

**TEMA 2**  
**COMPONENTES PASIVOS**  
(Guía de clases)

Asignatura: Dispositivos Electrónicos I  
Dpto. Tecnología Electrónica

# CONTENIDO

## RESISTORES

### *Resistores fijos*

Introducción

Características generales

Clasificación

    No bobinados

    Bobinados

Resistores en régimen variable

Tipos de resistores fijos

### *Resistores variables*

Introducción

Características generales

Clasificación

    Bobinados

    No bobinados

### *Termistores*

Definición

Clasificación

Tipos de resistores variables

## CONDENSADORES

Introducción

Características generales

Clasificación

Condensadores en régimen continuo

## INDUCTORES

Introducción

## TRANSFORMADORES

Introducción

## BIBLIOGRAFÍA

# RESISTORES FIJOS

## Introducción

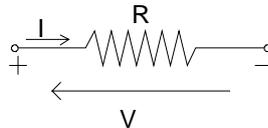
*Resistor*: Componente realizado especialmente para que ofrezca una determinada resistencia eléctrica

*Resistencia*: Propiedad física que se opone al paso de corriente y supone una pérdida de energía en forma de calor

## Fórmulas y unidades

$$R = \frac{V}{I} \quad (\Omega) \text{ óhmios}$$

$$G = \frac{1}{R} \quad (\Omega^{-1}) \text{ siemens ó mhos}$$



## Características generales

*Resistividad ( $\rho$ )*: Tolerancia del resistor al paso de electrones a su través. Su valor depende del número de electrones libres del material y de la estructura interna del mismo

Clasificación de los materiales {  
 Conductores: Plata, cobre, aluminio, platino  
 Semiconductores: Silicio, germanio  
 Aislantes: Mica, cuarzo, cerámica

*Coefficiente de temperatura ( $\alpha$ )*: Variación relativa de la resistividad en función de la temperatura

Los valores del coeficiente de temperatura se suelen tabular en ppm/°C, que significa: *el tanto por millón de variación de la resistividad por grado de temperatura*

$$\rho = \rho_0 \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta T) \quad (\Omega \cdot m) \quad \alpha = \frac{1}{\rho_0} \cdot \frac{\partial \rho}{\partial T} \quad (\text{grado}^{-1})$$

Clasificación {  
 Coeficiente de temperatura positivo (PTC)  
 Coeficiente de temperatura negativo (NTC)

---

## ANOTACIONES

*Coefficiente de tensión ( $\beta$ ):* Variación relativa de la resistencia en función de la tensión aplicada. La medida de este coeficiente no puede ser enmascarada por el coeficiente de temperatura

$$\beta = \frac{R_2 - R_1}{R_1 \cdot \Delta V} \quad (\text{voltio}^{-1}) \quad R_2 = R_1 \cdot (1 + \beta \Delta V)$$

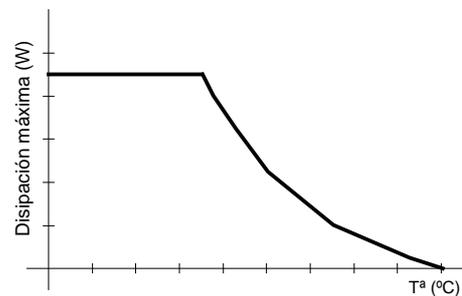
*Resistencia:* Se obtiene en función de la resistividad del material empleado y de las características geométricas del resistor.

$$R = \rho \cdot \frac{L}{S} \quad \Omega \quad \text{donde} \quad \begin{cases} \rho : \text{resistividad del material } (\Omega \cdot \text{m}) \\ L : \text{Longitud (m)} \\ S : \text{Sección (m}^2\text{)} \end{cases}$$

*Estabilidad:* Capacidad del material para no sufrir variaciones permanentes en el valor de su resistividad con el tiempo, temperatura o tensión aplicada. Su valor suele darse después de 1000 horas trabajando a 70°C

*Potencia disipada:* Cuando se alcanza el equilibrio térmico entre resistor y medio, la temperatura alcanzada por el resistor no debe sobrepasar la especificada por el fabricante.

*Tensión máxima de trabajo:* Se obtiene a partir de la potencia máxima que puede disipar el resistor, teniendo en cuenta la *rigidez dieléctrica* del material



*Rigidez dieléctrica:* Define el valor de tensión característico de cada material a partir del cual al aplicar una tensión al aislante se produce la ruptura del mismo

*Ruido:* Señal espuria e indeseada de aparición y magnitud aleatoria que interfiere la verdadera señal que actúa sobre el componente (habitualmente del orden de  $\mu\text{V}$ )

*Índice de ruido:* Parámetro que caracteriza el nivel de ruido. Se puede definir como:

$$\text{Índice de ruido} = 20 \cdot \log \left( \frac{\text{Tensión de ruido } (\mu\text{V})}{\text{Tensión de señal (V)}} \right) \quad (\text{dB})$$

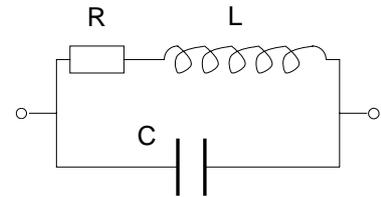
**Respuesta en frecuencia:** Comportamiento del resistor cuando se le aplican señales variables con el tiempo en función de la frecuencia de trabajo

$$Z = (R + L) // C$$

Frecuencias bajas:  $Z = R$

Frecuencia de resonancia ( $X_L = X_C$ ): cociente máximo

Frecuencias altas:  $Z = X_C$



**Tolerancia:** Tanto por ciento alrededor del cual se encuentra con toda certeza el valor real del resistor

**Valores normalizados<sup>1</sup>:** Los valores de los resistores se generan por una progresión geométrica que tiene la característica de repetir sus valores en todas las décadas.

