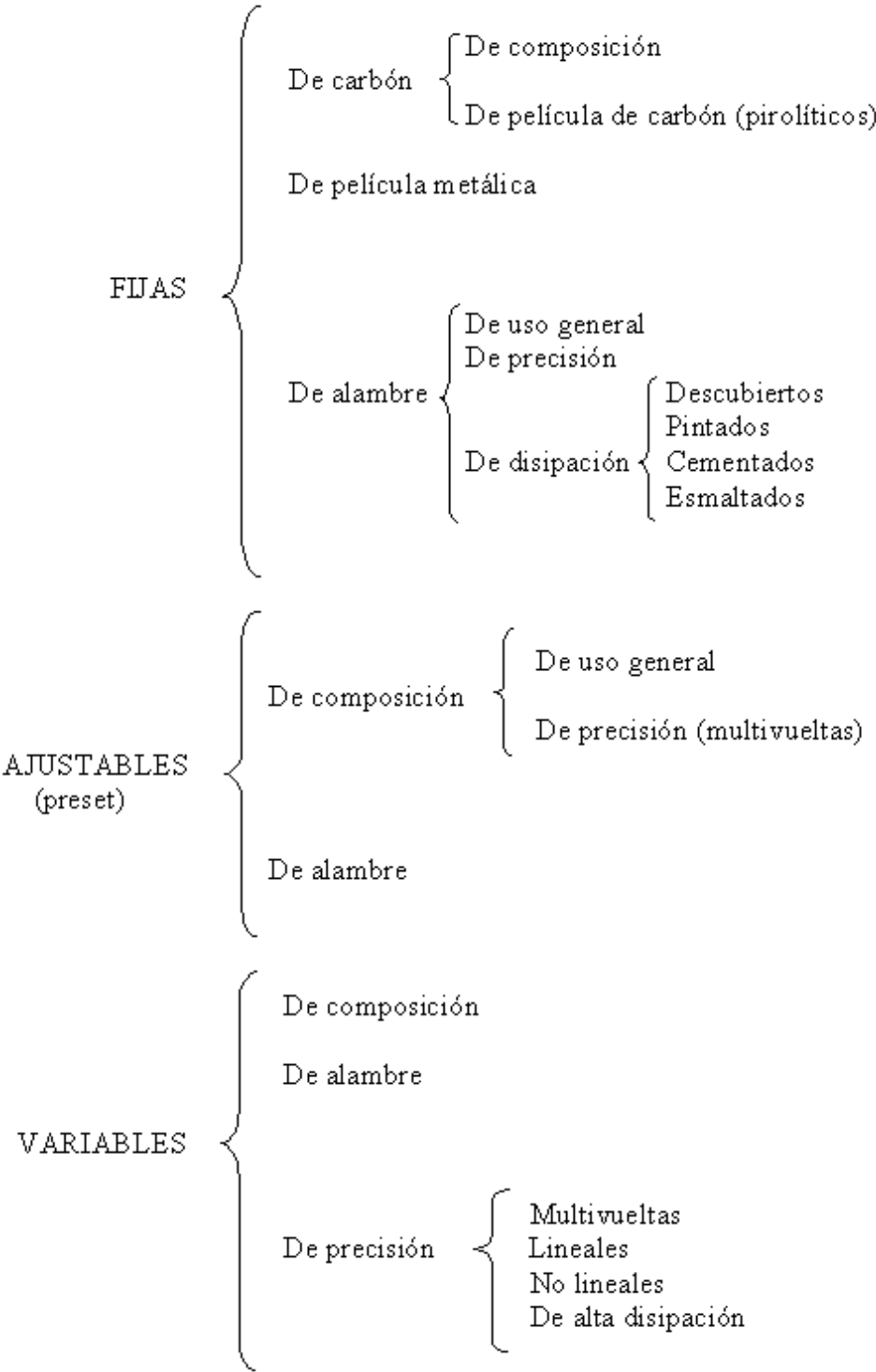


Tabla 1

REPRESENTACIÓN GRÁFICA

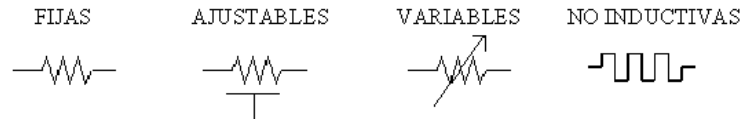


Figura 2

## DEFINICIÓN DE TÉRMINOS

### Tolerancia

Es la máxima desviación de los valores nominales especificados por el fabricante. Se da en porcientos (%) del valor nominal. En donde no se especifica la tolerancia, en general, se puede decir que admiten una variación de  $\pm 20\%$  del valor nominal.

### Disipación de potencia

Es la máxima potencia que puede disipar el resistor sin variar su valor, durante un tiempo de vida útil especificado, a temperatura ambiente normal.

### Coefficiente térmico

En la máxima variación de la resistencia en función de la temperatura expresada en por ciento por grado centígrado ( $\%/^{\circ}\text{C}$ ), o en partes por millón por grado centígrado ( $\text{ppm}/^{\circ}\text{C}$ ). Si la variación es lineal este parámetro se conoce como coeficiente térmico y si la variación no es lineal, el parámetro se conoce como característica de resistencia en función de la temperatura.

### Máxima tensión de trabajo

Es la máxima tensión que puede aplicarse a los extremos del resistor, siendo una función del material usado y de la configuración física del resistor.

Los resistores de carbón son más sensibles a la tensión que los demás resistores.

### Coefficiente de tensión

Es el cambio en el valor de la resistencia debido a altos gradientes de potencial, debido a que esto produce un reacomodamiento molecular, modificando la resistividad. También se expresa en por ciento por voltio ( $\%/V$ ) o en partes por millón por voltios ( $\text{ppm}/V$ ). Esta cantidad es independiente del efecto del auto calentamiento (self - heating). Su medición es difícil.

Se puede esperar:

- -700 ppm / V para altos valores resistivos de carbón (composición).
- + 5 a 30 ppm / V para películas de carbón y Cermet.
- + 10 a 0,05 ppm / V para películas metálicas y películas de óxidos, para algunas de películas gruesas se puede esperar hasta 400 ppm / V.

Este coeficiente no es consecuencia de un diseño de resistencia bobinado.

### Ruido

Es una tensión fluctuante no deseada generada en el interior del resistor.

El ruido generado en el interior de un resistor se denomina ruido térmico o Johnson y se produce por el movimiento aleatorio de electrones debido a la agitación térmica<sup>1</sup>. Este ruido es función de la temperatura y tiene un valor cuadrático medio (es decir, potencia promedio) dado por la ecuación:

$$\overline{E^2(\text{rms})} = 4 \times k \times R \times T \times \Delta f$$

k: Constante de Boltzmann ( $1,38 \times 10^{-23} \text{ W.s}$ ).

T: Temperatura en grados Kelvin.

R: Resistencia en ohm.

$\Delta f$ : Ancho de banda del ruido en hertz.

---

<sup>1</sup> Diseño Electrónico- Circuitos y Sistemas; SAVANT – RODEN – CARPENTER-1992

Este ruido Johnson o del resistor es blanco, ya que su valor rms por unidad de ancho de banda es constante desde corriente continua hasta altas frecuencias.

Otro tipo de ruido que se genera en el resistor es el debido a la circulación de corriente por el mismo.

Este ruido debido a la corriente se llama ruido de Bernamont y es dependiente del rango de frecuencias utilizado.

Una forma de especificarlo es a través del índice de ruido.

Este índice se especifica para cada tipo de resistor.

Se define como la relación de la tensión eficaz de ruido causado por un flujo de corriente cuando el resistor tiene una tensión continua entre sus extremos, medido sobre una década de frecuencia (ancho de banda) a un punto caliente (hot spot) especificado por el fabricante.

La unidad es en mV por volt. o en dB, donde 0db = 1 V.

$$\text{Indice de ruido}_{\text{dB}} = 20 \times \log \frac{\text{Tensión de ruido } [\mu\text{V}]}{\text{Tensión de continua } [\text{V}]} = 20 \times \log \frac{E(\text{rms})}{V_{\text{cc}}}$$

La tensión de ruido para un rango de frecuencias  $f_1$  a  $f_2$  esta dada por:

$$E(\text{rms}) = V_{\text{cc}} \times 10^{\frac{\text{Indice de ruido}_{\text{dB}}}{20}} \times \sqrt{\log \frac{f_2}{f_1}}$$

Cuando es de interés más de una década de frecuencias, la tensión que se debe adicionar es la  $\Delta$  cantidad de década.

Ejemplo:

De 10khz se tienen dos décadas mas de amplitud eficaz que de 10 a 100hz.

La figura muestra los índices de ruido relativos para película de metal y carbón.

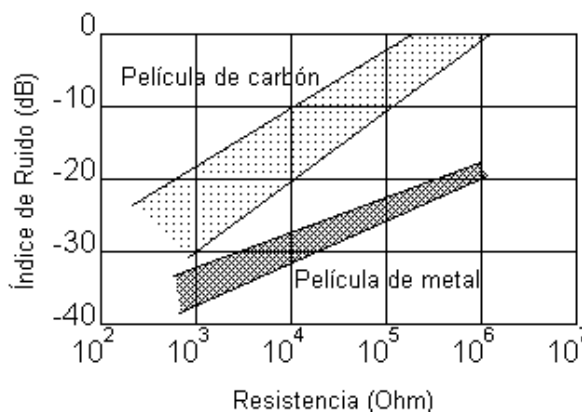


Figura 3

El total de la tensión de ruido es la suma del térmico o de Johnson y debido a la corriente de ruido.

### Máxima temperatura de trabajo

Es la máxima temperatura que puede soportar el resistor sin variar sus características teniendo en cuenta tanto la temperatura ambiente como el calor desarrollado internamente por circulación de corriente.

Por lo tanto el calor de disipación debe disminuir si se trabaja a una temperatura ambiente mayor a la especificada por el fabricante para la disipación nominal.

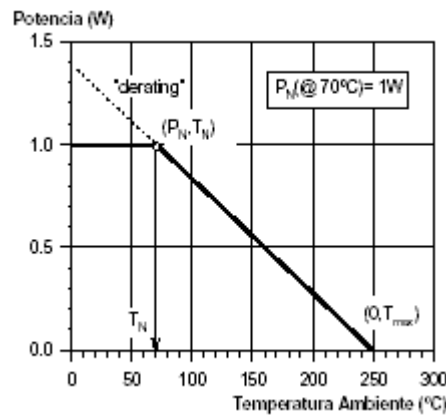


Figura 4

A disipación cero la máxima temperatura ambiente que puede soportar es la máxima temperatura de trabajo.

### Frecuencia de trabajo

Es la máxima frecuencia a la cual se puede trabajar al resistor, dependiendo esta del tipo de resistor y la forma constructiva. Así los alambres trabajan a menor frecuencia que los de composición.

### Estabilidad

Se define generalmente como la variación máxima en % de la resistencia, después de un determinado número de horas de funcionamiento (de 1.000 a 5.000 horas) a  $0^\circ\text{C}$  y 60 % de humedad y cargado a potencia nominal.

## CRITERIOS DE SELECCIÓN

Los criterios de selección del tipo de resistor a utilizar para un fin determinado son:

1. Valor de la resistencia.
2. Potencia a disipar: dependerá de la temperatura ambiente y de la corriente que va a circular por el resistor. Para determinar la potencia nominal del resistor es necesario calcular la potencia que disipará el resistor:

$$P(w) = R(\Omega) \times I(A)^2$$

Siendo la  $I$  la máxima corriente que se supone que circulará por el resistor.

Para obtener la potencia nominal del resistor se debe afectar esta potencia de un factor de seguridad de 2 o 3.

3. Tolerancia: dependerá de la exactitud del valor de resistencia que se pretende.
4. Tipo de montaje: para plaqueta impresa u otro tipo.
5. Coeficiente de variación de la resistencia con la temperatura: depende de la función que cumple el resistor en el circuito.
6. Frecuencia de trabajo.
7. Tensión aplicada entre sus extremos.

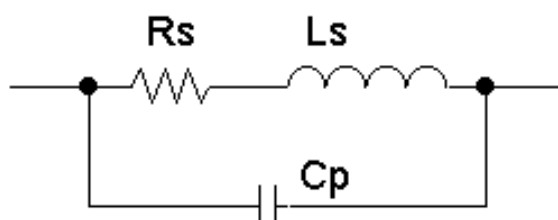


Figura 5

El circuito de la figura indica que el resistor, en frecuencias altas debe tenerse precaución en el formato, para su elección, como así también la longitud de los terminales.

## RESISTORES FIJOS

Son aquellos resistores cuyo valor de resistencia esta fijado por el fabricante y no puede ser variado por el usuario. La clasificación de los resistores fijos se hace de acuerdo a las normas MIL-R.

SIGLA	TIPO	VALORES	POTENCIA NOMINAL
RC	De composición	2 - 20M	1/8 - 2W
RF	Film	20 - 1M	1/8 - 2W
RN	Film alta estabilidad	1 - 10M	1/8 - 2W
RB	Alambre precisión	0,1 - 3M	1/8 - 2W
RU	Alambre baja potencia	0,2 - 5K	1/2 - 2W
RW	Alambre alta potencia	0,1 - 200K	5 - 240W
RV	Composición variable	100 - 6M	1/8 - 2W
RA	Alambre baja temperatura	3 - 12K	2 - 4W
RP	alambre alta potencia	2 - 10K	125 - 1000W

Tabla 2

## Resistores de Composición

Los resistores de composición son los resistores de mayor uso debido a su amplia gama de valores y su reducido costo a pesar de que no se pueden obtener grandes potencias de disipación y de que su coeficiente térmico es apreciable comparado con los de alambre. Se los suele mencionar como composición carbón para diferenciarlo de los de película de carbono.

Los resistores de composición están constituidos por tres elementos:

- un material conductor que puede ser carbón o grafito.
- elementos resistentes que pueden ser talco (silicato de calcio), oxido de sílice, etc.
- Elementos de unión o aglomerante tales como resinas orgánicas.

Dosificando convenientemente los elementos a y b pueden lograrse valores de resistividad específica de 80 a 1.000  $\Omega \times \text{cm}$ . Esto permite obtener distintos valores de resistencia con iguales tamaños.

El tamaño del resistor es función de la máxima potencia de disipación estando normalizado.

La superficie del resistor está dada por  $S = r \times d \times l$  y la potencia normalizada por unidad de superficie es 0.16  $\text{W}/\text{pulg}^2$ , lo que fija el tamaño del resistor para cada potencia.

Por lo tanto las dimensiones para las potencias nominales normalizadas son:



Potencia (w)	Diámetro (mm)	Longitud (mm)
1/8	1,5	6
¼	3	9
½	6	24
1	9	34
2	9	58

Tabla 3

Para los resistores de película metálica, para igual tamaño su potencia nominal de disipación es del doble de la obtenida en un resistor de composición.

