

Tecnología Electrónica

Trabajo Práctico N° 4:

Diseño de Inductor con Núcleo para Fuentes Comutadas

Trabajo Práctico N° 4:

Diseño de Inductor con Núcleo para Fuentes Conmutadas

30 de junio de 2017

Notes

Objetivos

- ▶ Aprender técnicas de diseño de inductores con núcleo.
- ▶ Verificación de la calidad del bobinado.
- ▶ Familiarización con los distintos tipos de núcleos.
- ▶ Interpretación de los datos de los fabricantes de núcleos.
- ▶ Determinación de los parámetros del núcleo. Ensayos.
- ▶ Diseño de un inductor para una fuente comutada.



Notes

Introducción Teórica

Expresión de la inductancia

$$L = \mu_0 \cdot \mu_r \frac{N^2 \cdot S}{\ell} = \frac{N^2}{\mathfrak{R}} \quad (1)$$

L : Inductancia [Hy].

μ_0 : Permeabilidad del vacío $4\pi 10^{-7}$ [Hym $^{-1}$]

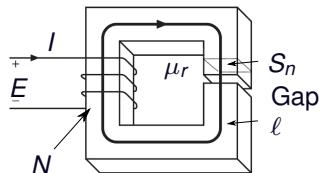
μ_r : Permeabilidad relativa

N : Número de espiras

S : Sección del núcleo [cm^2]

ℓ : Longitud media del circuito magnético [cm]

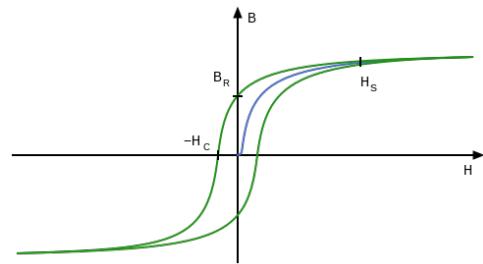
\mathfrak{R} : Reluctancia [Hy $^{-1}$]



Notes

Introducción Teórica

► Ciclo de Histéresis



► Densidad de flujo en continua

$$N \cdot I_{cc} = B_{cc} \cdot S \cdot \mathfrak{R} \quad (2)$$

$$B_{cc} = \frac{N \cdot I_{cc}}{S \cdot \mathfrak{R}} \quad (3)$$

B_{cc} : Densidad de flujo [gauss]

I_{cc} : Intensidad de la corriente continua[A]

Notes

Introducción Teórica

► Densidad de flujo en alterna

$$E_{ef} = 4,44 \cdot f \cdot N \cdot B_{ca} \cdot S \cdot 10^8 \quad (4)$$

$$B_{ca} = \frac{E_{ef} \cdot 10^8}{4,44 \cdot f \cdot N \cdot S} \quad (5)$$

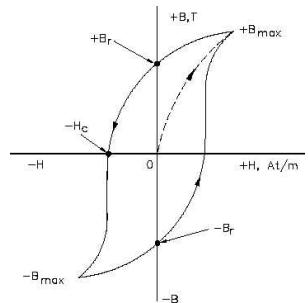
E_{ef} : Tensión eficaz aplicada [v]

f : Frecuencia [Hz]

B_{ca} : Densidad de flujo [gauss].

► Densidad de flujo máxima

$$B_{max} = B_{cc} + B_{ca} \quad (6)$$



Notes

Introducción Teórica

- Para el caso de corriente continua y alterna superpuestas se utiliza como μ_r la **permeabilidad efectiva** μ_e

$$\mu_e = \frac{\Delta B}{\Delta H_t} = \frac{1}{\frac{\Delta H_h}{\Delta B} + \frac{\Delta H_a}{\Delta B}} = \frac{1}{\frac{1}{\mu_\Delta} + \frac{\ell_a}{\ell_h}} \quad (7)$$

- Reemplazando en L nos queda:

$$L = \mu_0 \cdot \mu_r \frac{N^2 \cdot S}{\ell} = \mu_0 \cdot \frac{N^2}{\frac{\ell_m}{\mu_\Delta \cdot S_m} + \frac{\ell_a}{S_a}} \quad (8)$$

- Se define el término A_L como **Factor de Inductancia** ó inductancia nominal ó índice de inductancia.

$$A_L = \frac{\mu_0}{\frac{\ell_m}{\mu_\Delta \cdot S_m} + \frac{\ell_a}{S_a}} [mHy/vueltas^2] \quad (9)$$

(10)

- Inductancia**

$$L = A_L \cdot N^2 \quad (11)$$

Notes

Introducción Teórica

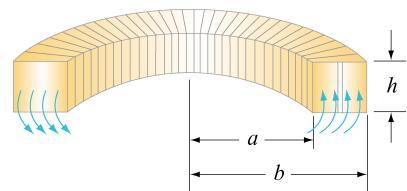
► Energía almacenada

$$E = \frac{1}{2} \cdot L \cdot I_{max}^2 [mJoules] \quad (12)$$

L : en [mHy]
 I_{max} : en [A]

Notes

Introducción Teórica



- Inductancia en un Toroide:

$$L = N \cdot \frac{\phi}{I} = \frac{\mu_0 N^2 h}{2\pi} \ln \left(\frac{b}{a} \right) \quad (13)$$

- En función de A_L

$$L = A_L \cdot N^2 \quad (14)$$

$$A_L = \frac{\mu_0 h}{2\pi} \ln \left(\frac{b}{a} \right) \quad (15)$$

Notes

Introducción Teórica

- Energía almacenada en un Toroide

$$E = \frac{1}{2} \cdot L \cdot I_{max}^2 = \frac{\mu_0 \cdot h \cdot (N \cdot I_{max})^2}{4\pi} \ln\left(\frac{b}{a}\right) \quad (16)$$

- NI en función de la Energía:

$$NI = \sqrt{\frac{4\pi \cdot E}{\mu_0 \cdot h \cdot \ln\left(\frac{b}{a}\right)}} \quad (17)$$

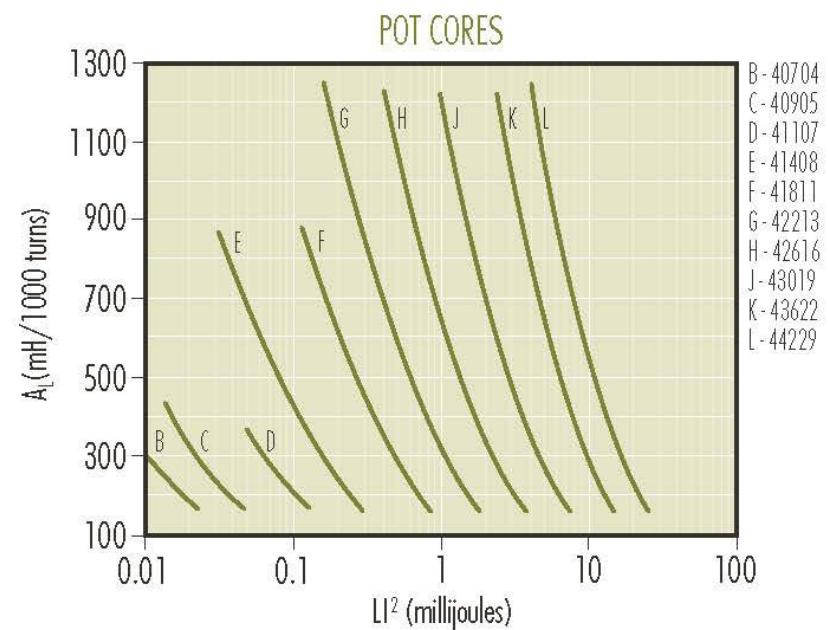
- A_L en función de la Energía:

$$E = \frac{1}{2} \cdot A_L \cdot (N \cdot I_{max})^2 \quad (18)$$

$$A_L = \frac{2E}{(N \cdot I)^2} \quad (19)$$

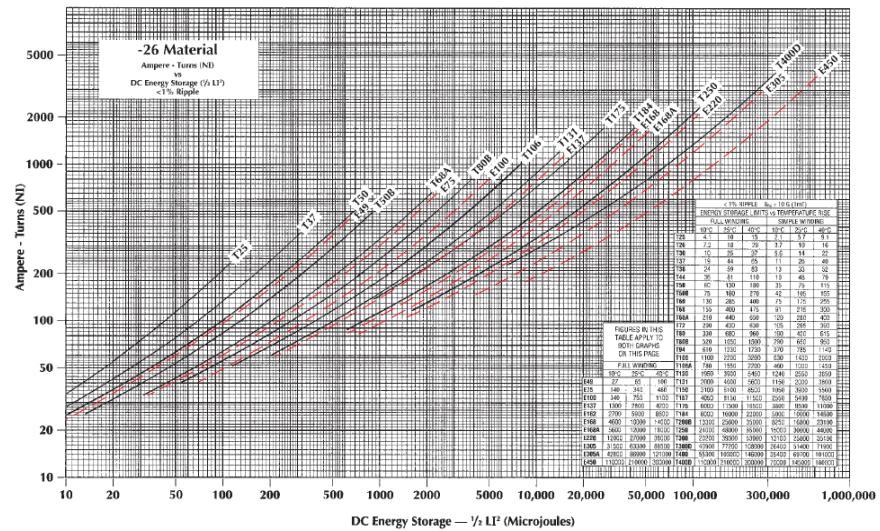
Notes

Introducción Teórica



Notes

Introducción Teórica

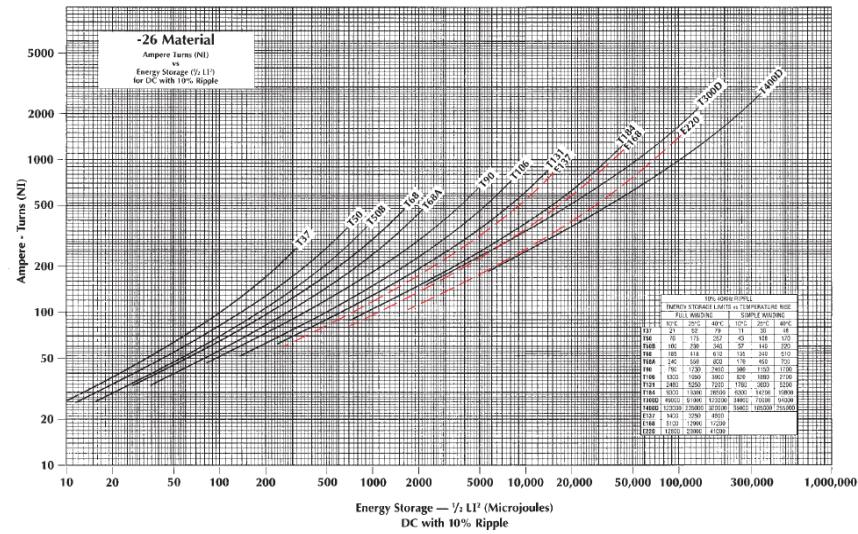


QUICK REFERENCE A: VALUES FOR -26 MATERIAL

Part No.	T25	T26	T30	T37	T38	T44	T50	T50B	T60	T68	T72	T80	T80B	T94	T106	T106A	T130	T131	T150	T157
A _i VALUE	24.5	57.0	33.5	28.5	49.0	37.0	33.0	43.5	50.0	43.5	90.0	46.0	71.0	60.0	93.0	67.0	81.0	116	96.0	100
Part No.	T175	T184	T200B	T250	T300	T300D	T400	T400D	E49	E57	E100	E137	E162	E168	E168A	E220	E305	E305A	E450	
A _i VALUE	105	169	160	242	80	160	131	262	38.0	64.0	92.0	134	210	195	232	275	287	382	540	

Notes

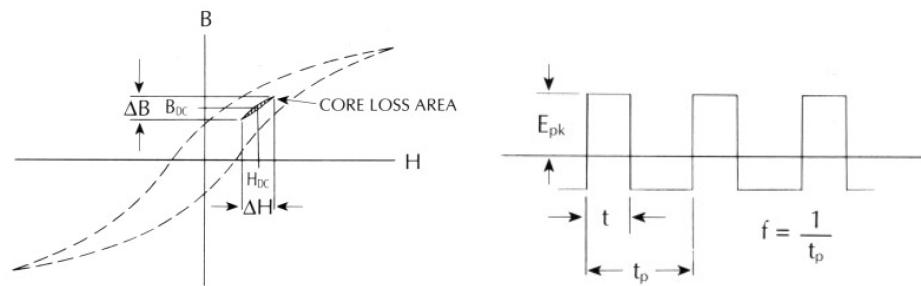
Introducción Teórica



Notes

Introducción Teórica

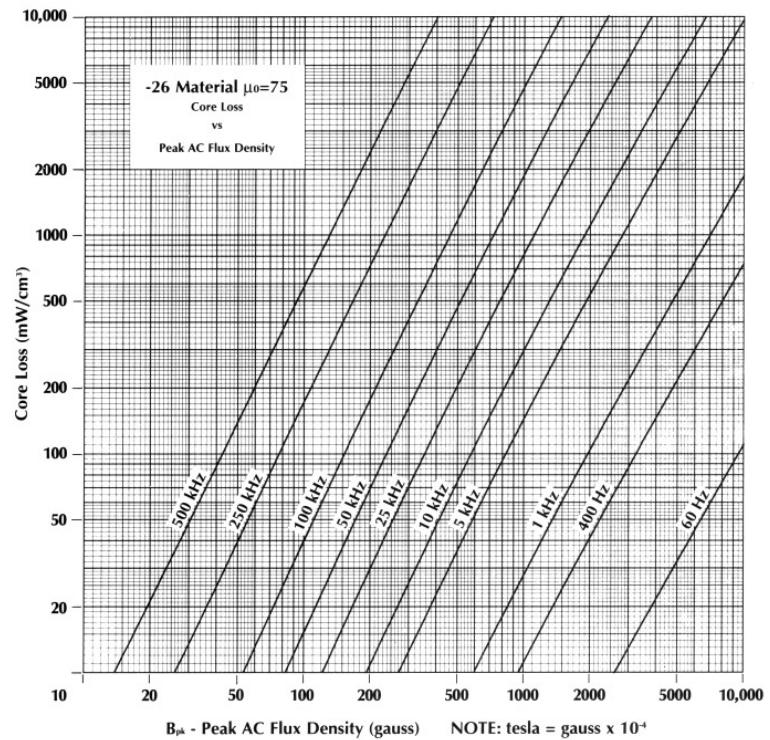
► Pérdidas en el núcleo



$$\Delta B = \frac{E_{pk} \cdot t \cdot 10^8}{N \cdot S} \quad (20)$$

Notes

Introducción Teórica



Notes

Introducción Teórica

► Pérdidas en el conductor

- Resistencia del conductor

$$R_C = \rho \frac{\ell_C}{A_C} \quad (21)$$

ρ : Resistividad del conductor.

ℓ_C : Longitud total del conductor

A_C : Sección del conductor.

- Longitud del conductor

$$\ell_C = N \cdot L_M \quad (22)$$

N : Número de espiras.

L_M : Longitud media de cada espira.

- Potencia disipada en el conductor:

$$P_C = I_{ef}^2 \cdot R_C [\text{Watt}] \quad (23)$$

Notes

Introducción Teórica

▶ Perdida total

$$P_T = P_N + P_C \text{ [watt]} \quad (24)$$

▶ Elevación de temperatura

$$\Delta T = \left[\frac{P_T}{\text{Area}} \right]^{0,833} \text{ [} ^\circ \text{C} \text{]} \quad (25)$$

Área: área total de disipación [cm^2]

Notes

Tipos y formas de núcleos

MATERIAL APPLICATIONS

Typical Application	-2	-8	-14	-18	-26	-30	-34	-35	-38	-40	-45	-52
Light Dimmer Chokes					X		X	X	X			
60 Hz Differential-mode EMI Line Chokes					X		X	X	X	X	X	
DC Chokes: <50kHz or low Et/N (Buck/Boost)					X	X	X	X	X	X	X	
DC Chokes: ≥50kHz or higher Et/N (Buck/Boost)	X	X	X		X	X	X					X
Power Factor Correction Chokes: <50kHz					X	X	X	X		X		
Power Factor Correction Chokes: ≥50kHz	X	X	X	X		X	X	X				
Resonant Inductors: ≥50kHz	X		X									



Toroide



Núcleo E



Núcleo P

Notes

Tipos y formas de núcleos

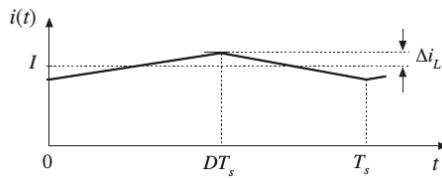
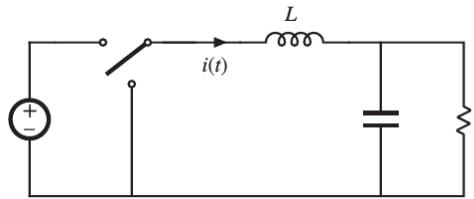
Notes

Material Mix No.	Reference Permeability (μ_0)	Material Density (g/cm ³)	Relative Cost	Color* Code
-2	10	5.0	2.7	Red/Clear
-8	35	6.5	5.0	Yellow/Red
-14	14	5.2	3.6	Black/Red
-18	55	6.6	3.4	Green/Red
-19	55	6.8	1.7	Red/Green
-26	75	7.0	1.0	Yellow/White
-30	22	6.0	1.4	Green/Gray
-34	33	6.2	1.5	Gray/Blue
-35	33	6.3	1.4	Yellow/Gray
-40	60	6.9	1.0	Green/Yellow
-45	100	7.2	2.6	Black/Black
-52	75	7.0	1.2	Green/Blue

* All Micrometals color codes are protected by US Trademark law. Formal registration numbers have been issued for the -8, -18, -26 and -52 color codes by the United States Patent and Trademark office.

Desarrollo del práctico

Diseño de un inductor para fuente commutada



► Datos:

- ▶ Valor de la inductancia deseada L .
- ▶ Máxima corriente continua circulante I .
- ▶ Tensión alterna aplicada E
- ▶ Frecuencia de trabajo f .

► Tareas a realizar:

- ▶ Diseño del inductor
 - ▶ Determinación del número de vueltas del devanado.
 - ▶ Elección del material y del tipo de núcleo.
 - ▶ Determinación del conductor a emplear.
 - ▶ Comprobación del diseño.
 - ▶ Ensayo del núcleo. Determinación de A_L .
- Materiales a utilizar
- ▶ Diferentes tipos de núcleos comerciales con sus hojas de datos correspondientes.
 - ▶ Alambres esmaltados de diferentes secciones.
 - ▶ Medidor puente RLC.

Notes

Diseño de un inductor para fuente conmutada

Pasos a realizar

Nota: realizar los procedimientos con al menos dos tipos de núcleos.

1. Calcular la energía a almacenar en el núcleo:

$$E = \frac{1}{2} \cdot L \cdot I_{max}^2 [mJoules] \quad (26)$$

L: en [mHy]

I_{max} : en [A]

- Ubicar este valor en el gráfico de Factor de Inductancia vs Energía: Seguir este valor hasta que intercepte la primera curva. Leer el máximo **Factor de Inductancia** sobre el eje Y. Este valor representa el menor tamaño del núcleo y el mayor valor de A_L , evitando la saturación del núcleo.
 - Determinar el número de vueltas necesarias:

$$N = 10^3 \sqrt{\frac{L}{A_L}} \quad (27)$$

4. Para el caso de poseer el gráfico $[N \cdot I]$ vs Energía:
Seguir este valor hasta que intercepte la curva del núcleo a utilizar (P.E N26).
Leer el valor $[NI]$ sobre el eje Y.
 5. Determinar el número de vueltas necesarias:

$$N = \frac{NI}{I} \quad (28)$$

Notes

Diseño de un inductor para fuente conmutada

Pasos a realizar

6. Determinar la sección del conductor a utilizar. Adoptando una densidad de corriente $J = 2[A/mm^2]$.

$$S_c = \frac{I}{J} \quad (29)$$

S_c :Sección del conductor [mm^2]

7. Verificar la sección de la ventana con el N y la S_c .

$$S_v \geq S_c \cdot N \quad (30)$$

S_v :Sección de la ventana del núcleo [mm^2]

8. Realizar el bobinado con el conductor elegido.
9. Verificar el valor de L con el puente RLC.

Notes

Comprobación del diseño

Pasos a realizar

1. Determinar la **densidad de flujo máxima** B_{max} evitando que sea superior a la B_{sat} del núcleo.
 2. Calcular las perdidas en el núcleo y en el bobinado. Realizar los cálculos para diferentes números de vueltas
 3. Calcular la elevación de temperatura y contrastarla con la medición de la misma, con el inductor en funcionamiento.

Notes

Determinación del Factor de Inducción A_L

Pasos a realizar

Notes

1. Bobinar el núcleo con 5 vueltas.
 2. Medir la inductancia resultante L con el puente RLC.
 3. Repetir para 10 y 15 vueltas. (o las que crea conveniente)
 4. Obtener A_L por promediación.
 5. Probar con varios tipos de núcleos.

Evaluación del Trabajo Práctico

Notes

La evaluación se basará en los siguientes puntos:

1. Base teórica sobre inductores, materiales magnéticos y núcleos.
 2. Interpretación de hojas de datos de núcleos comerciales.
 3. Informe con los cálculos y las mediciones realizadas, como así también, las conclusiones correspondientes.

En las conclusiones se deberá realizar teniendo en cuenta los siguientes puntos:

- ▶ Ventajas y desventajas de este método.
 - ▶ Comparación de los valores obtenidos.

Resumen

- ▶ Diseño de un inductor.
 - ▶ Comprobación.
 - ▶ Medición de parámetros.

Notes

Tecnología Electrónica

Ingeniería en Electrónica

Universidad Tecnológica Nacional
Facultad Regional Córdoba

Resistores

► Definición

- Es aquel elemento que debido a su propiedad física provoca una caída de tensión a sus bornes al ser recorrido por una corriente eléctrica.
- Es aquel que tiene 1 ohm absoluto cuando a sus bornes aparece un potencial de 1 Volt y circula una corriente de 1 Coulomb segundo (Ampere).
 - Hasta 1948, el ohm absoluto → 1.00049Ω

Definición de PPM

- ▶ PPM → Partes por Millón
- ▶ Es una unidad de medida que se refiere a la cantidad de unidades de una determinada sustancia que hay por cada millón de unidades del conjunto.
- ▶ Es un concepto recíproco al de porcentaje.
 - $10.000 \text{ ppm} = 1\%$
- ▶ Esta unidad es usada de manera análoga al porcentaje pero para concentraciones o valores mucho más bajos.

Resistencia Patrón

► Resistencia Patrón

- Es aquel que tiene 1ohm absoluto cuando a sus bornes aparece un potencial de 1Volt y circula una corriente de 1Coulomb en 1 segundo (Ampere).

► Características Generales

- Precisión
- Estabilidad Térmica
- Bajo coeficiente Térmico
- Robusta

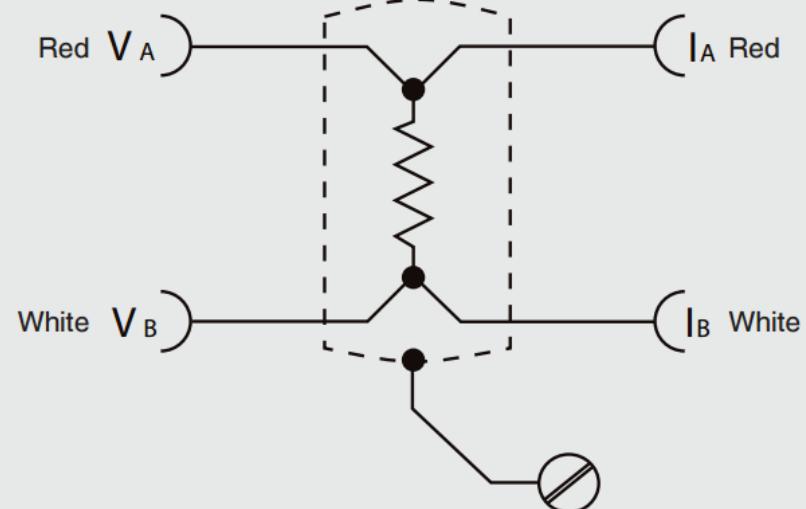


Standard reference resistor, model CER6000, 10 Ω

Resistencia Patrón

- ▶ Tolerancia: ± 10 ppm
- ▶ Coeficiente Temperatura: ± 1 ppm por $^{\circ}\text{C}$
- ▶ Temperatura de Trabajo: 20°C
 - Porque usar un montaje de 4 terminales?

Connections of the reference resistor, model CER6000-RR

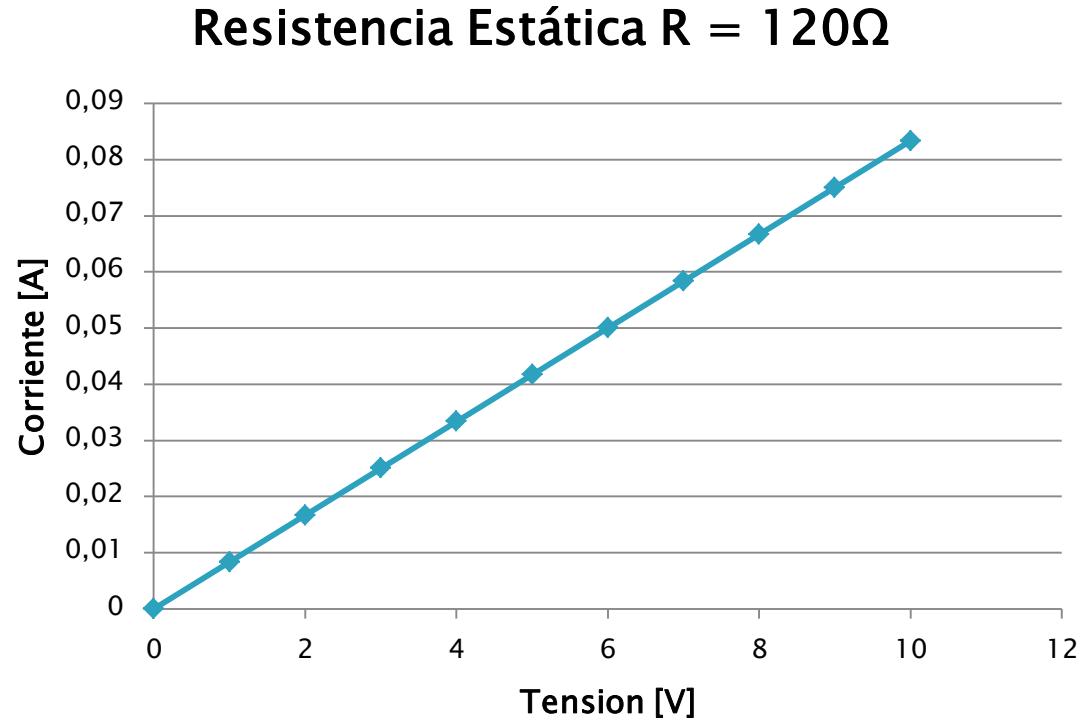


Resistencia Estática

▶ Estática

- Es aquella que cumple directamente con la ley de Ohm.

$$R_{estatica} = \frac{E}{I}$$

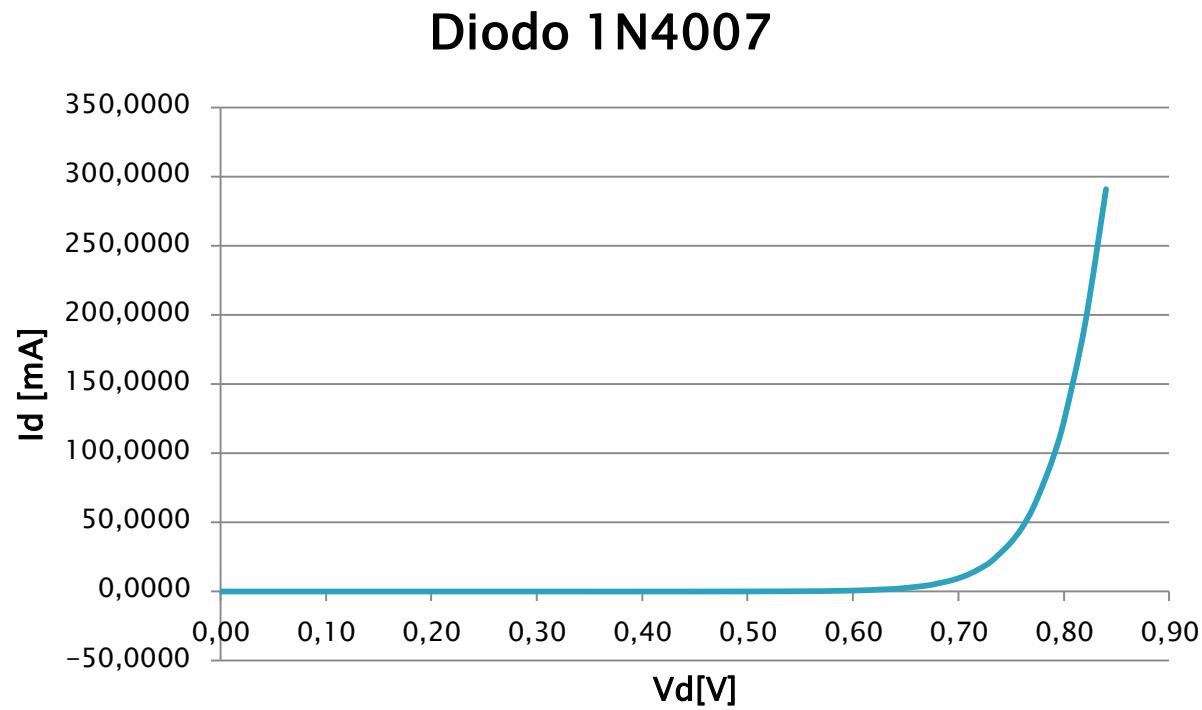


Resistencia Dinámica

► Dinámica

- Es la que resulta de determinar la pendiente a la curva en un determinado punto.

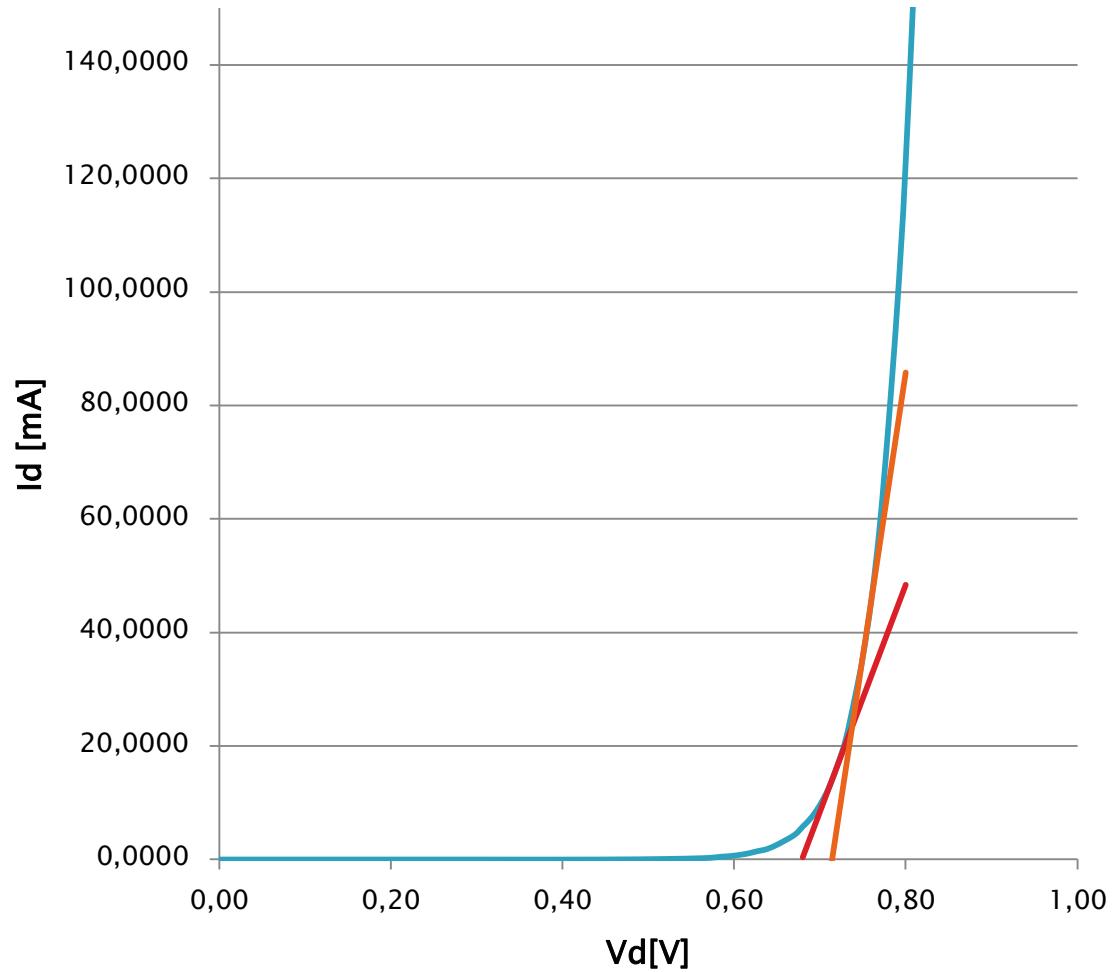
$$R_{dinamica} = \frac{\partial E}{\partial I}$$



Resistencia Dinámica

- ▶ $R_{\text{rojo}} = 16.4 \Omega$
- ▶ $R_{\text{naranja}} = 45.8 \Omega$

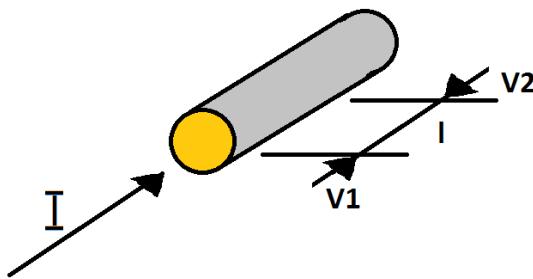
Diodo 1N4007



Resistencia

- ▶ Valor – Depende de las dimensiones geométricas.

$$R = \rho * \frac{l}{S} \rightarrow \text{Resistencia Electrica} \rightarrow [\text{ohm}]$$



$$\rho \rightarrow \text{Resistividad Electrica} \rightarrow \left[\Omega * \frac{\text{mm}^2}{\text{m}} \right]$$

- R depende de la geometría del elemento.
- ρ depende del material

Resistores – Clasificación

▶ FIJAS

- De Carbón
 - De composición
 - De película de carbón
- De película metálica
- De alambre
 - De uso general
 - De precisión
 - De disipación
 - Descubiertos
 - Pintados
 - Cementados
 - Esmaltados

▶ AJUSTABLES (trimpot)

- De composición
 - De uso general
 - De precisión (Multivuelta)
- De alambre

▶ VARIABLES (potenciómetros)

- De composición
- De alambre
- De Precisión
 - Multivuelta
 - Lineales
 - No Lineales
 - De Alta disipación

Resistores

► Código de Colores – Ejemplo

1ra Banda	2da Banda	3er Banda	4ta Banda	5ta Banda	R Ω
Verde	Rojo	Naranja	Marrón	Rojo	
Violeta	Azul	Blanco	Naranja	Marrón	
Yellow	Violeta	Marrón	DORADO		
Yellow	Naranja	Rojo	Rojo	Rojo	

Resistores

► Código de Colores – Ejemplo

1ra Banda	2da Banda	3er Banda	4ta Banda	5ta Banda	R Ω
Verde	Rojo	Naranja	Marrón	Rojo	5230 2%
Violeta	Azul	Blanco	Naranja	Marrón	768000 1%
Yellow	Violeta	Marrón	DORADO		470 5%
Yellow	Naranja	Rojo	Rojo	Rojo	43200 2%

Resistores

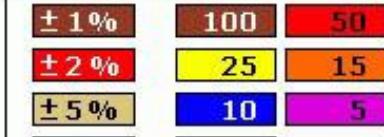
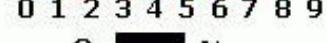
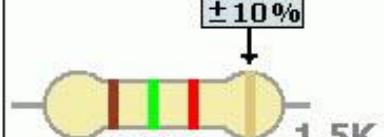
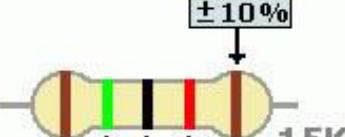
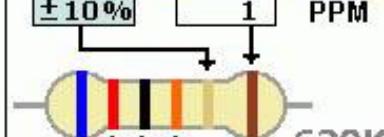
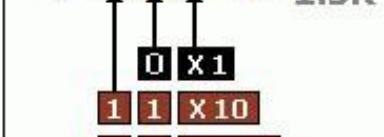
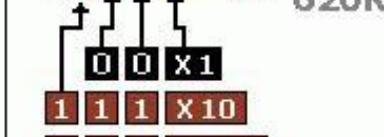
► Código de Colores 5 Bandas

The diagram illustrates the color coding for resistors. At the top, a 4-band resistor is shown with its value labeled as $560k\ \Omega \pm 5\%$. Below it is a table for the 4-band code. At the bottom, a 5-band resistor is shown with its value labeled as $237\ \Omega \pm 1\%$.

COLOR	1 ST BAND	2 ND BAND	3 RD BAND	MULTIPLIER	TOLERANCE	
					(%)	(Letter)
Black	0	0	0	1Ω		
Brown	1	1	1	10Ω	$\pm 1\%$	(F)
Red	2	2	2	100Ω	$\pm 2\%$	(G)
Orange	3	3	3	$1K\Omega$		
Yellow	4	4	4	$10K\Omega$		
Green	5	5	5	$100K\Omega$	$\pm 0.5\%$	(D)
Blue	6	6	6	$1M\Omega$	$\pm 0.25\%$	(C)
Violet	7	7	7	$10M\Omega$	$\pm 0.10\%$	(B)
Grey	8	8	8		$\pm 0.05\%$	
White	9	9	9			
Gold				0.1Ω	$\pm 5\%$	(J)
Silver				0.01Ω	$\pm 10\%$	(K)

Resistores

► Código de Colores 6 Bandas

Código de Colores										Resistencias de 4 Bandas			Resistencias de 5 Bandas			Resistencias de 6 Bandas		
 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 Negro 1 Marrón 2 Rojo 3 Naranja 4 Amarillo 5 Verde 6 Azul 7 Purpura 8 Gris 9 Blanco $\pm 1\%$ Marrón $\pm 2\%$ Rojo $\pm 5\%$ Dorado $\pm 10\%$ Plateado										 $\pm 1\%$ $\pm 2\%$ $\pm 5\%$ $\pm 10\%$ 1.5K			 $\pm 1\%$ $\pm 2\%$ $\pm 5\%$ $\pm 10\%$ 15K			 $\pm 1\%$ $\pm 2\%$ $\pm 5\%$ $\pm 10\%$ 100 25 10 1 PPM 620K		
 0 Negro 1 Marrón 2 Rojo 3 Naranja 4 Amarillo 5 Verde 6 Azul 7 Purpura 8 Gris 9 Blanco $\pm 1\%$ Marrón $\pm 2\%$ Rojo $\pm 5\%$ Dorado $\pm 10\%$ Plateado										 0 x1 1 1 X10 2 2 X100 3 3 X1000 4 4 X10000 5 5 X100000 6 6 X1000000			 00 x1 1 1 1 X10 2 2 2 X100 3 3 3 X1000 4 4 4 X10000 5 5 5 ÷10 6 6 6 ÷100			 00 x1 1 1 1 X10 2 2 2 X100 3 3 3 X1000 4 4 4 X10000 5 5 5 ÷10 6 6 6 ÷100 7 7 7 8 8 8 9 9 9		
 0 Negro 1 Marrón 2 Rojo 3 Naranja 4 Amarillo 5 Verde 6 Azul 7 Purpura 8 Gris 9 Blanco $\pm 1\%$ Marrón $\pm 2\%$ Rojo $\pm 5\%$ Dorado $\pm 10\%$ Plateado										 $\pm 1\%$ $\pm 2\%$ $\pm 5\%$ $\pm 10\%$ 1.5K			 $\pm 1\%$ $\pm 2\%$ $\pm 5\%$ $\pm 10\%$ 15K			 $\pm 1\%$ $\pm 2\%$ $\pm 5\%$ $\pm 10\%$ 100 25 10 1 PPM 620K		
 0 Negro 1 Marrón 2 Rojo 3 Naranja 4 Amarillo 5 Verde 6 Azul 7 Purpura 8 Gris 9 Blanco $\pm 1\%$ Marrón $\pm 2\%$ Rojo $\pm 5\%$ Dorado $\pm 10\%$ Plateado										 $\pm 1\%$ $\pm 2\%$ $\pm 5\%$ $\pm 10\%$ 1.5K			 $\pm 1\%$ $\pm 2\%$ $\pm 5\%$ $\pm 10\%$ 15K			 $\pm 1\%$ $\pm 2\%$ $\pm 5\%$ $\pm 10\%$ 100 25 10 1 PPM 620K		

Resistores

► Código para SMD

Resistencias SMD
con código de 3 dígitos



EJEMPLOS

100

101

221

102

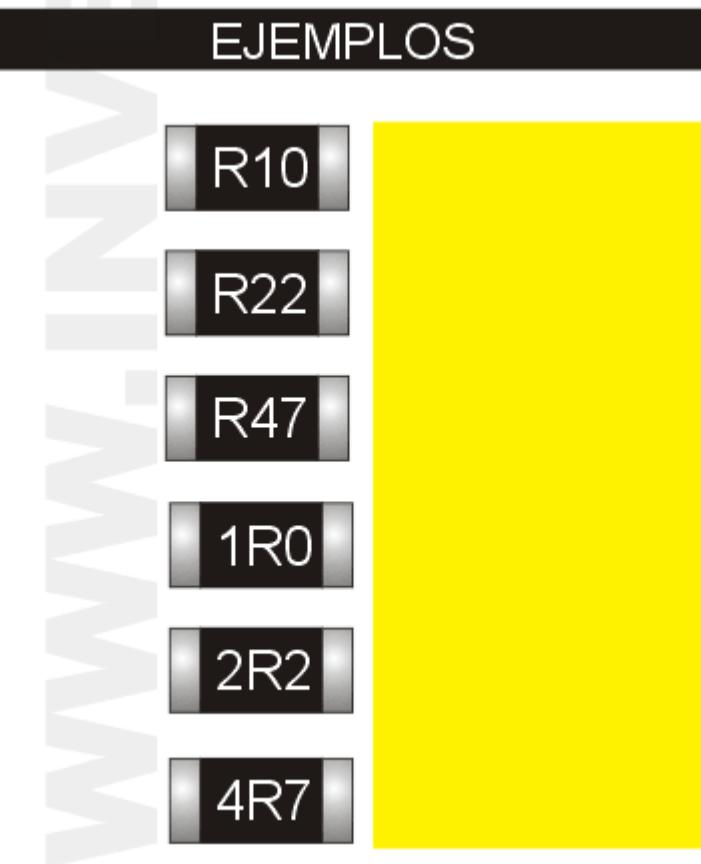
472

103

Resistencias SMD con código de 3 dígitos (valores menores de 10 Ω)

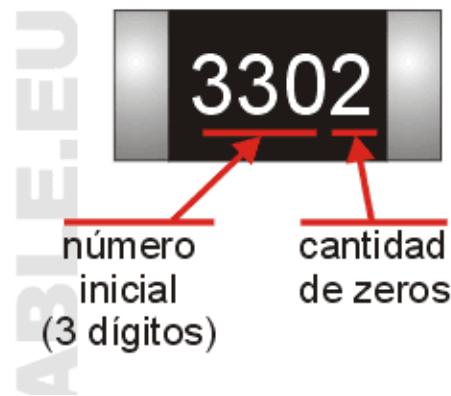


EJEMPLOS



Resistores

Resistencias SMD de precisión
con código de 4 cifras.
Valores iguales o mayores de 100 Ω



EJEMPLOS

1000

4700

1001

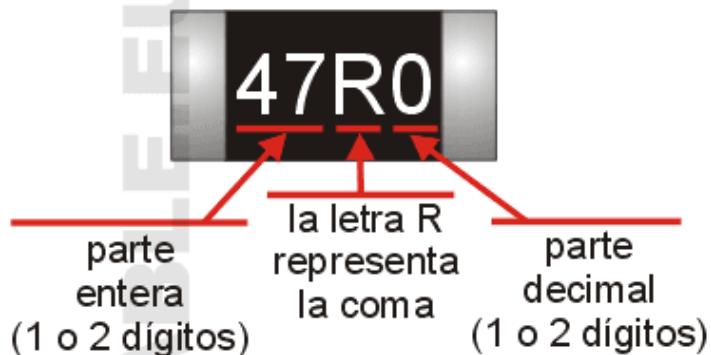
3301

1002

4703

Resistores

Resistencias SMD de precisión
con código de 4 cifras.
Valores menores de 100 Ω

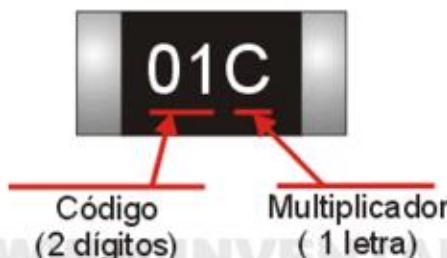


EJEMPLOS



Resistencias SMD con código EIA-96

Resistencias SMD de precisión,
con 1% de tolerancia y con
código EIA-96



Código	Multiplicador
Z	0.001
Y or R	0.01
X or S	0.1
A	1
B or H	10
C	100
D	1000
E	10000
F	100000

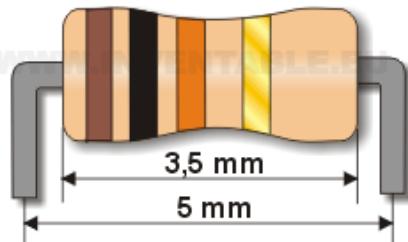
Código	Valor	Código	Valor	Código	Valor	Código	Valor
01	100	25	178	49	316	73	562
02	102	26	182	50	324	74	576
03	105	27	187	51	332	75	590
04	107	28	191	52	340	76	604
05	110	29	196	53	348	77	619
06	113	30	200	54	357	78	634
07	115	31	205	55	365	79	649
08	118	32	210	56	374	80	665
09	121	33	215	57	383	81	681
10	124	34	221	58	392	82	698
11	127	35	226	59	402	83	715
12	130	36	232	60	412	84	732
13	133	37	237	61	422	85	750
14	137	38	243	62	432	86	768
15	140	39	249	63	442	87	787
16	143	40	255	64	453	88	806
17	147	41	261	65	464	89	825
18	150	42	267	66	475	90	845
19	154	43	274	67	487	91	866
20	158	44	280	68	499	92	887
21	162	45	287	69	511	93	909
22	165	46	294	70	523	94	931
23	169	47	301	71	536	95	953
24	174	48	309	72	549	96	976

EJEMPLOS EIA-96

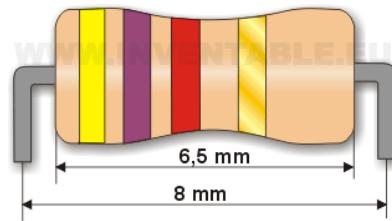


Resistores - Dimensiones

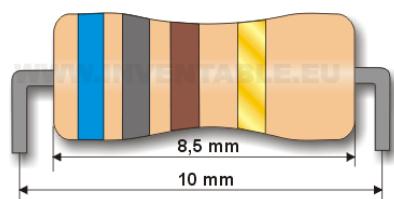
Res. 1/8 W



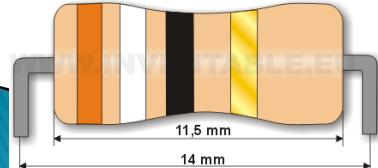
Res. 1/4 W



Res. 1/2 W



Res. 1 W



Dimensiones de las resistencias SMD
y potencias respectivas



Encapsulado	Dimensiones en pulgadas (L×W)	Dimensiones en mm (L×W)	Potencia
0201	0.024" × 0.012"	0.6 mm × 0.3 mm	1/20W
0402	0.04" × 0.02"	1.0 mm × 0.5 mm	1/16W
0603	0.063" × 0.031"	1.6 mm × 0.8 mm	1/16W
0805	0.08" × 0.05"	2.0 mm × 1.25 mm	1/10W
1206	0.126" × 0.063"	3.2 mm × 1.6 mm	1/8W
1210	0.126" × 0.10"	3.2 mm × 2.5 mm	1/4W
1812	0.18" × 0.12"	4.5 mm x 3.2 mm	1/3W
2010	0.20" × 0.10"	5.0 mm × 2.5 mm	1/2W
2512	0.25" × 0.12"	6.35 mm × 3.2 mm	1W

Resistores – Características

- ▶ Valor nominal
- ▶ Tolerancia
- ▶ Potencia o disipación nominal
- ▶ Coeficiente térmico (C_t)
- ▶ Tensión máxima. (V_{max})
- ▶ Coeficiente de Tensión
- ▶ Ruido
- ▶ Temperatura nominal (T_n)
- ▶ Temperatura máxima de funcionamiento (T_{max})
- ▶ Frecuencia de Trabajo
- ▶ Estabilidad
- ▶ Soldabilidad
- ▶ Humedad

Características Principales

▶ Valor nominal

- Es el valor que indica el fabricante, el cual será diferente al real.
- Se utiliza el código de colores o alfanumérico para definir el valor nominal.

▶ Tolerancia

- Es un valor que indica en forma porcentual cual es la variación del valor nominal. Existen varios rangos de tolerancia.
 - 1%
 - 2%
 - 5%
 - Si no se indica → 20%

Valores normalizados de los resistores para diferentes tolerancias													
20%	1.00	1.50	2.20	3.30	4.70	6.80							
10%	1.00	1.20	1.50	1.80	2.20	2.70	3.30	3.90	4.70	5.60	6.80	8.20	
5%	1.00	1.10	1.20	1.30	1.50	1.60	1.80	2.00	2.20	2.40	2.70	3.00	3.30
	3.60	3.90	4.30	4.70	5.10	5.60	6.20	6.80	7.50	8.20	9.10		
2%	1.00	1.05	1.10	1.15	1.21	1.27	1.33	1.40	1.47	1.54	1.62	1.69	1.78
	1.87	1.96	2.05	2.15	2.26	2.37	2.49	2.61	2.74	2.87	3.01	3.16	3.32
	3.48	3.65	3.83	4.02	4.22	4.42	4.64	4.87	5.11	5.36	5.62	5.90	6.19
	6.49	6.81	7.15	7.50	7.87	8.25	8.66	9.09	9.53				
1%	1.00	1.02	1.05	1.07	1.10	1.13	1.15	1.18	1.21	1.24	1.27	1.30	1.33
	1.37	1.40	1.43	1.47	1.50	1.54	1.58	1.62	1.65	1.69	1.74	1.78	1.82
	1.87	1.91	1.96	2.00	2.05	2.10	2.15	2.21	2.26	2.32	2.37	2.43	2.49
	2.55	2.61	2.67	2.74	2.80	2.87	2.94	3.01	3.09	3.16	3.24	3.32	3.40
	3.48	3.57	3.65	3.74	3.83	3.92	4.02	4.12	4.22	4.32	4.42	4.53	4.64
	4.75	4.87	4.99	5.11	5.23	5.36	5.49	5.62	5.76	5.90	6.04	6.19	6.34
	6.49	6.65	6.81	6.98	7.15	7.32	7.50	7.68	7.87	8.06	8.25	8.45	8.66
	8.87	9.09	9.31	9.53	9.76								
0.5%	1.00	1.01	1.02	1.04	1.05	1.06	1.07	1.09	1.10	1.11	1.13	1.14	1.15
0.25%	1.17	1.18	1.20	1.21	1.23	1.24	1.26	1.27	1.29	1.30	1.32	1.33	1.35
0.1%	1.37	1.38	1.40	1.42	1.43	1.45	1.47	1.49	1.50	1.52	1.54	1.56	1.58
	1.60	1.62	1.64	1.65	1.67	1.69	1.72	1.74	1.76	1.78	1.80	1.82	1.84
	1.87	1.89	1.91	1.93	1.96	1.98	2.00	2.03	2.05	2.08	2.10	2.13	2.15
	2.18	2.21	2.23	2.26	2.29	2.32	2.34	2.37	2.40	2.43	2.46	2.49	2.52
	2.55	2.58	2.61	2.64	2.67	2.71	2.74	2.77	2.80	2.84	2.87	2.91	2.94
	2.98	3.01	3.05	3.09	3.12	3.16	3.20	3.24	3.28	3.32	3.36	3.40	3.44
	3.48	3.52	3.57	3.61	3.65	3.70	3.74	3.79	3.83	3.88	3.92	3.97	4.02
	4.07	4.12	4.17	4.22	4.27	4.32	4.37	4.42	4.48	4.53	4.59	4.64	4.70
	4.75	4.81	4.87	4.93	4.99	5.05	5.11	5.17	5.23	5.30	5.36	5.42	5.49
	5.56	5.62	5.69	5.76	5.83	5.90	5.97	6.04	6.12	6.19	6.26	6.34	6.42
	6.49	6.57	6.65	6.73	6.81	6.90	6.98	7.06	7.15	7.23	7.32	7.41	7.50
	7.59	7.68	7.77	7.87	7.96	8.06	8.16	8.25	8.35	8.45	8.56	8.66	8.76
	8.87	8.98	9.09	9.19	9.31	9.42	9.53	9.65	9.76	9.88			

Características Principales

▶ Potencia Nominal o Disipación Nominal

- Es la potencia que soporta sin variar su valor, durante un tiempo de vida especificado, a temperatura nominal de servicio.
- Según el tamaño será la potencia a disipar.
- Los valores normalizados
 - $1/8$, $1/2$, $1/4$, 1, 2, 4, 8, etc

Características Principales

▶ Coeficiente térmico (C_t)

- Define la variación de la resistencia en base al cambio de temperatura al que se somete al dispositivo.
- Se especifica como un porcentual → % / °C
- Se especifica en relación a partes → ppm/°C
- Puede ser de variación lineal
- Puede ser de variación no lineal.

Características Principales

▶ Tensión máxima. (V_{max})

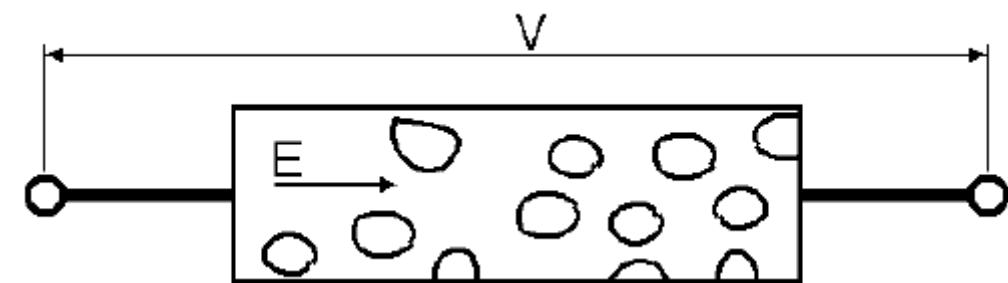
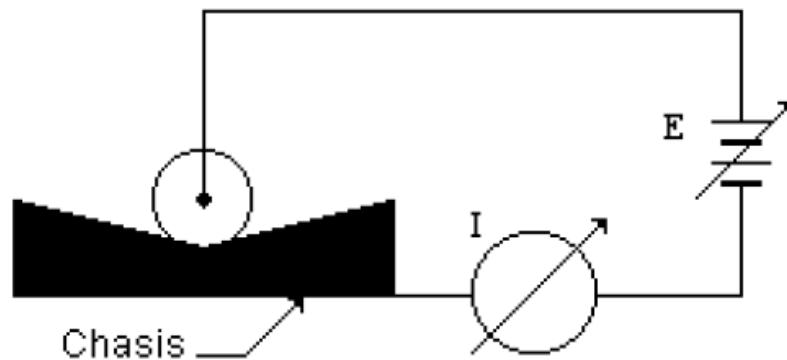
- Es el mayor potencial DC o RMS a 50Hz que se puede aplicar a sus bornes, que no permita superar la temperatura nominal de funcionamiento.
- Dependerá del material y la configuración física del resistor.
- Si aumenta la temperatura ambiente se debe recalcular la tensión máxima.

$$V_{MAX} = \sqrt{P_{MAX} * R_N}$$

Resistores – Resumen

► Máxima Tensión de Trabajo

- Tensión de Aislación
- Tensión entre terminales. Rigidez Dieléctrica.



Características Principales

▶ Coeficiente de Tensión

- Define la variación de la resistencia en base a las variaciones de la tensión aplicada a sus bornes.
- Se expresa en por %/V
- Se expresa en ppm/V
- Valores característicos
 - -700 ppm/V → resistencias de composición de carbón
 - +5 a 30 ppm/V → película de carbón y Cermet
 - 10 a 0,05 ppm/V → película metálica y películas de óxidos
 - Hasta 400 ppm/V → película gruesa.

Características Principales

▶ Ruido

- Es una tensión generada por el resistor
- El ruido se denomina ruido térmico o de Johnson
 - Movimiento aleatorio de electrones por agitación térmica
- Es función de la temperatura

$$e^2(RMS) = 4 * K * T * \Delta f * R$$

$$e(RMS) = 7.4 * 10^{-12} * \sqrt{R * T * \Delta f}$$

- K → Constante de Boltzman
 - 1.38×10^{-23} Ws
- T → Temperatura en °K
- R → Resistencia nominal
- Δf → Ancho de Banda

Características Principales

▶ Ruido

- Existe ruido debido a la circulación de corriente
 - Se denomina de Bernamont
- Se denomina en forma general Índice de Ruido y se define como:

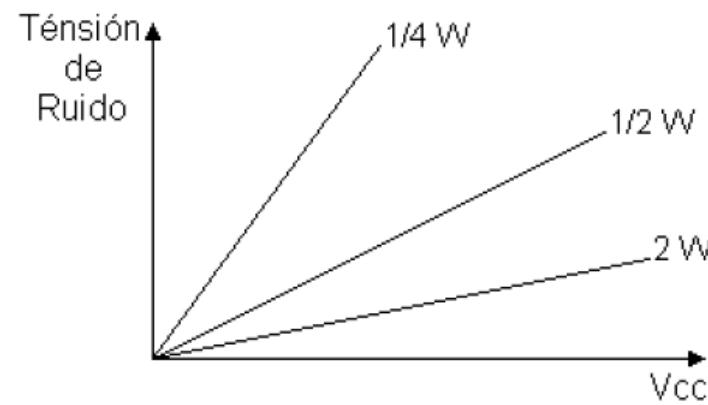
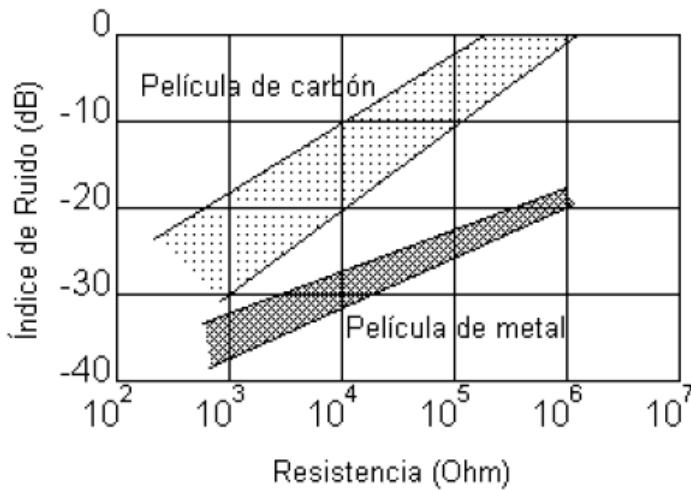
$$\text{Indice Ruido } dB = 20 \log_{10} \frac{\text{Voltaje de Ruido (uV)}}{\text{Voltaje de CC (V)}}$$

$$\text{Indice Ruido } dB = 20 \log_{10} \frac{e(RMS)}{VCC}$$

Características Principales

- ▶ Ruido en un determinado rango de frecuencias

$$e(\text{RMS}) = V_{cc} * 10^{\frac{\text{Indice Ruido}_{dB}}{20}} * \sqrt{\log \frac{f_2}{f_1}}$$



Características Principales

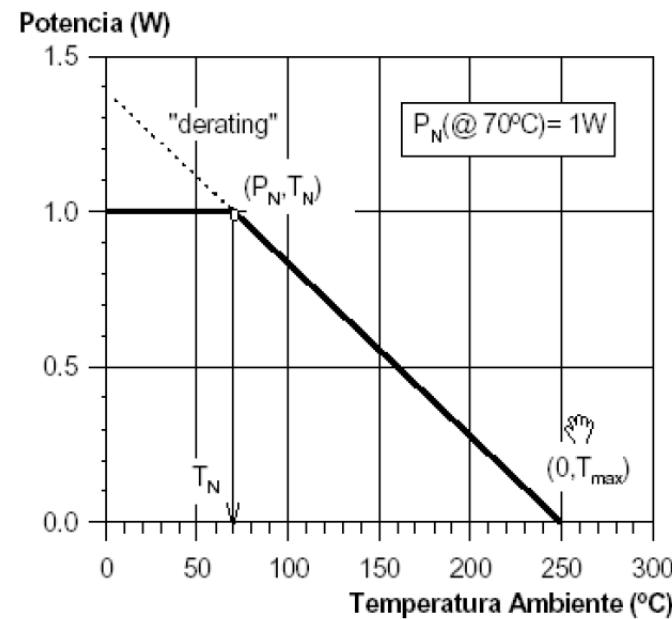
▶ Ruido

- Es importante para
 - Valores de Resistencia Elevada
 - Tensiones Continuas Elevadas
 - Circuitos con Alta Ganancia
 - Aplicaciones en frecuencias de audio
 - Aparecen zumbidos

Características Principales

► Máxima temperatura de Trabajo

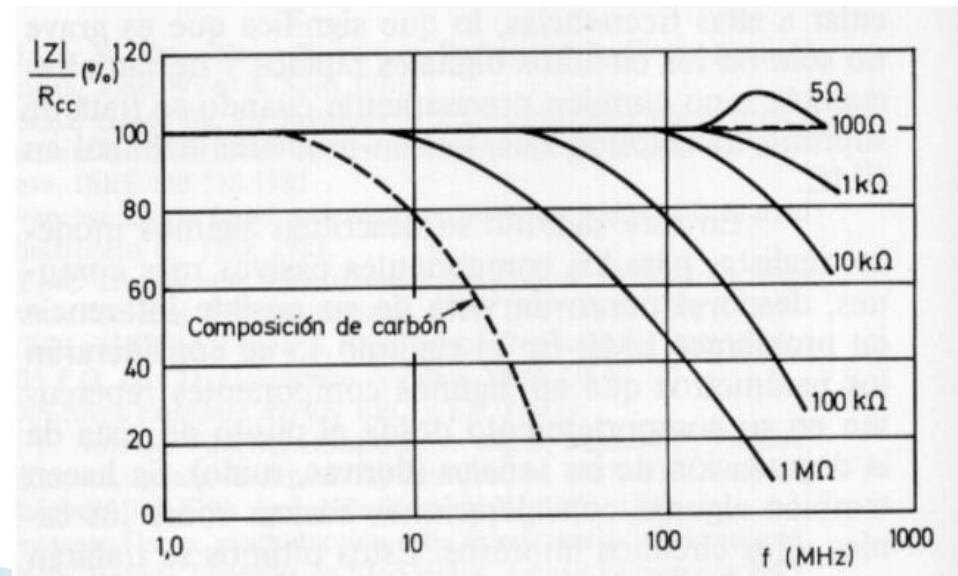
- Es la máxima temperatura a la que puede trabajar el resistor sin variar sus características.
- Se tiene en cuenta la temperatura Ambiente
- Se debe disminuir la potencia de trabajo si aumenta la temperatura ambiente.



Características Principales

▶ Frecuencia de Trabajo

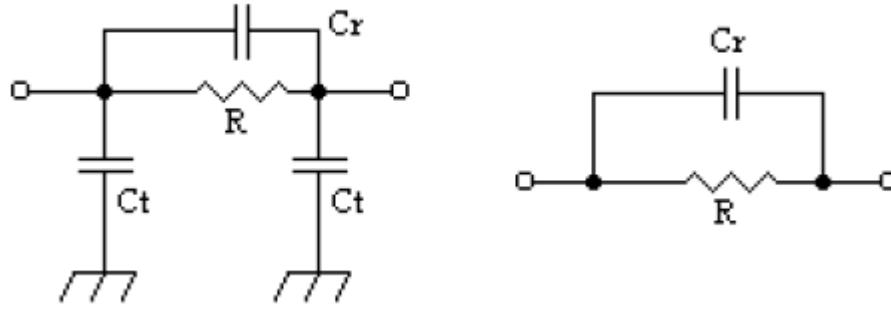
- Es la máxima frecuencia a la que puede trabajar el resistor.
- Los de alambre trabajan a menor frecuencia que los de composición.
- En el gráfico se muestra Composición de carbón vs película metálica



Características Principales

► Efectos de la Frecuencia

- Resistores de composición
 - Al aumentar la F disminuye su resistencia
 - Circuito equivalente



$$R_e = \frac{R}{1 + (\varpi * C * R)^2}$$

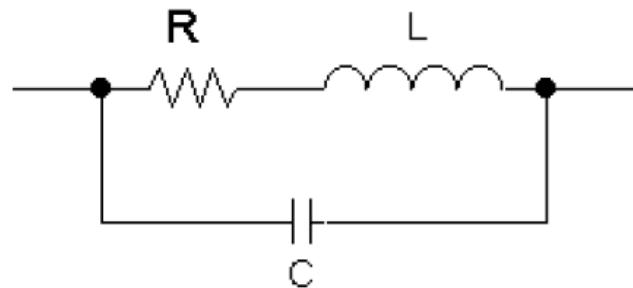
$$C_e = \frac{\varpi * C * R}{1 + (\varpi * C * R)^2}$$

Características Principales

▶ Efectos de la Frecuencia

- Resistores de Alambre

- Aparece una L de elevado valor debido a su forma constructiva.
- Circuito equivalente
 - C :capacidad distribuida
 - Valor típico → 100pF
 - L: inductancia
 - Valor típico →10uHy
 - Frecuencia de Resonancia $R=50K\Omega$
 - Frec: 3 – 5 MHz
 - Q: 5 – 10



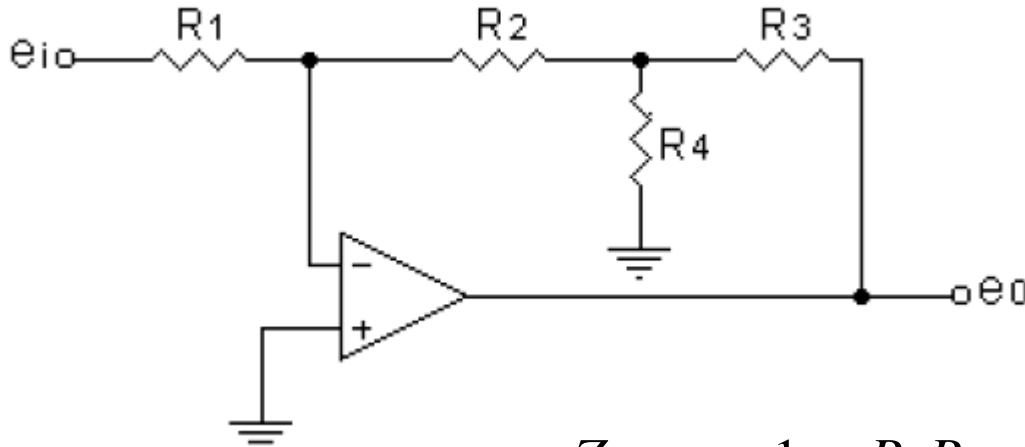
Características Principales

▶ Efectos de la Frecuencia

- Resumen
 - Resistores de Carbón → Usar hasta 10MHz
 - Resistores de Alambre → Usar hasta centenas de KHz
 - Resistores Especiales → Usar hasta 500MHz
- Mayor valor de R mayor ruido.
 - Se utilizan para altas ganancias en amplificadores operacionales redes T.

Características Principales

- ▶ Efectos de la Frecuencia
 - Ejemplo de USO red T



$$R_2 = 180K\Omega$$

$$R_3 = 180K\Omega$$

$$R_4 = 10K\Omega$$

$$\frac{e_o}{e_{oi}} = -\frac{Z_{sc}}{R_1} = -\frac{1}{R_1} * \frac{R_2R_3 + R_2R_4 + R_3R_4}{R_4}$$

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

Características Principales

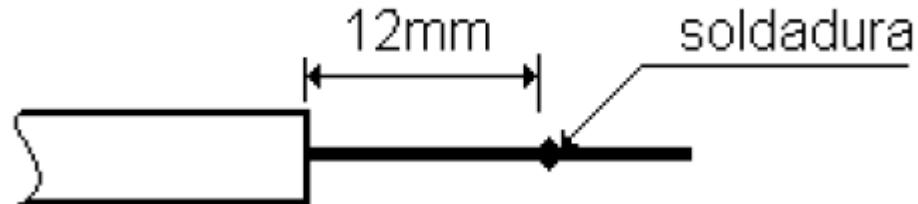
▶ Estabilidad

- Es la variación % máxima
 - Luego de un determinado número de horas
 - A 0°C
 - A 60% de humedad
 - A tensión Nominal

Resistores – Resumen

▶ Soldabilidad

- Variación permanente de la resistencia debido al calor del soldador.
- Pruebas con soldador de 120W a 350°C
- Duración: 15 segundos
- Punto de soldadura: 12mm del cuerpo
- Valores típicos de deriva de la resistencia nominal:
 - Resistores de composición → 5%
 - Pirolíticos → 0,5 a 1%
 - Alambre → Sin variación



Resistores – Resumen

► Humedad

- Pruebas
- Duración: 250 horas
- Humedad: 95%
- Valores típicos de deriva de la resistencia nominal:
 - Resistores de composición → 10 al 15%
 - Pirolíticos → 5%
 - Alambre → Sin variación

Resistores – Resumen

▶ Fatiga

- Define la variación del valor de R luego de trabajar 1000 horas a 70°C, 60% de humedad y a tensión nominal.

Tipo	Variación Porcentual
Resistor de Composición	25%
Pirolíticos	2%
Película Metálica	1%
Alambre	1%

Resistores – Clasificación

▶ FIJAS

- De Carbón
 - De composición
 - De película de carbón
- De película metálica
- De alambre
 - De uso general
 - De precisión
 - De disipación
 - Descubiertos
 - Pintados
 - Cementados
 - Esmaltados

▶ AJUSTABLES

- De composición
 - De uso general
 - De precisión (Multivuelta)
- De alambre

▶ VARIABLES

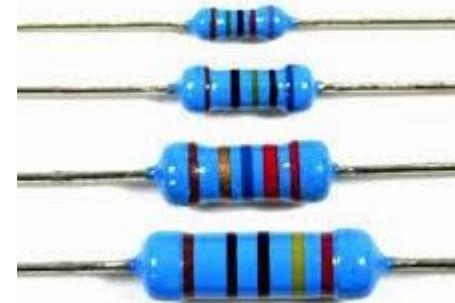
- De composición
- De alambre
- De Precisión
 - Multivuelta
 - Lineales
 - No Lineales
 - De Alta disipación

Resistores – Fijos

- De Carbón
 - De composición
 - Reducido costo
 - No muy grandes potencias
 - Coeficiente térmico apreciable en relación a las de Alambre
 - De película de carbón
 - Pirolíticas
- De película metálica
 - Mejor disipación vs composición
 - Bajo Valor → Ajuste del Espesor de la película
 - Elevado Valor → Espiralado de la película
 - Inductancia aumenta con el valor de la resistencia
 - Alta temperatura de Trabajo
 - Coeficientes de temperatura Bajos

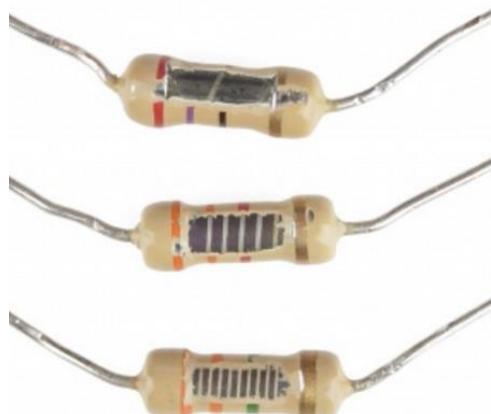
Resistores - Fijos

Composición



Película Metálica

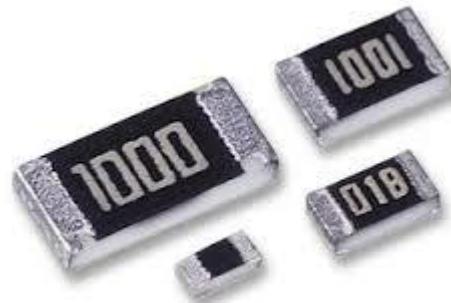
Composición Pirolítico



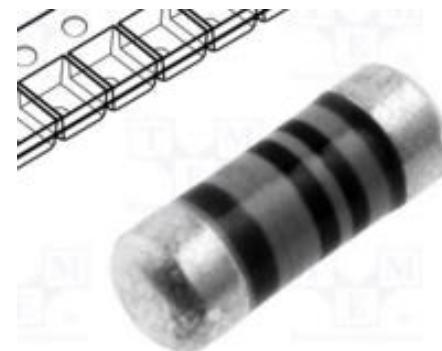
Película Delgada (Especial)

Resistores Fijos SMD

- ▶ SMD



- ▶ Minimelf – Metal electrode leadless face



- ▶ Micromelf

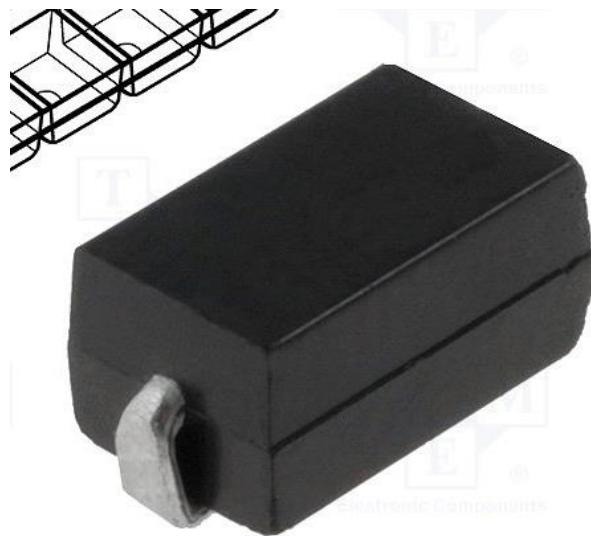


Resistores – Fijos

- De alambre
 - 5 a 300W
 - Alta Estabilidad
 - 0,1 a 500KΩ
 - Materiales base que se usan
 - Nicrome o Kantal → Altas temperaturas
 - Manganina o Constantán → Bajo Coeficiente térmico
 - Tipos
 - De uso general
 - De precisión
 - De disipación
 - Descubiertos
 - Pintados
 - Hasta 200°C
 - Cementados
 - Hasta 150°C
 - Esmaltados
 - Hasta 300°C

Resistores - Alambre

► De alambre



Alambre SMD



Cementados

Resistores - Alambre



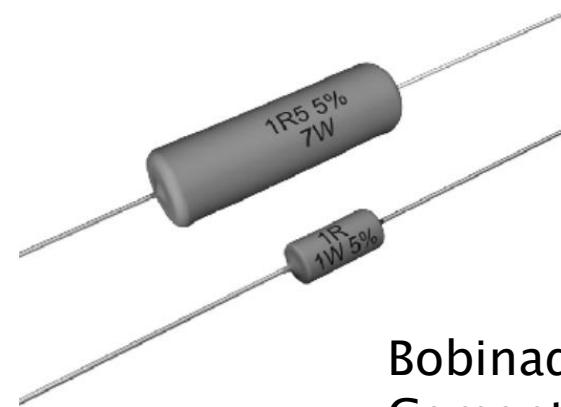
Bobinados



Bobinados
Con Disipador



Bobinados
Con disipador



Bobinados
Cementados

Resistores – Clasificación

▶ Potencia vs Encapsulado

Rango Potencia	Tipo Encapsulado
1W – 5W	Bobinado THT
5W – 7W	Bobinado THT – Cementado
7W – 40W	Bobinado THT – Cementado
15W – 100W	Bobinado con Disipador
80W	Bobinado
200W	Bobinado

Resistores – Comparación

► Tolerancia

Tipo	Rango		
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	$\pm 5\%$	$\pm 1\%$	
Alambre de precisión	$\pm 0.1\%$	$\pm 0.01\%$	

Resistores – Comparación

► Disipación a 70°C

Tipo	Rango
De composición	1/6 a 2.5W
Película de Carbón Pirolíticas	1/8 a 2W
Alambre	5 a 200W

Resistores – Comparación

► Máxima Temperatura de Trabajo

Tipo	Rango
De composición	115°C
Pirolíticas	150°C
Película Metálica	175°C
Alambre Pintado	130 a 150°C
Alambre Vitrificado	300 a 400°C

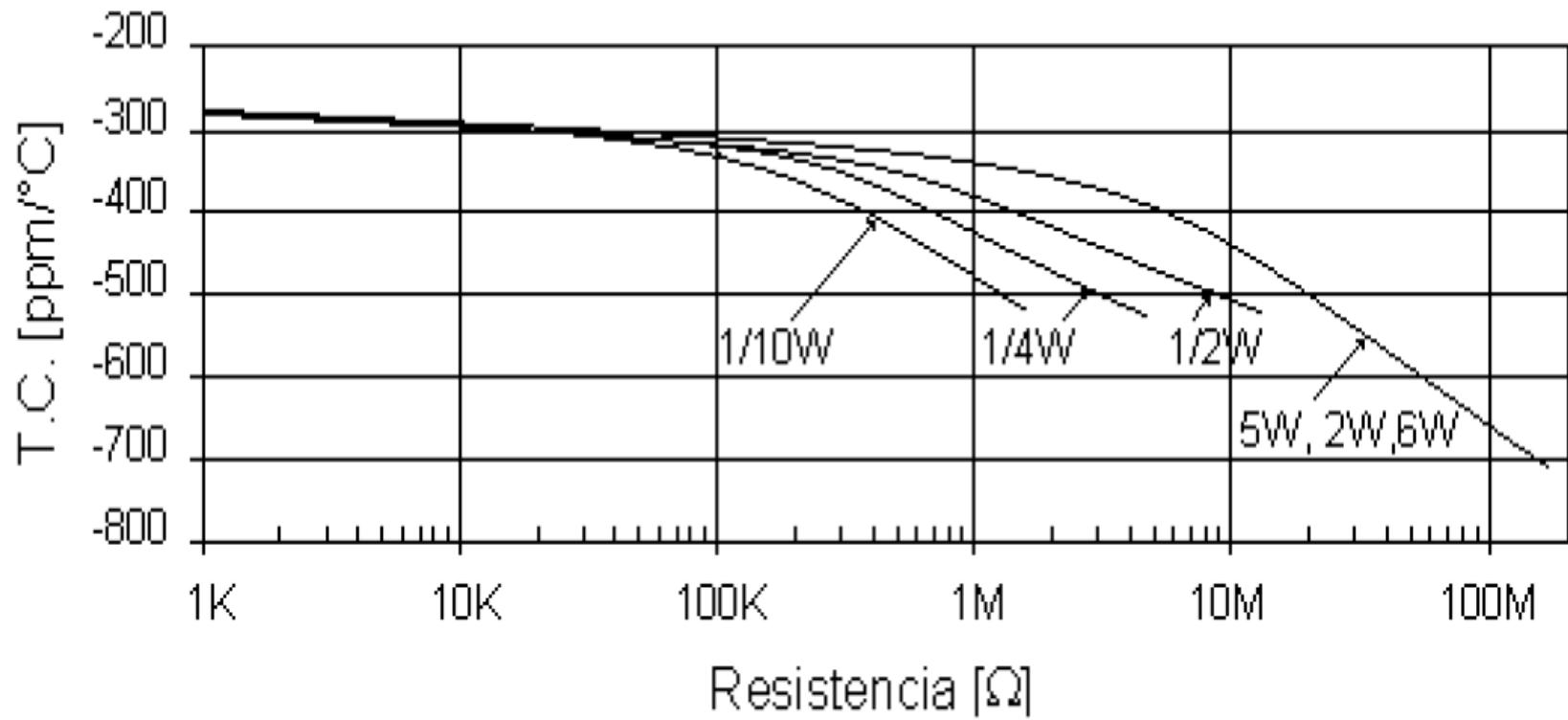
Resistores – Comparación

► Coeficiente Térmico

Tipo	Rango
Pirolítico	-0.02 a -0.1 %/ $^{\circ}\text{C}$
Película Metálica	± 0.01 5/ $^{\circ}\text{C}$
Alambre	+0.2 a 0.001 %/ $^{\circ}\text{C}$

Resistores – Comparación

▶ Coeficiente Térmico resistencias Pirolíticas



Resistores – Comparación

- ▶ Estabilidad luego de 1 año

Tipo	Rango
Resistor de Composición	5%
Pirolíticas	0.5%
Película Metálica	0.01%

Resistores – Comparación

- ▶ Máxima Tensión de Trabajo
 - Valores

Disipación	1/8	1/4	1/2	1	2
Max. 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

Tecnología Electrónica

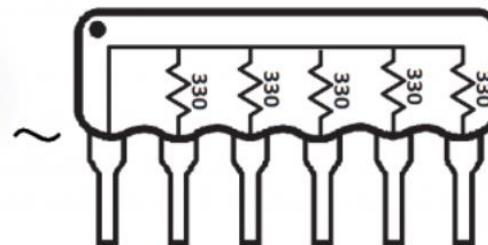
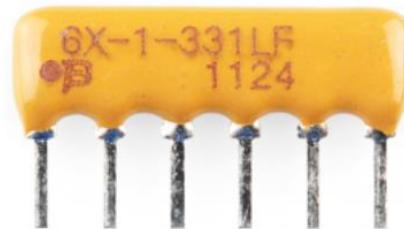
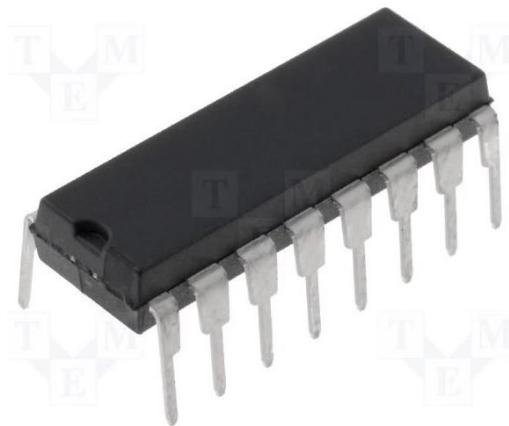
Ingeniería en Electrónica

Universidad Tecnológica Nacional
Facultad Regional Córdoba

Resistores Integrados

▶ Película Delgada – Thin Film

- Película de hasta 5 micrómetros
- NiCromo –Cromo cobalto – Nitruro de Tantalo
- Gran homogeneidad entre las resistencias
- Tolerancia: ± 1
- Coeficiente Térmico: 50 ppm/ $^{\circ}\text{C}$
- Disipación Total: 1,25W
- Disipación Individual: 1/8W
- Valores: 50 Ω – 100K Ω

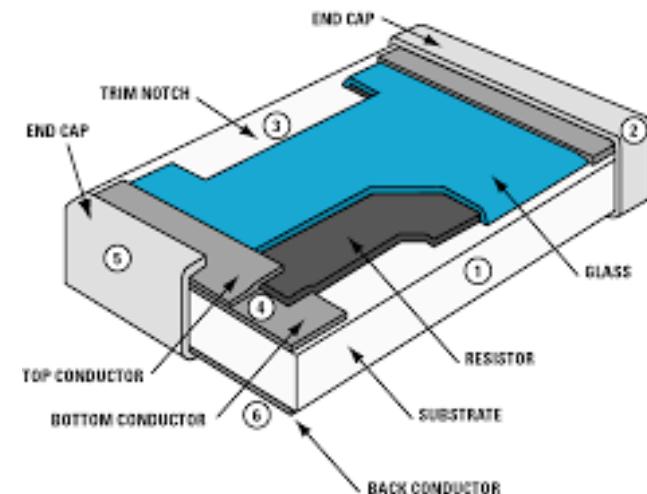


Un conjunto de cinco resistencias de 330 Ω unidas en una punta.