**Identificación de resistores<sup>2</sup>:** Se pueden utilizar dos métodos:

Bandas de colores

Código  $\left\{ \begin{array}{l} R < 1000 : xR \text{ (óhmios)} \\ 1000 < R < 1\,000\,000 : xK \text{ (kilo óhmios)} \\ r > 1\,000\,000 : xM \text{ (Mega óhmios)} \end{array} \right.$

## Clasificación

### Resistores no bobinados

**Aglomerados:** constituidos por mezcla de carbón, materia aislante y resina aglomerante. Se recubre por una capa de baquelita alojándose en sus extremos dos terminales de salida

**Capa de carbón:** constituidos por un núcleo de cerámica sobre el que se deposita una capa de carbón. Se procede al espiralado, se sueldan los terminales y se aísla el conjunto.

<sup>1</sup> Explicado en la asignatura de Laboratorio de Dispositivos Electrónicos I

<sup>2</sup> Explicado en la asignatura de Laboratorio de Dispositivos Electrónicos I

## ANOTACIONES

**Capa metálica:** Distinguimos tres tipos:

*Óxidos metálicos:* constituidos por un soporte de vidrio, porcelana o cuarzo, sobre el que se deposita una capa de óxido de estaño y antimonio. Se procede al espiralado, se sueldan los terminales y se aísla el conjunto.

*Película delgada:* constituidos por un soporte de cerámica sobre el que se deposita metal o aleación eliminando el sobrante mediante fotograbado. Se fijan los terminales y se protegen con resina.

*Película gruesa:* constituidos por una mezcla de polvo de vidrio, metales preciosos y pasta aglutinante depositado por métodos serigráficos en un soporte de alúmina y se calienta el vidrio.

### Resistores bobinados

*Potencia:* constituidos por un núcleo de porcelana, u otros materiales, sobre el que se arrolla un hilo metálico. Se colocan los terminales y se recubren con pintura secada al horno, cemento incombustible o se vitrifica.

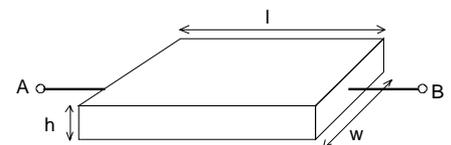
*Precisión:* constituidos por aleaciones especiales (cuproníquel...) o níquel-cromo para valores elevados.

### Cálculo de la resistencia de un resistor

En función de la estructura del resistor, podemos distinguir 3 casos, aunque todos se reducen a la aplicación de la fórmula de resistencia antes indicada.

#### Resistor normal

Un resistor cualquiera, con una estructura determinada, como por ejemplo la de la figura, tiene una resistencia que viene dada por la ecuación:



$$R = \rho \cdot \frac{L}{S} \quad \Omega$$

Conocida la resistividad del material ( $\rho$ ), y las dimensiones del resistor ( $l$ ,  $w$  y  $h$ ), el cálculo de la resistencia es inmediata (por ejemplo, con los siguientes datos:  $\rho=300\Omega \cdot \text{cm}$ ,  $l=3\text{cm}$ ,  $w=1\text{cm}$  y  $h=0,1\text{cm}$ ):

$$R = \rho \cdot \frac{l}{w \cdot h} = 300\Omega \cdot \text{cm} \cdot \frac{3\text{cm}}{0,1\text{cm} \cdot 1\text{cm}} = 9000\Omega = 9K$$

---

### ANOTACIONES

## Resistor bobinado

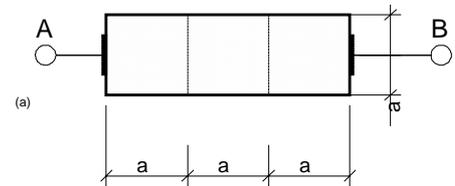
En el caso de los resistores bobinados, *la resistencia se calcula empleando la misma fórmula anterior*, pero teniendo en cuenta que el elemento resistivo en este caso es un hilo del cual, en general, conoceremos la sección, la longitud de una espira, y el número de espiras.