#### Proceso de fabricación

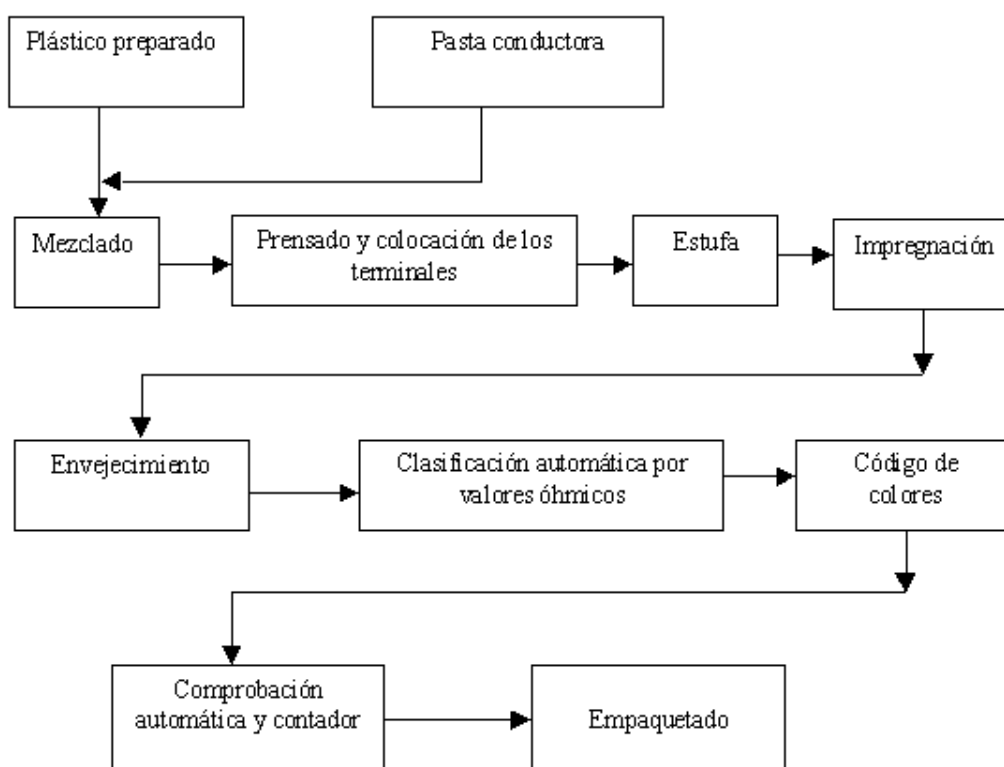


Figura 6

Uno de los problemas más delicados en la fabricación de los resistores es la forma de colocar los terminales. Cada fábrica tiene su procedimiento:

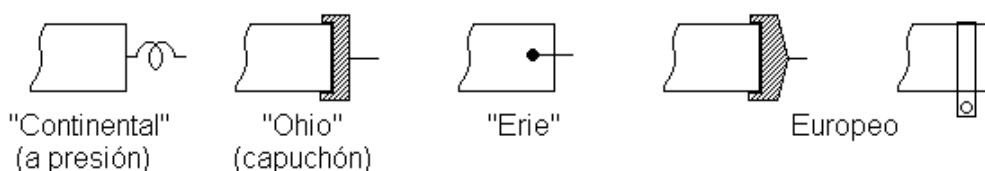


Figura 7

Una vez obtenido el elemento resistor propiamente dicho se encierra este en una cápsula cerámica, que protege mecánicamente al resistor y lo aísla, facilitando el trabajo con los mismos.

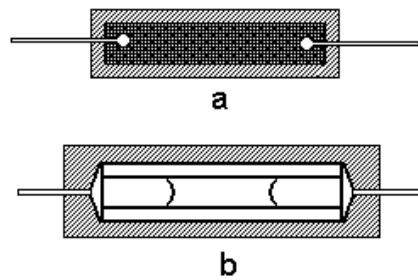


Figura 8

- a. Resistencia de mezcla protegida mediante baquelita.
- b. Resistencia con capa de mezcla sobre soporte de vidrio, protegido mediante baquelita.

### Resistencia de película de carbón (pirolítica)

Están constituidas por un soporte aislante, un mango o tubito cerámico sobre el que deposita la capa resistente, constituida por carbono puro, sin ningún relleno o aglomerante. Esto se logra por depósito del Carbono logrando por descomposición de un hidrocarburo que deposita el carbón en forma cristalina a unos  $800^{\circ}\text{C}$  a  $1.000^{\circ}\text{C}$ . La capa que se obtiene es muy delgada, de espesor inferior a la micra, de color gris metálico y muy dura. Los hidrocarburos adecuados son aquellos en los que la descomposición del vapor o gas tiene lugar a temperaturas suficientemente elevada. La bencina es el más empleado, usándose también el metano, eptano, éter de petróleo o mezclas de estos.

Existen dos métodos para la fabricación en serie:

- el del horno
- el continuo

En ambos es necesario que se efectúe un cierto vacío en la zona que tiene lugar la descomposición del hidrocarburo, para que no exista oxígeno. También se puede lograr el mismo resultado con la introducción de un gas inerte.

#### Método de fabricación del horno

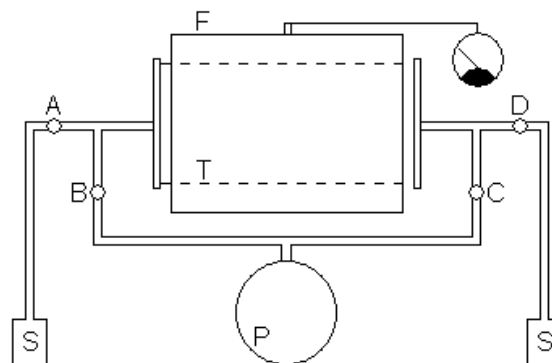


Figura 9

El horno F es calentado a gas o eléctricamente a unos  $1.000^{\circ}\text{C}$ . En el se introduce el tubo de material refractario no poroso T, cerrado por sus dos extremos mediante caperuzas herméticas al aire. La bomba P efectúa el vacío en el tubo, manteniendo abierta una de las llaves B o C. Abriendo después la llave opuesta D o A, se produce la aspiración del vapor de hidrocarburo de uno de los depósitos S. Regulando la temperatura de éstos, una cantidad variable de hidrocarburos se descompone en un determinado tiempo y por consiguiente una capa de distinto espesor se deposita sobre el soporte. La temperatura y el tiempo que dura la operación, influyen en el espesor de dicha capa. Luego se lo enfría por

debajo de  $300^{\circ}\text{C}$  antes de abrir el tubo T, para evitar el quemado de la película. Los depósitos S se usan alternadamente para homogeneizar.

#### Método de fabricación continuo

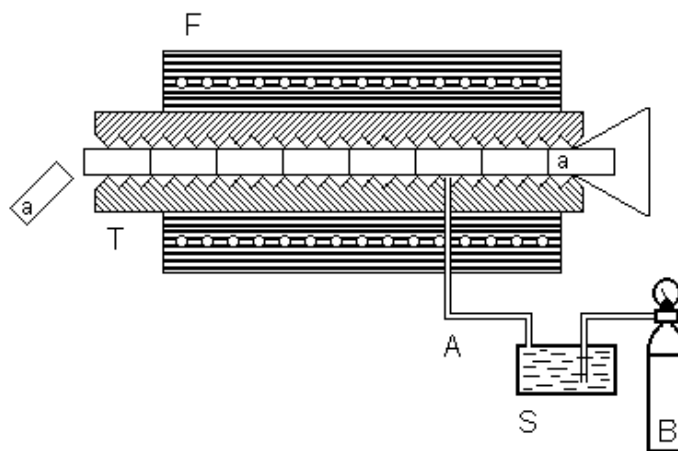


Figura 10

En el horno F se halla introducido un largo tubo T de material refractario con la superficie interna tallada en espiral. Las piezas **a** de porcelana son introducidas por la boca de un embudo en le que caben exactamente y van saliendo por el otro extremo del tubo. Por A se introduce una mezcla de gas inerte conteniendo en la botella R y de vapor de hidrocarburo en S, que se calienta en forma adecuada. La mezcla entra en la zona más caliente del horno y tiene lugar allí la descomposición. Algunos fabricantes introducen Boro para conferir mayor estabilidad en el valor de las resistencias, pero el procedimiento es más laborioso.

Luego de fabricadas las resistencias se espiralan para obtener el valor deseado, se protegen contra la humedad y el desgaste mecánico por medio de barniz. Dando un rango de utilización de  $-40$  a  $+115^{\circ}\text{C}$ . Los mejores barnices son los sintéticos a base resina glifital pero con agregado de siliconas le confiere resistencia a temperatura elevadas.

Las resistencias una vez fabricadas se dejan estabilizar durante algunos meses porque la elaboración y el barnizado final producen alteraciones en la estructura cristalina de la superficie cerámica.

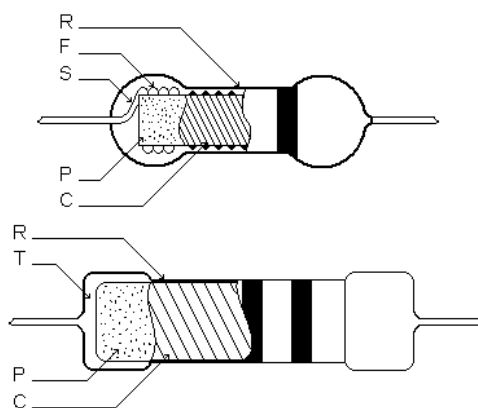


Figura 11

- C: Película de carbón.
- F: Conductor.
- R: Barniz de protección.
- P: Porcelana.
- S: Soldadura.
- T: Terminal en forma de cápsula.

### Resistores de película metálica

Esta resistencia se obtiene depositando sobre una varilla de vidrio cloruro de oro o platino calentado a 400°C obteniéndose la reducción del compuesto metálico, luego a esa capa metálica se le hace el espiralado con un valor de resistencia superior ya que en la segunda cocción a 700°C, lo que hace adherir fuertemente la capa metálica al soporte con una disminución notable de la resistencia realizándose luego el ajuste final. En los extremos de la metalización quedan soldados los conductores de conexión y la pieza se encierra en un tubito de vidrio con caperuzas metálicas.

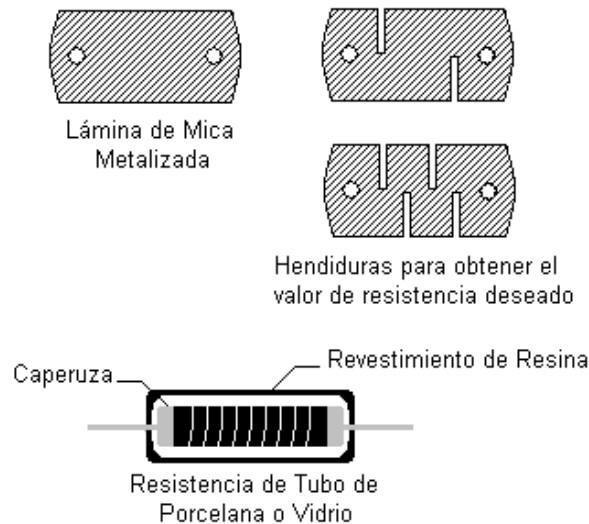


Figura 12

Otros tipos de resistencia de película metálica llevan una solución de cloruro de estaño con adición de sales de boro, titanio o antimonio.

Para valores pequeños de resistencia, el valor se obtiene por disminución del espesor de la película metálica. Para valores altos de resistencia el valor se obtiene por espiralado. De modo que la inductancia presentada por el resistor aumenta con el valor de la resistencia.

Este tipo de resistores permite temperaturas de operación altas y ofrece buenas características de ruido. Los coeficientes de temperaturas son predominantes positivos y bajos variando de 0.03 a 0.0025% / °C.

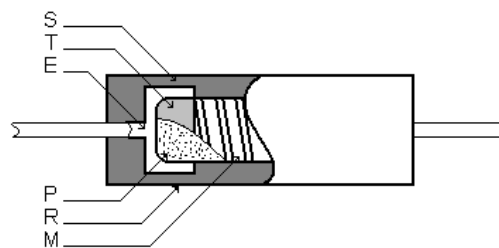


Figura 13

- E: Caperuza.
- M: Película metálica.
- P: Porcelana.
- R: Barniz.
- S: Recubrimiento de resina.
- T: Terminal metalizado.

### Código de colores

Existe un código de colores por el cual se puede conocer el valor de la resistencia y la tolerancia de los resistores de composición y de película (film).

Esta codificación se hace por medio de bandas de color impresas en el cuerpo del conductor, el cual puede ser de cualquier color.

La cantidad de bandas depende de la tolerancia. Para tolerancias del  $\pm 20\%$ ,  $\pm 10\%$ ,  $\pm 5\%$  se imprimen 4 bandas y para tolerancias menores se imprimen 5 bandas.

También se pueden encontrar indicados los valores de resistencia con número y letras directamente.

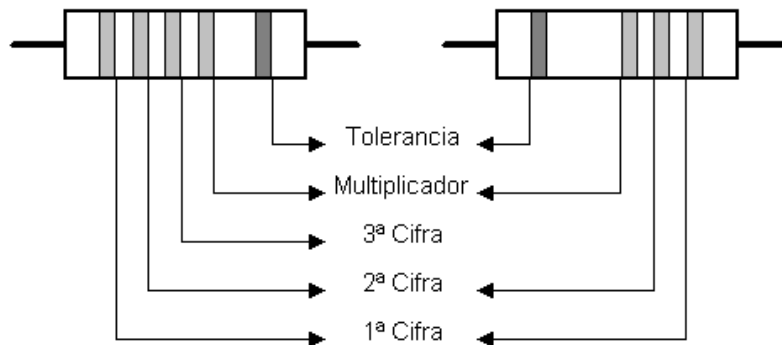


Figura 14

Color	Cifra significativa	Multiplicador	Tolerancia
Negro	0	0 = 1	-
Marrón	1	1 = 10	$\pm 1\%$
Rojo	2	2 = 100	$\pm 2\%$
Naranja	3	3 = 1.000	-
Amarillo	4	4 = 10.000	-
Verde	5	5 = 100.000	$\pm 0.5\%$
Azul	6	6 = 1.000.000	-
Violeta	7	7 = 10.000.000	-
Gris	8	8 = 100.000.000	-
Blanco	9	9 = 1.000.000.000	-
Oro	-	0.1	$\pm 5\%$
Plata	-	0.02	$\pm 10\%$
Sin color	-	-	$\pm 20\%$ o más

Tabla 4

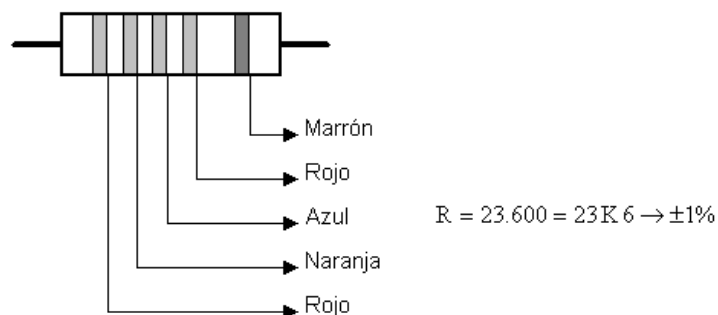
Ejemplo

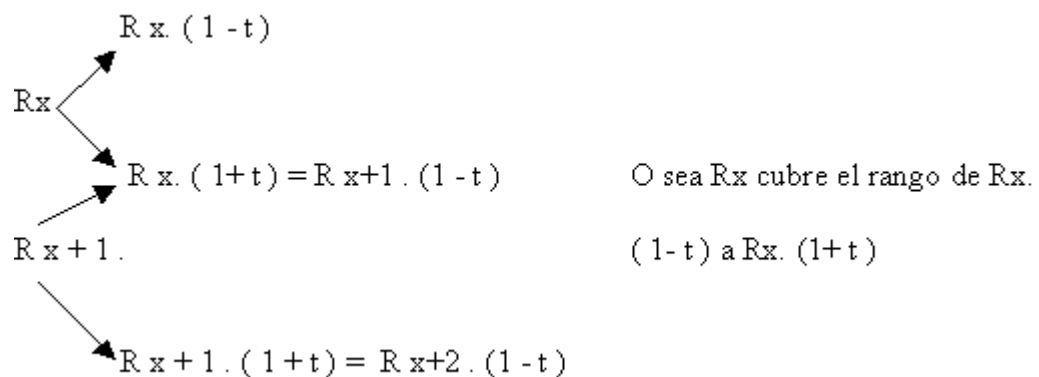
Figura 15

### Valores de los resistores

En un principio se fabricaban resistencias de cifras exactas como ser 100, 200, 300, etc.