Resistores Integrados

▶ Película Gruesa – Thick Film

- Película mayor a 5 micrómetros.
- Tolerancia: $\pm 2\%$
- Coeficiente de Temperatura: $\pm 300\text{ppm}/^\circ\text{C}$
- Disipación Total: 1 a 3W
- Disipación Individual: 1/8W
- Valores: $20\Omega - 1M\Omega$

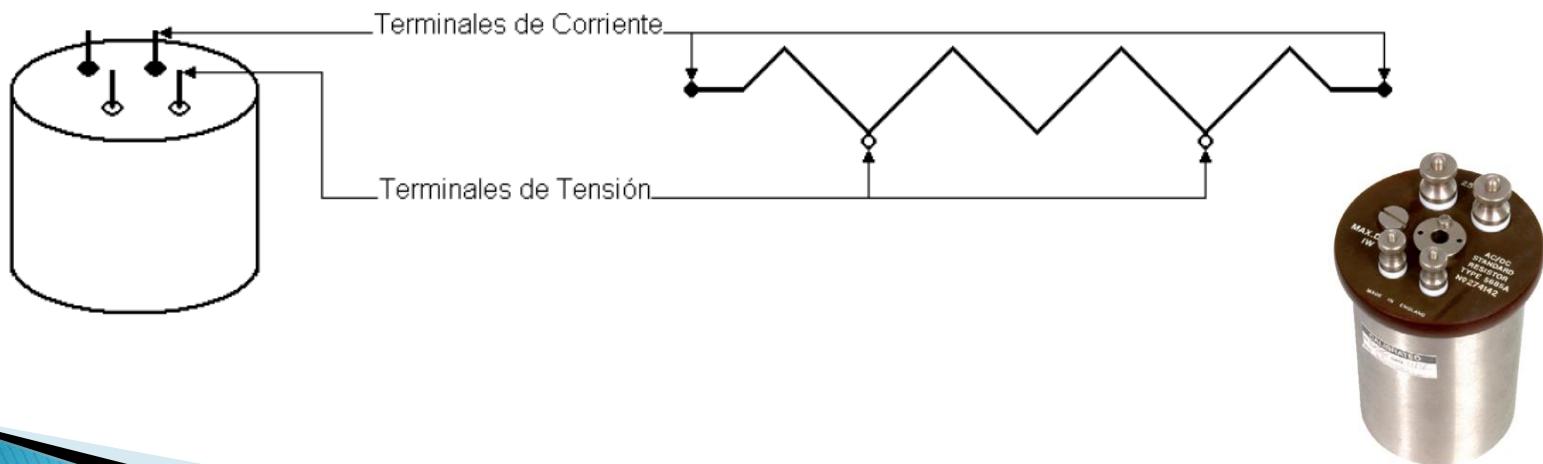


ANATOMY OF A HIGH RELIABILITY THICK FILM CHIP RESISTOR

Resistores

► De precisión

- Tolerancia: 0.005 a 0.1%
- Coeficiente Térmico: +10 a 50 ppm/°C
- De Alambre
- Bajo Ruido
- Uso en bajas frecuencias

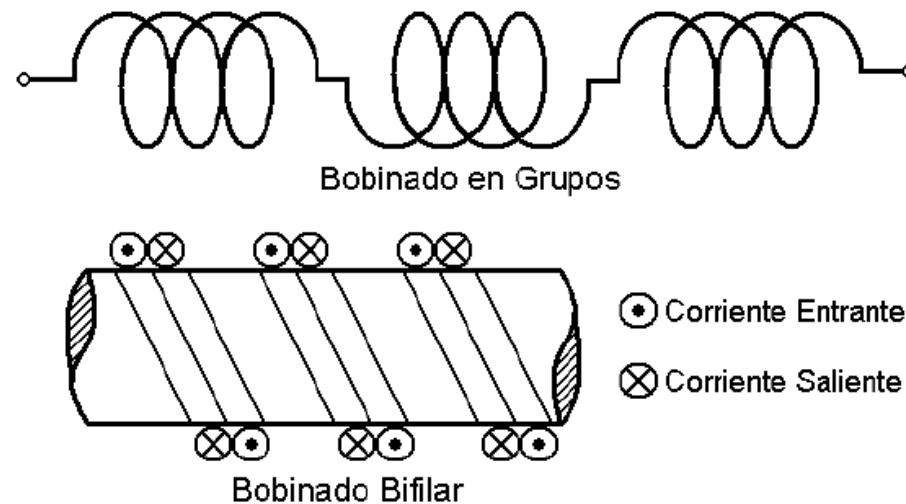


Standard reference resistor, model CER6000, 10 Ω

Resistores

► De precisión

- Para disminuir efecto Inductivo



Resistores

▶ Para Alta Tensión

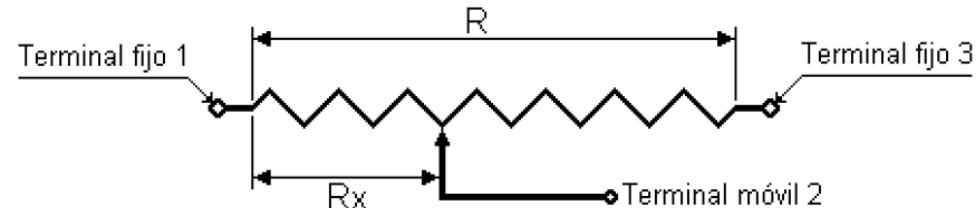
- Vmax: 600 a 30KV
- Tolerancia: $\pm 1\%$
- Coeficiente Térmico: $\pm 80 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$
- Potencia: 0.5 a 15W
- Resistencia de Aislación: $100\text{M}\Omega$
- Caddock's posee modelos No inductivos



Resistores Ajustables

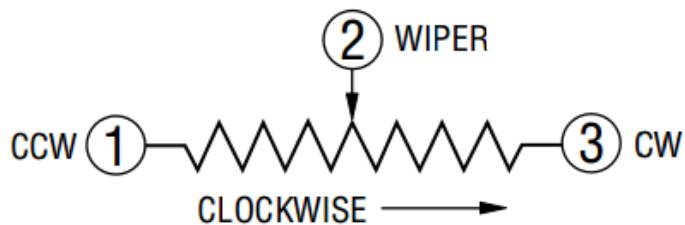
► Características Generales

- Son resistores de tres terminales
- Para usar una **Única vez** – **RESET**
- 1 vuelta
- Multivueltas
- Materiales
 - Composición de Carbón
 - De plástico
 - Película de carbón o metálica
 - Cermet (cerámica – metal)

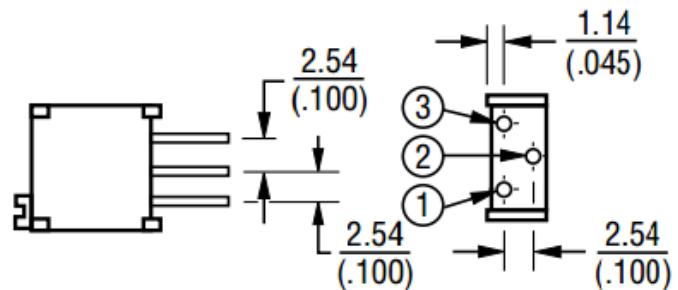


Resistores Ajustables

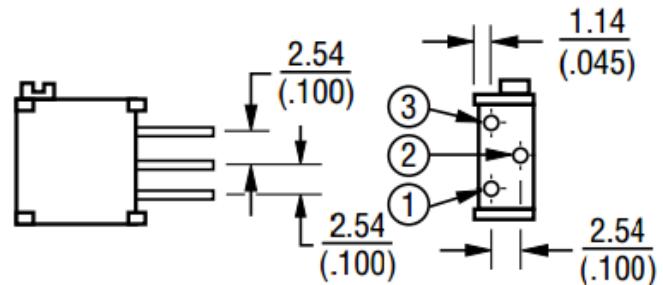
- Para ajustar en el sentido de las agujas del reloj.
 - El terminal indicado como CW se conecta al potencial mas alto
 - Ejemplo BOURNS 3296



3296Y

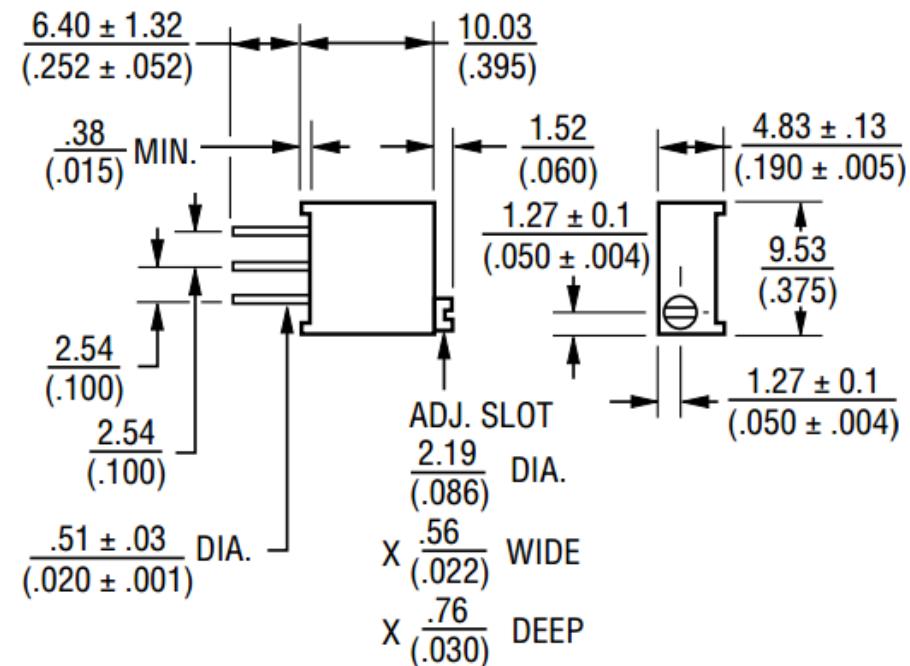


3296Z

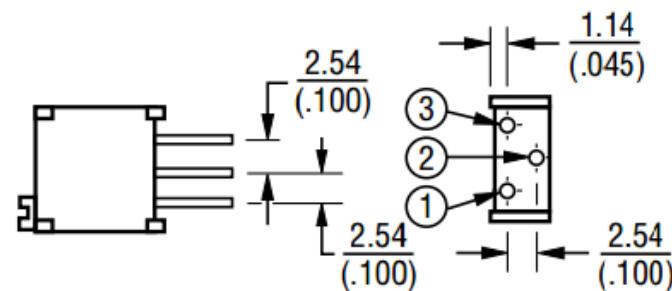


Product Dimensions

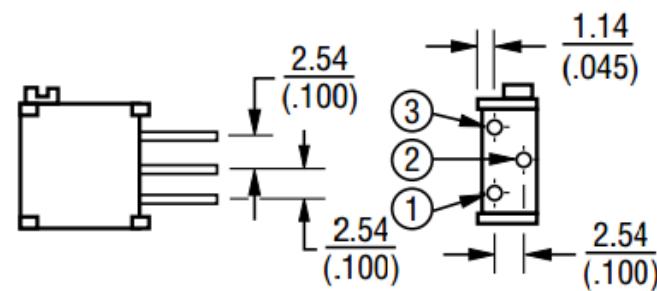
Common Dimensions



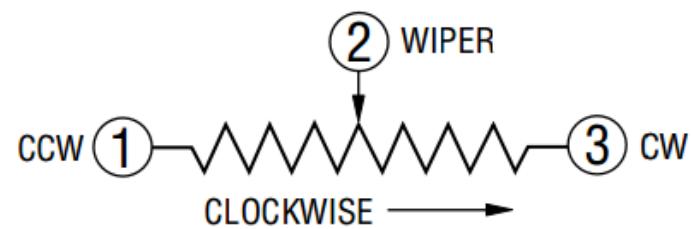
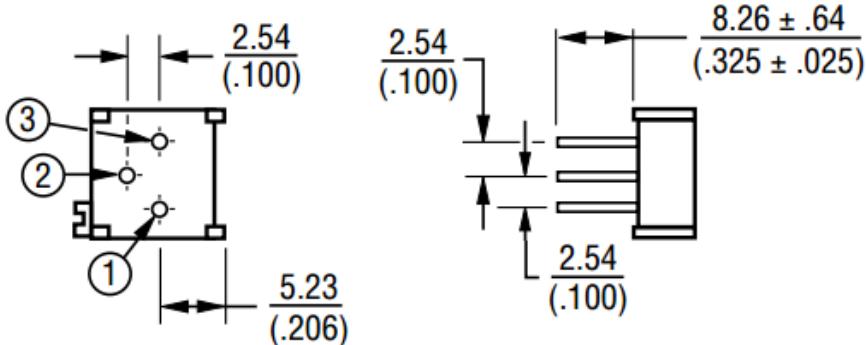
3296Y



3296Z



3296P



DIMENSIONS: $\frac{\text{MM}}{\text{(INCHES)}}$

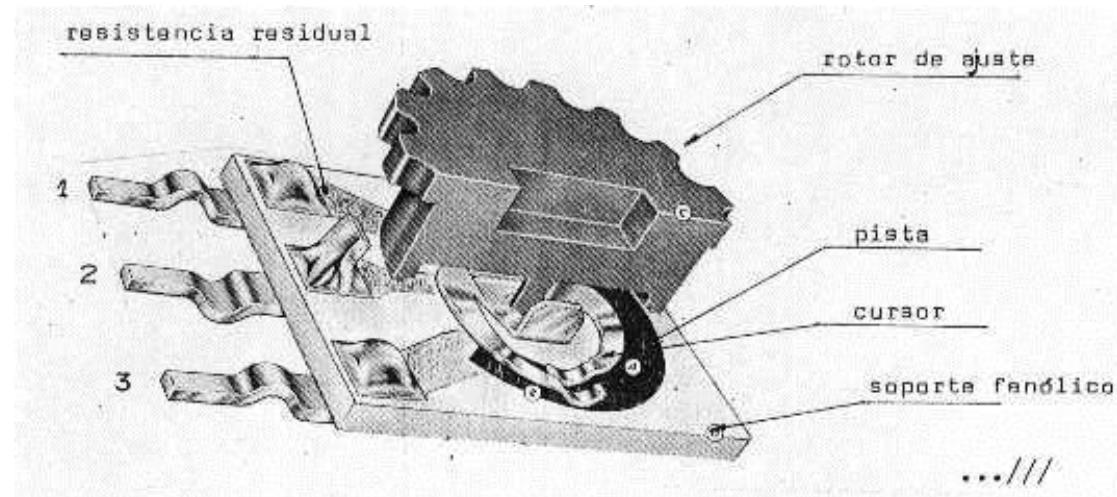
Resistores Ajustables

- Resistencia Residual

- Es la que queda al poner el cursor en el extremo mas bajo de resistencia.

- Valores Normalizados EIA

- Composicion → 5Ω o 1%
- Película → 5Ω o 2.5%
- Cermet → 5Ω o 1%
- Alambre → 5Ω o 1%



Resistores Ajustables

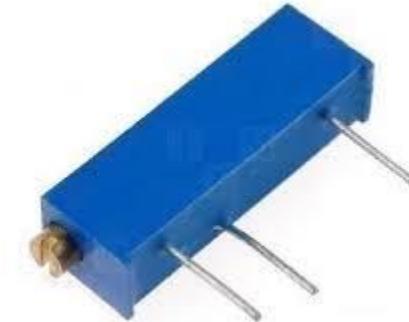
- ▶ De composición
 - Económico.
 - Pista al descubierto
 - Cambia la R con la suciedad
 - Elevado ruido
 - Tolerancia: 5 al 10%



Resistores Ajustables

▶ CERMET

- Película gruesa Metal – Cerámica
- 1 vuelta
- Multivuelta: 10 – 15 – 20 – 22 – 30
- Resistencia Residual: 1 a 5Ω
- Estabilidad Ajuste: 0.1%
- Tolerancia: 5 al 10%



Resistores Ajustables

- ▶ Película de Carbón
 - Similar en características a las resistencias Pirolíticas.
- ▶ De plástico
 - Comparativos en precio a los de carbón.
- ▶ Película metálica
 - Similar en características a los CERMET.

Resistores Ajustables

- ▶ De alambre
 - Mayor estabilidad
 - Menor coeficiente térmico
 - Discontinuidad en la lectura al pasar de espira en espira



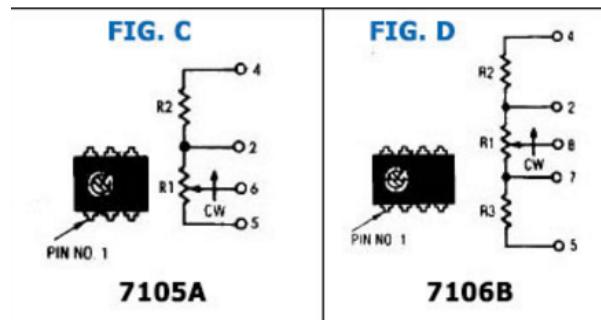
Resistores Ajustables

▶ Integrados

- Encapsulado DIP
- $500\Omega - 500K\Omega$
- Tolerancia: 10%
- Disipación: 0,5 a 8W.

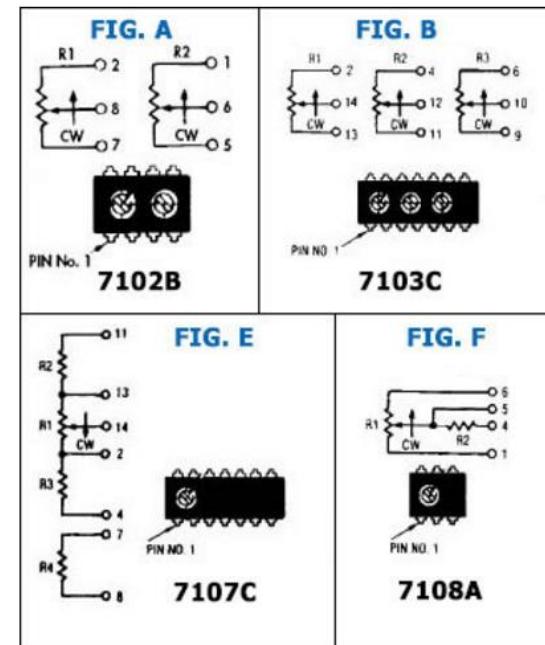
DISIPACION DE POTENCIA: 0,5 a 1.5 W a 85°C
(varía según el tipo)
RECORRIDO DEL POTENCIOMETRO: 230°
ENCAPSULADO: DIL (DUAL IN LINE)

FIGURAS



ELEMENTO RESISTIVO: CERMET
TEMPERATURA DE OPERACION: -55 A 125°C
COEF. DE TEMPERATURA: 100 ppm/°C (máx)
TOLERANCIA DE R: ± 20%

FIG



Resistores Ajustables

► Terminología Aplicable

- Resistencia Total
 - Resistencia fija a bornes del preset
- Resistencia Residual
 - Resistencia que queda cuando se considera que el preset está en 0.
- Resolución
 - Es la capacidad que se tiene para dejar el preset en un valor determinado.
 - Mas vueltas → mayor resolución.
- Estabilidad de Ajuste
 - Se define como la tensión de salida E_o respecto de la tensión E_i aplicada al preset.

Resistores Ajustables

► Terminología Aplicable

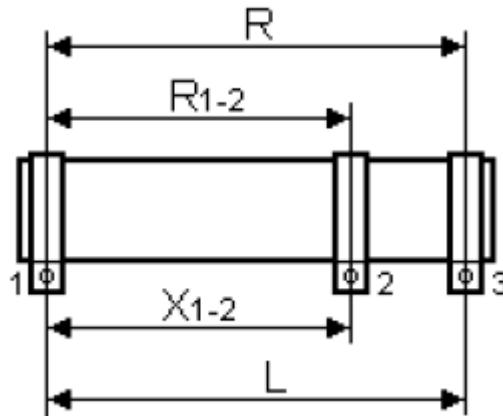
- Vida Rotacional
 - Es el número máximo de ciclos de rotación sin degradar los parámetros del preset.
- Vida útil
 - Es el número de horas durante las cuales el preset disipa la máxima potencia nominal.
- Par de Accionamiento
 - Es el par que se debe aplicar para producir desplazamiento.
- Par de Tope
 - Es el par máximo que se puede aplicar al tope de final del recorrido.

Resistores Ajustables

▶ Terminología Aplicable

◦ Disipación

- Es el valor máximo de disipación del preset entre sus bornes fijos.
- Si se modifica la R, la potencia máxima será menor:



$$\frac{R_{1-2}}{X_{1-2}} = \frac{R}{L}$$

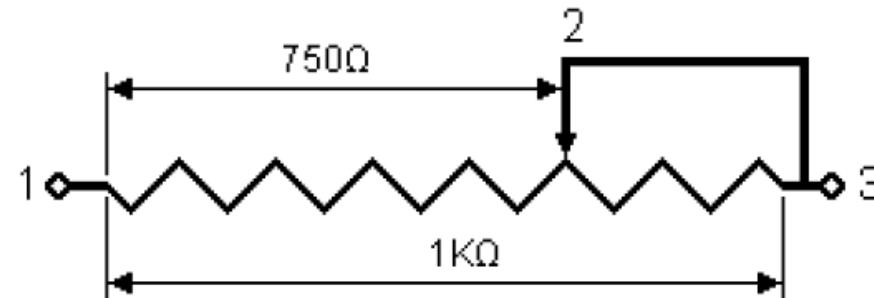
$$R_{1-2} = \frac{R}{L} * X_{1-2}$$

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

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

Resistores Ajustables

► Disipación – Ejemplo



$$R = 1000\Omega$$

$$R_1 = 750\Omega$$

$$W = 0,5W$$

$$W_{1-2} = W * \frac{R_{1-2}}{R} = 0,5W * \frac{750\Omega}{1000\Omega}$$

$$W_{1-2} = 0.375W$$

Resistores Ajustables

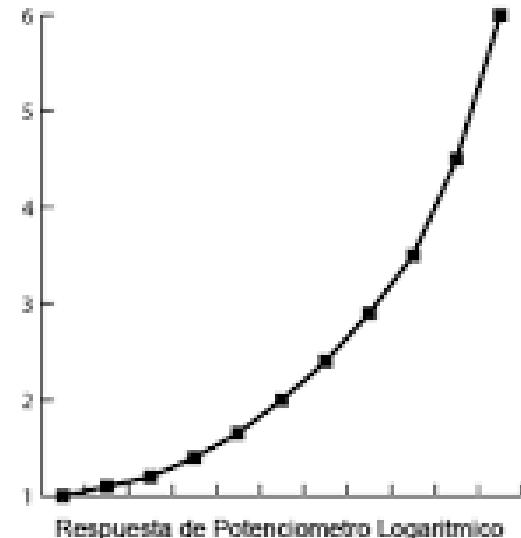
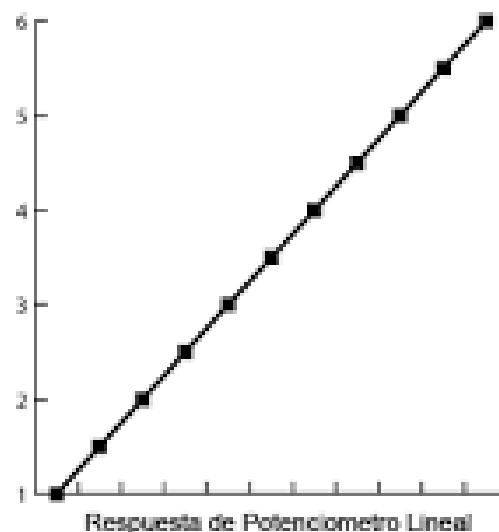
▶ Valores Comparativos

Parámetro	Composición	Película	Cermet
Rango	100Ω a 5MΩ	10Ω a 1MΩ	10Ω a 2MΩ
Tolerancia	±10 a ±20	±1 a ±10	±10 a ±20
Res. Residual	5Ω o 1% de R	5Ω o 2% de R	5Ω o 1% de R
Disipación	¼ a ½ W	¼ a ¾	¼ a 1
Temperatura	120°C	150°C	75°C a 125°C
Ciclos de Rotación		200	200
Coeficiente Térmico (±ppm/°C)	500 a 1000	20 a 50	100 a 500
Estabilidad Ajuste	2%	1%	Menor a 1%

Resistores Variables

► Definición

- Son aquellos que están preparados para múltiples ajustes.
- Baja Potencia → POTENCIOMETRO
 - Composición
- Alta Potencia → REOSTATOS
 - Alambres



Resistores Variables

- ▶ Potenciómetro de Composición
 - Soporte → Papel fenólico o pertinax
 - Ángulo de giro: 240° a 300°
 - Material móvil:
 - Bronce fosforoso
 - De 1 a 3 puntos de contacto
 - Eje: Aluminio – Plástico
 - Si tiene interruptor
 - Angulo de giro máximo para funcionar 40°



Resistores Variables

- ▶ Potenciómetro de plástico conductivo
 - Material resistivo de película gruesa.
 - Ciclos de rotación: elevados
 - Bajo coeficiente térmico.
 - Ejemplo: 50.000 rotaciones



Resistores Variables

▶ Potenciómetro de Cermet

- Material Cerámico – Metálico
- Valores: 10Ω – $5M\Omega$
- Tolerancia: $\pm 5\%$ a $\pm 10\%$
- Coeficiente térmico: $\pm 200\text{ppm}/^\circ\text{C}$
- Ejemplo:
 - Ciclos de uso: 50.000 ciclos



Resistores Variables

▶ Potenciómetro de Alambre

- Valores: 50Ω a $250K\Omega$
- Tolerancia: $\pm 3\%$ a $\pm 5\%$
- 1 Vuelta
- Multivueltas:
 - 3 a 40 vueltas
- Coeficiente térmico:
 - $\pm 20 \text{ ppm}/^{\circ}\text{C}$
- Ejemplo:
 - Nro vueltas: 1.000.000



Resistores Variables

▶ Potenciómetro Híbrido

- Pista formada por plástico y alambre
- Tolerancia: $\pm 5\%$ a $\pm 10\%$
- Coeficiente térmico: +100ppm



Resistores Variables

▶ Potenciómetro de Precisión

- Pueden obtenerse giros mayores a 360°
- Se debe tener presente la discriminación

$$D = \frac{R}{360^\circ * N}$$



Features

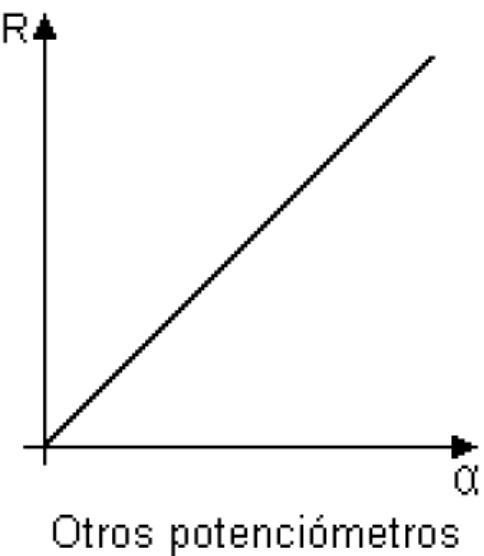
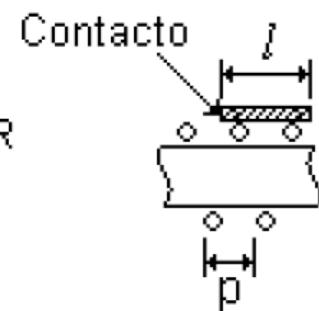
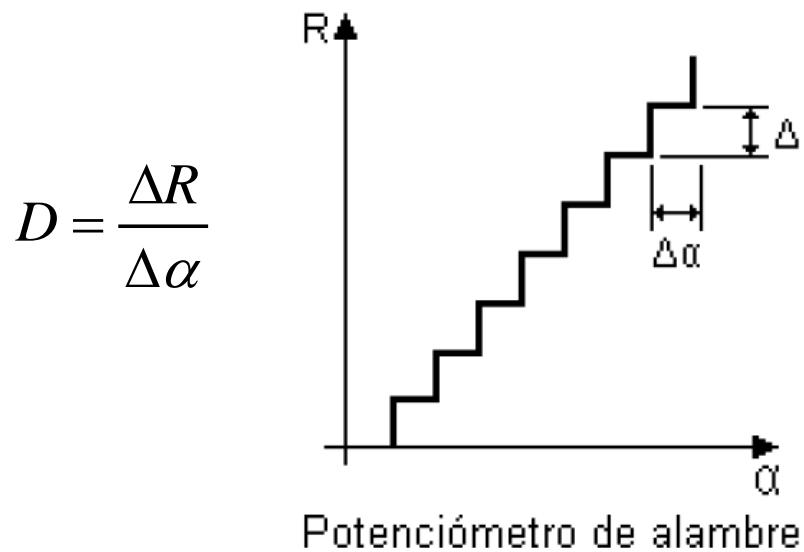
- Bushing mount
- Optional AR pin feature
- Plastic or metal shaft and bushings
- Wirewound
- Solder lugs or PC pins
- Sealable (Full body seal)
- Designed for use in HMI applications

■ RoHS compliant*

3590 - Precision Potentiometer

Resistores Variables

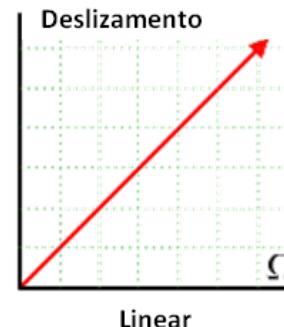
- ▶ Potenciómetro de Precisión
 - Discriminación definida



Resistores Variables

▶ Potenciómetro No Lineal

- Variación Logarítmica
 - De composición
 - Para seguir la respuesta del oído a variaciones del nivel de la señal.
- Tipos menos comunes
 - Variación Anti Logarítmica
 - De composición
 - Variación Senoidal
 - De alambre
 - Variación Especial
 - De alambre



Tecnología Electrónica

Ingeniería en Electrónica

Universidad Tecnológica Nacional
Facultad Regional Córdoba

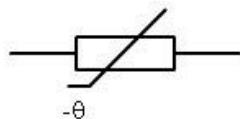
Resistores Especiales

► Definición

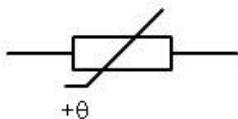
- En el apartado de resistores especiales caben toda una variedad de componentes resistivos no lineales que modifican su valor óhmico en función de algún factor externo.

- Temperatura
 - PTC
 - NTC
- Tensión aplicada
 - Varistores
- Luminosidad incidente
 - LDR
- Campo magnético
 - MDR

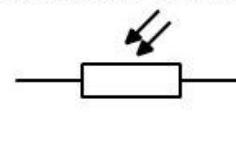
Símbolo NTC



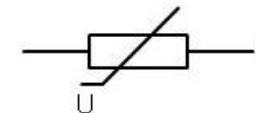
Símbolo PTC



Símbolo LDR



Símbolo VDR



Resistores Especiales

▶ Termistores

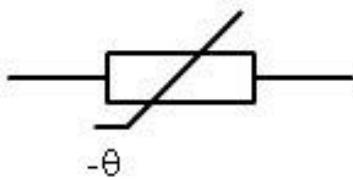
- Son aquellos que varían su valor resistivo en forma considerable en relación con el cambio de temperatura .
- Tipos
 - NTC – Coeficiente de Temperatura Negativo
 - PTC – Coeficiente de Temperatura Positivo

Resistores Especiales

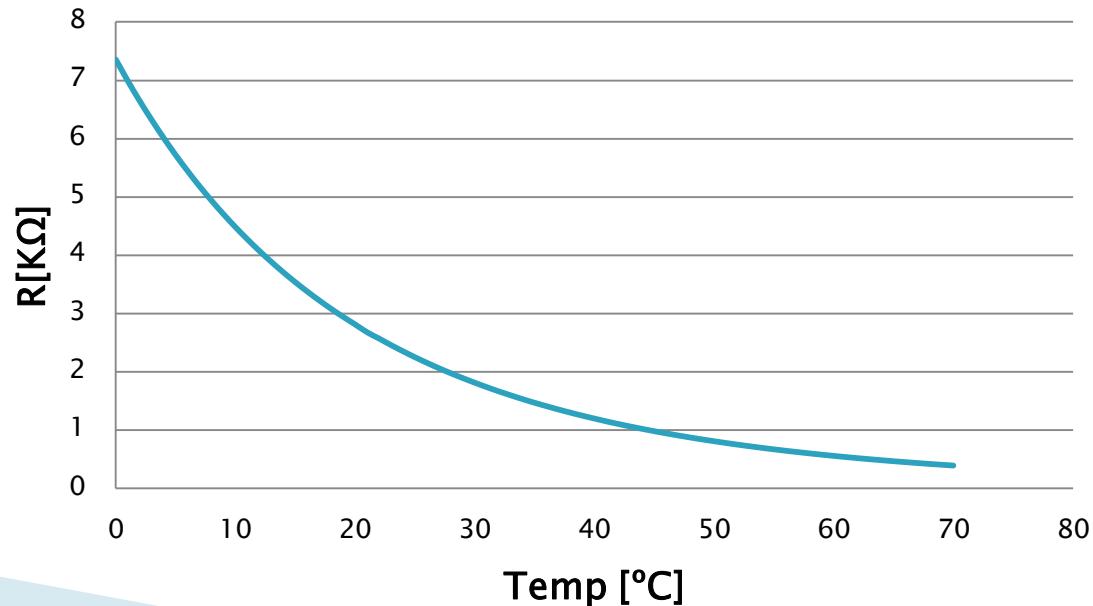
▶ NTC

- Coeficiente Negativo de Resistencia
 - Valores entre 5Ω – $10M\Omega$. Dependen de la forma física
- La resistencia disminuye al aumentar la temperatura.
- Curva de ejemplo generada de datos tomados de tabla presente en Hoja de Datos
 - $R = 2252\Omega \rightarrow T=25^\circ C$

Símbolo NTC



NTC – Model 451 Miniature Tubular Probe



▶ Parámetros Característicos

- Resistencia Nominal R_n

- Es el valor que se obtiene a una temperatura especificada sin que el calor que ésta genere provoque autocalentamiento.

- Tolerancia

- $\Phi 5\text{mm} \sim \Phi 15\text{mm}$

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Product Type		Body Size		Zero Power Resistance at 25°C (R_{25})		Max Steady State Current at 25°C		Tolerance of R_{25}		Appearance		Optional Suffix			
SCK	THINKING NTC Thermistor SCK Series														
05		$\Phi 5\text{mm}$		0R5		0.5Ω		X3		0.3A		M		$\pm 20\%$	
08		$\Phi 8\text{mm}$		2R5		2.5Ω		2X		2.5A		N		$\pm 25\%$	
10		$\Phi 10\text{mm}$		08		8Ω		8		8A		S		Straight lead	
13		$\Phi 13\text{mm}$		20		20Ω		10		10A		F		Y kink lead	
15		$\Phi 15\text{mm}$		120		120Ω		T		L kink lead		Y		RoHS & HF Compliant	

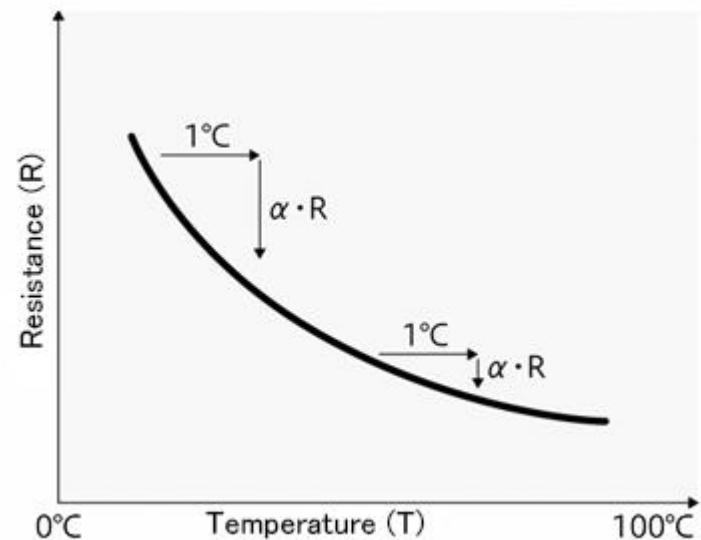
NTC

▶ Parámetros Característicos

- Corriente Nominal In
- Potencia Nominal Pn
- Disipación Máxima
- Coeficiente de Temperatura α
 - Se especifica en %/ $^{\circ}\text{C}$

$$\alpha = \frac{1}{R} \frac{dR}{dT} = -\frac{\beta}{T^2}$$

$$\begin{aligned}\beta &= 3400\text{K} \\ T &= 20^{\circ}\text{C} \\ \alpha &= \frac{1}{R} \frac{dR}{dT} = -\frac{3400\text{K}}{(293.15\text{K})^2} \\ \alpha &= -4\% \frac{1}{^{\circ}\text{C}}\end{aligned}$$

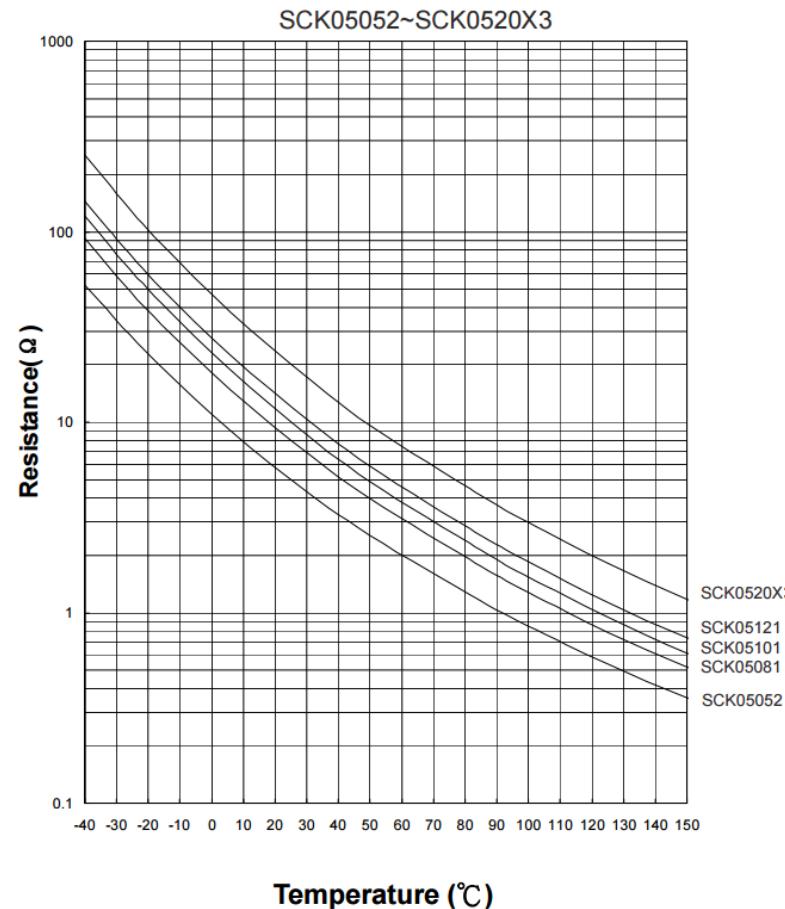


NTC

► Resistencia vs Temperatura

- Se debe tener presente el valor de la corriente de polarización para evitar un efecto avalancha de la magnitud de la Resistencia.
- Depende del coeficiente de temperatura α [%/ $^{\circ}$ C]
- B depende del material
 - Entre 2000 y 6000

$$\alpha = \frac{1}{R} \frac{dR}{dT} = -\frac{\beta}{T^2}$$



NTC

► Resistencia vs Temperatura

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

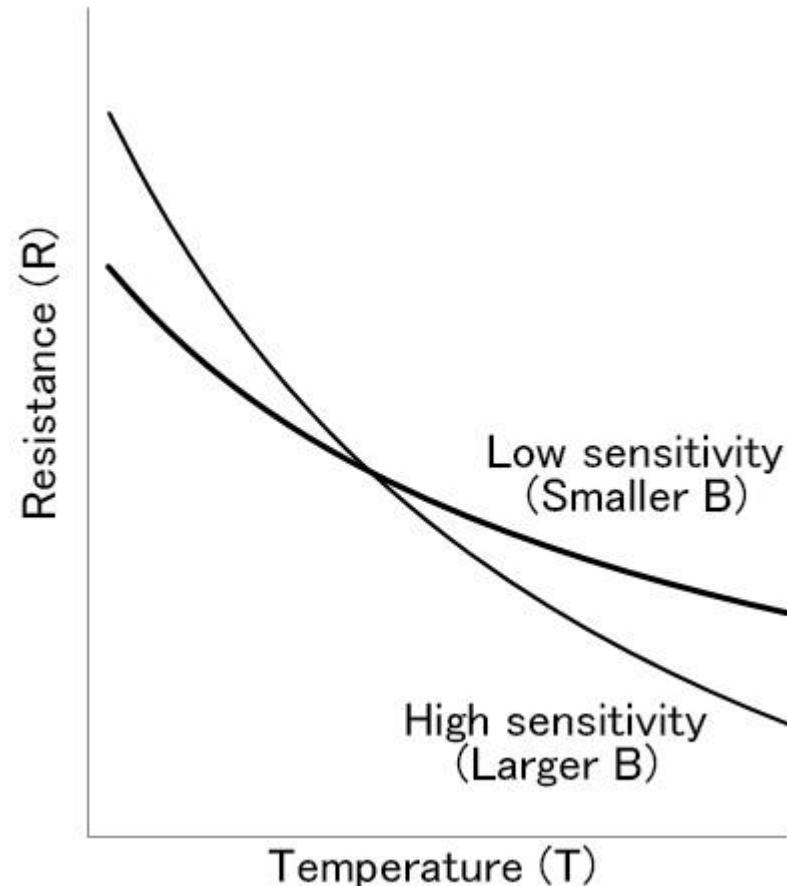
$$R_1 \rightarrow T_1$$

$$R_2 \rightarrow T_2$$

$$R_1 = 162.2K\Omega \rightarrow T_1 = 0^\circ C \rightarrow 273.15K$$

$$R_2 = 3.3KK\Omega \rightarrow T_2 = 100^\circ C \rightarrow 373.15K$$

$$\beta = \frac{\ln 3.3 - \ln 162.2}{\frac{1}{373.15} - \frac{1}{273.15}} \cong 3970K$$



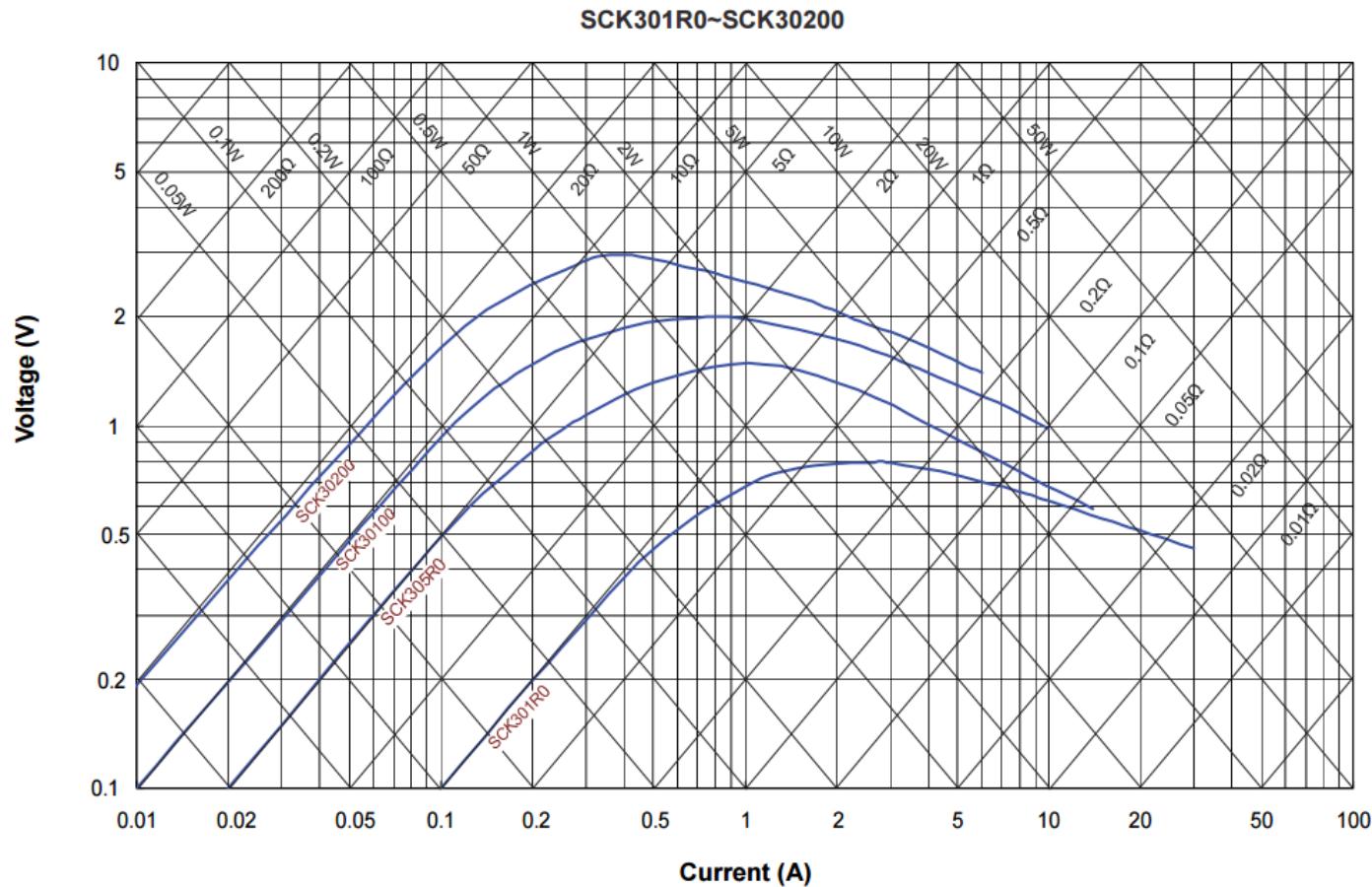
NTC

► Tensión vs Corriente

- Si polarizamos adecuadamente podemos leer la temperatura del medio en el que está el termistor.
- Si producimos autocalentamiento tendremos resistencia negativa.
- Se debe poner una R en serie como limitador de corriente.
- Se puede hacer trabajar al NTC entre las dos zonas de resistencia.
- Podemos determinar la variación de mV en virtud del cambio de temperatura.
 - Constante de Disipación →
 - $\delta = 8\text{mV}/^\circ\text{C}$ (disco de 0.4" diámetro colocado en aire)
 - $\delta = 35\text{mV}/^\circ\text{C}$ (disco de 0.4" diámetro colocado en flujo de aire de 1 pies/min)

NTC

► Tensión vs Corriente



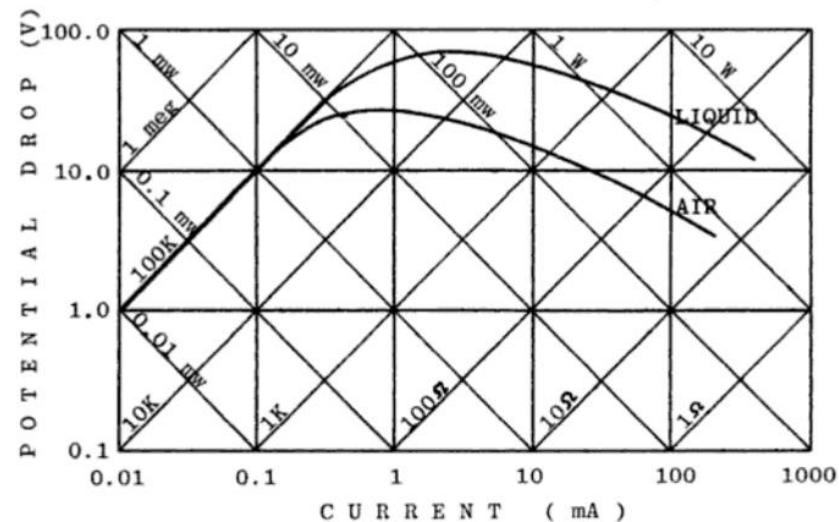
NTC

▶ Constante de Disipación

- Depende del medio
- Velocidad del medio
- Tamaño y configuración del termistor.
 - $\delta = 8 \text{mV}/^\circ\text{C}$ (disco de 0.4" diámetro colocado en aire)
 - $\delta = 35 \text{mV}/^\circ\text{C}$ (disco de 0.4" diámetro colocado en flujo de aire de 1 pies/min) .

$$\delta = \frac{W}{T - T_a} \left[\frac{mW}{^\circ C} \right]$$

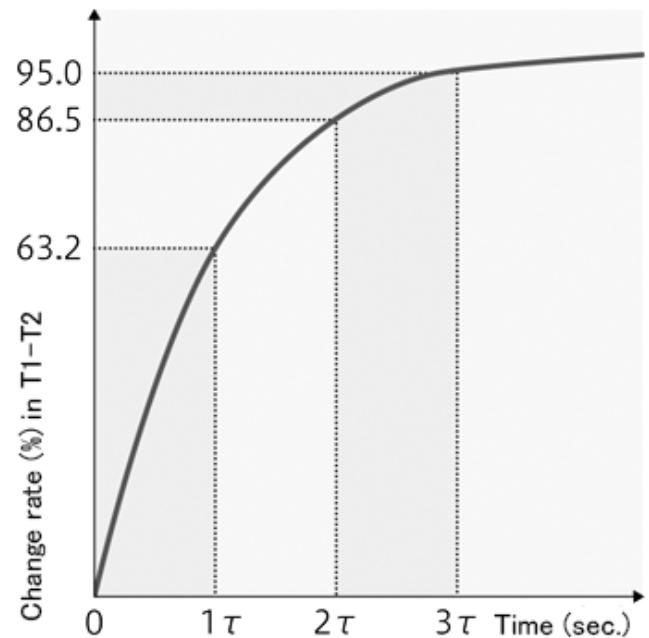
Ta → Temp. Ambiente
T → Temp. Final



NTC

▶ Corriente vs Tiempo

- Se puede establecer una constante de tiempo en la cual el termistor alcanza el 63% del valor de la temperatura final aplicada.
 - Se determina en base a los parámetros del circuito.
 - Tensión Aplicada.
 - Resistencia serie conectada.
 - Medio.
 - Aire
 - Aceite
 - Flujo de Aire



NTC - Formatos



FLEXFoil



CLIP



Conecotor



flange

Montaje sobre Panel



Montaje sobre
chasis

PCB THT



Sonda

NTC

► Aplicaciones

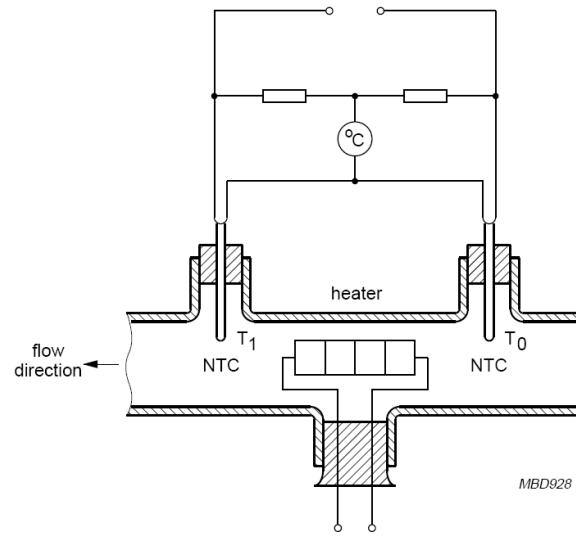


Fig.15 Flow measurement of liquids and gases.
The temperature difference between T_1 and T_0 is measured for the velocity of the fluid.

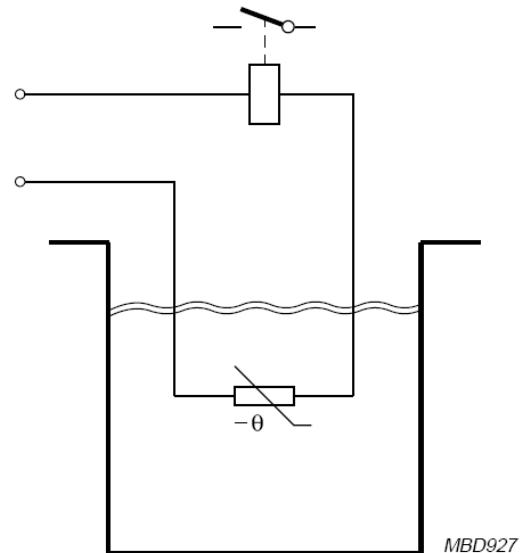


Fig.14 Liquid level control.

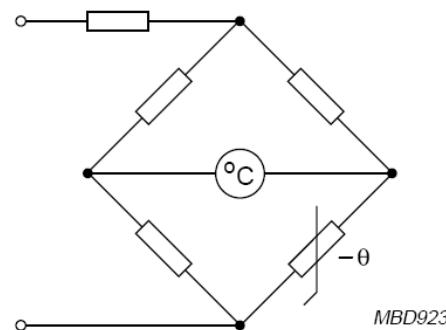


Fig.10 Temperature measurement in industrial and medical thermometers.

NTC

► Aplicaciones

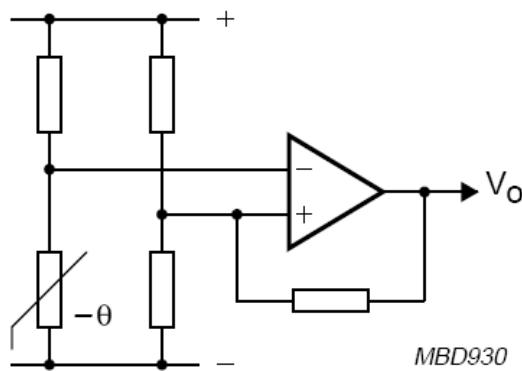
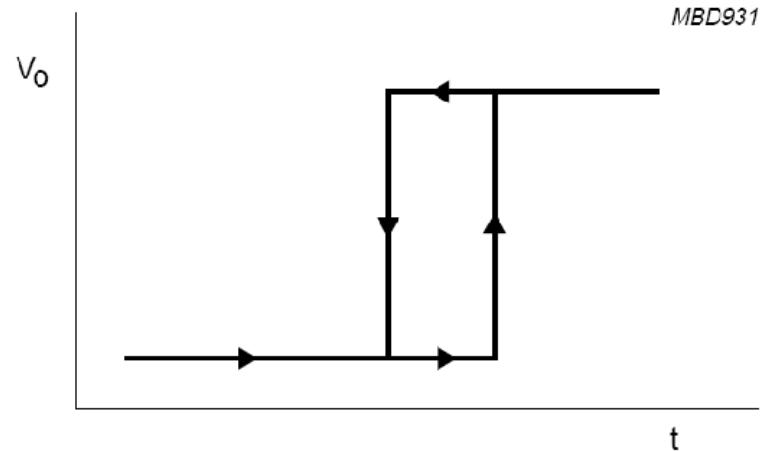
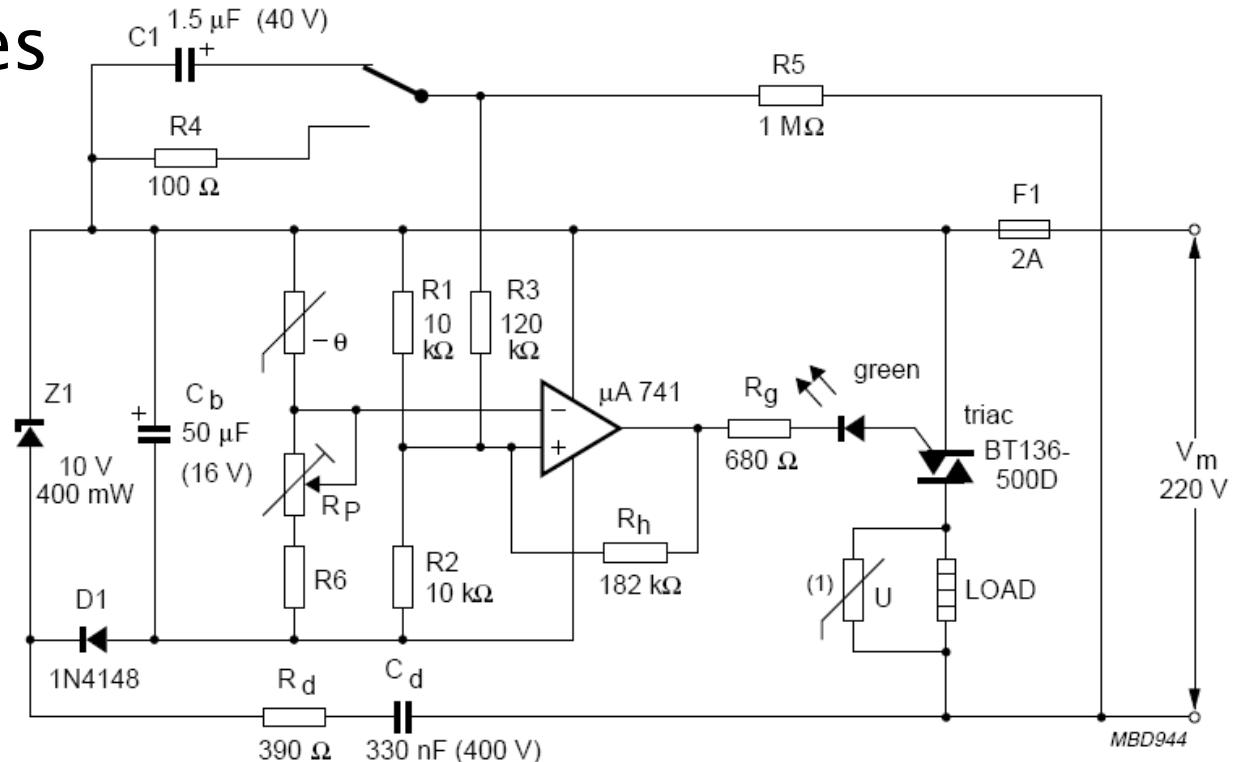


Fig.17 Basic temperature sensing configuration.
The op-amp (e.g. NE532) acts as a
Schmitt-trigger. The transfer characteristic
is shown in Fig.18.



NTC

► Aplicaciones



(1) Catalogue number: 2322 593 32312.

All resistors are 0.25 W.

Fig.24 Refrigerator thermostat using an NTC temperature sensor.

► Aplicaciones

- Hipsómetro – Medición de Altitud.
 - Determina la altitud midiendo la temperatura de ebullición del agua.
- Determinación de β
 - Utilizar la ecuación vista anteriormente

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

$$R_1 \rightarrow T_1$$

$$R_2 \rightarrow T_2$$

NTC

► Aplicaciones

◦ Linealización

- Conectando una R en paralelo
- Puedo determinar dos puntos por donde pasaría R a determinadas Temperaturas.
 - Tomando el NTC Model 451

$$RT_1 = 4.48K\Omega \rightarrow T_1 = 10^\circ C$$

$$RT_3 = 0.56K\Omega \rightarrow T_3 = 60^\circ C$$

$$RT_2 = 1.47K\Omega \rightarrow T_2 = 35^\circ C$$

$$R_P = \frac{RT_2 * (RT_1 + RT_3) - 2 * RT_1 * RT_3}{RT_1 + RT_3 - 2 * RT_2}$$

$$R_P = \frac{1.47K\Omega * (4.48K\Omega + 0.56K\Omega) - 2 * 4.48K\Omega * 0.56K\Omega}{4.48K\Omega + 0.56K\Omega - 2 * 1.47K\Omega}$$

$$R_P = 1.109K\Omega$$

NTC

► Linealización

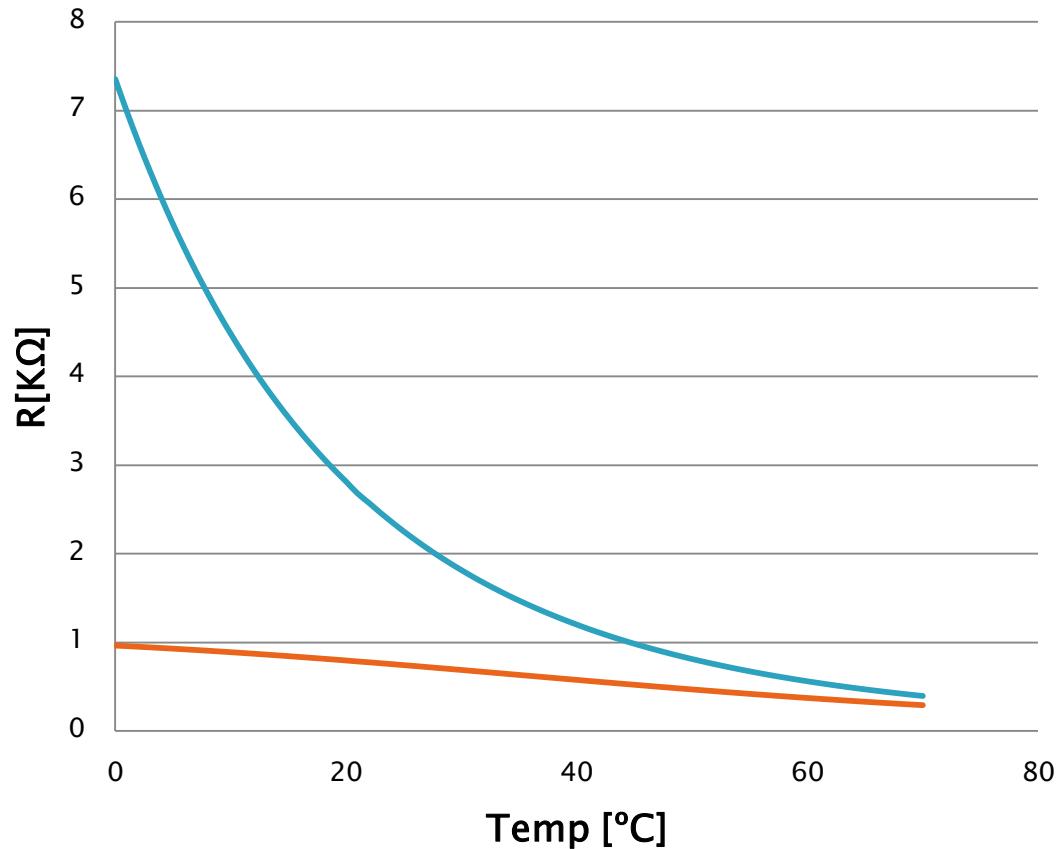
$$RT_1 = 4.48 K\Omega \rightarrow T_1 = 10^\circ C$$

$$RT_3 = 0.56 K\Omega \rightarrow T_3 = 60^\circ C$$

$$RT_2 = 1.47 K\Omega \rightarrow T_2 = 35^\circ C$$

$$R_P = 1.109 K\Omega$$

NTC – Model 451 Miniature Tubular Probe



Tecnología Electrónica

Ingeniería en Electrónica

Universidad Tecnológica Nacional
Facultad Regional Córdoba

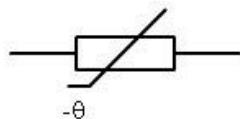
Resistores Especiales

► Definición

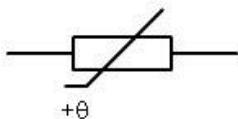
- En el apartado de resistores especiales caben toda una variedad de componentes resistivos no lineales que modifican su valor óhmico en función de algún factor externo.

- Temperatura
 - PTC
 - NTC
- Tensión aplicada
 - Varistores
- Luminosidad incidente
 - LDR
- Campo magnético
 - MDR

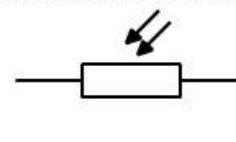
Símbolo NTC



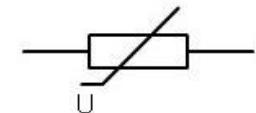
Símbolo PTC



Símbolo LDR



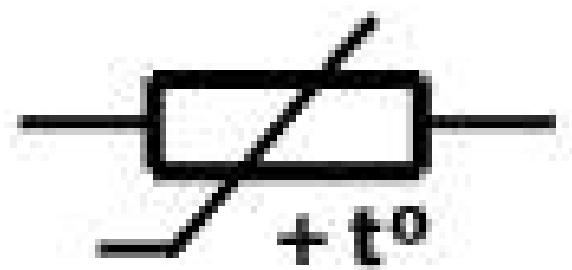
Símbolo VDR



Resistores Especiales

▶ PTC

- Coeficiente Positivo de Resistencia
- La resistencia aumenta al aumentar la temperatura.
- Se fabrican a partir de semiconductores para tener una ΔR apreciable.
 - Alrededor de 400 veces de variación.
- Se emplean las características R-T y V-I.

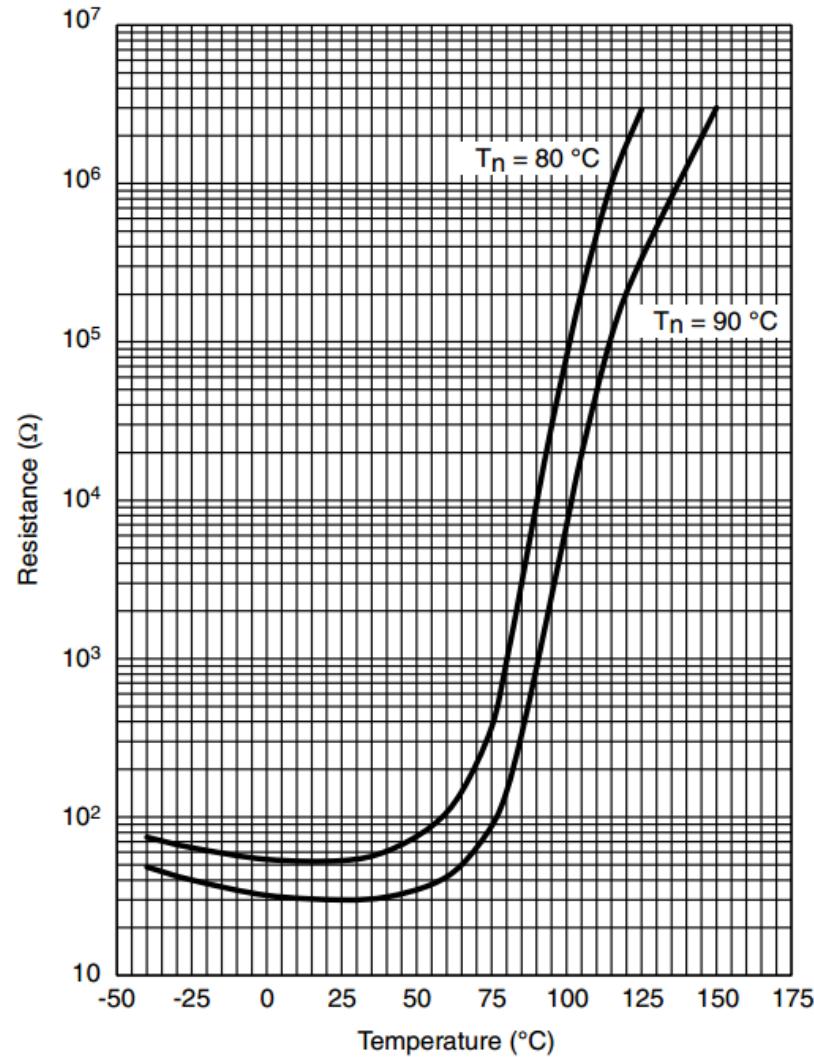


Resistores Especiales – PTC

RESISTANCE vs. TEMPERATURE

Typical (≤ 5 V_{DC})

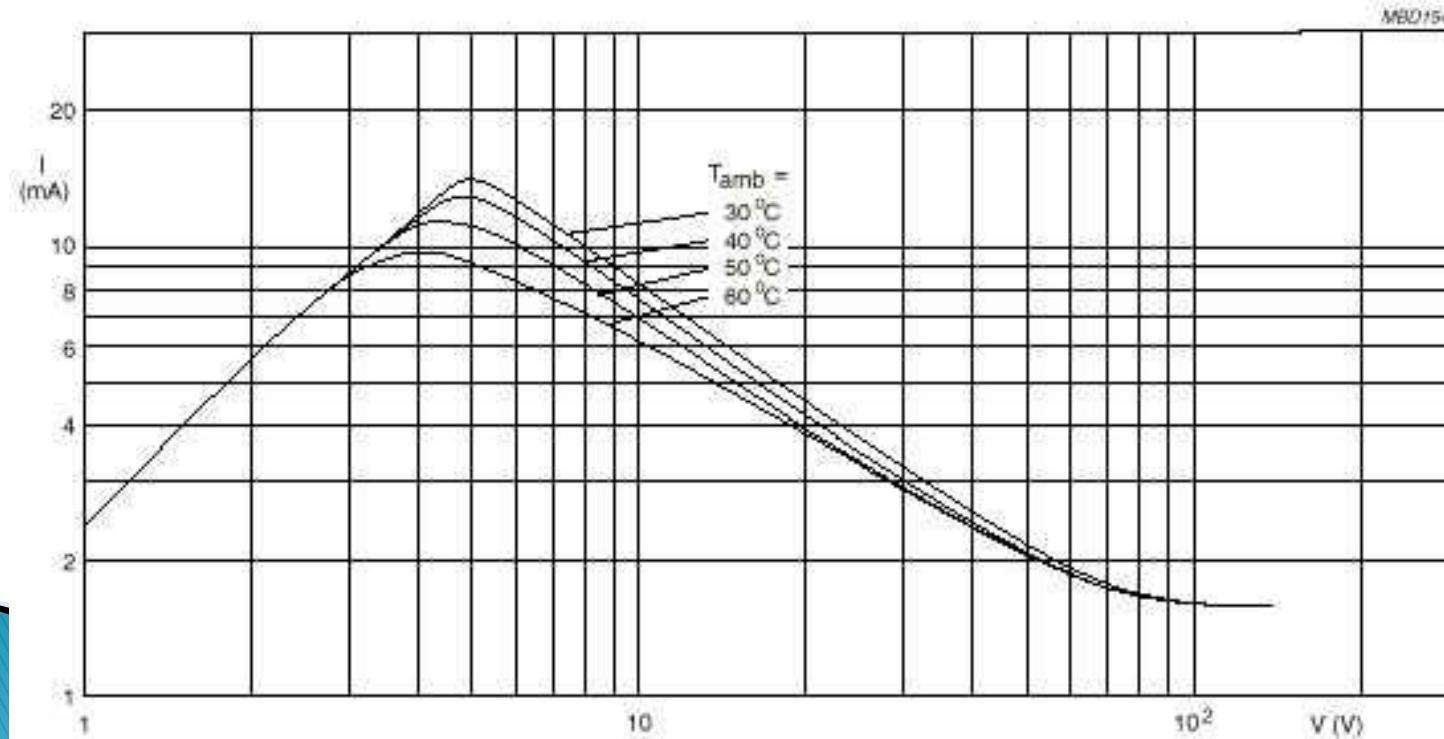
- ▶ Características R – T
 - La resistencia varia en forma lineal hasta que se alcanza la T_s
 - $T_s \rightarrow$ Temperatura de Transición.
 - $T_s \rightarrow$ Va desde 40°C a 180°C
 - $R_{25} = 20\Omega$ a 120Ω (PTCSL03)



Resistores Especiales – PTC

► Características V – I

- Si no se alcanza T_s , y la corriente es tal para evitar el autocalentamiento.
- Es útil para determinar el punto de trabajo optimo.



