

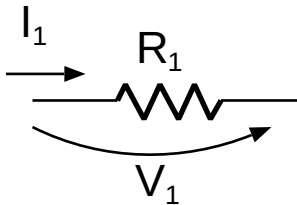
Tema 1. Componentes Pasivos

- Resistencia
- Capacidades
- Inductores

Bibliografía

“Passive Components for Circuit Design”, Ian Sinclair, Newnes
“Op Amp Applications Handbook”, Walt Jung, Newnes
“Choosing and Using Bypass Capacitors”, Intersil AN1325

Resistencia

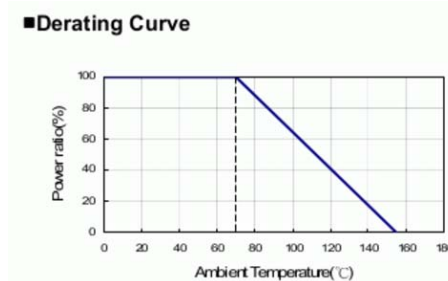


Convierte energía eléctrica en térmica.

También se puede definir como el dispositivo donde la diferencia de tensión V es proporcional a la corriente que lo recorre I : $V = R \cdot I$.

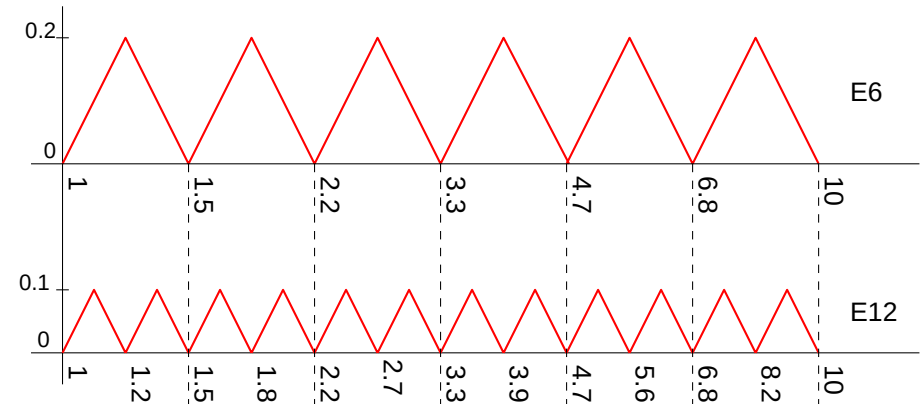
Tolerancia:

- Máxima incertidumbre
- 20 %, 10 %, 5 %, 1 %, 0.1 %
- Ausencia en zona central



Valor nominal:

- Serie geométrica de valores (preferred values)
- E6: intervalo 1:10 se divide en 6 partes, un valor aproximado al valor más cercano, tiene error relativo máximo del 20 %.
- Otras series: E12 (10 %), E24 (5 %), E48 (2 %), E96 (1 %)...



E6, 20%	E12, 10%	E24, 5%	E6, 20%	E12, 10%	E24, 5%
	1.0			3.3	
		1.1			3.6
	1.2			3.9	
		1.3			4.3
	1.5			4.7	
		1.6			5.1
	1.8			5.6	
		2.0			6.2
	2.2			6.8	
		2.4			7.5
	2.7			8.2	
		3.0			9.1

Potencia:

- Máxima potencia disipable por convección natural
- Relacionado con la superficie externa
- A una temperatura ambiente de referencia, *derating curve*
- 1/8W, 1/4W, 1/2W, 1W, ...

Dependencia geométrica: $R = \frac{\rho L}{A}$

- Resistividad ρ [$\Omega \cdot m$] característica del material
- Longitud L [m]
- Sección A [m^2]

	resistivity ($\Omega \cdot m$)	Temp Coef (1/K)
Annealed Copper	1.72 e-8	0.003862
Gold	2.44 e-8	0.0034
Silver	1.59 e-8	0.0038
Iron	1.00 e-7	0.005
Stainless Steel	6.9 e-7	
Lead	2.2 e-7	0.0039
Tin	1.09 e-7	0.0045
Sea water	2.00 e-1	
Deionized Water	1.8 e-5	
Air	1.3 e16	
Teflon	1.0 e23	

Ejercicio: Determinar la resistencia de una traza PCB de cobre, de espesor $36\mu m$, ancho $10mil$ y longitud $5cm$:

$$R = 1,72 \cdot 10^{-8} \frac{5 \cdot 10^{-2}}{36 \cdot 10^{-6} \cdot 10 \cdot 2,54 \cdot 10^{-5}} = 0,094\Omega$$

Y si fuera estaño?, $R = 0,596\Omega$

Dependencia temperatura:

$$R_1 = R_0 \cdot (1 + TC (t_1 - t_0))$$

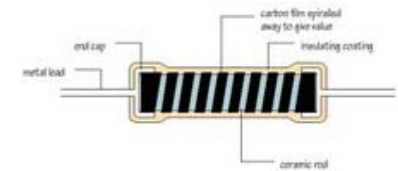
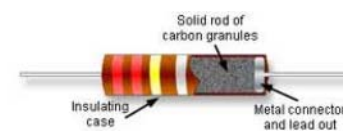
- R_0 : Resistencia a temperatura de referencia t_0 (normalmente temperatura ambiente: $25C$).
- R_1 : Resistencia a temperatura t_1
- TC : Temperature Coefficient, ([ppm/C])

Ejercicio: Calcular el valor a $100C$ de una resistencia de $1K\Omega$ (a $27C$) con $TC = \pm 100ppm/C$.