Por ejemplo, dada la resistividad del hilo ( $\rho$ ), la longitud de una espira ( $l_e$ ), el número de espiras ( $n$ ) y la sección del hilo ( $s$ ), la fórmula nos queda:  $R = \rho \cdot \frac{L}{S} = \rho \cdot \frac{n \cdot l_e}{s} \Omega$ , donde observamos que la longitud del hilo viene dada por el producto del número de espiras por la longitud de cada una. En el caso concreto en que tengamos como datos:  $\rho=10\Omega \cdot \text{cm}$ ,  $s=0,03\text{cm}^2$ ,  $n=100$  espiras y  $l=3\text{cm}$ , obtendríamos como valor de resistencia:

$$R = 10\Omega \cdot \text{cm} \frac{100\text{espiras} \cdot 3\text{cm}}{0,03\text{cm}^2} = 100.000\Omega = 100K$$

## Resistencia por cuadro

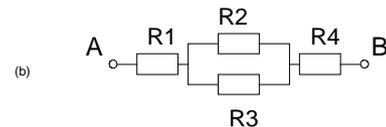
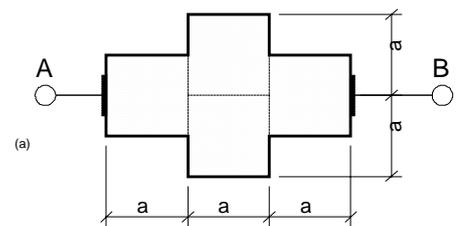
En ocasiones, al tratar con resistores fabricados con películas metálicas u otros materiales, se suele emplear para el cálculo de la resistencia de una determinada estructura el valor de *resistencia por cuadro*. Este valor nos indica la resistencia que presenta un cuadro de dicho material. El tamaño del cuadro es irrelevante, con tal de que el largo y ancho del mismo sean exactamente iguales. Veamos, por ejemplo, el resistor de la figura. Se puede apreciar que dicho resistor se puede dividir en 3 cuadros exactamente iguales. Si disponemos de la resistencia por cuadro del material (por ejemplo  $200 \Omega/\square$ ), el cálculo de la resistencia de la estructura propuesta es inmediato, pues sería igual a:  $R = 3\text{cuadros} \cdot 200\Omega / \text{cuadro} = 600\Omega$



Si la estructura fuese como la de la siguiente figura, se podría considerar el resistor como la estructura que aparece en b, y el valor de la resistencia vendría dado por:

$$R_{AB} = R1 + R2//R3 + R4$$

donde  $R1$ ,  $R2$  y  $R3$  se calcularían como se ha visto anteriormente.

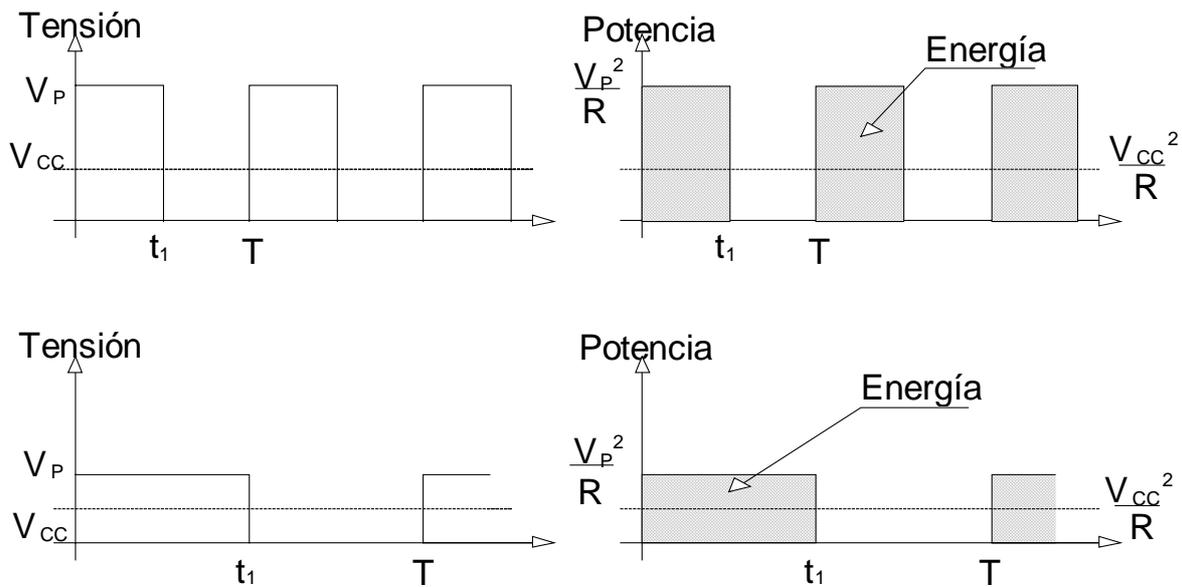


## ANOTACIONES

## Caracterización de los resistores en régimen continuo y variable

En régimen continuo la energía que se proporciona a un resistor es disipada al exterior por diferentes mecanismos. En el momento en que la energía suministrada es igual a la disipada se alcanza el equilibrio y el resistor trabaja de forma correcta.