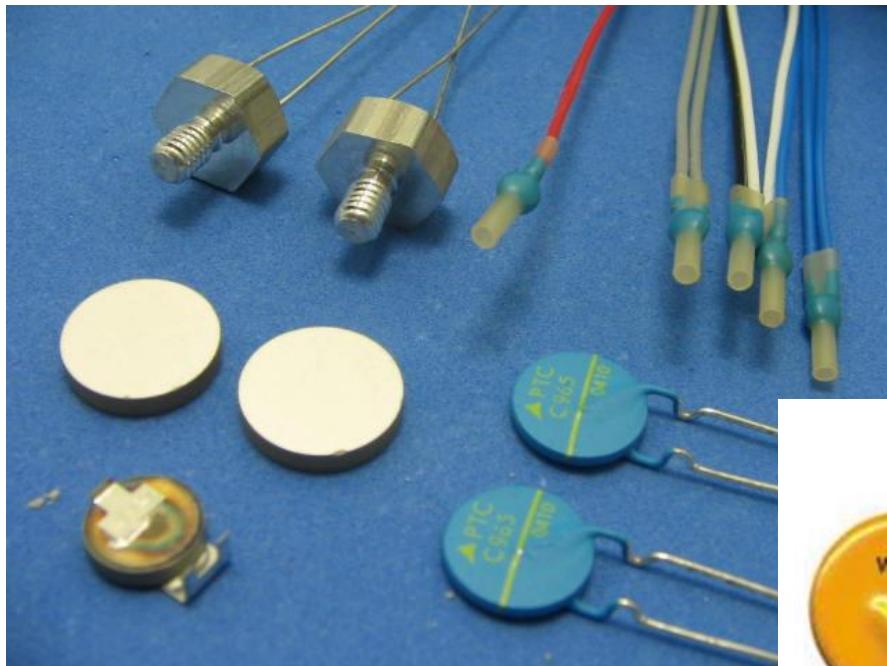
Resistores Especiales – PTC

▶ USOS

- ▶ Control de temperatura.
 - ▶ Activa o Desactiva dispositivos de control.
- ▶ Limitación de corriente
- ▶ Sensor de temperatura
- ▶ Desmagnetización en televisores
- ▶ Protección contra el recalentamiento en motores eléctricos.
- ▶ Indicadores de nivel
- ▶ Resistencias de compensación
- ▶ Como termostatos
- ▶ Provocar retardos en circuitos

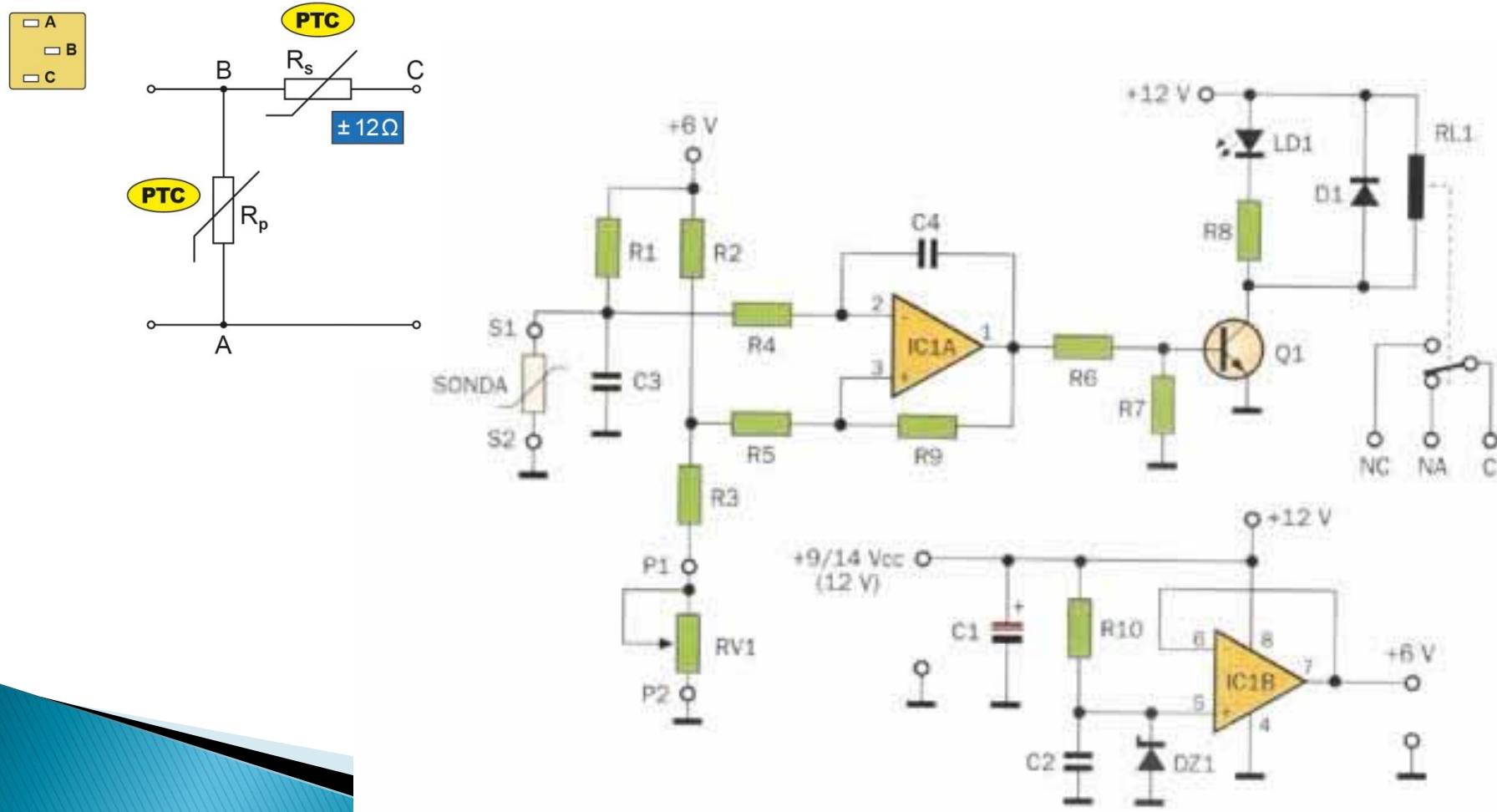
Resistores Especiales - PTC

► Tipos de Encapsulado



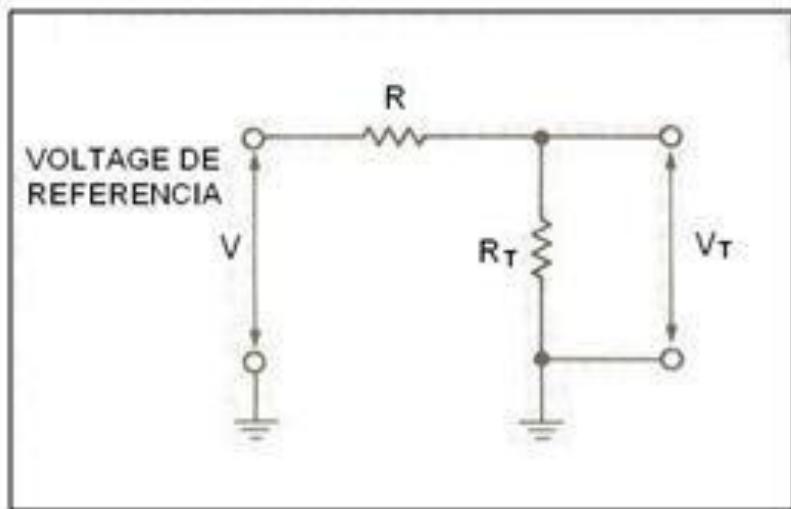
Resistores Especiales - PTC

► USOS

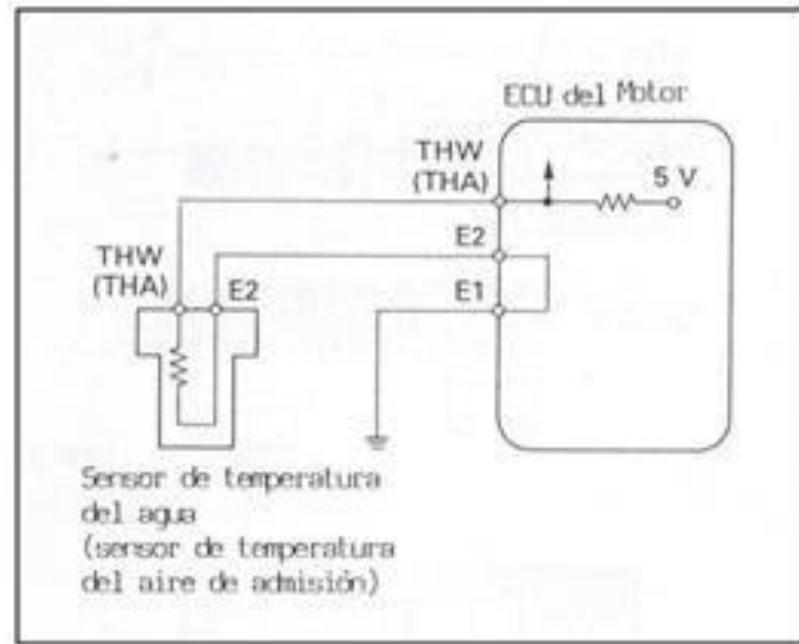


Resistores Especiales – PTC

▶ USOS

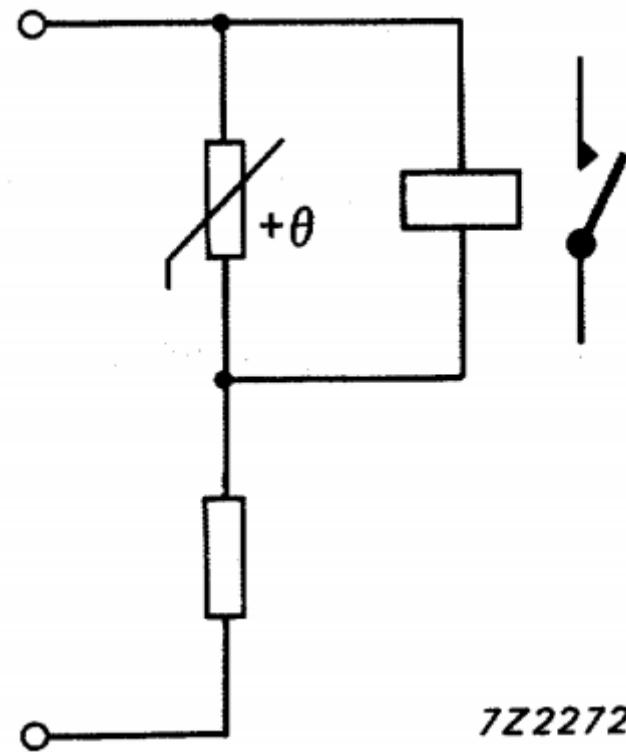
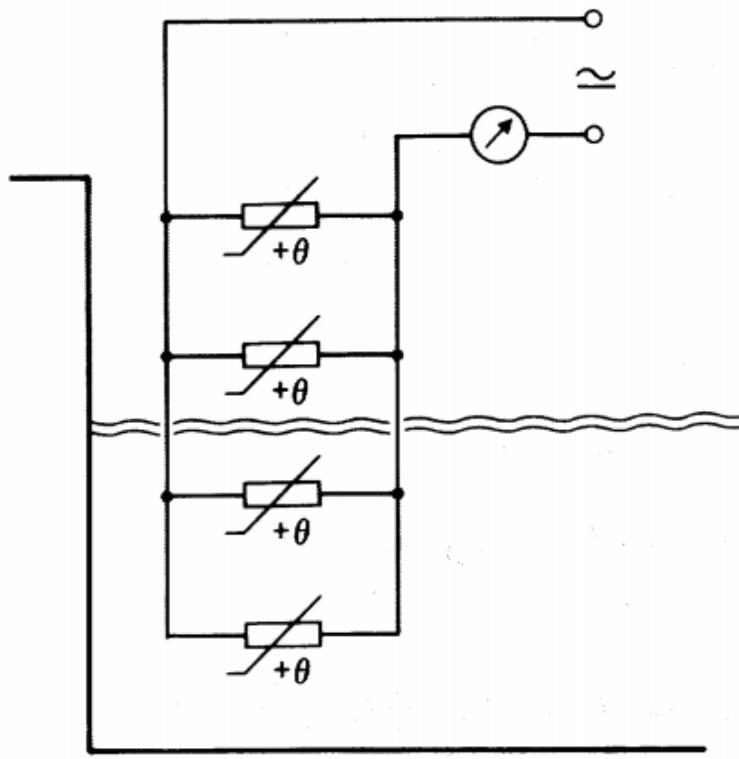


=



Resistores Especiales – PTC

- ▶ USOS –
 - ▶ Medición de Nivel.
 - ▶ Retardo de accionamiento de Relé

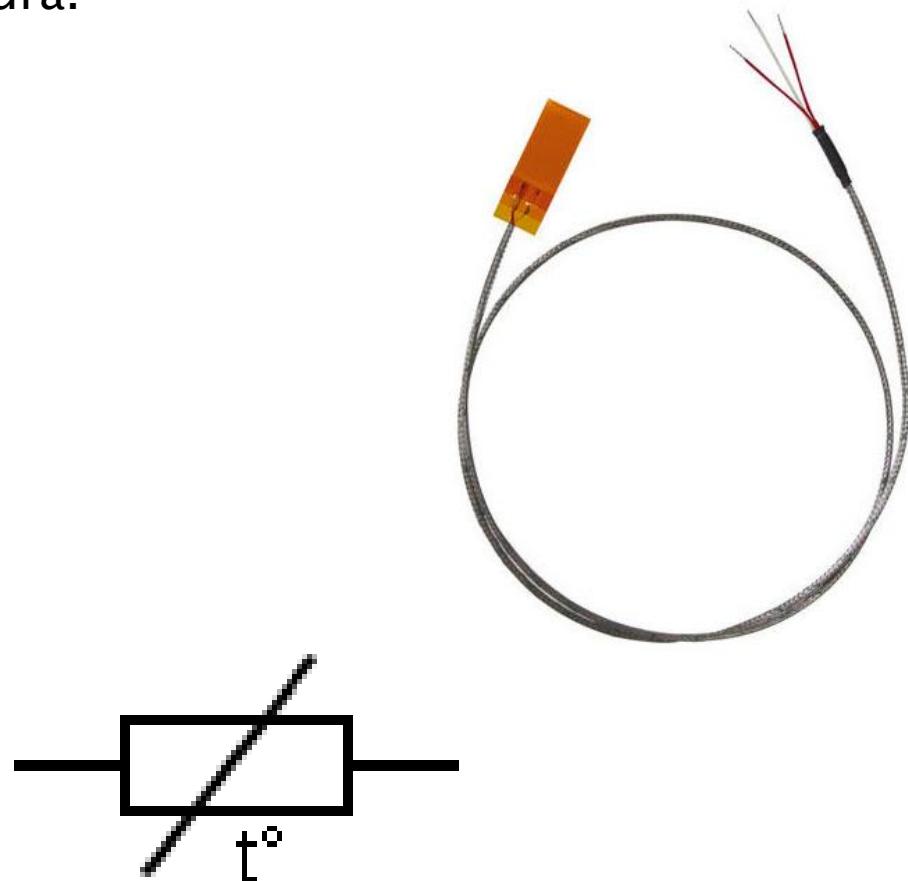


7Z22727

RTD - Termoresistencia

▶ Definición

- Metales y aleaciones bobinadas para formar una resistencia dependiente de la temperatura.
- Material más empleado:
 - Platino
- Modelo más común:
 - PT-100
- Resistencia Nominal a 0°C
 - 100Ω a 200 Ω
- Tiempo de Respuesta:
 - 5seg.
- Formato:
 - 2, 3 y 4 terminales.
 - Usar medición indirecta.
- Rango de Temperaturas:
 - -200°C a +850°C



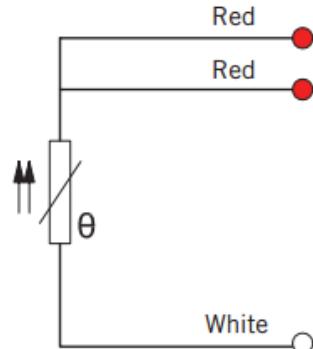
RTD – Termoresistencia

▶ Tipos

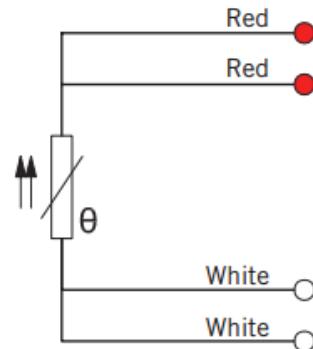
- Modo de 4 terminales. Medición Indirecta

Pt 100 Connections

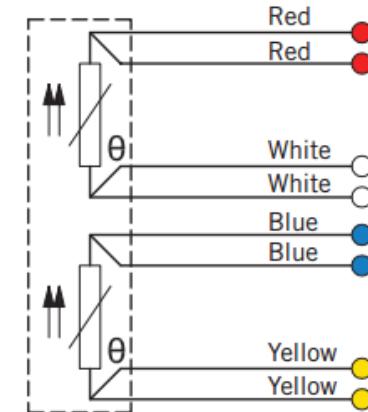
1x Pt100, Class A, 3-wire,
connection acc. to standards EN 60751



1x Pt100, Class A, 4-wire,
connection acc. to standards EN 60751



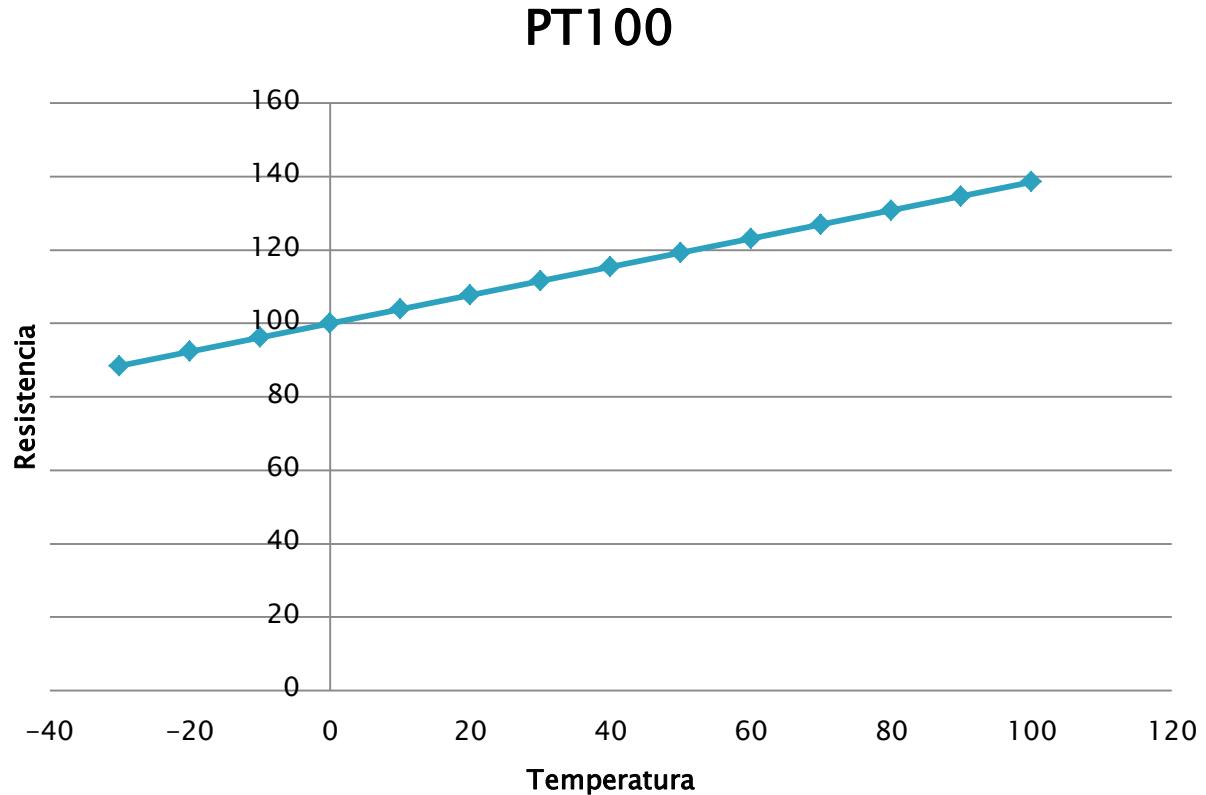
2x Pt100, Class A, 4-wire,
connection acc. to standards EN 60751



RTD - Termoresistencia

Curva Temperatura vs Resistencia

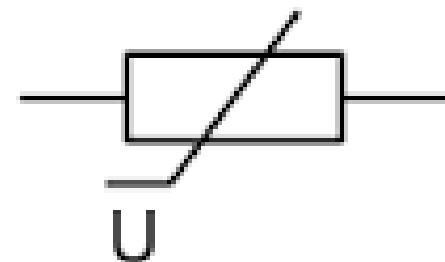
Fuente: Electrónica para Estudiantes de Mecatrónica – ISBN 978-987-33-3304-0



Resistores Especiales

▶ Varistores – VDR

- Resistencias cuyo valor óhmico depende de la tensión aplicada.
- Mientras mayor tensión menor valor de resistencia.
- A tensión baja es un resistor de alto valor.
- Sirve para suprimir picos transitorios.
 - Descargas Atmosféricas.
 - Accionamiento de interruptores en líneas de distribución.
 - Interferencia electromagnética.
- Ante elevación permanente de la tensión a sus bornes se destruye.
- Contras
 - Mala disipación de Energía
 - Envejecimiento



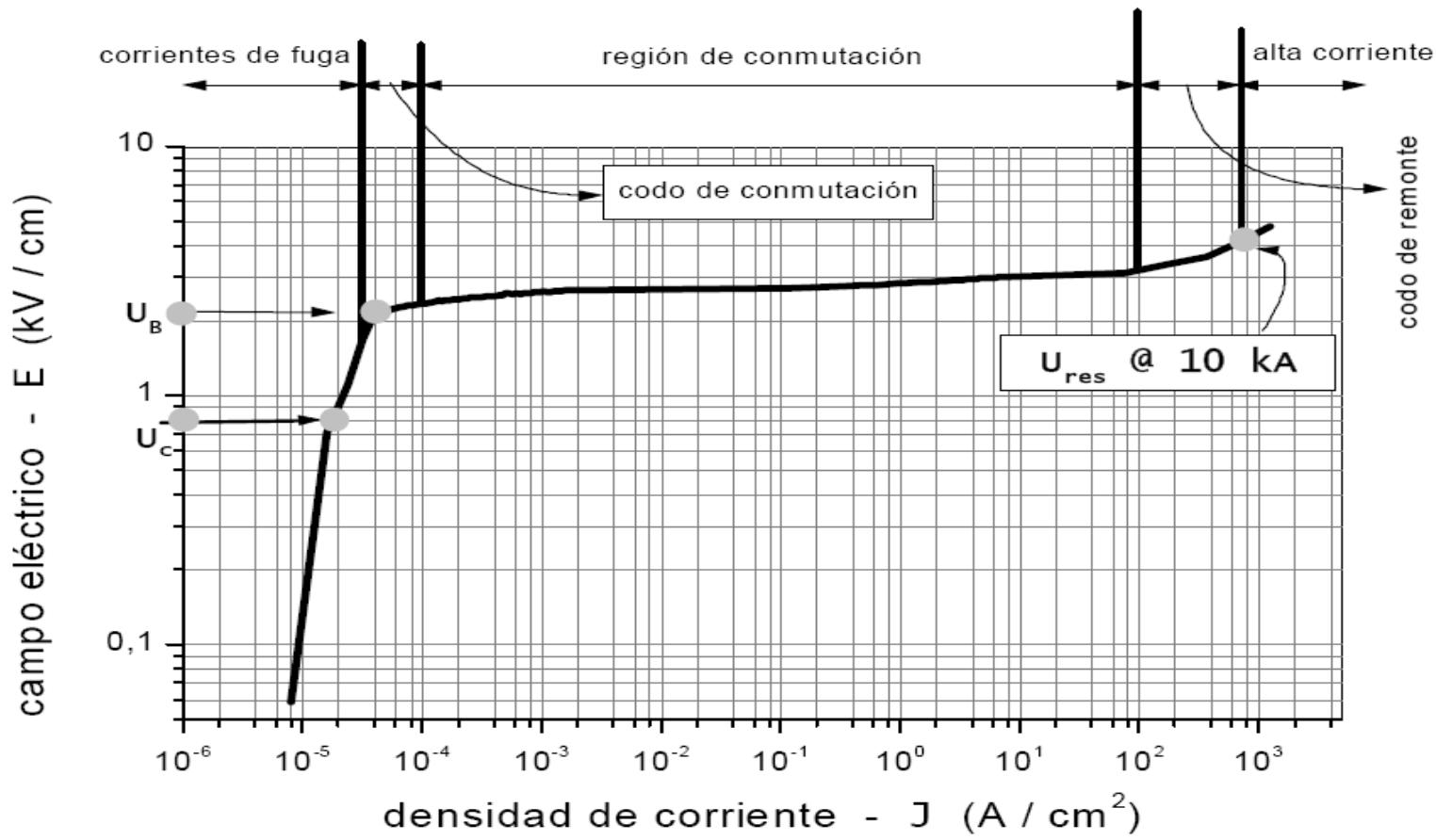
Resistores Especiales – VDR

► Características para Selección

- Voltaje de Trabajo
 - 110% del voltaje Nominal a Proteger
- Energía transitoria a absorber
- Corriente pico transitoria
- Encapsulado

Resistores Especiales - VDR

► Curva V- I

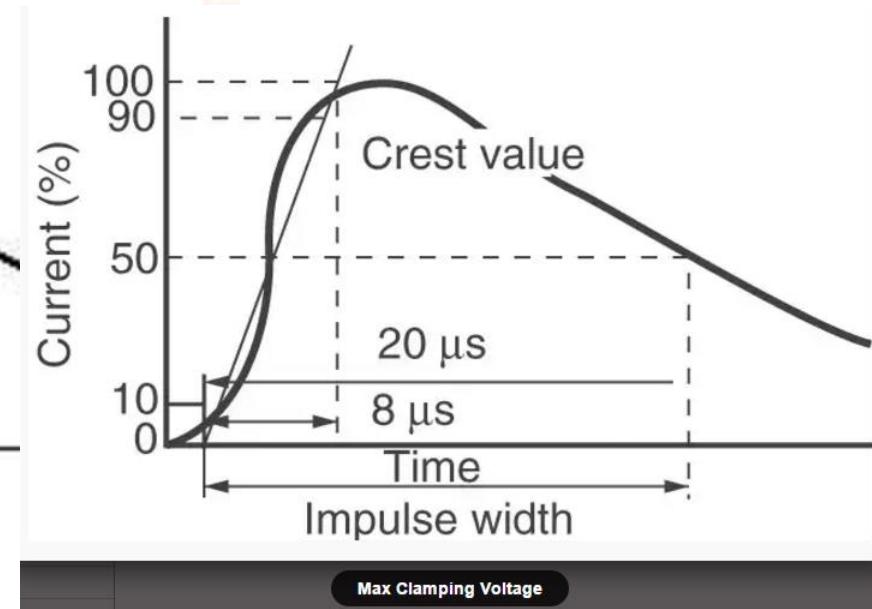
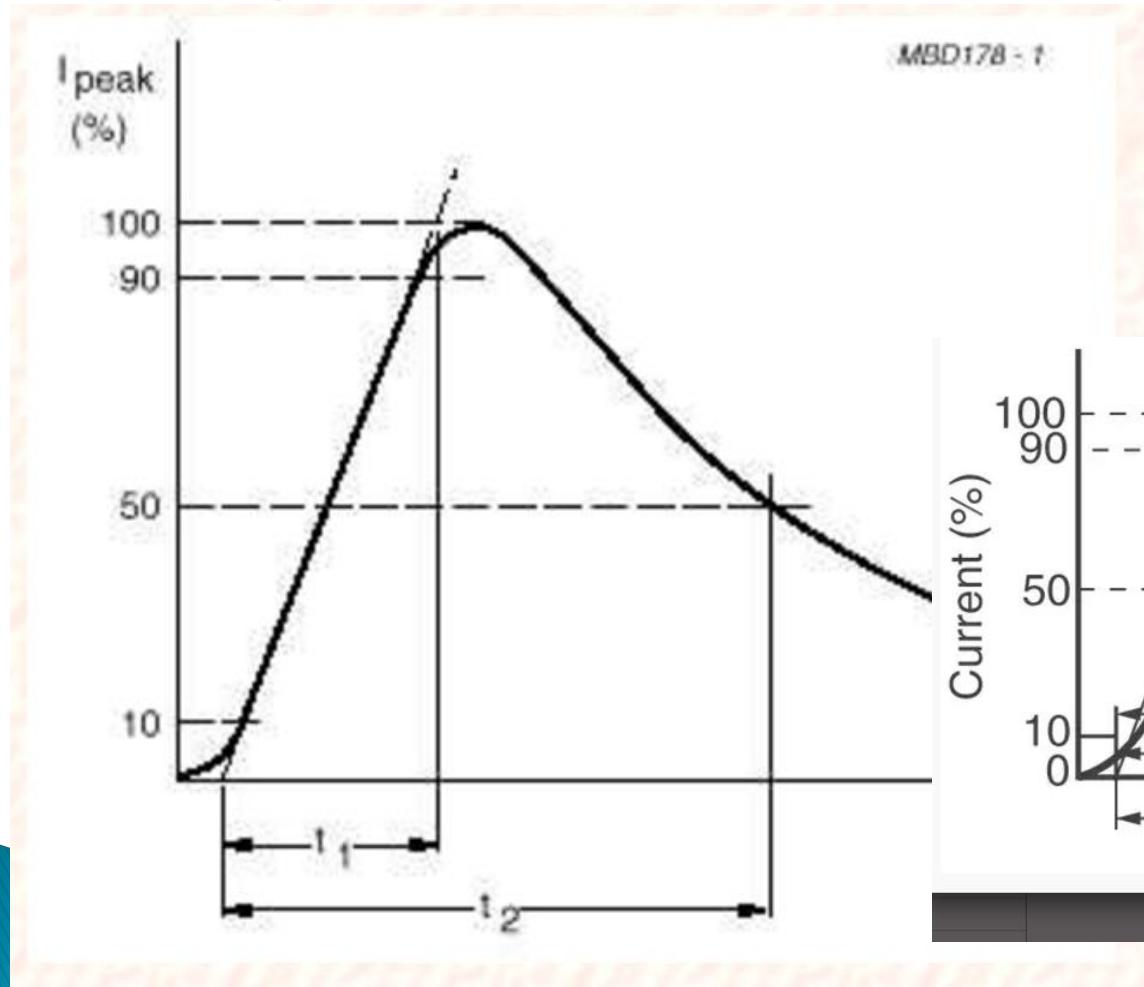


Resistores Especiales – VDR

- ▶ $U_c \rightarrow$ Máxima Tensión de funcionamiento Continuo
- ▶ $U_b \rightarrow$ Tensión de Conmutación o tensión de ruptura
- ▶ $U_{res} \rightarrow$ Es la tensión nominal de descarga del elemento.

Resistores Especiales – VDR

► Energía capaz de Absorber



Resistores Especiales – VDR

- ▶ Energía capaz de Absorber

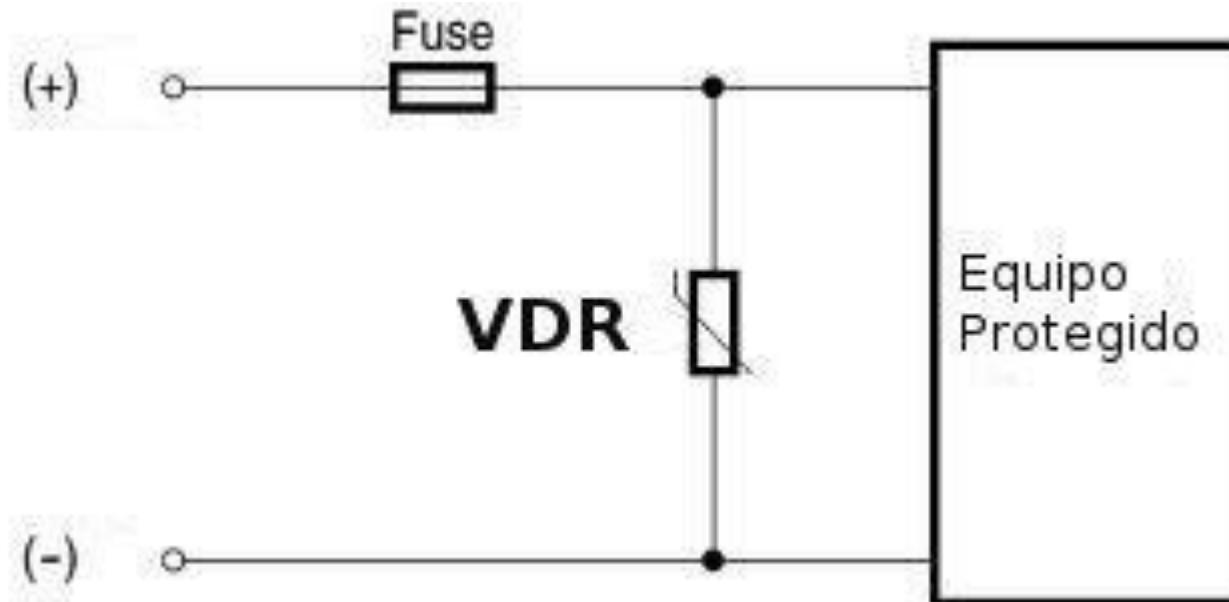
$$E = V_{PICO} * I_{PICO} * t_2 * K$$

- ▶ K depende de la relación entre t_1 y t_2

t_2 uS	K
20	1
50	1.2
100	1.3
1000	1.4

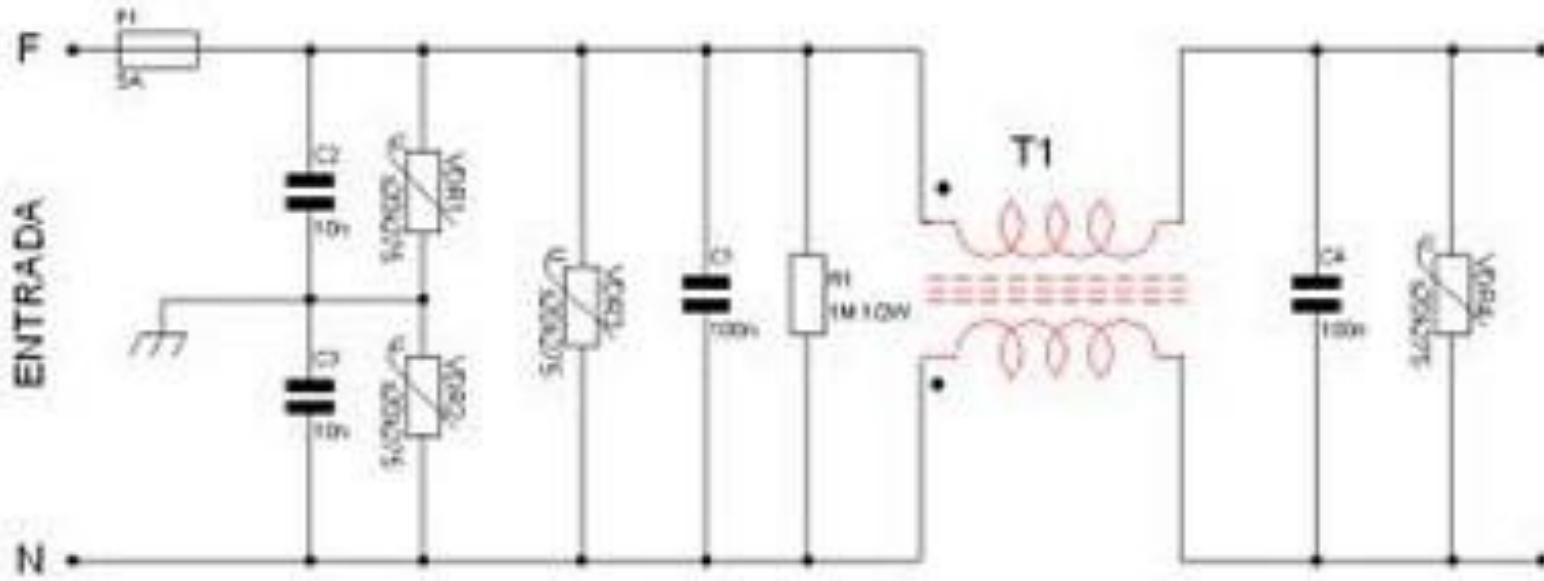
Resistores Especiales – VDR

► Aplicaciones

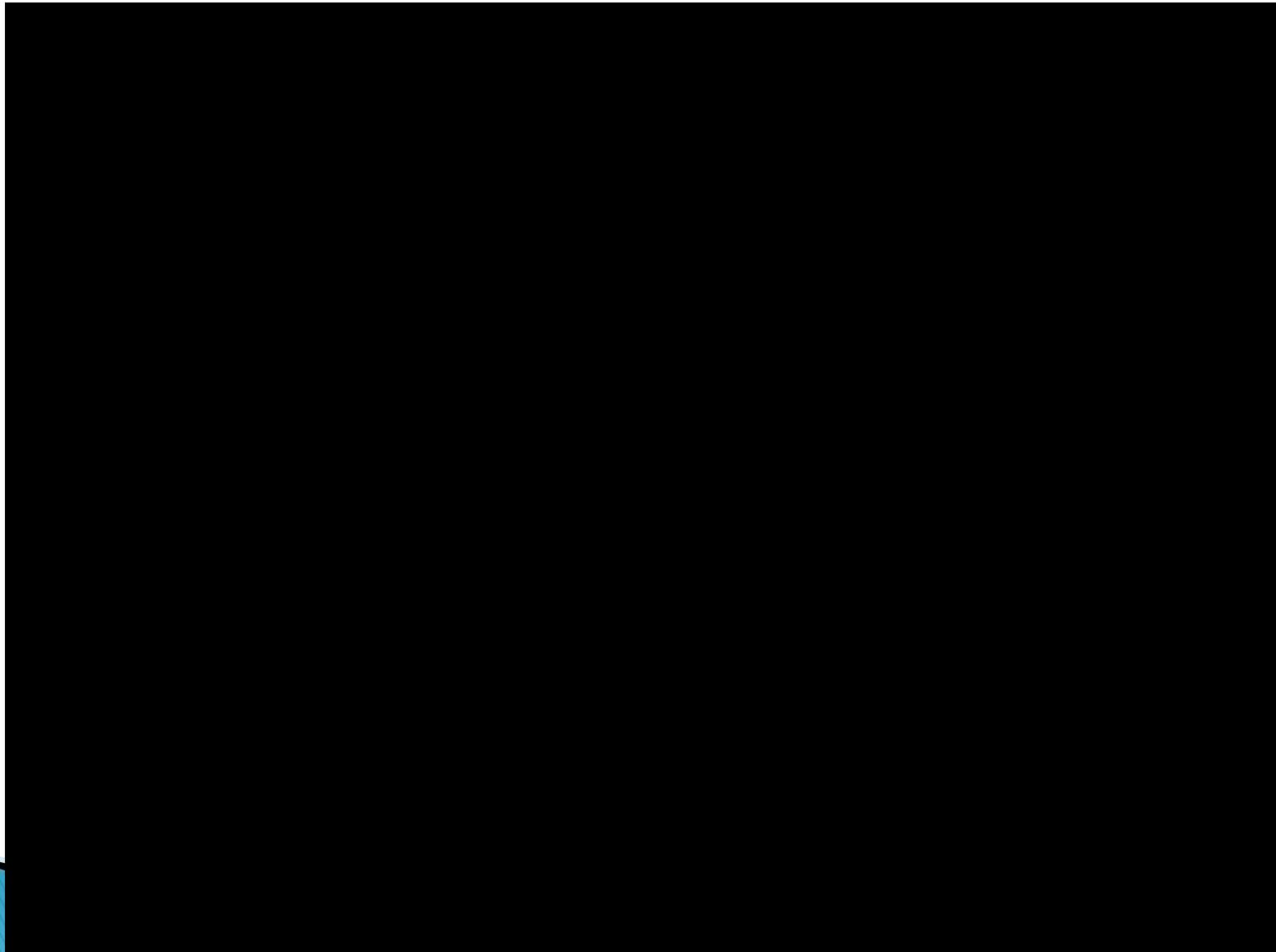


Resistores Especiales - VDR

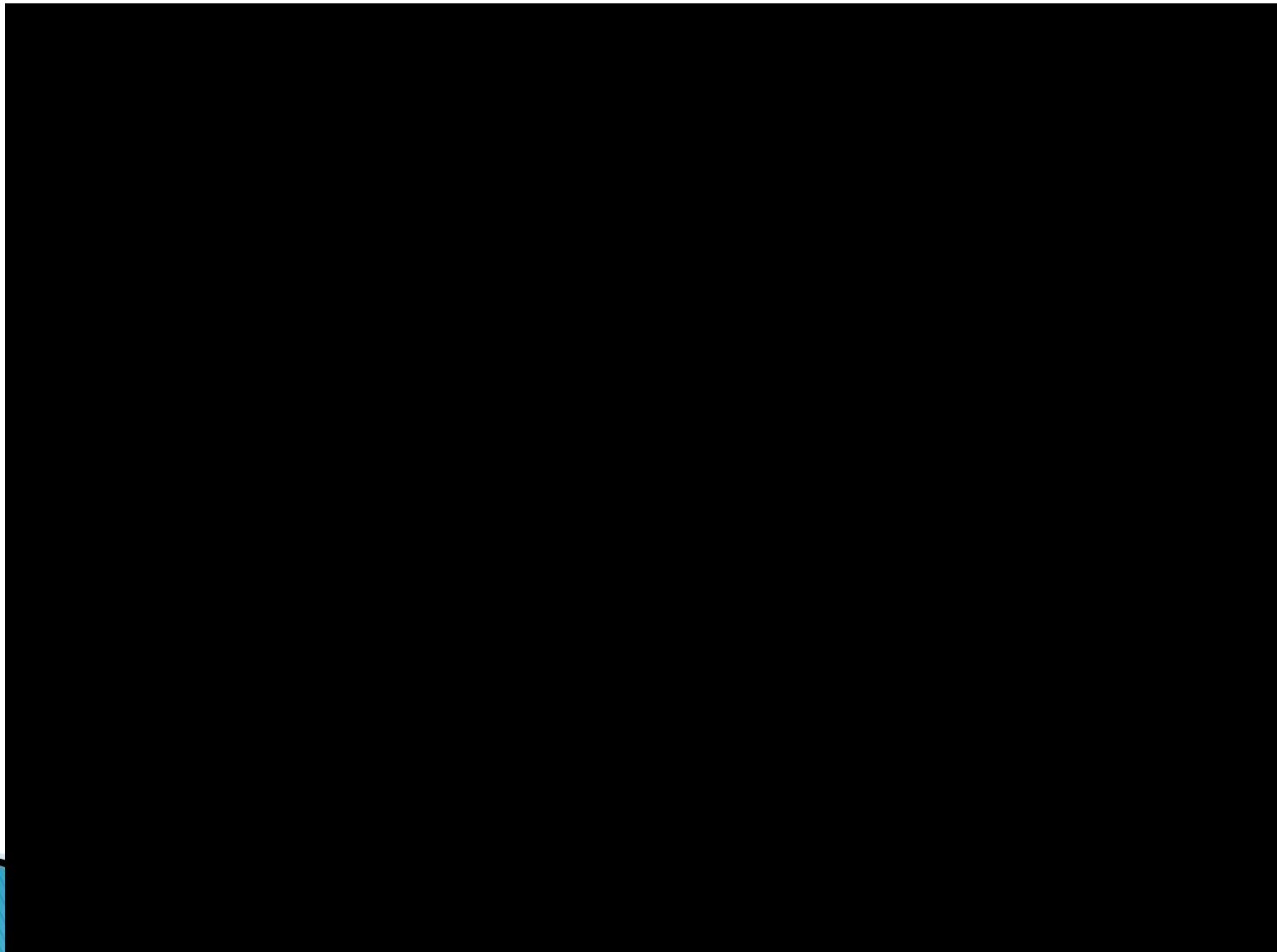
► Aplicaciones



Resistores Especiales – VDR



Resistores Especiales – VDR



Resistores Especiales – VDR

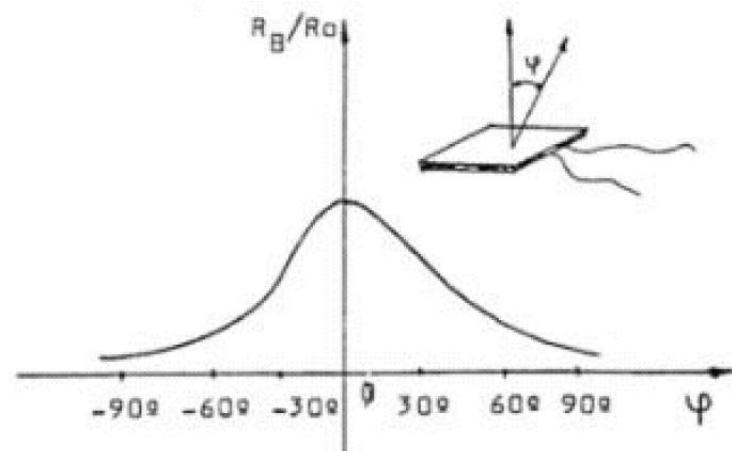
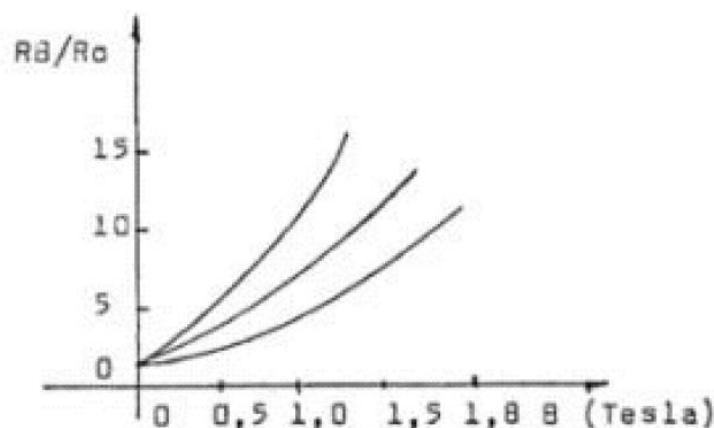
- ▶ Luego de Uso prolongado o Dañado



Resistores Especiales

► Magnetoresistores – MDR

- El valor óhmico aumenta en función del campo magnético aplicado perpendicularmente a su superficie.
- Es decir la resistencia varía en función de la dirección del campo magnético.
- Es un efecto descubierto en 1857 por Lord Kelvin.
 - Se verifica en capas de película delgada.



Resistores Especiales – MDR

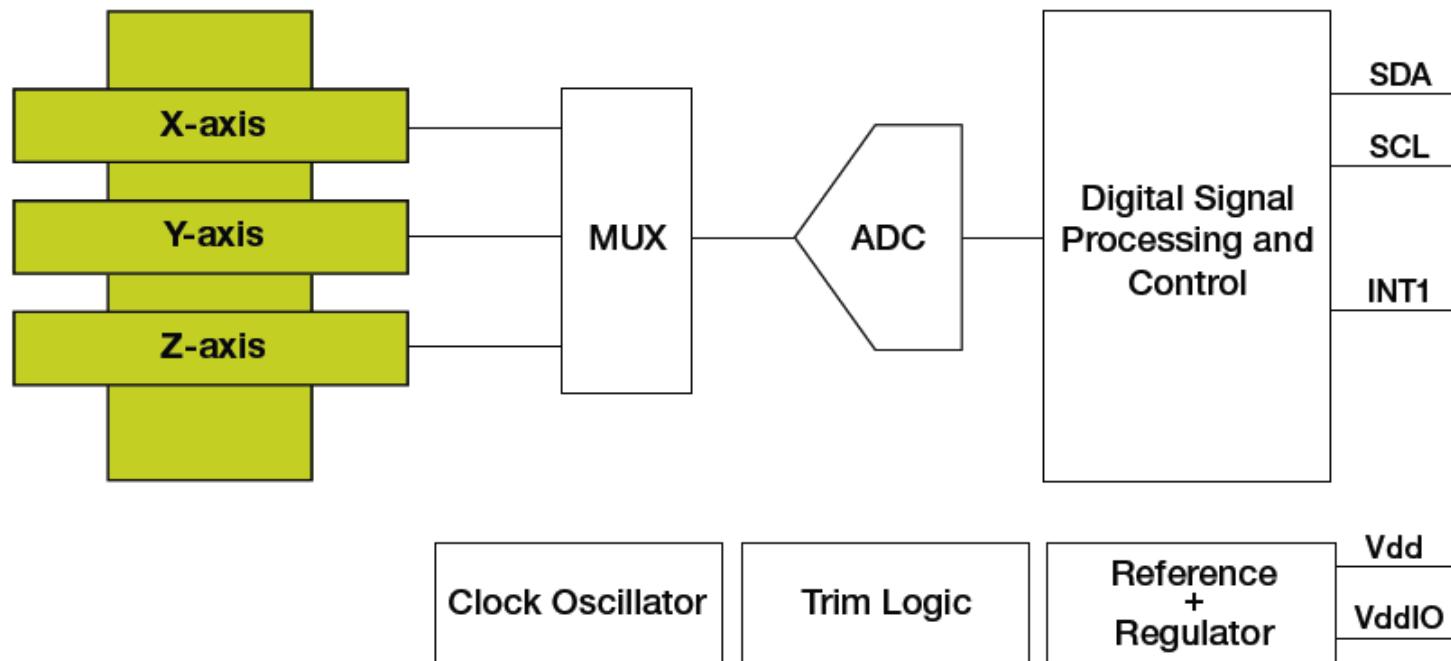
▶ Tipos de MDR

MAGNETORESISTENCIA	MATERIALES	CAMBIOS EN R
MR anisótropa (AMR)	Ferromagnéticos	5%
MR gigante (GMR)	Ferromagnéticos Multicapa	50%
MR túnel (TMR)	Ferromagnéticos Multicapa	1%
MR colosal (CMR)	Óxidos de perovskita de Magnaneso	600%

Resistores Especiales – MDR

▶ Ejemplos de MDR – MAG3110

Xtrinsic MAG3110 Magnetometer Block Diagram

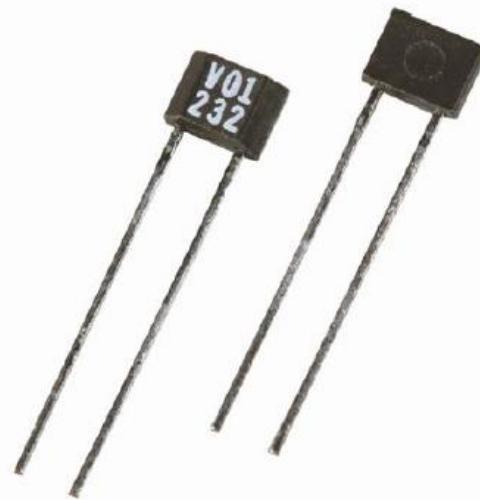


Resistores Especiales – MDR

Honeywell

VF401

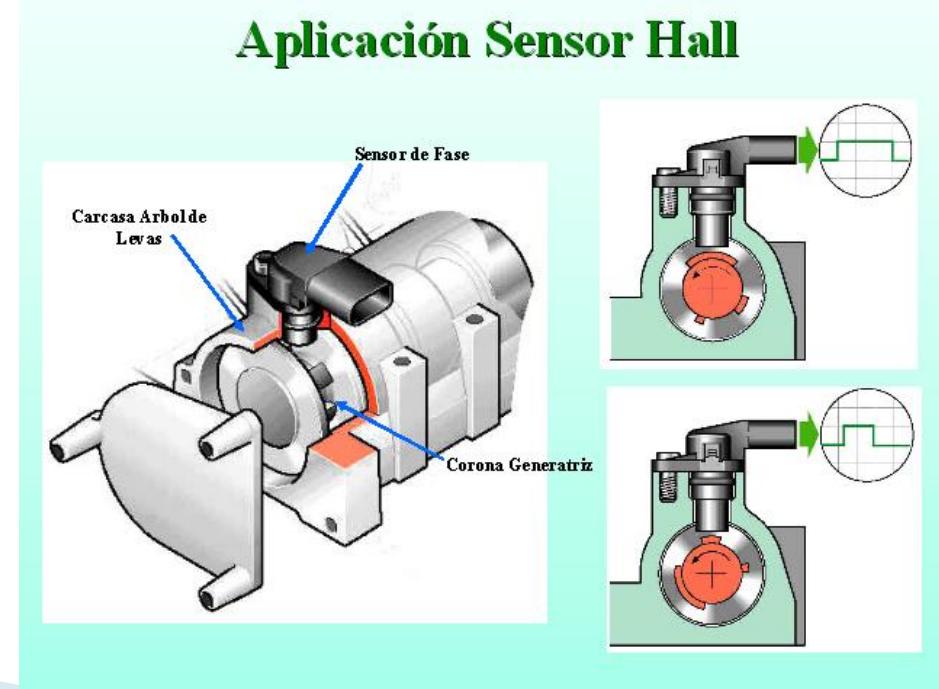
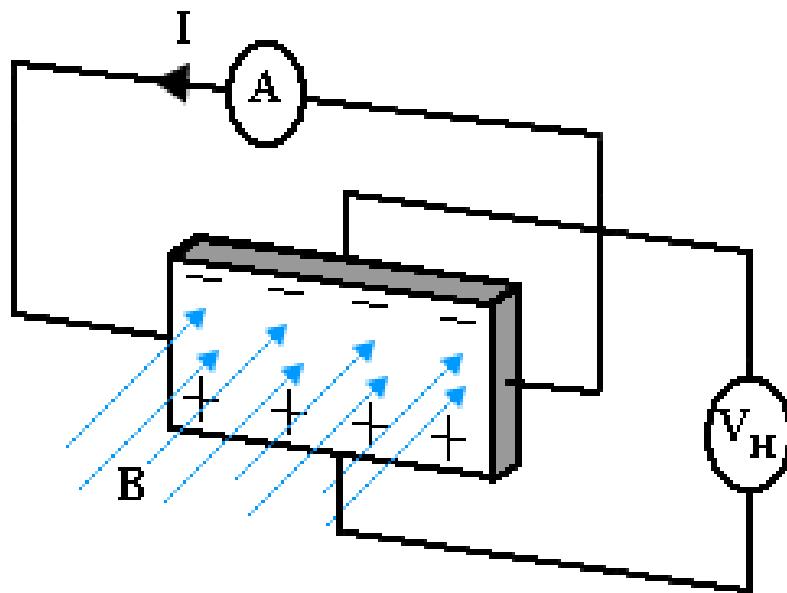
2-Wire MR Fine-Pitch
Ring Magnet Sensor



Resistores Especiales – HALL

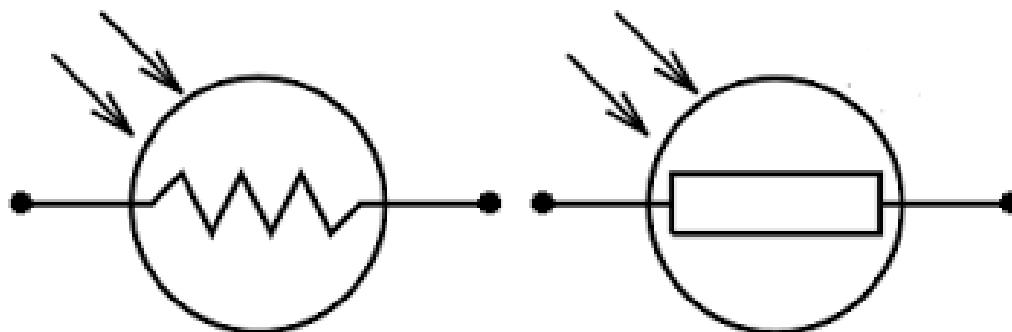
▶ Efecto HALL

- Al aplicar una corriente entre la caras del MR.
- Situar el elemento en un campo magnético
- Aparece una tensión conocida como tensión de Hall. En las caras opuestas



Resistores Especiales

- ▶ **Fotoresistores, LDR (Light Depended Resistor)**
 - El valor óhmico del componente disminuye al aumentar la intensidad de luz que incide sobre el componente.



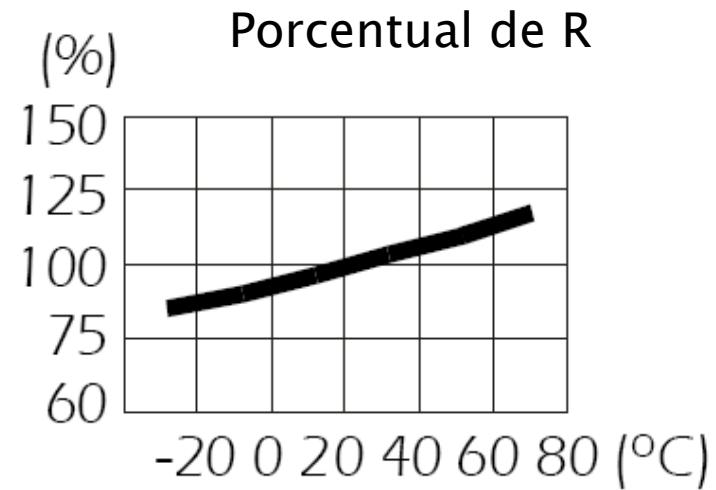
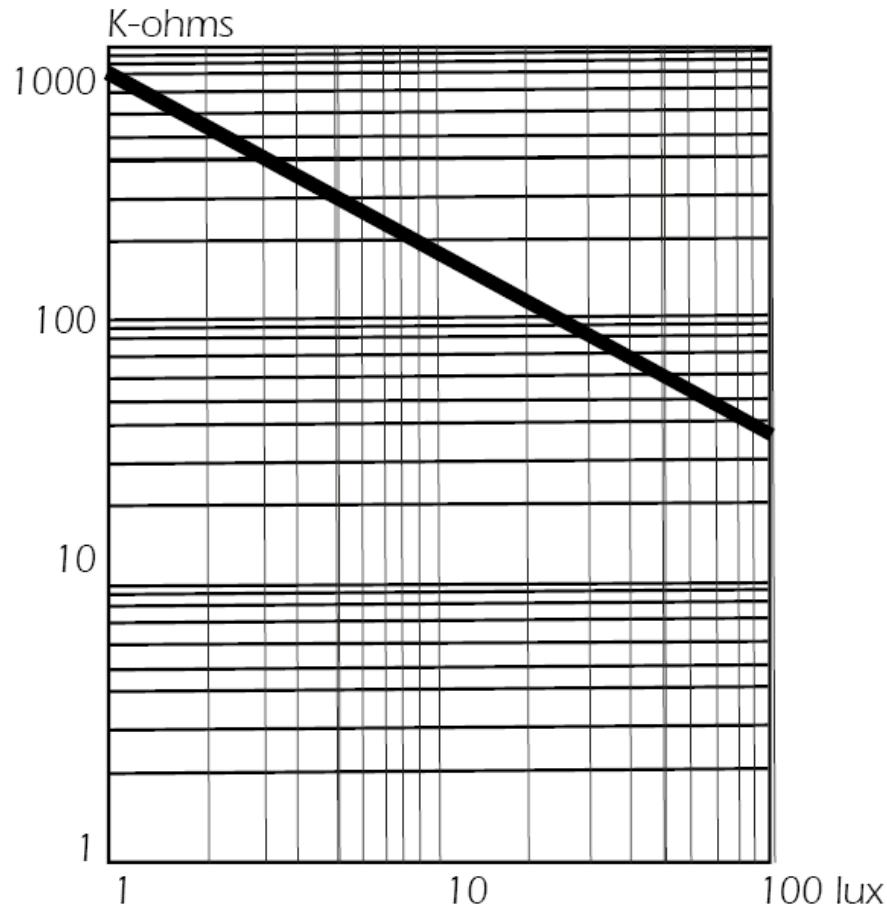
Resistores Especiales – LDR

▶ Parámetros (C-2795)

- El valor óhmico
 - Entre $20\text{K}\Omega$ y $140\text{K}\Omega$
- Tiempo de Respuesta
 - 60seg → subida
 - 25seg → bajada
- Respuesta Espectral
 - 570nm
- Tensión
 - 150V DC

Resistores Especiales – LDR

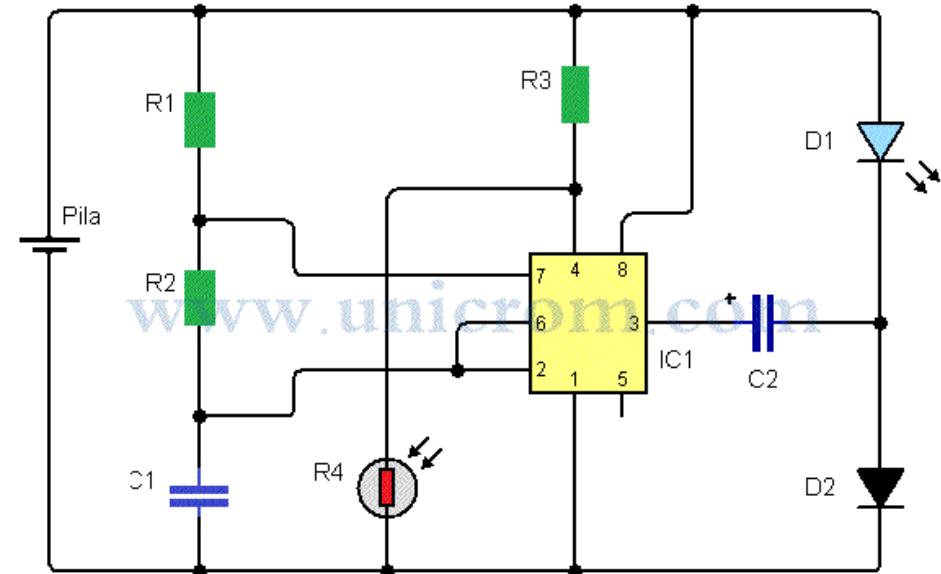
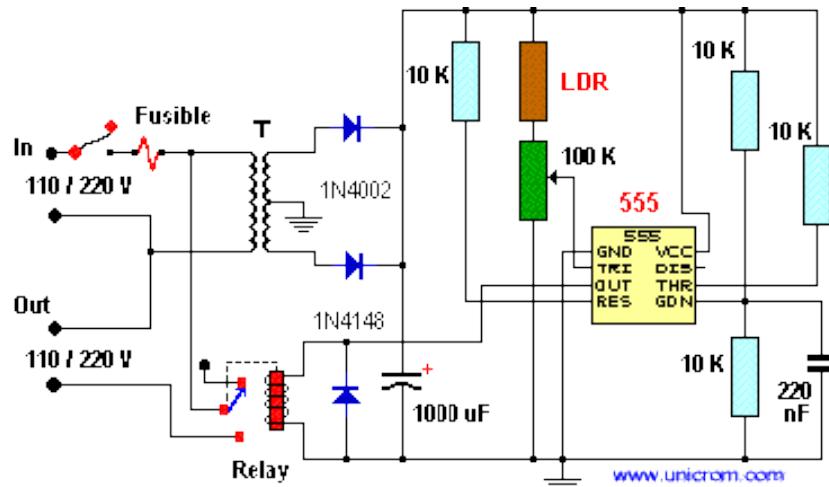
► Curvas de Respuesta



LUX → 1lumen * m²

Resistores Especiales – LDR

► Aplicaciones



Tecnología Electrónica Ingeniería en Electrónica

Universidad Tecnológica Nacional
Facultad Regional Córdoba

Capacitores

- ▶ Un capacitor es un dispositivo que tiene la propiedad de almacenar energía, la que podrá ser liberada posteriormente.
- ▶ En forma elemental consta de dos placas metálicas paralelas aisladas entre sí por un material dieléctrico.
- ▶ La capacitancia dependerá de la forma, tamaño, y tipo de material dieléctrico.
- ▶ Una capacitancia de 1 Farad es cuando con una tensión aplicada de 1V se almacena 1 Coulomb.

Capacitores

$$Q(t) = C * V(t)$$

$$\text{Farad} = \frac{\text{Coulomb}}{\text{Volt}} = \frac{\text{Coulomb}^2}{\text{Joule}}$$

$$C = \frac{\epsilon_0 * K_d * A}{d} [\text{pF}] \rightarrow \text{capacitancia capacitor placas paralelas}$$

C → capacitancia [pF]

A → Área [m]

ϵ_0 → Constante dieléctrica absoluta (≈ 8.85)

K_d → Constante dieléctrica material empleado

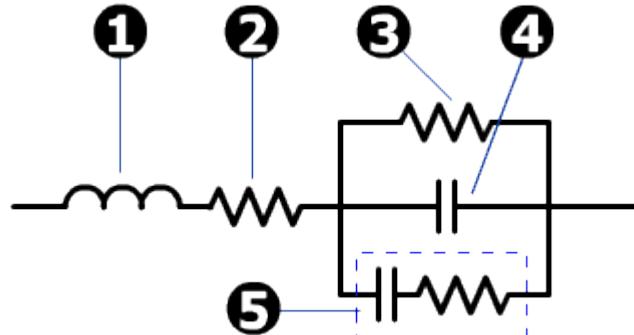
d → distancia entre placas [m]

$$C = \frac{\epsilon_0 * K_d * A}{d} [\text{pF}] \rightarrow \text{capacitor poliéster}$$

$$C = \frac{8.85 * 3 * 0.06}{0.010} = 159.3 \text{ pF}$$

CIRCUITO EQUIVALENTE

- ▶ Se debe considerar en modelo equivalente



- ▶ 1 – Inductancia que se debe a los terminales y arrollamientos de los electrodos → L
- ▶ 2 –Resistencia de los electrodos y terminales de conexión → R_s
- ▶ 3 – Resistencia de Aislamiento → R_p
- ▶ 4 – Capacidad Nominal → C
- ▶ 5 – Absorción Dieléctrica

Factores Generales

▶ Eléctricas

- Tolerancia de la Capacidad
- Tensión Nominal
- Capacidad de Conducción de AC
- Resistencia de Aislamiento o Pérdidas
- Factor de Disipación
- Efectos de la Frecuencia
- Coeficiente de Voltaje
- Variación de la Capacidad con respecto a la Temperatura
- Absorción del Dieléctrico

▶ Mecánicas

- Tamaño
- Tipo de Terminal
- Montaje

◦ Ambientales

- Rango de Temperatura de Trabajo
- Resistencia a Hongos
- Resistencia a golpes y vibraciones
- Altitud
- Radiación

◦ Confiabilidad

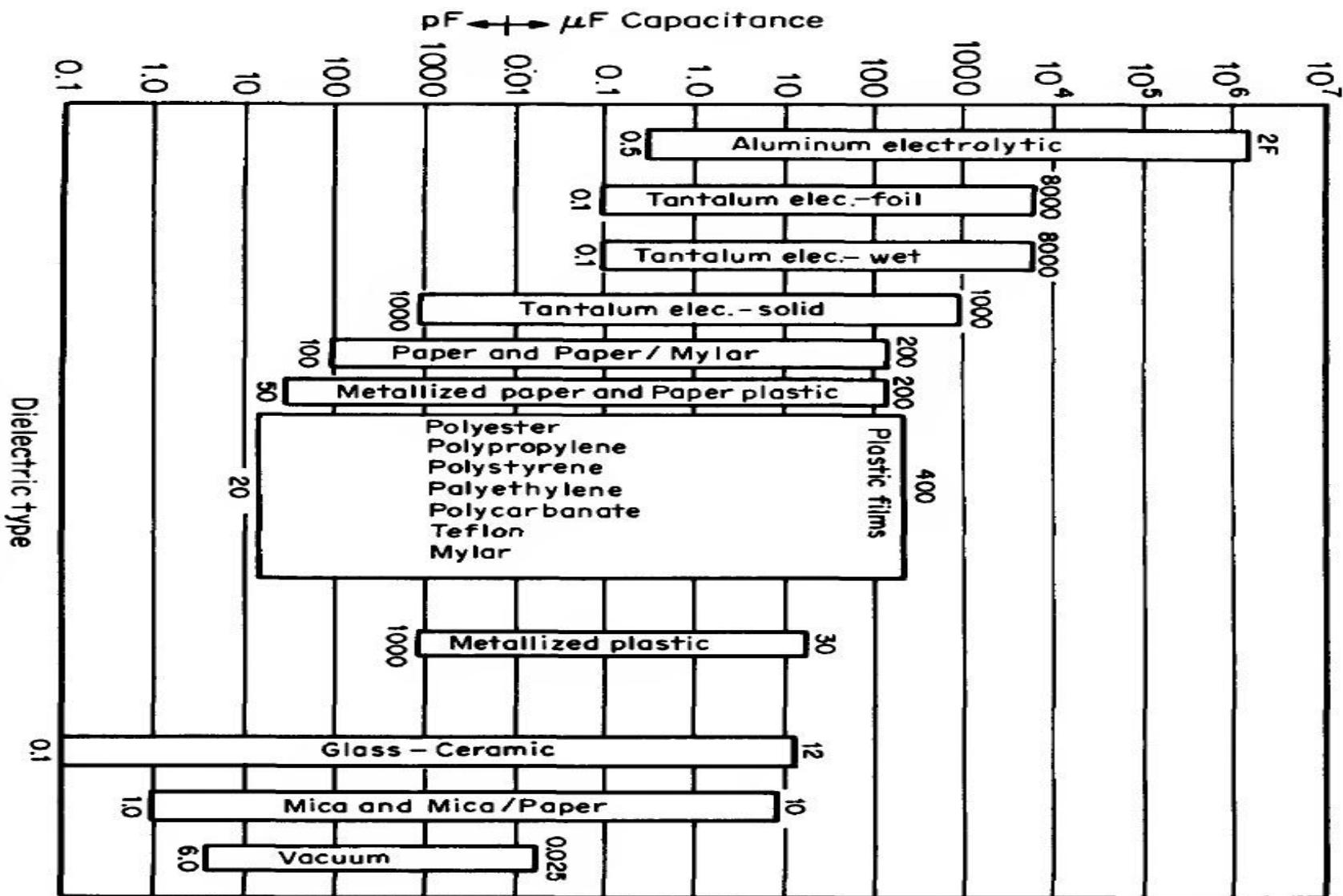
- Reducción de la probabilidad de falla
- Modos de falla
- Estabilidad
- Vida Útil

Capacidad y Tolerancia

- ▶ La capacidad y tolerancia dependerá del material.

Tipo	Capacidad	Tolerancia
Vidrio Mica	< 10.000 pF	Hasta $\pm 1\%$
Cerámica		10% a 20%
Papel Plástico	5nF - 22uF	$\pm 0.5\%$ a $\pm 20\%$
Cerámica (algunos)		10% a 20%
Electrolíticos	>1uF	> $\pm 5\%$

Capacidad - Dieléctrico



Tensión Nominal

- ▶ Es importante que la tensión (CC) seleccionada para el capacitor sea lo suficientemente alta para evitar reducir su confiabilidad.
- ▶ Se deben tener presentes los transitorios y las sobretensiones.

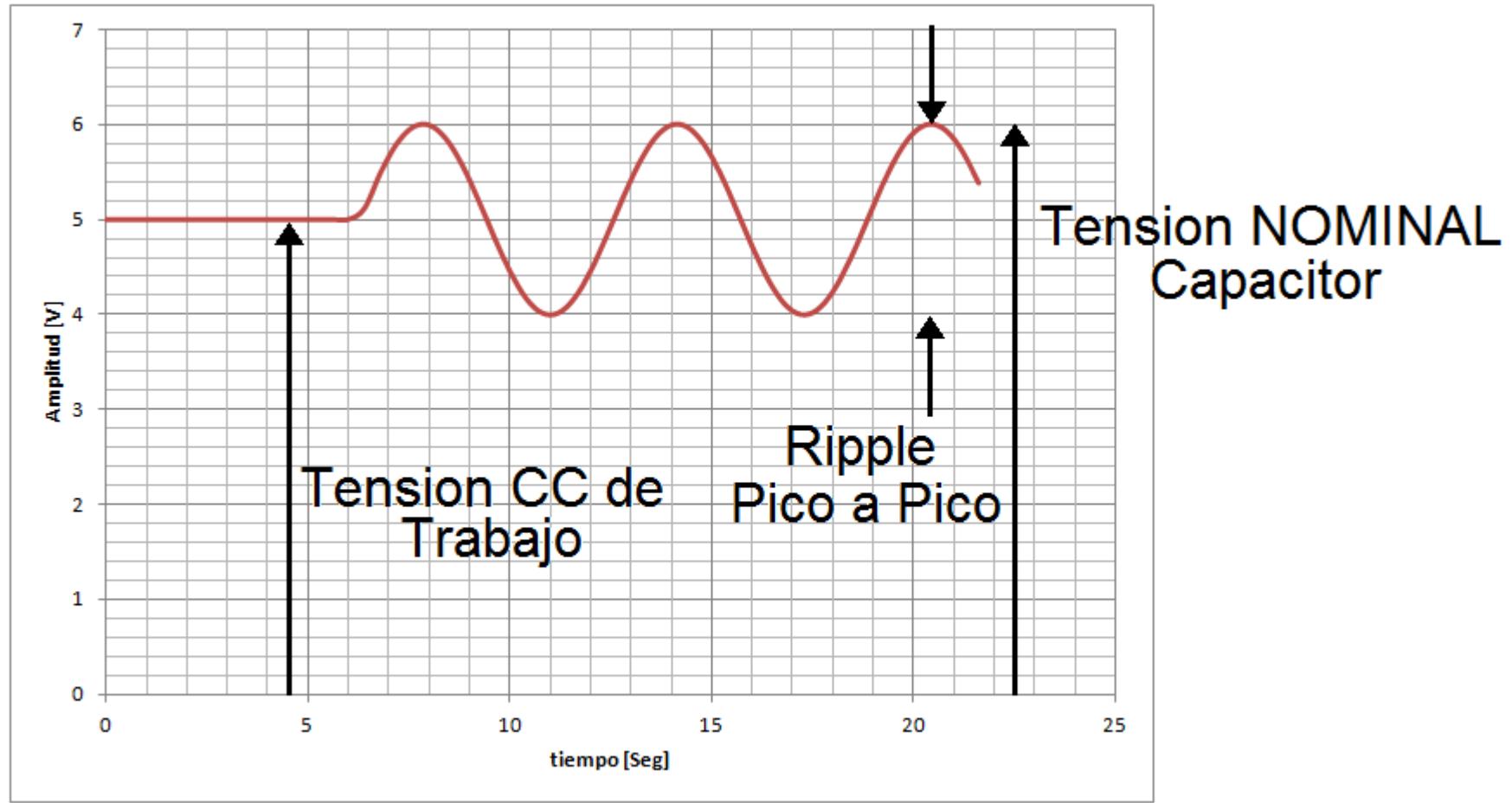
Tipo	Tensión Nominal
Vidrio	100V- 500V
GP – Cerámica (Disco Cerámico General $\pm 10\%$)	50V – 1600V
TC – Cerámica (Temperatura Compensada)	50V – 500V
Plástico – Papel	30V – 1000V
Tantalio Sólido	6V – 100V
Lámina de Tantalio – Tantalio Húmedo	6V – 450V

Tensión Nominal

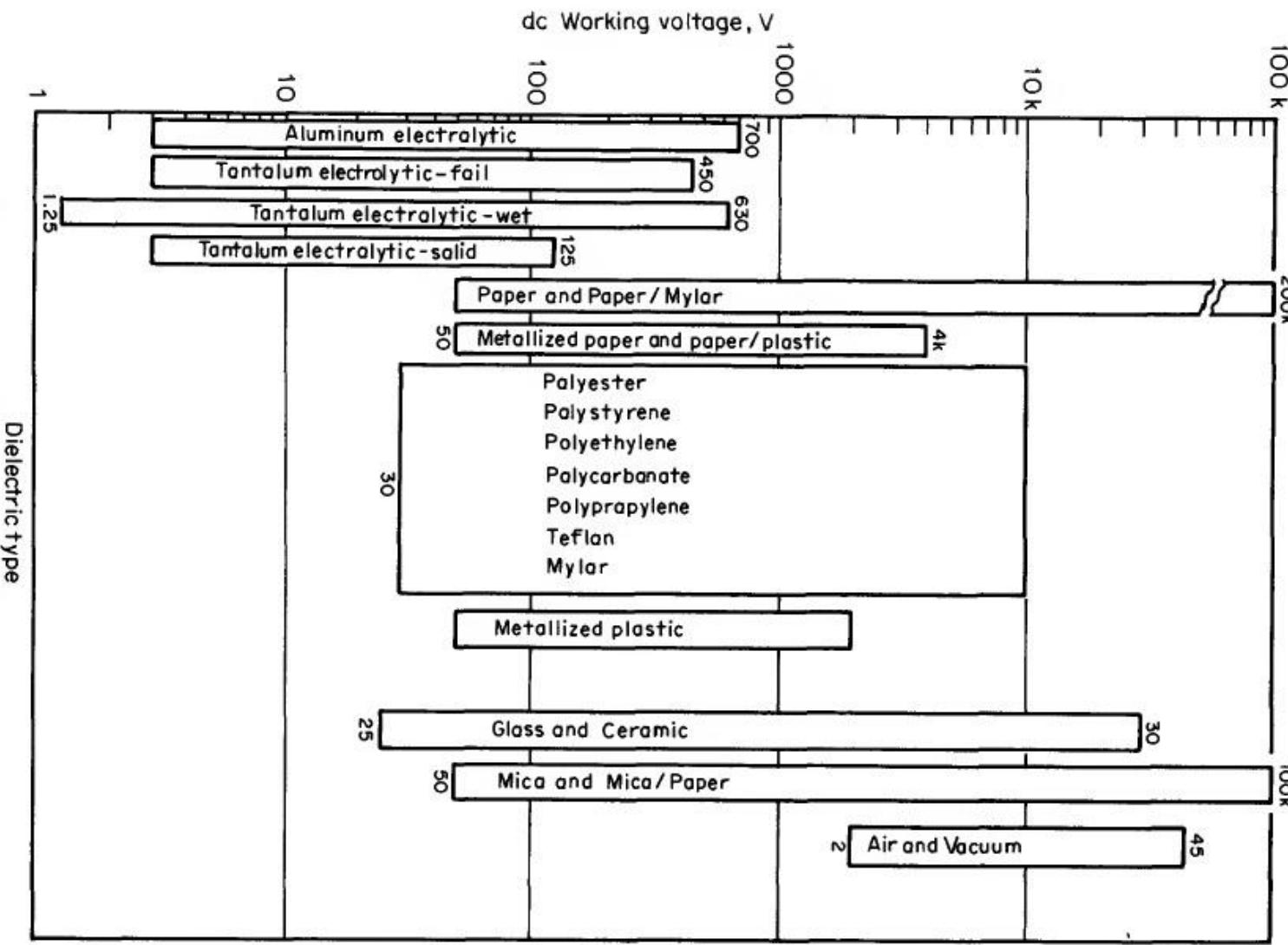
- ▶ Para aplicaciones en AC se debe determinar la corriente, la forma de la onda, y los requerimientos de temperatura.
 - Tensión Pico
 - Tensión Pico a Pico
 - Corriente Eficaz
 - Corriente Pico
 - Formas de Onda No sinusoidales
 - Dibujar la onda para determinar los parámetros antes mencionados.

Tensión Nominal

- ▶ Para aplicaciones en DC con AC superpuesta.

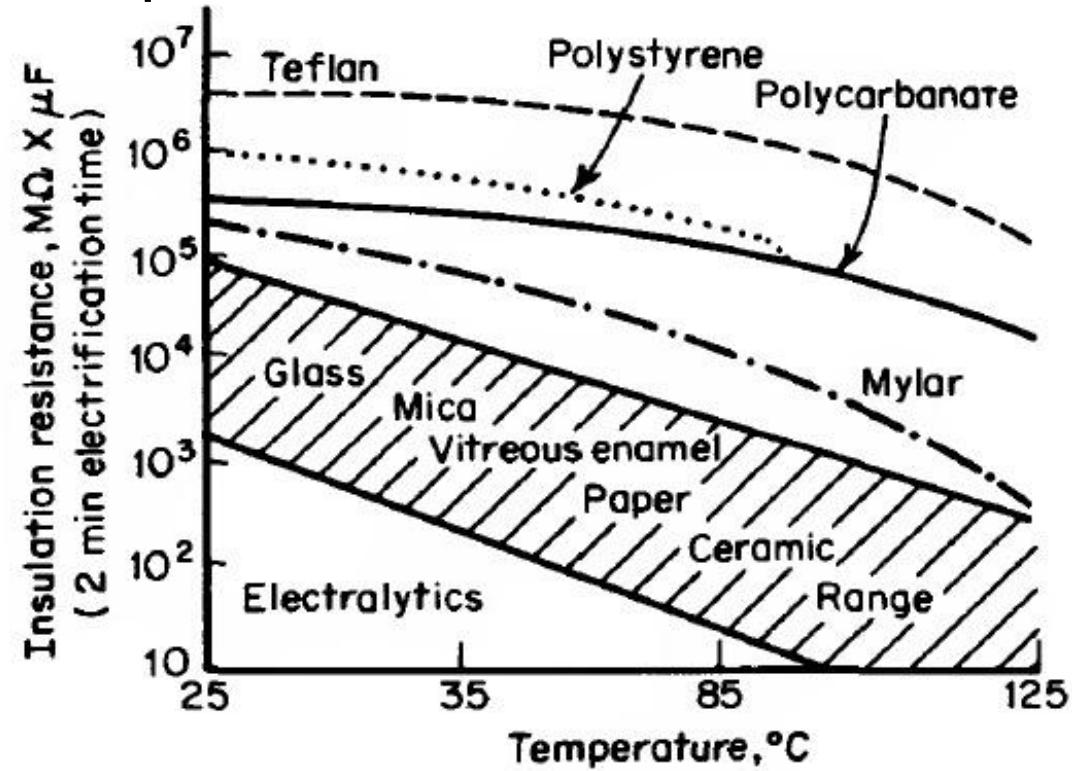


Tensión Nominal



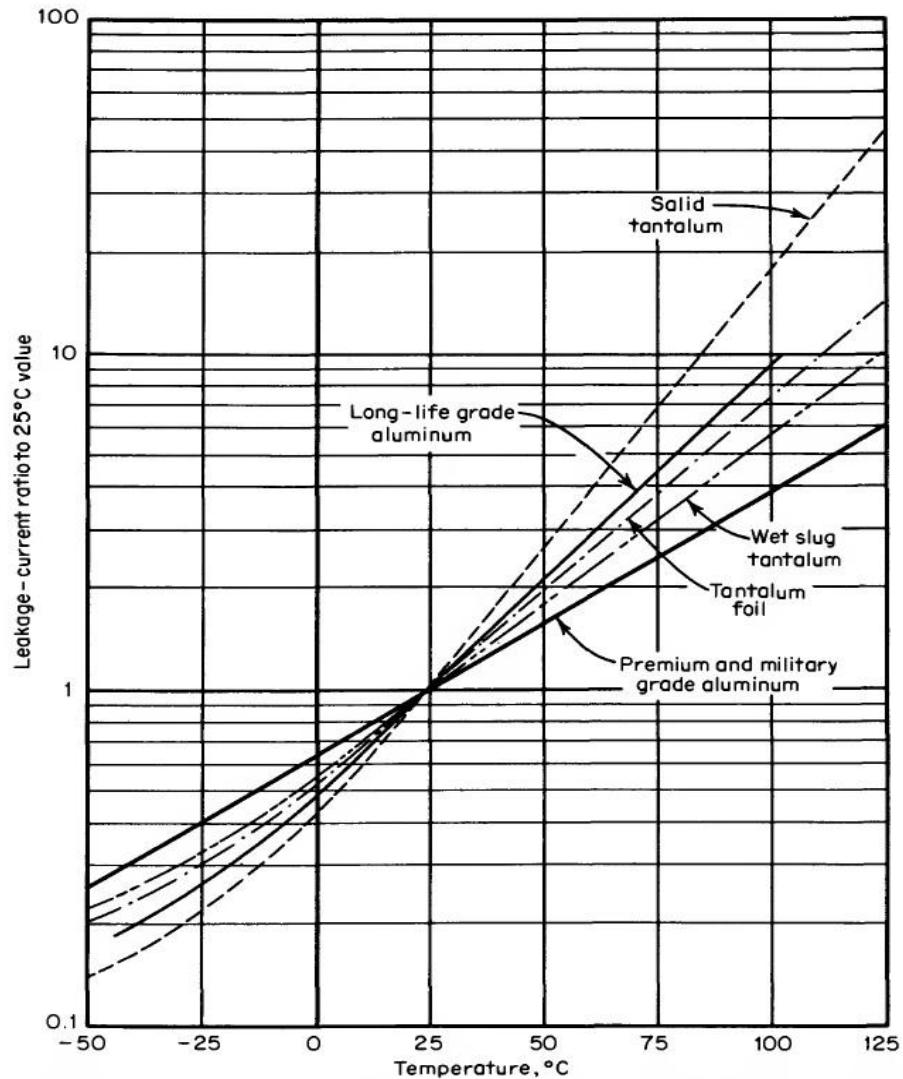
Resistencia de Aislamiento IR

- ▶ Se expresa en $M\Omega$ o $M\Omega/\mu F$ para dieléctrico convencional. Se expresa en μA para los de tipo electrolítico (corriente de fuga).
- ▶ Disminuye con la temperatura.



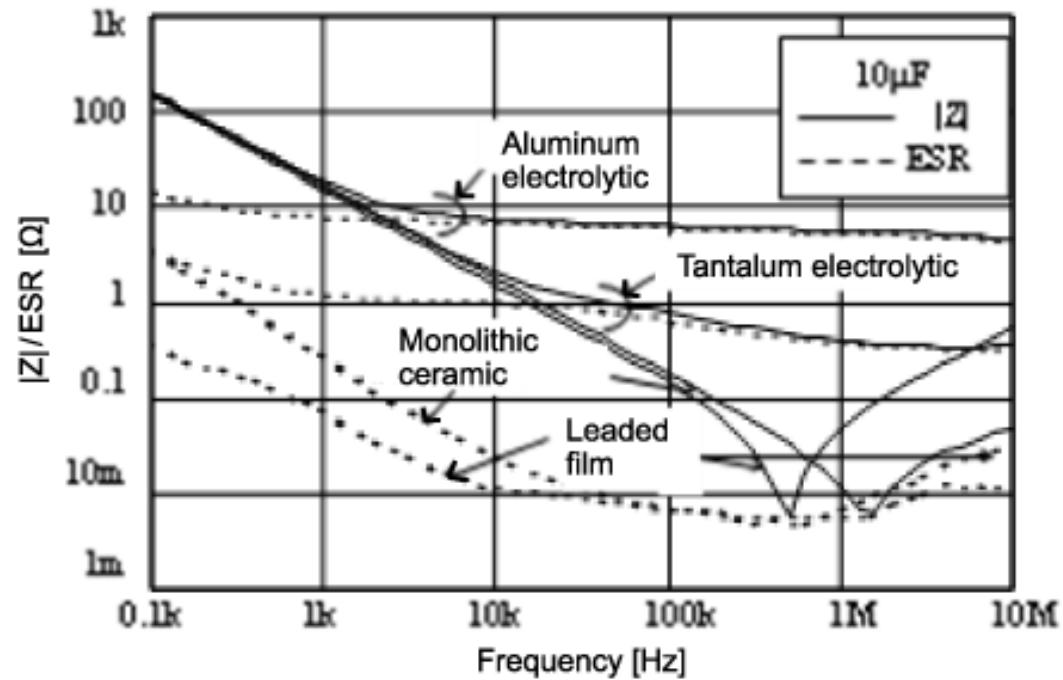
Corriente de Fuga

- ▶ En capacitores de tipo electrolíticos se expresan las corrientes de fuga en cuenta de la resistencia de aislamiento IR.
- ▶ Aumenta con la temperatura.



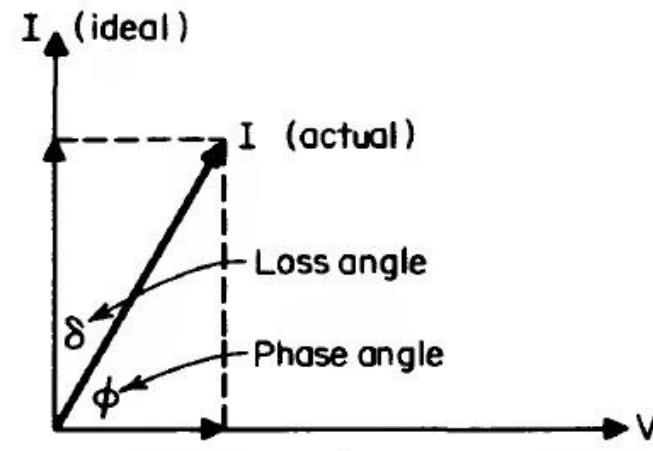
Resistencia ESR

- ▶ Resistencia Equivalente Serie ESR
- ▶ Esta representada por las R_s y R_p del circuito equivalente.
- ▶ Es un valor que se tiene en cuenta en capacidores de tipo Electrolítico.