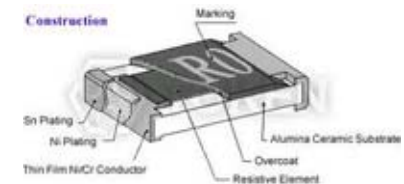
$$R_1 = 1K (1 \pm 100 \cdot 10^{-6} (100 - 27)) = 1K (1 \pm 7,3m)$$

Por tanto $\pm 0,73\%$

Construcción



- Carbon composition.** Varilla de polvo de grafito y cerámica, con resina para rigidizar.
- Carbon film.** Sobre un sustrato cerámico se deposita una película de carbón, que luego es cortada en forma de hélice.

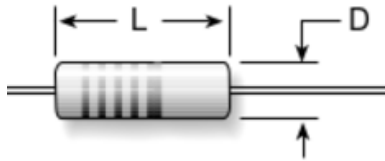


- Thick Film.** Fabricación resistencias SMD. Deposición de película de material resistivo, mediante proceso foto-litográfico, sobre base cerámica. Contactos metálicos en los extremos.

Encapsulados

■ THD, axiales (*axial lead*)

Series	Nominal Wattage	Nominal dimension (in/mm)			Working Voltage
		L	D	Lead Diameter	
OB RC05	0.125	0.160/4.1	0.066/1.7	0.018/0.46	150
OC RC07	0.250	0.265/7.7	0.098/2.5	0.027/0.69	250
OE RC20	0.500	0.406/10.3	0.148/3.8	0.035/0.89	350
OG RC32	1.00	0.593/15.1	0.233/5.9	0.043/1.09	500
OH RC42	2.00	0.719/18.3	0.320/8.1	0.048/1.22	500

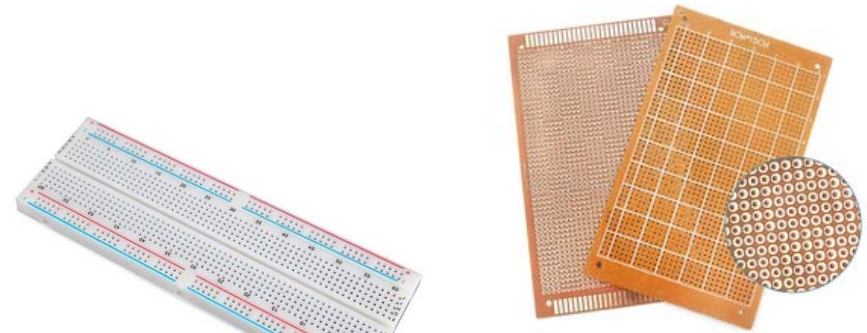


■ SMD, *chip resistor*

comparison	Metric code	Imperial code	comparison
0.1x0.1 mm	0402	01005	0.01x0.01 in (10x10 mils)
	0603	0201	
	1005	0402	
	1608	0603	
1x1mm	2012	0805	0.1x0.1 in (100x100 mils)
	2520	1008	
	3216	1206	
	3225	1210	
	4516	1806	
	4532	1812	
	5025	2010	
1x1 cm	6332	2512	0.5x0.5 in (500x500 mils)
	Actual size		

Series	Nominal Wattage	Nominal dimension (in/mm)		Working Voltage	Rated Current
		L	W		
0603	0.1	0.063/1.6	0.031/0.8	75	1
0805	0.125	0.079/2.0	0.049/1.25	150	2
1206	0.25	0.126/3.2	0.063/1.6	200	2
1210	0.5	0.126/3.2	0.098/2.5	200	2

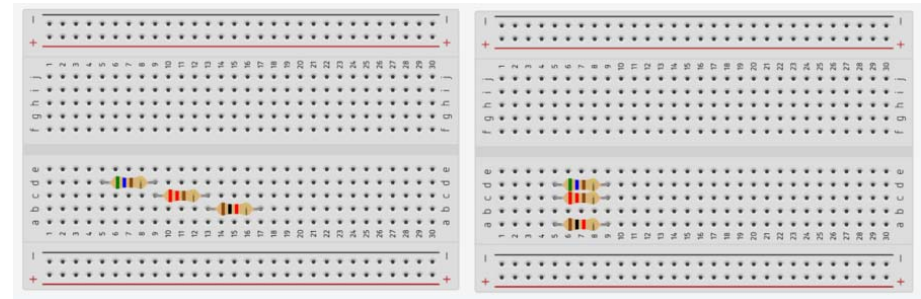
THD y Protoboards



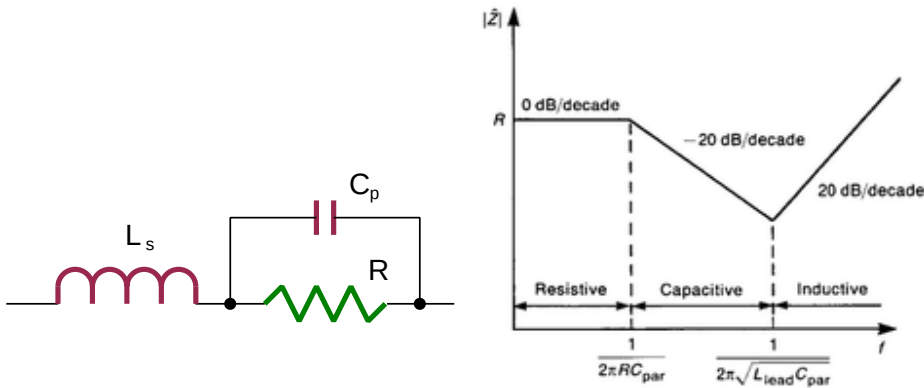
En proto-board los orificios están separados 100mil (0.1inch = 2.54mm).