Esto tenía el inconveniente de que para una tolerancia del 20 % había superposición de valores, por ejemplo, para una  $R = 1000 \Omega$ ,  $\pm 20\%$ , había superposición de valores, existe superposición con la de  $800 \Omega$  o con la de  $1200 \Omega$ .

Para evitar esto se analizaron fórmulas de normalización. Así por ejemplo para una tolerancia  $t$  los valores de resistencia fabricadas tendrían que ser:



Se trató de que  $R_x$ ,  $R_{x+1}$ ,  $R_{x+2}$ ,..., sigan una progresión geométrica, es decir:

$$R_{x+1} = R_x \times r$$

$$r = \frac{1+t}{1-t}$$

Si  $t = \pm 20\%$  y  $r = 1,5$ .

De esta forma se evitaba la superposición de rangos, pero existe el inconveniente de dificultar el uso del código de colores porque la serie es:

$$1 - 1,5 - 2,25 - 3,37 - 5,05 - 7,6 - 11,4$$

Para poder utilizar el código era necesario que el último valor de la serie fuese 10 y no 11,4 con el objeto de que solo varíe el multiplicador entre una serie y otra.

En consecuencia para que se cumpla la ley de las décadas manteniendo en 6 el número de cada serie ( $n = 6$ ) debe ser :

$$R_{10} = r^6 \times R_1 \quad \text{Siendo la condición de décadas } \frac{R_{10}}{R_1} = 10$$

Por lo tanto:

$$10 = r^6$$

$$\log r = \frac{1}{6} = 0,166667$$

$$R = 1,47$$

En consecuencia la nueva serie estará constituida por:

$$1 - 1,47 - 2,27 - 3,28 - 4,82 - 7,1 - 10$$

los cuales se redondean a:

1 - 1,5 - 2,2 - 3,3 - 4,7 - 6,8 - 10

Siendo para esta serie E 6 una tolerancia  $t = 18,5 \%$ , lo que nos asegura que el valor está garantizado dentro de la tolerancia propuesta del 20 %. Para una tolerancia del 10 % se tiene que el número de términos de la serie se eleva a 12 denominadores  $E_{12}$ .

$$10 = r^{12}$$

$$r = \sqrt[12]{10}$$

Dando:  $E_{12} = 1 - 1,2 - 1,5 - 1,8 - 2,2 - 2,7 - 3,3 - 3,9 - 4,7 - 5,1 - 5,6 - 6,8 - 8,2 - 10$ .

Para el caso de  $T = 5 \%$  siendo el número de términos de esta serie 24.

Bajo este razonamiento podemos deducir que para resistores con tolerancia del  $\pm 1\%$  la serie implica más de 80 valores.

### Resistores de alambre

Son resistores de alta estabilidad que pueden disipar altas potencias, entre 5 y 300 vatios y en casos especiales hasta 1.000 vatios. Los valores de resistencias obtenidos están comprendidos entre 0,1 ohmio a 500K ohmios.

El resistor de alambre está constituido por dos elementos:

- La forma, que es un tubo o pieza de porcelana o mica sobre la que se efectúa el arrollamiento del alambre. A veces se protege el alambre con una capa de barniz, cemento o esmalte vitrificable. Se utilizan estos materiales a fin de que puedan soportar altas temperaturas, del orden de 400 a 500 °C.
- La forma puede ser lisa o ranurada. La lisa en el caso de resistores de alto valor. Las ranuradas en resistores de bajo valor, con el objeto de evitar que se toquen las espiras vecinas y para obtener una superficie de radiación adecuada.
- El alambre o resistor propiamente dicho. El diámetro del alambre depende de la resistencia como así también de la potencia a disipar. No se emplean diámetros menores a 0,05mm. Los alambres usados son Nicrome o Kantal para altas temperaturas y Manganina o Constantán para resistores de bajo coeficiente térmico.

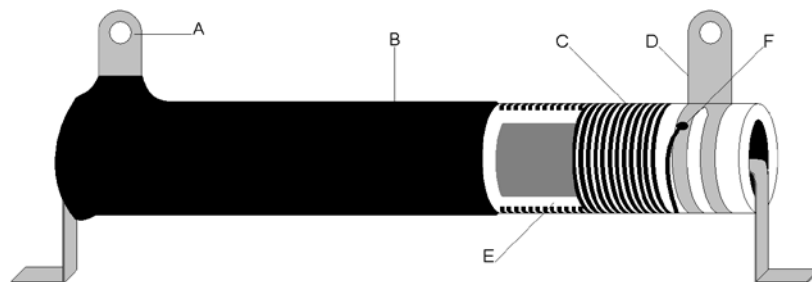


Figura 16

Resistencia esmaltada: A) terminal estañado; B) recubrimiento de esmalte vítreo; C) arrollamiento; D) laminilla terminal, soldada eléctricamente; E) tubo de material cerámico; F) soldadura eléctrica del extremo del hilo de resistencia.

La forma corriente de encontrar los resistores de alambre es de espiralado y doble espiralado.

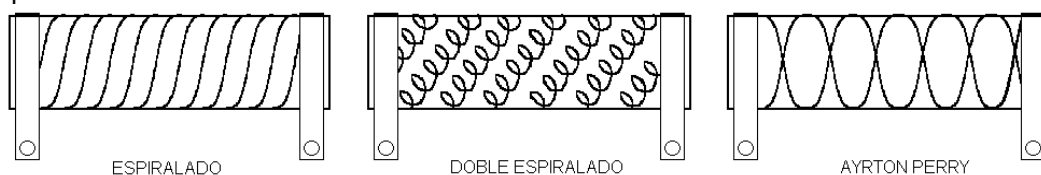


Figura 17

Este tipo de resistencia presenta inductancia, lo cual limita la frecuencia de trabajo. Para evitar esto se fabrican las resistencias anti - inductivas o Ayrton Perry que consiste en devanar sobre la forma, dos espirales en sentidos opuestos, con el objeto de que ambas bobinas concatenen flujo en sentido contrario de forma tal que el flujo total es nulo. Ambas bobinas esta en paralelo por lo cual la resistencia que se puede obtener es baja y además resulta costoso.

Los resistores de alambre pueden venir con o sin recubrimientos protectores del alambre.

Los de arrollamientos descubiertos tienen un diámetro mínimo del alambre de 0,4 a 0,3 mm por razones mecánicas.

Para protegerlos de la humedad y de las sollicitaciones mecánicas se esmaltan en forma total haciéndolos secar en hornos a unos 900°C quedando con apariencia de porcelana, pudiendo llegar la temperatura de trabajo a los 275°C.

Algunos adoptan una forma similar a las de composición por su encapsulado de epoxi.

Los recubrimientos pueden ser:

- Cementados: pueden soportar temperaturas hasta 150°C.
- Pintadas: a base de siliconas pueden soportar hasta 200°C.
- Esmaltadas: soportan hasta 300°C.

Estos recubrimientos aumentan el costo del resistor. Estos recubrimientos no deben provocar ataque químico sobre el conductor y la forma, deben tener elasticidad para permitir variaciones de tamaño por efecto térmico, punto de fusión elevado y bajo par termoeléctrico.

En cuanto a los valores de los resistores de alambre los fabricantes presentan valores múltiplos de 10 por lo que no sigue una normalización. Las tolerancias que presentan son  $\pm 5\%$  y  $\pm 1\%$  y para las de precisión de  $\pm 0,1\%$  y  $\pm 0,01\%$ .

Las potencias nominales de disipación de resistores de alambres, normalmente encontradas son: 5W; 10W; 25W; 50W; 75; 100W; 160W; 200W.

En casos especiales se consiguen resistores especiales de 250W y 300W.

El coeficiente térmico es bajo y positivo: 0,2 a 0,001 % / °C.

#### Montaje de los resistores de Alambre

El montaje en general puede ser de dos tipos:

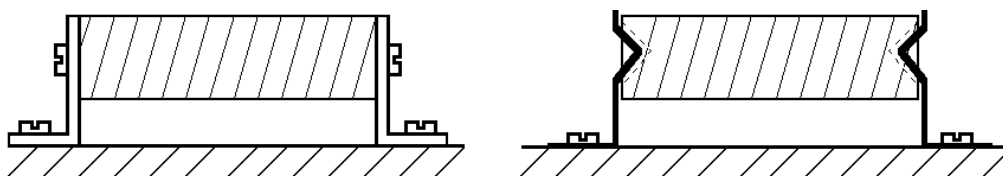


Figura 18

En el primero, el montaje es rígido y se realizan esfuerzos mecánicos por dilatación térmica pudiendo provocar fisuras o roturas de la forma.

El segundo montaje es a presión dejándose un pequeño juego para permitir la dilatación sin que se realicen esfuerzos mecánicos



Montaje para chasis.

Figura 19





Montajes múltiples para resistores de gran potencia.

Figura 20

### Comparación de las características de los resistores fijos

- A) **TOLERANCIA:** para los resistores de alambre es mayor la precisión que puede obtenerse que para el resto de los resistores fijos.

La tolerancia normalmente encontrada es:

De composición	$\pm 20\%$	$\pm 10\%$	$\pm 5\%$
Pirolíticas	$\pm 5\%$	$\pm 2\%$	$\pm 1\%$
Película metálica	$\pm 2\%$	$\pm 1\%$	$\pm 0,1\%$
Alambre (comerciales)	$\pm 5\%$	$\pm 1\%$	-
Alambre de precisión	$\pm 0,1\%$	$\pm 0,01\%$	-

Tabla 5

- B) **TAMAÑO:** Independientemente de la disipación de potencia se tiene que a igual valor resistivo, los resistores de alambre presentan un mayor tamaño que el resto de los resistores fijos.
- C) **DISIPACIÓN:** Para grandes potencias (mayores a 2 vatios) se deben usar los resistores de alambre. En cualquier caso para lograr una buena estabilidad se debe evitar superar el 70% de la máxima disipación permisible en los usos corrientes y el 50% en los casos de alta estabilidad.

Normalmente la máxima potencia de disipación está dada a  $70^{\circ}\text{C}$ , por lo tanto a temperaturas ambientes mayores disminuye la potencia que puede disipar el resistor. A temperatura ambiente igual a la máxima que puede soportar el resistor la potencia que puede disipar es nula.

Los fabricantes dan un gráfico que permite determinar la potencia que puede disipar el resistor a una temperatura mayor a la normal ( $70^{\circ}\text{C}$ ).

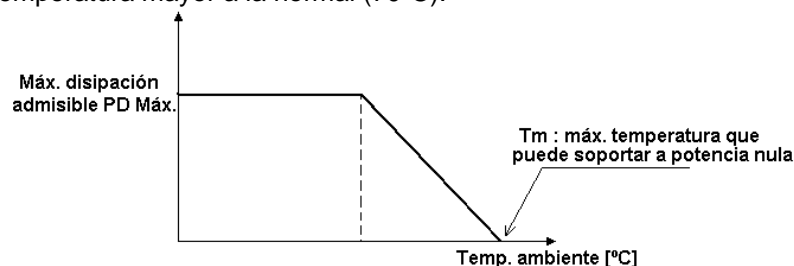


Figura 22

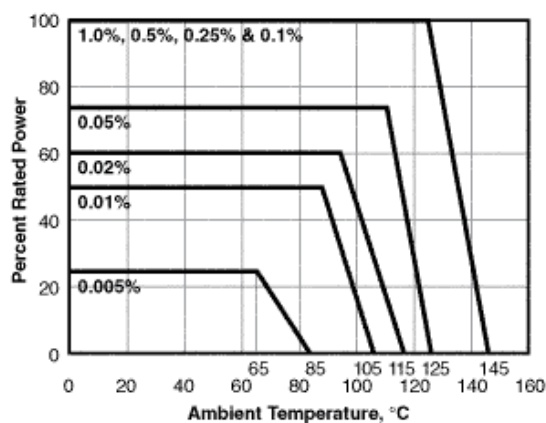


Figura 23

La gráfica anterior muestra el decrecimiento de potencia para un resistor de precisión de alambre bobinado.

Los valores típicos de disipación nominal  $P_n$  a 70°C son:

- Carbón – composición: 1/16; 1/8; 1/4; 1/2; 1; 2; 2,5 vatios.
- Película de carbón – pirolíticos: 1/8; 1/4; 1/2; 1; 2 vatios.
- Alambre: 5; 10; 25; 50; 75; 100; 200 vatios.

D) MÁXIMA TEMPERATURA DE TRABAJO: La temperatura a potencia nula es:

Resistores de composición	115°C. A mayor temperatura los aglomerados se alteran.
Resistores pirolíticos	150°C
Resistores de película metálica	175°C
Resistores de alambre pintado	130 a 150°C
Resistores de alambre vitrificado	300 a 400°C

Tabla 6

En los resistores de composición la disipación está normalizada, por lo que los fabricantes dan curvas que permiten conocer la sobre elevación de temperatura a la cual se somete al resistor para una disipación determinada.

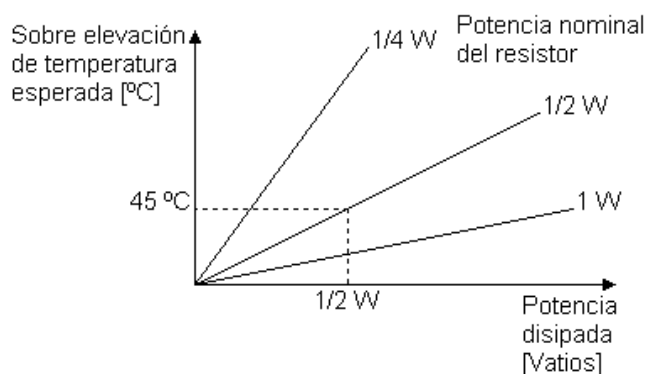


Figura 24

Para un resistor de una potencia dada, la máxima sobre elevación de temperatura trabajando a temperatura ambiente de 70°C, es de 45°C ya que la máxima temperatura que puede soportar el compuesto es de 115°C.

Por lo tanto con estos datos se puede elegir la disipación que debe tener el resistor teniendo en cuenta el coeficiente de seguridad de 2 ó 3.

Para normas militares estos rangos son mayores.

E) COEFICIENTE TÉRMICO: En los resistores de composición el coeficiente térmico es negativo y en los de alambre es positivo.

Resistores de composición:	
Pirolíticos:	-0,02 a -0,1 %/°C
De película metálica:	$\pm 0,01$ %/°C
De alambre:	+0,2 a 0,001 %/°C

Tabla 7

Con los resistores de composición y los pirolíticos se dan gráficos que dan la variación temporal de la resistencia en % por efecto de la temperatura.