En régimen variable el resistor puede estar sometido durante unos instantes a una tensión superior a la que podría estar en régimen continuo si a continuación pasa a una situación de reposo.



$$\text{Régimen continuo : } E = \frac{V_{CC}^2}{R} \cdot T$$

$$\text{Régimen variable : } E = \frac{V_P^2}{R} \cdot t_1$$

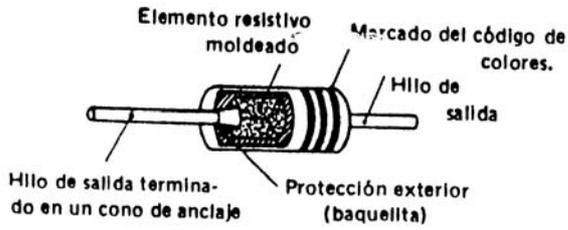
$$\text{Equilibrio : } \frac{V_{CC}^2}{R} \cdot T = \frac{V_P^2}{R} \cdot t_1$$

$$V_P = \left( R \cdot P_n \cdot \frac{T}{t_1} \right)^{1/2}$$

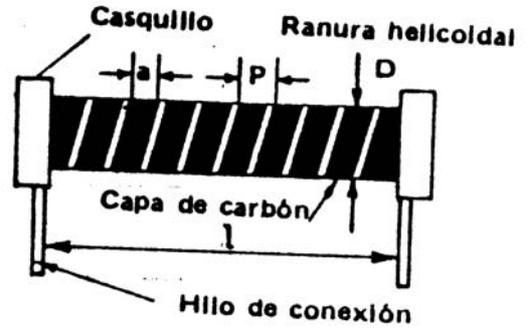
En el caso en que  $R$  ó  $T/t_1$  sean elevados,  $V_P$  puede resultar muy alta. En estos casos el valor máximo de tensión suele venir limitado por la rigidez dieléctrica del material.

## ANOTACIONES

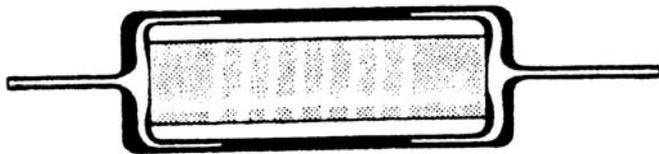
### TIPOS DE RESISTORES FIJOS



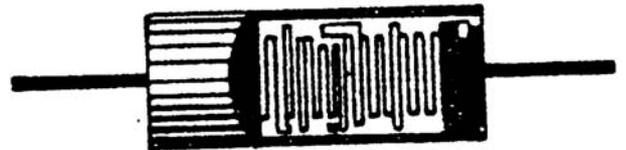
*Agglomerados*



*Capa de Carbón*



*Capa metálica (óxidos metálicos)*



*Capa metálica (película delgada)*

---

### ANOTACIONES

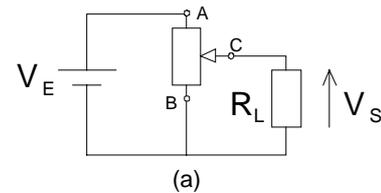
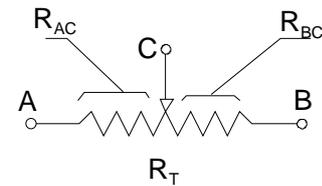
# RESISTORES VARIABLES

## Introducción

**Potenciómetro:** Elemento resistivo de 3 terminales que suministra una tensión variable a una cierta carga a partir de una tensión fija.

$$V_S = V_E \frac{R_L \parallel R_{BC}}{R_{AC} + R_L \parallel R_{BC}}$$

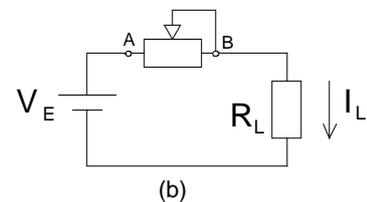
$$I_L = \frac{V_E}{R_L + R_{AB}}$$



En la figura se muestra una resistencia variable actuando como divisor de corriente (a) y como divisor de tensión (b).

## Características

**Resistencia total:** Resistencia medida entre los terminales fijos del resistor



**Resistencia mínima absoluta:** Mínimo valor obtenido entre el cursor y cualquiera de los terminales fijos

**Resistencia terminal:** Resistencia medida entre el cursor y uno de los terminales fijos cuando aquel se encuentra en la posición extrema correspondiente al terminal

**Resistencia de contacto:** Resistencia medida entre el cursor y el elemento resistivo

**Variación de la resistencia de contacto:** Cambio máximo de la resistencia de contacto al pasar el cursor de una posición a otra

**Resistencia equivalente de ruido:** Variación espuria en la salida eléctrica que no estaba presente a la entrada. Existen varios tipos.

**Ruido de resolución:** Debido al desplazamiento no continuo del cursor sobre el elemento resistivo (resistores bobinados)

**Ruido de vibración:** Debido a pequeños saltos que tiene el cursor sobre la superficie resistiva cuando se mueva a velocidad excesiva

**Ajustabilidad:** Exactitud y facilidad con que el cursor puede situarse sobre una posición previamente elegida

---

## ANOTACIONES

**Resolución:** Medida del cambio incremental que aparece a la salida al moverse el cursor. Se definen varios tipos

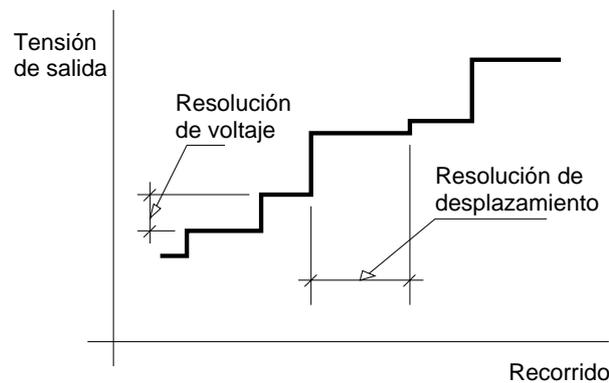
**Resolución nominal (teórica):** (resistores bobinados)