Una $1/8W$ requiere mínimo 2 espacios, pero una $1/2W$ necesita 4 (forzada) o 5 espacios. Ambas pueden montarse verticalmente requiriendo 1 espacio sólo.

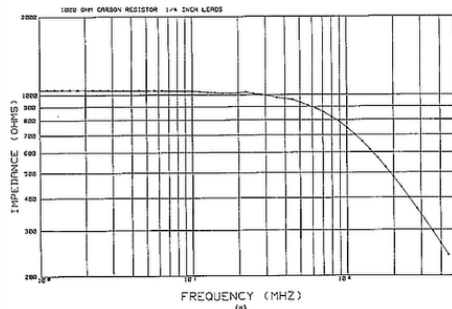
Ejemplos serie y paralelo con $1/4W$ con 4 espacios.



Parásitos

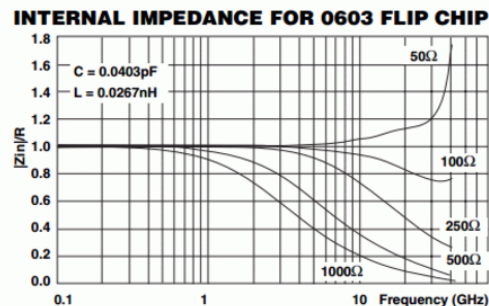


- L_s : inductancia serie Debido a los terminales (*leads*), puede llegar a ser de nH . Despreciable en SMD
- C_p : capacidad paralelo. Tiene importancia a partir de $100MHz$



Res THD Carbon comp. de $1K\Omega$ y terminales de 6mm se tiene $L_{lead} = 14nH$ y $C_{par} = 1 - 2pF$.

Res SMD Thin Film de alta frec



Identificación:

- THD axiales, mediante bandas de color

Band	1	2	3	4
	Digit-1	Digit-2	Number of zeros	Tolerance
Silver			.00	$\pm 10\%$
Gold			.0	$\pm 5\%$
Black	0	0		
Brown	1	1	0	$\pm 1\%$
Red	2	2	00	$\pm 2\%$
ORange	3	3	000	
Yellow	4	4	0,000	
Green	5	5	00,000	$\pm 0.5\%$
Blue	6	6	000,000	$\pm 0.25\%$
Violet	7	7	0,000,000	$\pm 0.1\%$
Grey	8	8		$\pm 0.05\%$
White	9	9		

- SMD, 3 dígitos: los 2 primeros dígitos corresponden a los de la resistencia, el tercero es el número de ceros. Una resistencia inferior a 10 tiene una R en el punto decimal.

Ejercicio:

Determinar los valores de: 221, 330, 105, 683 y 8R2.

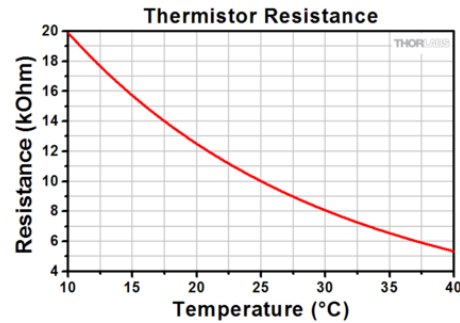
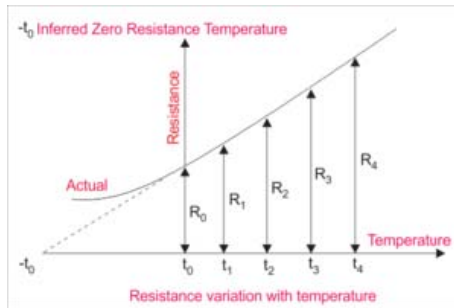
Solución: 220Ω , 33Ω , $1M\Omega$, $68K\Omega$ y $8,2\Omega$,

Otras resistencias



- **Resistor Array**, grupos de resistencias para *pull-up*, *matching*

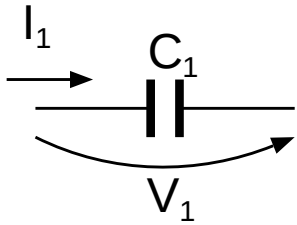
- **Thermistor**, elemento económico para medida de temperatura ($\pm 0,25^{\circ}\text{C}$). Suelen ser NTC (*Negative Temperature Coefficient*)



- **Potentiometer**, A-B resistencia fija con un elemento móvil W (*Wiper*).



Capacidad



Dispositivo que almacena energía mediante campo eléctrico.

Se compone de dos conductores (*plates*) separados por un aislante (*dielectric*), siendo su ecuación: $I = C \cdot dV/dt$.

Dependencia geométrica:

Condensador plano (*parallel plate*): $C = \frac{\epsilon A}{d}$

- A , área enfrentada
- d , espesor dieléctrico
- ϵ : permitividad. $\epsilon = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r$

donde: $\epsilon_0 = 8,85418 \cdot 10^{-12} [F/m]$ es la permitividad del vacío, ϵ_r la permitividad relativa que depende del material.

vacío	1
aire seco	1.00059
teflón	2.1
nylon	3.4
papel	3.7
agua pura	80

Tensión de ruptura (V_{bd} : *Breakdown Voltage*): al aplicar dicha tensión, el campo eléctrico (E_{ds} : rigidez dieléctrica, *dielectric strength*) hace que el dieléctrico pierda su propiedad aislante.

$$E_{ds} = \frac{V_{bd}}{d}$$

Tensión de funcionamiento (*Working Voltage* o *Rated Voltage*), límite de funcionamiento en continua (DC) y en alterna (AC) ¡. Trabajar cerca de la máxima tensión de funcionamiento reduce la vida útil del dispositivo.