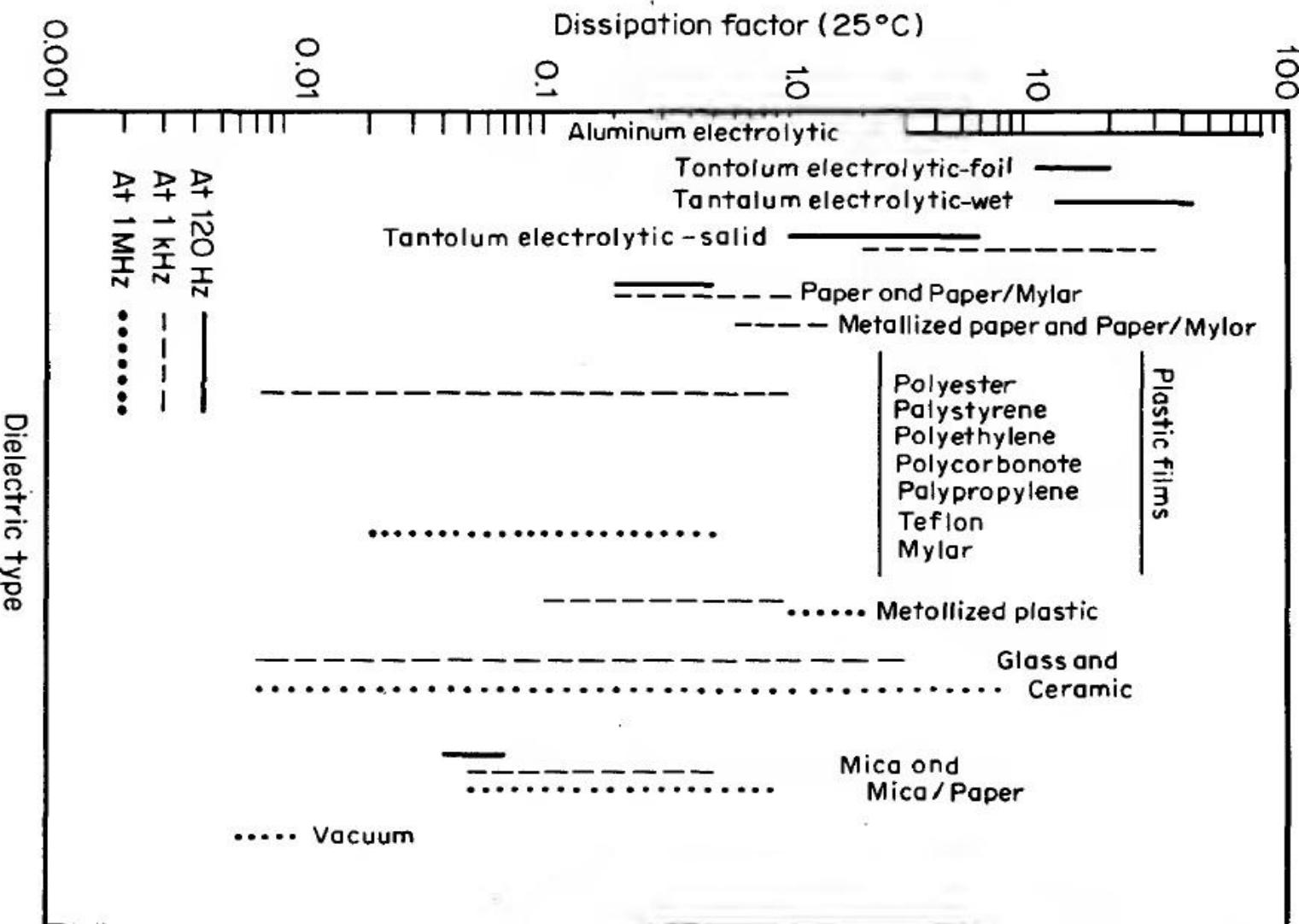


Factor de Disipación DF

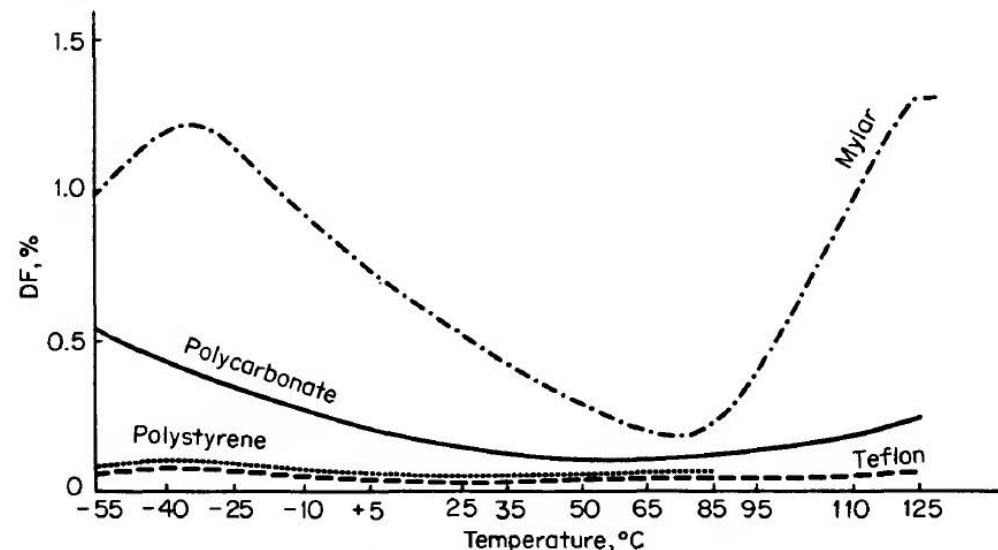
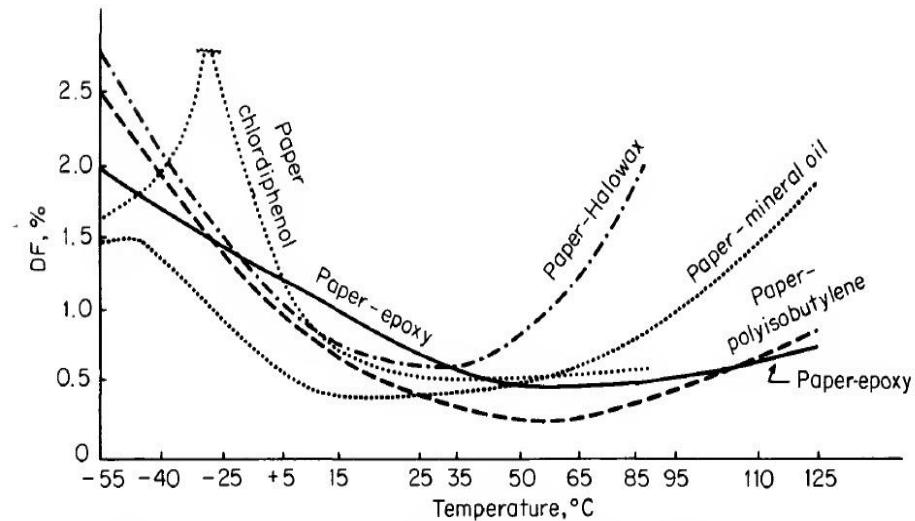
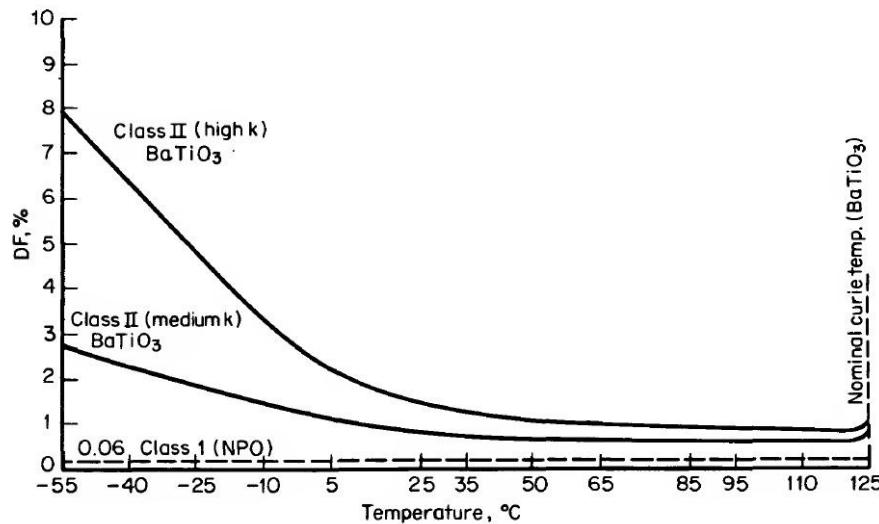
- ▶ Es función de la Capacidad, la ESR y la Frecuencia.
- ▶ Se mide en las siguientes frecuencias
 - 1Mhz → $C < 100\text{pF}$
 - 1Khz → $C > 100\text{pF}$
 - 120Hz → Capacitores Electrolíticos
- ▶ Varía con la temperatura.
- ▶ $\text{DF} = \text{tg } \delta$ (Ángulo de Pérdidas)



Factor de Disipación DF

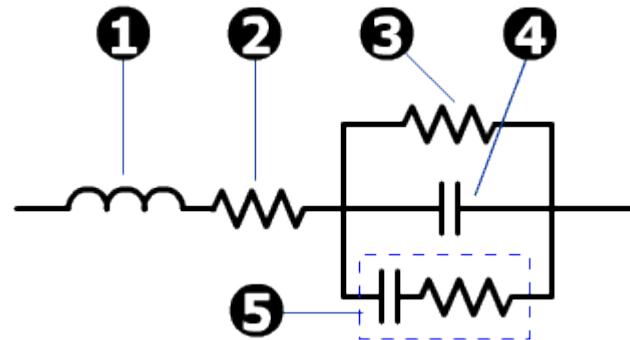


Factor de Disipación DF



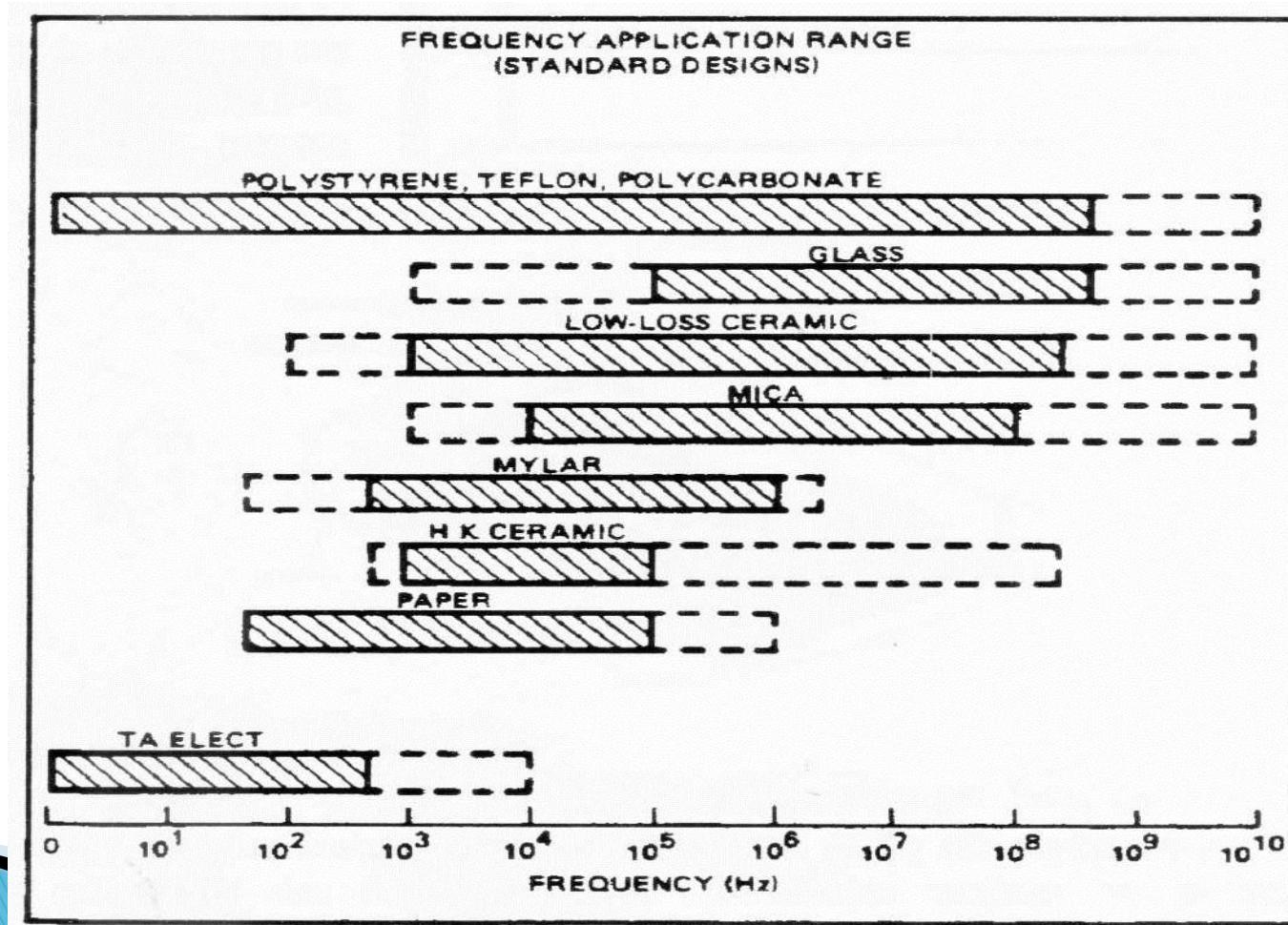
Efecto de la Frecuencia

- ▶ En DC, L y Rs son de bajo valor.
- ▶ Cuando aumenta la frecuencia L y Rs afectan al valor real de C.
- ▶ En un punto se tendrá que el sistema entra en resonancia, con lo cual el componente se asemeja a una R.
- ▶ Si aumento aun más la frecuencia el componente se asemeja a L.



Efecto de la Frecuencia

- ▶ Grafica para selección de tipo de capacitor

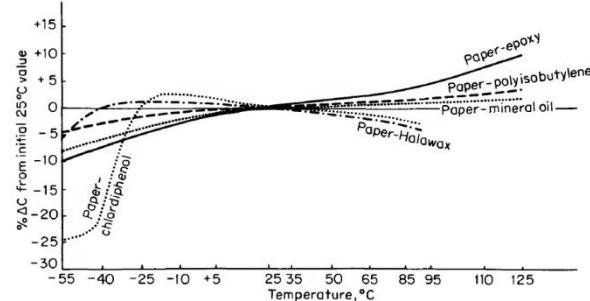
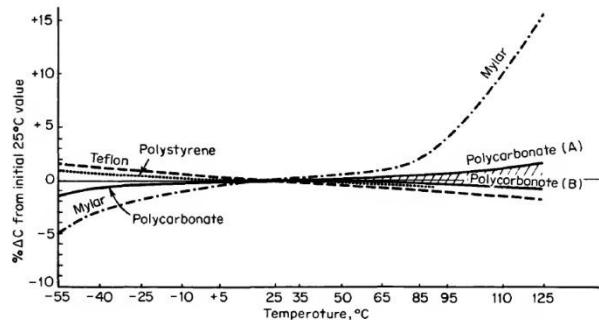
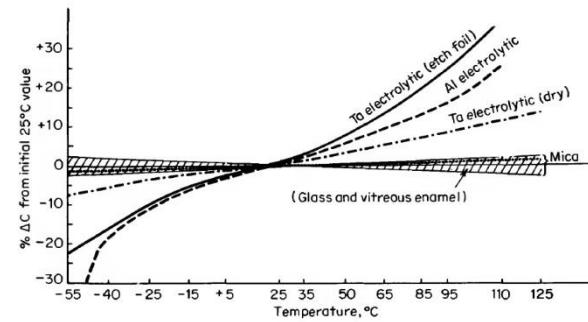
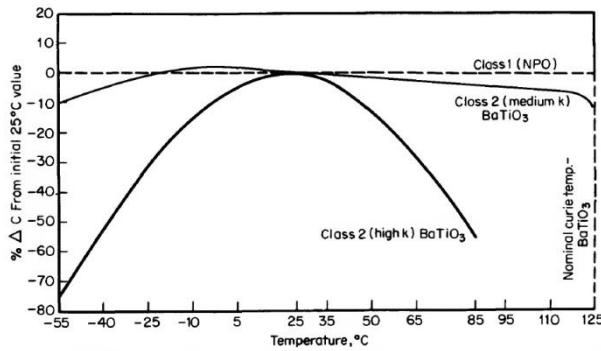


Coeficiente de Tensión

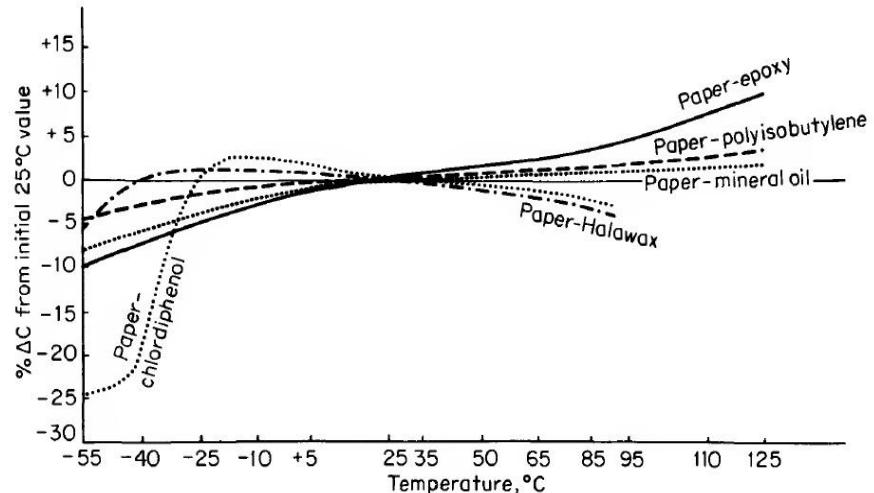
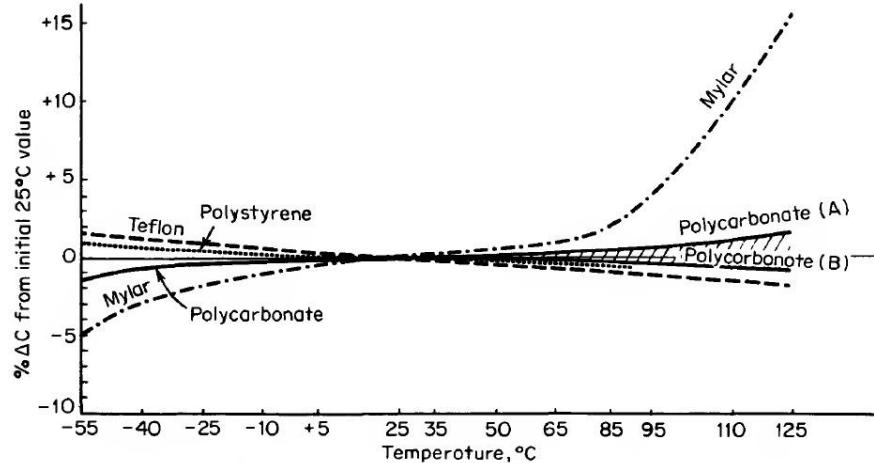
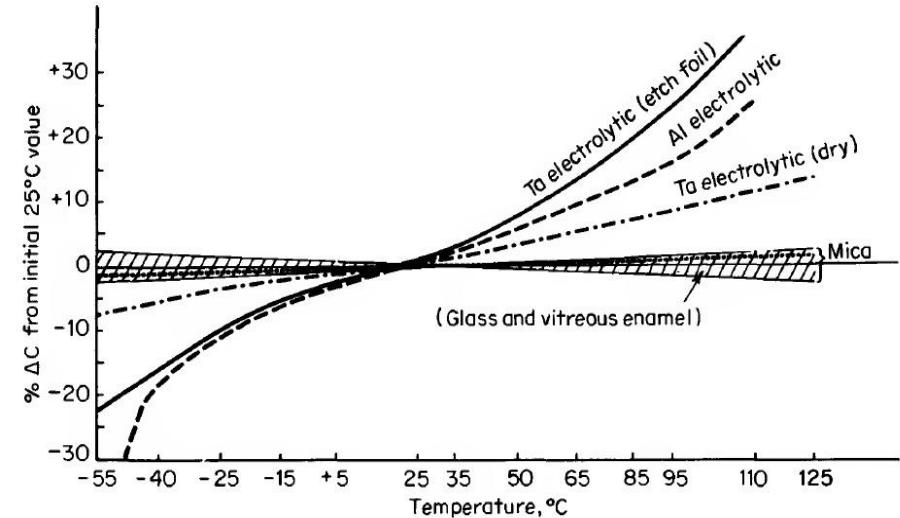
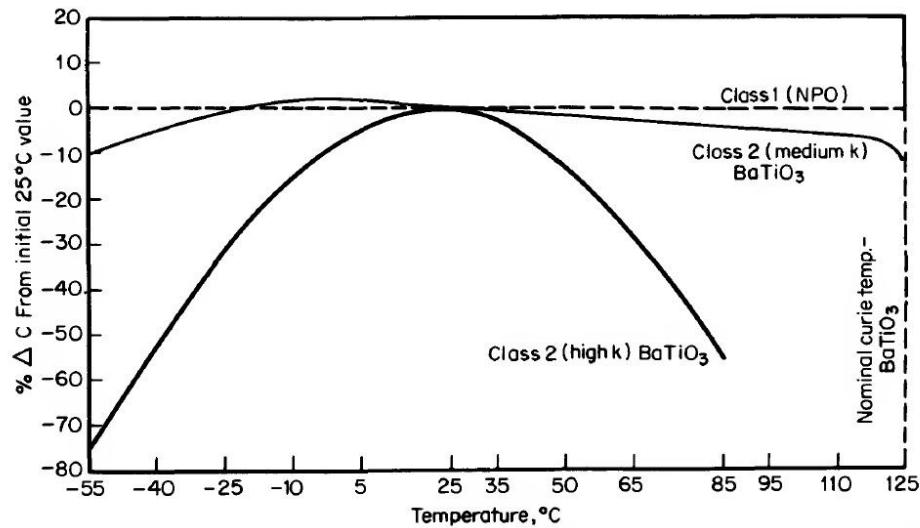
- ▶ La variación de capacitancia versus la tensión aplicada es insignificante en Clase I.
- ▶ En capacitores de cerámica CLASE II se aprecia el efecto de cambio de capacidad.

Efectos de la Temperatura

- ▶ La variación de temperatura provoca una variación de la capacitancia.
- ▶ En los capacidores de dieléctrico impregnado se busca disminuir las películas de aire. Se tienen las graficas resultantes:



Efectos de la Temperatura



Absorción Dieléctrica

- ▶ Es la tendencia de retener electrones por parte del dieléctrico.
- ▶ Cuando se realiza una descarga, aparece en los terminales una tensión de recuperación.
- ▶ Es un porcentual en relación con la tensión nominal.

Absorción Dieléctrica

Dieléctrico	% DA
Aire	0
Poliestireno - Teflón	0.02
Policarbonato	0.08
Mylar	0.20
Mica	0.70
Papel Impregnado con Aceite	2.0

Voltaje de Carga : 200Vdc

Tiempo Carga: 1 minuto

Tiempo Descarga: 2 segundos

Tiempo antes de Medición: 1 minuto

Temperatura: 25°C

Factores Generales

▶ Consideraciones Ambientales

- Temperatura
 - Afecta: capacitancia, variaciones del dieléctrico, corriente de fuga, tensión de ruptura, valor máximo de corriente. Además provoca fuga de electrolitos.
 - Acorta la vida útil.
- Humedad
 - Afecta: la corriente de fuga, la tensión de ruptura, factor de potencia y el factor de calidad.
- Presión Barométrica
 - Afecta: la tensión de ruptura y fuga de electrolitos.
- Vibración, golpes, aceleraciones
 - Si no esta preparado para estas condiciones puede afectar: capacitancia, dieléctrico, la resistencia de aislamiento, fatiga de los terminales. Puede aparecer efecto piezoelectrónico en condensadores cerámicos

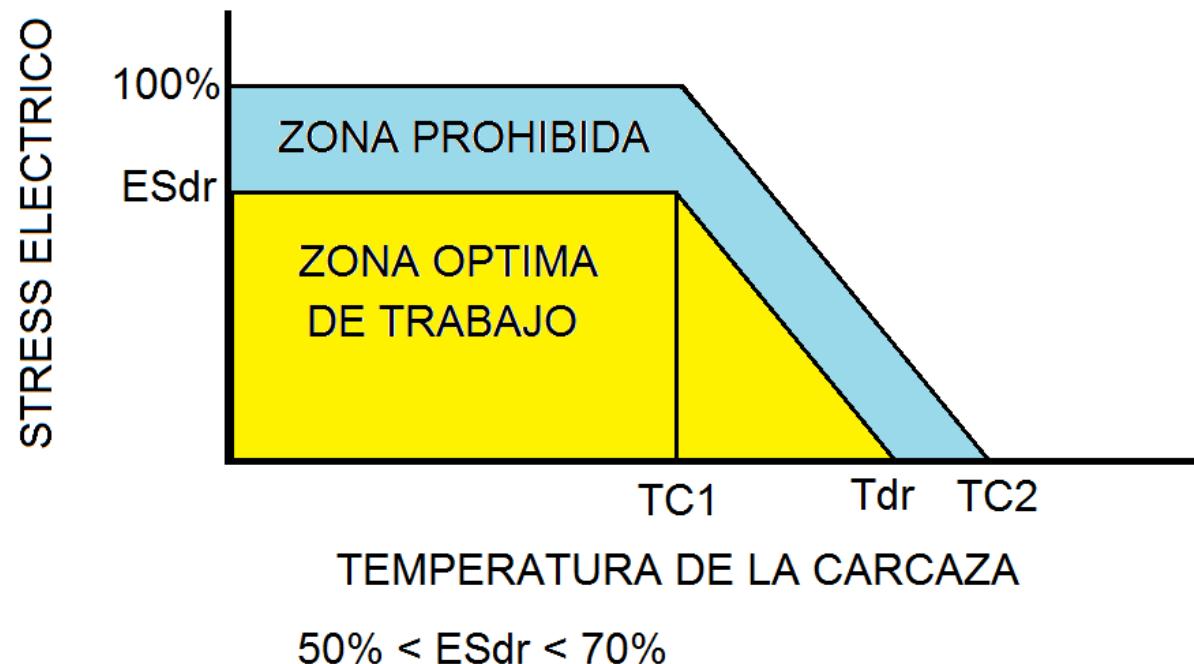
Factores Generales

▶ Consideraciones Ambientales

- Tensión Aplicada
 - Puede afectar: corriente de fuga, elevación de temperatura, ruptura dieléctrica, la frecuencia, el efecto corona y el aislamiento.
- Confiabilidad – Modos de Falla
 - Abierto
 - Cerrado
 - Intermitente en abierto y cerrado
 - Baja resistencia del dieléctrico
 - Variación de la capacitancia
 - Alta corriente de pérdida

Factores Generales

- ▶ Consideraciones Ambientales
 - Degradación
 - Es función del tiempo, la temperatura y el voltaje.





Capacitores – TIPOS

▶ FIJOS

- Cerámicos
 - Clase I → NPO
 - Clase II → BX
 - Con K Medio
 - Con K elevado
- Mica
- Vidrio
- Plástico
 - Poliéster Film → Mylar
 - Naftalato Polietileno
 - Sulfuro de Polifenileno
 - Policarbonato Film
 - Polipropileno Film
 - Politetrafluoroetileno → Teflón
 - Papel Film

▶ FIJOS

- Electrolíticos
 - De aluminio
 - De tantalio
 - Sólido
 - Húmedo
 - Lámina
 - Polarizados
 - No Polarizados

▶ VARIABLES

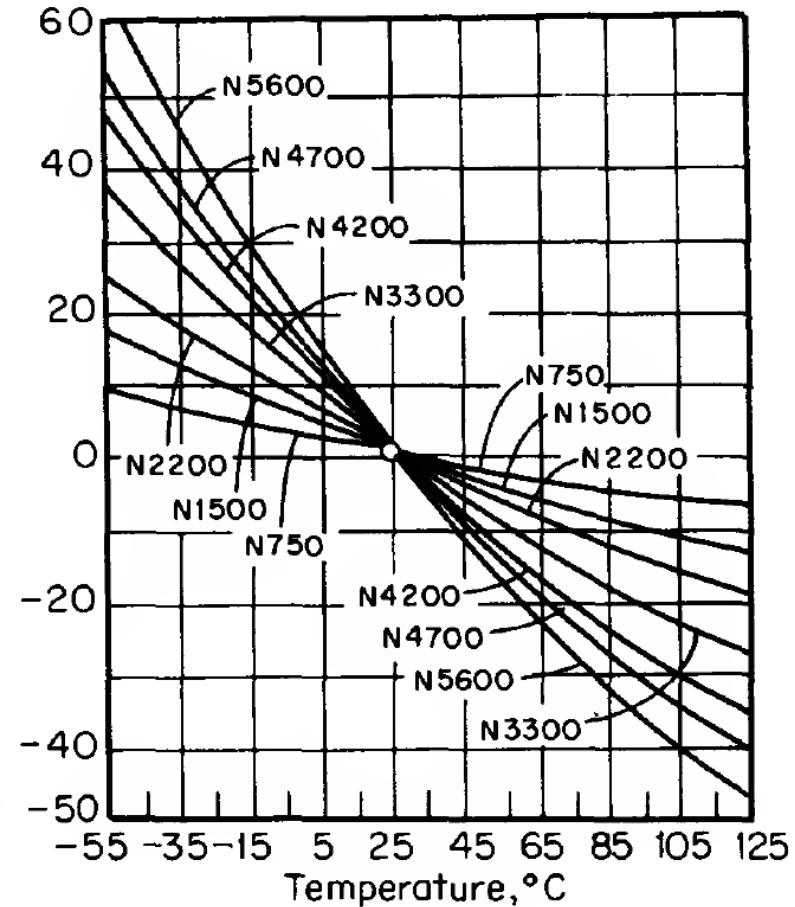
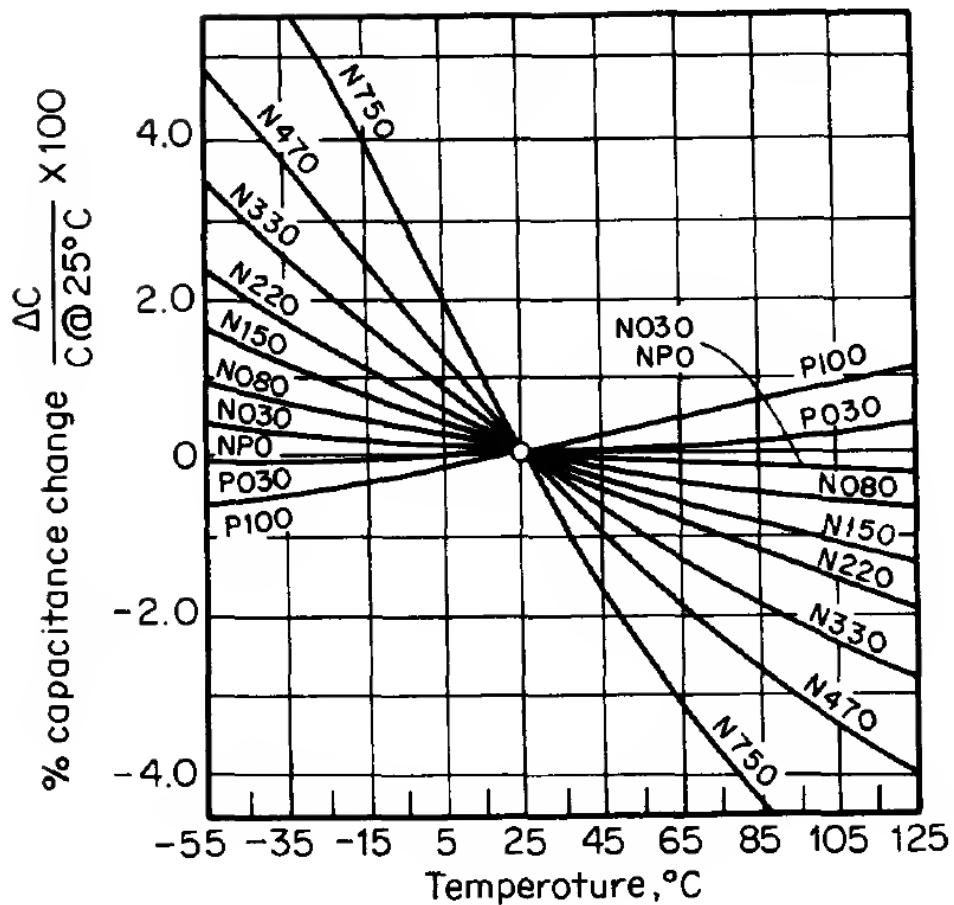
- Cerámica
- Vidrio
- Aire
- Teflón
- Mica

Capacitores – Cerámicos

- ▶ Clase I → NPO
 - Compensados en Temperatura
 - NPO coeficiente de temperatura 0
 - Dieléctrico de Bajo K (entre 6 y 500)
- ▶ Clase II → BX
 - Cuando se necesita Miniaturización.
 - No están diseñados para aplicaciones de precisión.
 - Cambios en la constante dieléctrica.
 - Temperatura,
 - Intensidad de campo eléctrico
 - Frecuencia de trabajo
 - Envejecimiento
 - Tipo Estables
 - Dieléctrico de K entre 250 y 2400.
 - Tipo Inestables
 - Dieléctrico de K entre 3000 y 10000

Capacitores – Cerámicos

▶ Variación de Capacitancia vs Temperatura



Capacitores – Cerámicos

▶ Usos

- En DC.
- Si es Alterna, la tensión máxima no debe superar la Nominal.
- No superar 35°C de variación.

Círcuito	NPO	BX
Bloqueo de DC	NO	SI
Acoplamiento entre etapas	NO	SI
ByPass	NO	SI
Discriminación de Frecuencias	SI	SI
Transitorios	NO	SI
Supresión de Arcos	NO	SI
Circuitos de Tiempo	SI	NO

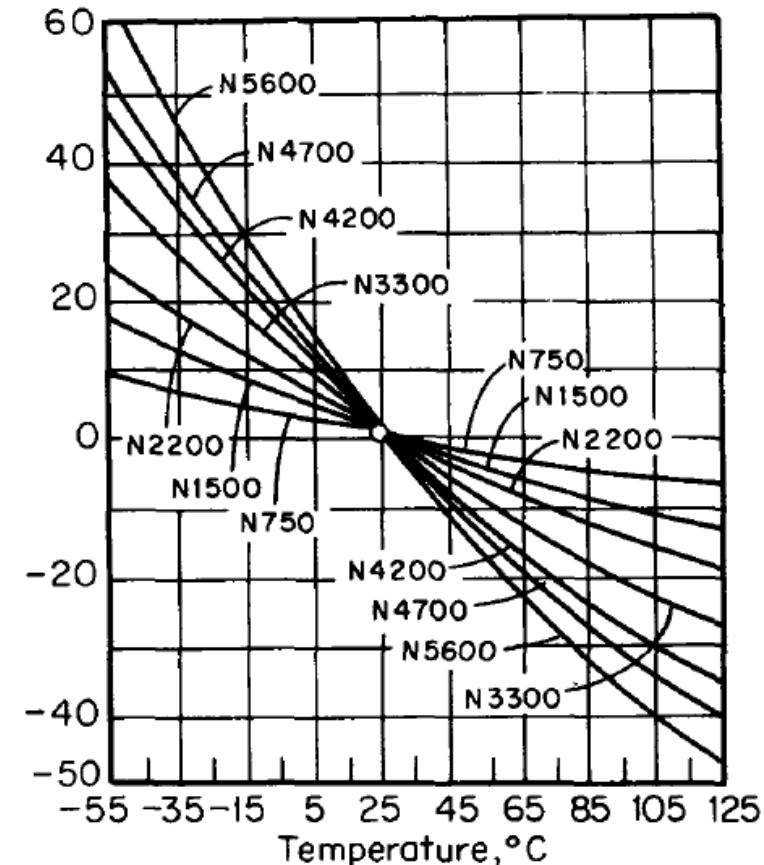
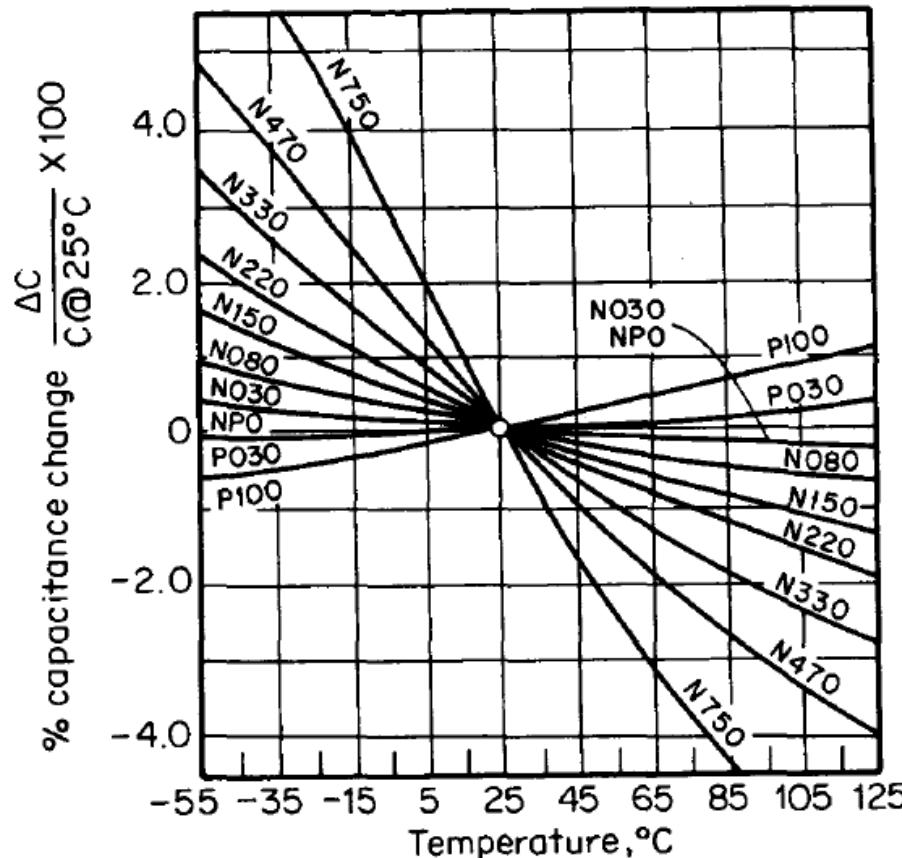
Capacitores – Cerámicos

- Resumen de Parámetros

Círculo	NPO Clase I	BX Clase II
Capacitancia [pF]	10 a 68.000	12.0 a 1.000.000
Tolerancia	0.1 pF a $\pm 10\%$	0.5 pF a $\pm 20\%$
Voltaje [V]	50	50 a 160
Coeficiente de Temperatura	30 ppm/ $^{\circ}\text{C}$	+15 a +25%
Resistencia de Aislación $\text{M}\Omega/\mu\text{F}$	1.000 mínima	1.000 mínima
Temperatura de Trabajo $^{\circ}\text{C}$	-55 a 125	-22 a 125

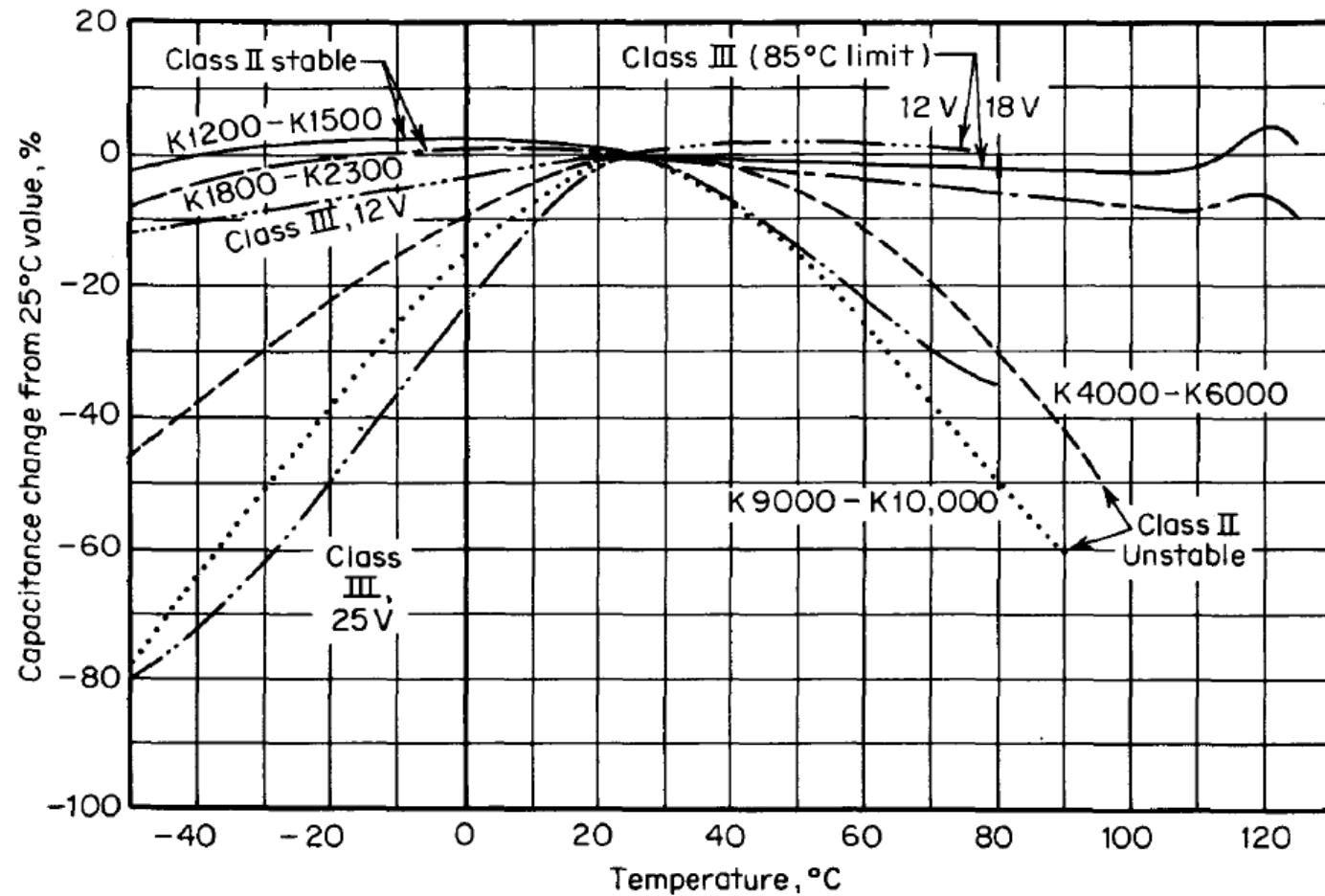
Capacitores – Cerámicos

- Variación de la Capacidad en función de la Temperatura Clase I



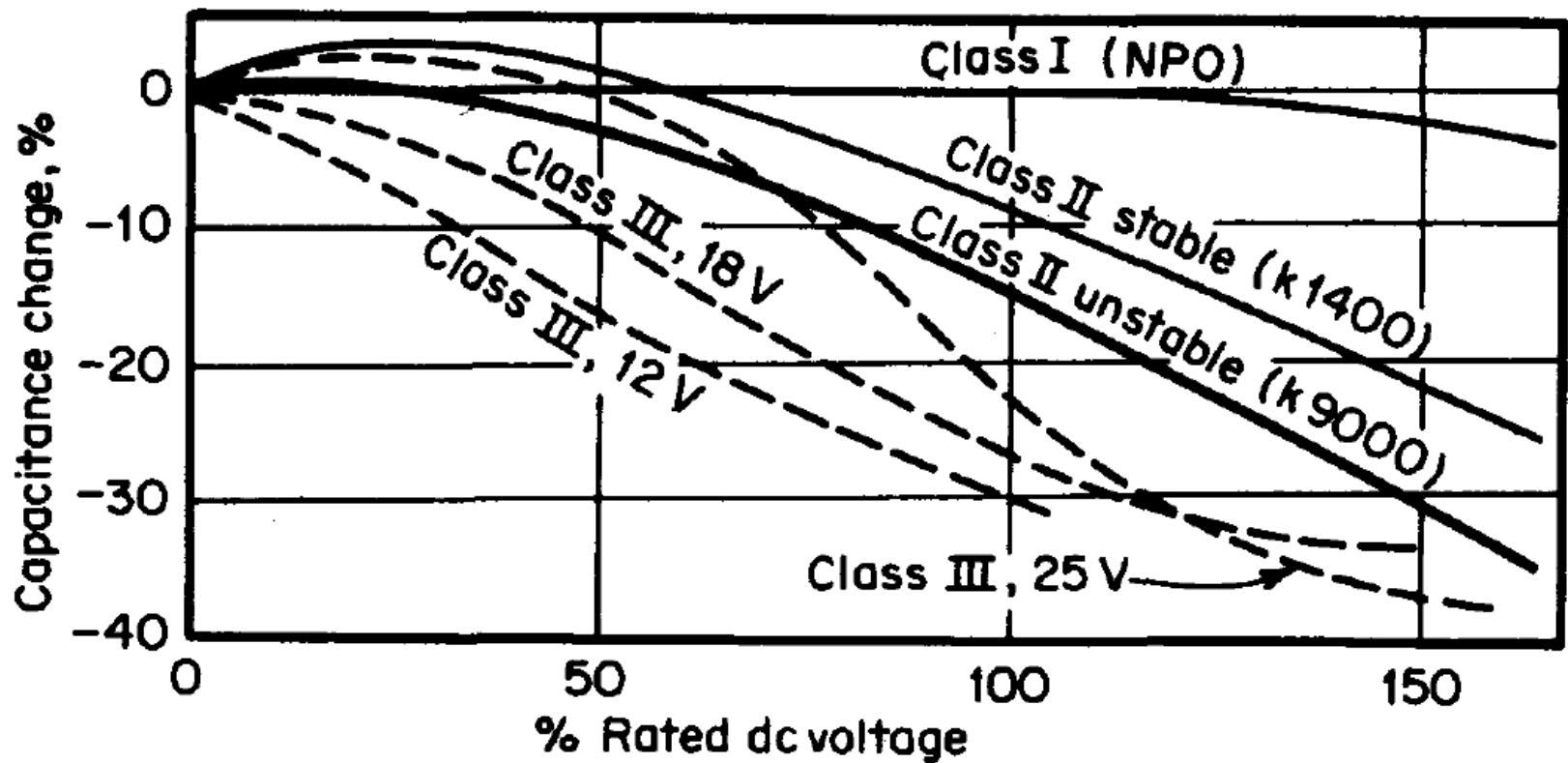
Capacitores – Cerámicos

- Variación de la Capacidad en función de la Temperatura Clase II



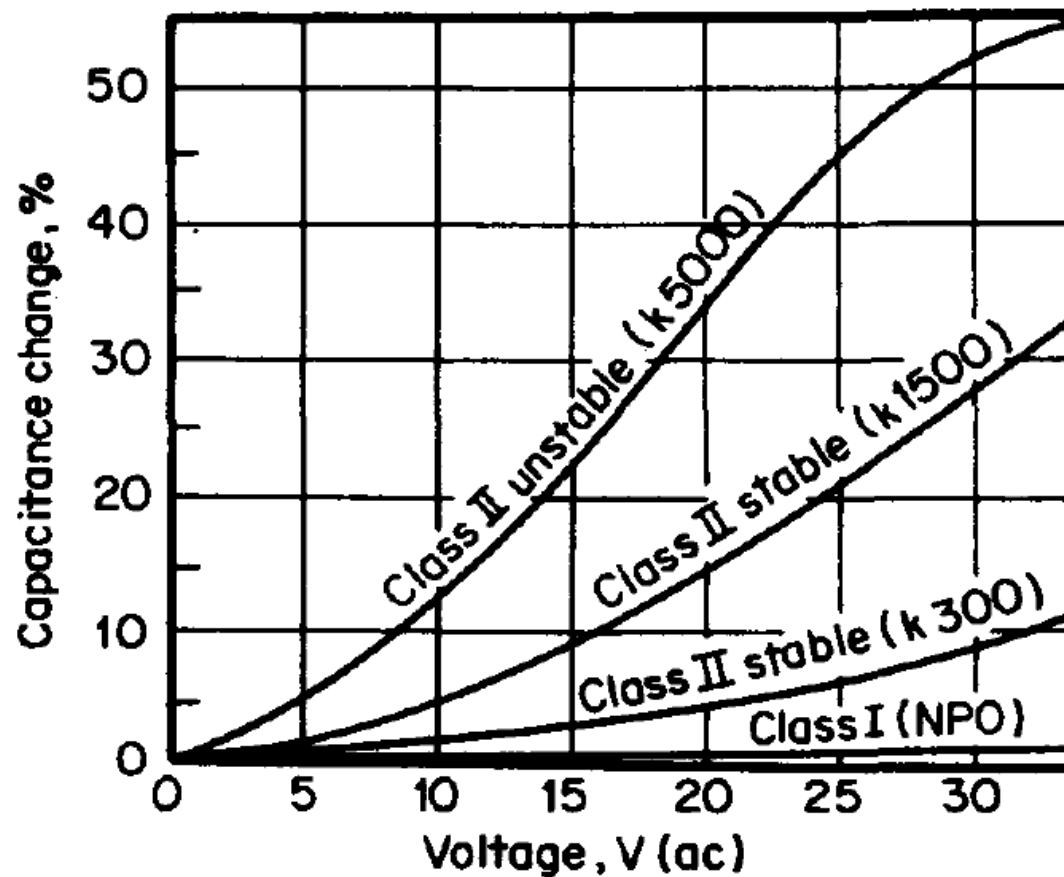
Capacitores – Cerámicos

- Variación de la Capacidad en función de la Tensión Aplicada DC



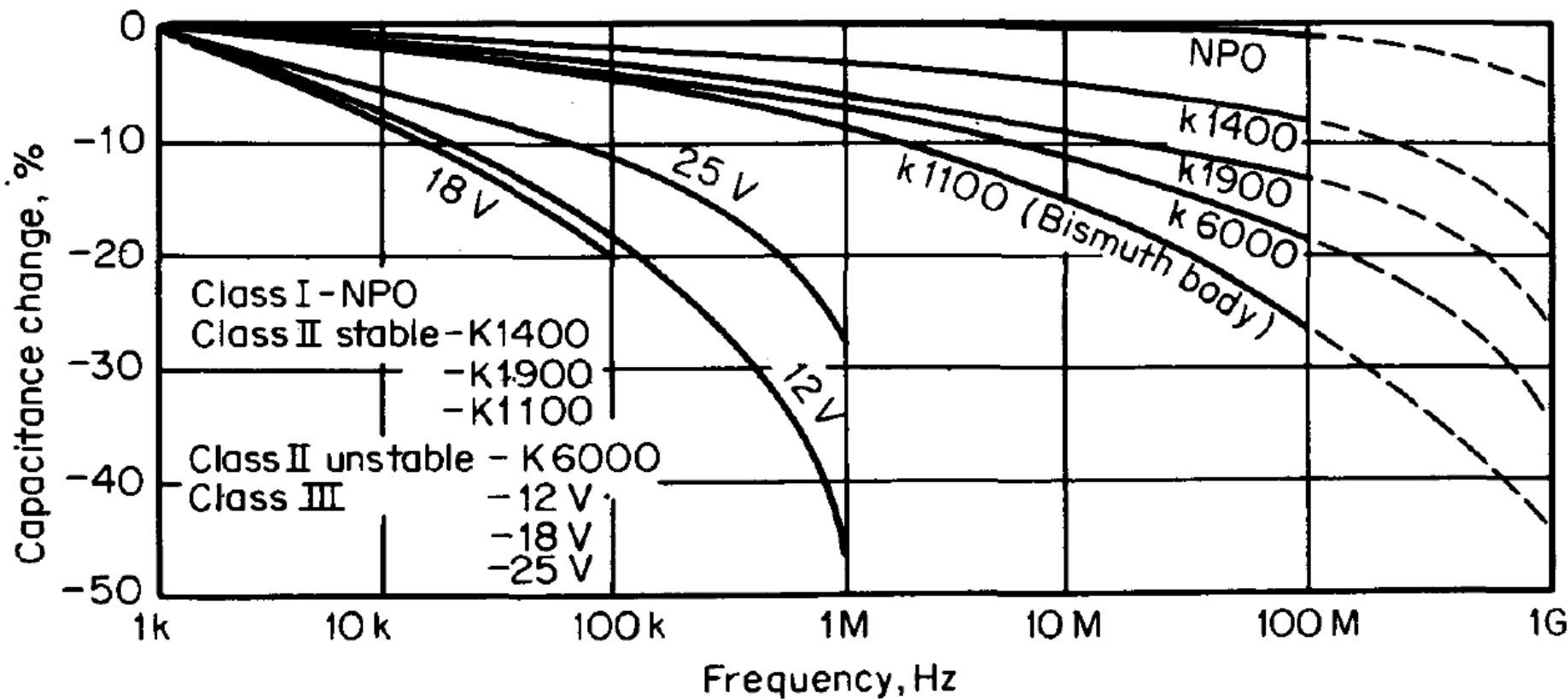
Capacitores – Cerámicos

- Variación de la Capacidad en función de la Tensión Aplicada AC



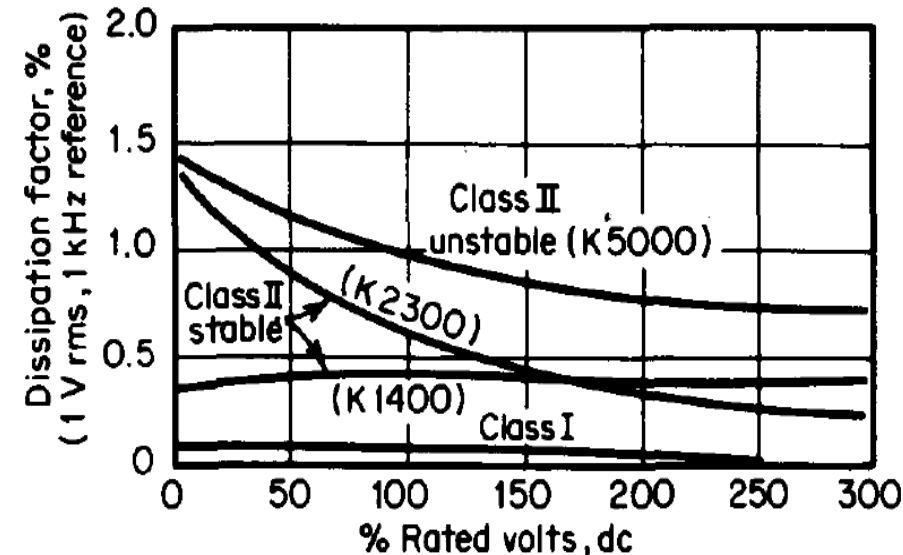
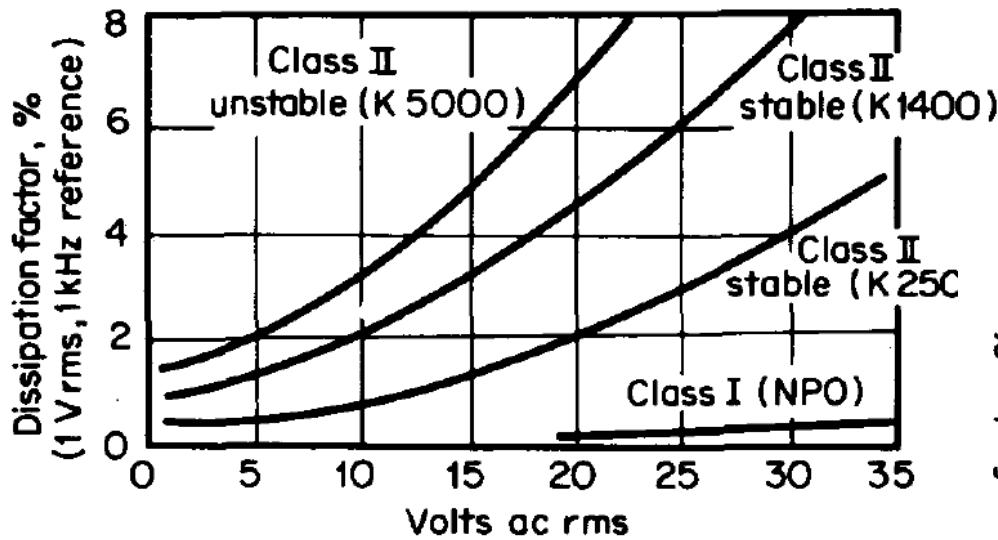
Capacitores – Cerámicos

- Variación de la Capacidad en función de la Frecuencia



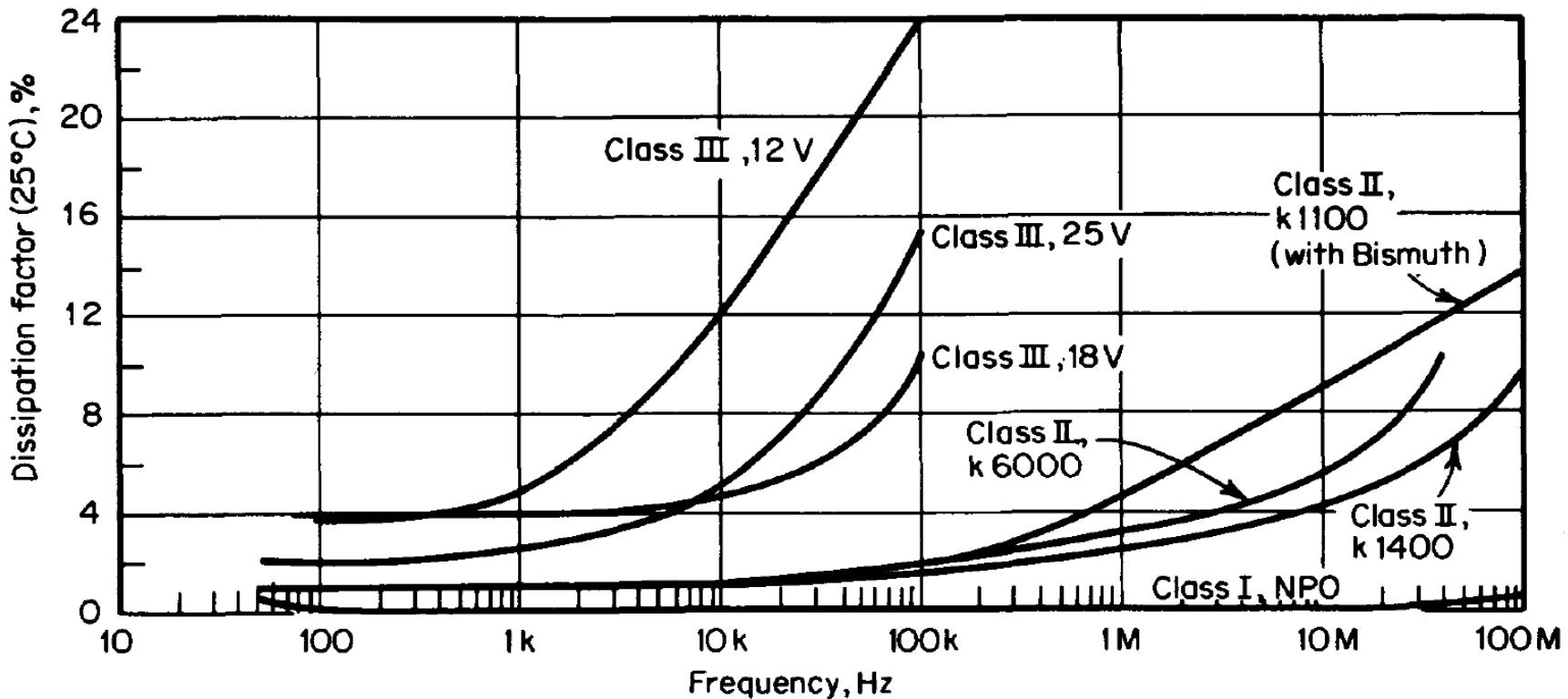
Capacitores – Cerámicos

- Variación de la Capacidad en función del Factor de Disipación
 - Se debe tener presente cuando se requiere alto Q



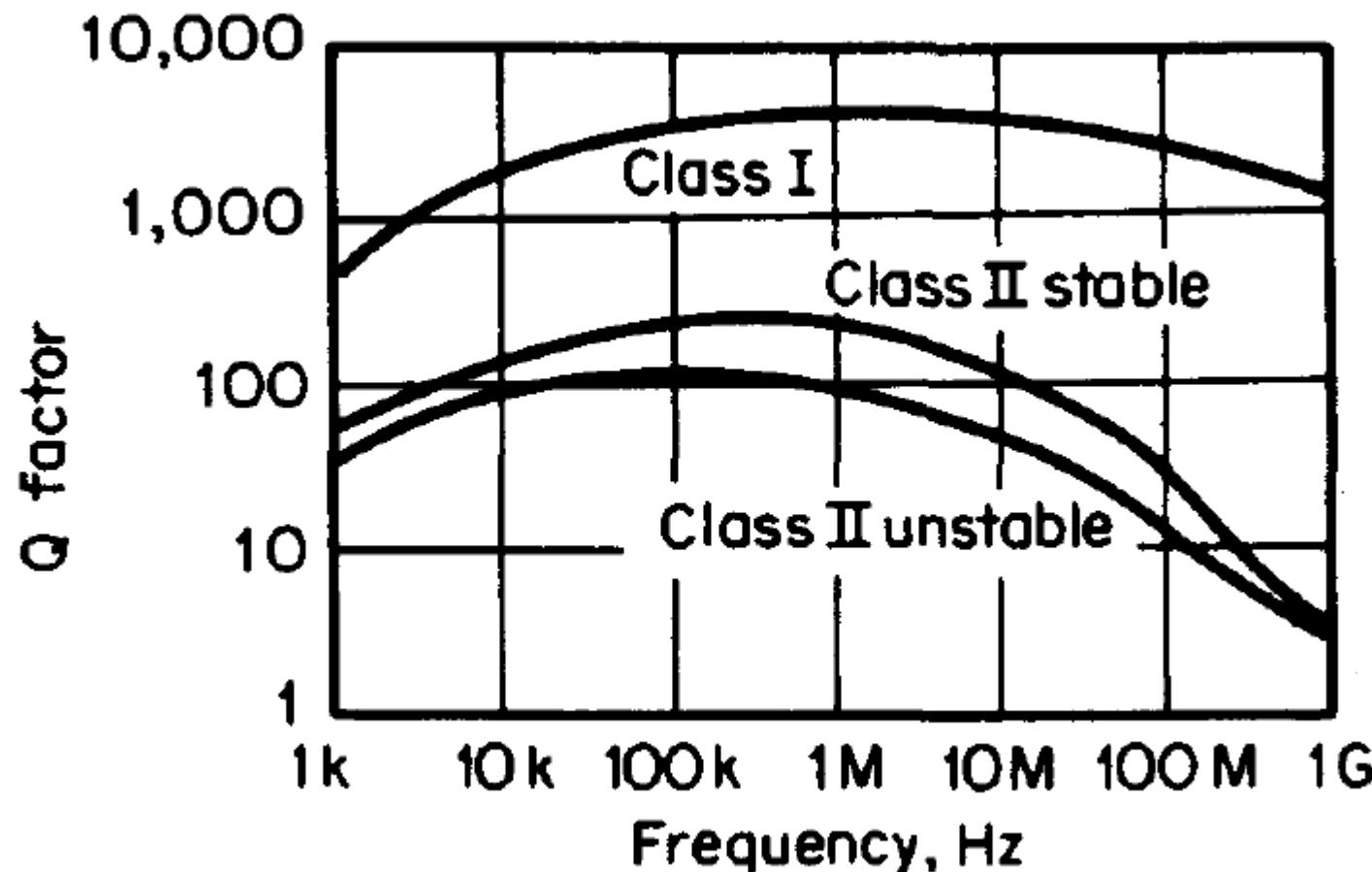
Capacitores – Cerámicos

- Variación de la Capacidad en función del Factor de Disipación



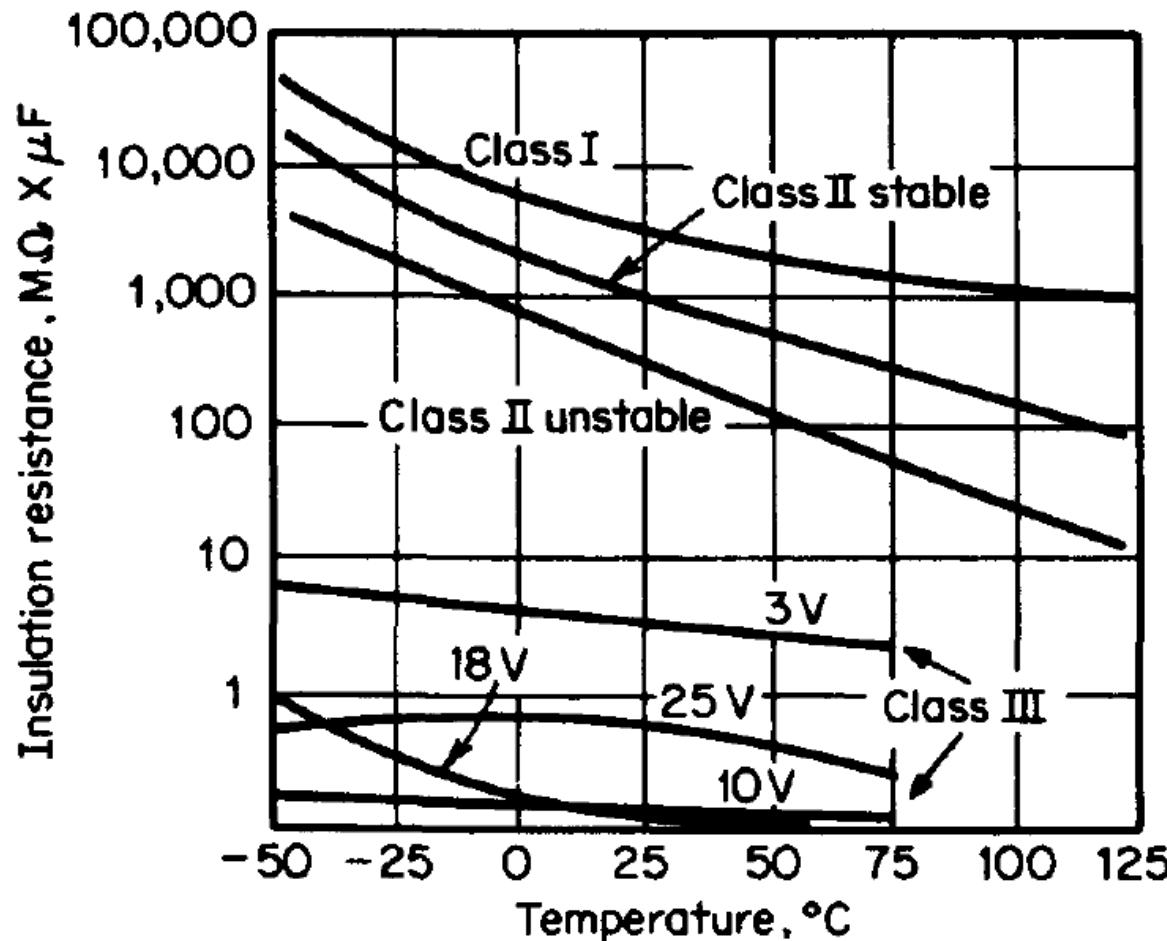
Capacitores – Cerámicos

- Variación del Q en función de la Frecuencia



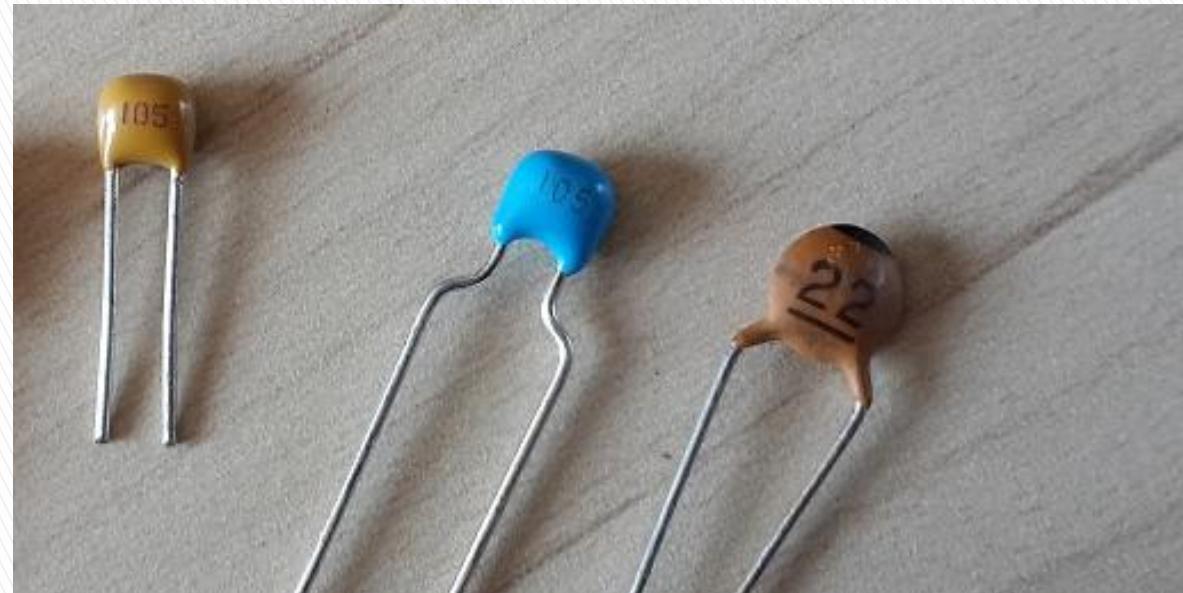
Capacitores – Cerámicos

- Variación de IR en función de la Temperatura



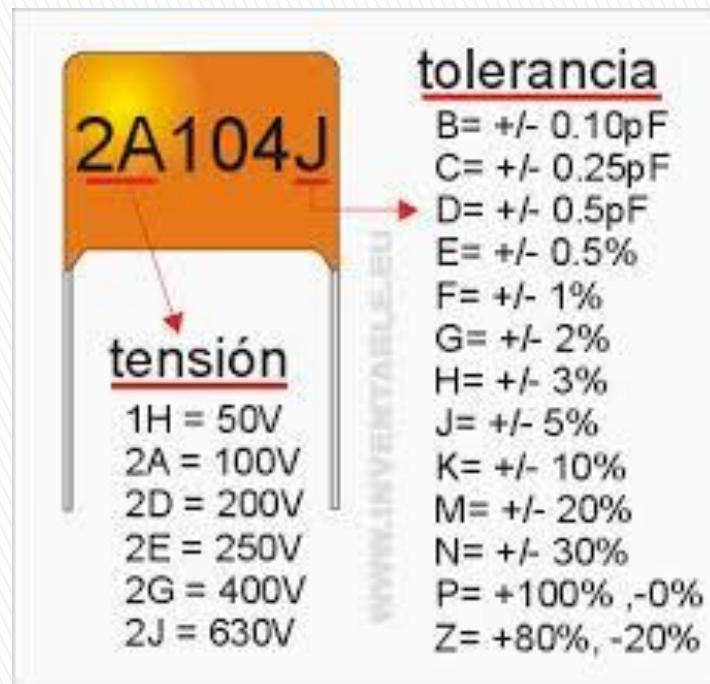
Capacitores – Cerámicos

- Encapsulados
 - Disco
 - Pintura Negra → Tipo NPO
 - Subrayado → Se emplea para valores pequeños de capacidad
 - 220 subrayado = 22pF
 - 220 = 220pF
 - Tubo
 - Monolítico



Capacitores – Cerámicos

◦ Codificación



Capacidad= 680 picofaradios
Tolerancia= +/-10%
Voltios= 2000V



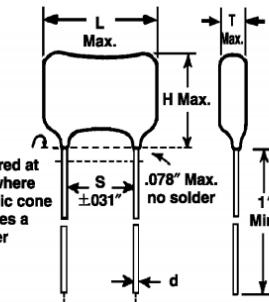
Capacitores – Mica

- Excelente característica de coeficiente de temperatura.
- Bajo envejecimiento
- Baja capacidad
- Alto Q
- Buena estabilidad en frecuencia
- Aplicaciones de Alta frecuencia.

High-Reliability Dipped Capacitors/MIL-PRF-39001



Type CMR meets requirement of MIL-PRF-39001, Type CMR high-reliability dipped silvered mica capacitors are ideal for high-grade ground, air-borne, and spaceborne devices, such as computers, jetcraft, and missiles.

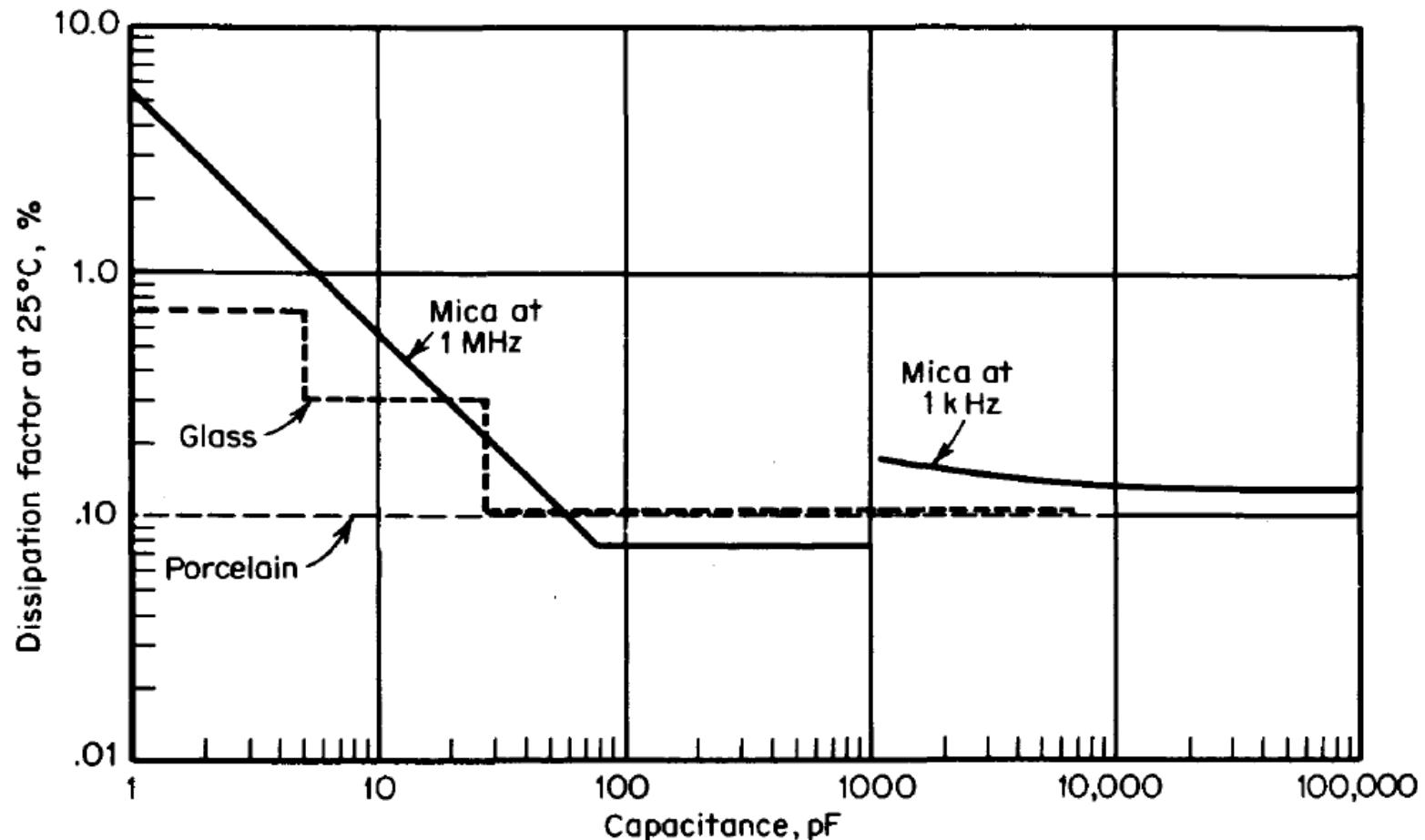


Specifications

Voltage Range:	50 Vdc to 500 Vdc
Capacitance Range:	1 pF to 91,000 pF
Capacitance Tolerance:	±½ pF (D), ±1% (F), ±2% (G), ±5% (J)
Temperature Range:	-55 °C to +125 °C (O), -55 °C to 150 °C (P) P temperature range available only for CMR04, CMR05, CMR06, CMR07, CMR08

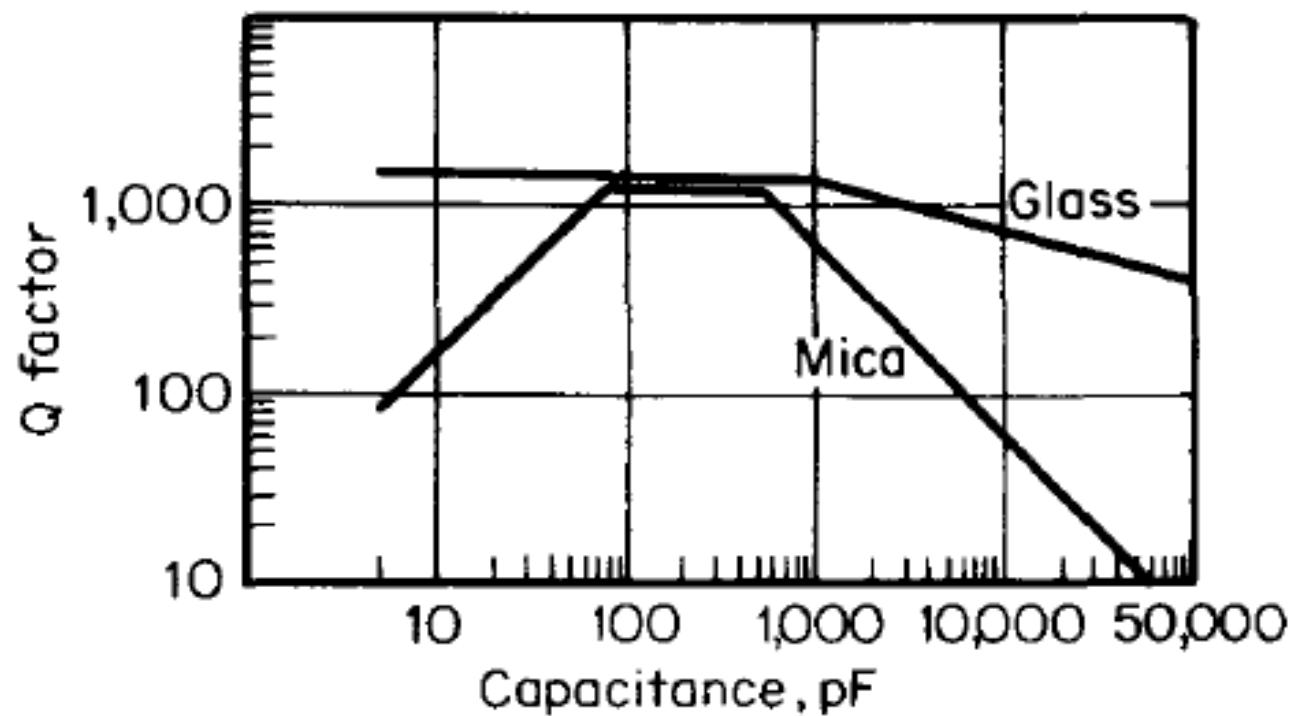
Capacitores – Mica

- Factor de Disipación



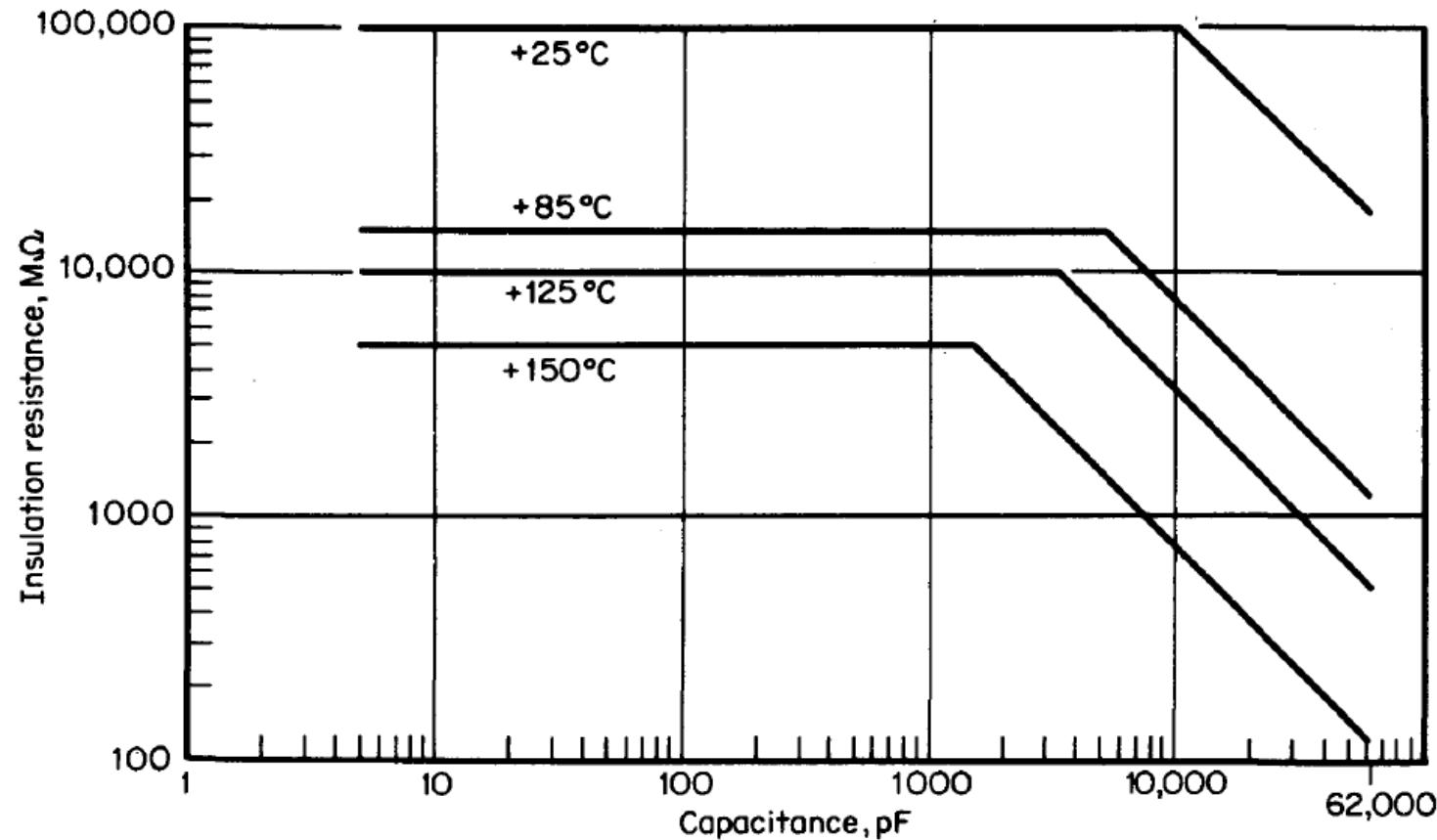
Capacitores – Mica

- Factor de Q



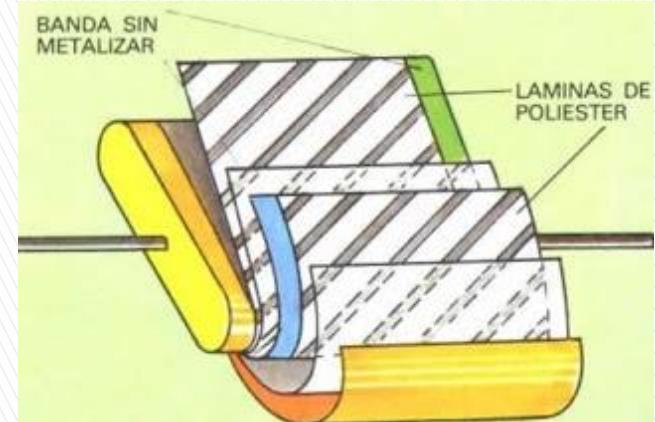
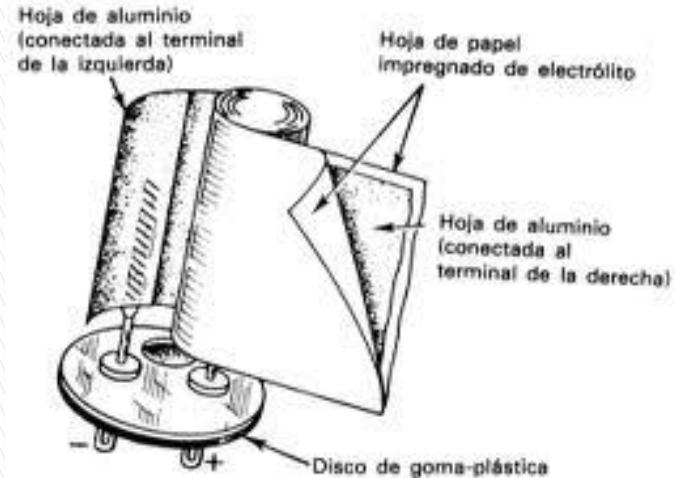
Capacitores – Mica

- Valor de IR



Capacitores – Papel

- Consideraciones Generales
 - Se arrollan dos hojas de papel.
 - Papel Kraft impregnado
 - Ceras
 - Aplicaciones en DC
 - Aceites Minerales
 - Aplicaciones en AC y DC
 - Aceite de Ricino
 - Aplicaciones en AC y DC
 - Askarel



Capacitores – Plástico

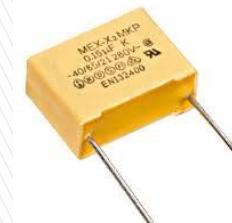
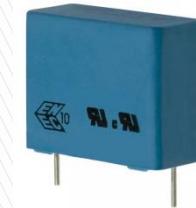
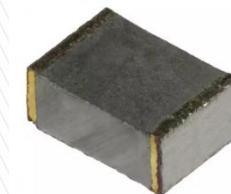
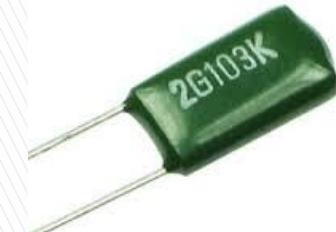
- Consideraciones Generales

- Se reemplaza el papel por una capa de material sintético.

- Menor porosidad.
 - Baja humedad.
 - Alta rigidez dieléctrica.