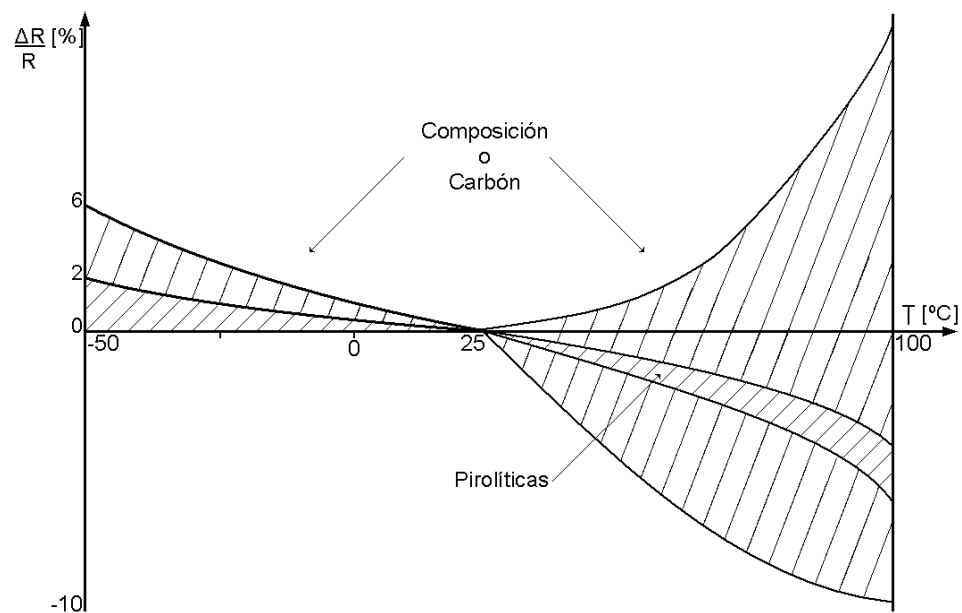


Figura 25

Ejemplo de tal gráfico para las resistencias de composición Allen-Bradley

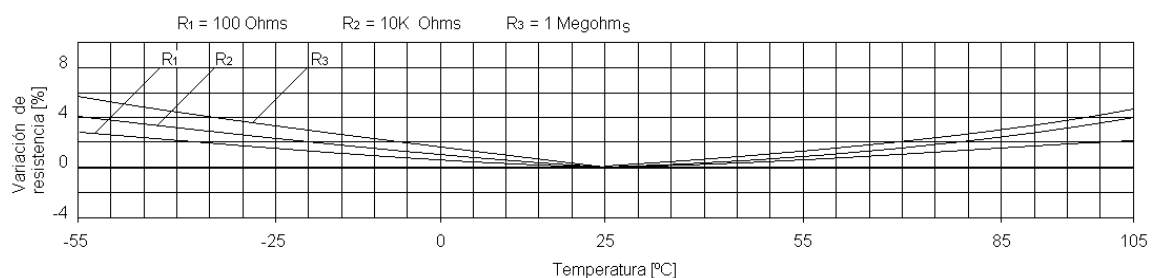
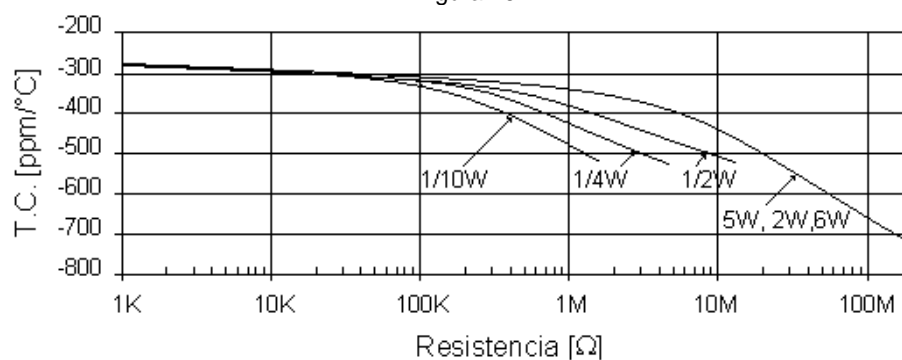


Figura 26



Curva típica del coeficiente de variación de la resistencia con la temperatura para resistores de película de carbono y pirolíticos de distintas potencia y valores.

Figura 27

F) **RUIDO**: En los resistores de alambre, excepto por interferencias, se produce el inevitable ruido térmico, siendo en general bajo.

Los de película metálica tienen un índice de ruido de  $-30$  a  $-40$  dB. Con valores de resistencia bajo, el ruido también es bajo.

En los resistores de composición el nivel de ruido depende del valor óhmico y del tamaño del resistor. Para pequeños valores óhmicos y grandes tamaños el nivel de ruido es bajo. Así, por ejemplo, para bajos valores óhmicos y  $2W$  de disipación el nivel de ruido es de casi  $0$  dB, aumentando a  $+40$  dB para altos valores óhmicos y  $1/10W$  de disipación. También, cuando el tamaño físico es grande y la densidad de corriente pequeña para una carga dada, el ruido por corrientes inducidas es bajo.

Los gráficos siguientes dan el índice de ruido para las resistencias de película de carbón y las de película metálica en función del valor óhmico y la tensión de ruido en función de la tensión continua aplicada a los terminales para las distintas disipaciones de los resistores de composición.

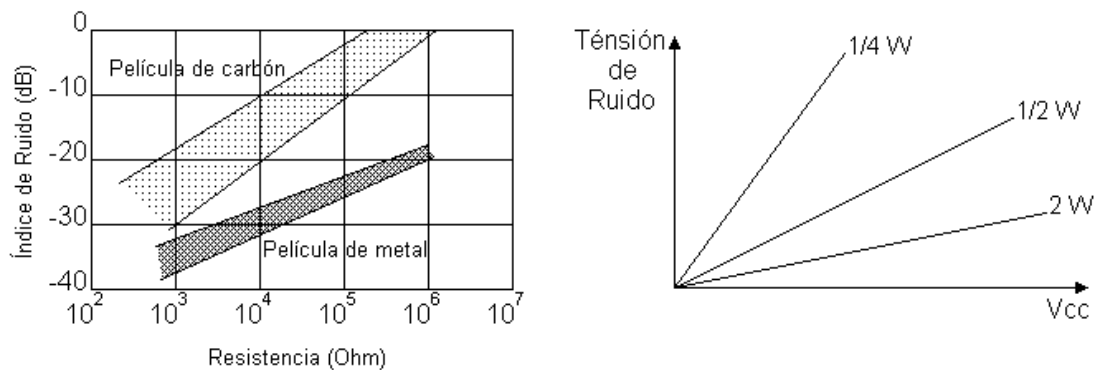


Figura 28

G) **EFFECTO DE LA FRECUENCIA**: En los resistores de composición al aplicarle una tensión entre sus extremos, por tratarse de un material in homogéneo, entre el gránulo conductor se presenta una capacidad que limita la frecuencia de trabajo. En consecuencia al aumentar la frecuencia disminuye el valor de la resistencia. Los fabricantes suelen dar curvas de variación de la resistencia en función de la frecuencia.

En consecuencia el circuito equivalente en alta frecuencia es:

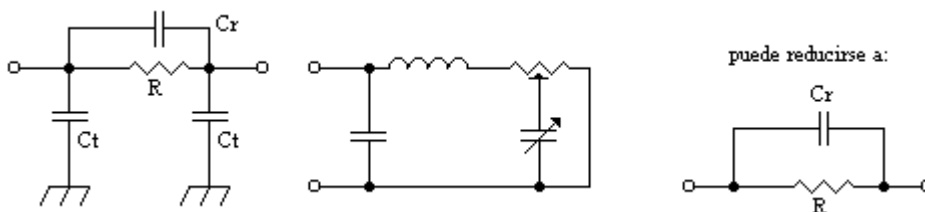


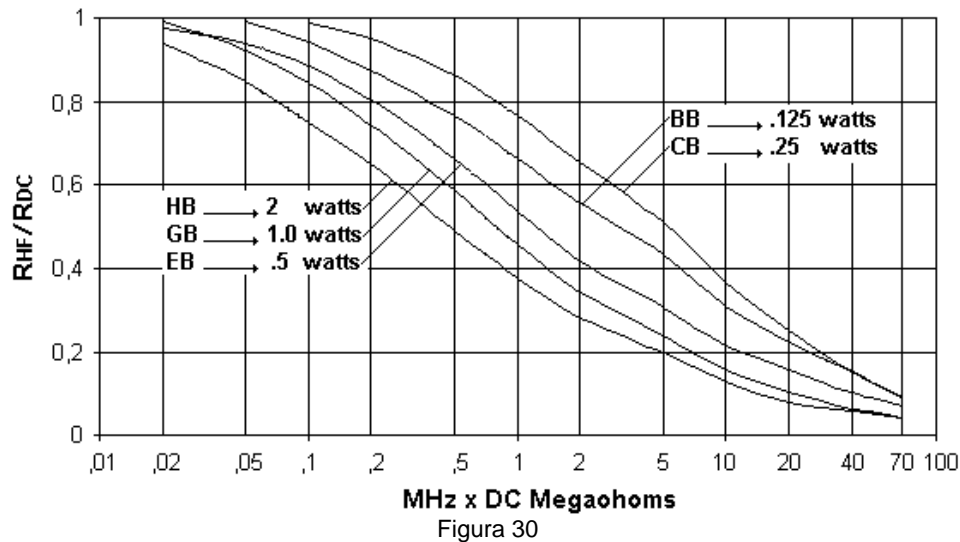
Figura 29

Siendo la impedancia representada:

$$Z = \frac{R}{1 + (\omega.C.R)^2} - j \cdot \frac{\omega.C.R}{1 + (\omega.C.R)^2}$$

De donde:

$$R_e = \frac{R}{1 + (\omega.C.R)^2} \text{ y } C_e = \frac{\omega.C.R}{1 + (\omega.C.R)^2}$$



En los resistores de alambre aparece una elevada inductancia debido a la forma constructiva, lo que lo hace comportarse como un verdadero inductor a alta frecuencia. El circuito equivalente es:

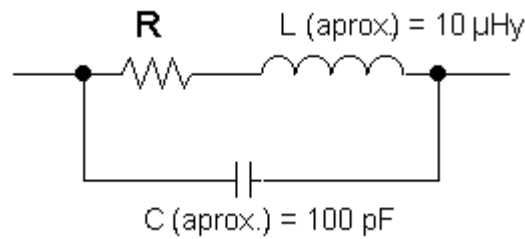


Figura 31

$C$  es la capacidad distribuida. La capacidad respecto a chasis puede despreciarse.

Los valores de  $C$  y  $L$  dependen de  $R$  y crecen con ella. Los valores típicos son  $C = 100 \text{ pF}$  y  $L = 10 \text{ mHy}$ .

La frecuencia de resonancia de un resistor de alambre de  $50 \text{ K}\Omega$  es aproximadamente de 3 a 5 Mhz y el  $Q$  es de 5 a 10.

Siempre, en consecuencia, es necesario utilizarlo por debajo de la frecuencia de resonancia.

En conclusión los resistores de carbón son útiles hasta unos 10Mhz (algunos especiales pueden llegar a los 500 MHz) y los de alambre hasta las centenas de KHz.

Como regla general, válida para todo tipo de resistor, se dice que a mayor valor óhmico son más ruidosos. Tal es así que muchas veces a los amplificadores operacionales, en altas ganancias, se le suele colocar en el lazo un circuito T, para tener una resistencia equivalente alta con valores óhmicos comerciales relativamente bajos.

Ejemplo:

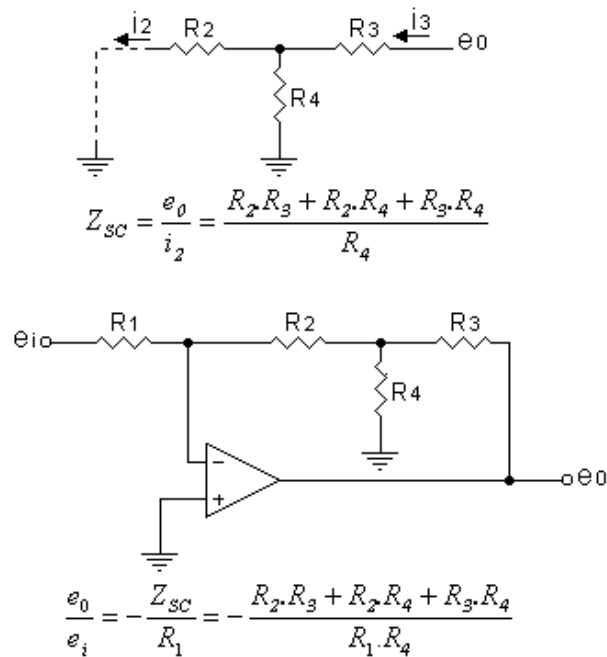


Figura 32

$Z_{sc}$ : es la impedancia con entrada en corto circuito

Si:

$$R_2 = 180 \text{ K}\Omega$$

$$R_3 = 180 \text{ K}\Omega$$

$$R_4 = 10 \text{ K}\Omega$$

$$Z_{sc} = \frac{180K \cdot 180K + 180K \cdot 10K + 180K \cdot 10K}{10K} = 3,6M\Omega$$

Quiere decir que se ha obtenido una resistencia efectiva del lazo de 3,6 MΩ.

H) **SOLDABILIDAD**: Se define como la variación permanente de la resistencia, producida por el calor de la soldadura en el momento del montaje del circuito.

En los resistores de composición puede esperarse una variación del 5% y en los pirolíticos del 0,5 al 1%, haciendo las pruebas con un soldador de 120W a 350°C durante 15 segundos a 12 mm del cuerpo del resistor.

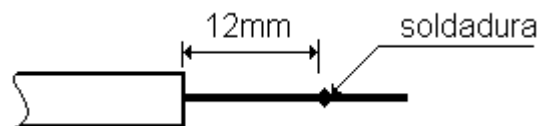


Figura 33

En los resistores de alambre no hay variación.

I) **HUMEDAD**: Los resistores de alambre no son afectados por la humedad pero si lo puede ser su forma. Por el contrario los de composición son sumamente afectados, debiendo ser recubiertos con impregnantes para evitar su efecto.

Variaciones del 10 al 15% pueden encontrarse por efecto de un 95% de humedad relativa durante 250 horas. En los pirolíticos esta variación es de 5%.

J) **ESTABILIDAD**: Durante un año de almacenamiento las variaciones esperadas son:

Resistor de composición:	5%
Pirolíticos:	0,5%
Película metálica:	0,01%

Tabla 8

K) **FATIGA:** Se refiere a la variación de la resistencia después de funcionar 1000 horas a 70°C, 60% de humedad y cargado a su potencial nominal (máxima admisible) pudiendo hacerse de 1 a 3 ciclos.

La variación respecto a su valor nominal es:

Resistor de composición:	25%
Pirolíticos:	2%
Película metálica:	1%
Alambre:	1%

Tabla 9

L) **MÁXIMA TENSIÓN DE TRABAJO:** Los resistores de composición no soportan tensiones elevadas, interesando dos aspectos:

- A\_ Tensión de aislamiento contra chasis.
- B\_ Tensión de aislamiento entre terminales, (rigidez dieléctrica).

La primera es la máxima tensión que puede soportar el resistor sin que se perfora la aislación. Se trata de la resistencia de aislación y se mide con el siguiente dispositivo aumentando la tensión aplicada hasta que se perfora la aislación.

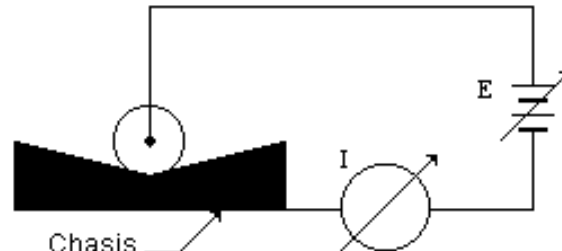


Figura 34

La segunda se trata de la rigidez dieléctrica, ya que como el material no es homogéneo, al aplicarle una tensión entre sus extremos se produce un aumento del campo eléctrico entre los gránulos de material con lo cual se inutiliza.

Esta tensión depende de la disipación del resistor:

- Para 1/2W se tiene  $V_{\text{máx.}}$  300V
- Para 1W se tiene  $V_{\text{máx.}}$  350V

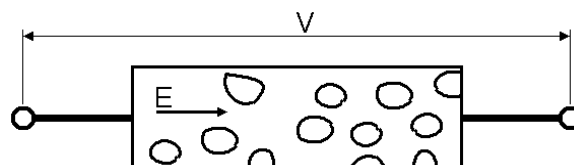


Figura 35

En consecuencia la  $V_{\text{máx}}$  no surge de la expresión de potencia, conociendo la disipación del resistor y su valor óhmico; así por ejemplo si tenemos una resistencia de  $1\text{M}\Omega$  con una disipación de 1W, si le podría aplicar una tensión de 1.000V; desde el punto de vista del cálculo de la disipación sería correcto, pero la resistencia se destruye por campo el gran campo

eléctrico que se genera, a una resistencia de 1W de potencia no se le debe aplicar una tensión mayor a los 500V.