Dieléctricos:

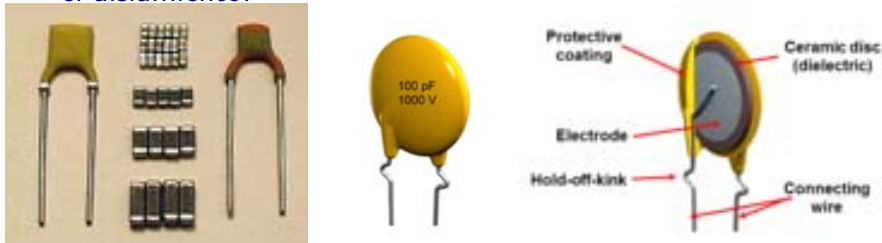
- **condensadores de mica**, este material permite la exfoliación en finas láminas, tiene muy bajas pérdidas, soporta altas temperaturas y no se degrada por oxidación ni humedad. Funcionan muy bien a elevadas frecuencias (GHz) y elevadas tensiones. El problema es que son caros.



- **condensadores de película** (*film capacitor*). Durante años se usó papel como dieléctrico (a veces se denominan **condensadores de papel**), sometidos a tratamientos para reducir la absorción de agua. En la actualidad se emplean láminas de materiales plásticos (PP Polypropylene, PET Polyester, . . .) sobre

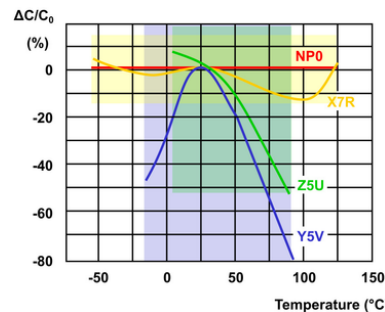
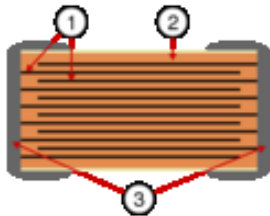
las que deposita aluminio. Ofrecen mejor estabilidad, funcionamiento con elevadas tensiones, amplios rangos de temperaturas, aunque su zona de trabajo son bajas frecuencias.

Autoregeneración: En caso de perforación del dieléctrico, la sobrentensidad hace que la zona afectada se funda y se restablece el aislamiento.



- **condensadores cerámicos.** Un material cerámico en empleo como dieléctrico, siendo las multicapas (**MLCC: MultiLayer Ceramic Capacitors**) las más comunes. En la actualidad hay dos categorías (existe una tercera, poco/nada usada):

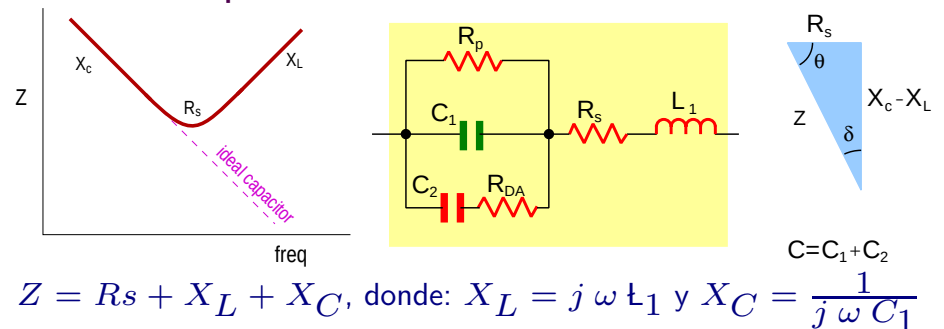
- **Class 1:** Elevada estabilidad (tensión, temperatura y moderadamente en frecuencia) y bajas pérdidas. **C0G** y **NP0**, son las más frecuentes.
- **Class 2:** Elevada eficiencia volumétrica. Se emplea un código de 3 caracteres para identificarlas:
 1. Mínima temperatura, p.e. **X** es -55°C
 2. Máxima temperatura, p.e. **5** es 85°C
 3. Variación con temperatura en rango, p.e. **R** es $\pm 15\%$
 Las más comunes son **X5R** y **X7R**. Los dieléctricos como **Y5V** o **Z5U** no suelen usarse.



- **condensadores de electrolíticos.** Están formados por un electrolito como cátodo, y la cuba como ánodo. Permiten almacenar elevadas energías en reducidos volumen, aunque tienen pobres tolerancias, degradación con la temperatura, y elevadas corrientes de fuga. Tienen polaridad, si se aplica tensión inversa (superior a 1.5v) desaparece parte del dieléctrico interno y se destruye. Se distinguen varios tipos:

- **condensadores de aluminio,** la cuba es de aluminio. Funcionan bien a bajas frecuencias. La marca es el terminal negativo.
- **condensadores de tántalo,** la cuba es de tántalo. Tienen pérdidas mucho menores, teniendo una capacidad/volumen inferior. La marca es el terminal positivo.