$$R.T.(%) = \frac{1}{N} \cdot 100$$

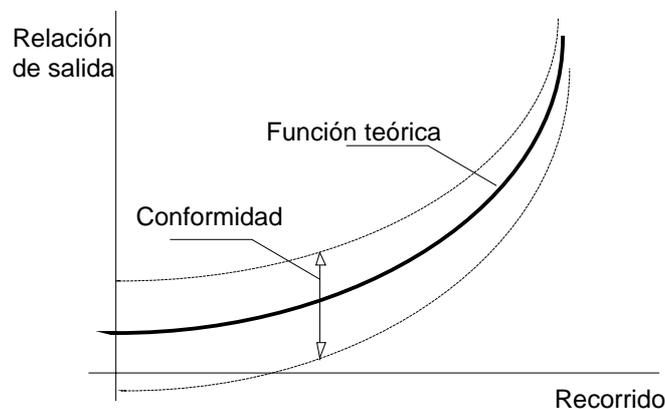
**Resolución de desplazamiento:** Movimiento máximo que se puede realizar en una cierta dirección para originar un incremento unitario en la tensión de salida (resistores bobinados)

**Resolución de tensión:** Máxima variación incremental en la tensión de salida, obtenida con el movimiento del cursor (resistores bobinados)

**Rugosidad:** Máxima variación instantánea en la tensión de salida con respecto a la ideal (resistores no bobinados)



**Conformidad:** Desviación de la curva real de salida con respecto a la ideal



**Linealidad:** Conformidad cuando la función teórica que define el resistor variable es una línea recta

**Recorrido del contacto:** Se definen varios tipos.

**Recorrido mecánico total:** Giro total necesario para llevar el cursor de un extremo al otro del resistor

**Recorrido eléctrico real (total):** Giro en el que existe una variación a la salida

---

## ANOTACIONES

*Resistencia de aislamiento:* Resistencia presente entre los terminales del resistor variable y las restantes partes conductoras del mismo (carcasa, eje de giro, etc.)

### Clasificación

En la siguiente tabla se muestran los tipos más usuales de resistores variables.

Clasificación	{	Bobinados	{	Pequeña disipación
				Elevada disipación
				Precisión
		No bobinados	{	Capa de carbón
				Capa metálica

### TERMISTORES<sup>3</sup>

*Definición:* Resistores no lineales de estado sólido constituidos por cristales de óxido metálico que se utilizan como sensores de temperatura.

### Clasificación

*Coefficiente de temperatura negativo (NTC<sup>4</sup>):* Resistencia disminuye al aumentar la temperatura  
*Coefficiente de temperatura positivo (PTC<sup>5</sup>):* Resistencia aumenta al hacerlo la temperatura

---

<sup>3</sup> Se volverá a hablar de este tipo de resistores en los capítulos dedicados a Teoría de estado sólido

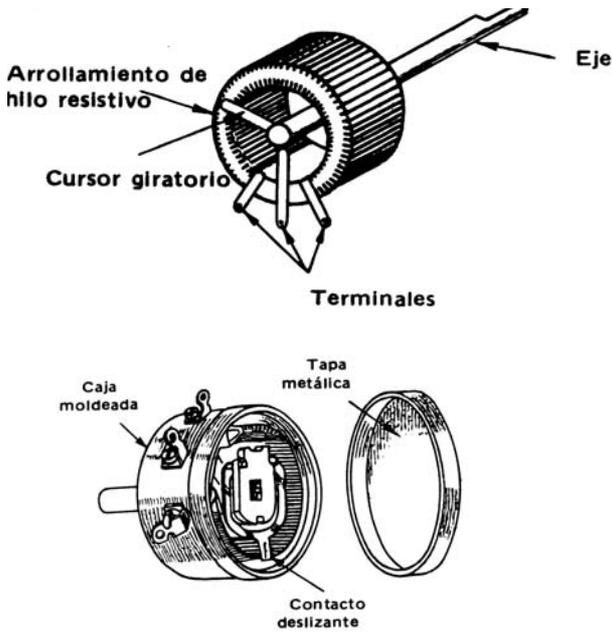
<sup>4</sup> Negative Temperature Coefficient