En los resistores de alambre la rigidez dieléctrica del alambre no tiene importancia, pero si la tiene la de la forma, pues pueden saltar chispas entre las espiras.

Los valores de tensión que pueden soportar son:

DISIPACIÓN	1/8	¼	1/2	1	2
Máx. tensión de trabajo	150V	250V	350V	500V	500V
Coeficiente de tensión	0,05%/V	0,035%/V	0,035%/V	0,02%/V	0,02%/V

Tabla 10

M) **COEFICIENTE DE TENSIÓN:** Es la variación de resistencia por voltio de tensión aplicada, expresada en % / V ó en: ppm / V.

$$R_v = R_0 \cdot (1 + \beta_v \cdot V)$$

$$\beta_v = \frac{R_v - R_0}{R_0 \cdot \Delta V}$$

En los resistores de alambre  $\beta_v$  es nulo porque no varía con la tensión, pero en los de composición se tiene:

DISIPACIÓN [W]	1/8	¼	½	1	2
$\beta_v$ [%/V]	0,05	0,035	0,02	0,02	0,02

Tabla 11

En los pirolíticos y en los de película metálica  $\beta_v$  está en el orden de 0,0005 % / V.

### Resistores Integrados

El desarrollo de la tecnología ha permitido la integración en un módulo de circuito integrado del tipo doble línea, DIL (Dual – In - Line) de 16 pines.

Existen dos métodos de integración de resistencias: el de película gruesa y el de película delgada, métodos análogos a los de fabricación de circuitos integrados monolíticos.

Los materiales usados como sustrato en la fabricación de resistores integrados son la alúmina ( $Al_2O_3$ ), el vidrio y el óxido de silicio.

Se usa el término película delgada (Thin film) para espesores iguales o menores a 5 micrómetros, independientemente si el proceso de fabricación es pirolítico o capas de óxido.

Película gruesa (thick film) para espesores mayores de 5 micrómetros, tales como los de cermet paladio - plata, óxido de tantalio, etc.

#### Resistores de película gruesa

Se parte de un sustrato rústico compuesto por un 96% de alúmina. El resistor se construye depositando, por método serigráfico a alta temperatura, materiales del tipo "cermet" (compuesto - cerámico – metálico). Esta es una mezcla de polvos de varios metales nobles y combinaciones de vidrios, (metal, glaze).

El resistor terminado consiste en partículas metálicas uniformemente aplicadas sobre la superficie y fundidas en el sustrato del cual terminan siendo parte permanente en una estructura cerámica.

Con este proceso se logran resistencias de espesor de 40 a 2.000 micro pulgadas obteniéndose tolerancias comerciales del orden de  $\pm 2\%$ .

El coeficiente térmico individual de cada resistor del módulo es normalmente de  $\pm 300$  ppm/°C.



La disipación del conjunto total de resistencias del "chip" es de 1 a 3 vatios, siendo la disipación máxima a 70°C de cada resistor individual de 1/8 vatios.

La técnica de fabricación de los resistores de película gruesa se comenzó a desarrollar en la década del 60, con materiales preciosos como conductores, de soporte el vidrio sobre un sustrato cerámico realizando el proceso a altas temperaturas.

La variedad de fabricación es amplia, el sustrato cerámico típico es el boro silicato, los materiales preciosos, oro, plata, platino, paladio, rutenio y como aglutinante trióxido de bismuto.

Aparte de los cerámicos mencionados está el titanato de bario, y se están logrando con:

- Coefficientes de variación por temperatura (TCR): 100, 50 y mejores de 25 ppm/°C
- Coefficientes de variación por tensión (VCR): típicos: 0,001 a 0,01 %/V

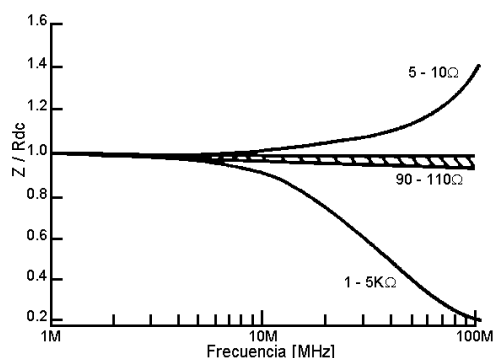
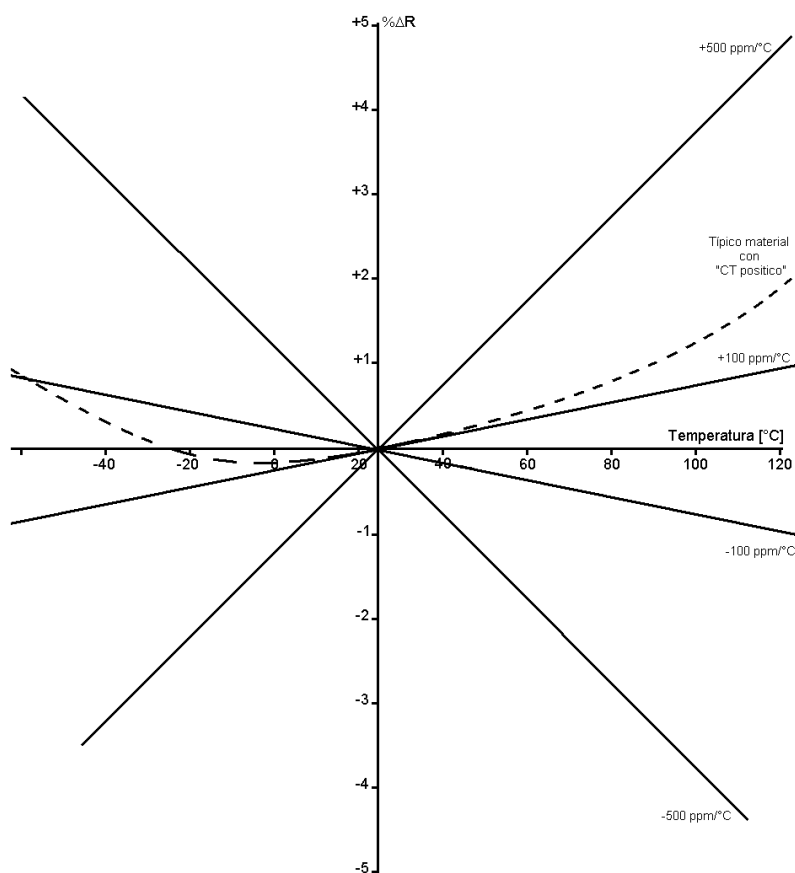


Figura 36

Las gráficas muestran el TCR y la respuesta en frecuencia de los resistores de película gruesa.

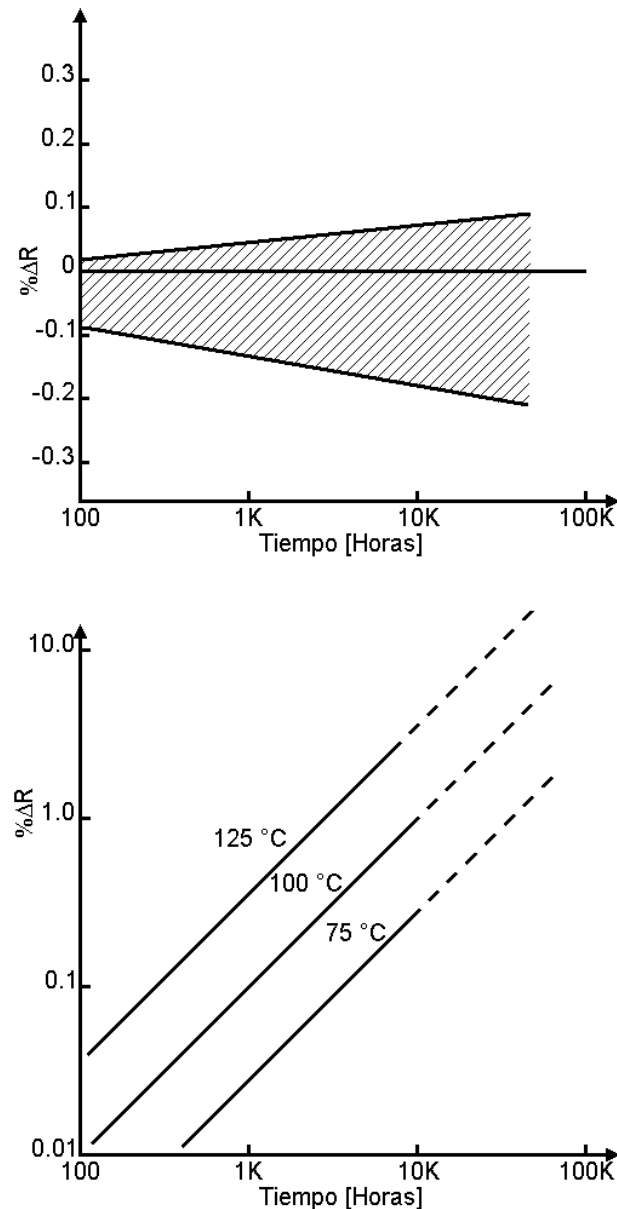


Figura 37

Las gráficas anteriores dan la evaluación de la estabilidad a largo término.

#### Resistores de película delgada

Se parte de un sustrato de alúmina pero con su superficie perfectamente pulida. Cuando se fabrican resistores para su utilización en mallas – escaleras, donde la disipación no es un factor determinante, es frecuente el empleo de sustratos a base de vidrio o dióxido de silicio. El resistor y los conductores de interconexión se obtienen por medio de un depósito por evaporación de metales en vacío o en ambiente de gas inerte.

Los materiales empleados para interconexión son el Al el oro.

El elemento resistivo se elabora a partir del Níquel – Cromo, del Cromo – Cobalto o de nitruro de tantalio.

El resistor se obtiene haciendo un fino depósito de material en toda la superficie del sustrato y por una posterior eliminación del material de las áreas no deseadas. Como todos los resistores se obtienen de la misma película delgada, se obtiene gran homogeneidad y poca disparidad entre las resistencias de un mismo chip.

El espesor de la capa resistiva es de 0,4 a 20 micro pulgadas.

Las tolerancias obtenibles son del orden de  $\pm 1\%$  y el apareamiento entre resistores de un mismo chip es del orden de  $\pm 0,5\%$ .

El coeficiente de temperatura típico es del orden de  $\pm 50$  ppm/ $^{\circ}\text{C}$  y las disipaciones comerciales del chip es del orden de 1,25 vatios y de 1/8 vatios para cada resistor individual.

Los valores de resistencias obtenibles, por ser del tipo de película metálica, son bajos, de 50W a 100KW, menores a los obtenidos en los de película gruesa que son de 20W a 1MW.

Dentro de cada chip los fabricantes ofrecen un conjunto de resistores con un terminal común, o redes R-2R para conversores digital – analógicos, u otros tipos de configuraciones.

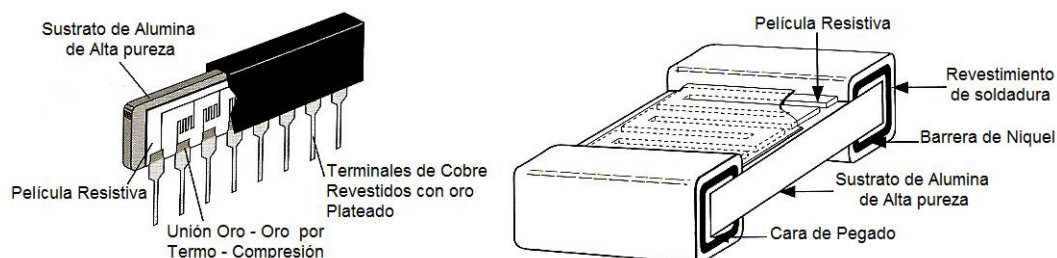


Figura 38

## RESISTORES FIJOS ESPECIALES

### Resistores de precisión

Son resistores de alta estabilidad y exactitud, generalmente de alambre. En la fabricación de los mismos se tiene sumo cuidado para obtener coeficientes de temperatura (tempco) lo más bajo posible y mínimo corrimiento de resistencia en funcionamiento. Se debe evitar juntas de alambre que produzcan potenciales electrotérmicos apreciables. Para solucionar esto y evitar las resistencias de contacto se construyen como resistencias de cuatro terminales, o sea, con terminales para corriente y terminales para tensión.

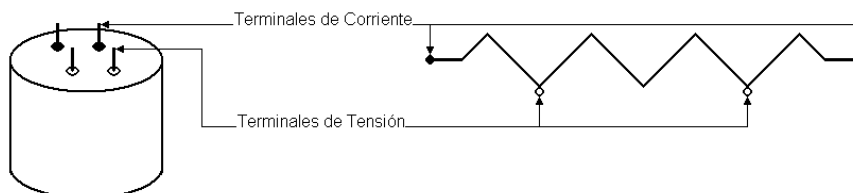


Figura 39

Como son de alambre, el ruido y el coeficiente de variación de la resistencia con la tensión son despreciables.

El resistor consta en general de un soporte cerámico sobre el cual se bobina el alambre, estando protegido con papel o cinta plástica.

Aleaciones especiales termoestables son usadas para resistores de alto valor y aleaciones de cobre – níquel y manganita se usan para resistores de bajo valor.

En resistores con valor resistivo mayor a unos pocos ohms, se bobinan en multicapas, lo cual aumenta la inductancia y por lo tanto limita su uso en alta frecuencia. Para disminuir un poco este efecto se suelen hacer grupos de arrollamientos separados. Cada uno de los grupos está bobinado en sentido contrario al de sus vecinos. Esto es efectivo a bajas frecuencias debido al flujo disperso de cada grupo y a la gran capacidad distribuida, la cual es aumentada por la diferencia de potencial entre grupos vecinos.

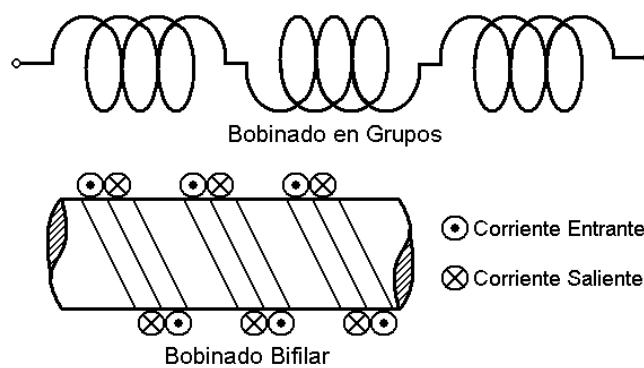


Figura 40

Otra forma de disminuir el efecto inductivo es hacer una bobina con dos alambres simultáneamente, estando conectados eléctricamente en serie, de forma que la corriente en cada uno de los alambres circula en sentido contrario al de su vecina. De todas formas su uso está limitado a muy bajas frecuencias, aumentando mucho la componente reactiva a frecuencias superiores a 20KHz.

El ajuste final del valor resistivo se hace por disminución del diámetro de un alambre serie de ajuste.

Los coeficientes de temperatura obtenidos están dentro de +10 a +50 ppm/°C.

Los valores de disipación son bajos para los tamaños normalmente usados, lográndose la mayor estabilidad cuanto más baja sea la temperatura ambiente y la disipación a la cual se los hace trabajar. Según normas MIL – R y EIA la máxima temperatura ambiente a la disipación nominal es 125°C. A mayor temperatura la disipación admisible disminuye proporcionalmente hasta alcanzar los 145°C.

Los valores de resistencia obtenidos son bajos y las tolerancias van de 0,005 a 0,1%.

Se los usa corrientemente en puentes de corriente continua.