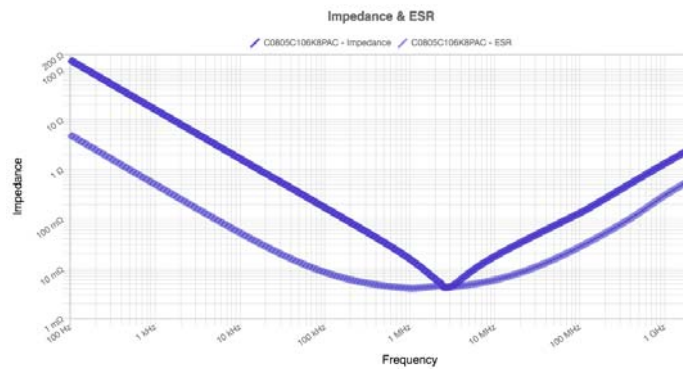
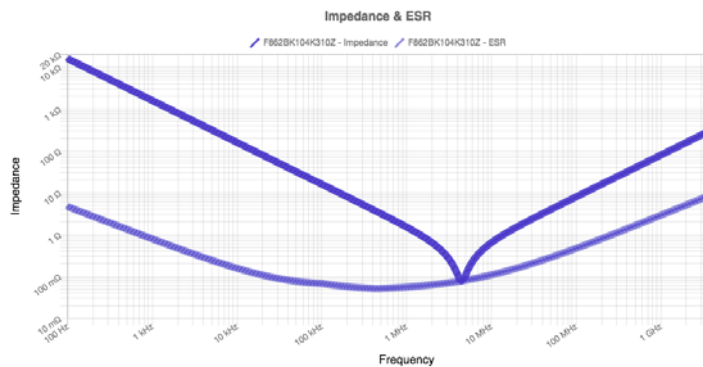
Circuito Equivalente:



- **Q Quality factor, factor de calidad:** Un elevado valor indica un comportamiento próximo al ideal.

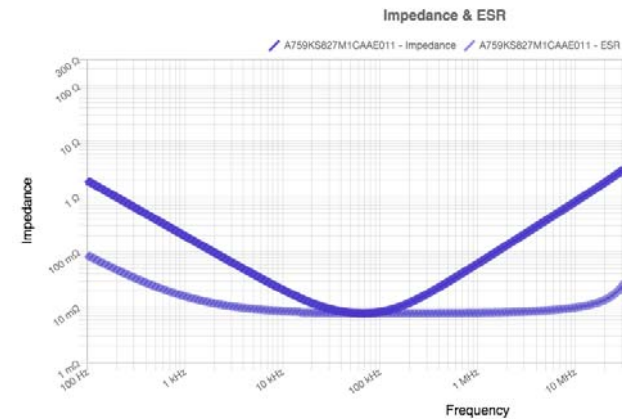
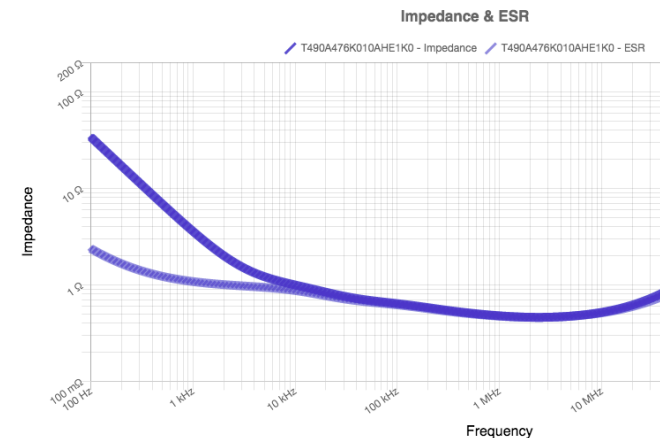
$$Q = \frac{|X_C| - |X_L|}{R_s}$$

Comparativa ESR*

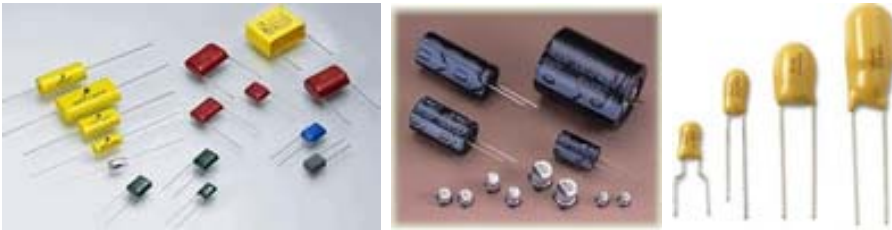
**C0805C106K8PACTU, Kemet Ceram 10u/10v****F862BK104K310Z, Kemet Film 100n/630v**

Ceramic 10 μ F/10v	$DF = 10\% @ 1kHz$
$X_c(1kHz) : 15,9\Omega$	$ESR(1kHz) : 1,50\Omega$
$X_c(1MHz) : 15,9m\Omega$	$ESR(1MHz) : 1,50m\Omega$
Film 100nF/630v	$DF = 0,3\% @ 1kHz$
$X_c(1kHz) : 1,59k\Omega$	$ESR(1kHz) : 4,77\Omega$
$X_c(1MHz) : 1,59\Omega$	$ESR(1MHz) : 4,77m\Omega$

(*)Curvas obtenidas de la aplicación **K-Sim** del fabricante **Kemet**

**A759KS827M1CAAE011, Kemet Alum 820u/16v****T490A476K010AHE1K0, Kemet Tantalum 47u/10v**

Aluminum 820 μ F/16v	$DF = 7\% @ 120Hz$
$X_c(120Hz) : 1,617\Omega$	$ESR(120Hz) : 0,113\Omega$
$X_c(12kHz) : 16,17m\Omega$	
Tantalum 47 μ F/12v	$DF = 6\% @ 120Hz$
$X_c(120Hz) : 28,2\Omega$	$ESR(120Hz) : 1,69\Omega$
$X_c(12kHz) : 282m\Omega$	