- Materiales Usados

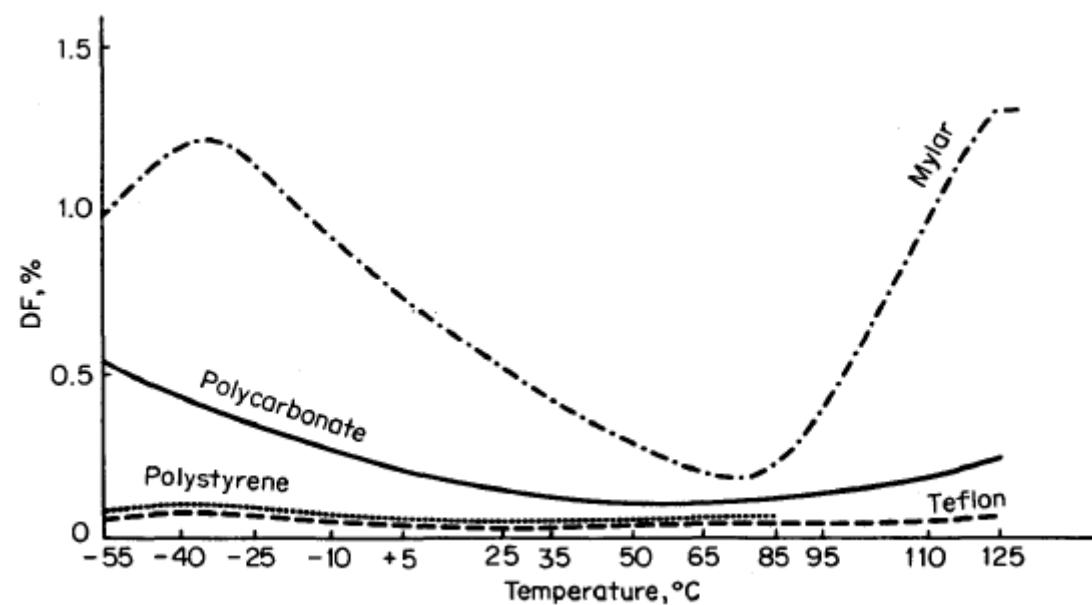
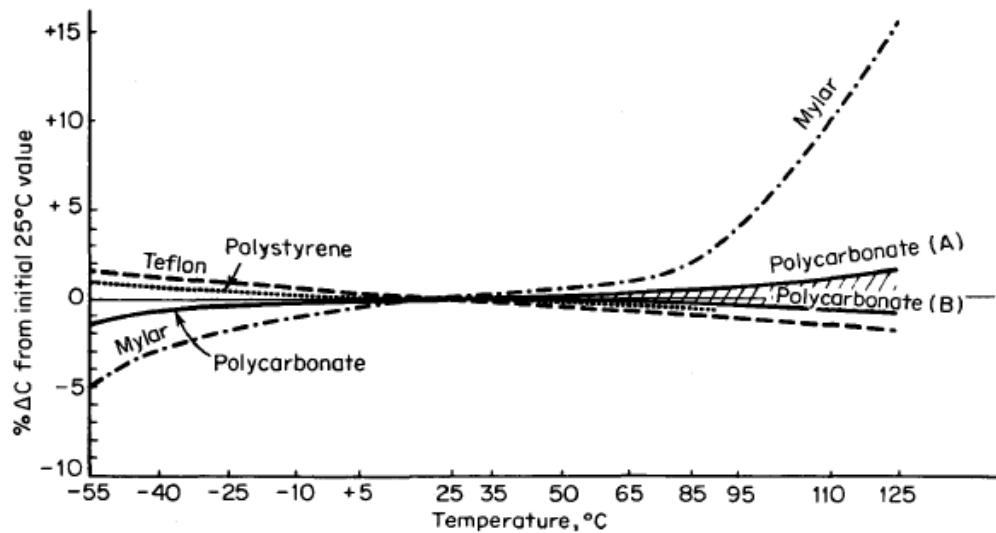
- Poliéster Film (PET) → Mylar
 - Naftalato Polietíleno (PEN)
 - Sulfuro de Polifenileno (PPS)
 - Policarbonato Film (PC)
 - Polipropileno Film (PP)
 - Politetrafluoroetíleno (PTFE) → Teflón
 - Papel Film Poliestireno (P)



Capacitores – Plástico

Característica	PET Poliester Film Mylar	PEN Naftalafo Polietileno	PPS Sulfuro de Polifenileno	PP Polipropileno Film	PTFE Politetrafluoroetileno
Voltaje DC	50-1000	16-250	16-100	40-2000	40-2000
Capacidad	100pF-22uF	100pF-1uF	100pF-0.47uF	100pF-10uF	100pF-10uF
Temperatura	-55 a +125	-55 a 150	-55 a 150	-55 a 105	hasta 250°C
Uso	DC Propósito General	Buena estabilidad en frecuencia	Buena Estabilidad con la temperatura	CA	CA

Capacitores – Plástico



Capacitores – Electrolíticos

- Clasificación

- Electrolíticos de Aluminio

- Dos tiras de aluminio donde una de ellas tiene aislante de óxido y separadas por papel impregnado.
 - Son polarizados.
 - Para aumentar la capacidad de hacen las placas mas rugosas.
 - Si se polariza en forma inversa, se afecta la integridad del dieléctrico.
 - Se debe tener presente el valor de polarización.
 - Verificar Tensión de trabajo cuando se reemplazan.

- Lámina de Tantalio

- Polarizados y No polarizados
 - Rango de Tensión: 3 – 450V
 - Elevada variación de Capacidad vs Temperatura.
 - Usos Polarizados
 - Eliminación de componentes AC.
 - Soportan hasta 3 veces la magnitud de tensión inversa
 - Usos No polarizados
 - Aplicaciones en AC



Capacitores – Electrolíticos

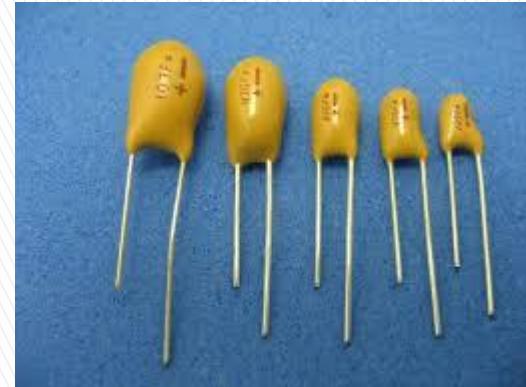
- Clasificación

- Tantalio Sólido

- Alta eficiencia volumétrica
 - Buena estabilidad en el tiempo
 - Buena estabilidad con la temperatura
 - Alta corriente de fuga
 - Rango de voltaje limitado: 6 – 100V
 - Se usan para filtrar componentes de CC pulsante de baja frecuencia.

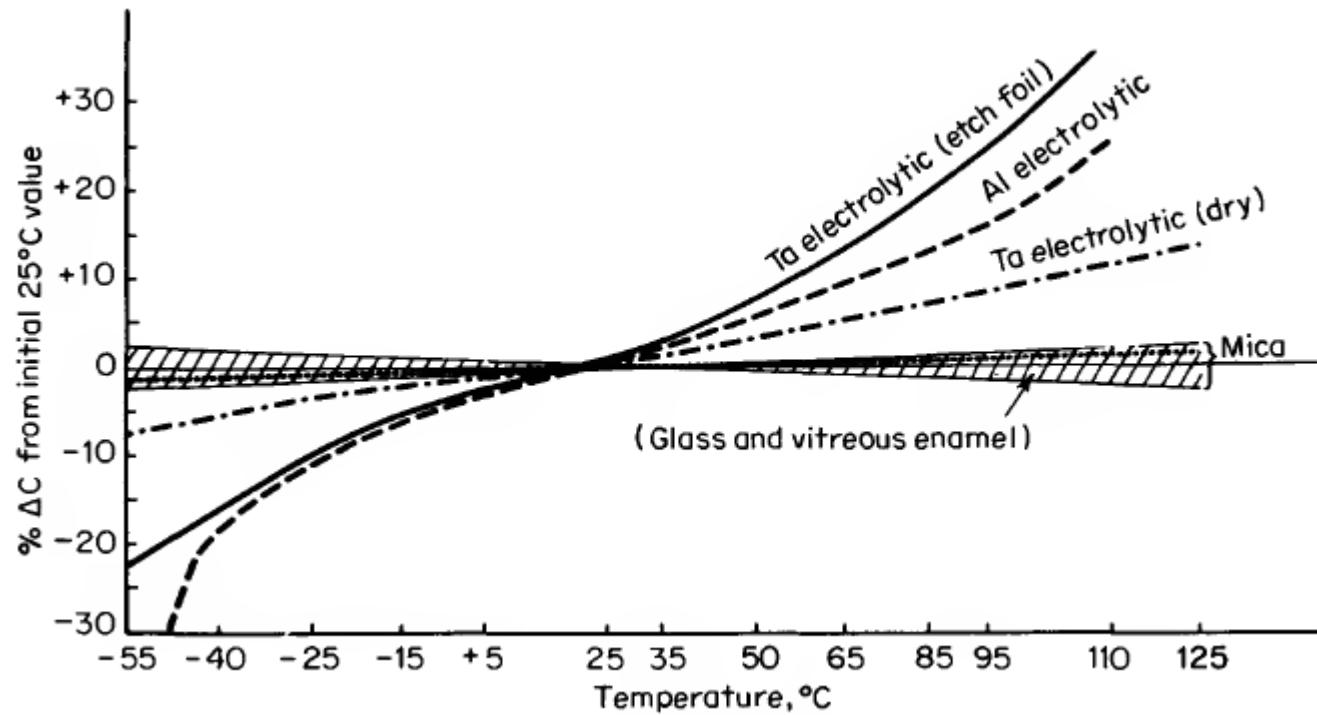
- Tantalio Húmedo

- Alta eficiencia volumétrica
 - Electrolito altamente corrosivo
 - No se puede conectar en forma inversa



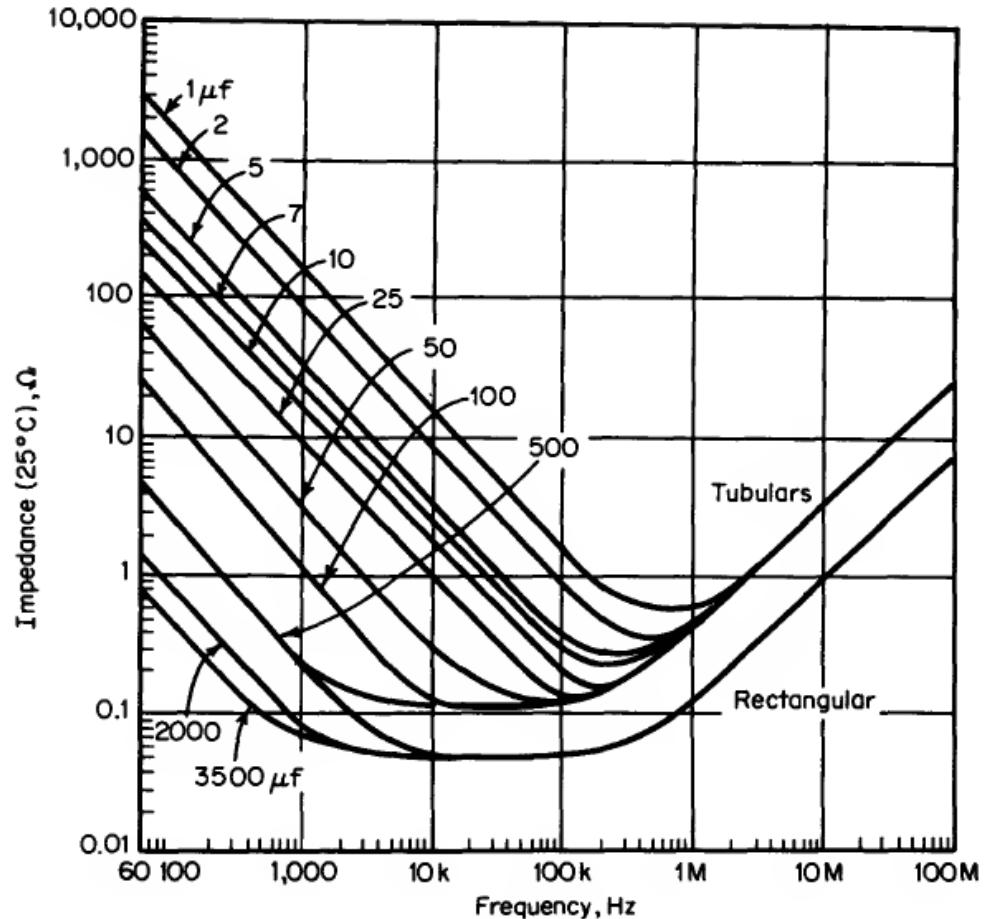
Capacitores – Electrolíticos

- Variación de Capacidad vs Temperatura



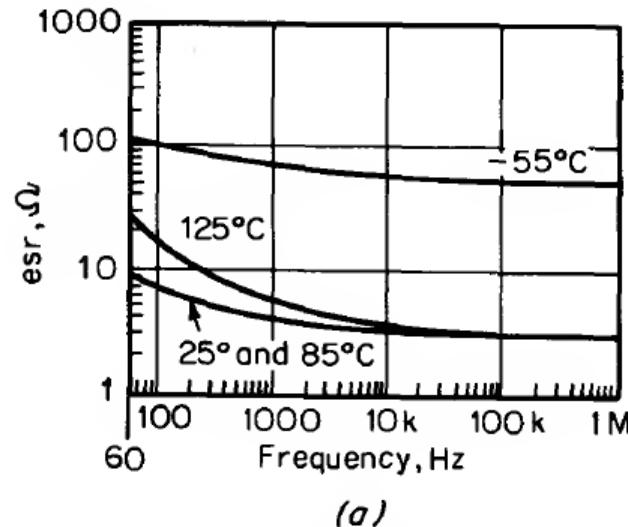
Capacitores – Electrolíticos

- Variación de Impedancia vs Frecuencia
- Lámina de Tantalio



Capacitores – Electrolíticos

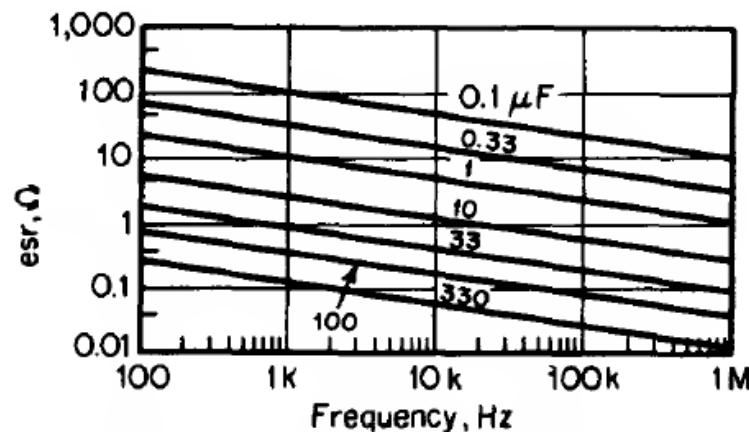
- Lamina de Tantalo



(a)

Basic esr for case size 1, 10 V

- Tantalo Seco



Tecnología Electrónica Ingeniería en Electrónica

Universidad Tecnológica Nacional
Facultad Regional Córdoba

Materiales Magnéticos

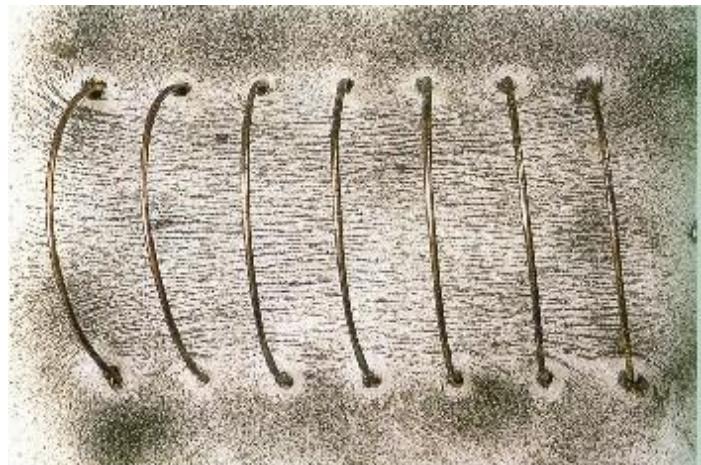
► Principales Características

- Inducción Magnética B
- Intensidad de Campo Magnético H
- Permeabilidad μ
- Susceptibilidad Magnética X_m
- Histéresis

Materiales Magnéticos

▶ Inducción Magnética B

- Cantidad de Líneas de Fuerza que atraviesan una superficie de 1cm².
- La superficie es perpendicular al Flujo Magnético ϕ
- $B = \mu * H$ (en el medio magnético)
- Unidad del SI → Tesla
- $B_0 = H$ (en el vacío)



Materiales Magnéticos

- Intensidad de Campo Magnético H
 - Es el producto que genera una Corriente Eléctrica que atraviesa un devanado.

$$H = \frac{N * I}{l} \left[\frac{A}{m} \right]$$

I = Corriente
l = Longitud

- N → Numero de espiras
- I → Corriente Eléctrica
- l → Longitud del circuito magnético
- Oersted – Unidad de Intensidad de Campo Magnético

$$1 \frac{A}{m} = 0.01257 \text{ Oersted}$$

$$79,57 \frac{A}{m} = 1 \text{ Oersted}$$

Materiales Magnéticos

▶ Permeabilidad μ

- $\mu = \mu_0 * \mu_r$
- $\mu_0 \rightarrow$ permeabilidad del vacío
- $\mu_r \rightarrow$ permeabilidad relativa con respecto al vacío
- $\mu_r = 1 \rightarrow$ vacío

Materiales Magnéticos

- ▶ **Susceptibilidad Magnética del Medio X_m**
 - Debido a los dipolos magnéticos de los átomos, aparecen momentos magnéticos inducidos.
 - El momento magnético total se denomina.
 - Magnetización M .
 - En un sólido se puede escribir
 - $B = \mu_0 * H + \mu_0 * M$
 - Con M proporcional a H
 - $M = X_m * H$
 - Entonces
 - $\mu = \mu_0 * (1 + X_m)$

Materiales Magnéticos

- Según el Valor X_m los materiales se clasifican como:
 - **Diamagnéticos**
 - X_m es negativa y pequeña comparada con 1
 - $\mu < \mu_0$
 - **A magnéticos**
 - $X_m = 0$
 - $\mu = \mu_0 = 1$
 - **Paramagnéticos**
 - X_m es positiva y apenas mayor que 1
 - $\mu > \mu_0$
 - **Ferromagnéticos**
 - X_m es positiva y mucho mayor que 1
 - $\mu >>> \mu_0$

Materiales Magnéticos

Diamagnéticos	Permeabilidad Relativa μ_r
Bismuto	0.99983
Plata	0.99998
Plomo	0.999983
Cobre	0.999991
Agua	0.999991

Paramagnéticos	Permeabilidad Relativa μ_r
Aire	1.0000004
Aluminio	1.00002

A magnético	Permeabilidad Relativa μ_r
Vacío	1.0000

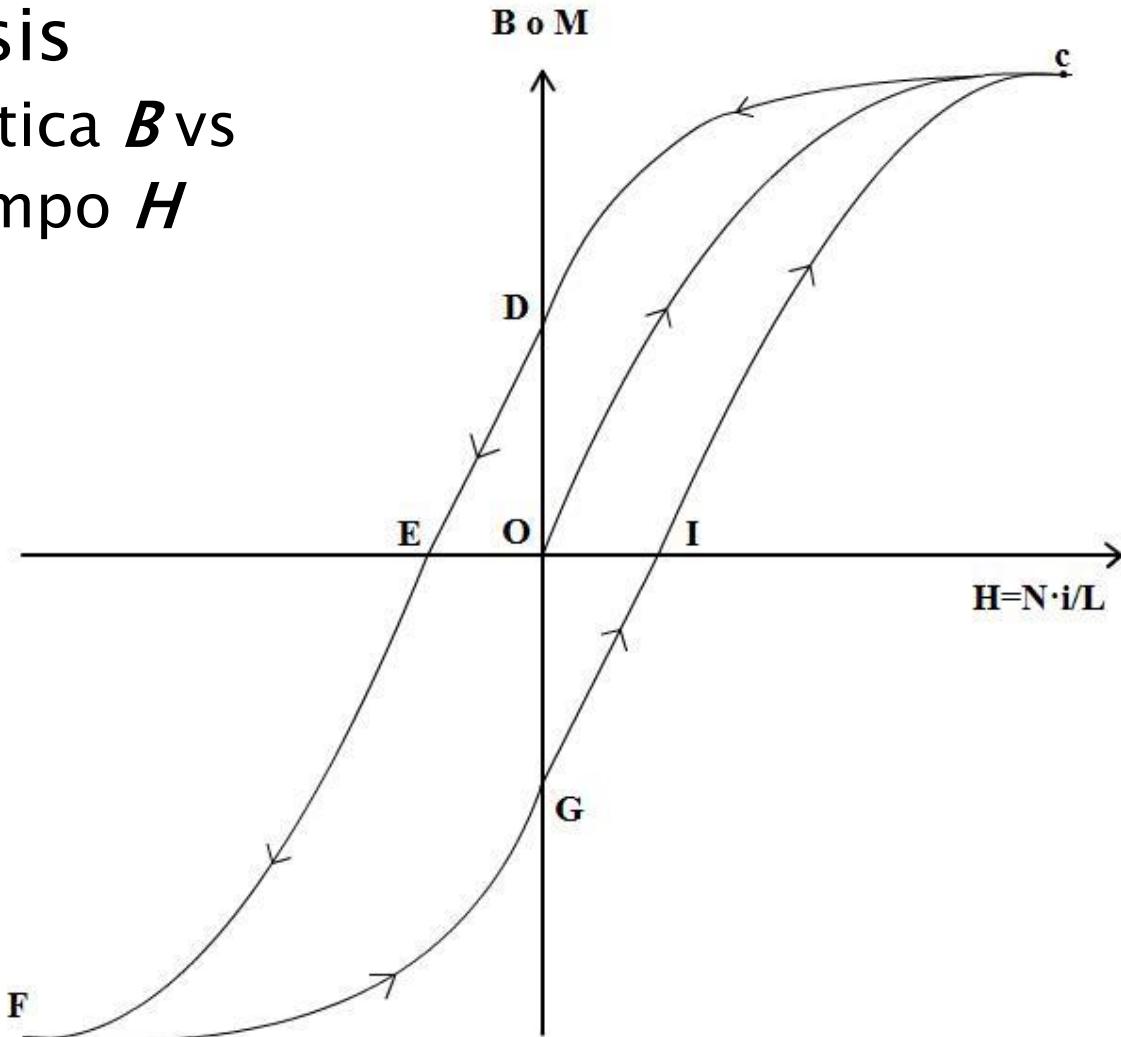
Materiales Magnéticos

Ferromagnéticos	Permeabilidad Relativa μ_r
Polvo de Permalloy	130
Cobalto	250
Níquel	600
Ferroxcube 3	1500
Acero Dulce	2000
Hierro con Impurezas	5000
Hierro silicio	7000
Permalloy 78	100.000
Hierro purificado	200.000
Superpermalloy	1.000.000

Principales Características

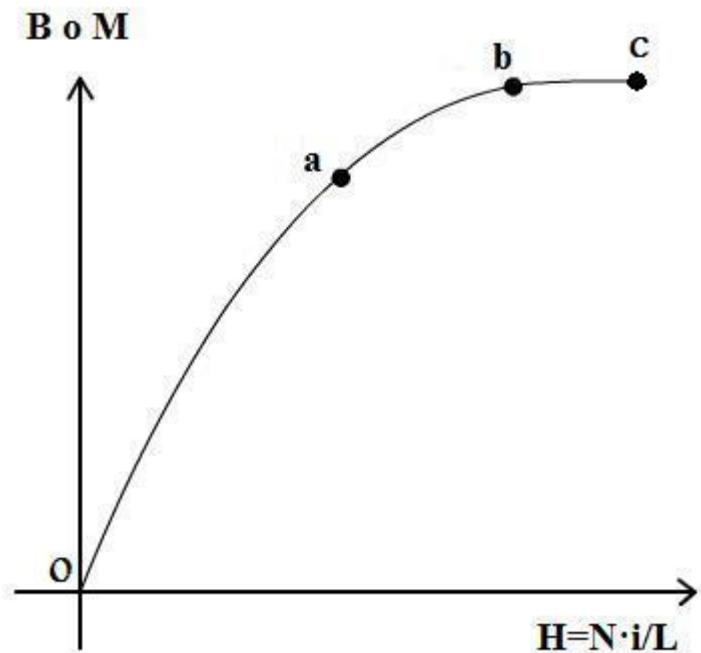
► Lazo de Histéresis

- Inducción Magnética B vs
- Intensidad de campo H



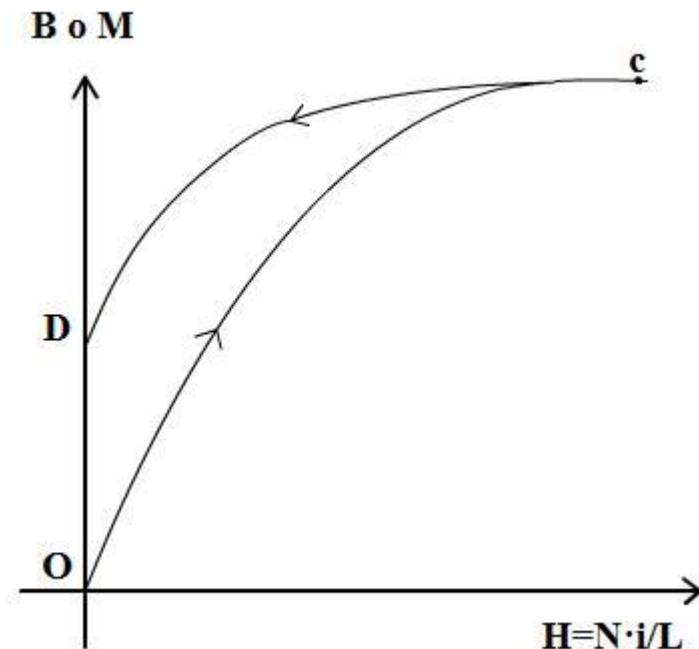
Puntos Principales

- ▶ Suponemos núcleo ferromagnético al que aplicamos un $H \rightarrow$ Surge B .
 - Tramo 0a → Tramo Recto debido a la alta permeabilidad (constante).
 - Tramo ab → Codo de Saturación
 - Tramo bc → Material Saturado
 - Como condición de diseño y para aprovechar al máximo el material (mínima sección) se busca trabajar cerca del punto a



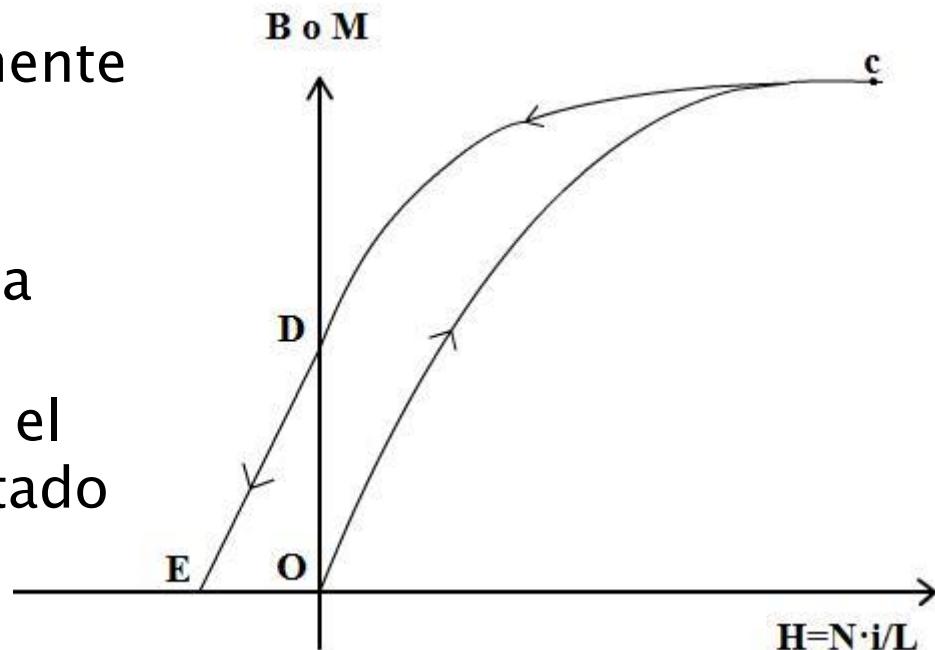
Puntos Principales

- ▶ Al retirar el campo aplicado, el material conserva lo que se denomina Magnetismo Remanente
 - →Tramo OD



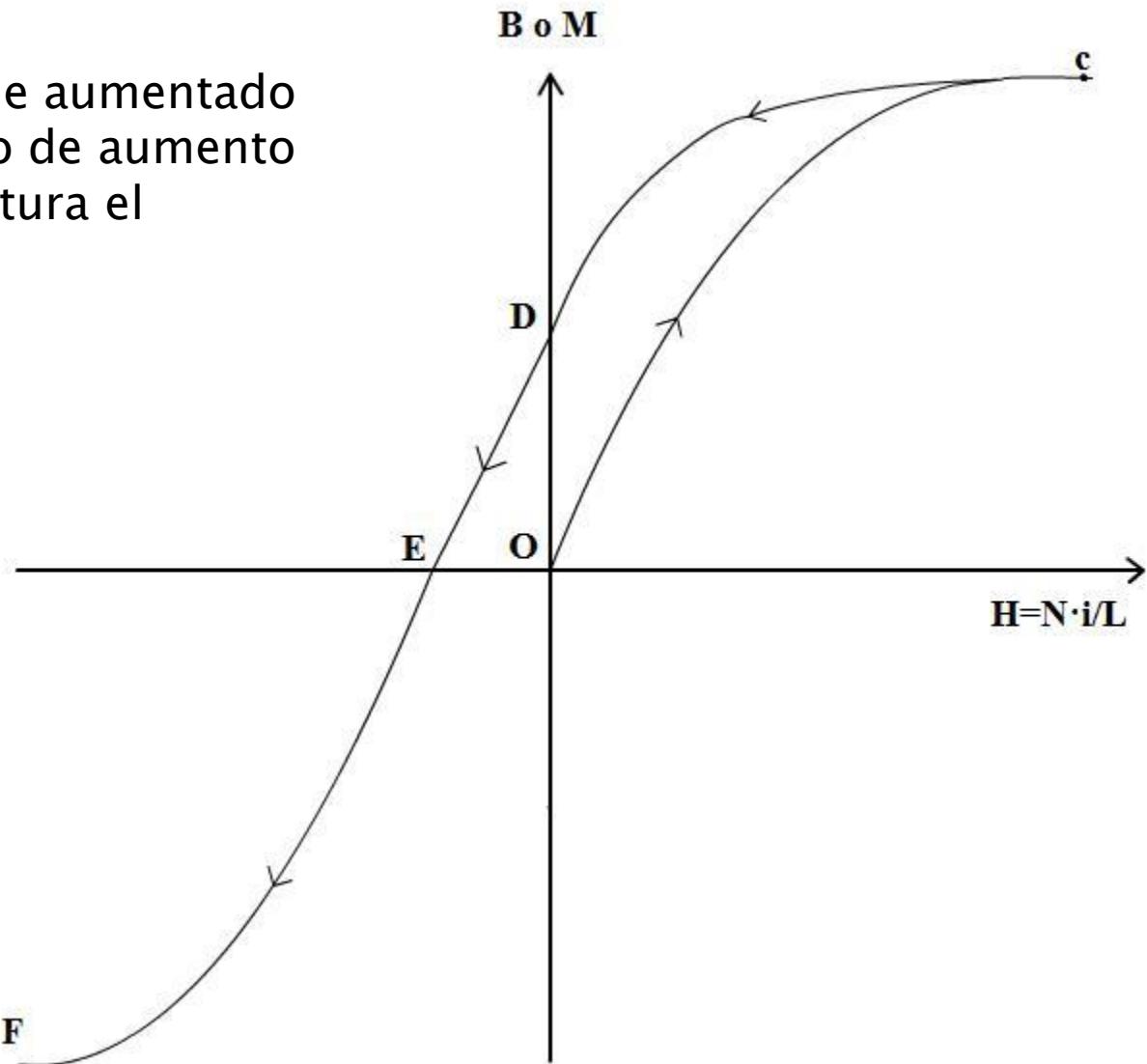
Puntos Principales

- ▶ Todos los materiales ferromagnéticos presentan un cierto grado de magnetismo remanente,
- ▶ Si invierto H se llega al punto E
 - → El magnetismo Remanente se anula.
 - $f.m.m = \text{tramo EO}$.
 - → Este valor se denomina fuerza coercitiva.
 - Si se anula la excitación, el material queda desimantado



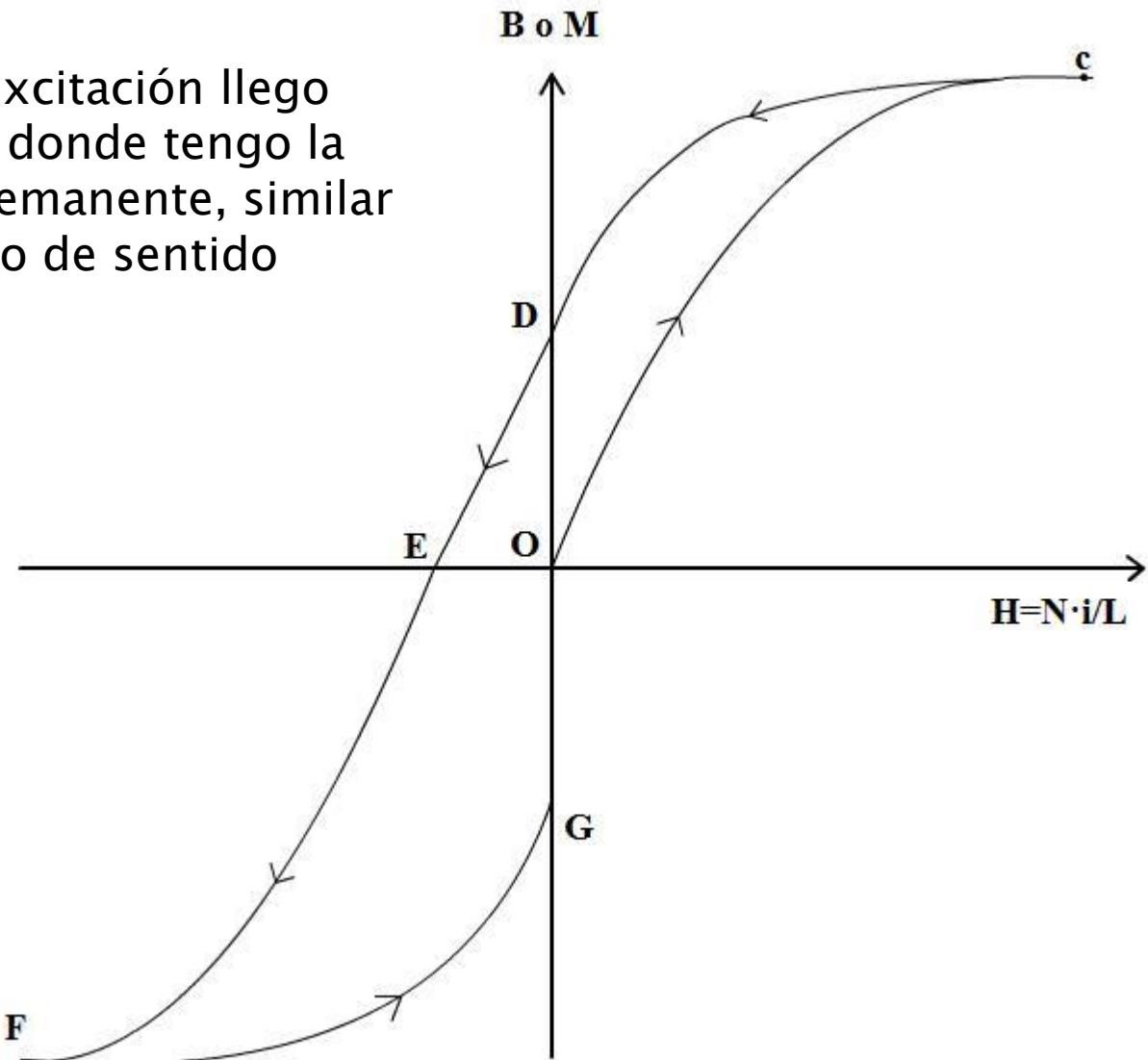
Materiales Magnéticos

- Si la H invertida sigue aumentando se verifica el proceso de aumento de B hasta que se satura el material.



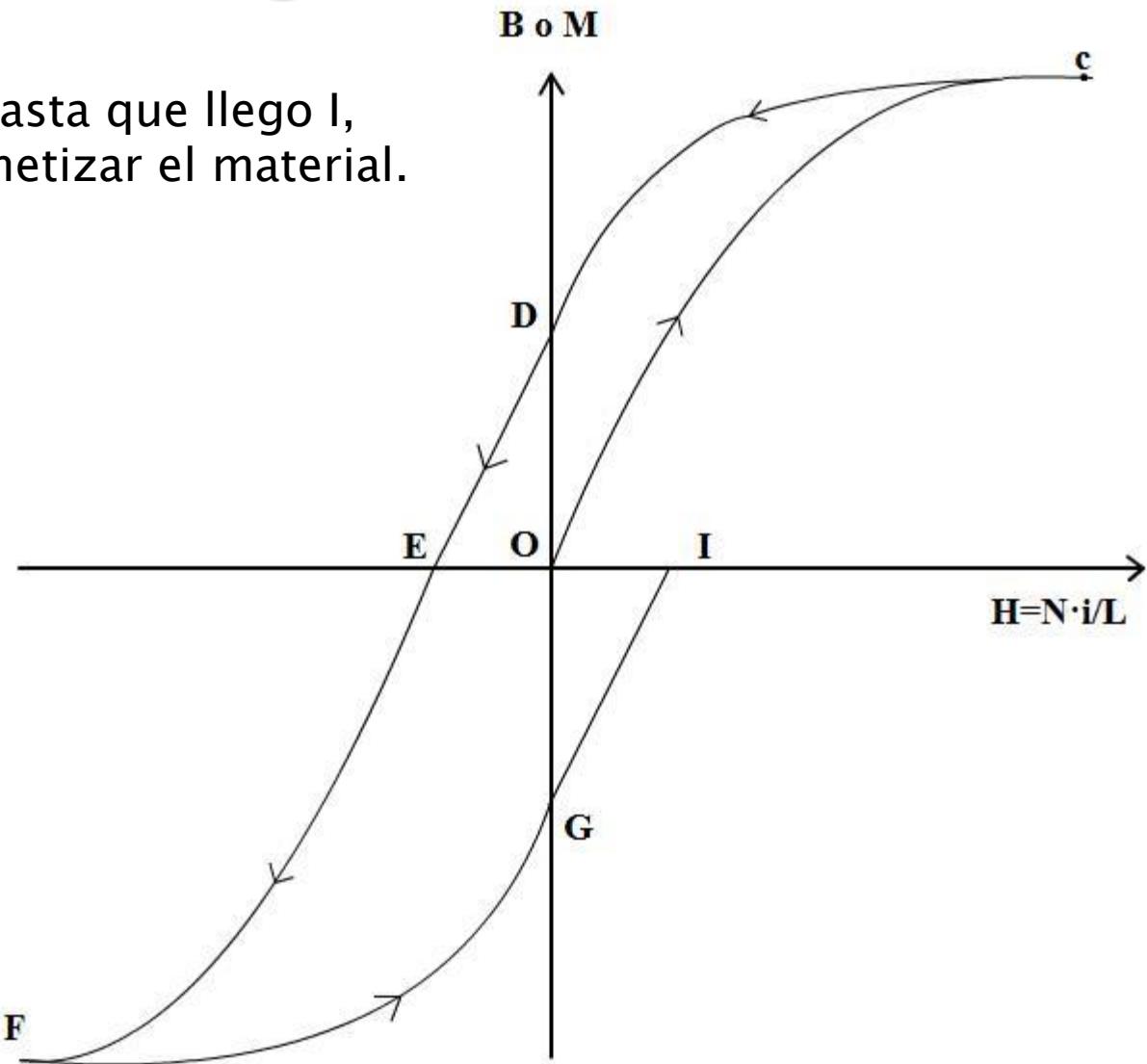
Materiales Magnéticos

- Si disminuyo la excitación llego hasta el punto G donde tengo la Magnetización Remanente, similar al tramo OD, pero de sentido opuesto.



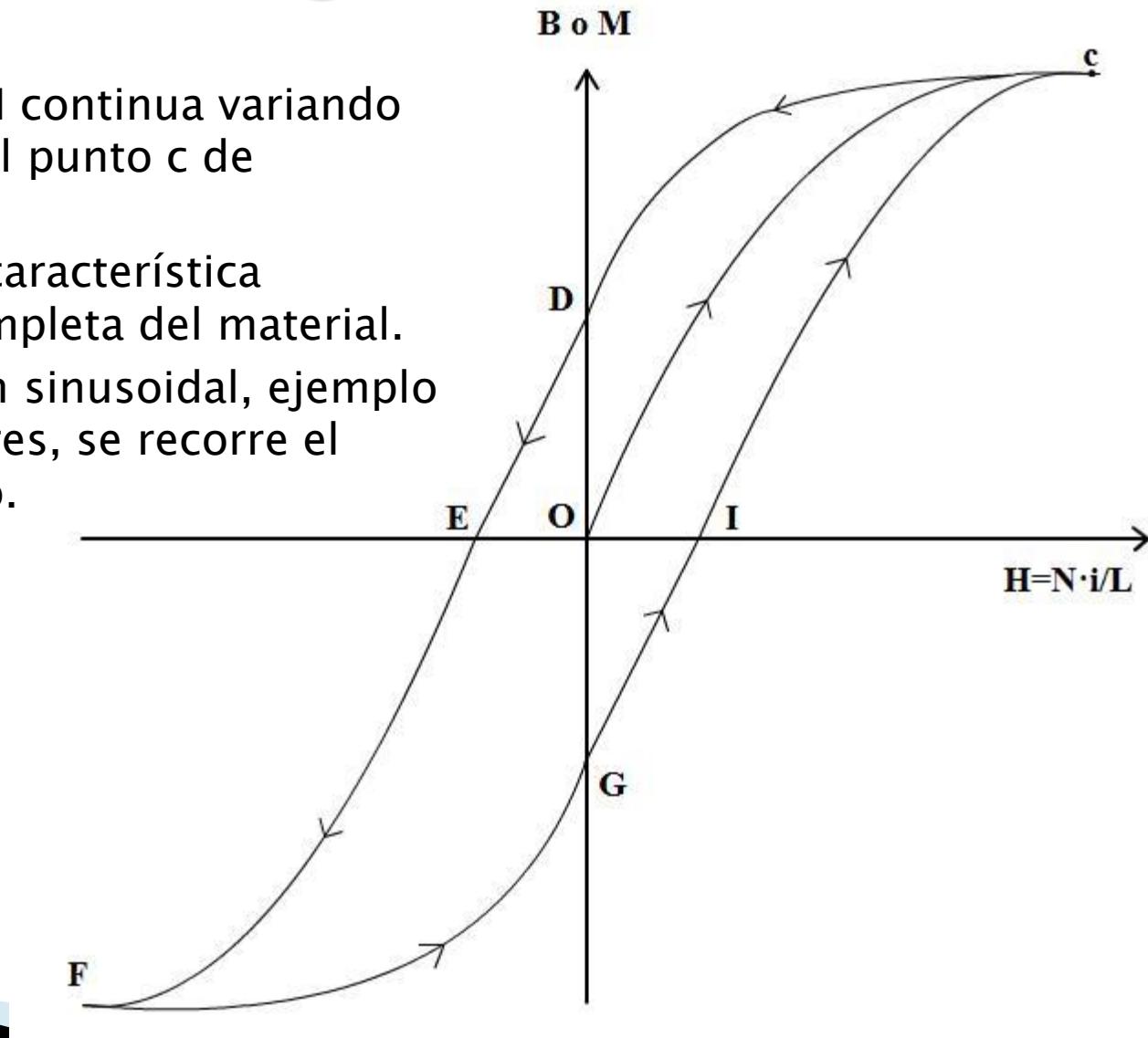
Materiales Magnéticos

- Si disminuyo H hasta que llego I , consigo desmagnetizar el material.



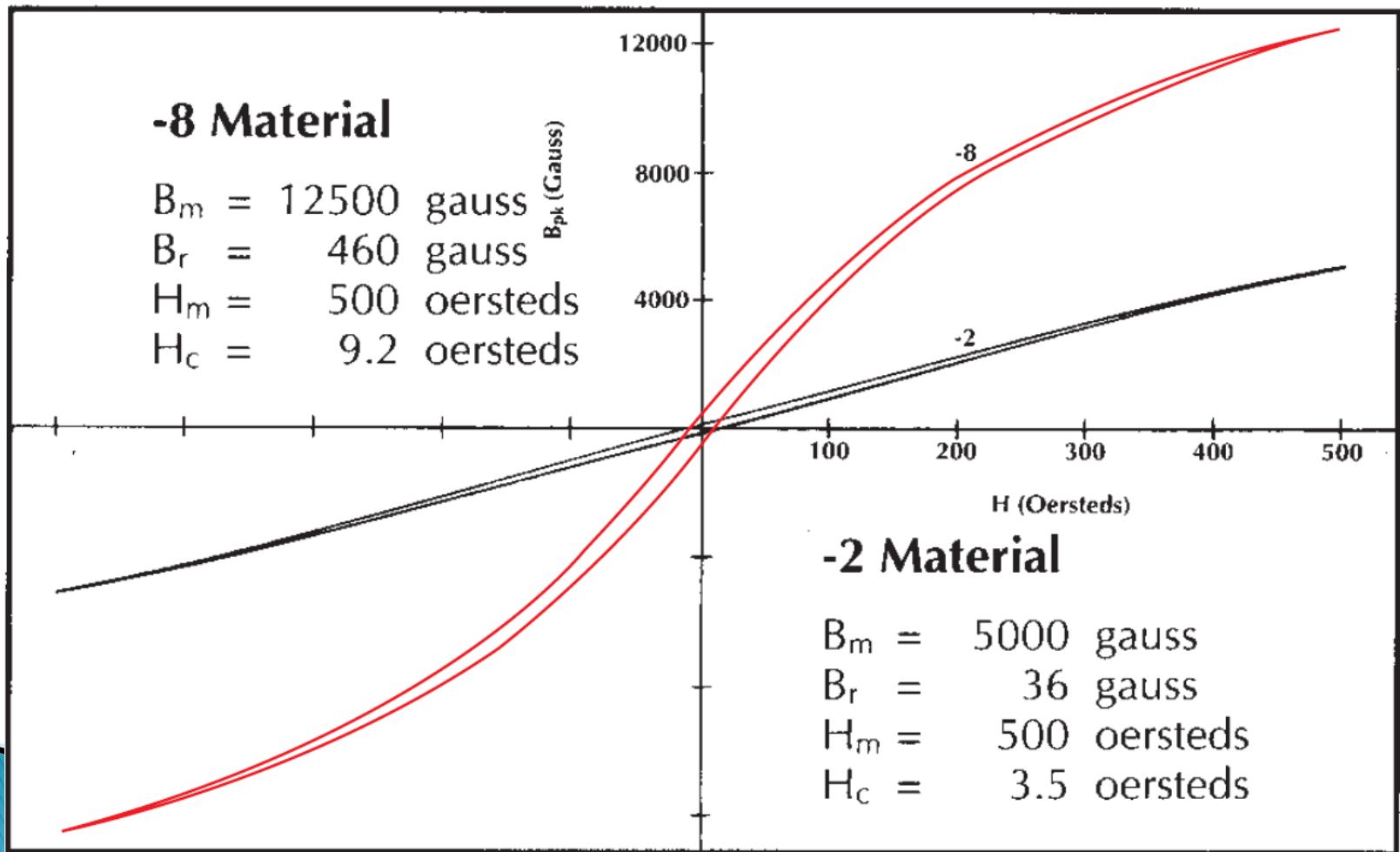
Materiales Magnéticos

- ▶ Si el ciclo de H continua variando puedo llegar al punto c de saturación.
- ▶ Se obtiene la característica magnética completa del material.
- ▶ Con excitación sinusoidal, ejemplo transformadores, se recorre el ciclo completo.



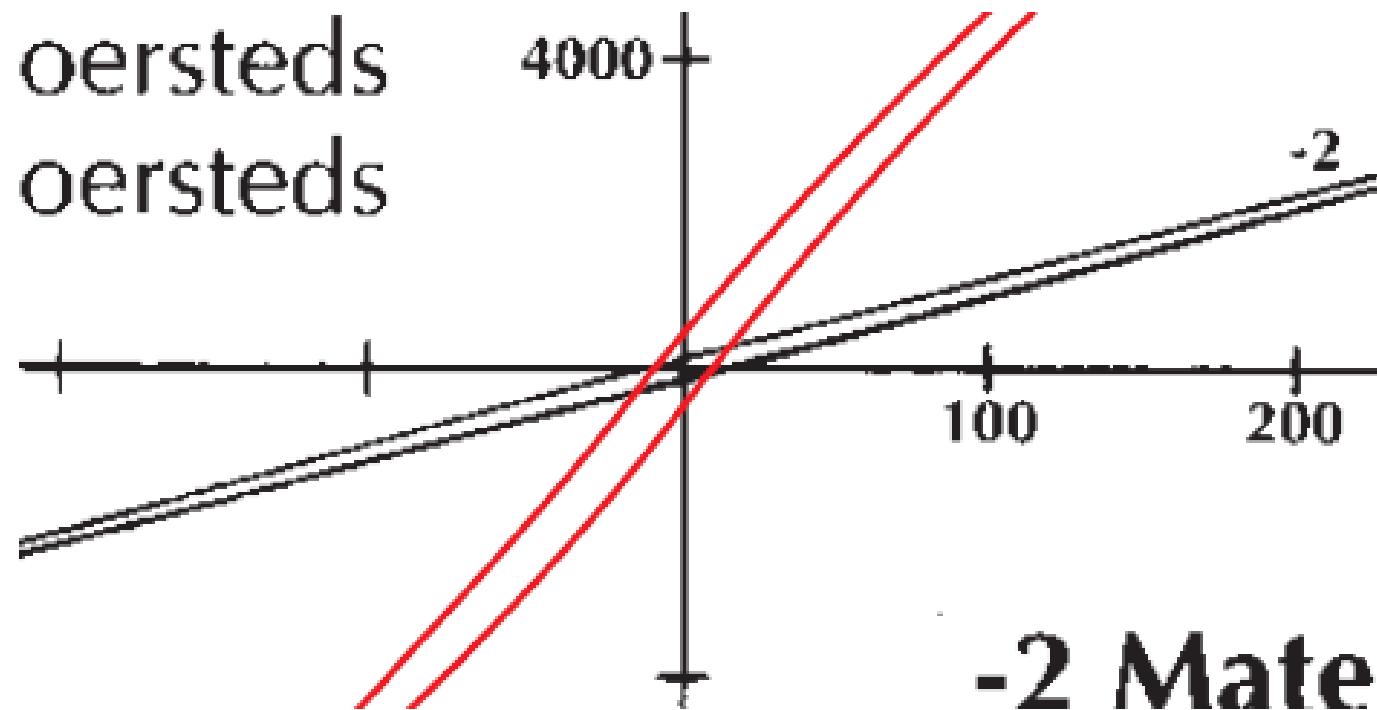
Curva Histéresis – Ejemplo

- ▶ $B_m \rightarrow$ Saturación
- ▶ $H_m \rightarrow$ Inducción para Saturación
- ▶ $B_r \rightarrow$ Magnetismo Remanente
- ▶ $H_c \rightarrow$ Fuerza Coercitiva



Curva Histéresis – Ejemplo

- ▶ $B_m \rightarrow$ Saturación
- ▶ $B_r \rightarrow$ Magnetismo Remanente
- ▶ $H_m \rightarrow$ Inducción para Saturación
- ▶ $H_c \rightarrow$ Fuerza Coercitiva



Materiales de Ejemplo

Material	Características	μ_0	Pérdidas mW/cm ³ 60Hz	Pérdidas mW/cm ³ 50KHz	Aplicación
2	Baja permeabilidad Bajo flujo en AC	10	19	28	Choque Inductor frec \geq 50KHz
8	Baja Pérdida Buena Linealidad con Corriente de Bias Alta Alta frecuencia Alto Costo	35	45	48	DC Choque frec \geq 50KHz

Fuente: micrometals – Iron Powder Cores

Datos Varios

- ▶ Codificación:
- ▶ T30/6 :
 - T: Toroide
 - Diámetro exterior: 30 décimas de pulgadas
 - 6: mezcla de materiales.
 - Color: indica rango de frecuencia

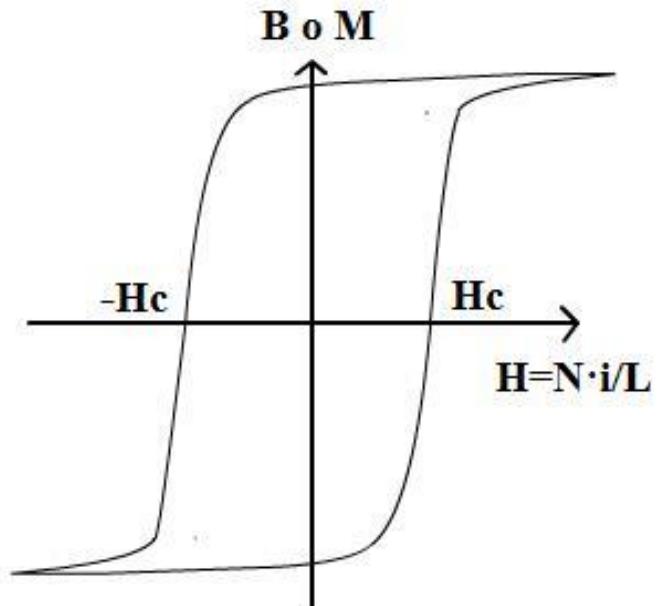


Mezcla	1er. Color	2do. Color	Frecuencia
0	Marron	Gris	50 - 300 Mhz
1	Azul	Gris	0,5 - 50 Mhz
2	Rojo	Gris	1 - 30 Mhz
3	Gris	Gris	0,03 - 1 Mhz
6	Amarillo	Gris	2 - 50 Mhz
7	Blanco	Gris	1 - 20 Mhz
10	Negro	Gris	10 -100 Mhz
12	Verde	Blanco	20 -200 Mhz
15	Rojo	Blanco	0,1- 3 Mhz
17	Azul	Amarillo	20 - 200 Mhz
22	Verde	Naranja	20 - 200 Mhz



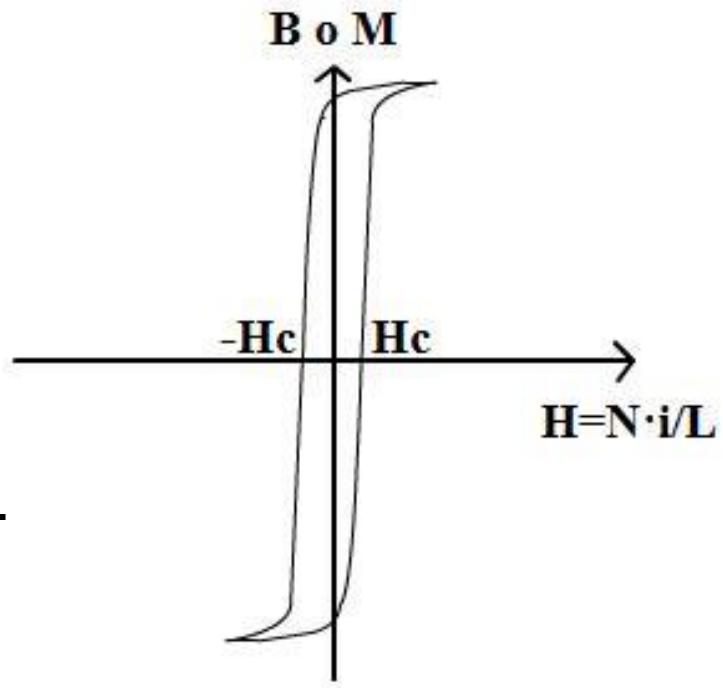
Materiales Magnéticos Duros

- ▶ Se caracterizan por una alta fuerza coercitiva H_c y una alta inducción magnética remanente B_r .
- ▶ Estos materiales cuando se imantan, son difíciles de desimantar.
- ▶ Se utilizan para fabricar imanes artificiales.



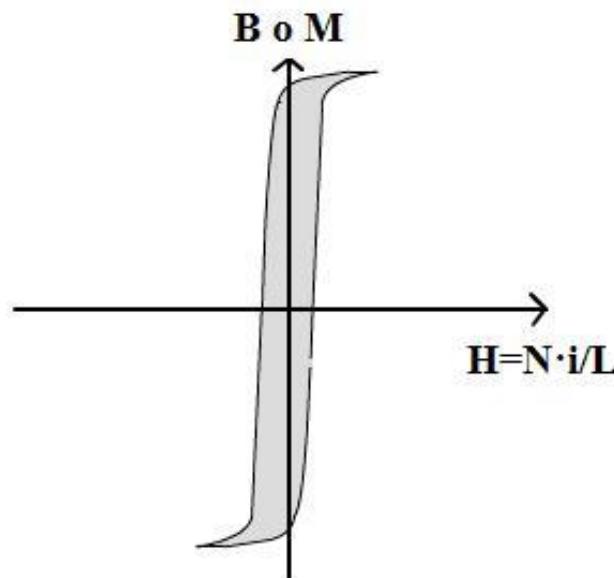
Materiales Magnéticos BLANDOS

- ▶ Se imantan y desimantan fácilmente
- ▶ Presentan curvas de histéresis de apariencia estrecha
- ▶ Bajos valores de fuerza coercitiva (H_c) y alta saturación
- ▶ Tienen permeabilidades magnéticas altas
- ▶ Se usan en núcleos para transformadores, motores, generadores.

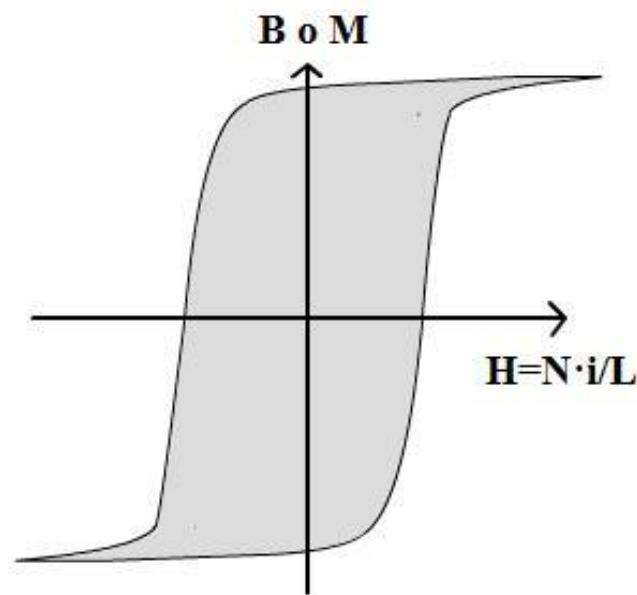


Perdidas por HISTERESIS

- ▶ El proceso de magnetización y desmagnetización descrito anteriormente provoca calentamientos → disipación de energía.
- ▶ Magnitud de Pérdidas → área encerrada por el contorno del ciclo de histéresis



Area Pérdidas



Area Pérdidas

Perdidas por HISTERESIS

- ▶ Para el cálculo de la pérdida se utiliza la fórmula:

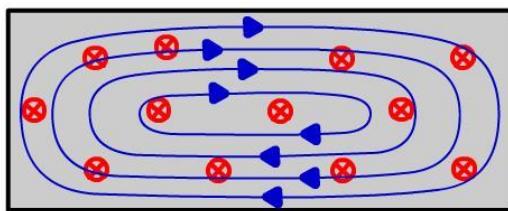
$$Ph = Kh \cdot f \cdot B_{max}^n$$

- ▶ $Ph \rightarrow$ Pérdidas [W/m^2]
- ▶ $f \rightarrow$ frecuencia de la señal de excitación
- ▶ $Kh \rightarrow$ Constante que depende del material
 - 0.001 → Acero al silicio
 - 0.03 → Acero fundido duro
- ▶ $B_{max} \rightarrow$ Inducción máxima
- ▶ $n = 1.6$
 - $B < 1\text{T}$
- ▶ $n > 2$
 - $B > 1\text{T}$

Perdidas por FOUCAULT

- ▶ Las pérdidas de Foucault se deben a las corrientes inducidas sobre el material ferromagnético como consecuencia de estar sometido a un campo magnético variable con el tiempo.

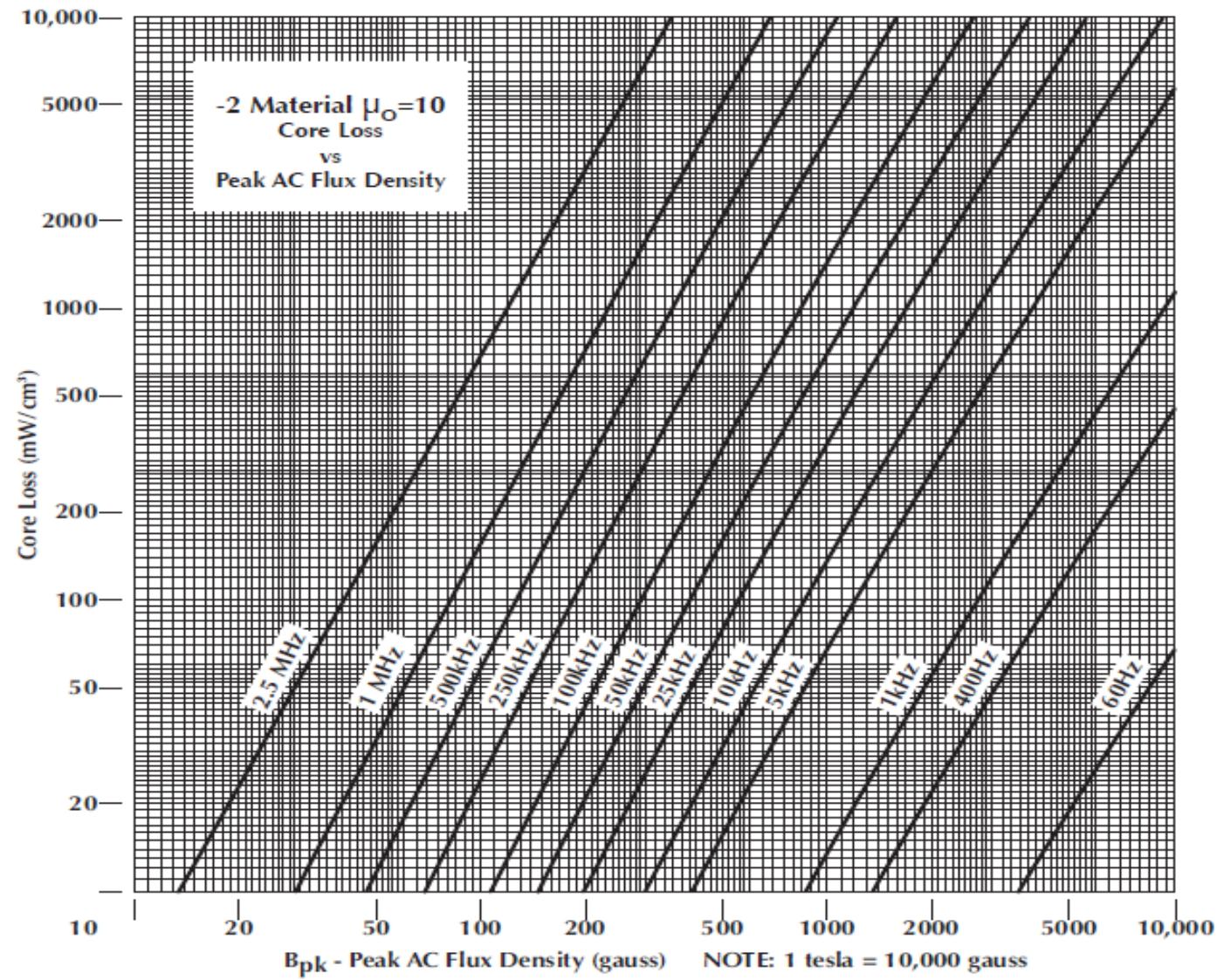
$$P_f = K_f \cdot f^2 \cdot B_{max}^2$$



- Núcleo ferromagnético.
- ▶ Corrientes inducidas.
- ✖ Campo magnético.

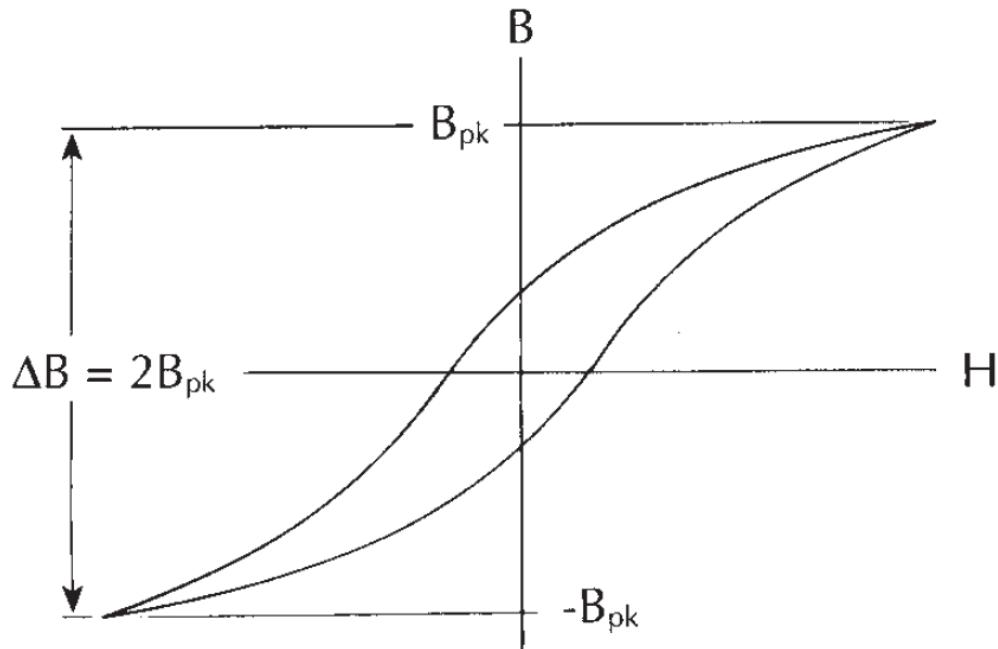
- K_f es una constante proporcionada por el fabricante
- f es la frecuencia a la que trabajará el circuito magnético
- B_{max} la inducción máxima que se puede presentar.

Pérdidas Totales



Perdidas Totales

- ▶ Determino B_{pk} , según el modo de trabajo.

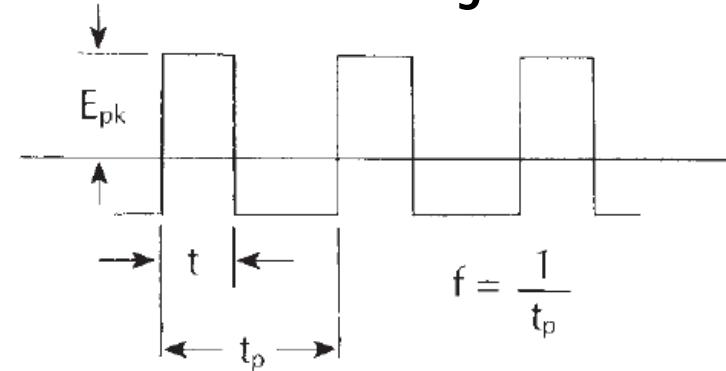
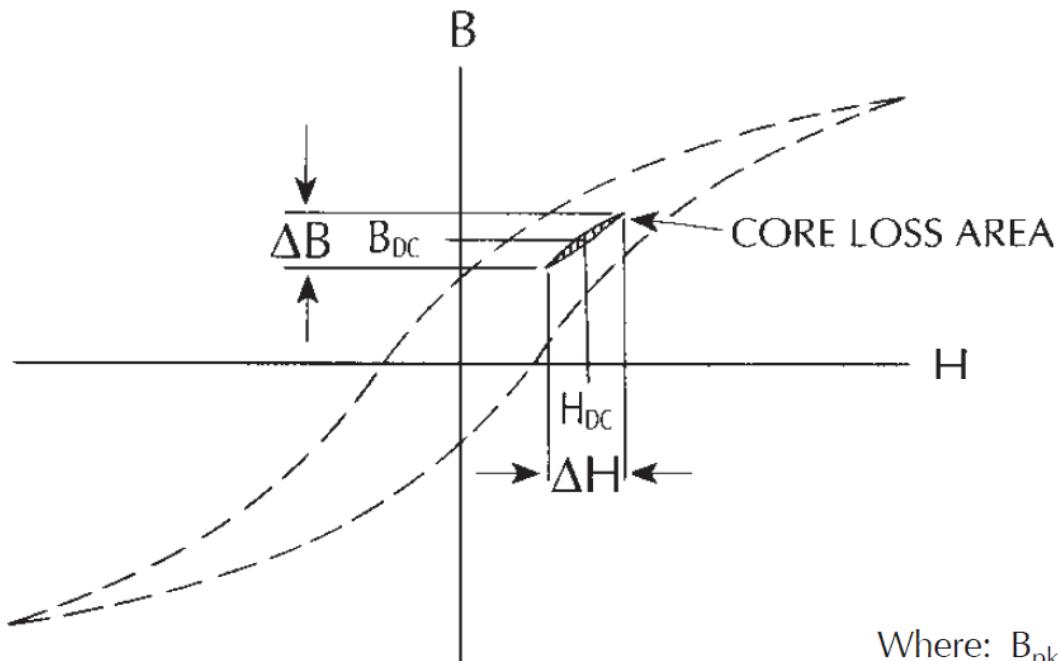


$$B_{pk} = \frac{E_{rms} 10^8}{4.44 A N f}$$

B_{pk} Peak AC flux density (gauss)
 E_{rms} RMS AC voltage (volts)
 A Cross-sectional area (cm^2)
 N Number of turns
 f frequency (hertz)

Perdidas Totales

- Determino B_{pk} , según el modo de trabajo.



$$B_{pk} = \frac{E_{pk} t 10^8}{2 A N} = \frac{L \Delta I 10^8}{2 A N}$$

Where:
 B_{pk}
 E_{pk}
 t
 L
 ΔI
 A
 N

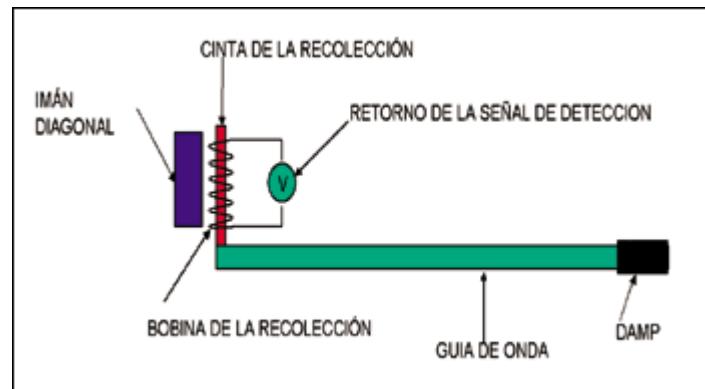
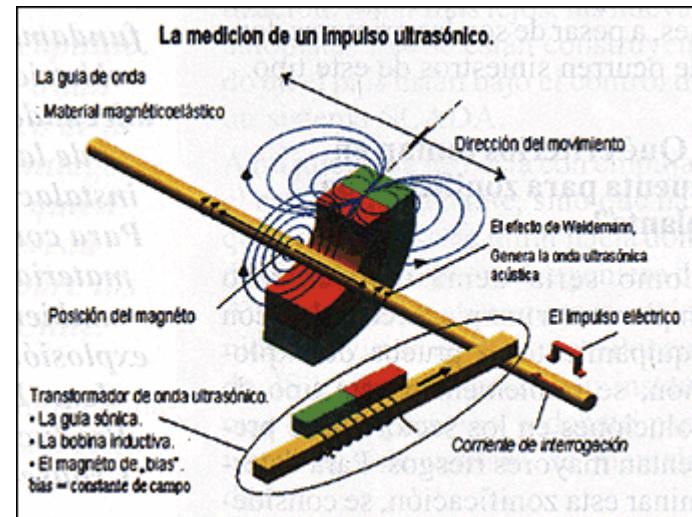
Peak AC flux density (gauss)
Peak voltage across coil during "t" (volts)
Time of applied voltage (seconds)
Inductance (Henries)
Peak to peak ripple current (amps)
Cross-sectional area (cm^2)
Number of turns

Magnetoestricción

- ▶ Es la propiedad de los materiales magnéticos, o ferromagnéticos que hace que estos cambien de forma al encontrarse en presencia de un campo magnético.
- ▶ Un ejemplo son: las vibraciones en forma de sonido son causadas por la frecuencia de las fluctuaciones del campo, en motores y transformadores.
- ▶ Para generar electricidad se utiliza la magnetoestricción inversa.
- ▶ Se emplea el fenómeno en sensores.

Magnetoestricción

- ▶ Se envía un pulso eléctrico en una guía de ondas.
- ▶ El imán que indica el nivel genera torsión sobre la guía (efecto Weidemann).
- ▶ La torsión provoca un pulso sónico que viaja en sentido opuesto.
- ▶ Con electrónica se mide el tiempo entre el pulso emitido y el pulso sónico.



Materiales Usuales

- ▶ Para Campos magnéticos continuos (DC)
 - Hierro Puro.
 - Gran permeabilidad y elevada inducción de saturación.
 - Hierro Electrolítico
 - Hierro sueco
 - $\mu_r \rightarrow 5500$
 - Hierro Armco
 - $\mu_r \rightarrow 7000$
 - Aplicaciones
 - Altavoces
 - Relés
 - Expansiones polares de aparatos de medida

Materiales Usuales

- ▶ Para Campos magnéticos alternos (AC)
 - Aleaciones de Hierro
 - Aumentar su resistividad mediante aleaciones.
 - Se usa laminado.
 - Elevadas pérdidas por corrientes parásitas.
 - Aleaciones de hierro-silicio
 - Se adiciona hierro silicio.
 - Laminación en frio orienta los cristales.
 - Grano orientado → Aumenta la permeabilidad en la dirección del laminado.
 - El valor indicado de pérdidas en W/Kg es para una Inducción de 1Wb/m² y a 50Hz.

Materiales Usuales

- ▶ Para Campos magnéticos alternos (AC)
 - Aleaciones de Hierro – Níquel
 - Elevada permeabilidad.
 - Bajas pérdidas por inducción para inducciones de pequeño valor.
 - Grano orientado.
 - Se usan como planchas o núcleos pulverizados
 - 75% a 80% de níquel.
 - Permalloy C y Mumetal – Superpermalloy
 - Permeabilidad elevada
 - Saturación con baja f.m.m.
 - Bajas pérdidas
 - Resistividad elevada
 - Alto costo

Materiales Usuales

- ▶ Para Campos magnéticos alternos (AC)
 - Aleaciones de Hierro – Níquel
 - Se usan como planchas o núcleos pulverizados
 - 50% de níquel.
 - Permalloy B, Hipernik , Permenomrm 5000Z
 - Permeabilidad Elevada
 - Saturación con valores medios de f.m.m
 - Reducidas pérdidas
 - Resistividad Media
 - Costo Elevado
 - 30% de níquel.
 - Permalloy D y Rhometal

Materiales Usuales

- ▶ Para Campos magnéticos alternos (AC)
 - Aleaciones de Hierro – Níquel
 - Se usan como planchas o núcleos pulverizados
 - 30% de níquel.
 - Permalloy D y Rhometal
 - Permeabilidad Elevada
 - Saturación con valores bajos de f.m.m
 - Reducidas pérdidas
 - Resistividad Media
 - Costo Bajo

Materiales Usuales

- ▶ Para Campos magnéticos alternos (AC)
 - Usos Aleaciones de Hierro – Níquel
 - 75 – 80% de níquel
 - Transformadores de banda ancha
 - Piezas magnéticas para instrumentos de hierro móvil
 - 50%
 - Relés de alterna y continua para corrientes débiles.
 - 30%
 - Transformadores de alimentación
 - Motores
 - Generadores

Materiales Usuales

- ▶ Para Núcleos magnéticos de polvo
 - Para uso en audiofrecuencia o RF.
 - Hierro en polvo
 - Núcleos
 - Elevada $\mu \rightarrow 150$ a 200
 - Alto valor de Q
- ▶ Ferritas
 - Sustancias no metálicas
 - Baja Conductividad \rightarrow Bajas pérdidas por Foucault
 - Composición \rightarrow Fe_2O_3MO
 - MO \rightarrow Cu, Mg, Ni, Fe o Zn
 - Para cortar \rightarrow Marcar como si fuese vidrio y luego aplicar fuerza.

Materiales Usuales

- ▶ Para imanes permanentes
 - Deben tener una elevada tensión interna
 - Endurecimiento por temple.
 - Agregando aluminio y níquel
 - Alni - Alnico → $B^*H = 10.000 \text{ a } 17.000$
 - Alcomax - Ticonal → $B^*H = 50.000$ (sometido a campo magnético intenso al enfriar).
- ▶ Ferritas para imanes permanentes
 - Oxido de hierro y cobalto.
 - Vectolite
 - Ferroxidure
 - Magnadur

Tecnología Electrónica

Ingeniería en Electrónica

Universidad Tecnológica Nacional
Facultad Regional Córdoba

Inductores

▶ Características Principales

- Un inductor es un elemento pasivo que se caracteriza porque la tensión en los extremos es proporcional a la variación de la corriente que circula por el.

$$V = L * \frac{di}{dt}$$

- L es la inductancia. Es una propiedad de los elementos en virtud de la cual los mismos se oponen a toda variación de corriente que lo recorre.
- La variación de corriente produce una f.em. Inducida.

$$e = -\frac{L * di}{dt}$$

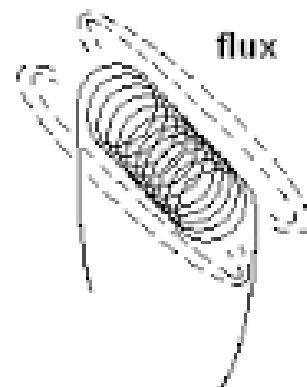
- La f.e.m. inducida puede ser debida por
 - Autoinducción → por la I que circula por si mismo.
 - Inducción Mutua → por una I que circula por otro dispositivo.

Inductores

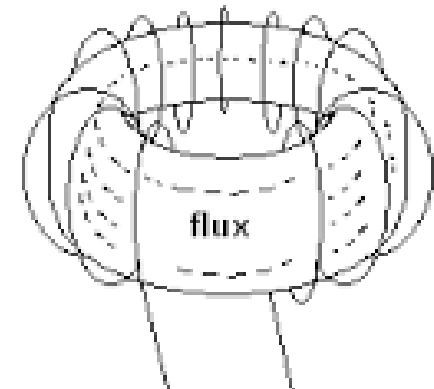
► Características Principales

- Unidad Dimensional:
 - 1 Henrio = 1 V * 1A * 1 seg
- El inductor ideal no posee pérdidas
- El inductor ideal almacena energía en forma de campo magnético.

$$W = \frac{1}{2} * L * I^2$$



Solenoid



Toroid

Inductores

▶ Características Principales

- Partiendo de un inductor con núcleo toroidal:

$$\mu = \mu_0 * \mu_r \left[\frac{H}{m} \right] \rightarrow \text{Permeabilidad Absoluta}$$

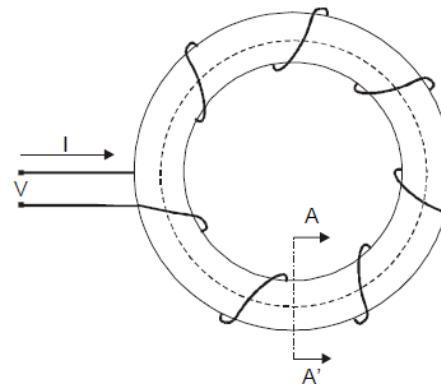
$A[m^2]$ → Área Transversal

$l[m]$ → Longitud Media

N → Espiras

$$L = \frac{\mu * N^2 * A}{l} = \frac{N^2}{\mathfrak{R}}$$

\mathfrak{R} = reluctancia



Sección A A'

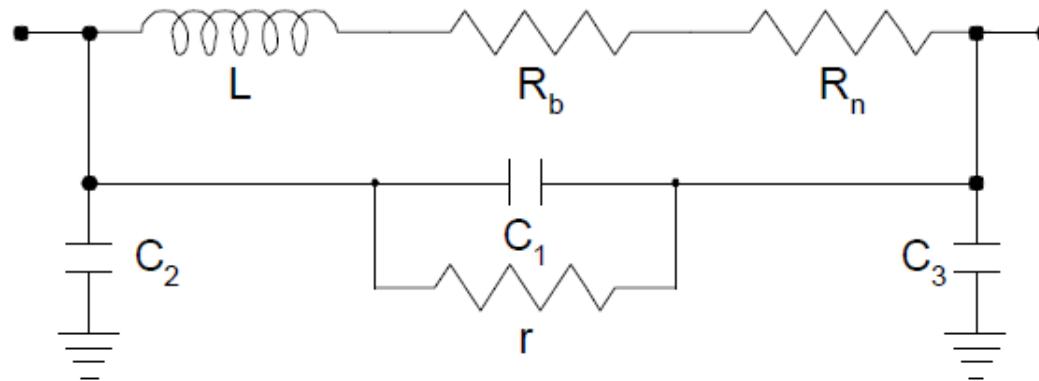


Inductores

- ▶ Debido a la NO linealidad de la Relación B-H
 - El valor de L puede variar en función de la corriente circulante.
- ▶ Un inductor REAL posee pérdidas
 - En el bobinado
 - Por la resistencia del bobinado
 - Por Corrientes parásitas
 - Por conductancia
 - En el núcleo
 - Por corrientes parásitas
 - Por Histéresis
 - Residuales
 - Se dan en frecuencias muy altas. Efecto mecánico de los imanes elementales
 - En el blindaje
 - Si esta blindado hay pérdidas adicionales

Inductores

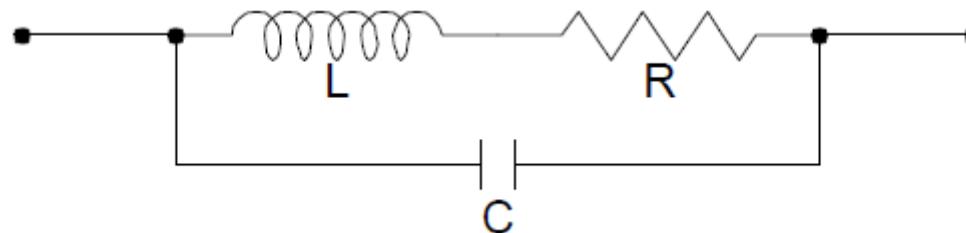
► Circuito Equivalente



- $L \rightarrow$ valor de la inductancia
- $R_b \rightarrow$ pérdidas resistivas en el bobinado
- $R_n \rightarrow$ pérdidas en el Núcleo
- $R \rightarrow$ pérdidas en las capacidades parásitas
- $C_1 \rightarrow$ Capacidad entre espiras
- C_2 y $C_3 \rightarrow$ capacitancia de espiras al chasis

Inductores

► Circuito Equivalente Reducido



- R y C → parámetros residuales del inductor
- Sistema Resonante
 - Se deben emplear a una frecuencia menor
 - C → de valor mínimo
 - Q → de valor elevado

$$Q = \frac{\varpi^* L}{R}$$

Inductores

▶ Inductancia Efectiva

- Basados en el modelo equivalente un Inductor tendrá un valor de Inductancia dependiente de la frecuencia.

$$L^* = \frac{L}{1 - [0.000001 * (2 * \pi * f)^2 * L * Cd]}$$

- Ejemplo de bobina de 20mH a una $f=7\text{Mhz}$

$$L^* = \frac{20mH}{1 - [0.000001 * (2 * 3,14 * 7\text{MHz})^2 * 20mH * 2,92pF]} = 22,54mH$$

Inductores

▶ Capacidad Distribuida

- Existe capacidad entre espiras y con respecto al chasis.
 - Se puede estimar utilizando un método descripto [1]
 - Bobina conectada a Masa
 - Conocer forma geométrica
 - D → diámetro en mm
 - K → relación longitud/diámetro

$$Cd[\text{pF}] = K * D$$

Inductores

▶ Capacidad Distribuida

- D → diámetro en mm
- K → depende de la relación longitud/diámetro

I/D	0,1	0,3	0,5	0,8	1	2	4	6	8	10	15	20	30
K	0,096	0.06	0.05	0.05	0.046	0.05	0.072	0.092	0.112	0.132	0.186	0.236	0.34

- K es mínimo para I/D entre 0,5 y 2
- Para un Q máximo, I/D > 1
- Valor optimo entonces
 $I/D \rightarrow 2$
- Ejemplo → I/D = 69,85/63,5 = 1,1 → k= 0,046

$$Cd[pF] = 0,046 * 63,5mm = 2,92pF$$

Inductores

- ▶ Clasificación de los inductores según el tipo de circuito magnético.
 - Circuito magnético Abierto
 - Núcleo de Aire
 - Inductores de una sola capa → Solenoides
 - Inductores multicapa
 - Núcleo de Material magnético.
 - Hierro laminado
 - CC y CA
 - Hierro pulverizado o de materiales magnéticos no conductores → ferritas.
 - Circuito magnético Cerrado

Inductores - Núcleo de Aire

▶ Inductores de una sola capa

- Valor constante de L en función de la corriente
- Se puede hacer el análisis como si fuera toroidal
 - Se debe tener en cuenta el factor de Nagaoka.
 - Relación de las dimensiones geométricas del inductor.
 - $k \rightarrow D/I$ (Nagaoka).