### Resistores para alta tensión

Estos se fabrican en base a piezas moldeadas que se ponen en contacto, pudiendo soportar cada una de ellas 2KV, lográndose así el valor deseado de tensión. En los espacios que quedan entre una y otra se colocan láminas separadoras aislantes de cerámica que tienen además la función de canalizar adecuadamente el campo eléctrico, estando recubiertas por un tubo plástico.



Figura 41

La fábrica Caddock's presenta una resistencia de alta tensión con características no inductivas, consistente en una "serpiente resistiva" sobre una lámina no conductora, de tal forma que la corriente circulante por cada línea resistiva fluye en sentido contrario a la que fluye en las líneas vecinas, cancelando el flujo.

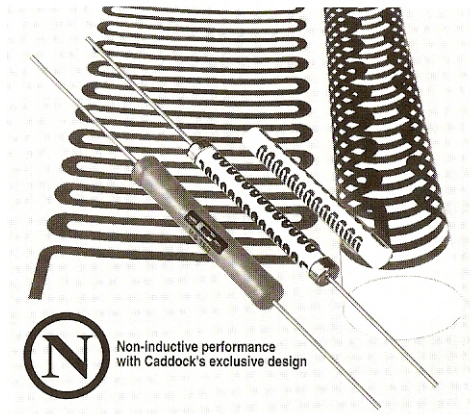


Figura 42

Los valores de resistencia obtenibles son de 200W a 2000MW soportando tensiones de 600 a 30000 voltios.

En los resistores que pueden soportar mayor tensión se pueden obtener mayores valores de resistencia.

La potencia que pueden disipar va desde 0,5 a 15 vatios. A mayor valor resistivo mayor es la disipación admisible. La tolerancia es del orden de  $\pm 1\%$ . El coeficiente térmico es del orden de  $\pm 80\text{ppm}/^\circ\text{C}$ .

La resistencia de aislación respecto a chasis es del orden de 100 M $\Omega$ .

### RESISTORES AJUSTABLES

Son resistores de tres terminales, uno de los cuales está conectado a un contacto móvil, pudiendo ser usado como divisor de tensión (potenciómetro) y como reóstato. Como el nombre lo indica estos resistores son para ajustar parámetros eléctricos (resistencia, tensión o corriente) en constantes de tiempo, polarización de transistores, etc., por una "única vez". O sea no se pueden usar como elementos de permanente ajuste puesto que poseen una cantidad limitada de ajustes posibles. Estos son los llamados preset, o sea, son elementos de pre - ajuste. Estos preset pueden ser comerciales de 1 vuelta o de precisión de varias vueltas (multivoltas) pudiendo ser construidos de alambre, de composición de carbón, de plásticos, de película de carbón o metálica o de película gruesa (cermet: cerámica - metal). De los tres terminales del resistor dos de ellos son fijos presentando una resistencia  $R$  constante entre ellos y que caracteriza al preset. Esa resistencia está constituida por el elemento o compuesto resistivo que se extiende entre los terminales fijos. Al compuesto resistivo se lo denomina pista y sobre él apoya el contacto del elemento móvil llamado cursor. Entre este terminal y cualquiera de los terminales fijos la resistencia presentada es variable entre 0 y  $R$  según la posición del cursor.

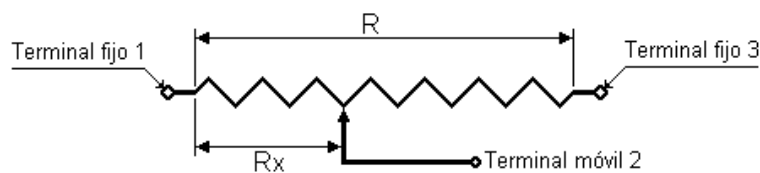


Figura 43

Entre el contacto móvil y la pista hay una resistencia de contacto que depende de las características mecánicas del cursor y de la limpieza de la pista y del conductor del cursor.

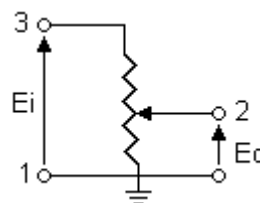


Figura 44

Normalmente hay un terminal que tiene la asignación C.W., significa sentido horario de rotación (clockwise), vale decir que si ese terminal se coloca al mayor potencial, el otro extremo al potencial de

referencia (masa), el punto medio va a ir incrementando el valor óhmico cuando el tornillo se lo rota en sentido horario normalmente viene como terminal N° "3".

Existe otra resistencia llamada residual que es la que se presenta entre el extremo final de la pista y el terminal correspondiente. Teóricamente la resistencia que se mide entre el cursor y el terminal fijo correspondiente cuando el cursor esta en el final de la pista, debe ser cero. Esto en la práctica no ocurre.

Esta resistencia residual según normas EIA debe ser de:

Para preset de composición lineales	5 Ohm o 1% de R.
Para preset de película	5 Ohm o 2,5% de R.
Para preset de cermet	5 Ohm o 1% de R.
Para preset de alambre	5 Ohm 0 1% de R.

Los resistores ajustables presentan configuraciones geométricas rectilíneas o circulares. O sea, que el rectilíneo presenta una pista que describe una recta, mientras que el circular presenta una pista que describe un arco de circunferencia.

En los preset circulares de una vuelta de desplazamiento angular esta normalizado por Normas IRAM la cual fue fija entre 240° y 300°. En los multivuelas el ángulo de rotación del cursor es 360°. N donde N es el número de vueltas.

#### Resistores ajustables de composición

Es un preset cuyo elemento resistivo es un compuesto de carbón similar al usado en los resistores fijos, depositado sobre un soporte de papel fenólico laminado o también pueden ser moldeados en caliente junto con el soporte fenólico. Siendo este tipo el de mayor duración. Es muy económico y suele venir la pista (elemento resistivo) al descubierto, lo cual trae el inconveniente de que se deposita sobre la pista suciedad y por lo tanto produce una variación de la resistencia de contacto entre el cursor y la pista. Además es sumamente ruidoso y por defecto de su ajuste reiterado produce desprendimiento de la composición de la pista, lo cual hace variar la resistencia total R.

Es de configuración geométrica circular siendo de una sola vuelta y presentando una variación de resistencia lineal al desplazar el cursor de la pista.

Este tipo de preset solo se usa para propósitos generales ya que presenta una tolerancia del 10% al 5% y es el menos estable de los preset.

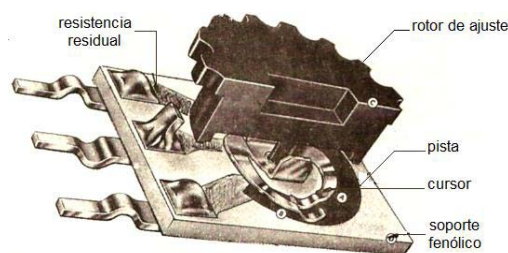


Figura 45

#### Resistores ajustables de cermet

El elemento resistivo es un compuesto de película gruesa de metales preciosos y materiales cerámicos (igual composición de los thick film) depositados sobre un sustrato cerámico. Las conexiones al exterior se obtienen por soldado de caminos conductores a los terminales a través del sustrato.

La configuración geométrica puede ser rectilínea o circular presentando una variación de resistencia en forma continua.

Se pueden presentar en configuración de 1 vuelta o multivuelta de 10; 15; 20; 22; 30 vueltas.



Figura 46

La resistencia residual es del orden de 1 a 5 ohm.

La estabilidad de ajuste es de 0,1% y la tolerancia es de 5% al 10%. En los preset multivueltas de desplazamiento rectilíneo, el cursor enroscado en un tornillo sinfín, de modo que al girar el tornillo, el cursor, que actúa como rosca, se desplaza haciendo de puente entre la pista resistiva y el conductor del terminal intermedio.

Este preset es el que cubre el mayor rango resistivo.

### Resistores ajustables de película de carbón

Se obtienen por depósito de una película de carbón sobre un soporte en igual forma en las resistencias perolíticas. Presentan iguales características eléctricas que las pirolíticas.

### Resistores ajustables de plásticos

Son fabricados con base de FTALATO DE DI ALILO, FENOLES, MELAMINAS, etc., la calidad obtenida se ubica entre los de carbón y metálicos, se está difundiendo su uso debido a que los costos son comparativos a los de carbón.

### Resistores ajustables de película metálica

Se obtienen por depósito de una película delgada de metal sobre un soporte cerámico al igual que en los resistores fijos de película metálica. Las configuraciones y encapsulados son similares a los preset de cermet. En consecuencia se obtienen preset de alta calidad en cuanto a resolución, linealidad, ruido y estabilidad pero es generalmente caro.

### Resistores ajustables de alambre

El elemento resistivo es fabricado con alambre bobinado en forma espiralada sobre una forma cerámica o aislante de geometría rectilínea o circular.

Las conexiones al exterior son extraídas por terminales que sujetan al alambre a presión.

Los resistores de alambre son los que poseen más estabilidad y menor coeficiente térmico, pero presenta una discontinuidad en la lectura de la resistencia cuando el contacto del cursor pasa de una espira a la otra. O sea, que el cursor al pasar de una espira a la vecina se produce una variación de resistencia por saltos habiendo una indeterminación de resistencia entre espira y espira.

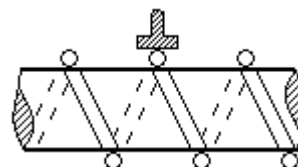


Figura 47

En los circulares el elemento resistivo generalmente esta encerrado en una cápsula metálica.

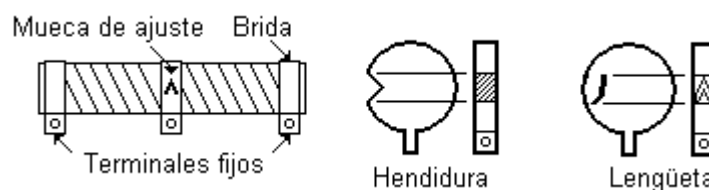


Figura 48

Los rectilíneos pueden tener o no, recubrimiento. Las conexiones al exterior se hacen por medio de abrazaderas fijas. El terminal móvil en este caso es una abrazadera móvil, la brida, que presenta una muesca para el contacto con el alambre. Esta muesca puede ser una deformación de la brida o una lengüeta.

Los recubiertos presentan una generatriz descubierta para que pueda hacer contacto la brida con el alambre.

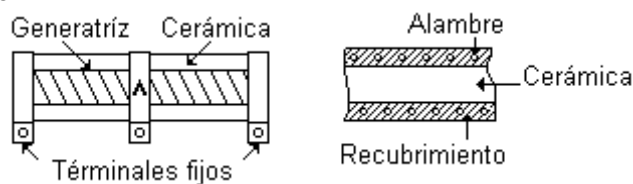


Figura 49

El recubrimiento puede ser:

- Por soplete: en tal caso la generatriz se cubre previamente para evitar ser cubierta.
- Por inmersión: se produce un recubrimiento total del resistor y luego se elimina el recubrimiento en la zona que formará la generatriz: Esto produce un daño al alambre y se varían sus características, pero tiene la ventaja de que entre espiras queda material que protege y mantiene fijo al alambre.

En cuanto a los materiales usados para el recubrimiento son los mismos usados para los resistores fijos de alambre.

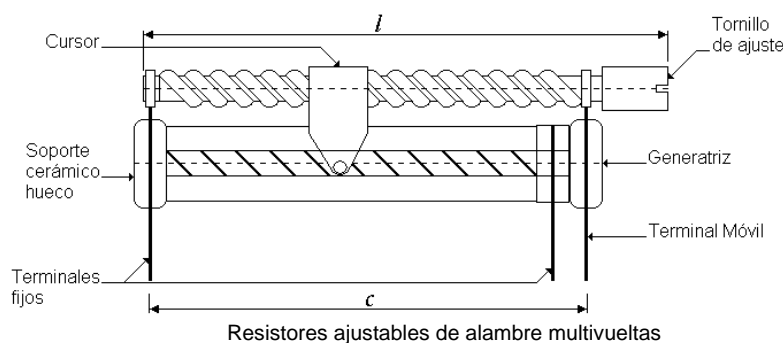


Figura 50

### Términos aplicables a resistores ajustables

- **Resistencia Total:** se denomina resistencia total  $R$  a la resistencia fija presentada por el preset entre los terminales fijos externos.
- **Resistencia residual (End resistance):** Es la máxima resistencia que existe entre el cursor y un terminal extremo cuando el ángulo que forma el cursor con el terminal considerado es cero. Esto se debe a que el elemento resistivo no llega hasta el terminal fijo. Ver diagrama de Preset de Composición.
- **Resolución:** es la capacidad de un operador de colocar el potenciómetro en un valor óhmico predeterminado. Esta es una medida de la sensibilidad o grado de precisión con que se puede ajustar un preset a un valor óhmico determinado. La resolución es afectada por el material y la uniformidad del material resistivo, por la longitud de la pista y el mecanismo de ajuste y por la cantidad de vueltas de ajuste. Es evidente que un preset de una vuelta tiene una resolución mucho menor que uno multivuelta para igual valor de resistencia total  $R$ .
- **Estabilidad del ajuste:** Es la capacidad de un preset de mantener el ajuste inicial durante el manipuleo, expresado normalmente como un porcentaje de variación de la tensión de salida  $E_o$  con respecto a la tensión total aplicada  $E_i$ .
- **Vida rotacional:** es el número máximo de ciclos de rotaciones que se pueden hacer sin degradar los parámetros del preset. Se entiende por ciclo el desplazamiento del cursor de un extremo al otro en ambas direcciones. O sea, si llamamos A a un terminal fijo y B al otro, el ciclo es el desplazamiento del cursor de A hasta B y luego de B hasta A.



- Vida útil: es el número de horas durante las cuales el preset puede disipar la máxima potencia nominal bajo condiciones ambientales especificadas sin degradar sus parámetros especificados.
- Par de accionamiento: En el momento que se debe aplicar al cursor para producir el desplazamiento.
- Par de tope: Es el momento máximo que puede soportar el tope al final del recorrido de la pista.
- Disipación de resistores ajustables: La disipación nominal dada por el fabricante se refiere a la potencia que puede disipar la resistencia total R entre sus terminales fijos. Si se toma un valor de resistencia entre un extremo y el punto medio, esta resistencia podrá disipar un valor menor de potencia, proporcional a la disminución de la resistencia R. Si tenemos un resistor ajustable, ya sea cermet, alambre, composición o alambre, de resistencia total R y de disipación máxima W siendo la ley de variación de la resistencia lineal:

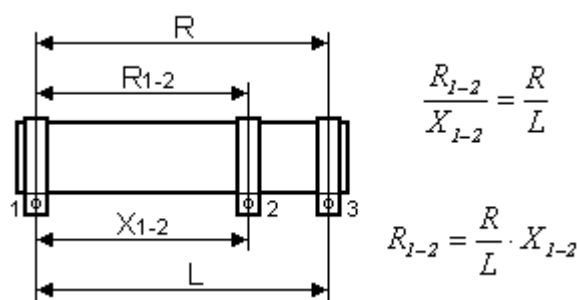
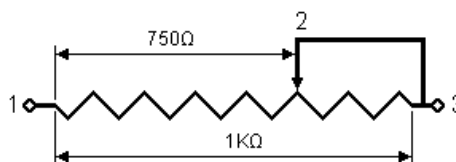


Figura 51

Además se cumple que:

$$\frac{W_{1-2}}{R_{1-2}} = \frac{W}{R} \quad W_{1-2} = W \cdot \frac{R_{1-2}}{R}$$

O sea si tenemos un resistor ajustable con 1000 ohm y ½ W de disipación nominal y lo usamos como reóstato con un valor de 750 ohm la disipación máxima será:



$$W \text{ (para 750 ohm)} = 0,5 \times 0,75 / 1 = 0,375 W$$

Figura 52

Para los de ley de variación no lineal se debe hacer por medición, pero siempre que se use una fracción de la resistencia total, la potencia de disipación máxima se ve reducida.