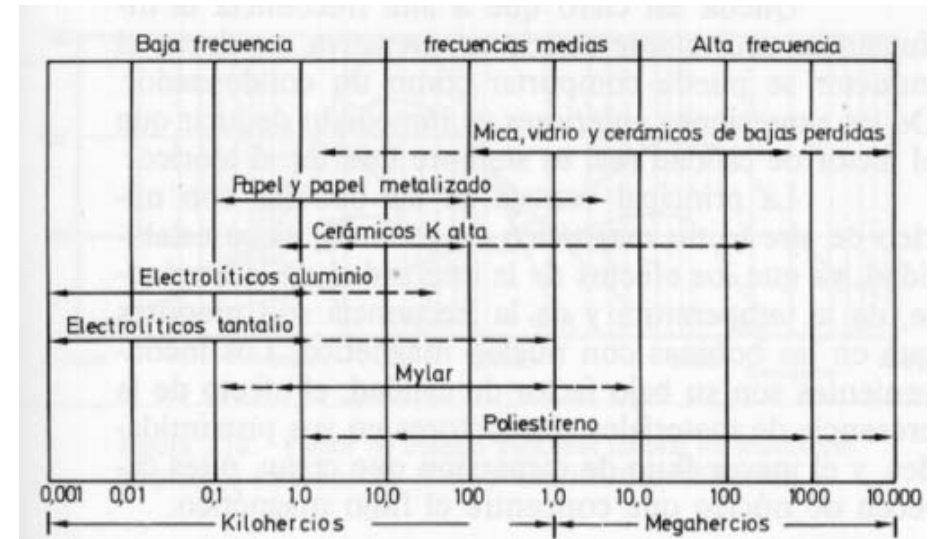


Encapsulados:

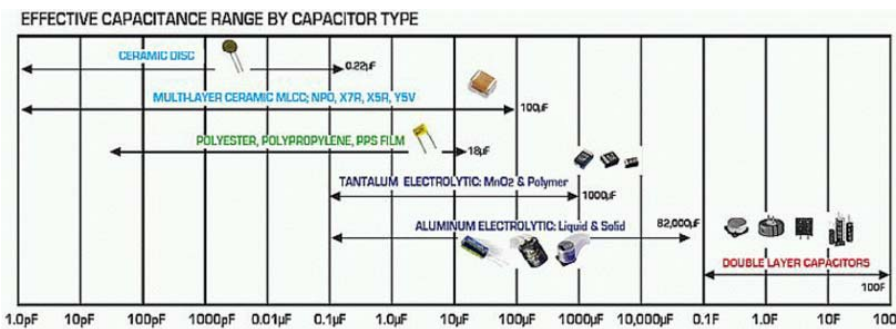
- discos con terminales (cerámicos y mica)
- cilíndricos con terminales axiales o radiales y atornillados (electrolíticos)
- SMD (cerámicos)

Identificación:

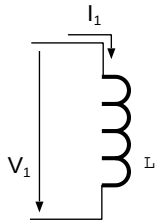
- si el tamaño lo permite, aparecen escritas sus características eléctricas.
- si son pequeños, se emplea 3 números ($XY 10^Z$) y una letra (J: $\pm 5\%$, K: $\pm 10\%$, M: $\pm 20\%$) que indica la tolerancia.



TYPE	PIC	CAP RANGE	ESR	LEAKAGE	VOLTAGE RATING	TEMP RANGE	GENERAL NOTES
Ceramic		pF to μ F	Low	Medium	High	-55°C to +125°C	Multipurpose Cheap
Mica (silver mica)		pF to nF	Low 0.01 Ω to 0.1 Ω	Low	High	-55°C to +125°C	For RF Filters Expensive Very Stable
Plastic Film (polyethylene polystyrene)		few μ Fs	Medium	Medium	High	Varies	For Low Frequency Inexpensive
Tantalum		μ Fs	High 0.5 Ω to 5.0 Ω	Low	Lowest	-55°C to +125°C	Expensive Nonlinear (bad for audio)
OSCON		μ Fs	Low 0.01 Ω to 0.5 Ω	Low	Low	-55°C to +105°C	Best Quality Highest Price
Aluminum Electrolytic		High μ Fs	High 0.05 Ω to 2.0 Ω	Medium	Low		For Low to Med. Frequencies Inexpensive Hold Charge for Long Time - Not for Production Test



Inductor



- *Laminated core*. Se emplean delgadas láminas de acero, aisladas entre sí y apiladas paralelamente al campo. Se emplean para bajas frecuencias reduciendo las pérdidas.
- *Ferrite core*. La ferrita es un material cerámico ferromagnético, que al no ser conductor, tiene bajas pérdidas.
- *Toroidal core*. Estos núcleos permiten establecer un circuito magnético cerrado, reduciendo las pérdidas de flujo. Reducida interferencia en elementos cercanos (*self-shielding*).

Un inductor es un dispositivo que almacena energía mediante campo magnético.