Inductores - Núcleo de Aire

- ▶ Inductores de una sola capa.
 - Partimos del valor de L.

$$L = \mu * K * \frac{N^2 * S}{l} \left[\frac{H}{m} \right]$$

- Y cambiando unidades queda el calculo de L como

$$\mu = \mu_0 * \mu_r$$

$$\mu_r = 1$$

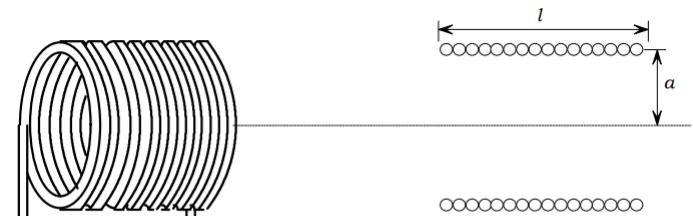
$$\mu_0 = 4 * \pi * 10^{-7} \left[\frac{H}{m} \right]$$

S y l → cm

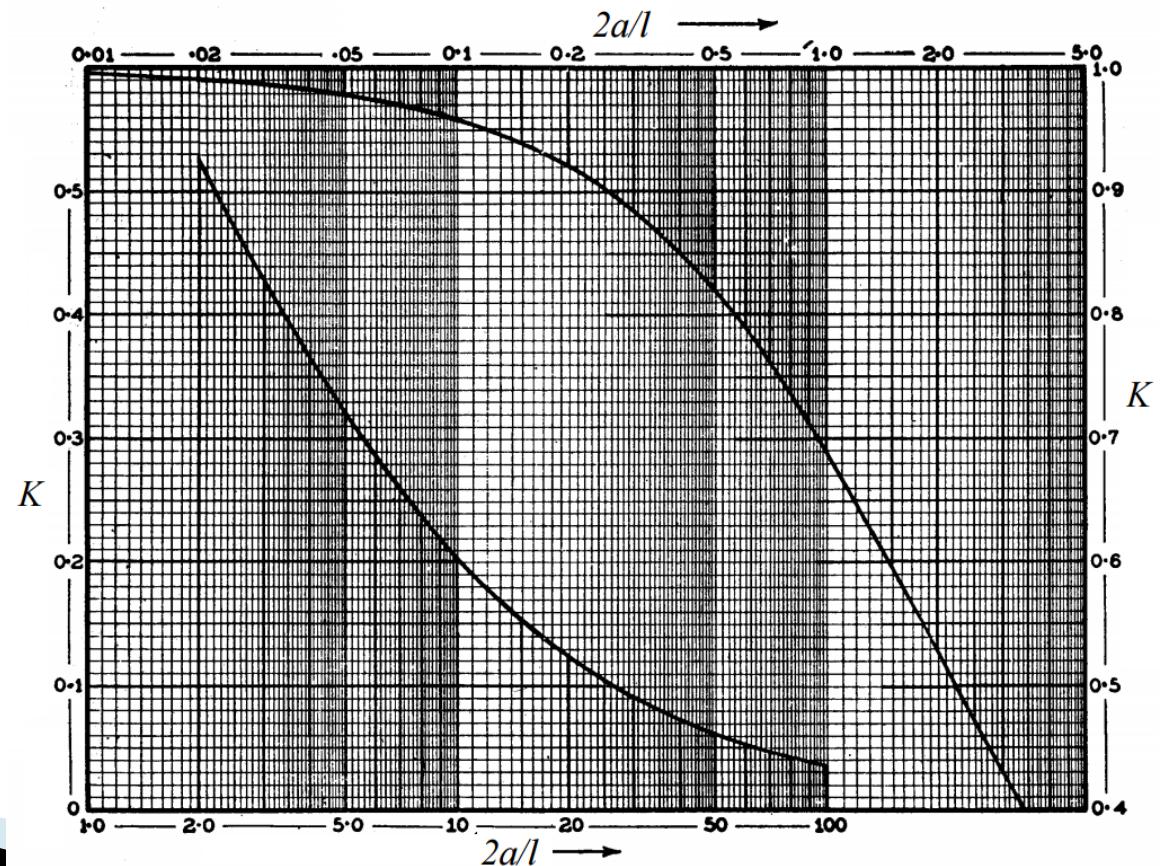
L → μH

$$L = 0.03948 * \frac{N^2 * R^2}{l} * k \left[\frac{H}{m} \right]$$

Inductores



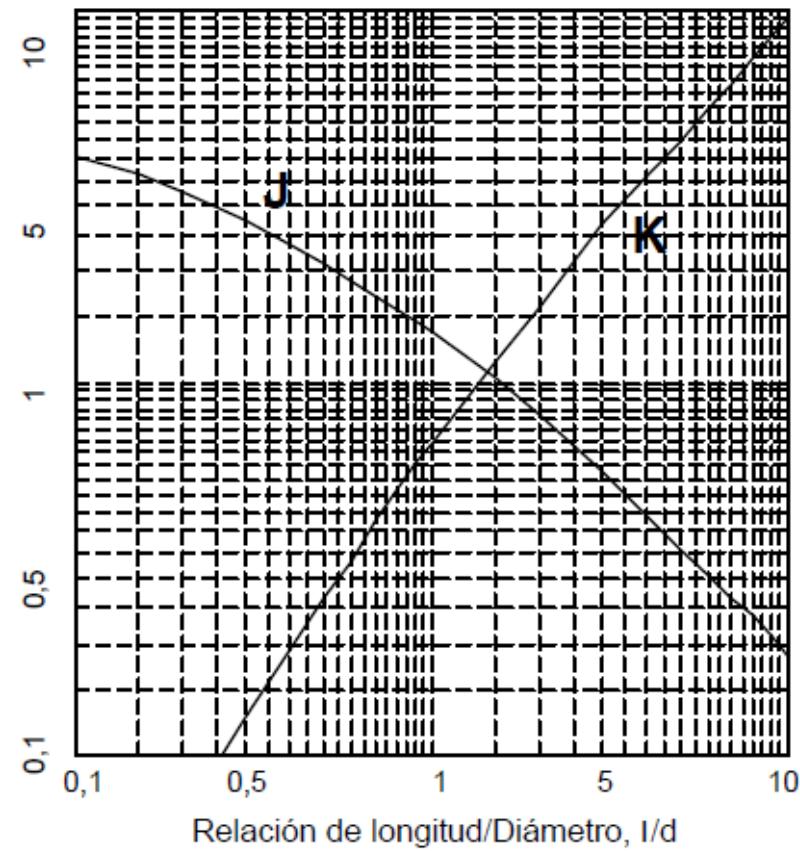
- ▶ Factor de Nagaoka → k
 - Depende de la relación $2a/l \rightarrow D/I$



Inductores

- ▶ Se puede expresar el factor de Nagaoka, en función de I/D.
- ▶ Queda la ecuación como:

$$L = D^3 * N_s^2 * K * 10^{-3} \left[\frac{\mu H}{cm} \right]$$



Diseño de Inductor

- ▶ Inductor de una capa Núcleo de Aire
- ▶ Datos de Diseño
 - $L \rightarrow$ Inductancia deseada
 - $I \rightarrow$ corriente circulante
 - $f \rightarrow$ frecuencia
- ▶ Ecuación inicial

$$L = D^3 * N_s^2 * K * 10^{-3} \left[\frac{\mu H}{cm} \right]$$

Tecnología Electrónica

Ingeniería en Electrónica

Universidad Tecnológica Nacional
Facultad Regional Córdoba

Diseño de Inductor

- ▶ Inductor de una capa Núcleo de Aire
- ▶ Datos de Diseño
 - $L \rightarrow$ Inductancia deseada
 - $I \rightarrow$ corriente circulante
 - $f \rightarrow$ frecuencia
- ▶ Ecuación inicial

$$L = D^3 * N_s^2 * K * 10^{-3} \left[\frac{\mu H}{cm} \right]$$

Diseño de Inductor

► Ecuación inicial

$$L = D^3 * N_s^2 * K * 10^{-3} \left[\frac{\mu H}{cm} \right]$$

- Se pueden conocer N_s (I/N) y D (diámetro).
- Despejo K .
- Entro en la curva I/D .
 - Determino $I \rightarrow$
- Con N_s puedo sacar N .

Diseño de Inductor

► Desarrollo

1 – Defino Densidad de Corriente

- Valor → $J = 4 \text{ A/mm}^2$
- Verificar al final sobre elevación de temperatura

2 – Determino la sección del conductor

$$\text{Sección} = S = \frac{I_{ef}}{J}$$

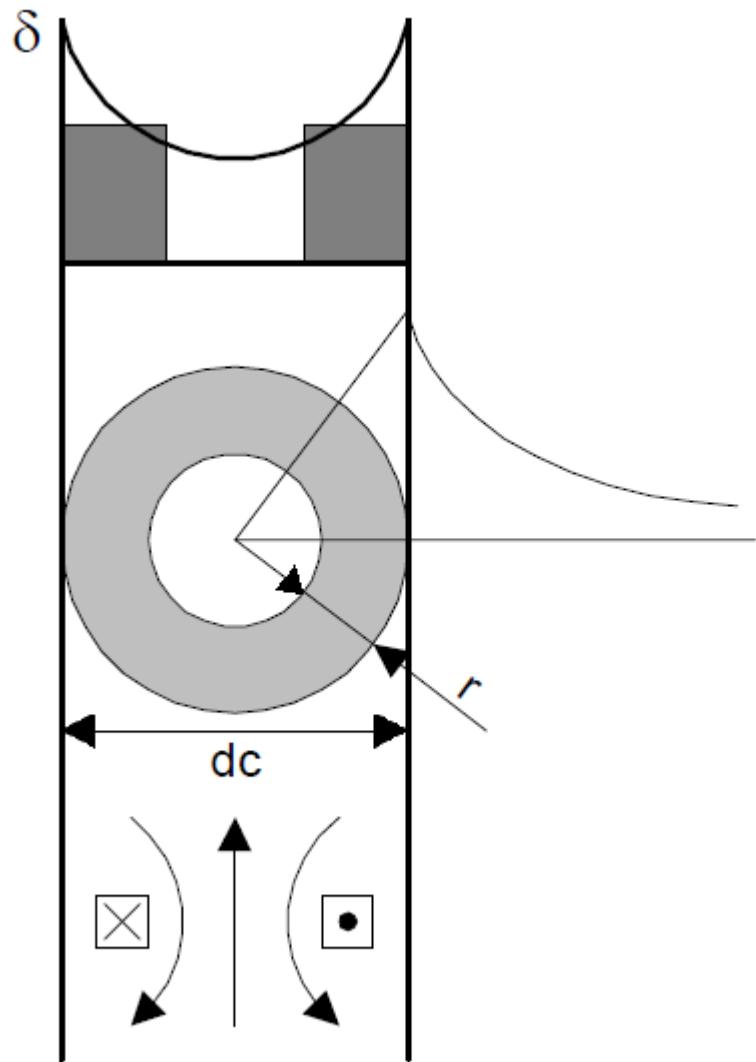
3 – Determino el diámetro del conductor

- Se debe tener en cuenta el efecto pelicular que aparece en altas frecuencias.

Diseño de Inductor

- ▶ Efecto pelicular
 - Por Terman se considera que la corriente fluye por un tubo de espesor r :

$$r = \frac{6,62}{\sqrt{f[\text{Hz}]}} [\text{cm}]$$



Diseño de Inductor

- ▶ Conociendo r entonces

$$Seccion = \pi * r * (dc - r)$$

- ▶ Considerando dc >> r

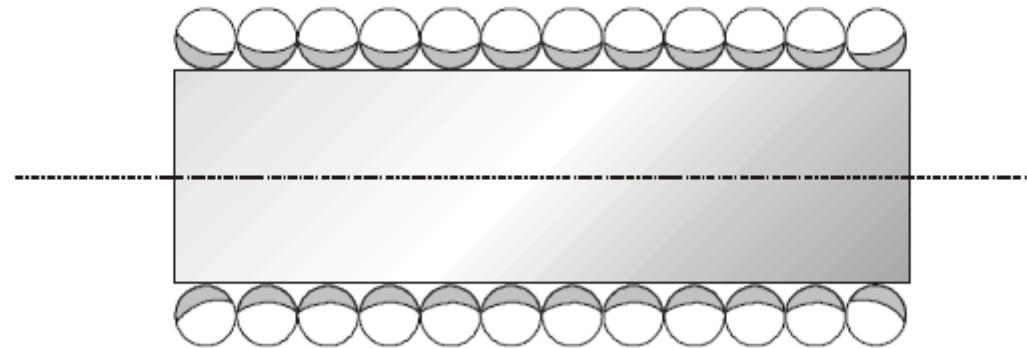
$$Seccion = \pi * r * dc$$

$$dc \cong \frac{Seccion}{\pi * r}$$

Diseño de Inductor

4 – Determinación de Ns

- Determinar la separación entre espiras para obtener el valor óptimo de Q.
- Las espiras adyacentes provocan un aumento de R en virtud del efecto de proximidad.



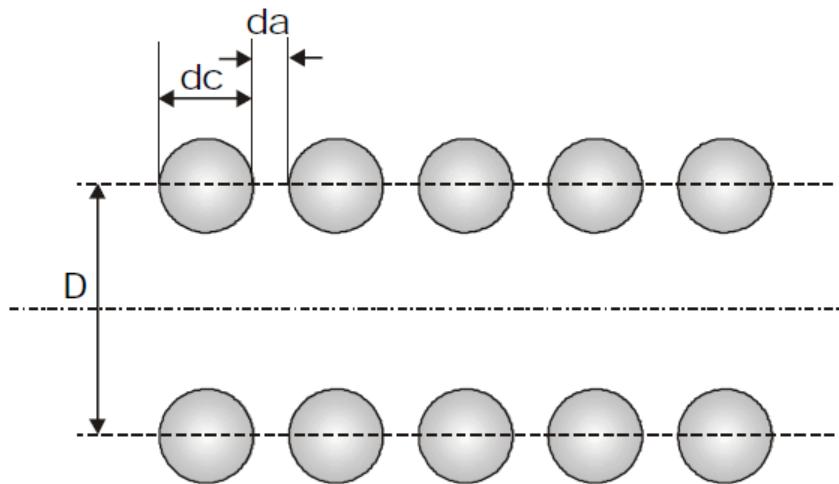
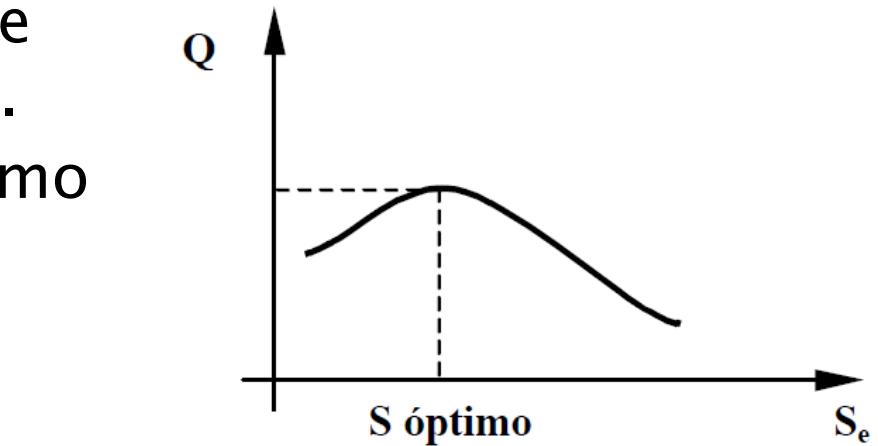
- Por ende se ve afecta el factor de calidad

$$Q = \frac{L * \varpi}{R}$$

Diseño de Inductor

- Existe un valor óptimo de Separación entre espiras.
- Se toma como valor óptimo
 - $S_e = da = 0,41 * dc$
 - Puede ser mayor.
- Determino N_s

$$N = \frac{l}{S_e + dc}$$
$$N_s = \frac{N}{l} = \frac{1}{S_e + dc}$$



Diseño de Inductor

5 – Determinación de D

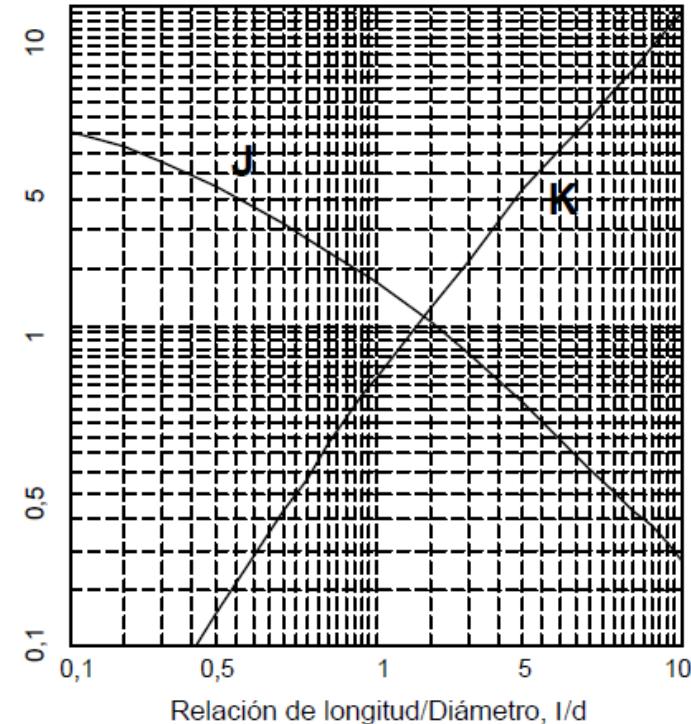
- Empleando la relación I/D

$$1 < \frac{l}{D} < 2$$

- Buscar el valor más grande para D.
 - Aumenta en consecuencia L

6 – Determino K

$$K = \frac{L * 10^3}{Ns^2 * D^3}$$



Diseño de Inductor

7 – Con K entro en la grafica y saco la relación I/D.

- Determino I

8 – Obtengo N

$$N = N_s * l$$

► 9 – Determinación de sobreelevación de temperatura

- Debo conocer la R del inductor.

Diseño de Inductor

- Es necesario conocer el Qm → factor de forma
- Depende de la forma geométrica del solenoide.

$$Q = 8,55 * \frac{D * l}{102 * l + 45 * D} * \sqrt{f[\text{MHz}]}$$

- Se define la frecuencia de trabajo para obtener el Qm → Ejemplo f=1MHz

$$Q_M = 8,55 * \frac{D * l}{102 * l + 45 * D}$$

- Lo que define entonces:

$$Q = Q_M * \sqrt{f[\text{MHz}]}$$

Diseño de Inductor

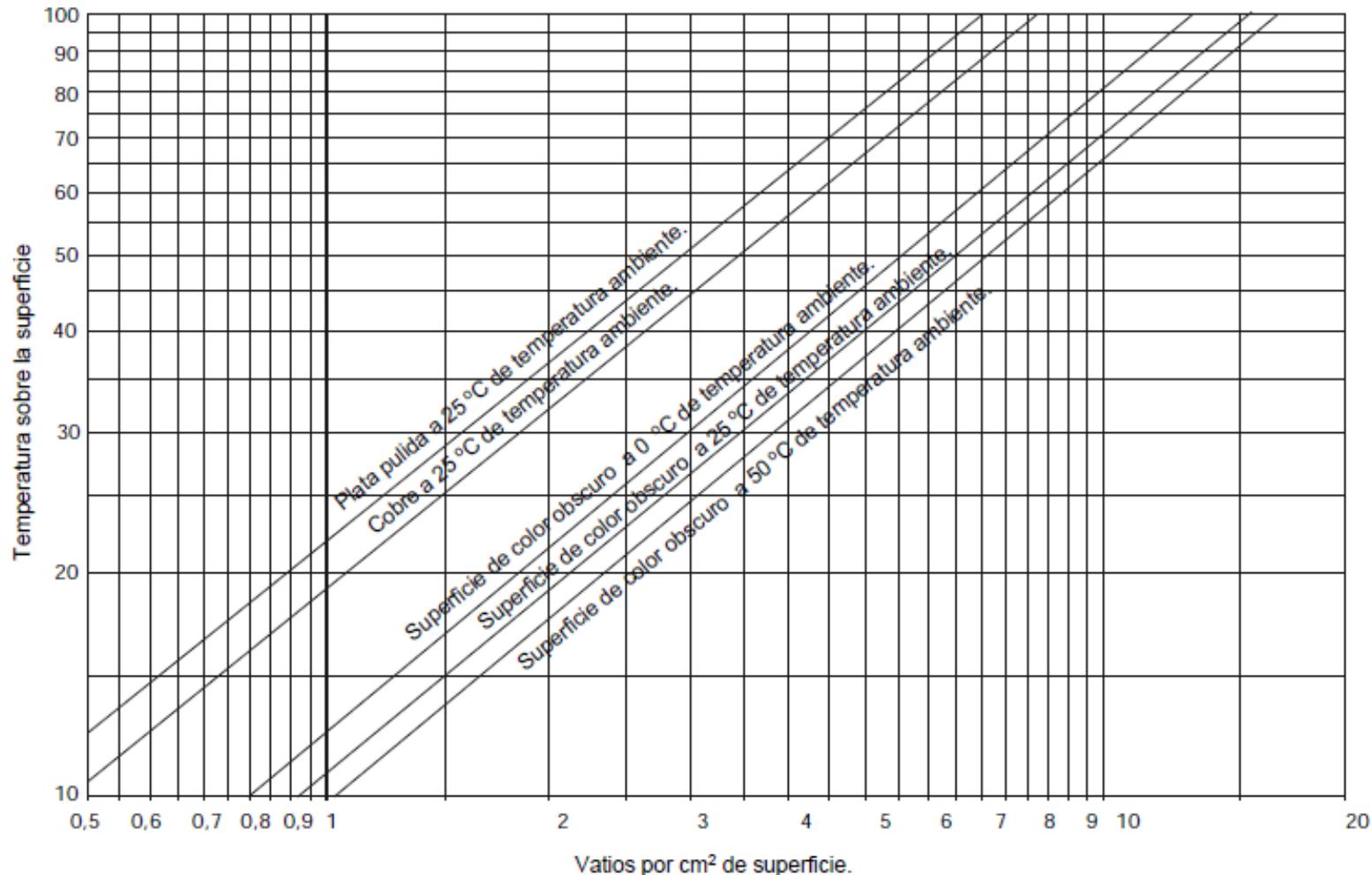
- ▶ Obteniendo Q → encuentro R
- ▶ Determino

$$P = R * I^2$$

- ▶ Con la potencia disipada y la potencia a disipar por unidad de superficie determino del grafico la sobre elevación de temperatura.
 - Si supero el máximo debo ajustar J.

Diseño de Inductor

▶ Determinación de sobre elevación de temperatura



Tecnología Electrónica

Ingeniería en Electrónica

Universidad Tecnológica Nacional
Facultad Regional Córdoba

Inductor Multicapa Aire

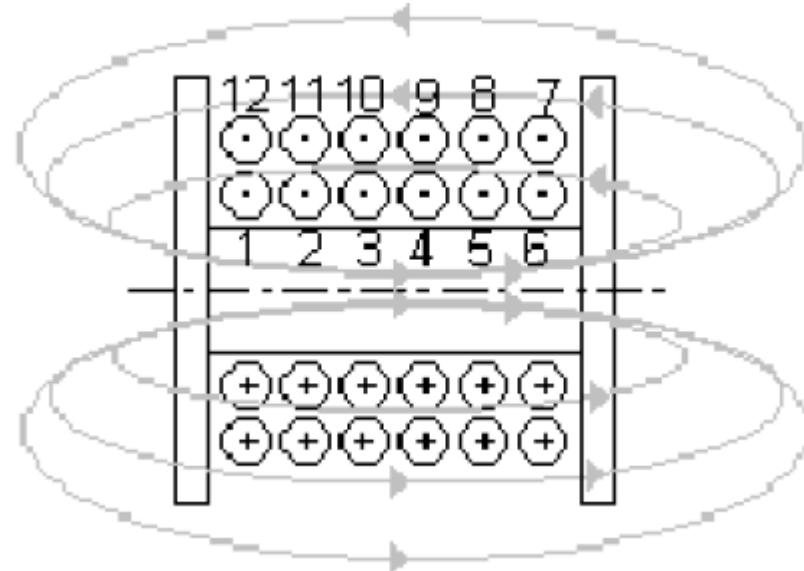
- ▶ Si necesitamos elevar el valor de $L > 150\mu\text{H}$.
- ▶ Viendo la Ecuación

$$L = \mu_0 * \frac{N^2 * A}{l}$$

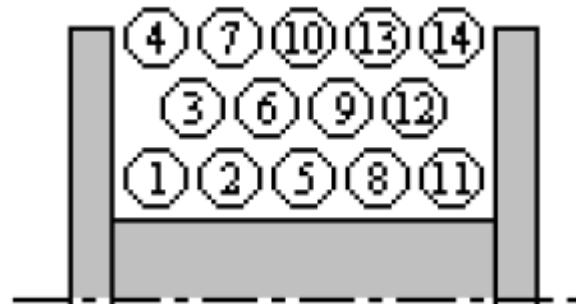
- ▶ Para aumentar L debemos incrementar N
 - Aumenta la Capacidad distribuida → Pérdidas
 - Según tipo de bobinado.

Inductor Multicapa Aire

- ▶ Bobinado Senoidal



- ▶ Bobinado en Banco



Inductor Multicapa Aire

- ▶ Bobinado Angosto y profundo



- ▶ Bobinado Universal nido de Abeja



Inductor Multicapa Aire

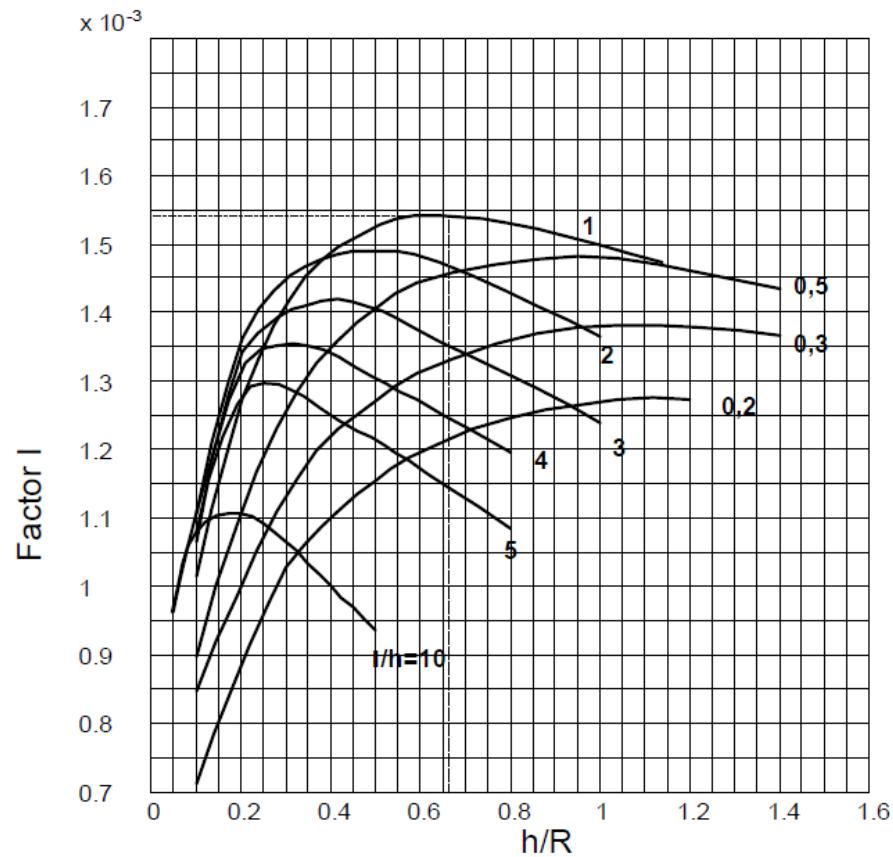
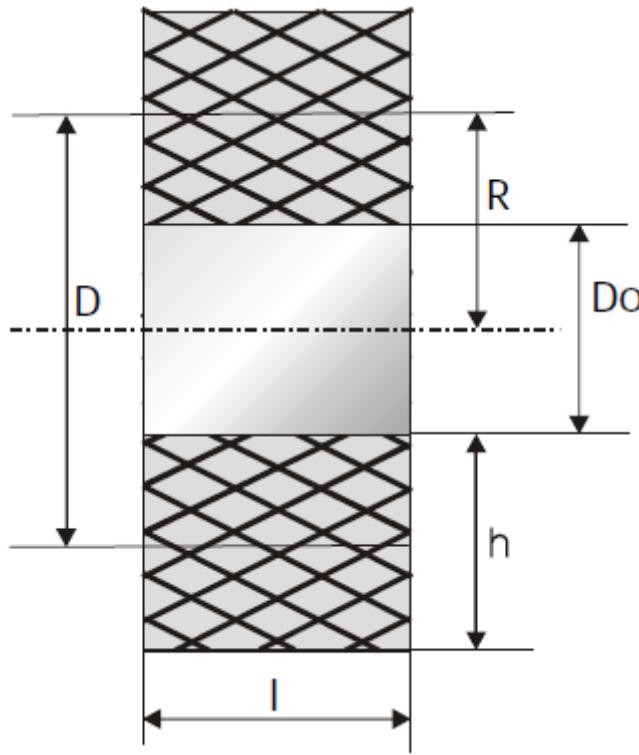
- ▶ La forma nido de Abeja
 - Elevado Q
 - Reduce la capacidad distribuida
 - Buena Rígidez mecánica.
- ▶ Ecuación de cálculo.
 - Manual de Terman

$$L = I * \sqrt[3]{\frac{t^5}{d^2}} [uH]$$

- I → factor de corrección
- t → longitud del conductor
- d → distancia entre centros de conductores adyacentes

Inductor Multicapa Aire

- Teniendo en cuenta dimensiones del inductor y el factor I obtenido del grafico.



Inductor Multicapa Aire

- ▶ Factores óptimos para el diseño

$$l = h = 0,622 * R$$

- ▶ Surge otra ecuación para el cálculo de inductores ya construidos
 - Ecuación de Wheler (dimensiones en cm)

$$L = \frac{D^2 * N^2}{38 * D + 114 * l + 127 * h} \left[\frac{uH}{cm} \right]$$

- Otra forma

$$L = \frac{0,2 * D^2 * N^2}{7,6 * D + 22,8 * l + 25,4 * h} \left[\frac{uH}{cm} \right]$$

Inductor Multicapa Aire

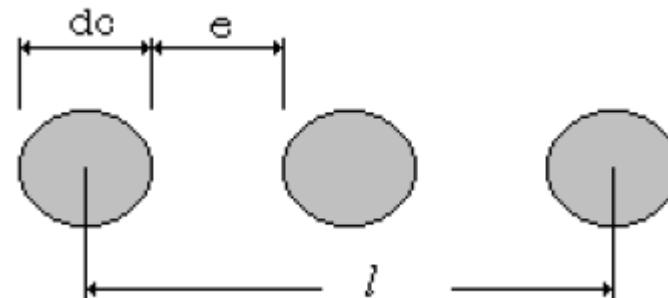
- ▶ Para el diseño.
- ▶ Se parte de

$$L = J * N^2 * R \rightarrow J(p, q)$$

$$p = \frac{l}{D_0}$$

$$q = \frac{h}{l}$$

- ▶ Y considerando



Inductor Multicapa Aire

► También

$$N = m * n_c$$

- Donde $m \rightarrow$ número de capas
- $n_c \rightarrow$ número de espiras por capa
- $e \rightarrow$ separación entre espiras
- $d_c \rightarrow$ diámetro del conductor con aislación

$$m = \frac{h}{d_c}$$

$$e = 0,25 * d_c$$

$$n_c = \left(\frac{l}{d_c + e} + 1 \right)$$

Inductor Multicapa Aire

- ▶ Entonces

$$N = m * n_c = \frac{h}{d_c} * \left(\frac{1}{d_c + e} + 1 \right)$$

$$R = \frac{D_0 + h}{2}$$

- ▶ Reemplazando en la ecuación inicial

$$L = J * N^2 * R = \frac{J(p, q)}{2} * q^2 * \left(\frac{1}{p} + q \right) * \left(\frac{1}{d_c + e} + 1 \right)^2 * \frac{l^3}{d_c^2}$$

Inductor Multicapa Aire

- ▶ Haciendo

$$M = \left[\frac{J(p, q)}{2} * q^2 * \left(\frac{1}{p} + q \right) \right]$$

- ▶ Y considerando

$$e = 0,25 * d_c$$

- ▶ Queda la ecuación

$$L = M(p, q) * \left(\frac{1}{1,25 * d_c} + 1 \right)^2 * \frac{l^3}{d_c^2}$$

Inductor Multicapa Aire

- ▶ Haciendo

$$M = \left[\frac{J(p, q)}{2} * q^2 * \left(\frac{1}{p} + q \right) \right]$$

- ▶ Y considerando

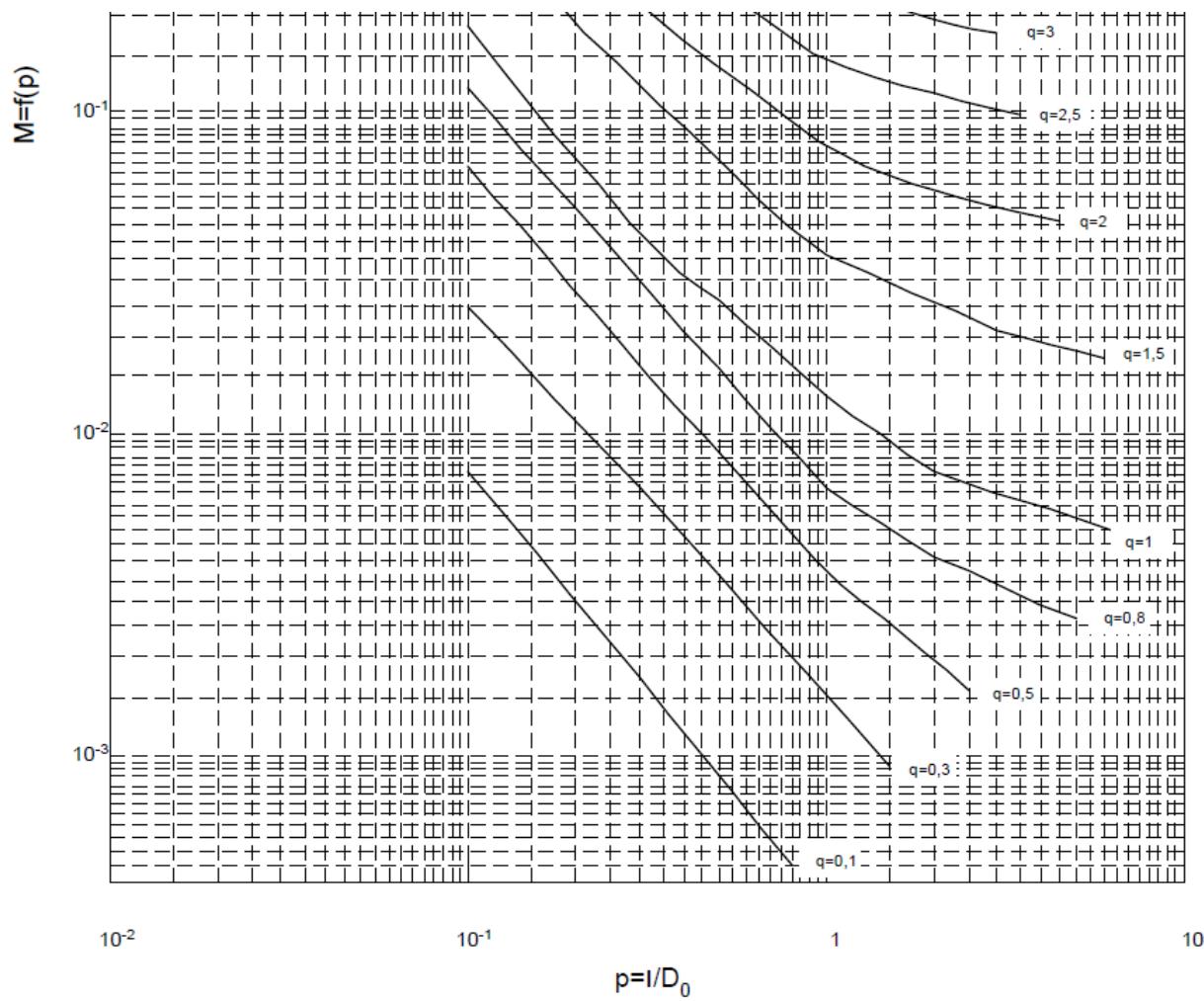
$$e = 0,25 * d_c$$

- ▶ Queda la ecuación

$$L = M(p, q) * \left(\frac{1}{1,25 * d_c} + 1 \right)^2 * \frac{l^3}{d_c^2}$$

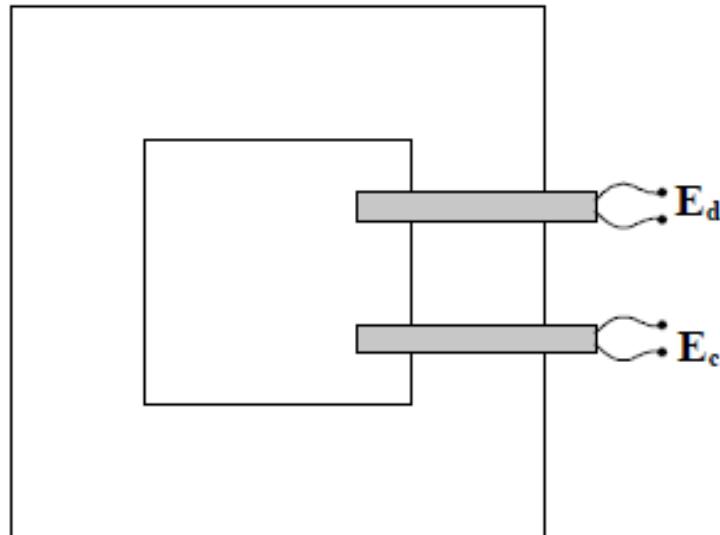
Inductor Multicapa Aire

- ▶ Para determinar M uso la grafica, donde $q=h/l$ es parámetro



Inductor Multicapa Aire

- ▶ No se tiene en cuenta el Numero de espiras.
- ▶ Para conocer N puedo aplicar un procedimiento practico.



$$\frac{E_d}{E_c} = \frac{N_d}{N_c}$$

Inductor Multicapa Aire

▶ Proyecto de Diseño de Inductor Multicapa

- Datos
 - Valor de L
 - Corriente circulante I
 - Frecuencia de Trabajo f.
- Datos Adicionales
 - Q esperado - entre 100 y 200
 - Sobre elevación de temperatura

▶ Desarrollo

- Ecuación Inicial
- Curvas $M=f(p,q)$

$$L = M * \left(\frac{1}{1,25 * d_c} + 1 \right)^2 * \frac{l^3}{d_c^2}$$

Inductor Multicapa Aire

1 - Definir densidad de corriente

- Valor → $J = 2 \text{ A/mm}^2$
- Se debe verificar al final del desarrollo

2 - Determino la sección y diámetro del conductor

$$\text{Sección} = S = \frac{I_{ef}}{J} = \frac{\pi * d_{cm}^2}{4}$$

$$d_c = \sqrt{\frac{4 * \text{Sección}}{\pi}}$$

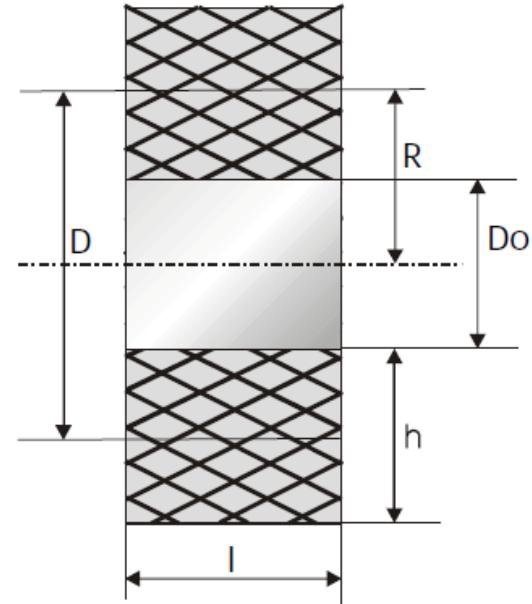
Inductor Multicapa Aire

3 - Adopción de D0 y de l

- Conviene que $p=l/D_0 = 0,5$

4 - Calculo de M.

- Despejo M de la ecuación inicial

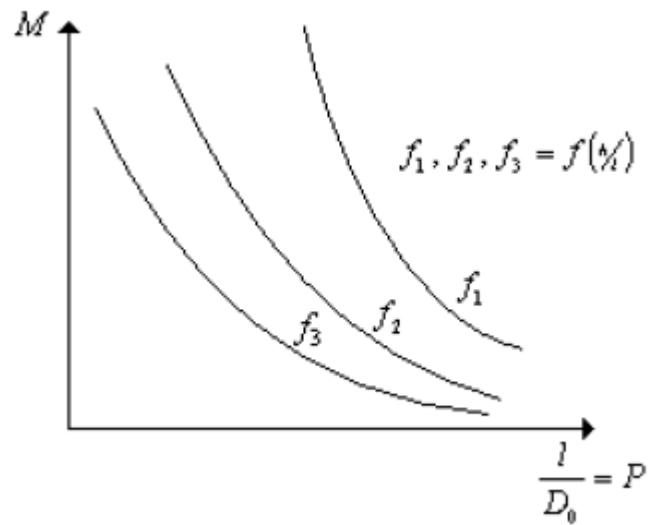


$$M = \frac{L}{\left(\frac{1}{1,25 * d_c} + 1 \right)^2 * \frac{l^3}{d_c^2}}$$

Inductor Multicapa Aire

5 – Determinación de h

- Entro al grafico con p y M para tener $q=h/l$

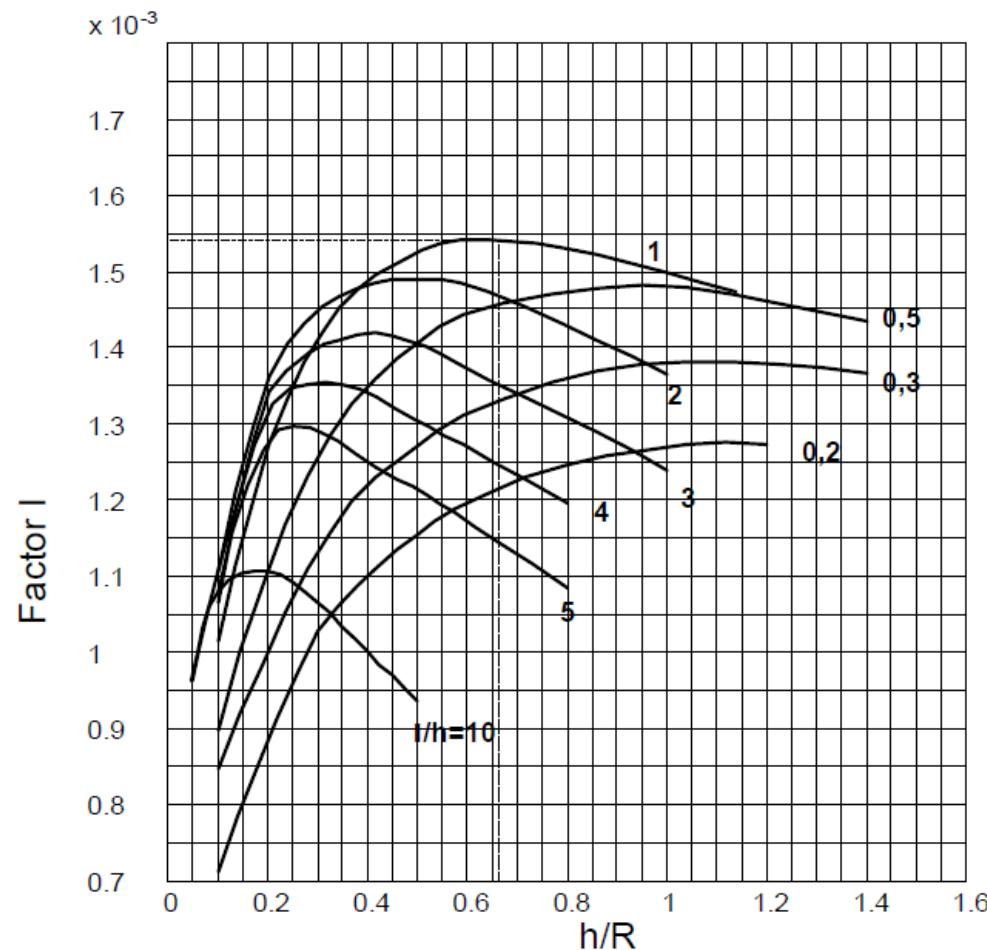
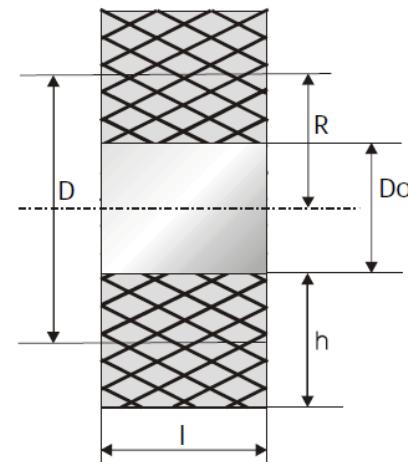


- El valor óptimo de $q = h/l$ para L_{max} será cuando
 - $h = l \rightarrow$ define el Factor l

Inductor Multicapa Aire

- También se verifica que h/r es óptimo para la relación entre 0,6 y 0,8

$$L = I * \sqrt[3]{\frac{t^5}{d^2}} [uH]$$



Inductor Multicapa Aire

6 – Sobre elevación de temperatura

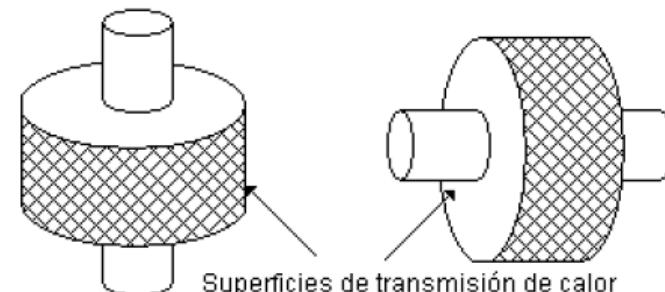
- Debo determinar el valor de R

$$long_{TOTAL} = \pi * (D_0 + h) * N$$

- Determino la Potencia

$$W = R * I^2$$

- Y luego con las tablas-graficas determinar el At en base a la superficie de transmisión de calor.



Tecnología Electrónica

Ingeniería en Electrónica

Universidad Tecnológica Nacional
Facultad Regional Córdoba

Inductor con Núcleo de Material

- ▶ Partimos de la ecuación:

$$L = \mu_0 * \mu_r * \frac{N^2 * A}{l}$$

- ▶ L → proporcional a la permeabilidad del material del núcleo.
 - PROS
 - Mayor Inductancia
 - Menor N
 - Menor R
 - Menores pérdidas
 - Menor dispersión del flujo magnético
 - CONTRAS
 - Pérdidas en el núcleo
 - L variable y dependiente de la corriente circulante

Inductor con Núcleo de Material

► Materiales para el Núcleo

- Hierro Laminado
 - Fe-Si y Fe-Ni
- Hierro Pulverizado
- Cerámicas Magnéticas

Inductores Núcleo Laminado

- ▶ Filtros o Bobinas de Choque
- ▶ Laminaciones tipo E-I y U-I.
- ▶ Forma Constructiva
 - Inductor sin Junta ni Entrehierro
 - Inductor con Junta
 - Inductor con Entrehierro
- ▶ Forma Funcional
 - Con circulación de C.A.
 - Con circulación de C.A y C.C. superpuestas
 - Con circulación de C.C

Inductores Núcleo Laminado

- ▶ La ecuación general quedaría:

$$L = \frac{4 * \pi * N^2 * S}{\frac{1}{\mu_r} * l} * 10^{-7} [H]$$
$$\mu_0 = 4 * \pi * 10^{-7}$$

- ▶ Y siguiendo el análisis de la permeabilidad relativa:

$\mu = B / H \rightarrow$ permeabilidad normal

$\mu_\Delta = \Delta B / \Delta H \rightarrow$ permeabilidad incremental

$\mu = \mu_0 \rightarrow$ permeabilidad efectiva con entrehierro

Inductores Núcleo Laminado

- ▶ Permeabilidad efectiva con Corriente Alterna:

$$\mu_0 = \frac{B}{H_{total}} = \frac{B}{H_h + H_a} = \frac{1}{\frac{H_h}{B} + \frac{H_a}{B}} = \frac{1}{\frac{1}{\mu} + \frac{l_a}{l_h}}$$

$$\frac{1}{\mu_0} = \frac{1}{\mu} + \frac{l_a}{l_h}$$

$$L = \frac{4 * \pi * N^2 * S}{\left(\frac{1}{\mu} + \frac{l_a}{l_h} \right) * l} * 10^{-7} [H]$$

Inductores Núcleo Laminado

- ▶ Permeabilidad Efectiva con continua y alterna superpuesta

$$\mu_0 = \frac{\Delta B}{\Delta H_{total}} = \frac{\Delta B}{\Delta H_h + \Delta H_a} = \frac{1}{\frac{\Delta H_h}{\Delta B} + \frac{\Delta H_a}{\Delta B}} = \frac{1}{\frac{1}{\mu_\Delta} + \frac{l_a}{l_h}}$$

$$\frac{1}{\mu_0} = \frac{1}{\mu_\Delta} + \frac{l_a}{l_h}$$

$$L = \frac{4 * \pi * N^2 * S}{\left(\frac{1}{\mu_\Delta} + \frac{l_a}{l_h} \right) * l} * 10^{-7} [H]$$

Inductores Núcleo Laminado

- ▶ Y al denominador se denomina longitud efectiva del circuito magnético.

$$l_s = \left(\frac{1}{\mu_\Delta} + \frac{l_a}{l_h} \right) * l$$

- ▶ Por lo que L queda como

$$L = \frac{4 * \pi * N^2 * S}{l_s} * 10^{-7} [H]$$

Inductores Núcleo Laminado

- ▶ Proyecto Inductor sin Circulación de C.C
- ▶ Datos
 - Inductancia deseada L
 - Tensión Eficaz E
 - Frecuencia de Trabajo f
 - Curva de Magnetización B-H del núcleo
- ▶ Consideraciones de Diseño
 - Se usaran laminaciones comerciales
 - Determinar la sección central en base a la Potencia

Inductores Núcleo Laminado

► Desarrollo

1 – Determinación de la corriente circulante

$$I = \frac{E}{\varpi * L}$$

2 – Estimación de la sección de la rama central de la laminación

$$S_h = K * \sqrt{W}$$

$K \rightarrow$ constante entre 1 y 2

$$W = E_{ef} * I_{ef}$$

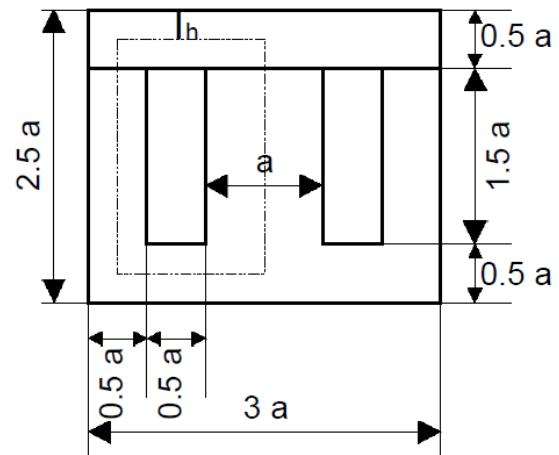
Inductores Núcleo Laminado

3 - Conociendo la sección del hierro que será cuadrada

$$S_h = 0,95 * a^2$$

▶ Para determinar

$$a = \sqrt{\frac{S_h}{0,95}}$$



▶ Y elegir la laminación que se aproxime al valor calculado.

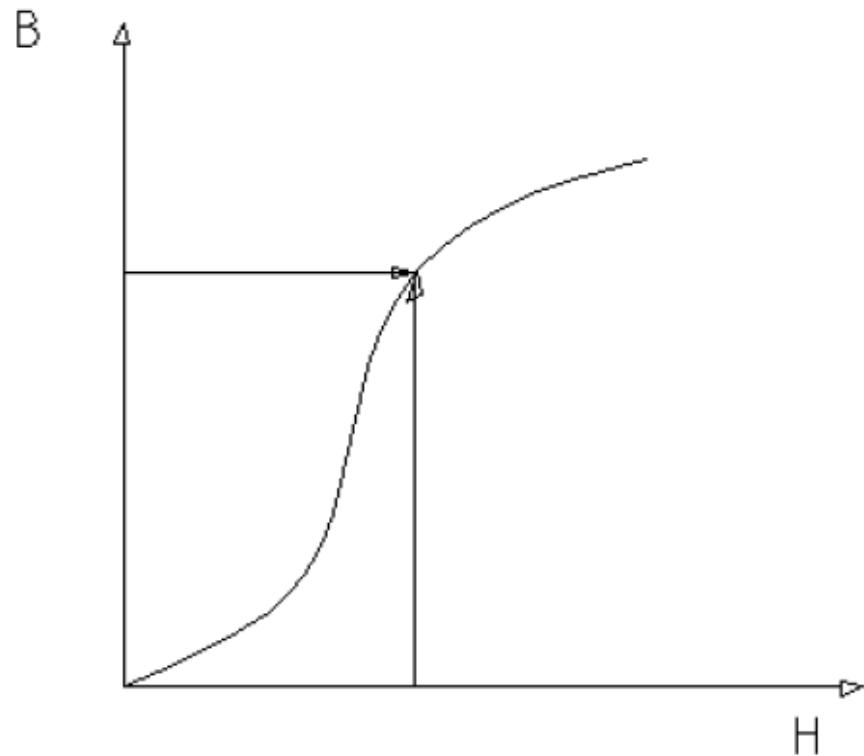
Inductores Núcleo Laminado

4 – Adopción de B

- Se elige el valor más grande posible sin saturar.

5 – Determinación de H del hierro

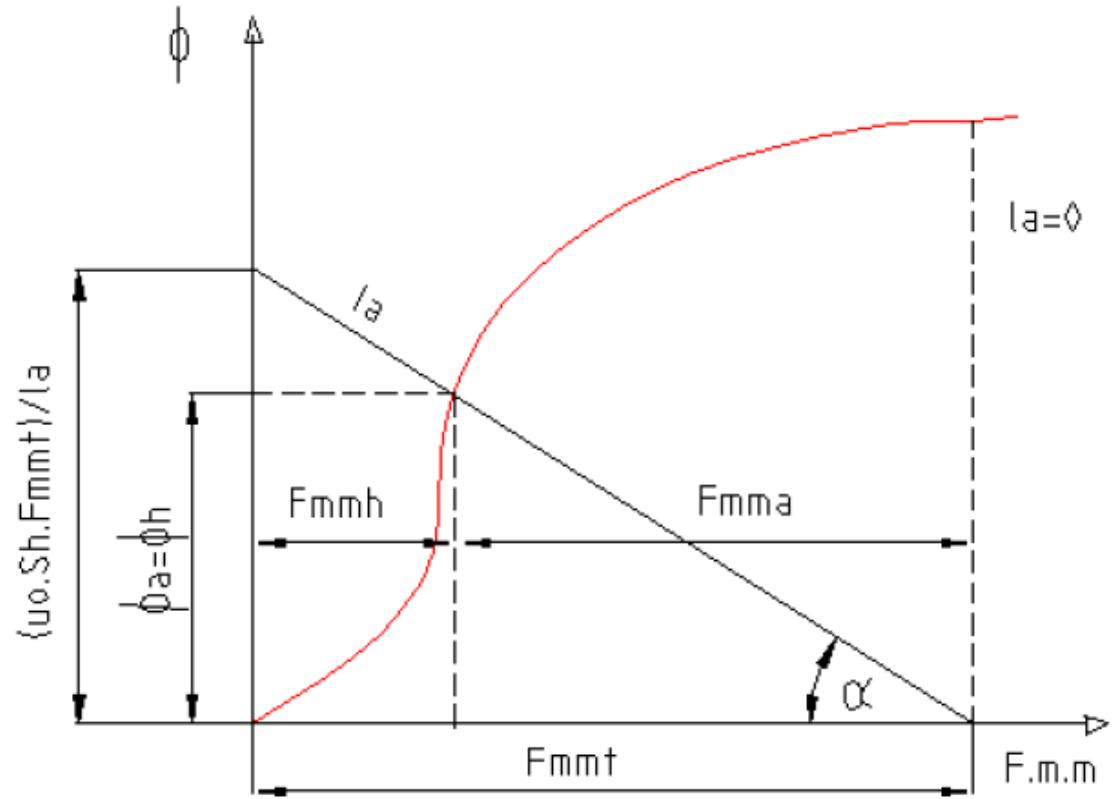
$$(N * I)_h = \frac{H_h * l_h}{0,4 * \pi}$$



Inductores Núcleo Laminado

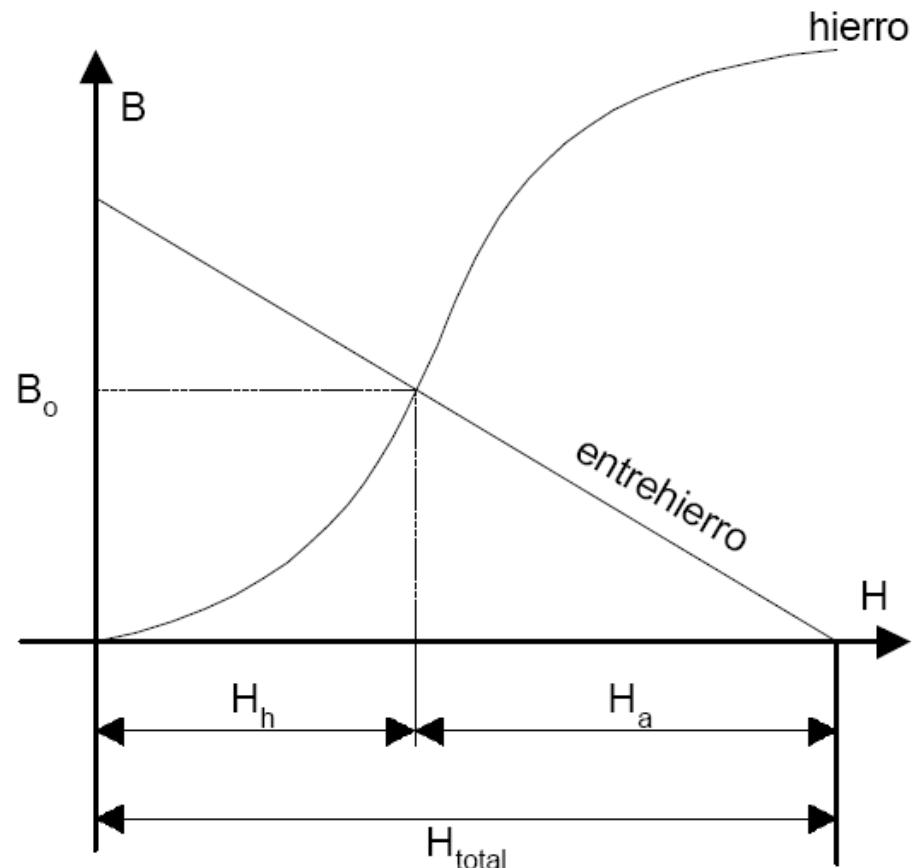
6 – Determinación de H de las juntas, a partir de la grafica B-H

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\mu_0 * S_h}{la}$$



Inductores Núcleo Laminado

6 – Determinación de H de las juntas, a partir de la grafica B-H



Inductores Núcleo Laminado

7 – Obtención de N

$$N = \frac{(N * I)_h + (N * I)_j}{I_{PICO}}$$

8 – Determinación de la sección y el diámetro del conductor

$$S_c = \frac{I}{J}$$
$$J = 2[Amp / mm^2]$$

Inductores Núcleo Laminado

9 – Verificación de la sección de la ventana

$$S_{CU} = N * S_C$$

Y debe cumplirse que

$$S_{CU} = S_{VENTANA} * 0,3$$

- Sección mas grande antieconómico
- Sección mas pequeña, no se puede bobinar

Inductores Núcleo Laminado

10 – Determinación del valor final de la rama central.

$$E_{ef} = 4,44 * N * B * S_H * f * 10^{-8} \text{ Voltios}$$

Despejo S_H y como sabemos además que

$$S_h = 0,95 * a * Ap$$

Entonces el *Apilado* (*Ap*) será un valor entre 1 y 1,5 de a

$$Ap \approx 1,5 * a$$

$$Ap = \frac{S_h}{0,95 * a}$$

Inductores Núcleo Laminado

11 – Verificación de la Sobre elevación de temperatura.

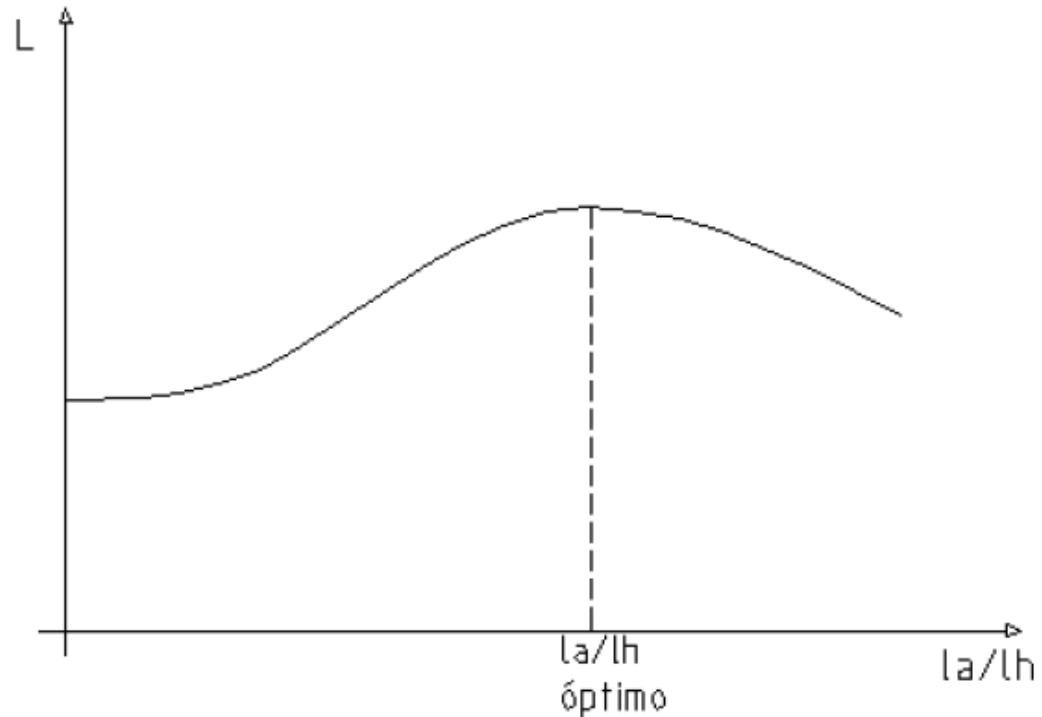
- Ajustar el valor de B o J para obtener el parámetro correcto.

Inductores Núcleo Laminado

- ▶ Circulación de C.C y C.A superpuestas
 - El punto de trabajo por la C.C se desplaza hacia la saturación.
 - Disminuye la permeabilidad incremental
 - Aumentar N
 - Aumentar volumen del núcleo
 - Para mantener L.
 - Para solucionar se introduce entrehierro.
 - Se aleja de la saturación
 - Existe un valor óptimo de entrehierro.

Inductores Núcleo Laminado

- ▶ Valor optimo de entrehierro.
- ▶ Dos métodos para conocer esta relación óptima
 - Método Hanna
 - Método Curvas M



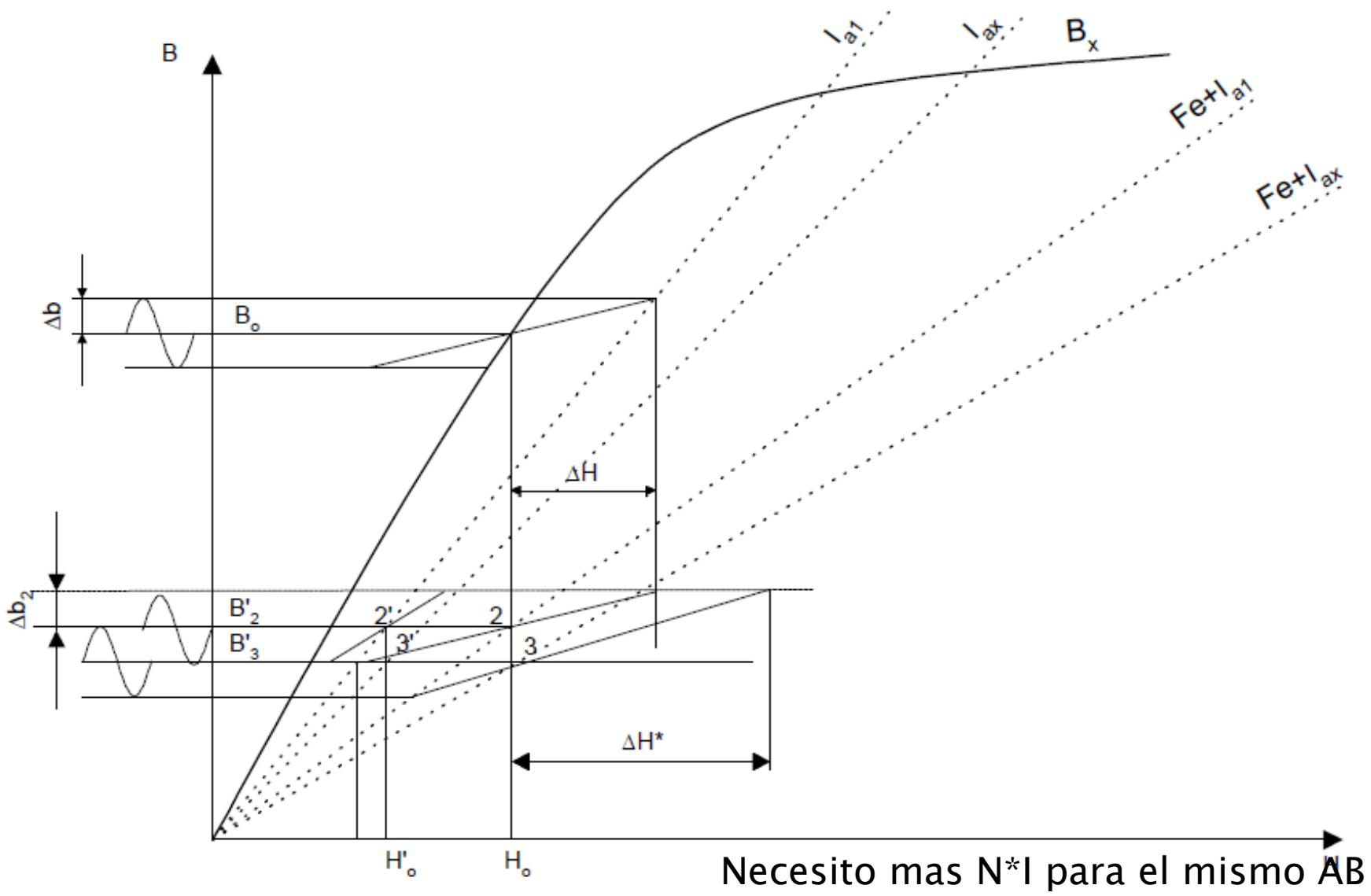
Inductores Núcleo Laminado

- ▶ Entonces la ecuación podría quedar como:

$$L = \frac{4 * \pi * N^2 * S_h}{l_h} * \frac{1}{\left(\frac{1}{\mu_\Delta} + \frac{l_a}{l_h} \right)} 10^{-8} [H]$$

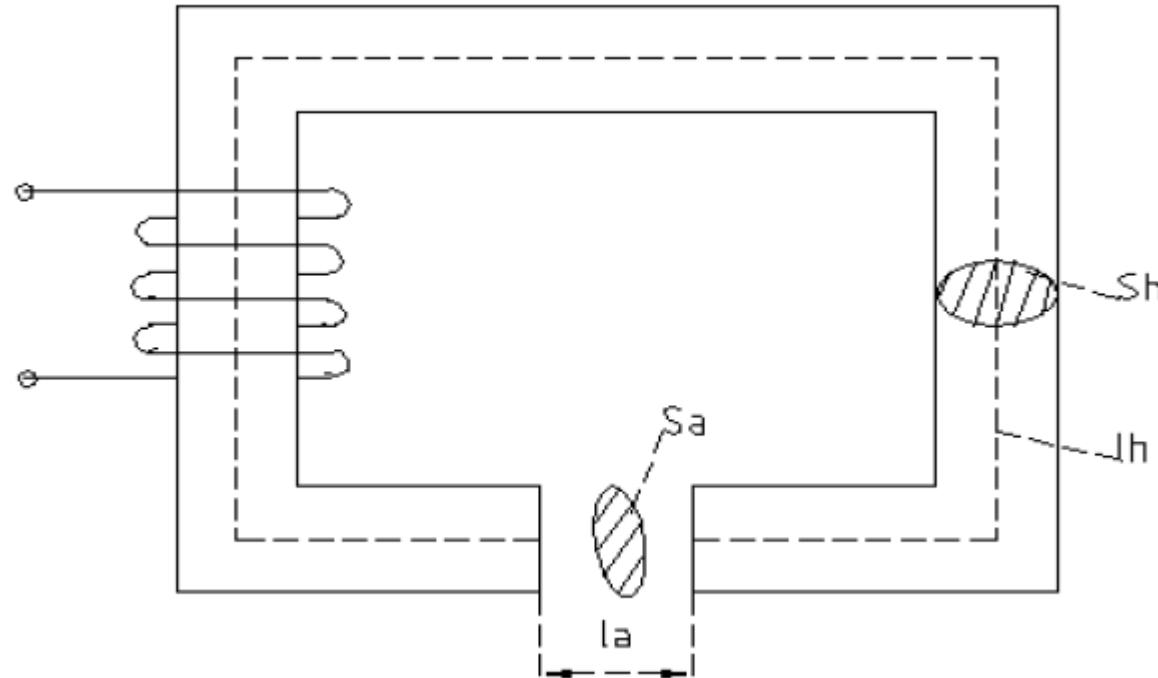
- ▶ Y sobre el gráfico se podría ver la variación de H vs B en relación a la dimensión del entrehierro.