Los valores de disipación de los resistores de alambre están normalizados por norma IRAM 4009.

#### Valores comparativos de los distintos resistores ajustables

	Composición	Película	Cermet
Rango de resistencia	100Ω a 5 MΩ	10Ω a 1 MΩ	10Ω a 2 MΩ
Tolerancias	+/-10, +/- 20	+/-1, +/-10	+/-10, +/-20
Resistencia Residual	5 ó 1% de R	5 ó 2% de R	5 ó 1% de R
Disipación nominal (Watt)	¼ a ½	¼ a ¾	½ a 1
Temperatura ambiente máxima °C	120°C	150°C	125°C a 75°C
Ciclos de rotación		200	200
Coeficiente térmico (+/-ppm /°C)	500 a 1000	20 a 50	100 a 500

Estabilidad de Ajuste (%)	2	1	Menor al 1%
---------------------------	---	---	-------------

Tabla 12

En cuanto a los resistores ajustables de alambre hay que distinguir los de alta disipación y los de precisión que son de baja disipación.

#### Rango de R, Disipación, Temp. Máx., Tolerancia

Alta potencia	3 a 50 Kohm	1 – 250W	105°C	+/- 5 y +/- 10%
Precisión	10 a 100K	1,5 W	85°C	+/-5 y +/- 10%

El coeficiente térmico es común a ambos y es de 50 a 100 ppm/°C y la estabilidad de ajuste es de 0,5 a 1,5%

### RESISTORES VARIABLES

Son resistores de tres terminales preparados para su permanente ajuste, o sea, que han sido preparados para soportar un mayor número de ajustes que los preset.

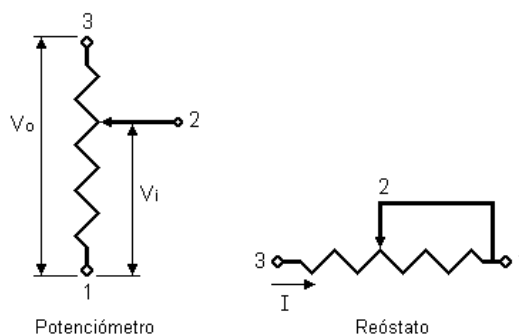


Figura 53

Comercialmente se los conoce a los de baja potencia como potenciómetros y a los de alta potencia como reóstatos aunque estas denominaciones son incorrectas, puesto que ellas responden a la forma de conexión del resistor.

Para alta potencia se usan alambres como elementos resistivos, siendo de bajos valores óhmicos, de mayor precio, mas estables y sus tolerancias del orden del 5%. Para los de baja potencia se usa composición, siendo estos mas económicos, de mayor valor óhmico, menos estables.

Actualmente se usan otros elementos resistivos como son el cermet, los plásticos conductivos y los hídricos.

Los potenciómetros están constituidos por un elemento resistivo llamado pista sobre la que se apoya el contacto móvil del cursor, por dos terminales fijos entre los cuales de los cuales se presentan un valor resistivo fijo que caracteriza al potenciómetro y por elementos mecánicos de ajuste.

#### Potenciómetro de composición

El elemento resistivo es el mismo o que se utiliza en los resistores fijos o sea carbón y elementos resistentes molidos, prensados y unidos con aglomerante.

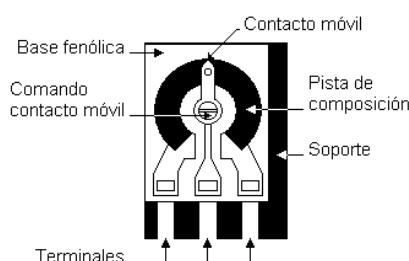


Figura 54

El soporte o material base es generalmente papel fenólico o pertinax. Sobre este se colocan primero los contactos de los terminales fijos y luego con una boquilla se sopletea la composición en forma semicircular

El contacto móvil se lo hace de bronce fosforoso, ejerciendo baja presión para no desprender material resistente al desplazarse sobre la pista. Los puntos de contacto del cursor sobre la pista pueden ser 1 a 3.

El ángulo de giro puede estar comprendido entre 300 y 240 grados, el eje puede ser de aluminio o plástico estando normalizado su diámetro en 6,25 mm pero no su longitud la cual es variable.

El conjunto formado por el soporte, la pista y el cursor están encerrados en cajas de latón.

A estos a veces se les agregan un interruptor, el cual debe funcionar en un ángulo no mayor a 40 grados.

También se suelen formar módulos de dos o más potenciómetros superpuestos con un eje común o con ejes concéntricos independientes. Se los obtiene con distintas leyes de variación.

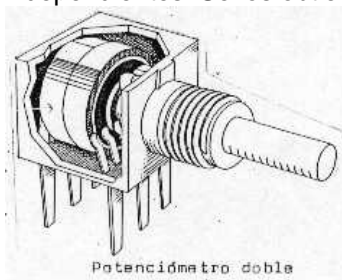


Figura 55

### Potenciómetros de plástico conductivos

Están constituidos por material resistivo de película gruesa, la cual puede ser moldeada o laminada directamente sobre el sustrato.

Variando la cantidad de material conductivo de la mezcla resistiva, el espesor y el ancho de la pista se logra los distintos valores de resistencia.

Con este material se logra resolución infinita y aumento notable de la cantidad de ciclos de rotación siendo del orden de 25 millones o mas. Este tipo de material se usa en potenciómetros de precisión.

El coeficiente térmico es del orden de  $\pm$  ppm/ $^{\circ}$ C.

El material de sustrato puede ser Epoxy moldeado, papel de epoxy o laminados fenólicos o de poliamida, melamida, Ftalato de Di Alilo.

### Preset Multivuelta Circular

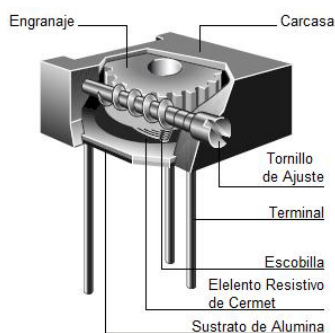


Figura 56

### Preset Multivuelta Rectilíneo

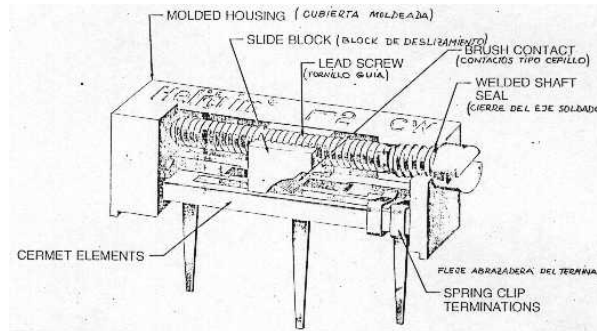


Figura 57

### Preset de una vuelta encapsulado DIL

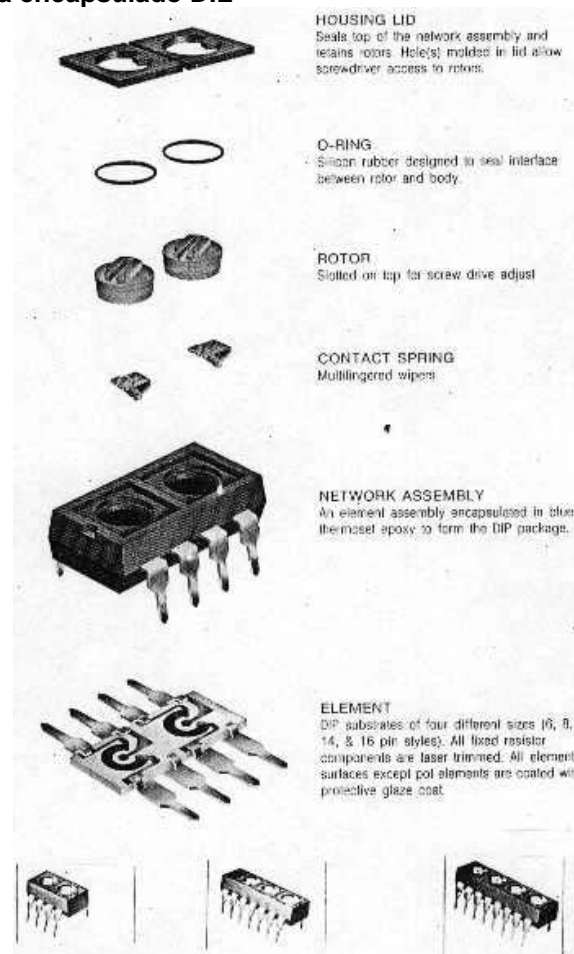


Figura 58

El rango de resistencia obtenido varía de 500ohm a 500Kohm y la tolerancia es de  $\pm 10\%$ . La disipación va de 0,5 a 8 vatios. La máxima temperatura ambiente es de 150 °C.

### Potenciómetros de cermet

Esta compuesto de una mezcla de materiales cerámicos y metales preciosos, siendo un compuesto de regulares característicos y preciosos razonables.

Estos son los que manejan mas potencia de los potenciómetros no bobinados. La cantidad de ciclos de rotación es de alrededor de 10 millones y el rango de valores resistivos obtenidos oscila entre 10ohm y 5 Mohm con una tolerancia de  $\pm 5\%$  a  $\pm 10\%$ . La potencia de disipación es del orden de 5 vatios a 85 °C siendo la máxima temperatura de operación 150 °C con un coeficiente térmico de  $\pm 200$  ppm/°C.

Tanto los potenciómetros de plástico conductivos como los de cermet tienen una configuración física interna similar a los potenciómetros de composición.

### Potenciómetros de alambre

En los potenciómetros de alambre se usan los mismos alambres que en los resistores fijos. Se los bobina en una forma generalmente cerámica y su ley de variación, es, en general, lineal.

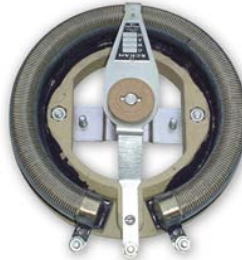


Figura 59

Los potenciómetros de alambre de precisión pueden ser lineales o no lineales.

Estos se bobinan sobre una forma metálica (de cobre) recubierta con materiales aislantes, a fin de facilitar la disipación del alambre.

En los lineales cada vuelta es mantenida a una distancia precisa entre ellas y sus vecinas. En los no lineales las distancias son variadas intencionalmente a fin de poder obtener la ley de variación deseada. Esto se hace por medio de una computadora que controla la máquina bobinadora del alambre dando la ley de variación de resistencia por ángulo de rotación del eje del potenciómetro.

En general los potenciómetros de alambre poseen las mejores características de ruido y los mejores coeficientes térmicos.

Los valores óhmicos obtenibles son en general bajos, de 50 ohm a 250 Kohm con tolerancias normales de  $\pm 3$  a  $\pm 5\%$ .

Se los fabrica en los modelos de una vuelta o multivuelta pudiendo tener en este caso de 3 a 40 vueltas según el modelo.

El número de ciclo de rotación es bajo con 2 millones siendo el peor de todos los potenciómetros.

Su coeficiente térmico es el mejor siendo del orden de  $\pm 20$  ppm/ $^{\circ}\text{C}$

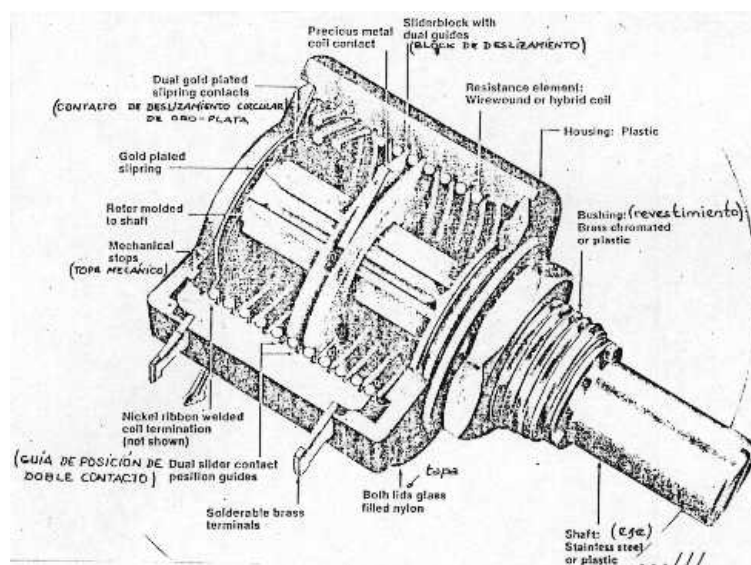


Figura 60

Como se ve, el contacto del cursor esta montado sobre una montura plástica que se desliza sobre una canaleta espiralada al girar el eje del cursor. De esta forma se asegura que la lamina de contacto haga efectivamente contacto sobre el alambre resistivo.

### Potenciómetros híbridos

Es un potenciómetro en el cual la pista esta formada por plástico conductor sobre el cual se deposita un alambre resistivo. O sea que el elemento resistivo esta formado por dos materiales resistivos lo cual mejora la característica del conjunto. Tiene la estabilidad de los potenciómetros de alambre y la resolución y cantidad de ciclos de los potenciómetros de plástico conductor. Los valores van de 1 Kohm con tolerancia de +/- 5% a +/- 10%.

El número de ciclos de rotación es de 10 millones. El coeficiente térmico es de +100 ppm/°C.

Tabla comparativa de las cualidades de los distintos potenciómetros. Se establece una escala de valores del 1 al 5 correspondiendo el 1 al mejor y el 5 al peor.

Esta tabla fue obtenida por Beckman Instruments.

	Costo relativo	Otras ventajas ambientales	Alta temperatura	Vida rotacional	Ruido	Estabilidad de ajuste resolución	Mejor linealidad	Coefficiente térmico	Disipación	Rango de resistencia
Alambre	3	4	1	3	5	1	5	4	5	1
Plástico Conductor (Temp. Normal)	5	5	4	1	2	2	2	5	4	4
Plástico Conductor (Temp. Alta)	2	2	5	2	3	4	1	2	3	3
CERMET	1	1	3	5	4	5	4	1	1	5
Híbrido	4	3	2	4	1	3	3	3	2	2

Tabla 13

### Potenciómetros de Precisión

Los potenciómetros de precisión pueden ser lineales o no lineales. Actualmente se los fabrica con alambre, cermet, plástico conductor o híbrido.

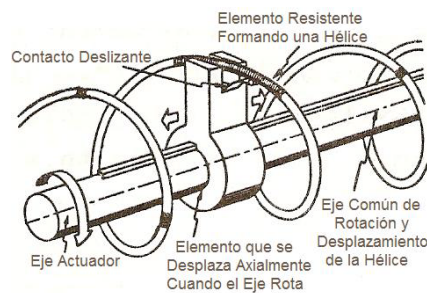


Figura 61

Dentro de los potenciómetros de alambre de precisión existe uno que merece una atención especial. Es el llamado cuerda violín.

Este funciona de la siguiente forma: Al girar el tornillo, el contacto avanza tirando el alambre. Tiene la ventaja de que pueden abstenerse giros mayores de 360° siendo la discriminación:

$$D = R/(360^\circ \cdot N)$$

En los potenciómetros lineales interesa:

- La discriminación definida como la variación de resistencia por unidad de ángulo de rotación del cursor.

$$DR/Da = \text{discriminación}$$

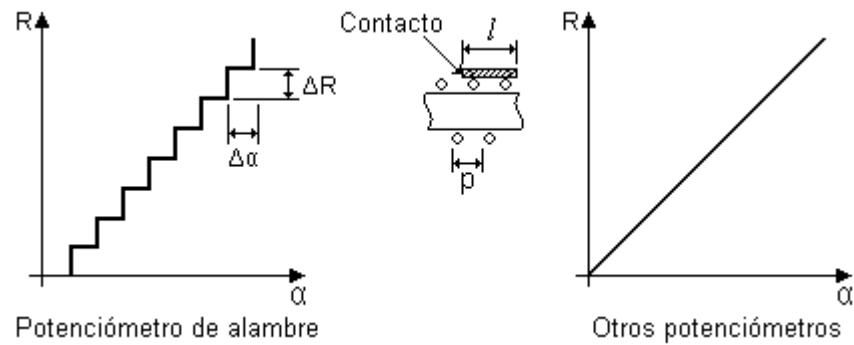


Figura 62

En un potenciómetro de alambre la variación de resistencia al pasar el cursor de una espira a la otra es por salto; no en forma continua. En este caso el cursor debe tener una longitud mínima  $l = p$  con el objeto de que no se produzcan saltos de resistencia infinita.  $P$  separación entre espiras.