Se compone de una o varias espiras (*coil*) por la que circula una corriente: $V = L \cdot dI/dt$

Dependencia geométrica: La inductancia L depende del número de espiras, de su diámetro y del conductor (material y geometría). Asimismo depende del tipo de núcleo que contenga.

$$L = \frac{\mu k N^2 S}{l}$$

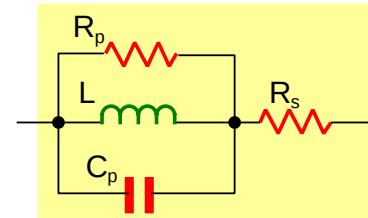
μ : permeabilidad magnética (H/m)
 k : coeficiente Nagaoka
 N : número de vueltas
 S : sección espira(m²)
 l : longitud axial espira(m)

Clasificación de núcleos:

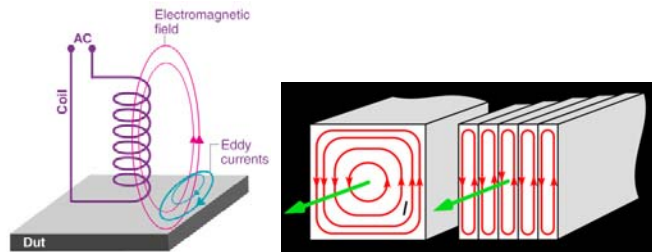
- *Air core*. En esta categoría se inscriben materiales no ferromagnéticos (aire, plástico, cerámica, ...). Se emplean a altas frecuencias, al no tener pérdidas de núcleo.



Inductor Real:



- L inductancia ideal
 - C_p capacidad parásita del bobinado
 - R_s resistencia serie del bobinado
 - R_p resistencia paralelo que modela las pérdidas del núcleo.
- *Capacidad Parásita*, aparece cuando los conductores están demasiado próximos. Se evita separando los conductores entre sí, o bien mediante trenzados que evitan que los conductores estén paralelos mucha distancia.
 - *Eddy Currents*, el campo magnético induce una corriente eléctrica ortogonal, que se disipa térmicamente. Depende del área de los lazos de corriente. Se reduce con núcleos laminados o materiales no conductores (ferritas).



- **Histéresis**, representa la no linealidad y dependencia del estado anterior de los materiales ferromagnéticos. Las pérdidas son proporcionales al área encerrada por dicha curva.
- **Q Quality factor, factor de calidad**: Un elevado valor indica un comportamiento proximo al ideal.

$$Q = \frac{X_L - X_C}{R}$$

- **Efecto Pelicular Skin Effect**. A elevadas frecuencias, la corriente circula por la periferia del conductor, aumentando la resistencia. Se reduce con conductores con filamentos en lugar de sólido.

skin depth

$$\delta = \sqrt{\frac{2\rho}{\omega \mu_0 \mu_r}}$$

ρ : resistividad (Ωm)

ω : frecuencia (Hz)

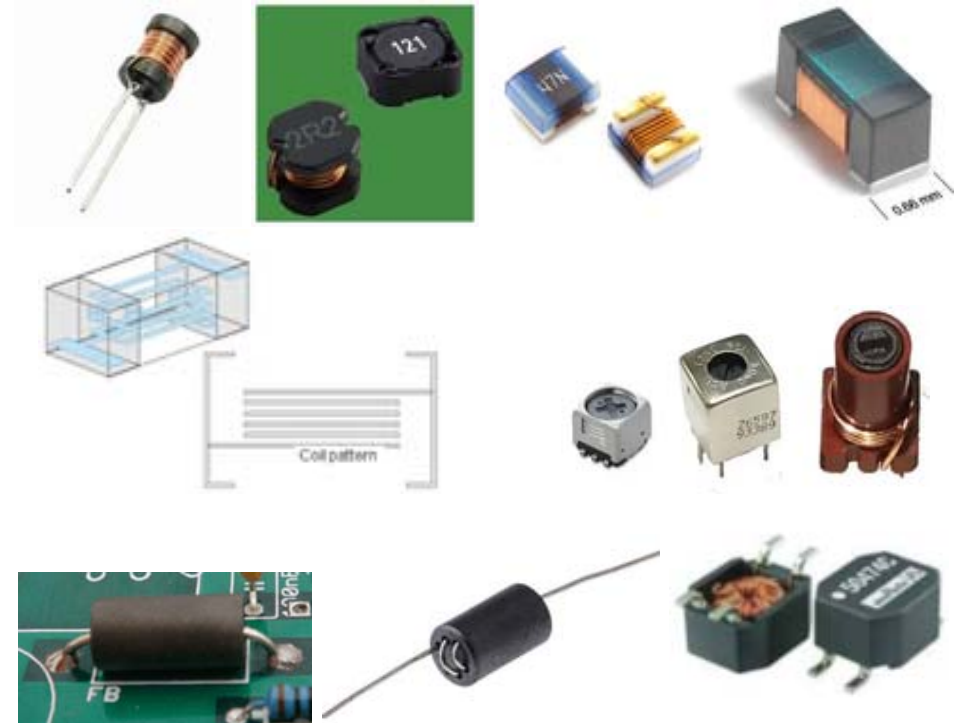
$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$: permeabilidad vacío ($H m$)

μ_r : permeabilidad relativa



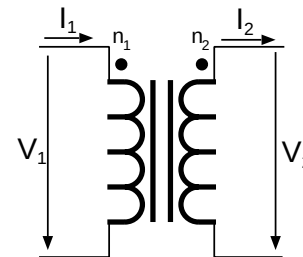
Inductores PCB

- **drum-core**: arrollamiento en un carrete. Camino magnético abierto. Es la alternativa más económica.
- **wire-wound structure**: arrollamiento en núcleo miniaturizado ferromagnético o no
- **multilayer structure**: capas de cerámica/ferrita miniaturizadas con espira impresa.
- **beads**: son bobinados de una vuelta, se usan para elevadas corrientes.