Inductores Núcleo Laminado



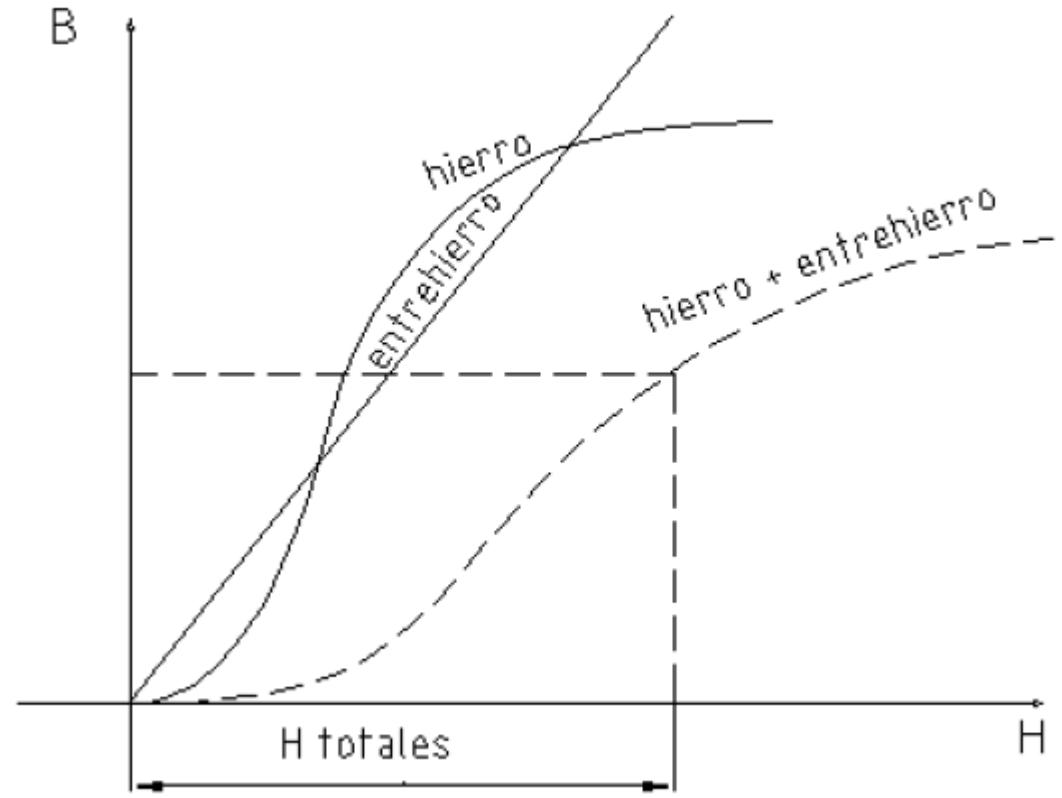
Inductores Núcleo Laminado

► Circuito Magnético resultante



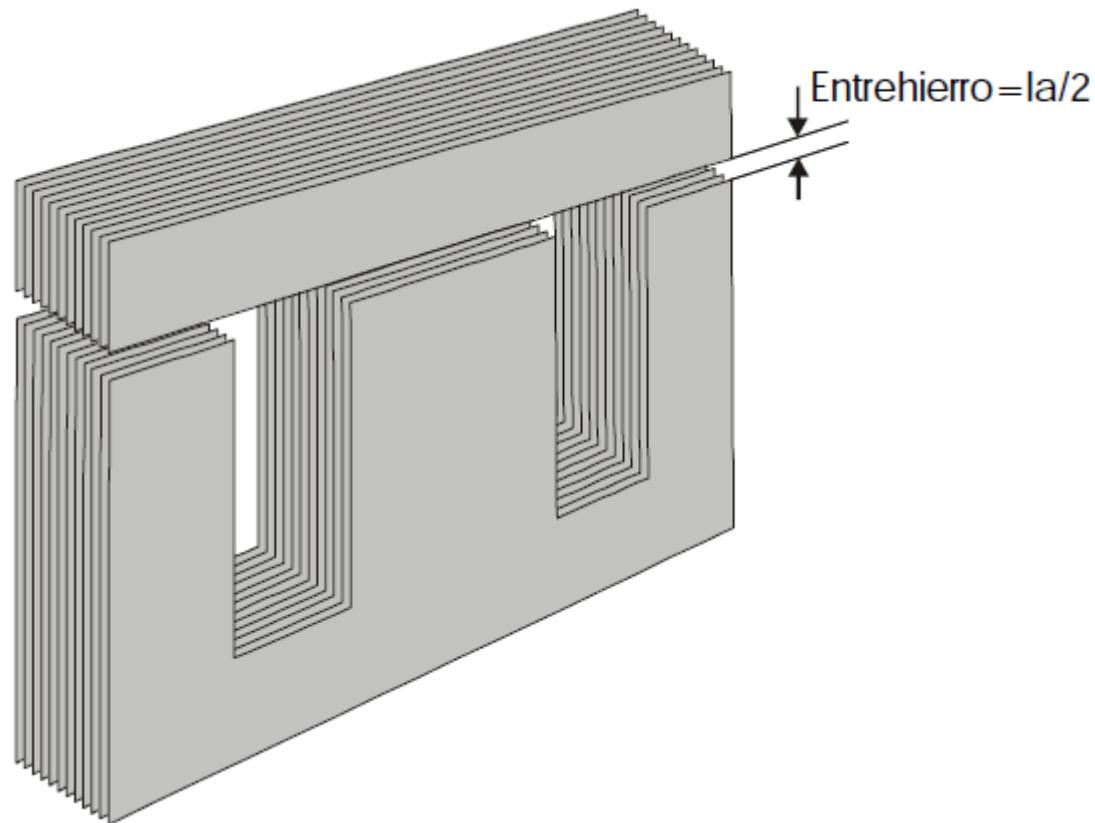
Inductores Núcleo Laminado

- ▶ Ciclo de Histéresis con entrehierro en circuito magnético



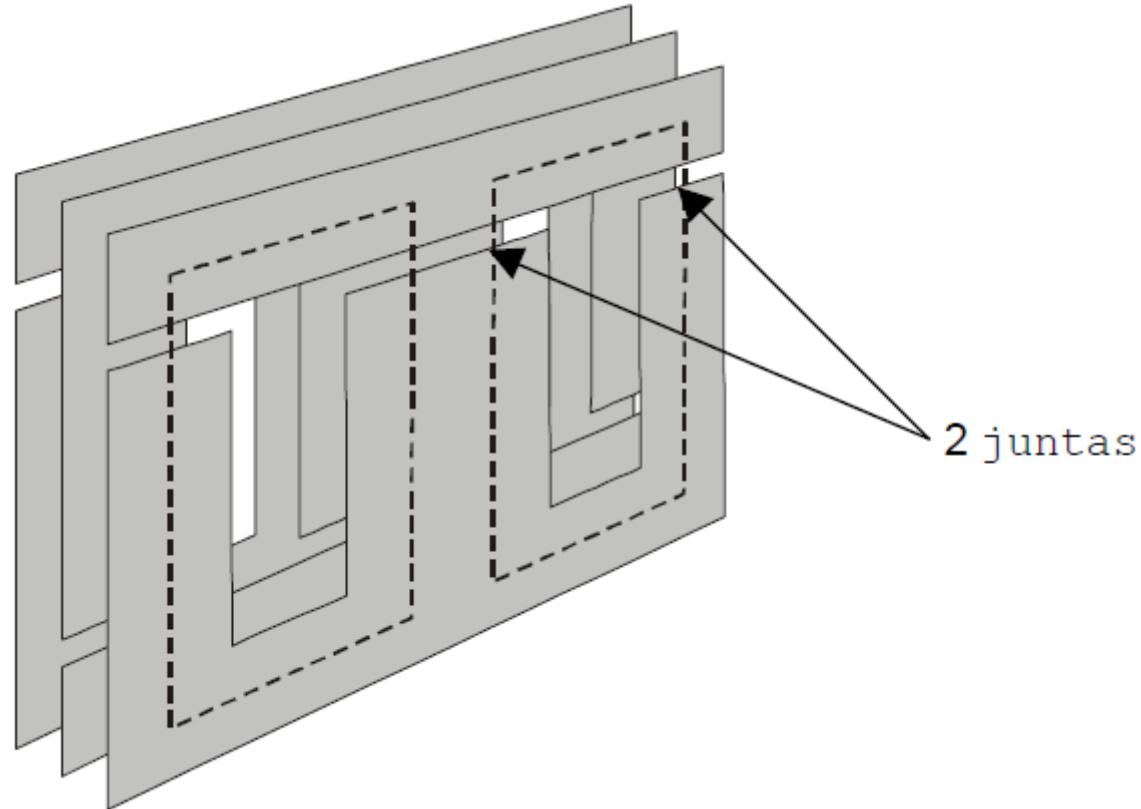
Inductores Núcleo Laminado

- ▶ Apilado con entrehierro



Inductores Núcleo Laminado

- ▶ Apilado con juntas



Tecnología Electrónica Ingeniería en Electrónica

Universidad Tecnológica Nacional
Facultad Regional Córdoba

Inductores Núcleo Laminado

► Método de Hanna

- El método supone despreciar el valor de ΔB de la corriente alterna.

$$L = \frac{0,4 * \pi * N^2 * S_h}{l_h} * \mu_0 * 10^{-8} [H]$$

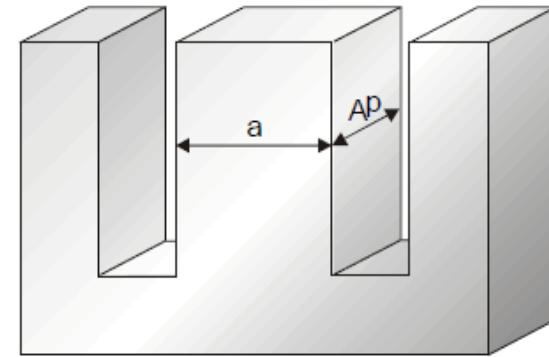
- Donde N , S_h y l_h y μ_0 son incógnitas.
- El método consiste en dar valor a alguna de ellas.
- Sacamos S_h en base a la potencia

$$S_h = 1,2 \text{ a } 2 * \sqrt{P}$$

Inductores Núcleo Laminado

- Despejamos a sabiendo que Ap puede valer entre 1 y $1,5 * a$

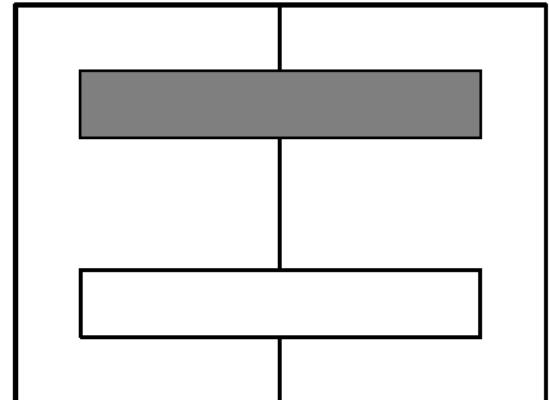
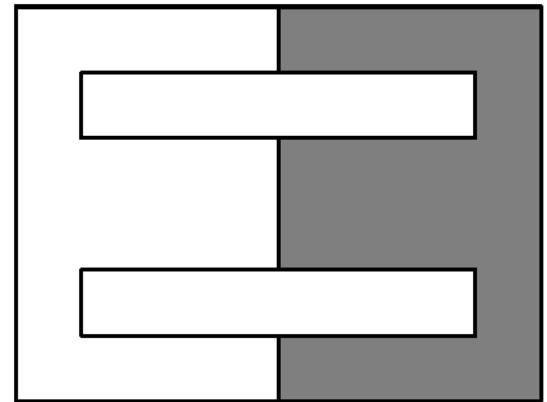
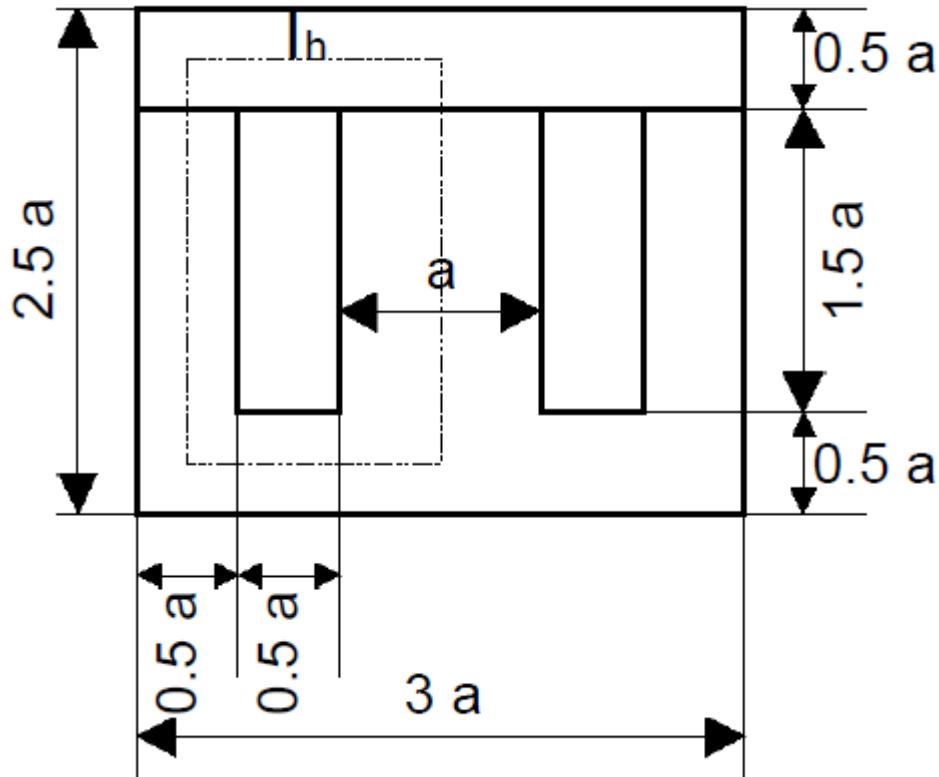
$$S_h = 0,95 * a * Ap$$



- Conociendo S_h y I_h

Inductores Núcleo Laminado

- Conociendo S_h y
- $I_h = 6*a$ (laminación comercial)



Inductores Núcleo Laminado

- Quedan por determinar N y μ_0
- Hacer μ_0 máximo

$$\mu_0 = \frac{1}{\mu_\Delta} - \frac{l_a}{l_h}$$

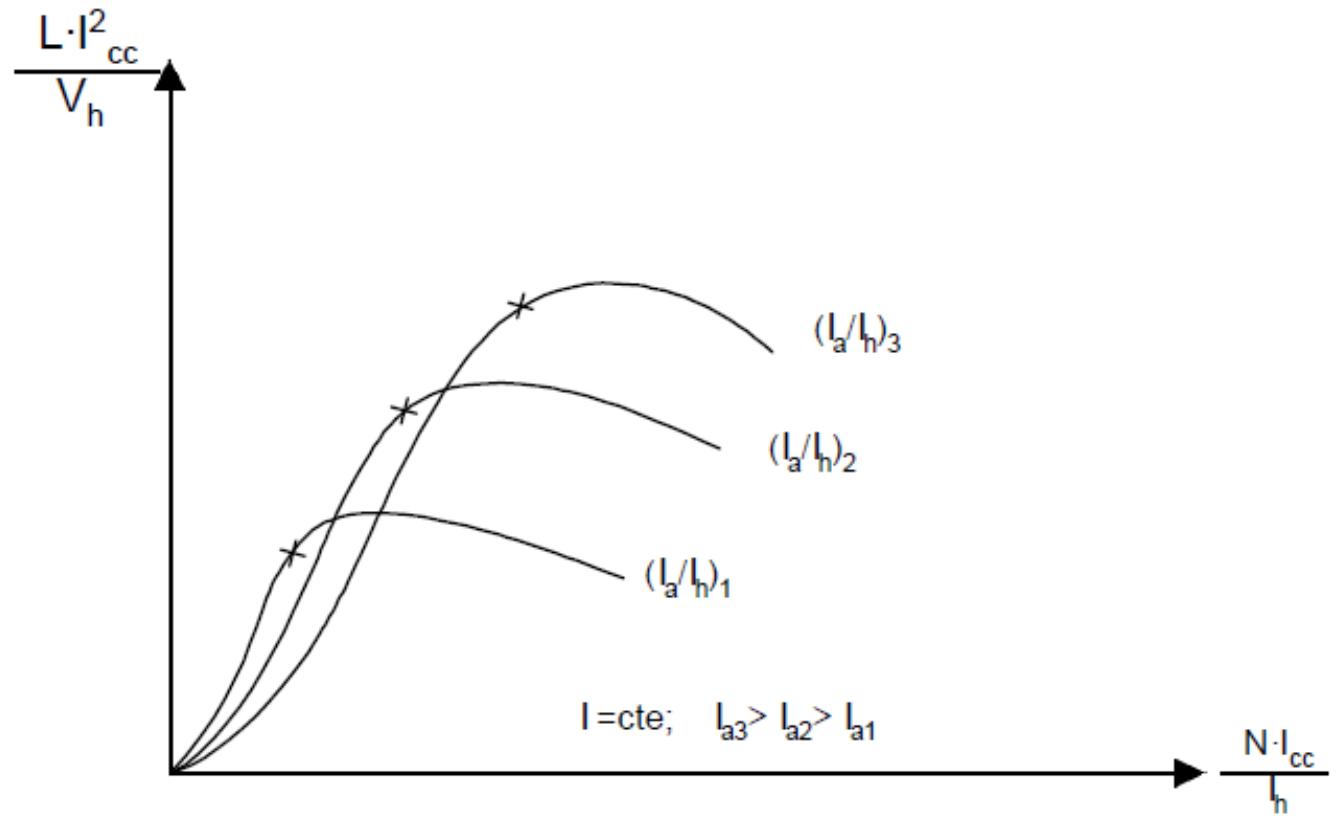
- Procesando matemáticamente se pueden graficar las relaciones

$$\frac{L * I_{CC}^2}{V_h}$$

$$\frac{N * I_{CC}}{l_h}$$

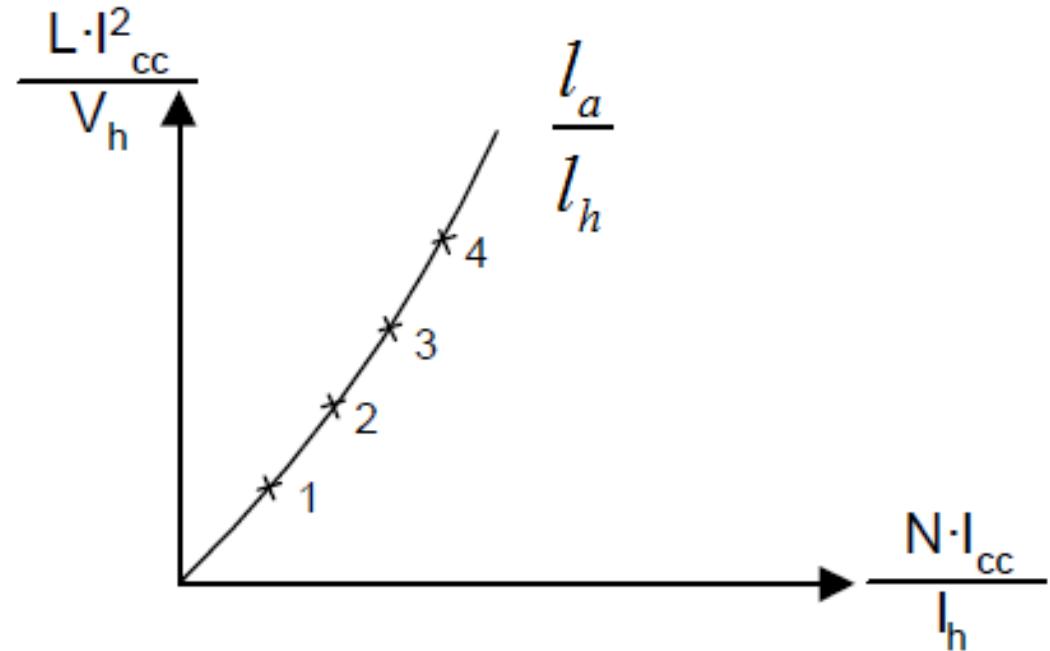
Inductores Núcleo Laminado

- ▶ Variando B se puede obtener un grupo de gráficas



Inductores Núcleo Laminado

- ▶ Donde se puede determinar los valores óptimos.



- ▶ Sabiendo que

$$S_h * l_h = V_h$$

Inductores Núcleo Laminado

- ▶ Proyecto de Inductor con Método Hanna
- ▶ Datos
 - Inductancia deseada L
 - Corriente continua circulante I_{cc}
 - Tensión Alterna aplicada E_{ca}
 - Frecuencia de Trabajo $f.$
- ▶ Desarrollo

1 – Determinación de la sección de la laminación
 $S_h.$

- Partimos de

$$\hat{I}_{ca} = \frac{\hat{E}_{ca}}{\omega * L}$$

Inductores Núcleo Laminado

- Luego se obtiene la potencia

$$P = \frac{\hat{E}_{ca} * \hat{I}_{ca}}{2}$$

- Y finalmente la sección buscada

$$S_h = 1,2 \text{ a } 2 * \sqrt{P}$$

2 – Elección de la laminación en base al valor encontrado anteriormente.

- Determinar a , A_p y I_h

$$a = \sqrt{\frac{S_h}{0,95}}$$

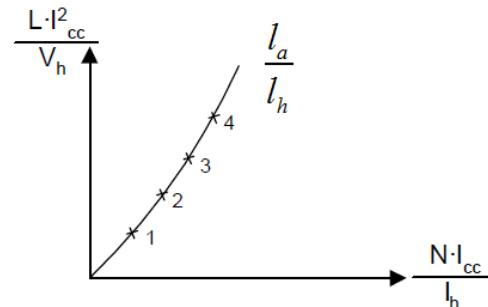
Inductores Núcleo Laminado

- Con el valor de a , se determina el A_p y la longitud magnética en base a la laminación comercial seleccionada.

$$V_h = S_h * l_h = 0,95 * A_p * a * l_h$$

3 – Determinación de N y I_a

- Se calcula L y I_{CC}^2
- Con este dato se obtiene el N mínimo para hallar la envolvente a las curvas



Inductores Núcleo Laminado

4 – Determinación de las sección del conductor.

- Tener en cuenta las componentes de CC y de CA

$$I_{ef} = \sqrt{I_{ca}^2 + I_{cc}^2}$$

- Elección del valor de densidad de corriente y sección del conductor

$$J_{adm} = 2 \text{ a } 3 \left[\frac{A}{mm^2} \right]$$

$$S_c = \frac{I_{ef}}{J}$$

Inductores Núcleo Laminado

5 – Verificación de la sección de la ventana.

- Se verifica que la distribución del devanado sea la correcta.
- Que no sea muy grande la laminación elegida.
Pérdida económica
- Que no sea de menor dimensión, ya que no entraría el bobinado.

6 – Sobre elevación de temperatura.

- Ajustar el valor de J de ser necesario.

Inductores Núcleo Laminado

- ▶ Método de diseño empleando Curvas M
 - En el método anterior la no verificación del AB puede llevar a un diseño antieconómico.
 - Partiendo de :

$$L = \frac{0,4 * \pi * N^2 * S_h}{l_h} * \frac{1}{\frac{1}{\mu_\Delta} + \frac{l_a}{l_h}} * 10^{-8} [Hy]$$

- Y procesando matemáticamente quedaría

$$K = \frac{L * I_{cc}^2}{V_h}$$

$$C = 0,4 * \pi * 10^{-8}$$

$$F^2 = \frac{N^2 * I_{cc}^2}{l_h^2}$$

$$\mu_0 = \frac{1}{\frac{1}{\mu_\Delta} + \frac{l_a}{l_h}}$$

Inductores Núcleo Laminado

- Y procesando matemáticamente quedaría

$$K = \frac{L * I_{cc}^2}{V_h}$$

$$C = 0,4 * \pi * 10^{-8}$$

$$F^2 = \frac{N^2 * I_{cc}^2}{l_h^2}$$

$$\mu_0 = \frac{1}{\frac{1}{\mu_\Delta} + \frac{l_a}{l_h}}$$

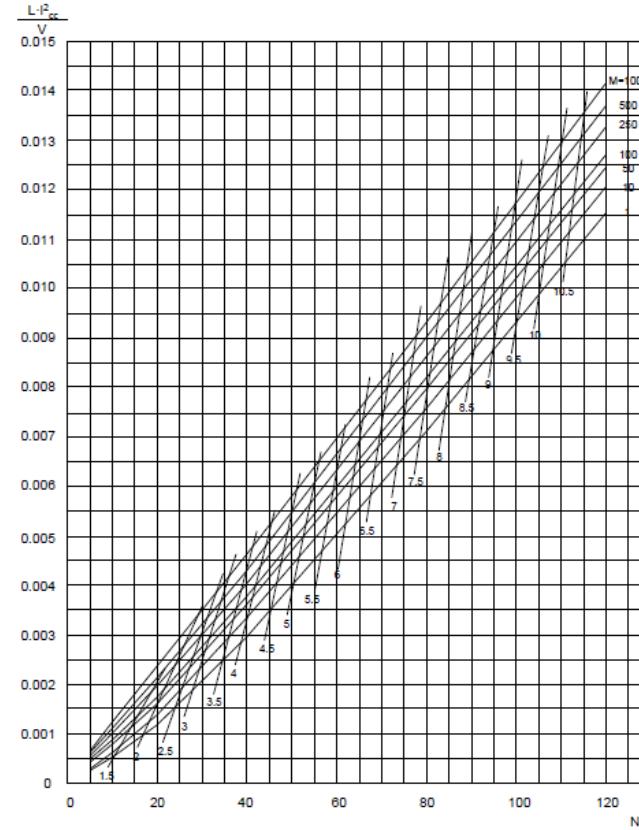
- De donde se puede obtener la relación

$$K = C * \mu_0 * F^2$$

- Si se evalúan para distintos valores
 - $F \rightarrow$ valor dado
 - V_h será mínimo si μ_0 es máximo

Inductores Núcleo Laminado

- Entonces el desafío es obtener un entrehierro que permita la $B_{\text{pico a pico}}$ con μ_0 máximo para tener la L de diseño con el menor volumen de hierro posible.



Inductores Núcleo Laminado

- ▶ Proyecto de Inductor mediante Curvas M
- ▶ Datos
 - Inductancia deseada L
 - Corriente continua circulante I_{cc}
 - Tensión de alterna aplicada E_{ca}
 - Frecuencia de trabajo f

▶ Desarrollo

1 – Determinación de la sección de la laminación.

$$\widehat{I}_{ca} = \frac{\widehat{E}_{ca}}{\omega * L}$$

Inductores Núcleo Laminado

- Se obtiene la potencia

$$P = \frac{\hat{E}_{ca} * \hat{I}_{ca}}{2}$$

- Y de ahí la sección

$$S_h = 1,2 \text{ a } 2 * \sqrt{P}$$

2 - Determinación de la laminación

- Con el valor de a , se determina el A_p y la longitud magnética en base a la laminación comercial seleccionada.

$$a = \sqrt{\frac{S_h}{0,95}}$$

$$V_h = S_h * l_h = 0,95 * A_p * a * l_h$$

Inductores Núcleo Laminado

3 - Calculo de

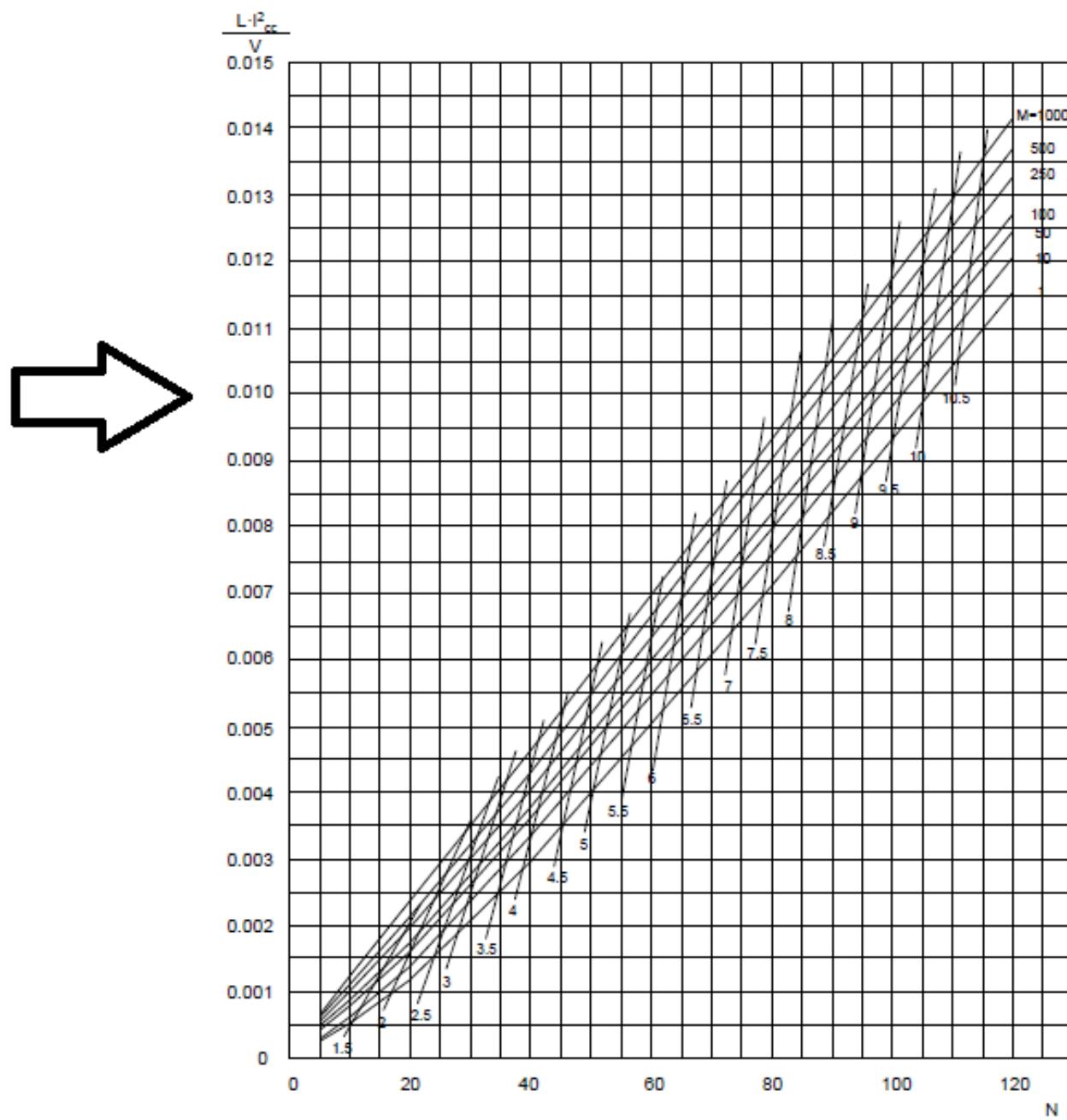
$$\frac{L * I_{CC}^2}{C_h}$$

$$M = \frac{\bar{E} * I_{CC} * 10^{-8}}{\omega * V_h}$$

4 - Uso de las curvas M para determinar

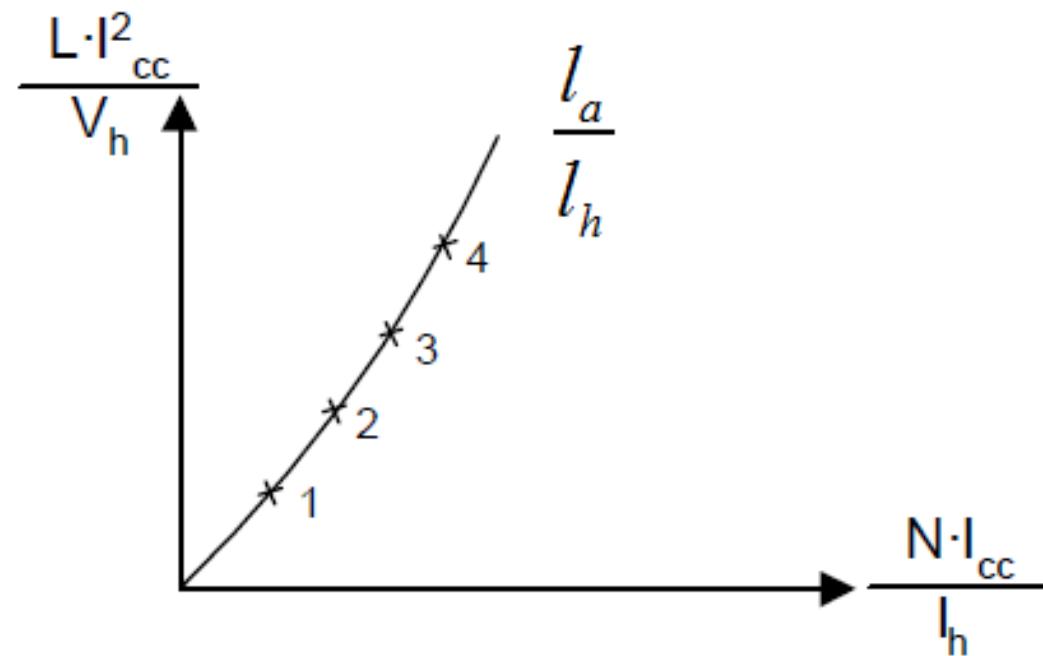
- Entro a la curva con el valor de ordenada calculado hasta llegar a la curva con el valor de M calculado.
- Saco las abscisas que resulte y obtengo N.

$$N = \frac{F * I_b}{I_{CC}}$$



Inductores Núcleo Laminado

- Además de la curva determino la relación óptima



Inductores Núcleo Laminado

5 – Determinación de la sección del conductor

$$I_{ef}^2 = I_{cc}^2 + I_{ca}^2$$

$$J_{adm} = 2 \text{ a } 3 \left[\frac{A}{mm^2} \right]$$

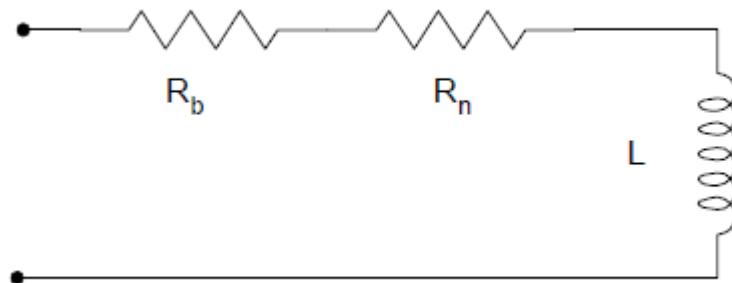
$$S_c = \frac{I_{ef}}{J}$$

6 – Verificación de la sección de la ventana

7 – Análisis de la sobreelevación de temperatura.

Inductores Alto Q

- ▶ Proyecto de Inductor de Alto Q
- ▶ Datos
 - Inductancia deseada L
 - Tensión trabajo E
 - Frecuencia de trabajo f
 - Dimensiones máximas
- ▶ Circuito Equivalente



Inductores Alto Q

► R_n

- Representa la resistencia equivalente de las pérdidas en el núcleo

$$R_n = \frac{W}{I} \left[\frac{W}{A} \right]$$

- Las pérdidas totales para una frecuencia determinada

$$W = K * B^2 * P$$

- K → constante que depende de la frecuencia y de las chapas
- B → inducción máxima en Gauss
- P → Peso en kg del núcleo

Inductores Alto Q

- Para un $Q > 10$

$$I = \frac{E}{2 * \pi * f * L}$$

- Entonces

$$R_n = \frac{K * B^2 * P}{E^2} * (2 * \pi * f * L)^2$$

- Además

$$R_b = \rho * \frac{N * t}{S} [\Omega]$$

- N → numero de vueltas
- T → longitud de la espira [cm]
- S → Sección de la espira [cm^2]
- P → resistividad del cobre

Inductores Alto Q

- Teniendo en cuenta la sección de la ventana F .

$$S = \frac{0,3 * F}{N}$$

- Considerando la resistividad del cobre

$$R_b = \frac{N^2 * t}{0,3 * F} * 1,73 * 10^6$$

- Y sabiendo que

$$N = \frac{E * 10^8}{4,44 * B * f * S_h}$$

- Queda finalmente

$$R_b = \frac{30 * E^2 * t * 10^8}{F * B^2 * f^2 * S_h}$$

Inductores Alto Q

- Como el valor de Q es :

$$Q = \frac{2 * \pi * f * L}{R_n + R_b}$$

- Donde el valor máximo de Q se da para la combinación mínima de resistencias.
- Analizando combinaciones de R y de laminaciones

$$B = 94 * \frac{E}{f} * \frac{1}{\sqrt{S_h * L}} \sqrt[4]{\frac{t}{F * P * K}}$$

- B → Inducción
- Sh → Sección de la laminación
- F → Sección de la ventana
- P → Peso del núcleo

Inductores Alto Q

- La sección del cobre será:

$$S = \frac{0,3 * F}{N}$$

- O también:
 - $F \rightarrow$ en cm
 - $D_c \rightarrow$ en mm

$$D_c = 6,3 \sqrt{\frac{F}{N}}$$

- Además se puede determinar

$$L = \frac{0,4 * \pi * N^2 * S_h * 10^{-8}}{l_h * \left(\frac{1}{\mu_\Delta} + \frac{l_a}{l_h} \right)} \Rightarrow l_a = \left(\frac{0,4 * \pi * N^2 * S_h * 10^{-8}}{L} \right) - \frac{l_h}{\mu_\Delta}$$

Tecnología Electrónica

Ingeniería en Electrónica

Universidad Tecnológica Nacional
Facultad Regional Córdoba

PCB – Definición

- ▶ Es el sustrato sobre el que se montarán e interconectarán componentes electrónicos de distintos tamaño y forma.
- ▶ Cuando se trata de más de dos capas se denominarán stack.
- ▶ Conocer el proceso de fabricación permite determinar puntos que podrían generar conflictos.

Tipos de PCB

- ▶ Simple Faz
- ▶ Doble Faz
 - Eliseo Brunelli
 - Cacho Sanchez
 - Citem – Ruben Esteban
- ▶ Flexible
- ▶ Multicapa
 - 4 capas (Mayer BsAs)
 - 4 Capas (Eleprint BsAs)
 - 8 Capas (Microensamble)
 - 36 Capas (RayPCB – China)

Representan el 10% del costo final de nuestro producto

Con lo cual un mal diseño echa a perder el 90% restante

PCB – FR2

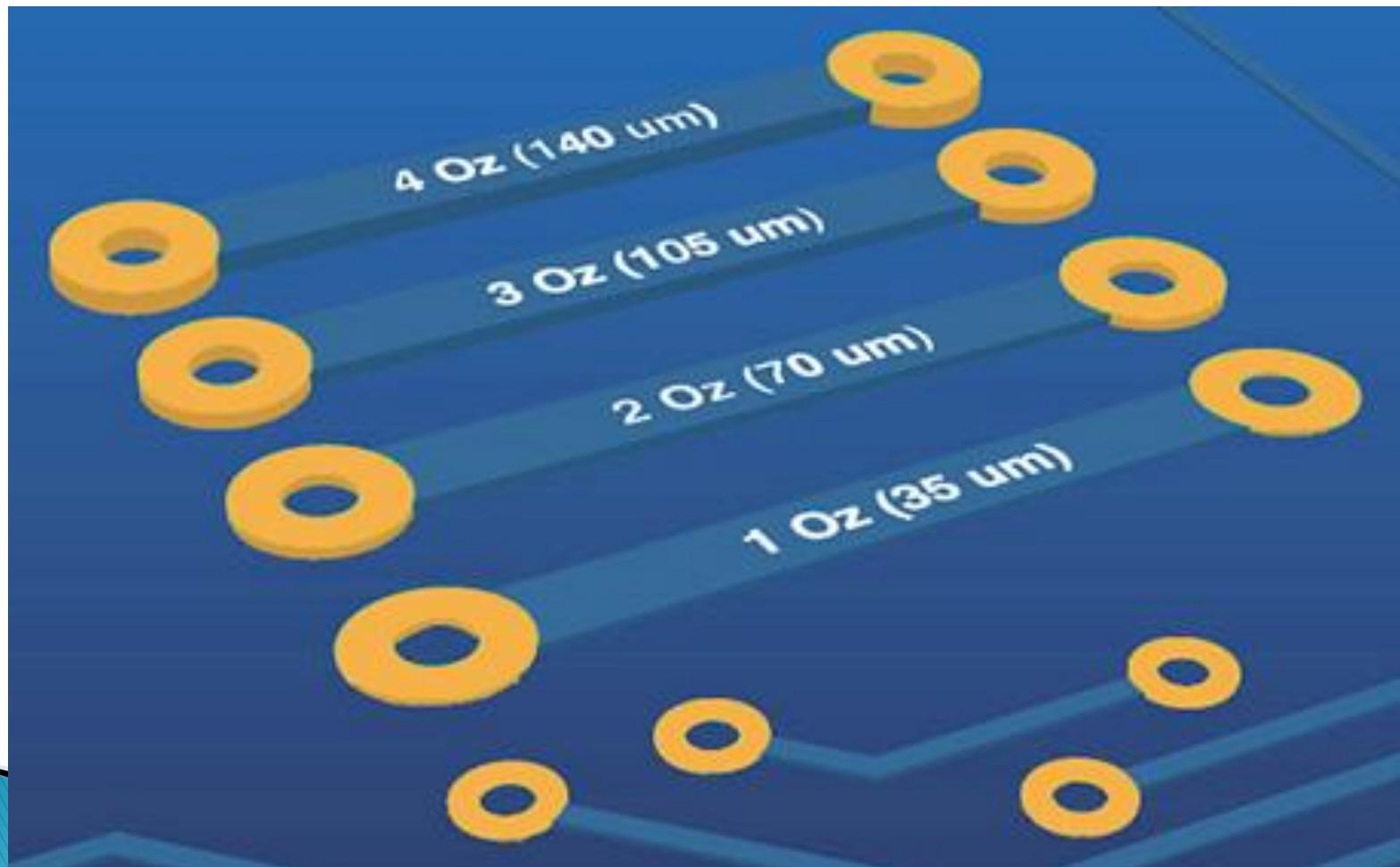
- ▶ Está compuesto básicamente de papel impregnado con resina fenólica retardante de llama. (FR – Flame Retardant).
- ▶ Si bien no existen reglas específicas, este material se utiliza generalmente en productos de producción masiva dado que presenta una buena relación entre sus propiedades físico/eléctricas y su precio.
- ▶ A la hora de ser elegido como el material base para un producto, es importante tener en cuenta su grado de absorción de humedad, resistencia de aislación y constante dieléctrica.

PCB - FR4

- ▶ El material FR4 está formado por varias hojas de Prepeg, el cual a su vez está constituido por capas tejidas de fibra de vidrio impregnadas con resina epoxi.
- ▶ El material de espesor standard (1,6mm) consta de 8 capas de Prepeg y una de cobre de 35 micrones (1 onza/pie cuadrado).
- ▶ Las capas de Prepeg y el laminado de cobre se prensan bajo presión y temperatura controladas para conformar el material final que se utilizará en los procesos de fabricación.

PCB - Espesor del Cobre

- ▶ Se determina en Onzas el espesor de cobre



PCB – Material Base FR2

PROPERTY	TEST METHODS IEC-249.1	TEST CONDITIONING	UNIT	REQUIRED VALUE	STANDARD VALUE
Surface resistance	2.2	C-96/40/90	MΩhm	MINIMUM 1000	60000
Volume resistivity	2.3	C-96/40/90	MΩhm x m	MINIMUM 500	4000
Dissipation factor	2.7	C-96/40/90	---	MAX 0.07	0.04
Dielectric constant	2.7	C-96/40/90	---	MAX 5.5	4.6
Bow	3.1	A	mm	d MAX 38	3
Twist	3.3	A	mm	d MAX 20	4
Peel strength	3.6.2	260°C/10s	N/mm	MIN 1.0	1.71
Blistering (Solder Float)	3.7.2	260°C	sec.	MIN 10	35
Dimensional stability	3.11	E-0.5/150	mm/m	2.0	0.6
Flexural strength	4.1	A	N/cm²	MINIMUM 10000	12500
Flammability UL-94 (Vertical Burning Test)	4.3.4	A E-24/125	---	FV 0 or FV 1 VO	FV 0 94 VO
Water absorption	4.4	E-24/50 + D-24/23	mg	MAX 60	35
Punching processability (Suitable Temperature)	* MTL-0043	---	°C	---	40
Comparative tracking index	IEC-112	---	V	---	250
Shear strength	DIN 7735	---	N/mm²	---	64
Approvals: Underwriters Laboratories Inc. File nr. E 90646					
Note: Test panel thickness is 1,6 mm/1 oz, single side.					

* MTL - 0043 : internal test method based on DIN rules.

Designation of Conditioning:

Number code:

1st number: Duration of conditioning in hours
 2nd number: Conditioning temperature in centigrade
 3rd number: Relative humidity

A: As received

C: Humidity conditioning

D: Immersion conditioning in distilled water

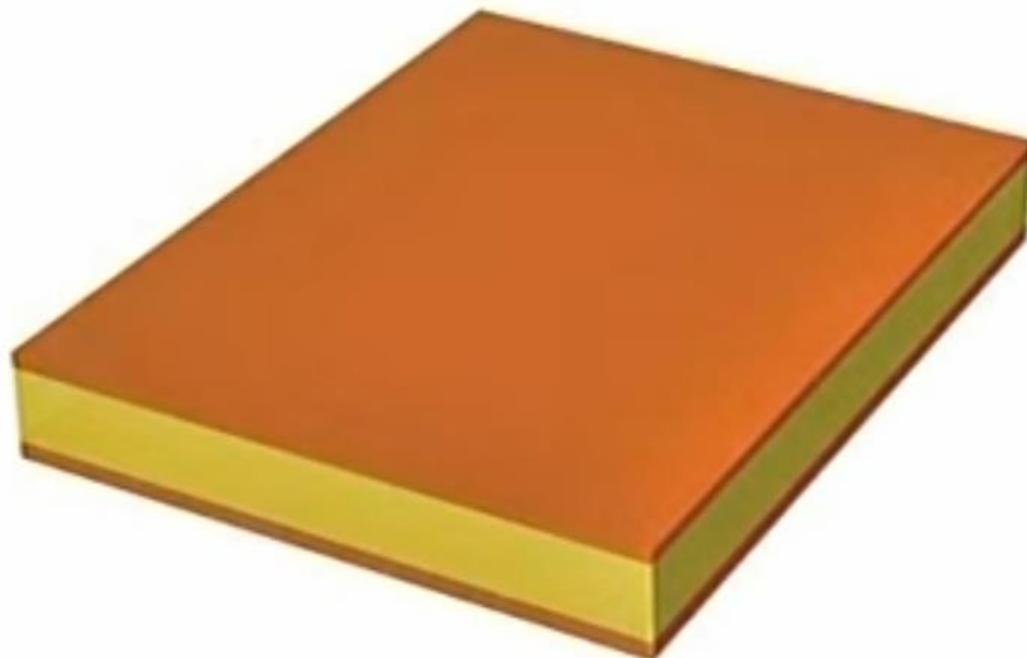
E: Temperature conditioning

PCB – Material Base FR4

	TEST METHODS MIL-S 13949	TEST CONDITIONING	UNIT	REQUIRED VALUE	STANDARD VALUE
Bow	3.7.2.1	A	%	MAXIMUM 1.5	0.40
Twist	3.7.2.1.	A	%	MAXIMUM 1.5	0.50
Peel strength after solder float	0.5 oz 1 oz 2 oz	3.7.4	288°C/10s	lb/in	> = 6 > = 8 > = 11
Peel strength after elevated temperature	0.5 oz 1 oz 2 oz	3.7.4	E-2/125	lb/in	> = 4 > = 5 > = 6
Peel strength after exposure to plating solutions	0.5 oz 1 oz 2 oz	3.7.4	---	lb/in,	> = 4.5 > = 7 > = 9
Surface resistivity	3.7.5	C-96/35/90	MOhm	MINIMUM 10 E4	10 E7
Volume resistivity	3.7.5	C-96/35/90	MOhm x cm	MINIMUM 10 E6	10 E8
Water absorption	3.7.7	E-01/105 + D-24/23	%	MAX 0.35	0.15
Dielectric Breakdown parallel to lamination (step by step)	3.7.8	D-48/50 + D-0.5/23	KV	> = 40	> 45
Dissipation factor	3.7.10	D-24/23	---	MAX 0.035	0.02
Dielectric constant	3.7.10	D-24/23	---	MAX 5.4	4.5
Flexural strength	3.7.12	A	lb/in ²	MINIMUM 50000	60000
Arc Resistance	3.7.13	D-48/50 + D-0.5/23	sec	> = 60	80
Flammability UL-94 (Vertical Burning Test)	3.7.14	E-24/125	---	VO	94 VO
Approvals: Underwriters Laboratories Inc. File nr. E 90646 Defense Logistics Agency (MIL-S 13949)					
Note: Test panel thickness is 1,6 mm/1 oz, single side.					

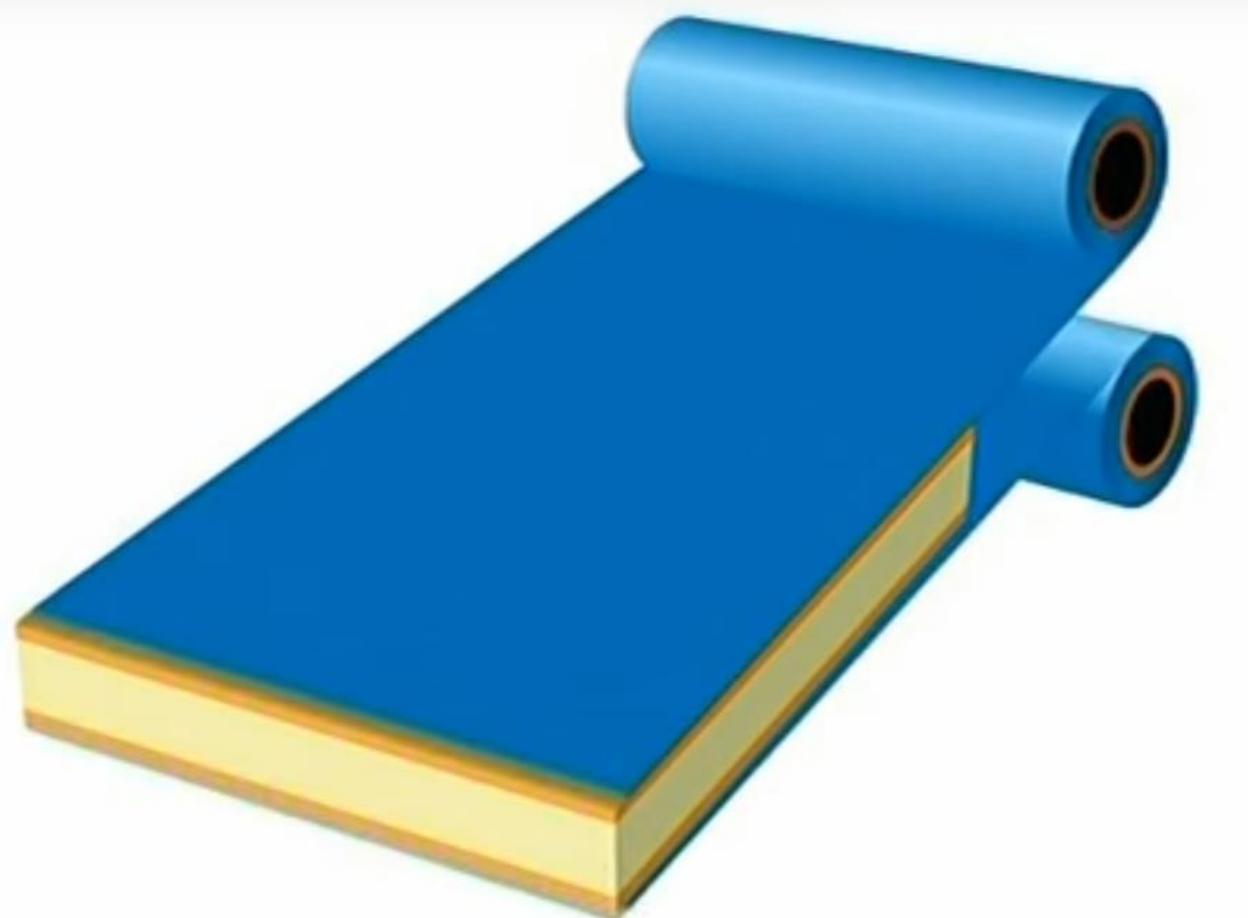
PCB – Proceso de Fabricación

- ▶ Fabricación de 6 Capas – FR4
 - Inicia el proceso con las capas Internas 3 y 4



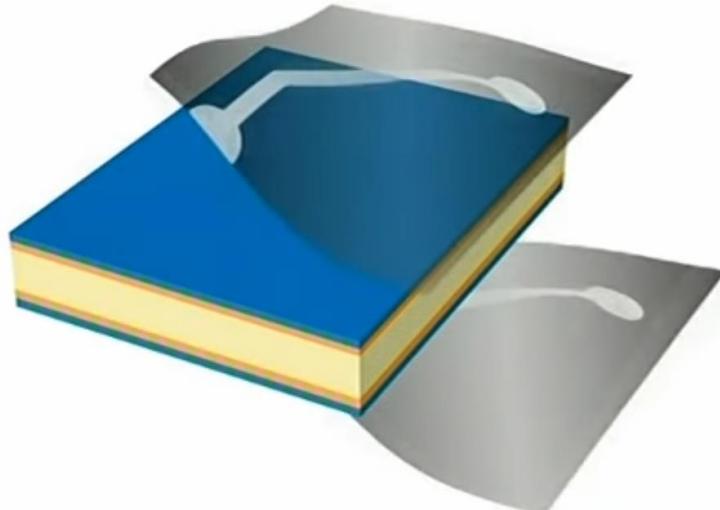
Proceso de Fabricación

- ▶ Se aplica film fotosensible



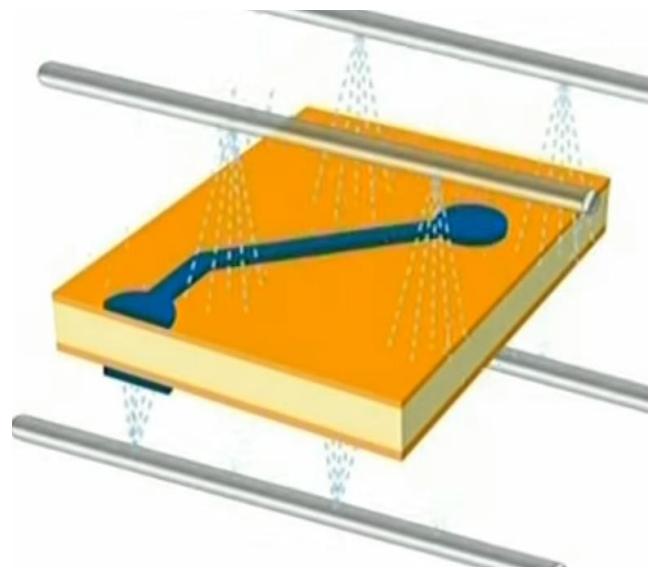
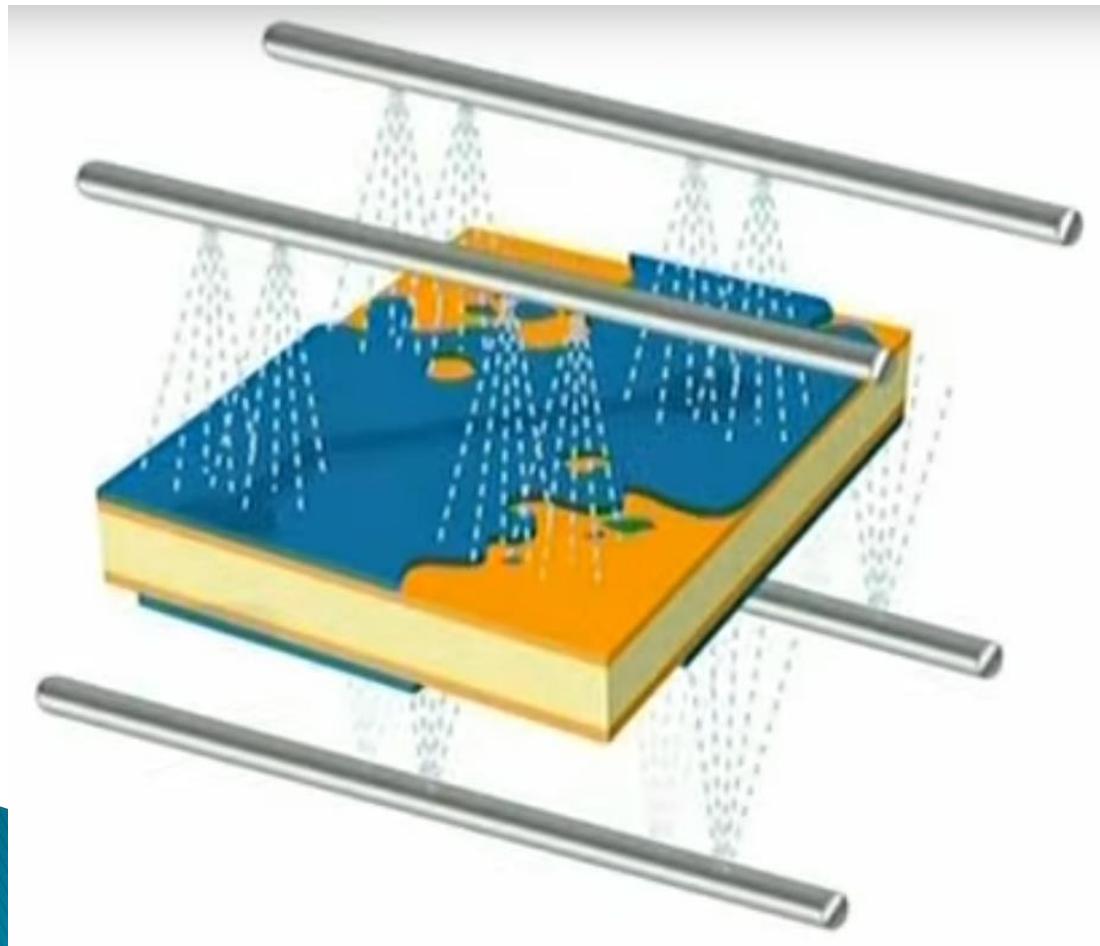
Proceso de Fabricación

- ▶ Se aplica foto exposición



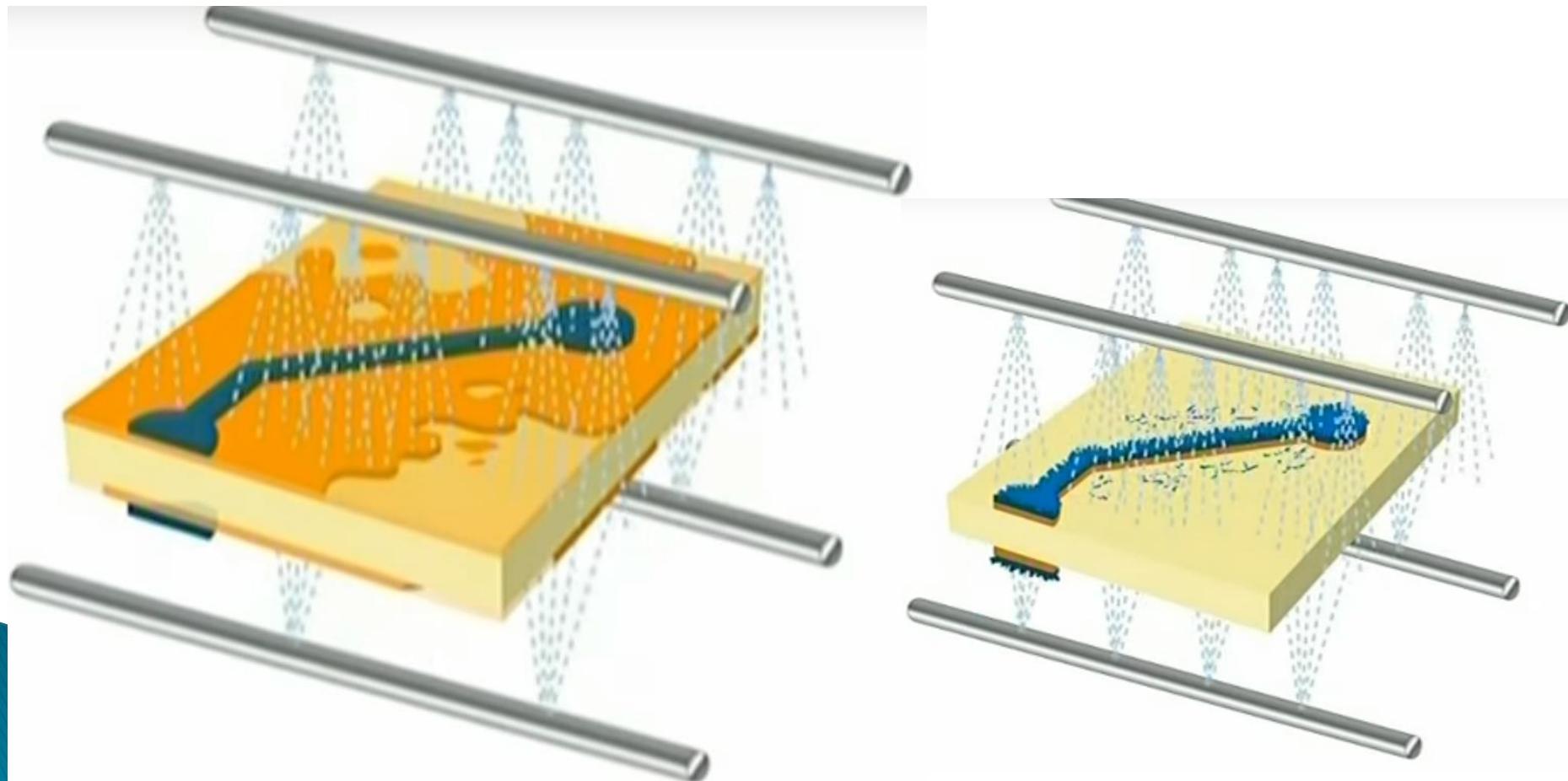
Proceso de Fabricación

- ▶ Se realiza el revelado del film



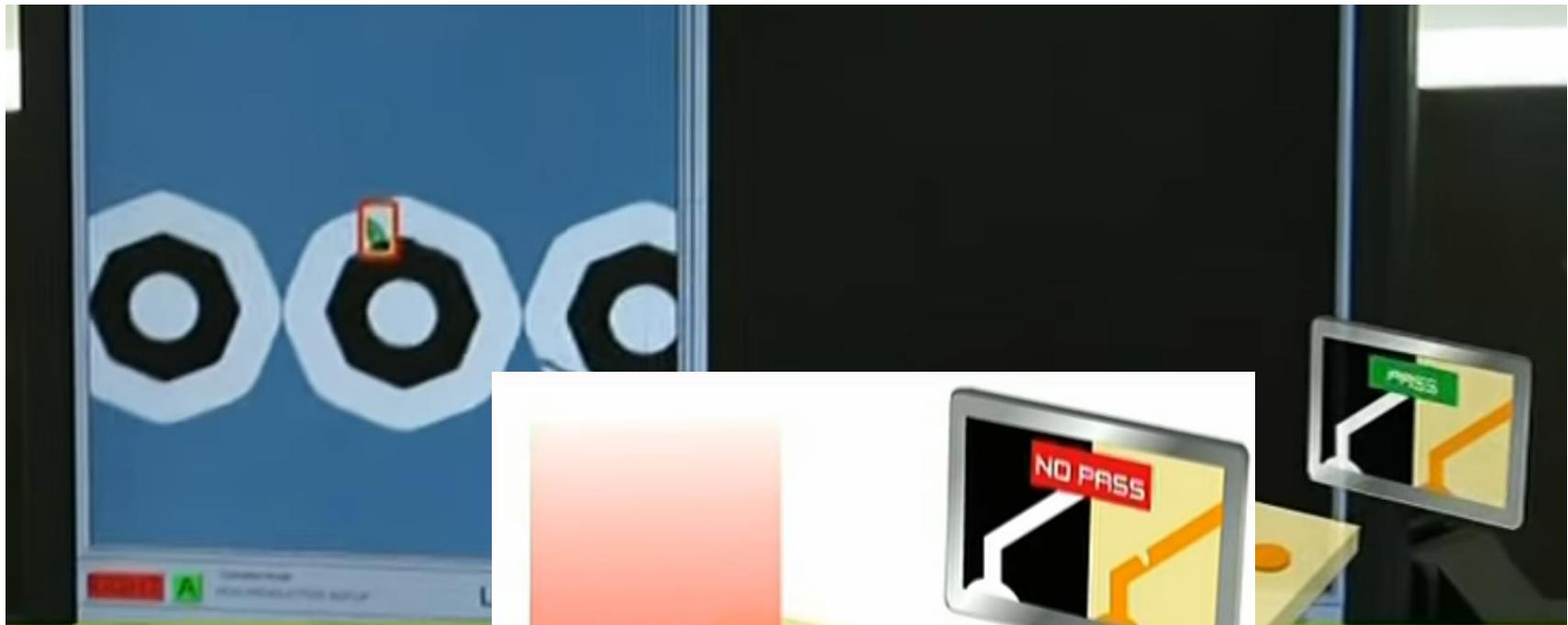
Proceso de Fabricación

- ▶ Se ataca el cobre. Luego se retira el film fotosensible



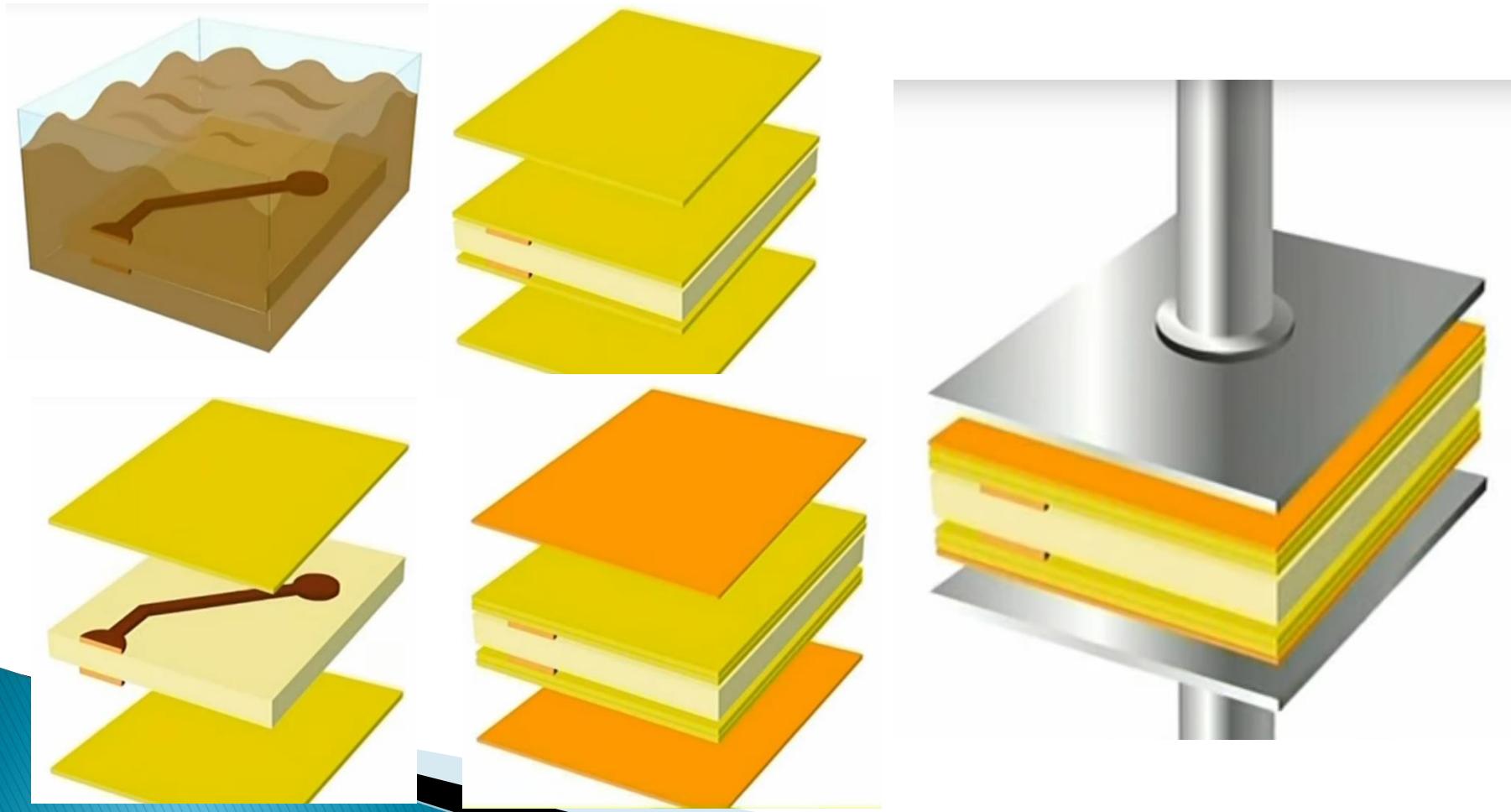
Proceso de Fabricación

- ▶ Test AOI. (Test Óptico Automático)



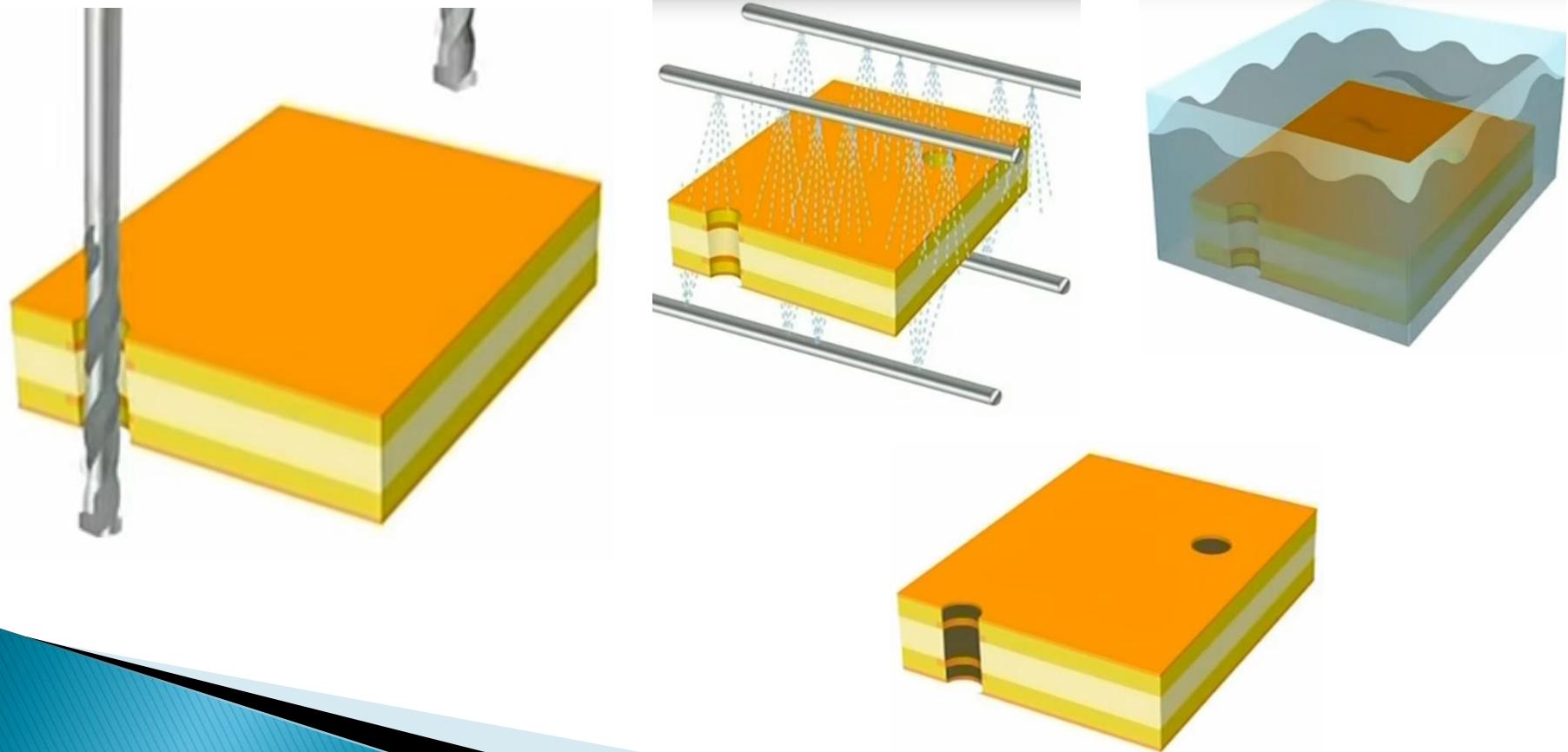
Proceso de Fabricación

- ▶ Stack UP – Capas 2 y 5



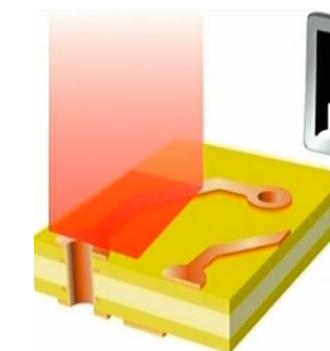
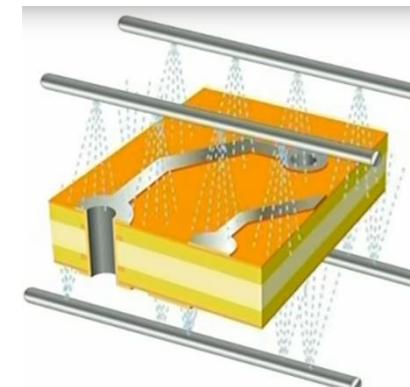
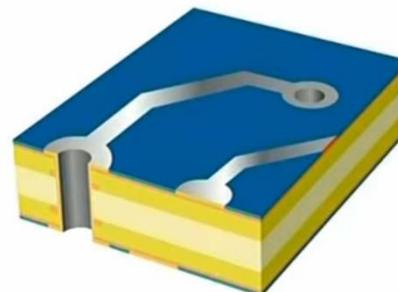
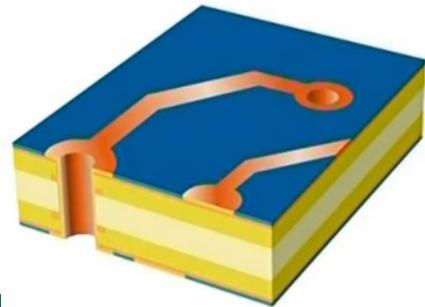
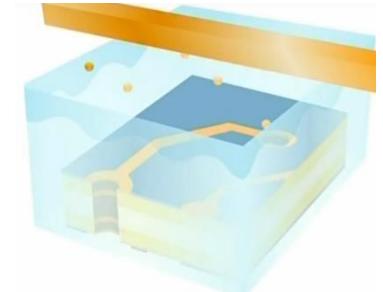
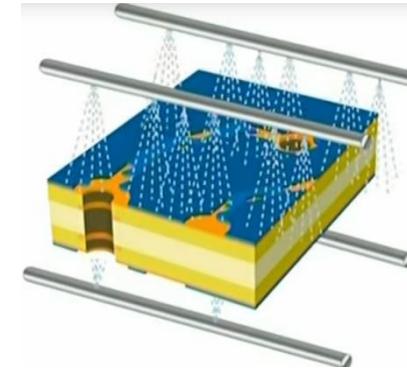
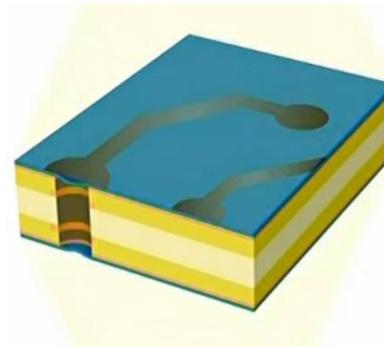
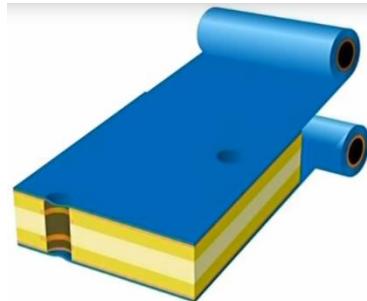
Proceso de Fabricación

- ▶ Taladrado y Preparación de holes



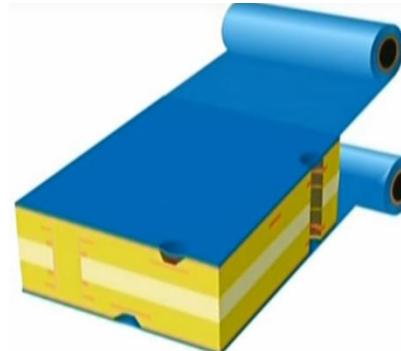
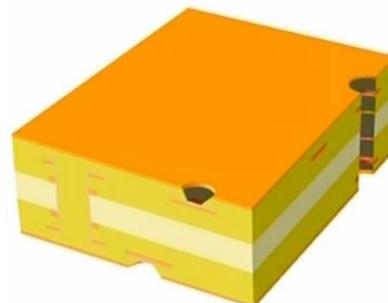
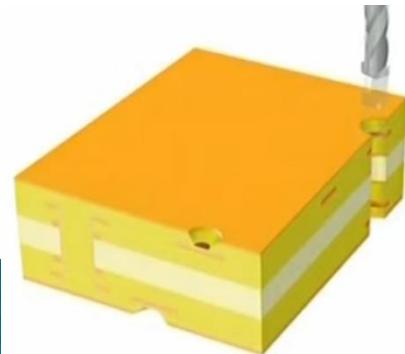
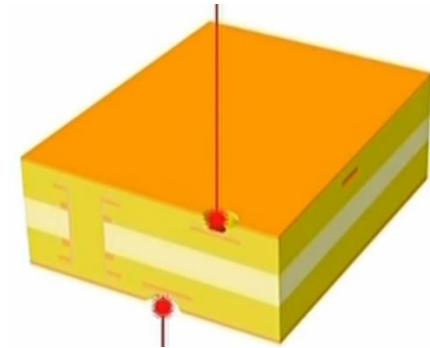
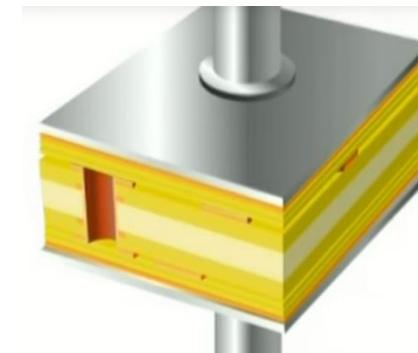
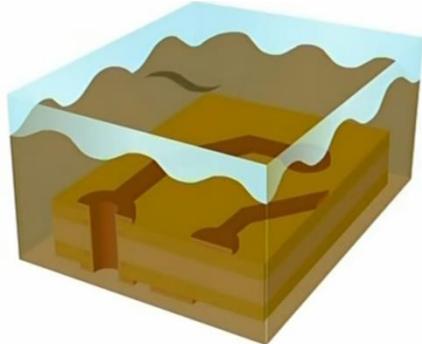
Proceso de Fabricación

- ▶ Foto exposición. Metalizado. AOI



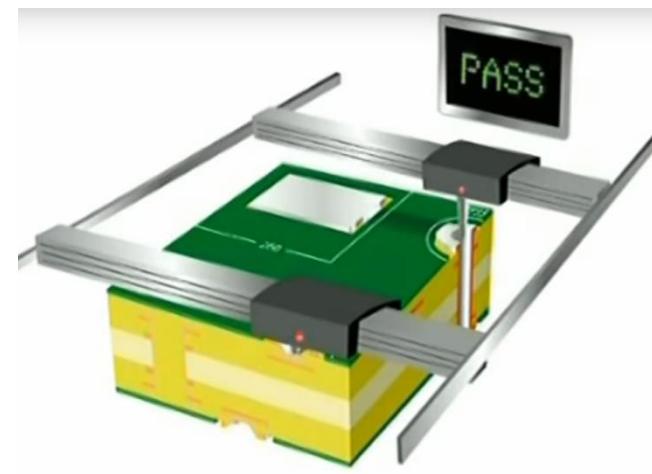
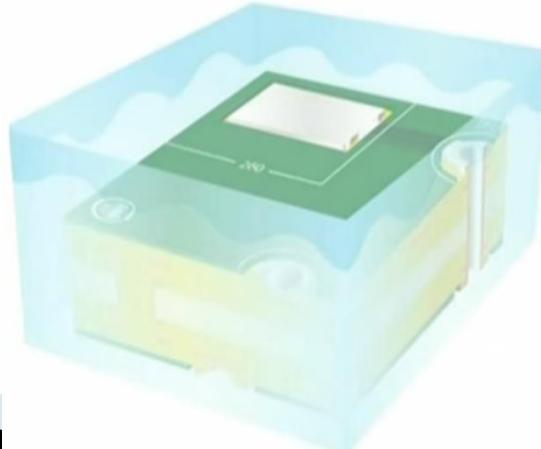
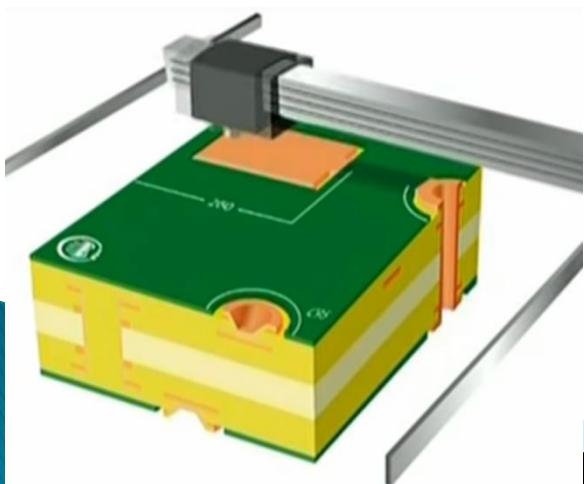
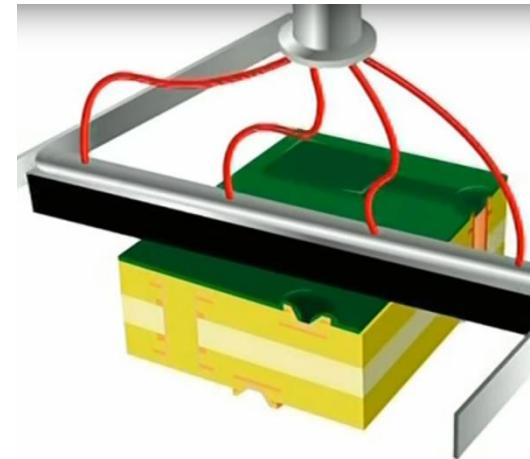
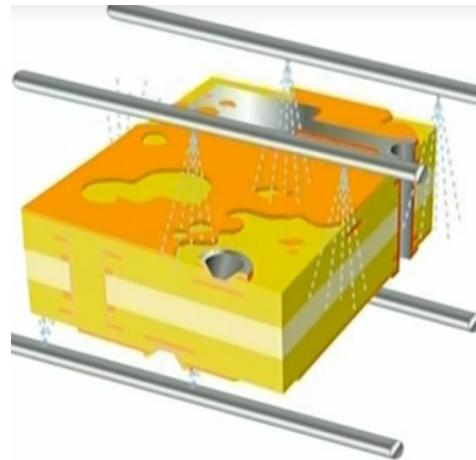
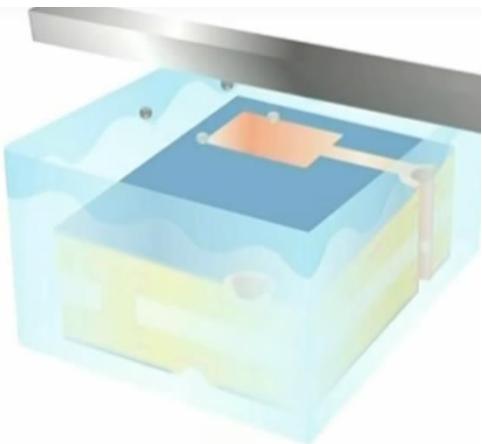
Proceso de Fabricación

▶ Stack UP Capas 1 y 6



Proceso de Fabricación

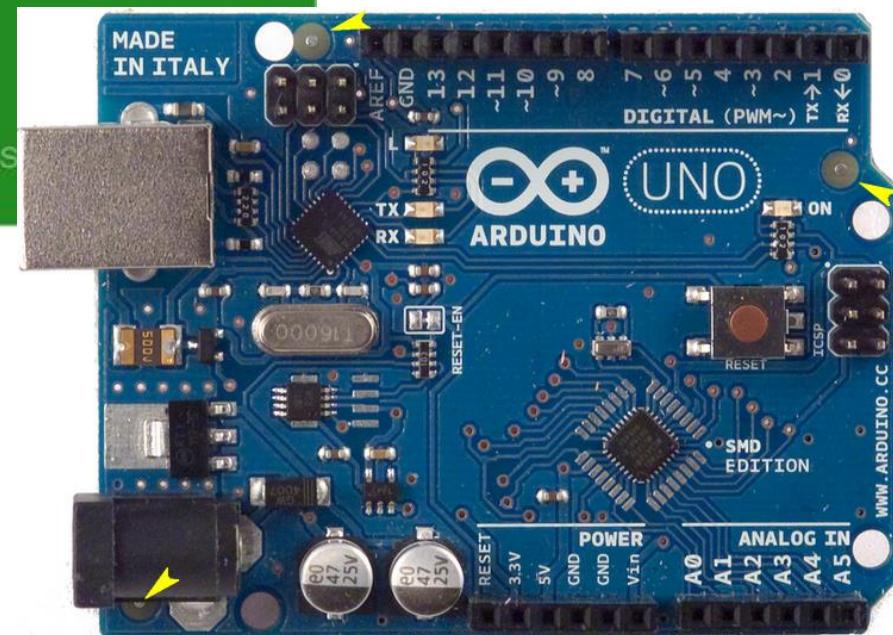
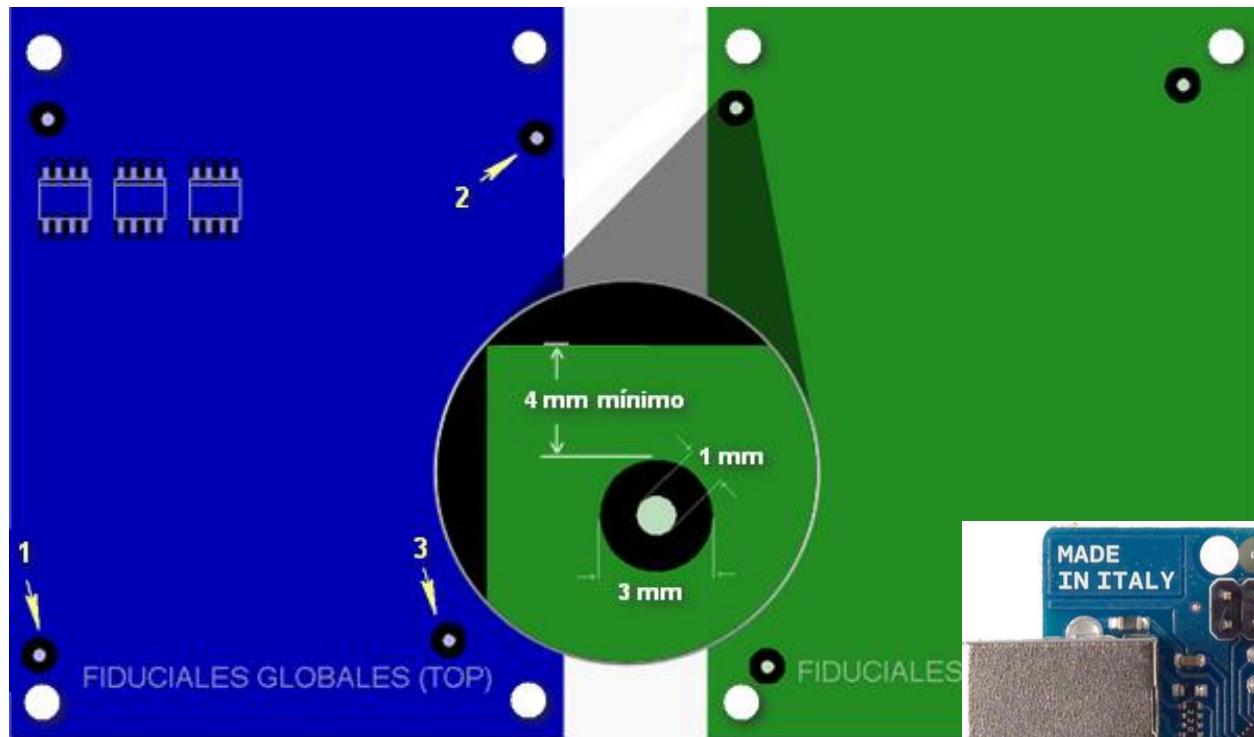
- ▶ Metalizado. Serigrafía Componentes. Test Eléctrico



Proceso de Fabricación

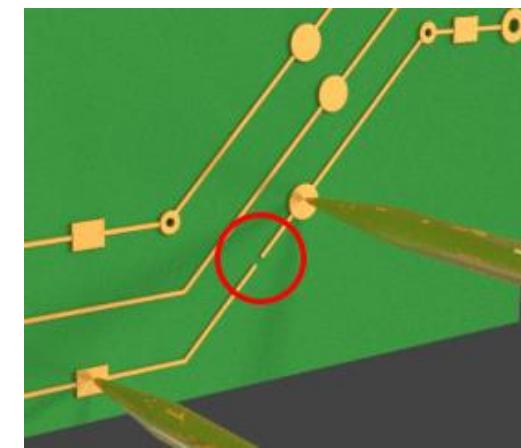
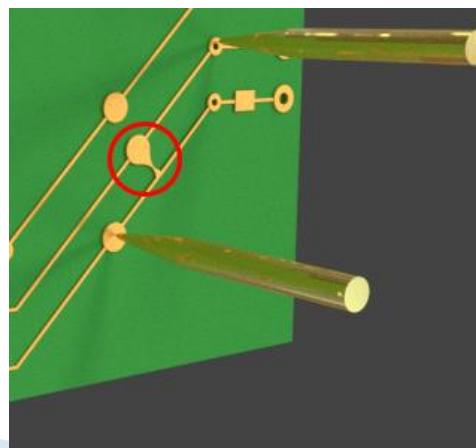
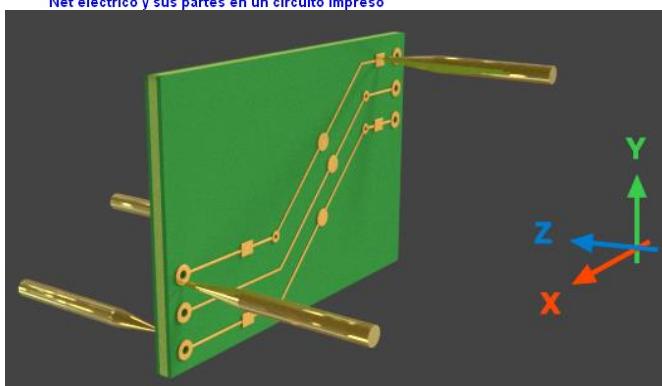
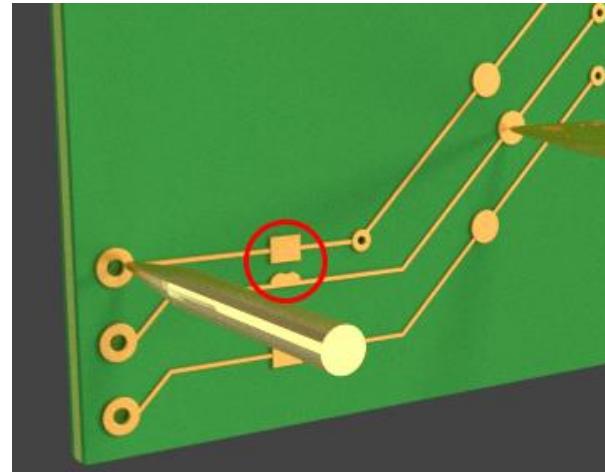
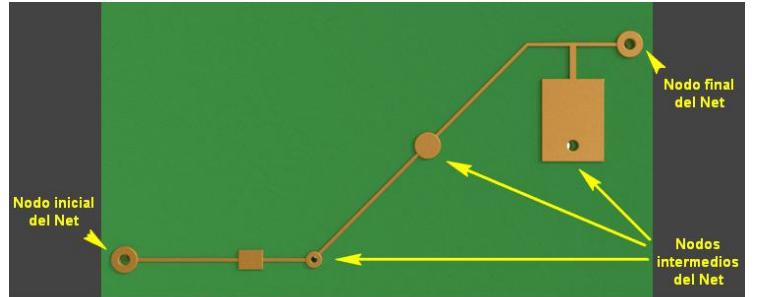
- ▶ Para Realizar Test Eléctrico –
 - Requiere que la placa cuente con los FIDUCIALES.
 - 3 o 4 puntos.
- ▶ Si están incluidos se puede obtener un test eléctrico sin costo.
- ▶ Aceptados en la norma IPC2221
- ▶ Ubicación en Lado Bottom
 - Esquina Inferior Izquierda

Proceso de Fabricación



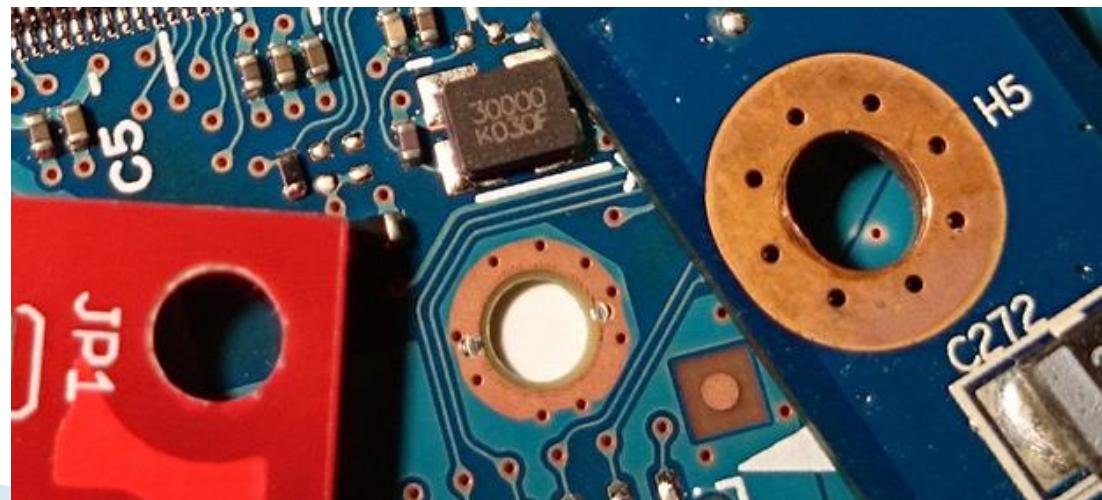
Proceso de Fabricación

▶ Test Eléctrico



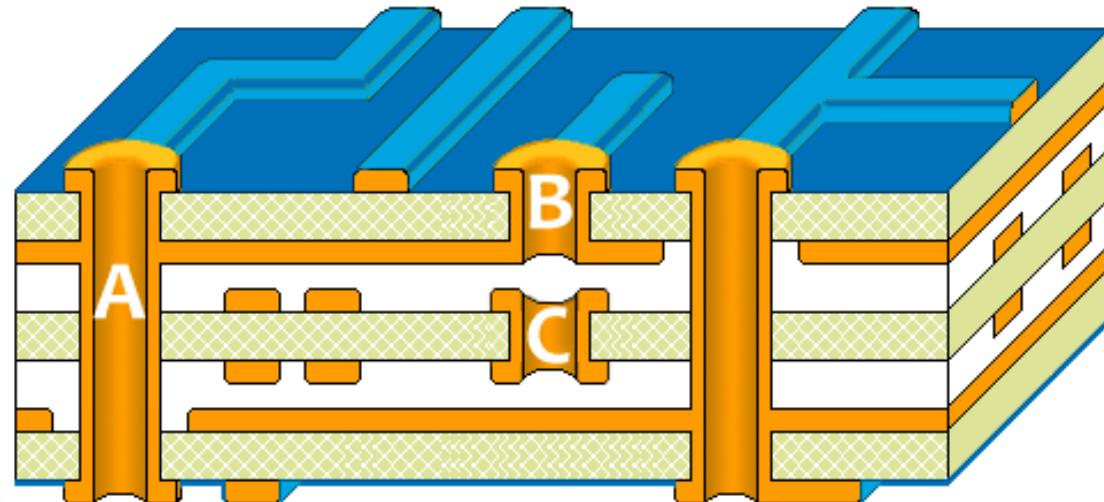
Tips – Mounting Hole

- ▶ Para poder sujetar un PCB al gabinete se emplean tornillos.
- ▶ Una forma correcta seria utilizando un PAD y al metalizar el agujero tendremos una superficie con mayor resistencia mecánica.
 - Se pueden utilizar vías sobre la corona del pad.