- La linealidad independiente es la máxima desviación de la función característica del potenciómetro de una línea de referencia. La pendiente y la posición de esta línea de referencia se elige para mínima error. Se expresa en % de la tensión total aplicada.

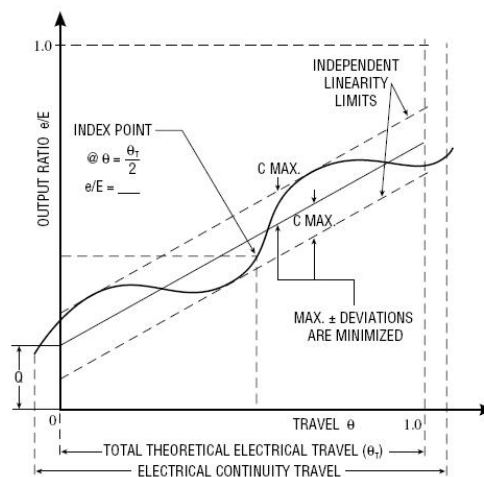


Figura 63

- Linealidad absoluta es la máxima desviación de la función característica de un potenciómetro de una línea de referencia recta expresado en % de la tensión total aplicada.

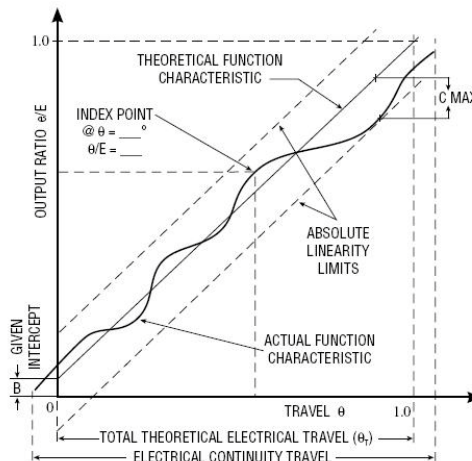


Figura 64

### Potenciómetros no lineales

Estos son potenciómetros que presentan una ley de variación de la resistencia no lineal. Este tipo de variaciones se pueden obtener en potenciómetros de precisión de alambre, cermet, plástico conductor y en los híbridos. En los potenciómetros comerciales de composición sólo se obtienen de tipo logarítmico.

Las leyes no lineales que se pueden obtener son senoidales, cosenoidales, logarítmicos, cuadráticos.

Estas leyes no lineales se pueden obtener por distintos métodos como son:

- Por variación de la forma obteniéndose una variación en forma continua o en forma discreta.

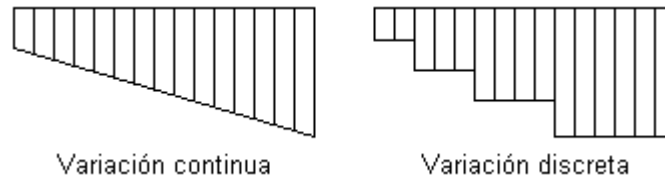


Figura 65

- Por modificación del paso espiralado o del diámetro del alambre.

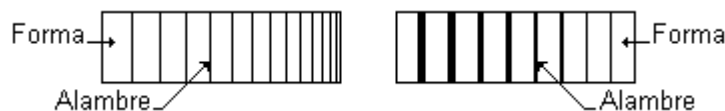


Figura 66

- Por agregado de elementos en paralelo. Mediante conexiones paralelo pueden lograrse distintos tipos de variación. Estos elementos resistivos pueden ser internos o externos al potenciómetro.

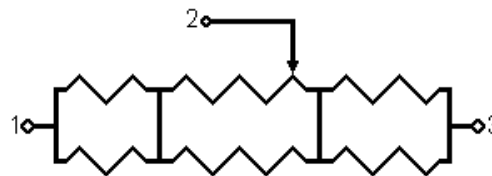


Figura 67

- Casos especiales: En estos, se efectúa el devanado del elemento resistivo sobre una plaqueta cuadrada. El cursor se desplaza en la plaqueta describiendo una curva de determinada forma con lo cual se obtiene una variación resistiva no lineal de determinada forma. Si la curva descrita es una circunferencia la variación resistiva obtenida es del tipo senoidal o cosenoidal.

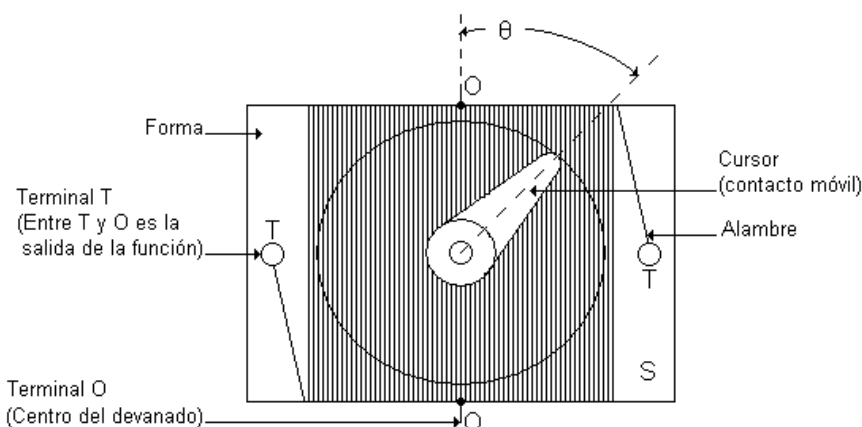


Figura 68



El cursor toca al devanado en un punto que describe una circunferencia y a la vez esta unido a la espira centro (terminal 0)

	SINE			COSINE			SINE-COSINE	SQUARE		LOG	
	SIN. 350°	SIN. 180°	SIN. 90°	COS. 350°	COS. 180°	COS. 90°	SIN COSINE	SINGLE SINE SQ	DOUBLE SINE SQ	20 db LOG	40 db LOG
STANDARD FUNCTIONS											
OUTPUT EQUATIONS	$E = 100 \sin \theta$ $\theta = 350^\circ$ $0^\circ \leq \theta \leq 360^\circ$	$E = 100 \sin \theta$ $\theta = 180^\circ$ $0^\circ \leq \theta \leq 360^\circ$	$E = 100 \sin \theta$ $\theta = 90^\circ$ $0^\circ \leq \theta \leq 360^\circ$	$E = 100 \cos \theta$ $\theta = 350^\circ$ $0^\circ \leq \theta \leq 360^\circ$	$E = 100 \cos \theta$ $\theta = 180^\circ$ $0^\circ \leq \theta \leq 360^\circ$	$E = 100 \cos \theta$ $\theta = 90^\circ$ $0^\circ \leq \theta \leq 360^\circ$	$E = 100 \sin \theta \cos \theta$ $\theta = 350^\circ$ $0^\circ \leq \theta \leq 360^\circ$	$E = 100 \sin^2 \theta$ $\theta = 350^\circ$ $0^\circ \leq \theta \leq 360^\circ$	$E = 100 \sin^2 \theta$ $\theta = 180^\circ$ $0^\circ \leq \theta \leq 360^\circ$	$E = 10^{20 \log \theta}$ $\theta = 350^\circ$ $0^\circ \leq \theta \leq 360^\circ$	$E = 10^{40 \log \theta}$ $\theta = 350^\circ$ $0^\circ \leq \theta \leq 360^\circ$
CIRCUIT DIAGRAMS											
DESCRIPTION NUMBER	N-54	N-56	N-58	N-55	N-57	N-59	N-53	N-80	N-81	N-62	N-63

Figura 69

En los potenciómetros no lineales, un parámetro importante a tener en cuenta es la pendiente máxima de la función.

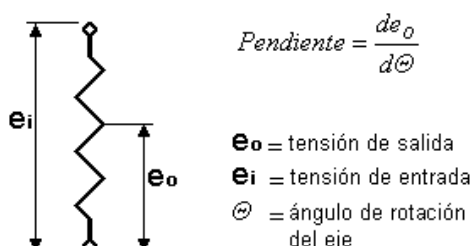


Figura 70

Con este parámetro se puede conocer otros parámetros partiendo de un modelo de variación lineal. Así por ejemplo, para obtener la máxima resistencia total obtenible en un modelo de potenciómetro no lineal, se debe dividir la máxima resistencia total del modelo equivalente de potenciómetro lineal por la máxima pendiente de la función no lineal.

Para determinar la máxima disipación obtenible en una función no lineal se debe dividir la disipación admisible para un modelo de potenciómetro lineal por la raíz cuadrada de la máxima pendiente de la función no lineal.

Una especificación a tener en cuenta en los potenciómetros no lineales es la **concordancia** que es equivalente a la linealidad en los potenciómetros lineales.

Se definen dos tipos de concordancia:

- La concordancia absoluta es la máxima desviación de la función característica real del potenciómetro de una función característica teórica. Es expresada con un % de la tensión total aplicada ( $E_i$ ) y medida sobre un ángulo absoluto. Este ángulo se define por un punto índice usualmente ubicado sobre el área de mayor pendiente de la función real.
- La concordancia proporcional es la máxima de la función característica real de una función característica teórica. A diferencia de la concordancia absoluta es expresada en % de la tensión de salida ( $E_o$ ).

### Selección de los potenciómetros

1. Selección del tipo de potenciómetro: Los de alambre ofrecen mayor flexibilidad y se pueden obtener de una vuelta o multivuelta. Poseen bajo coeficiente térmico pero sus valores óhmicos son bajos, menores de 100Kohm.

Los de cermet, aunque con coeficientes térmicos de 100 ppm/°C, ofrecen buena estabilidad y puede disipar altas potencias con poca o sin variación de sus características. Además presentan un rango de valores óhmicos amplio, llegando a varios megahoms.

Los de plástico conductivo tienen buenas características de ruido y su vida útil es la mayor y además presentan mejor conformidad que los de cermet.

2. Tamaño: Se debe elegir el menor tamaño posible teniendo en cuenta la disipación.
3. Ley de variación: de acuerdo a la finalidad.
4. Linealidad o Conformidad: Según que sea lineal o no lineal
5. Tolerancia: En valor resistivo y en linealidad o conformidad.
6. Resistencia de aislación: Se refiere a la de cualquier contacto respecto a la carcasa. En general se especifica 1000 Megohms.
7. Tensión máxima de operación: en el elemento resistivo entre los extremos fijos.
8. Disipación
9. Coeficiente térmico
10. Resistencia efectiva: la cual debe ser la menor posible.
11. Angulo de rotación: En los de una vuelta Normas IRAM establece un mínimo de  $240^\circ$ . En lo multivuelta el ángulo es de  $360^\circ \times N$  donde N es el número de vueltas.
12. Cambio de resistencia por soldadura
13. Par de accionamiento: dado por el momento que se debe aplicar para mover el cursor.
14. Par contra tope: Dado por el momento que puede soportar el tope que indica el final del recorrido.
15. Vida rotacional
16. Performance en condiciones ambientales

### Gráficos de Conformidad para potenciómetros no lineales

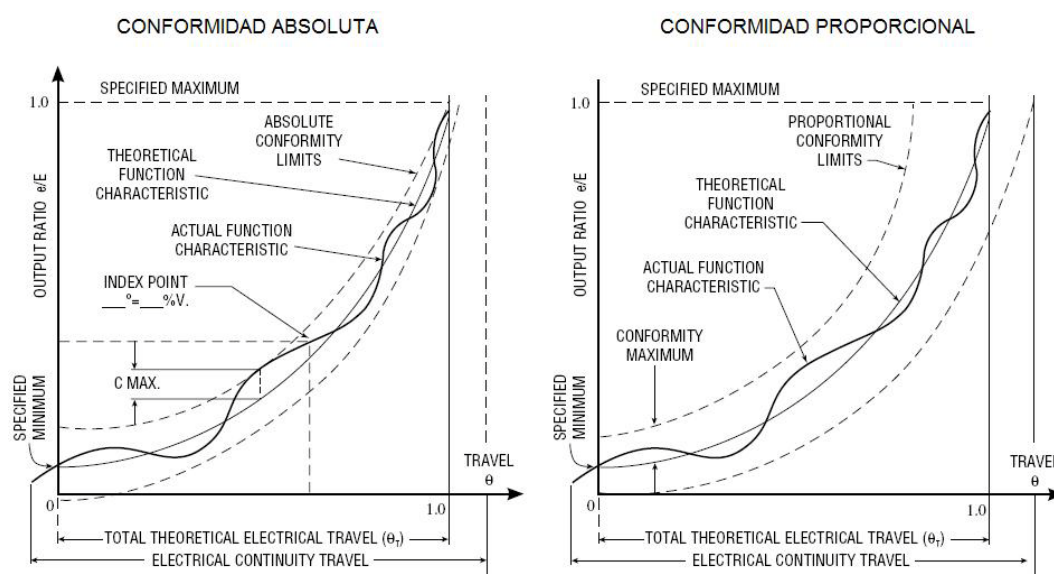


Figura 71

### Designación de las características de los potenciómetros

En los potenciómetros no existe normalización acerca de la fuerza de codificar los valores resistivos y las tolerancias de los mismos. Esto trae como consecuencia una dificultad para poder conocer las características de un determinado potenciómetro. En consecuencia para conocerlas hay que remitirse al manual de fabrica y buscar las características del modelo correspondiente.

En general en todas las fabricas se imprimen en el potenciómetro el valor de resistencia total R y de la linealidad.

Así por ejemplo:

Beckman imprime cuatro número que corresponden al modelo, le sigue una R y el valor resistivo, le sigue una L y el valor de linealidad independiente.

Por ejemplo: 7286 L. 25

DUNCAN ELECTRONICS imprime los valores de igual forma.

BOURNS Imprime un conjunto de números y letras que dan el modelo, si es lineal o no y el valor resistivo, y luego imprime el valor resistivo, la tolerancia y la linealidad.

Por ejemplo: 3400S-1-103

Resistencia 10K

RES (tolerancia) +/- 3% LIN (linealidad) +/- 15%

En los lineales BOURNS codifica con el número de modelo luego agrega una N seguida de un número correspondiente a la no-linealidad requerida y por último coloca el valor óhmico. Los códigos de no-linealidad se pueden ver en la tabla de no linealidades.

Por ejemplo: Para la función seno en 360° el código es N-54

3535	N-54	102
Modelo	Tipo de no-linealidad	Código de resistencia = 10Kohm

Tabla 14

### Diales para potenciómetros de precisión multivuelta

Los diales son dispositivos que se acoplan a los potenciómetros a través de su eje a fin de medir la cantidad de vueltas realizadas o el valor resistivo sin necesidad de medir este valor una vez ajustado el potenciómetro. Consta de dos indicaciones una de ellas da la cantidad entera de vueltas realizadas y el otro en forma de escala graduada de 0 a 10 da la fracción de vuelta realizada. En algunos esta escala esta graduada de 0 a 100 y la cantidad de vueltas enteras se representa a través de una ventanita. El dispositivo consta también de un seguro para evitar el desajuste del potenciómetro para asegurar dicho ajuste impidiendo la rotación del eje del potenciómetro.

Se obtienen con distintos formatos:



Figura 72

**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.