Transformador:

Permite la transferencia de energía entre devanados mediante acoplamiento inductivo.



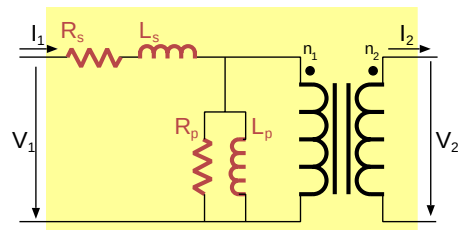
Transformador Ideal

$$V_2 = n V_1$$

$$I_2 = 1/n I_1$$

siendo $n = n_2/n_1$

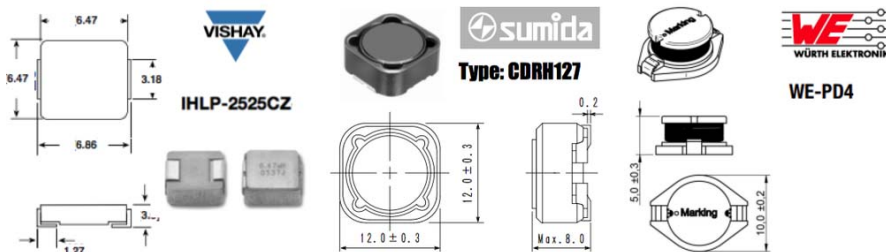
- **Power transformer**, la energía es de baja frec. (50/60 Hz)
- **Signal transformer**, la señal está a elevadas frecuencias



Circuito Equivalente

 R_s : copper losses L_s : inductancia de fuga R_p : iron losses L_p : inductancia de magnetización

Power Inductors:



IHLP-2525

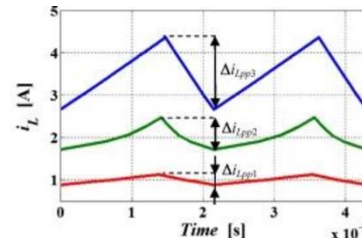
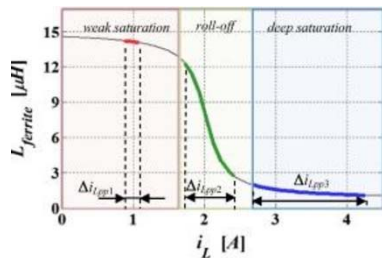
STANDARD ELECTRICAL SPECIFICATIONS

INDUCTANCE L_0 ± 20 % AT 100 kHz, 0.25 V, 0 A (μ H)	DCR TYP. 25 °C (m Ω)	DCR MAX. 25 °C (m Ω)	HEAT RATING CURRENT DC TYP. (A) ⁽¹⁾	SATURATION CURRENT DC TYP. (A) ⁽²⁾	SRF TYP. (MHz)
0.10	1.5	1.7	32.5	60	400
0.15	1.9	2.5	26	52	180
0.20	2.4	3.0	24	41	150
0.22	2.5	2.8	23	40	126
0.33	3.5	3.9	20	30	100
0.47	4	4.2	17.5	26	75
0.68	5	5.5	15.5	25	62
0.82	6.7	8	13	24	60
1.0	9	10	11	22	55
1.5	14	15	9	18	40
2.2	18	20	8	14	38
3.3	28	30	6	13.5	30
4.7	37	40	5.5	10	25
6.8	54	60	4.5	8	21
8.2	64	68	4	7.5	17
10	102	105	3	7.0	16

⁽¹⁾ DC current (A) that will cause an approximate ΔT of 40 °C⁽²⁾ DC current (A) that will cause L_0 to drop approximately 20 %

Veamos algunas especificaciones:

- *shielded/unshielded*
- *DCR*: resistencia parásita
- *SRF*: Self Resonant Frequency
- *I_{SAT}* : Corriente que provoca un cambio en la inductancia.
- *I_{RMS}* : Corriente que provoca un aumento de temperatura

Current vs fixed voltage pulse, $V = L \, dI/dt$ 

8200 Series

Miniature Surface Mount Power Inductors

SELECTION GUIDE

Order Code	Inductance, L		Idc (Max.) ¹ A	Q Factor		SRF (Typ.) MHz	Rdc (Max.) Ω
	0.1V @ 10kHz μ H	Tolerance %		Q (Min.)	at frequency MHz		
82102C	1.0	±20%	2.0	18	1MHz	133	0.058
82152C	1.5	±20%	1.4	18	1MHz	103	0.068
82222C	2.2	±20%	1.1	18	1MHz	85	0.104
82332C	3.3	±20%	0.95	18	1MHz	67	0.138
82472C	4.7	±20%	0.80	20	1MHz	58	0.190
82682C	6.8	±20%	0.64	20	1MHz	46	0.270
82103C	10	±10%	0.50	35	1MHz	38	0.400
82153C	15	±10%	0.40	35	1MHz	31	0.560
82223C	22	±10%	0.32	35	1MHz	25	0.920
82333C	33	±10%	0.27	40	1MHz	20	1.30
82473C	47	±10%	0.25	40	1MHz	17	1.69
82683C	68	±10%	0.20	40	1MHz	15	2.55
82104C	100	±10%	0.16	40	800k	13	3.5
82154C	150	±10%	0.13	40	800k	11	5.9
82224C	220	±10%	0.10	40	800k	10	8.0
82334C	330	±10%	0.08	40	800k	9	13.5
82474C	470	±10%	0.07	50	800k	9	16.8

¹ The maximum DC current occurs when either the inductance falls to 75% of its nominal value or when its temperature rise reaches 40°C, whichever is sooner.