<sup>5</sup> Positive Temperature Coefficient

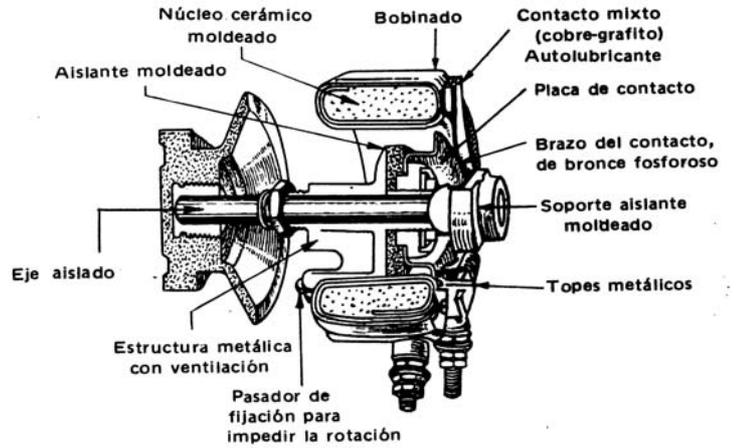
---

### ANOTACIONES

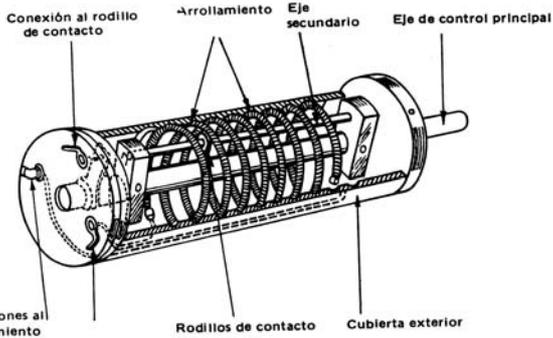
### TIPOS DE RESISTORES VARIABLES



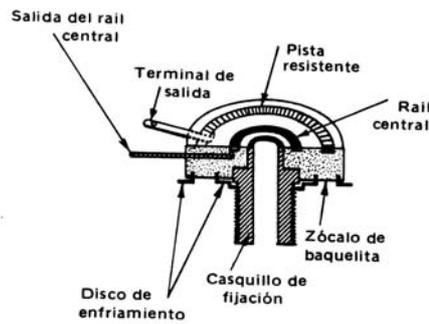
*Pequeña disipación*



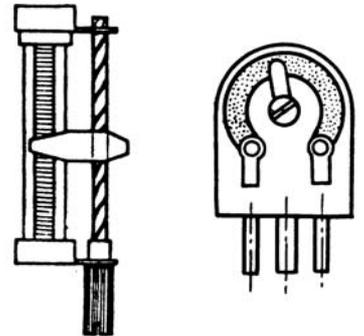
*Elevada disipación*



*Precisión*



*Capa de Carbón*



*Ajustables*

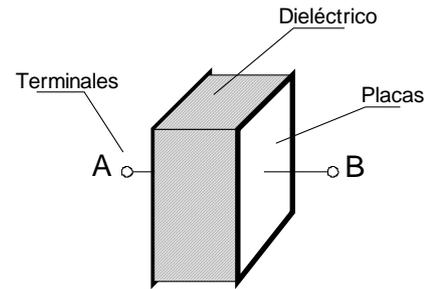
**ANOTACIONES**

# CONDENSADORES

## Introducción

*Condensador*: Componente constituido por dos conductores separados por un material dieléctrico

*Capacidad*<sup>6</sup>: Propiedad física que se presentan los condensadores de almacenar carga eléctrica cuando se aplica una tensión entre los conductores



$$C = \frac{Q}{V} \text{ (F) donde } \begin{cases} C \text{ en Faradios} \\ Q \text{ en Culombios} \\ V \text{ en Voltios} \end{cases}$$

*Condensador plano*: Constituido por placas conductoras planas de superficie S separadas una distancia d

$$C = \epsilon_r \cdot \epsilon_0 \cdot \frac{S}{d} \text{ (F) donde } \begin{cases} S : \text{Sección de las placas del condensador} \\ d : \text{Distancia entre placas} \\ \epsilon_r : \text{Permitividad relativa del dieléctrico} \\ \epsilon_0 : \text{Permitividad del vacío} \end{cases}$$

## Características

*Resistencia de aislamiento*: Valor resistivo que caracteriza al dieléctrico

*Corriente de fugas*: Corriente que pasa a través de la resistencia de aislamiento

*Constante de tiempo*: Tiempo en el cual la carga almacenada disminuye en un valor 1/e con respecto al valor inicial

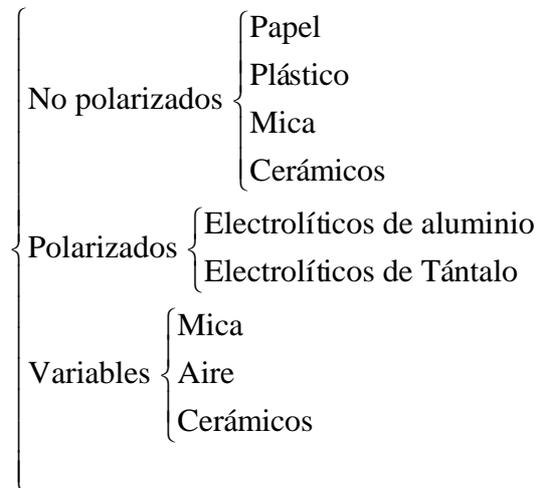
*Absorción dieléctrica*: Propiedad de un condensador para mantener carga entre sus placas una vez cortocircuitado éste

*Rigidez dieléctrica*: Posibilidad de un dieléctrico de soportar una tensión continua sin que llegue a producirse en él la ruptura

<sup>6</sup> A pesar de que la unidad de capacidad es el Faradio, ésta no es una unidad práctica por ser demasiado elevada. En general las unidades que se usan habitualmente son: el picofaradio (pF) =  $10^{-12}$  F, el nanofaradio (nF) =  $10^{-9}$  F, y el microfaradio ( $\mu$ F) =  $10^{-6}$  F

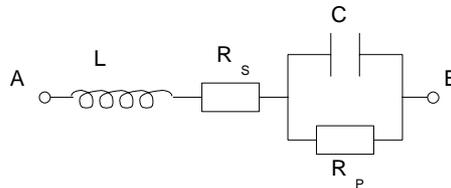
## ANOTACIONES

## Clasificación



## Circuito equivalente

El circuito equivalente de un condensador se puede considerar constituido por 4 elementos (véase figura). El condensador propiamente dicho ( $C$ ), una resistencia en paralelo ( $R_P$ ) que corresponde principalmente a la resistencia de aislamiento, y una resistencia y una bobina en serie ( $L$  y  $R_S$ ) que representan los terminales de conexión del condensador.



## Condensadores en régimen continuo

Cuando se aplica tensión continua a un circuito en el que se tiene uno o varios condensadores, las tensiones y corrientes en el mismo van a evolucionar durante un tiempo inicial (llamado periodo transitorio) mientras dichos condensadores se cargan o descargan, hasta llegar a una situación de equilibrio. La carga o descarga de los condensadores se rige por la ecuación de la carga de los mismos, que en un caso general de aplicación práctica se puede resumir en la siguiente ecuación:

$$V_C(t) = V_{final} + (V_{inicial} - V_{final}) \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$$

---

## ANOTACIONES

Los elementos de esta ecuación son los siguientes:

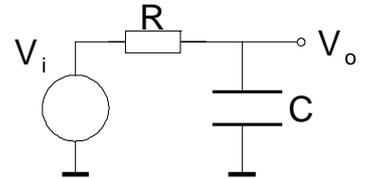
$V_C(t)$ : Tensión instantánea en el condensador

$V_{\text{final}}$ : Tensión a la que quedará cargado el condensador después del periodo transitorio

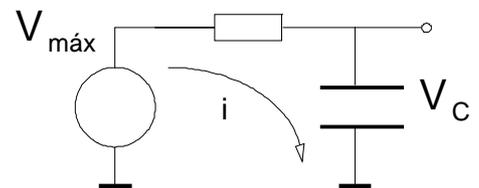
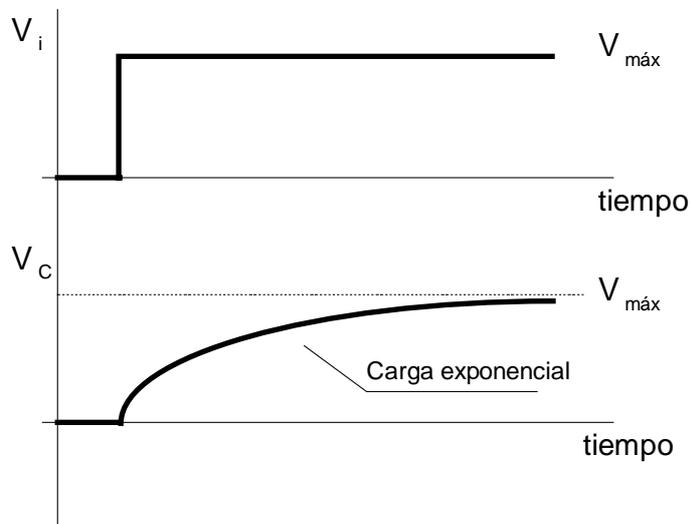
$V_{\text{inicial}}$ : Tensión inicial en el condensador

$\tau$ : Constante de tiempo de carga o descarga del condensador. Viene dada por el producto entre el valor de la capacidad del condensador ( $C$ ) y la resistencia a través de la que se carga o descarga ( $R$ ):  $\tau = R \cdot C$

Para el estudio de la carga y descarga de un condensador en un circuito analizaremos el circuito de la figura. En él tenemos un condensador conectado a una fuente de alimentación ( $V_i$ ) y a una resistencia ( $R$ ). Suponiendo inicialmente descargado el condensador, aplicaremos tensión a la entrada ( $V_i$ ) y observaremos la evolución del circuito.



En el momento en que aparece a la entrada una tensión continua  $V_{\text{máx}}$ , tenemos un circuito por el que va a circular una corriente ( $i$ ) que va a depender de la tensión a la entrada ( $V_{\text{máx}}$ ), de la tensión en el condensador ( $V_C$ ), y de la resistencia ( $R$ ). Esta corriente circulará en el sentido indicado en la figura, cargando el condensador, cuya tensión se irá incrementando exponencialmente según se aprecia en el gráfico adjunto. En cualquier momento se puede conocer la tensión en el condensador aplicando la fórmula antes expuesta.



Tomando como valores:  $V_{\text{máx}}=12\text{V}$ ,  $R=100\text{K}$ ,  $C=10\mu\text{F}$ , obtenemos las siguientes ecuaciones:

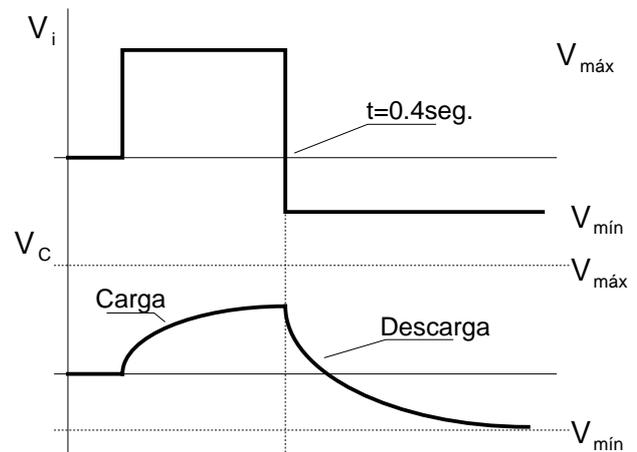
$$\text{Cuando } t = 0.2 \text{ seg.} \Rightarrow V_C = 12 + (0 - 12)e^{-0.2/100\text{K} \cdot 10\mu} = 2.18 \text{ V}$$

$$\text{Cuando } t = 1 \text{ seg.} \Rightarrow V_C = 12 + (0 - 12)e^{-1/1} = 7.59 \text{ V}$$

$$\text{Cuando } t = 10 \gg \tau \text{ seg.} \Rightarrow V_C = 12 + (0 - 12)e^{-10/1} = 11.9995 \text{ V} \approx 12 \text{ V}$$

Se observa que la tensión se incrementa exponencialmente, es decir, muy rápidamente en los instantes iniciales (se consideran instantes iniciales aquellos próximos a la constante de tiempo  $\tau$ ). Posteriormente, cuando el tiempo se hace mucho mayor que  $\tau$ , la tensión en el condensador varía lentamente, tendiendo asintóticamente a  $V_{\text{final}}$ . En general se considera que  $V_C = V_{\text{final}}$  cuando  $t \gg \tau$ ; en el ejemplo se observa claramente que para  $t=10\text{seg.} \gg 1\text{seg.}$  se tiene que  $V_C \approx 12\text{V}$

Si  $V_i$  cambia mientras el condensador se carga, la situación del circuito se altera. Por ejemplo, si la señal aplicada a la entrada es la de la figura, el condensador se cargará hasta el instante  $t=0.4 \text{ seg.}$ , y a partir de ese momento se descargará hasta la tensión final de  $-2 \text{ V}$ .



Las ecuaciones que obtendremos en este caso serán las siguientes:

$$\text{en } t = 0.4 \text{ seg.} \Rightarrow V_C = 3.96 \text{ V}$$

$$V_C = -2 + (3.96 + 2)e^{-t/\tau}$$

Como se puede apreciar a partir del momento en que cambia la tensión de entrada, en la nueva situación del circuito tenemos una  $V_{\text{inicial}}=3.96 \text{ V}$ , y una  $V_{\text{final}}=-2 \text{ V}$ .

# INDUCTORES

## Introducción

*Definición:* Componente que presenta una inductancia L que viene dada por la siguiente ecuación:

$$L = \frac{\phi}{I} = \mu \frac{n^2 S}{l} ; \text{ la inductancia L se mide en henrios (H)}$$

$\phi$ : Flujo magnético (weber)

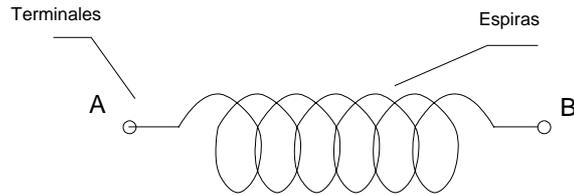
I: Intensidad (amperios)

$\mu$ : Permeabilidad del medio (henrios/metro)

n: Número de espiras

S: Sección del núcleo ( $m^2$ )

l: Longitud del núcleo (metros)

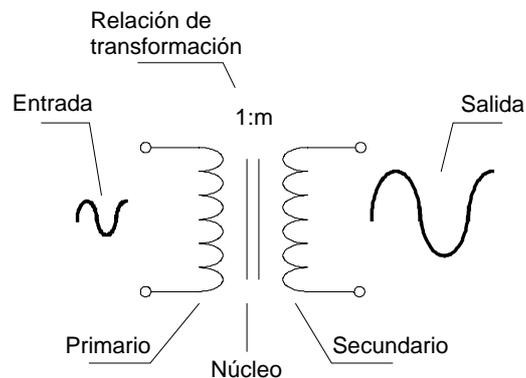


# TRANSFORMADORES

## Introducción

*Definición:* Elemento que transforma señales alternas a otras señales de mayor o menor amplitud que la de entrada.

Este componente no genera energía, es decir, si el transformador obtiene, a partir de una señal de amplitud A, otra de amplitud 2A, la corriente que puede suministrar a la salida será la mitad de la corriente de la que se dispone a la entrada.



## ANOTACIONES

## BIBLIOGRAFÍA

### *Componentes electrónicos pasivos*

J. Sangrador y otros

Dpto. Publicaciones de la E.T.S.I. de Telecomunicación. E.P. de Madrid

Compendio básico de componentes pasivos: resistores, condensadores y bobinas. Clasificación y características principales de los mismos. Este libro es el que se sigue en la asignatura para los temas de componentes pasivos

### *Materiales y componentes electrónicos pasivos*

R. Álvarez Santos

Ed. Editesa. 6ª edición. 1990

Descripción en profundidad de materiales para fabricación de componentes pasivos, así como descripción de los componentes en sí. Trata el tema con mucha más profundidad que el antes mencionado