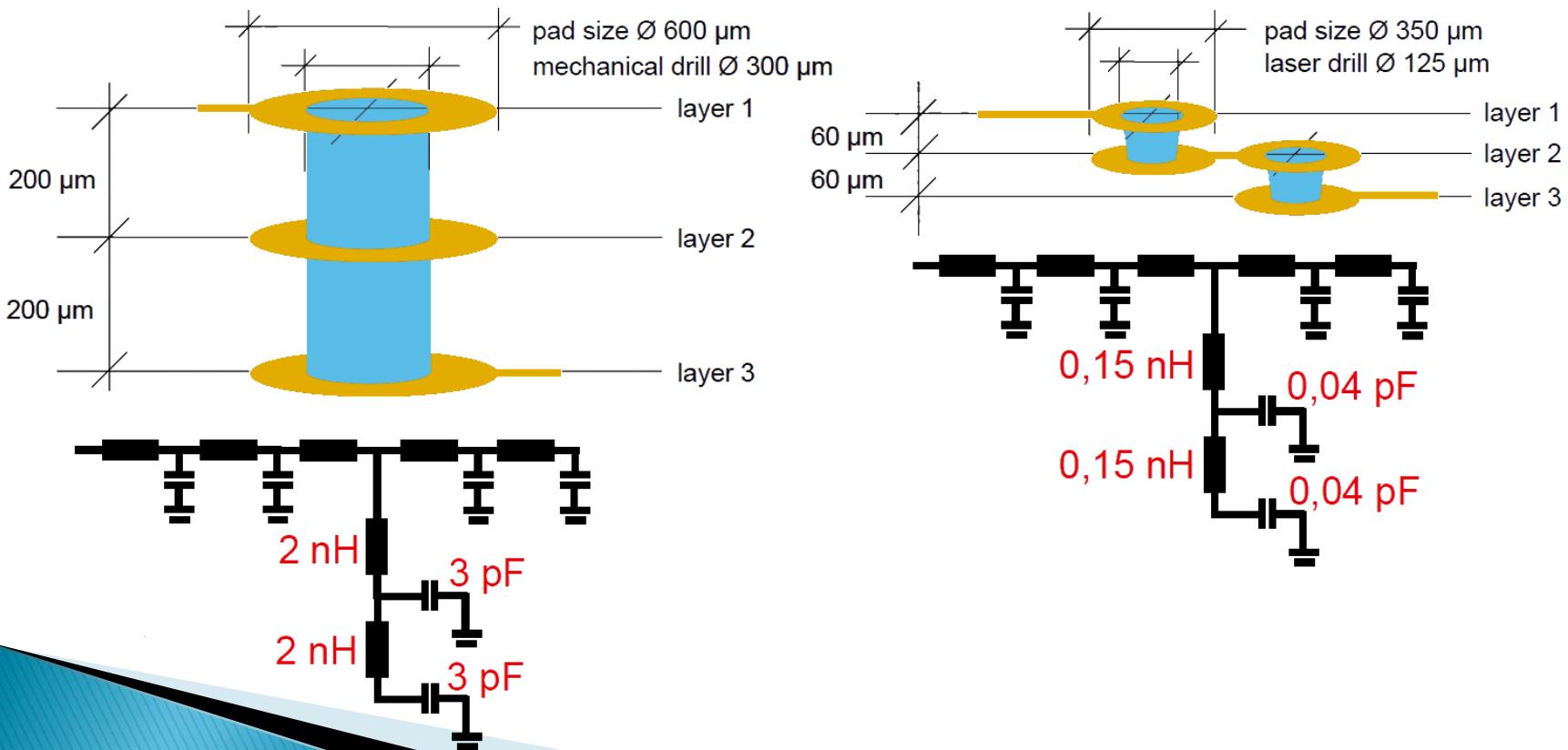
Tips – Tipos de Vías

- ▶ En la imagen se detallan los tipos de vías
 - A – Thru-Hole – Vía pasante
 - B – Blind Vía – Vía ciega.
 - Inicia en Capa Externa y termina en una Interna
 - C – Buried Vía – Vía Enterrada
 - Inicia y termina en capas internas



Vías pasante - versus Microvia

- ▶ Se presenta el circuito equivalente de ambas opciones

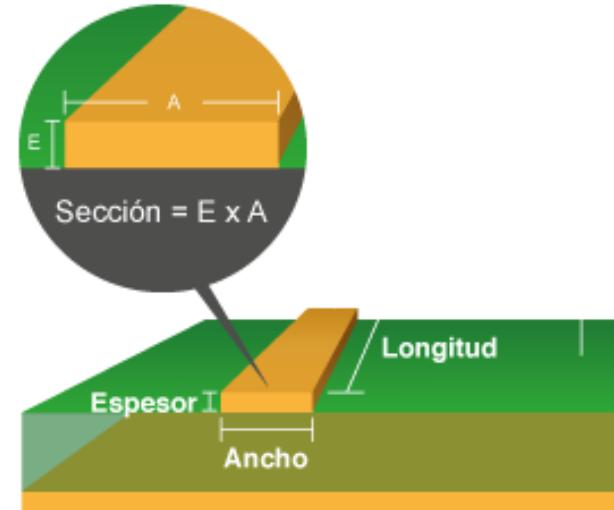


Ancho de Pista Recomendado

► Ver normativa IPC-2221

Espesor Cobre	Corriente [A]	Ancho de Pista mm x A
1 OZ 35um	0 A - 3 A	0,5mm
	3 A - 5 A	0,7 mm
	>5 A	1 mm

Corriente [A]	Ancho de Pista mm
1 A	0,5mm
2 A	1,0 mm
3 A	2,1 mm
4 A	2,8 mm
5 A	3,5 mm
6 A	6mm



Tips Generales

- ▶ Recordar que las dimensiones de los componentes vienen en pulgadas
 - 100 mils → 100 milésimas de pulgada → 0,1 pulgadas
 - 0,1 pulgadas → 2.54mm
- ▶ Verificar el snap grid antes de comenzar.
 - Grilla de dimensión fija donde encajan los componentes.
 - Recomendado 25 mills.
 - Permite pasar por el medio de dos pads
 - Usar valores múltiplos de 100, 50, 25, 20, 10, 5

Tips Generales

- ▶ Si requiere una grilla mas pequeña.
 - Usar dicha grilla y volver a la anterior.
- ▶ Siempre se presenta la capa Top cuando se diseña un PCB.
- ▶ El espesor de las pistas debe ser el mayor posible.
 - Se deben conocer las limitaciones del fabricante.
 - Recordar las recomendaciones de la IPC 2221.

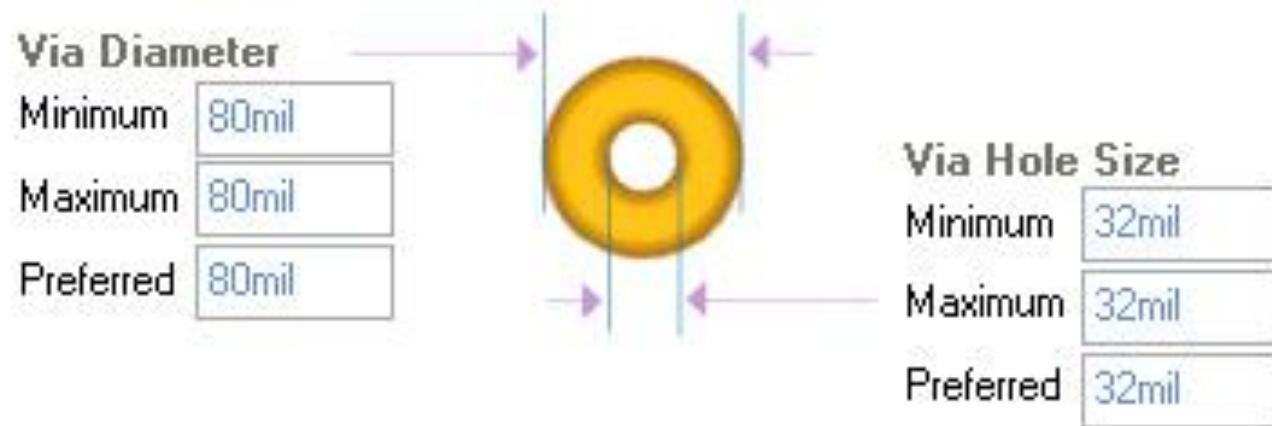
Tips Generales – PADS

- ▶ La dimensión de los pads
 - Depende del componente
 - Diámetro del Pad 1,8 veces mas grande que el diámetro de la perforación.
 - 0,5mm más grande.
 - VALOR importante con las VIAS
 - Permite la alineación Top-Bottom
 - Componentes varios → 60mil de diámetro
 - DIL → Forma ovalada → alto 60mil y 90/100 mil largo
 - PIN 1 debe ser distinto → Rectangular
 - Pads octogonales → Raro Uso.
 - Componentes SMD → Generalmente Ovaladas con el PIN1 Rectangular
 - Las pistas deben terminar en el centro de los PADS.

Tips Generales – VIAS

▶ Vías de Conexión

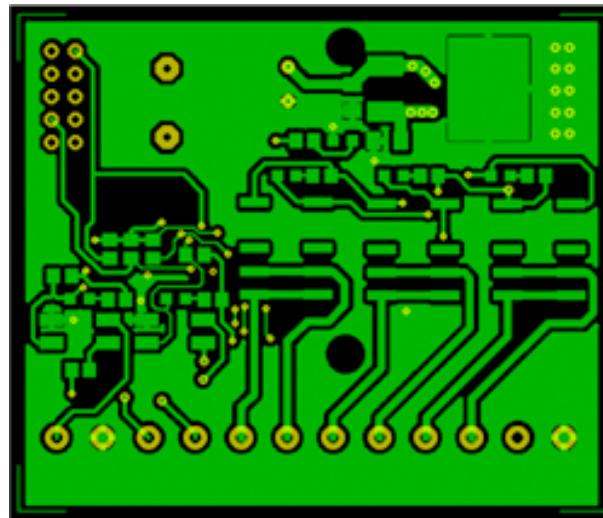
- Permiten unir capas del PCB.
- Se deben considerar las dimensiones mínimas de fabricación.
- No se deben mezclar PADS con VIAS.



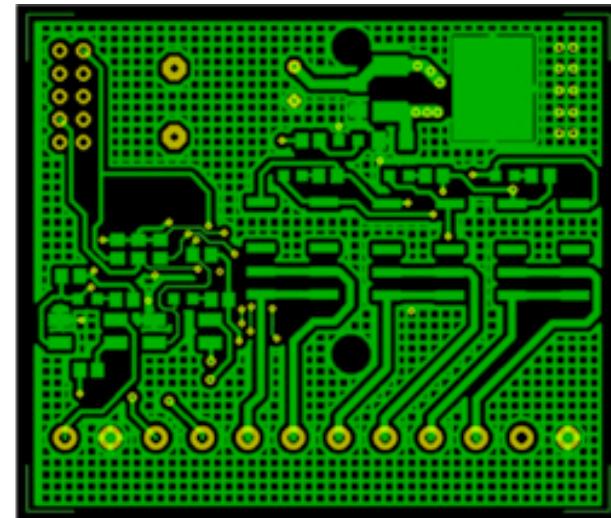
Tips Generales – Polígonos

▶ Polígonos

- Elementos que permiten llenar con cobre un área determinada.
- Se utilizan para colocar planos de tierra.
- Se colocan al final del diseño
- Pueden ser sólidos o tipo grilla



Plano sólido
Recomendado



Plano tipo malla
No recomendado

Tips Generales

▶ Cleareance

- Es la distancia que se debe dejar entre pads, pistas, polígonos.
- Verificar las capacidades del fabricante de PCB.
- Un valor típico 15 mil.
- Para 220V debe haber una separación mínima de 315 mil entre pistas.
- Depende de la ubicación de las pistas, internas o externas.
- Depende de la altura con respecto al nivel del mar.



Tips Generales

- ▶ Distribución de Componentes
 - Agrupar en bloques funcionales
 - Rutear las PISTAS criticas primero
 - Se pueden rutear los bloques en forma separada
 - Realizar la interconexión de bloques.
 - Ejecutar el Design Rule Check
 - Es critico hacer este procedimiento
 - Efectuar la revisión del PCB por otra persona.

Tips Generales

▶ Pasos de Diseño

- Colocar todos los componentes antes de iniciar el ruteo para verificar que entran en la placa final.
- Distribuya los componentes en bloques de operación.
- Separar los bloques en analógicos y digitales, de potencia o señal
 - No se mezclan!!!
- Colocar CI en la misma dirección
- Capacitores polarizados en la misma posición
- Conectores al borde de la placa

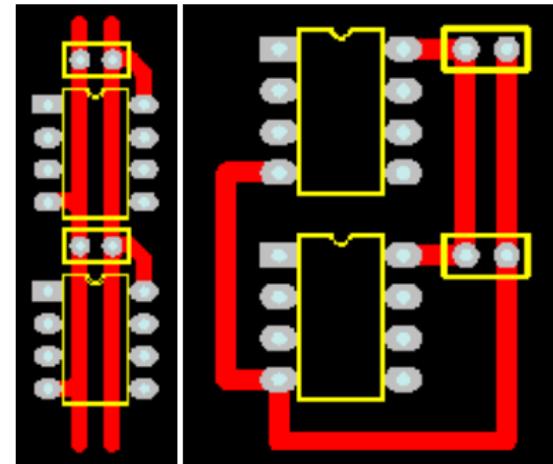
Tips Generales

► Reglas Básicas de Ruteo

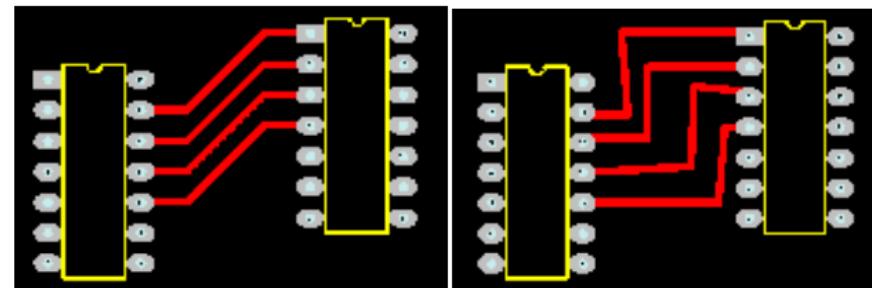
- Tratar de tener pistas cortas.
- Usar ángulos de 45 para las pistas.
- Las pistas deben terminar en el centro del PAD.
 - El software puede interpretar que falta conexión eléctrica.
- Pasar una pista entre dos pads debe ser algo muy NECESARIO.
- Si necesita unir capas con pistas de alta corriente se deben emplear varias vías.
- No dejar zonas de cobre sin conexión (dead copper)

Tips Generales

- Tratar de tener pistas cortas.
- Si se usa doble faz sin agujero metalizado
 - Se pueden usar las pines para interconectar ambos lados.
 - No colocar vías debajo de los componentes.



An example of GOOD power routing (Left) and BAD power routing (Right)



An example of GOOD routing (Left) and BAD routing (Right)

Tips Generales

▶ Verificaciones Adicionales

- En uniones en T tratar de agregar conexión a 45°.
- Verifique que la placa tiene orificios de montaje.
 - Ver la distancia a cualquier componente.

▶ Controlar los diámetros de perforación.

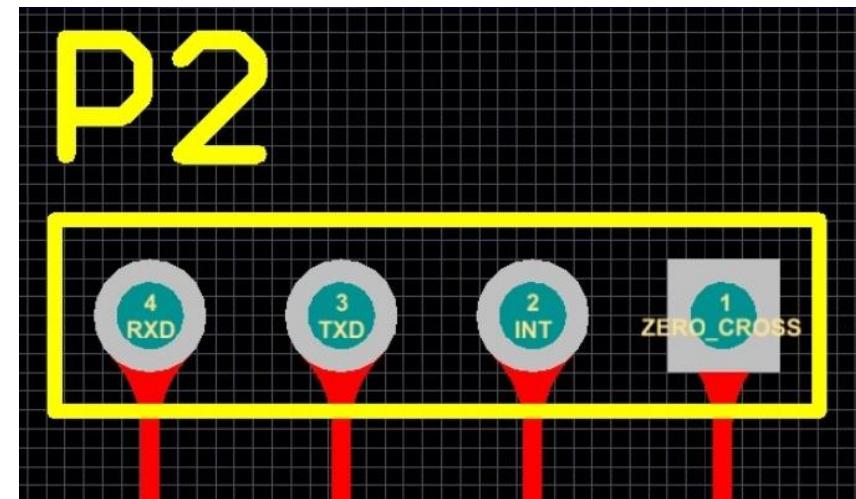
- Tratar de que sean todos iguales. Ajustar footprints
- Menor número de dimensiones distintas producción mas rápida.
- Chequear footprint con dimensiones reales de los componentes.

▶ Chequear la dimensión de la corona.

- Mayor tamaño → Mejor resistencia mecánica del pad.

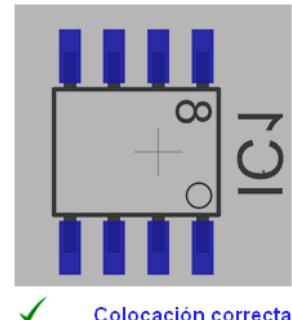
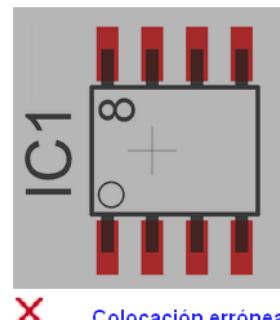
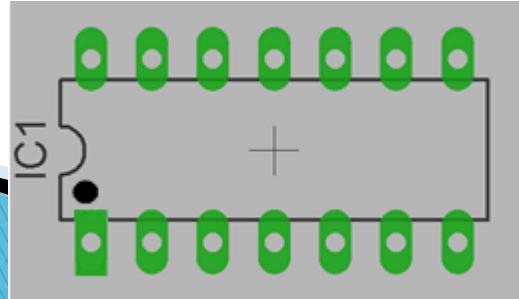
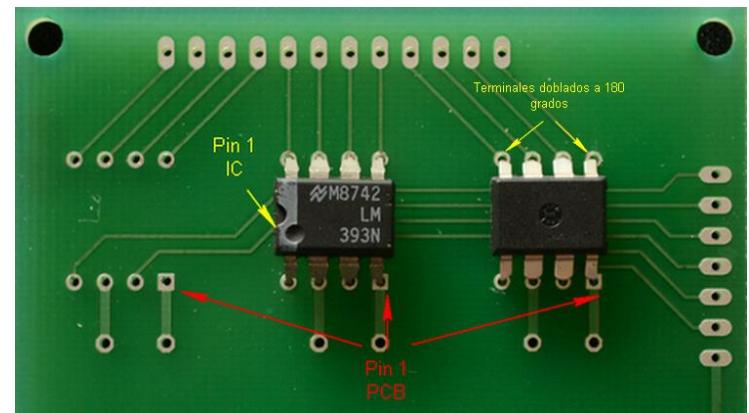
Tips Generales

- ▶ Dimensiones de componentes
 - Verifique aquellos que posean partes metálicas.
- ▶ Si se usan puentes, estandarizar el tamaño.
- ▶ Verificar las cotas máximas de corte.
- ▶ Conocer dimensión para panelizado.
 - Para ahorrar costos.
- ▶ Use pads de tipo teardrops
 - Aumenta la rigidez mecánica.



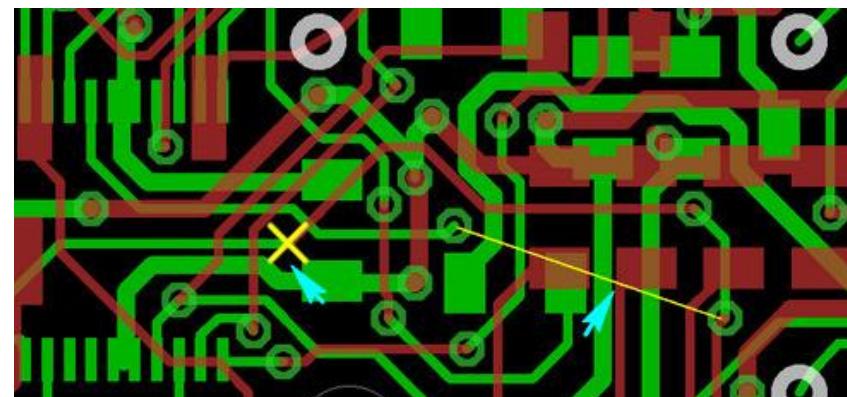
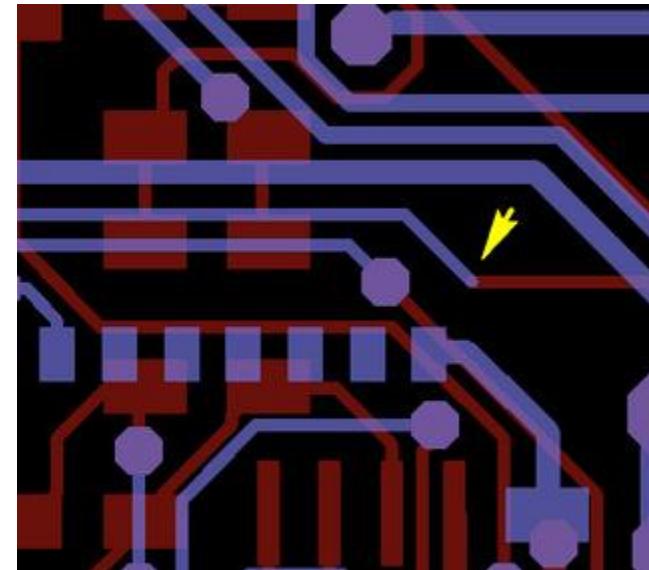
Tips Generales

- ▶ Cuando se trata de PCB de una sola capa.
 - Indicar correctamente dicho punto al fabricante.
 - Poner un TEXTO que este en el lado bottom.
 - Chequear la correcta ubicación de los IC.



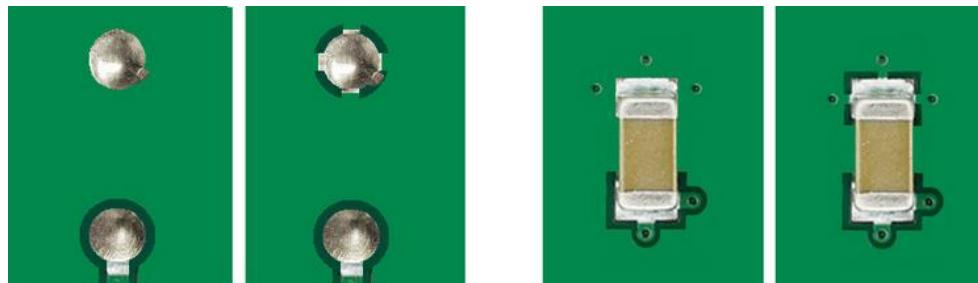
Tips Generales

- ▶ Se recomienda SIEMPRE trabajar en base a un *Esquemático* para realizar el ruteo.
 - Correr REGLAS de Diseño → DRC
 - Sirven para detectar
 - Pistas cortadas.
 - Pistas en cortocircuito.
 - Componentes duplicados.

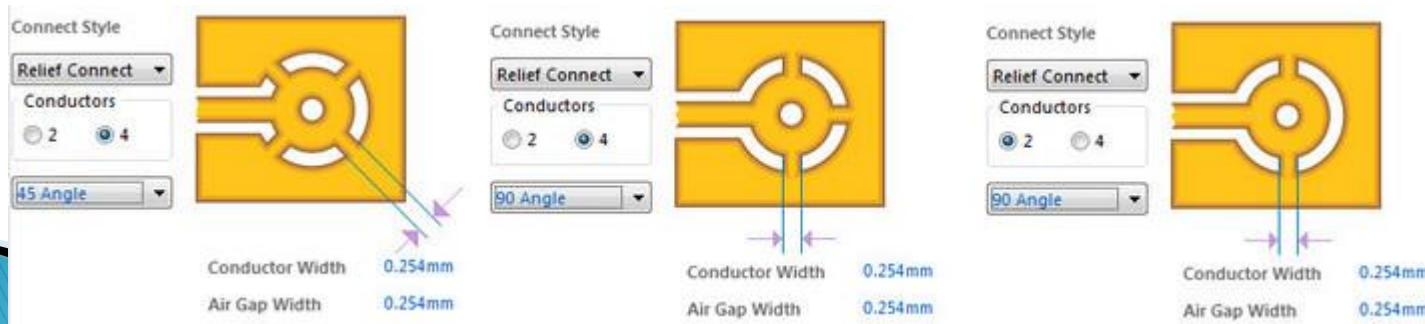


Tips Generales

- ▶ Verificar la necesidad de PADS conectados directamente a planos metálicos.
 - Al soldar se pierde calor

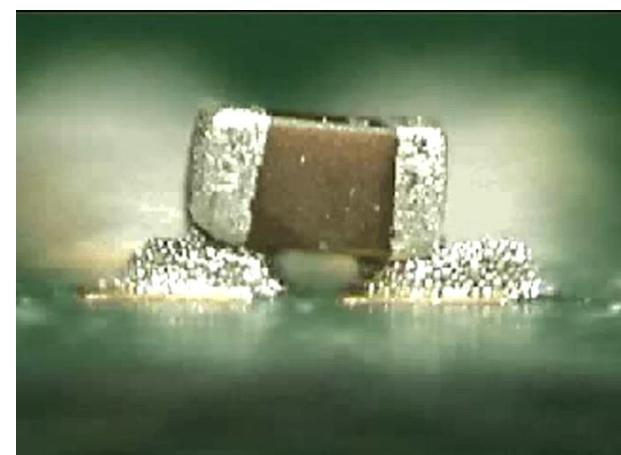
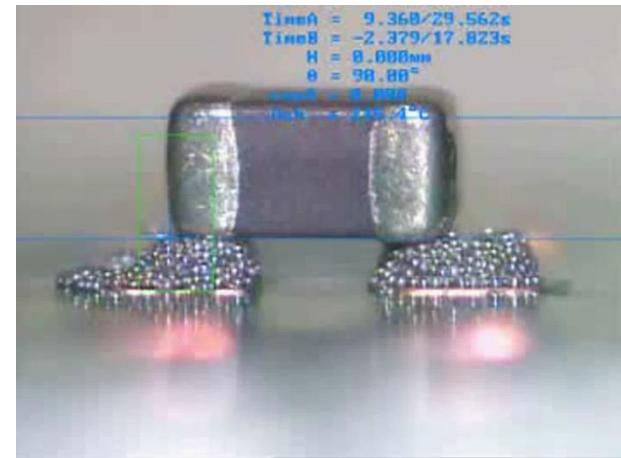
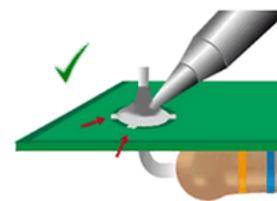
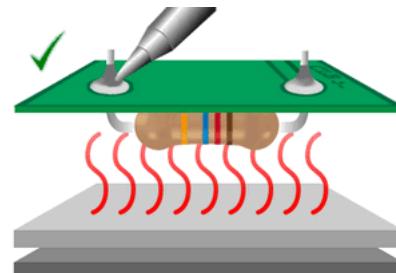
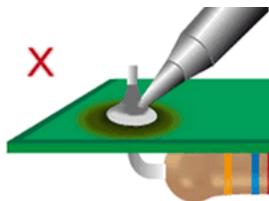
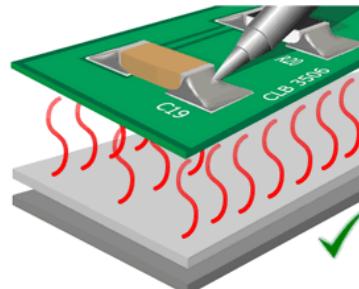
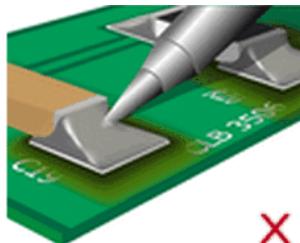


- Utilizar Termals Pads



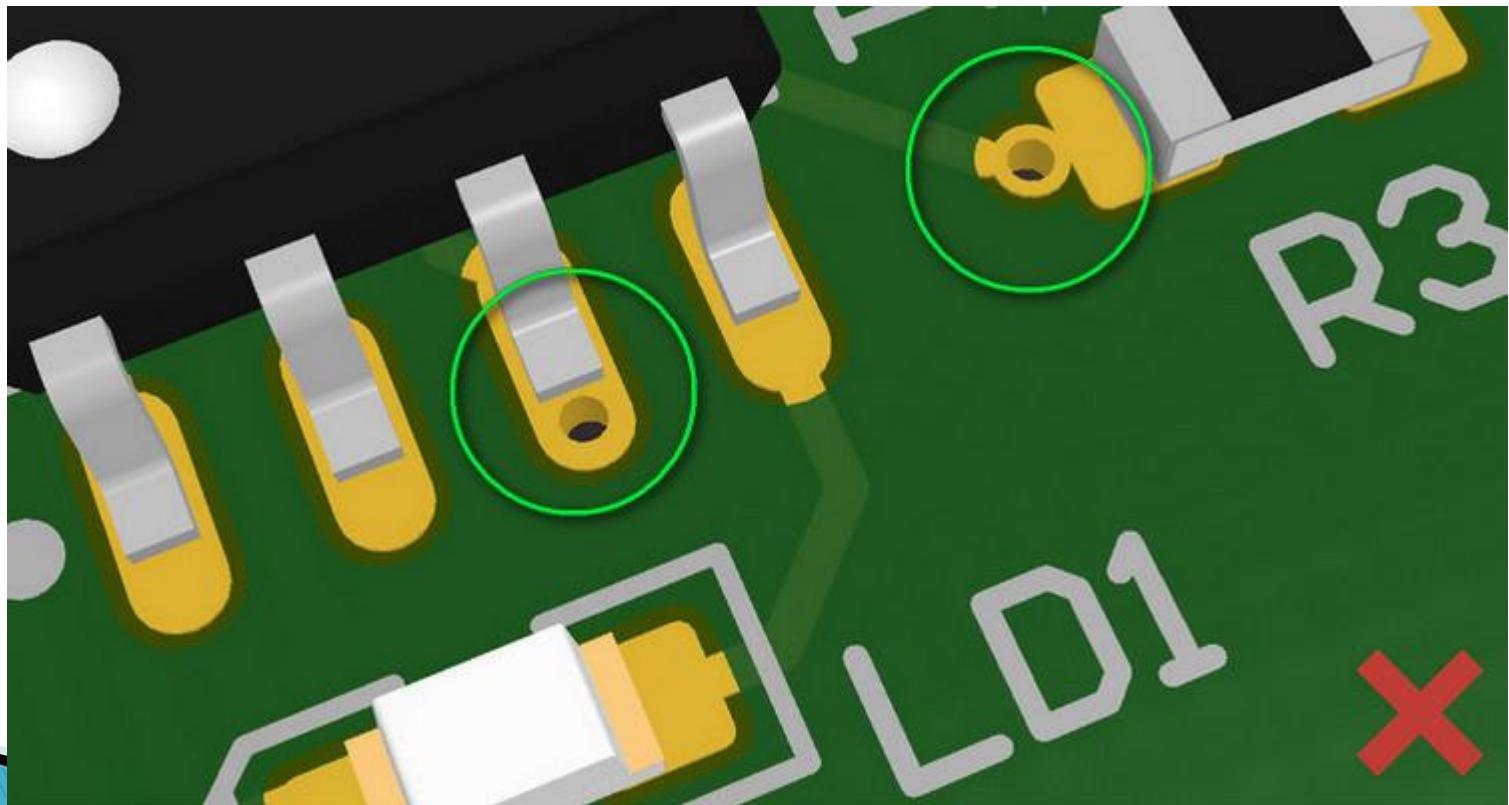
Tips Generales

- Al soldar se pierde calor. Precalentar la placa.



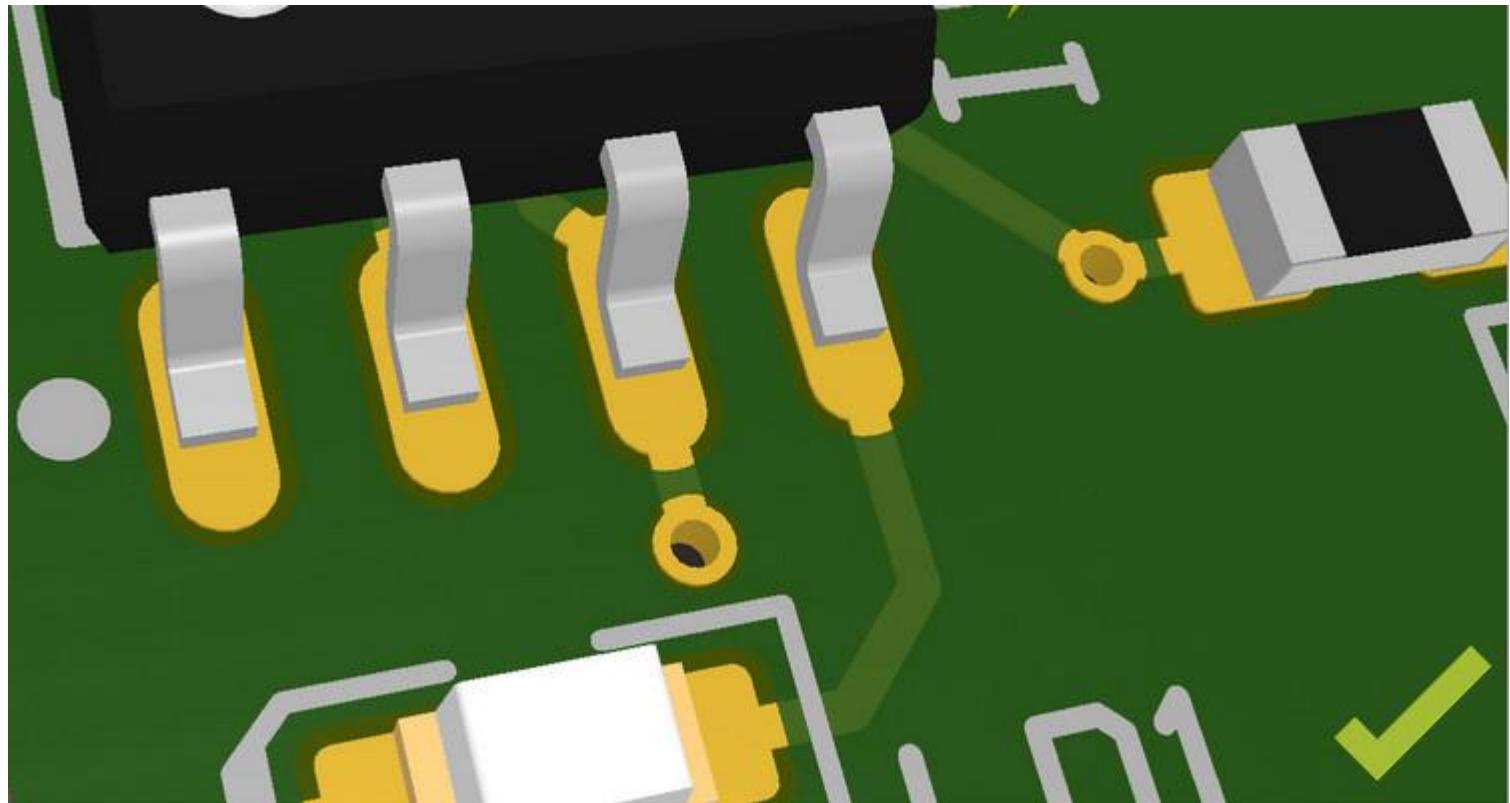
Tips Generales – Ubicación de VIAS

- ▶ NO colocar vías dentro o pegadas a un PAD
 - Según al norma IPC-7351



Tips Generales – Ubicación de VIAS

- ▶ Alternativa Correcta



Tips Generales – Capas

▶ Silkscreen

- Serigrafía de componentes.
- Verificar que no queden partes de la capa sobre algún pads que requiera soldadura.
- Tratar de que queden todos los rótulos de componentes en la misma dirección.

▶ Solder Mask

- Cubre toda la placa y deja expuestos los pads.
- La distancia entre pads y mascara se llama Solder Expansion.
- Pueden ser por Serigrafía o mediante impresión laser.
- Se puede poner sobre vias.

Tips Generales – Capas

- ▶ **KeepOut**
 - Permite definir áreas en donde no se permiten ruteo.
 - Permite definir el borde de la placa.
- ▶ **Alineación**
 - Se debe conocer el error que puede cometer el fabricante al alinear capas de la placa.
- ▶ **Netlist**
 - Archivo que incluye el listado de conexiones, componentes, designadores.

Tips Generales – Capas

- ▶ Rats Nets
 - Son líneas que muestran las conexiones entre componentes.
 - Al finalizar el ruteo no debiera existir ninguna línea de éstas.
- ▶ Diseño Multicapa
 - Puede aumentar la densidad de componentes.
 - Es más costoso.
 - Una capa será GROUND.
 - Otra capa será POWER.
 - Capas internas. GROUND cerca de TOP.

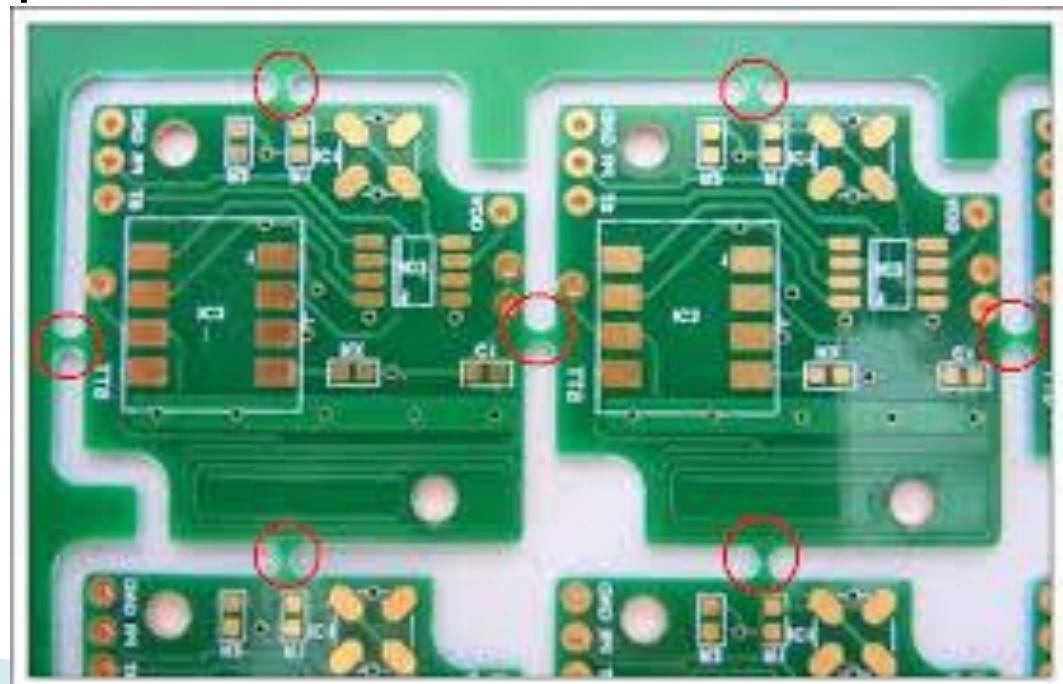
Tips Generales - Capas

- ▶ Plano de Masa
 - Usar el mayor plano de masa posible sin interrupciones.
 - Usar la capa mas cercana a TOP en diseños multicapa.
 - Tratar de implementar una topología estrella en los caminos de masa.
- ▶ Capacitores de Desacople
 - Utilizar en TODOS los circuitos lo mas cerca posibles de ellos.
 - Valor típico 100nF

Tips Generales – Capas

▶ Panelizado

- Para soldadura automatizada es mejor disponer de placas de mayor tamaño.
- Se colocan múltiples diseño dentro del panel.
- Las placas vienen pre cortadas.



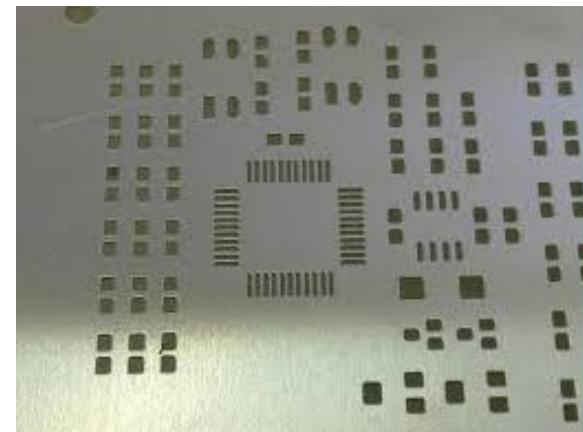
Tips Generales – Soldadura

► Distribución de Componentes

- Una correcta distribución permitiría disminuir los tiempos en el montaje de componentes automatizados.
 - Unificar valores de componentes.

► Dimensionado de Stencil

- En el proceso automatizado la adición de estaño en pasta requiere un stencil con las dimensiones adecuadas para evitar el derrame de soldadura.



Lista para Verificación

- ▶ Verificar Pin-Out de componentes
- ▶ Los componentes deben tener un único designador.
- ▶ Correcta asignación de footprints.
- ▶ Desacople en todos los pines de alimentación.
- ▶ Verificar que todos los CI estén conectados a algún tipo de alimentación.
- ▶ Verificar que todos los CI tengan conexión a GND.

Lista para Verificación

- ▶ Las masas analógicas y digitales deben estar conectadas en un solo punto.
- ▶ Estudiar las corrientes máximas de las pistas.
- ▶ Constatar si los conectores son Macho o Hembra.
 - Error común DB9
- ▶ Verificar conexiones de cristales a los Cl.
 - Pistas muy cortas.
- ▶ Ancho de pista NO menor a 8mil.
- ▶ Separación de pistas NO menor a 8 mil.

Lista para Verificación

- ▶ Tamaños de vías y holes acorde a las capacidades del fabricante.
 - Recomendado 30mil y 15 mil.
- ▶ Dimensión de vías para alimentación
 - Tamaño recomendado 50mil y 28mil.
- ▶ Vías separadas de los pads.
- ▶ Cleareance entre planos y pistas
 - Recomendado 20mil.
- ▶ Pistas entrantes a los pads de menor tamaño.

Lista para Verificación

- ▶ Verificar distribución de componentes por bloques.
- ▶ Verificar que los componentes no se pisen.
- ▶ Usar topología estrella en la alimentación.
- ▶ Verificar que los retornos de masa converjan en un punto.
- ▶ Verificar que la placa entre en el gabinete elegido.
 - Usar software CAD como apoyo.

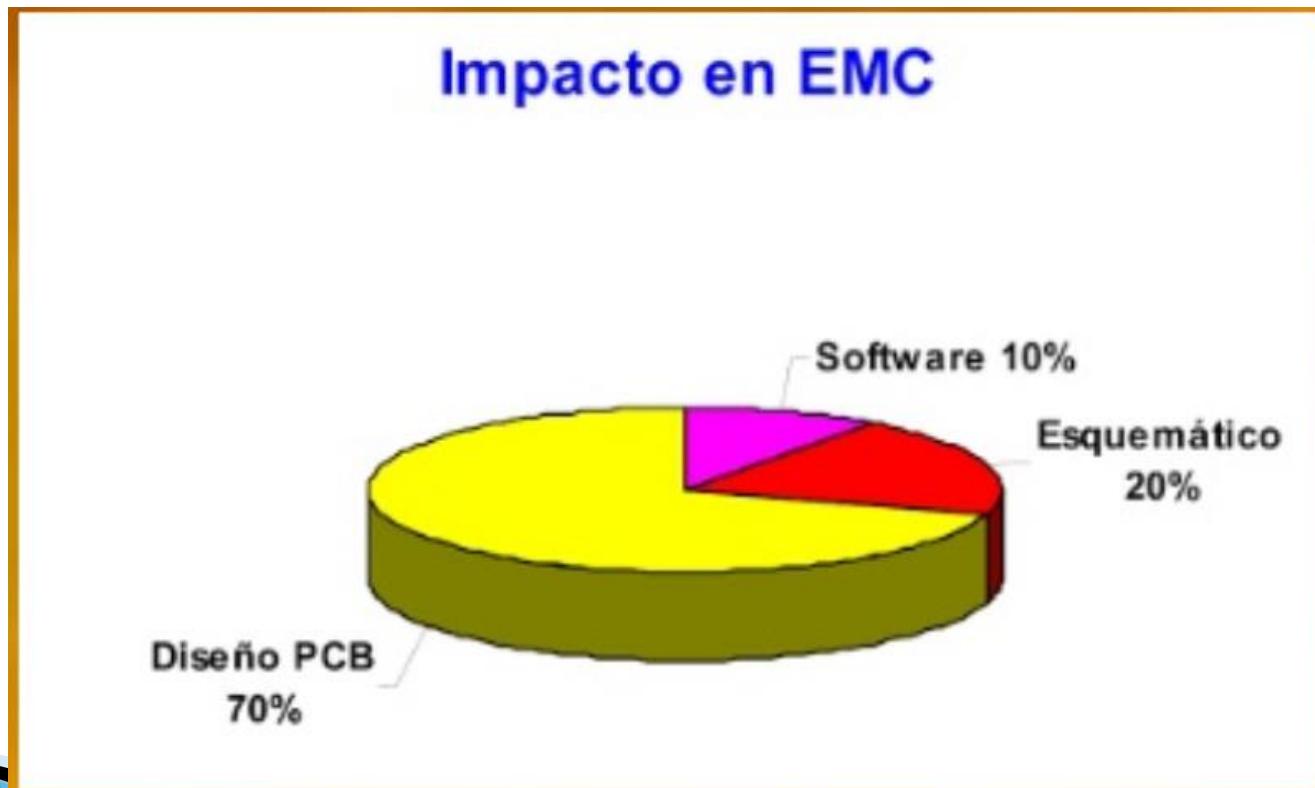
Tecnología Electrónica

Ingeniería en Electrónica

Universidad Tecnológica Nacional
Facultad Regional Córdoba

PCB – Diseño para EMC

- ▶ Diseñar pensando en EMC.
 - La placa se debe adecuar durante el diseño.



EMC

- ▶ Es la habilidad de un sistema electrónico de funcionar correctamente en un entorno electromagnético.
- ▶ Tiene dos aspectos:
 - Emisiones
 - Inmunidad
- ▶ Es muy importante que un circuito no genere ni ruido y que sea inmune a él.
- ▶ La compatibilidad electromagnética debe ser concebida con el producto y no añadida al final.

EMC - Diseño de PCB

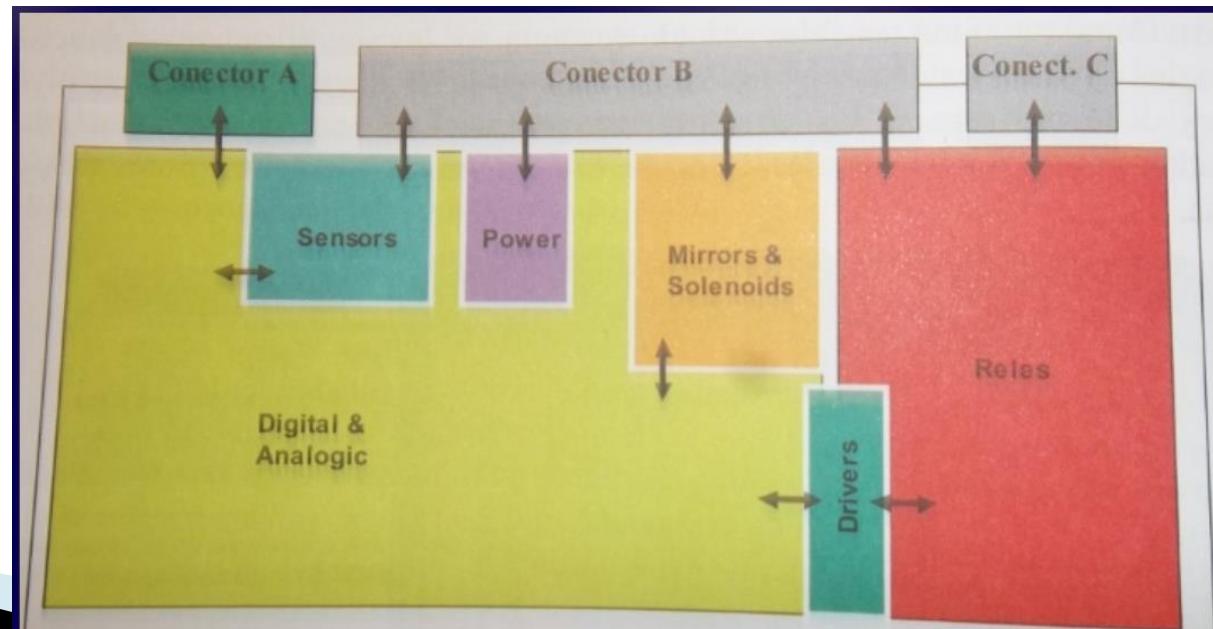
- ▶ Se debe hacer un correcto diseño de las capas del PCB, ya que si producen efectos de Microstrip, para un buen control de las impedancias.
- ▶ Las pistas de señales rápidas o de RF deben tener un plano de tierra en la capa adyacente.
- ▶ Se deben utilizar capacidades de desacoplo en las entradas de alimentación de los IC.
- ▶ No rutear pistas debajo del microcontrolador

EMC - Diseño de PCB

- ▶ Las señales rápidas y de Clk se deben situar lo mas cerca posible del microcontrolador.
- ▶ Se debe rutear primero la alimentacion en placas de dos capas.
- ▶ En placas de 4 capas, rutear primero los buses de datos y las señales sensibles.
- ▶ Separar las masas analógicas de las digitales.
 - Unirlas en un solo punto

EMC - Distribución de Circuitos

- ▶ Distribuir los circuitos dentro del PCB separando los circuitos analógicos de los digitales.
 - Si es posible también la alimentación.
- ▶ Planos de masa diferenciados unidos en un solo punto



EMC - Modelo Microstrip

- ▶ Se debe pensar en una pista como una línea de transmisión. La pista de señal esta separada de la masa por un dieléctrico FR4.

w → ancho pista

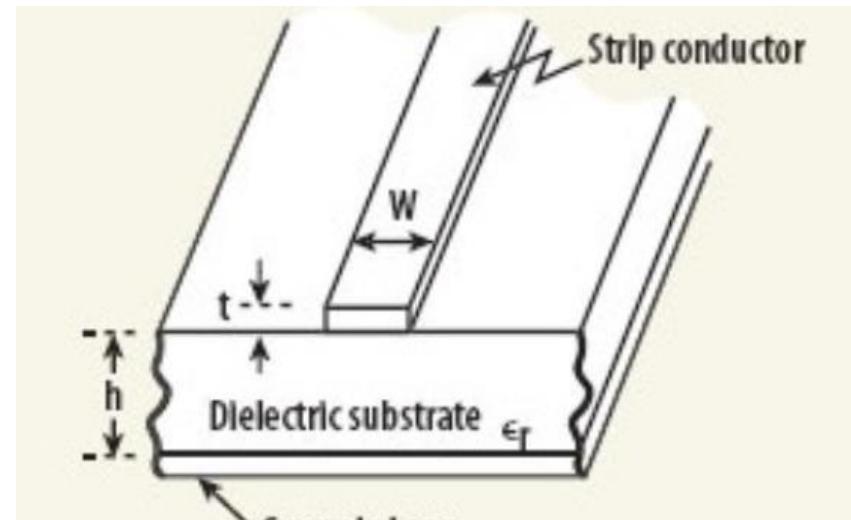
t → espesor de pista

h → espesor del dieléctrico

Er → cte dieléctrica

 típico: 4,6 para FR4

Zo → Impedancia característica



$$Z_0 = \frac{87}{\sqrt{\epsilon_r + 1.41}} \ln \left(\frac{5.98h}{(0.8w + t)} \right)$$

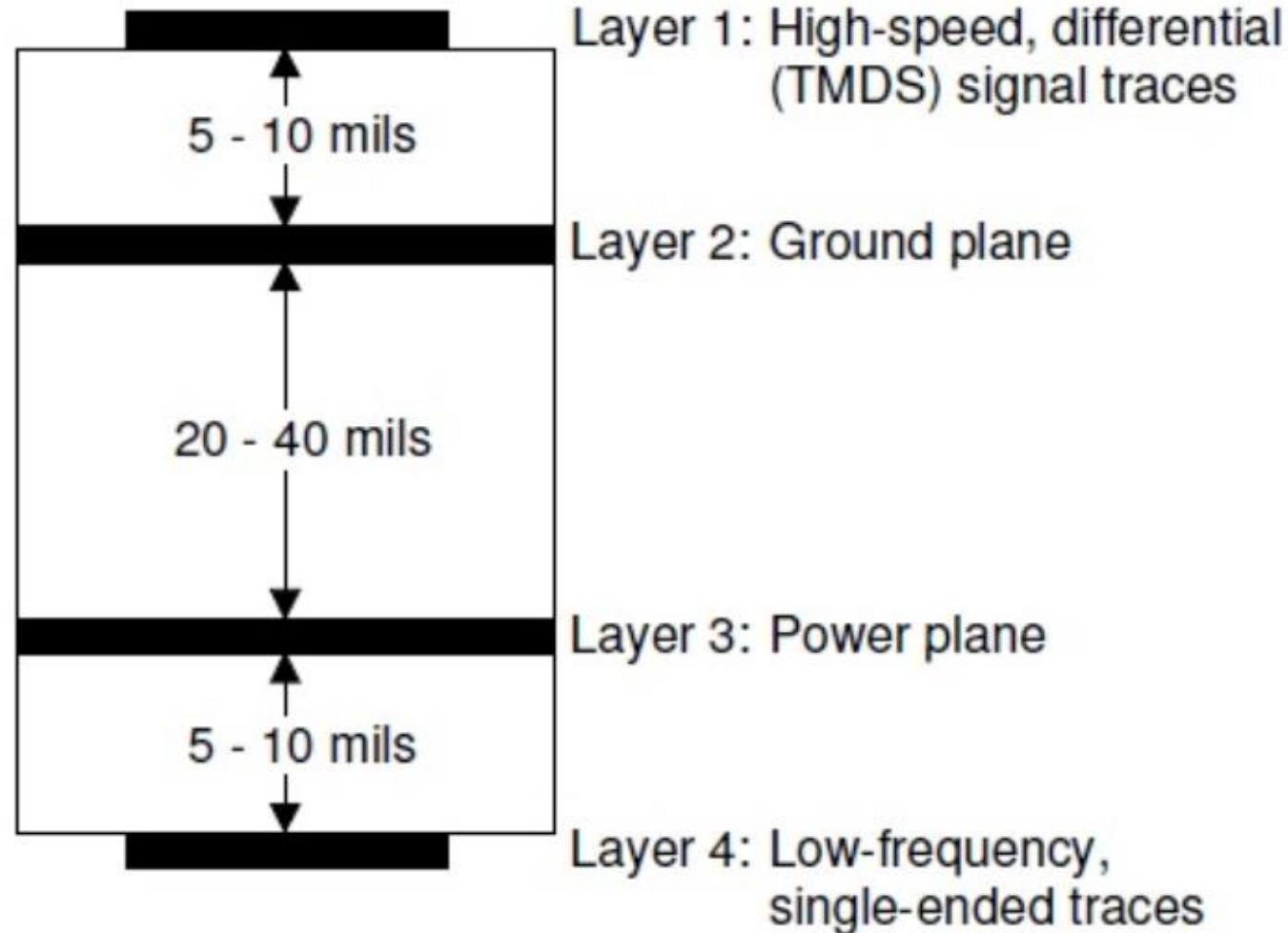
PCB Multicapa

- ▶ Modelo de PCB de 4 capas



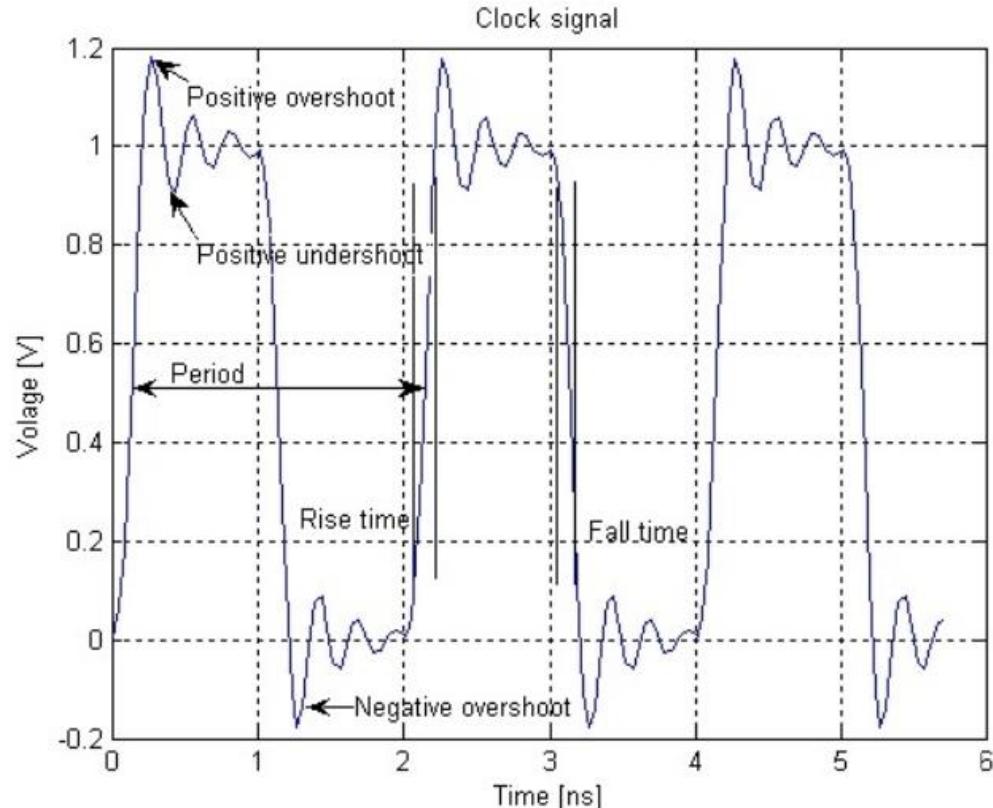
PCB Multicapa

► Distribución de Señales PCB de 4 capas



PCB - Longitud de Pista

- En virtud del largo de pistas pueden aparecer overshoot (sobreimpulsos) y undershoot (subimpulsos).



PCB - Longitud de Pista

- ▶ Si la longitud de una pista es mayor que 1/3 de la longitud del “rise time”, puede haber “ringing” y considerarse como una línea de transmisión.
- ▶ Cálculos:

$$V_p = \frac{C}{\sqrt{\epsilon_R}}; \text{Velocidad de propagacion}$$

$$Time = \frac{1}{3} * Rise\ Time$$

$$\epsilon_R = 4; \text{Constante dielectrica}$$

$$C = 11.811 \text{ inches / ns}; \text{Velocidad de la luz}$$

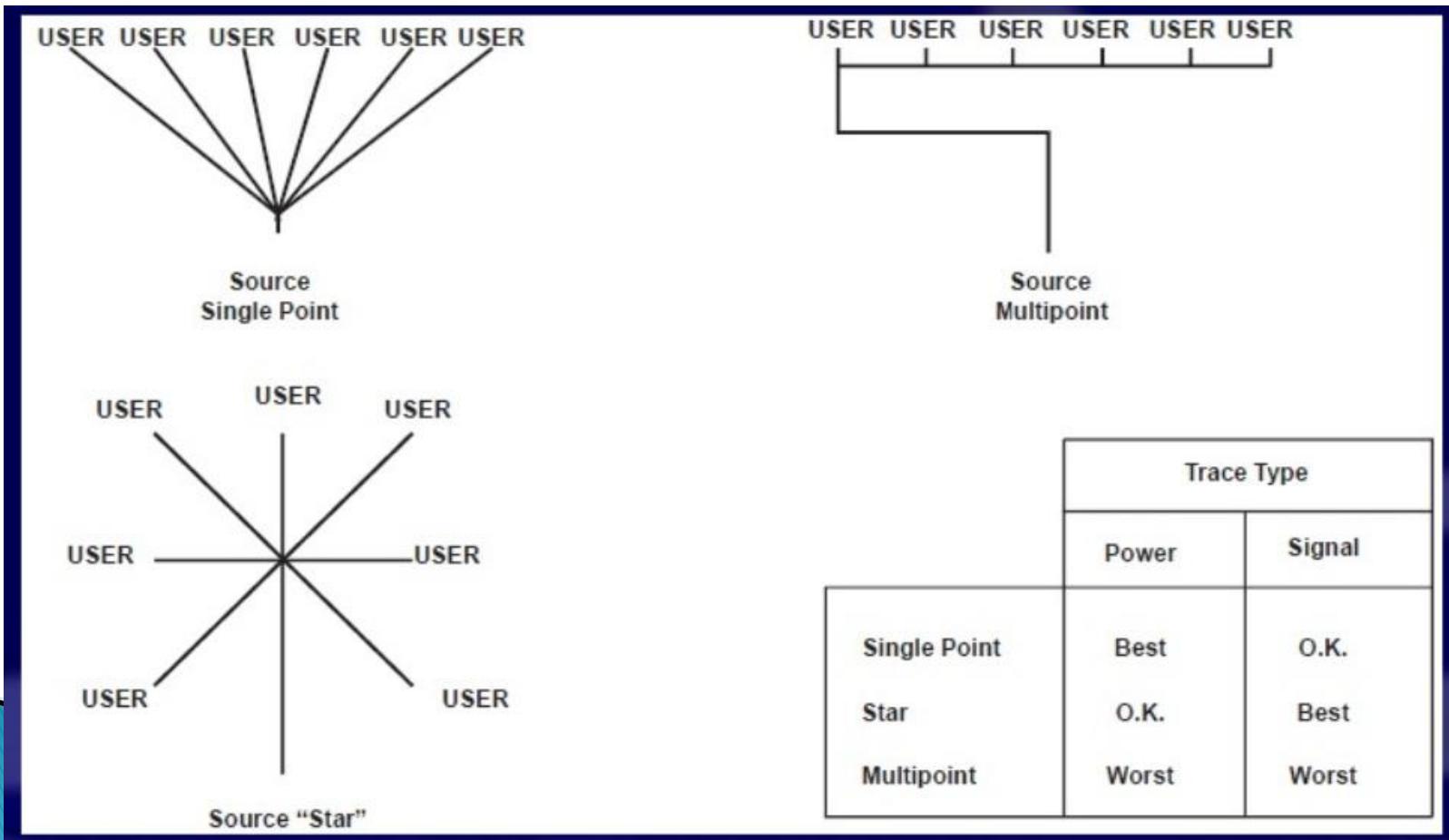
PCB - Longitud de Pista

- ▶ Ejemplo para una pista con rise time : 1nS.

$$\begin{aligned}L_R &= Time * V_P \\&= Time * \frac{C}{\sqrt{\epsilon_R}} \\&= 0.33 * 11.811 / 2 \\&= 1.95in \cong 5.08cm\end{aligned}$$

PCB - Distribución de Alimentación

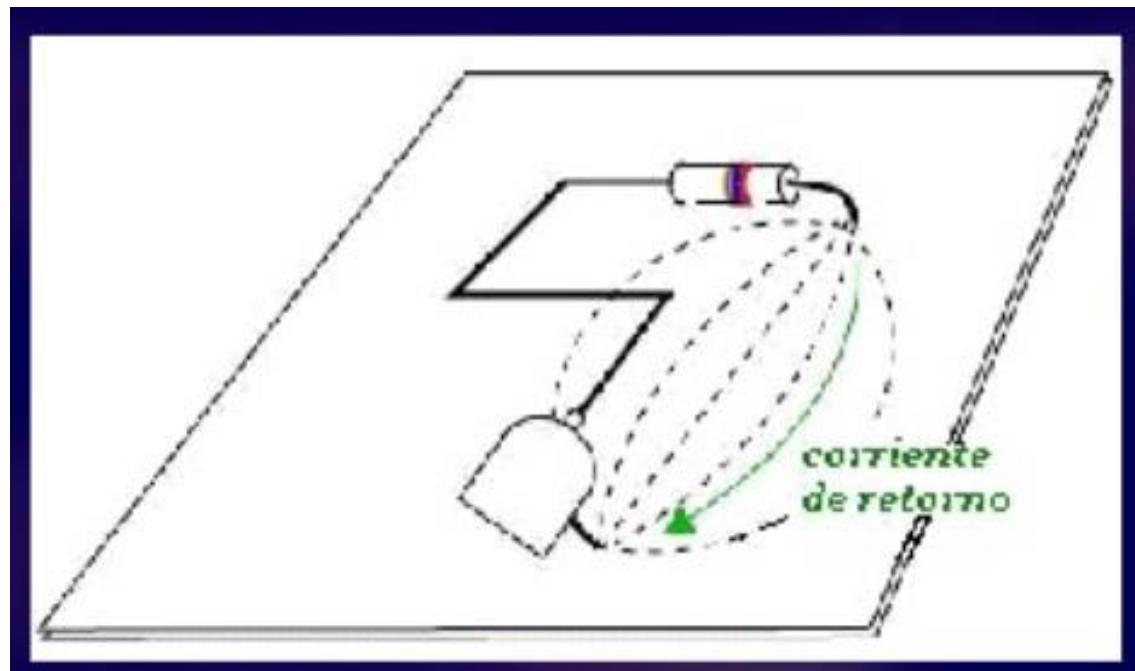
- Se presenta formas para distribuir alimentación.



PCB - Corrientes de Retorno

▶ Baja Frecuencia

- La corriente busca el camino de menor resistencia a través del plano de masa.



PCB - Corrientes de Retorno

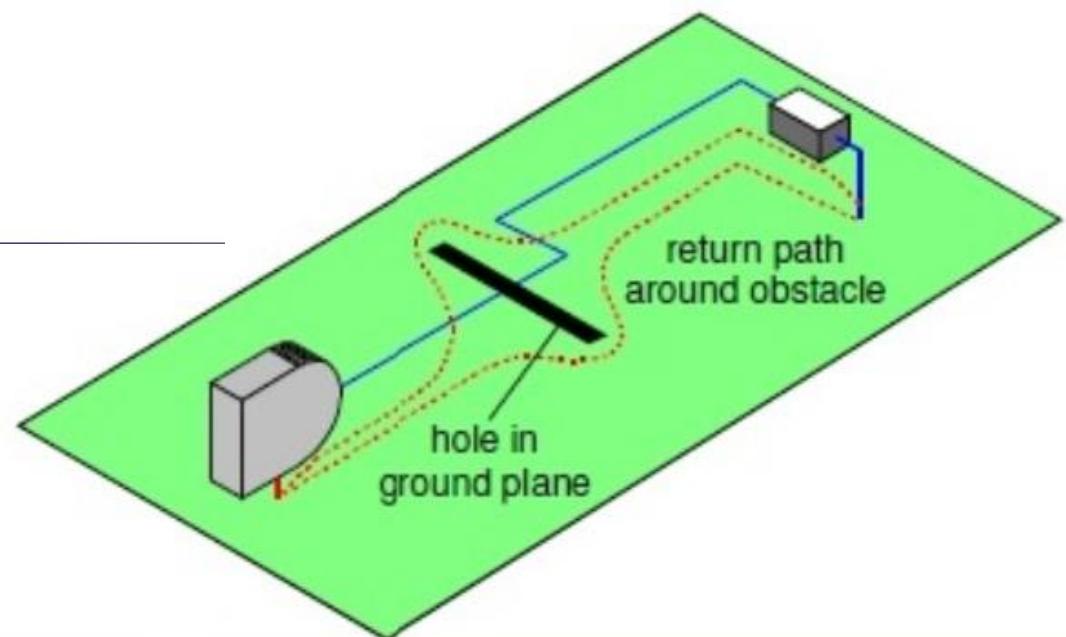
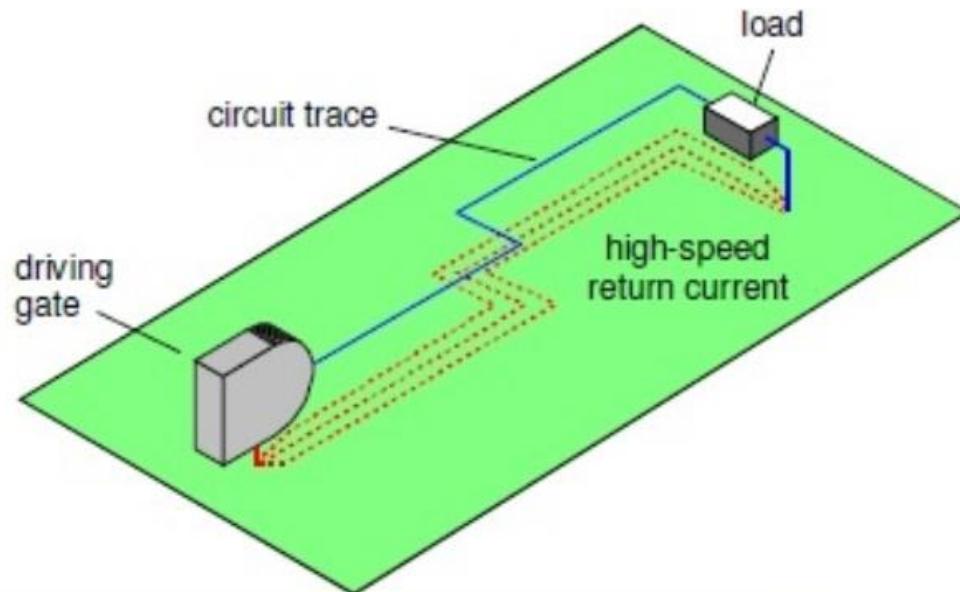
▶ Alta Frecuencia

- La corriente busca el camino de menor inductancia, ubicado debajo del camino de señal.



PCB - Corrientes de Retorno

► Corte en el Plano de masa



Tecnología Electrónica

Ingeniería en Electrónica

Universidad Tecnológica Nacional
Facultad Regional Córdoba

Soldadura - Técnicas

- ▶ Por Fusión o Refusión (REFLOW)
 - Se funde el material de aporte y se deja enfriar
- ▶ Sin Fusión
 - Se aplica calor y presión
- ▶ Mediante adhesivos
 - Se usan colas epoxídicas o resinadas

Soldadura – Fusión – Reflow

▶ Soldadura Blanda

- Aporte de Calor
 - Conducción
 - Convección
 - Radiación
- Temperatura menor a 450°C
- Se emplean aleaciones

▶ Soldadura Dura

- Se emplean materiales puros
- Alto punto de fusión
- Uso en microelectrónica

▶ Soldadura Eutéctica

- Oro – silicio, oro – estaño
- La más usada en microelectrónica

Soldadura - Sin Fusión

▶ Sin Fusión

- Usada en microelectrónica
- Ultrasonido
 - Se emplean frecuencias entre 20KHz y 50KHz
- Termosónica
 - Se sueldan hilos de oro en donde no se puede superar los 130°C
- Termocompresión
 - Se aplica calor (310°C) y presión

▶ Mediante el aporte de Adhesivos

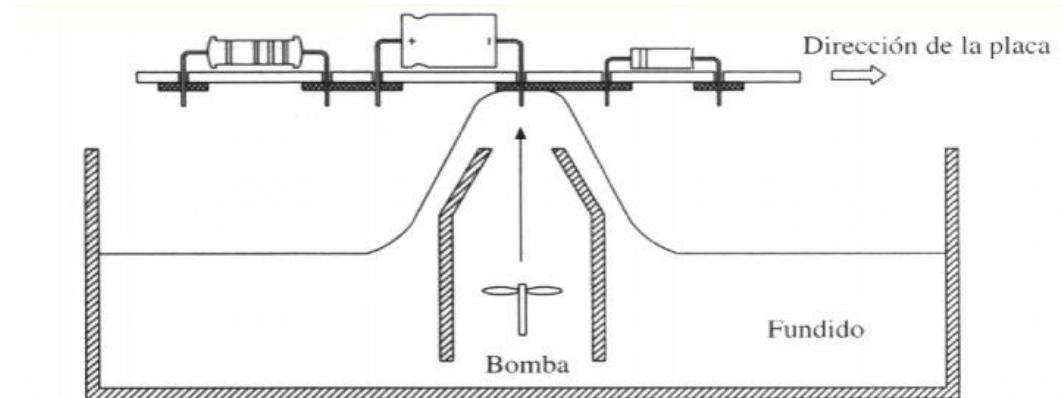
- Colas Epoxis
- Colas de Silicona

Soldadura - Fusión - Reflow

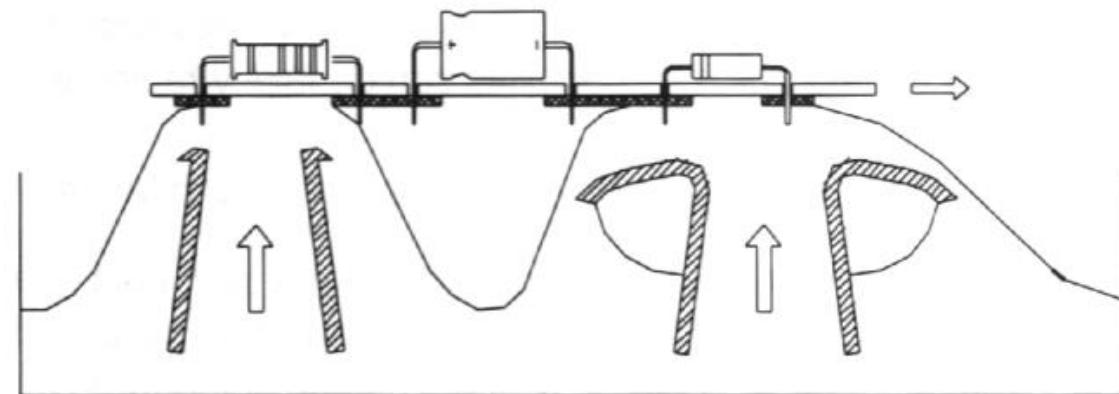
- ▶ Soldadura Blanda – Por Conducción
 - Soldador Manual
 - Por Ola Simple
 - Por doble Ola
 - Por Ola Selectiva
 - Por Inmersión
 - Por placa caliente fija o móvil
 - Electrodos
 - Túnel continuo

Soldadura - Ola

▶ Simple Ola

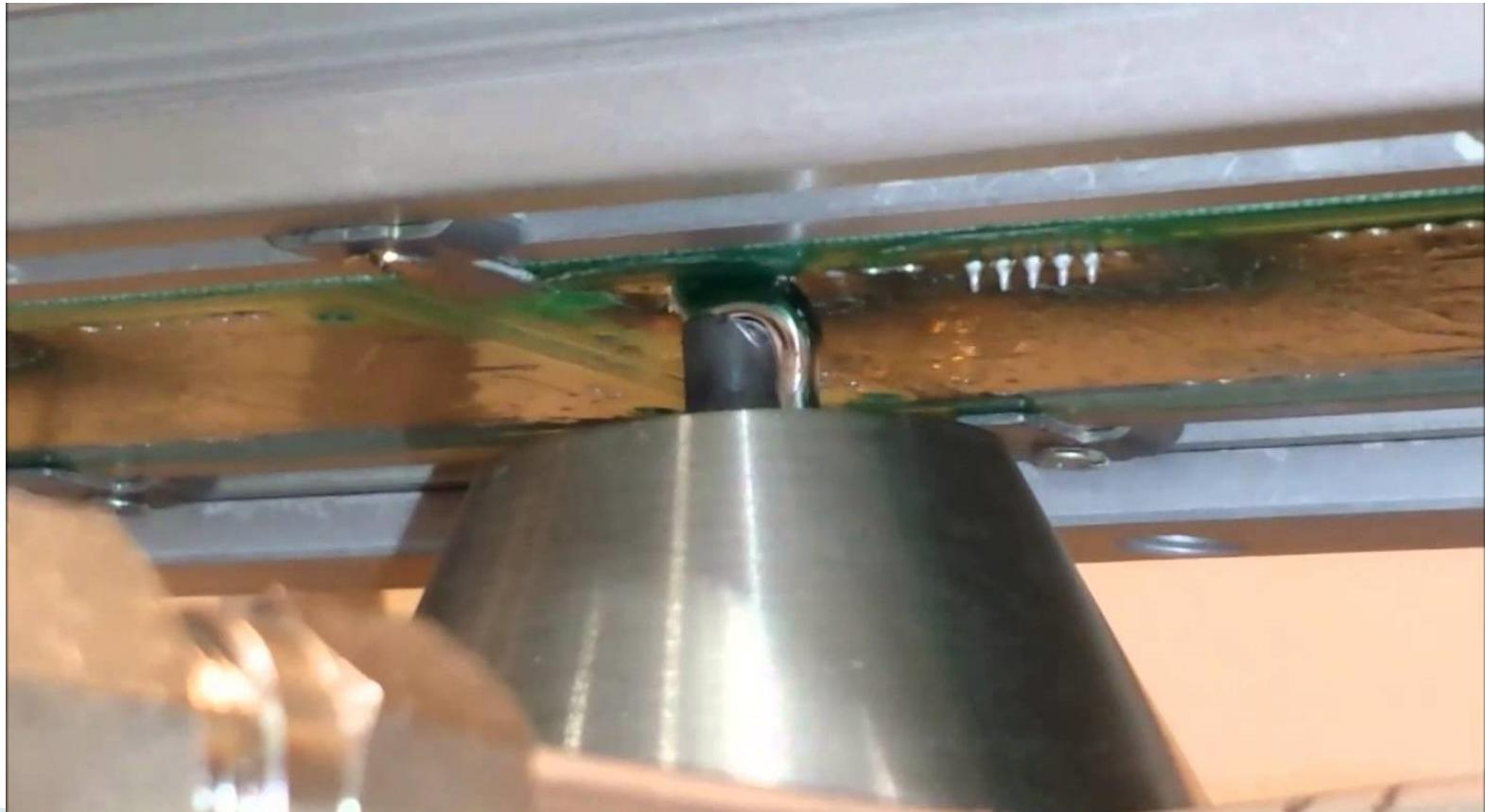


▶ Doble Ola



Soldadura – Ola

- ▶ Ola Selectiva



Soldadura – Ola

▶ Procedimiento

- 1 – Se montan los componentes
- 2 – Se Introduce en la máquina a través de una cinta transportadora
- 3 – Se aplica FLUX
- 4 – Precalentado.
 - Activar el FLUX
 - Evitar el choque térmico
- 5 – Se pasa la placa por la ola
- 6 – Se retira el FLUX remanente.



Soldadura – FLUX

▶ USO

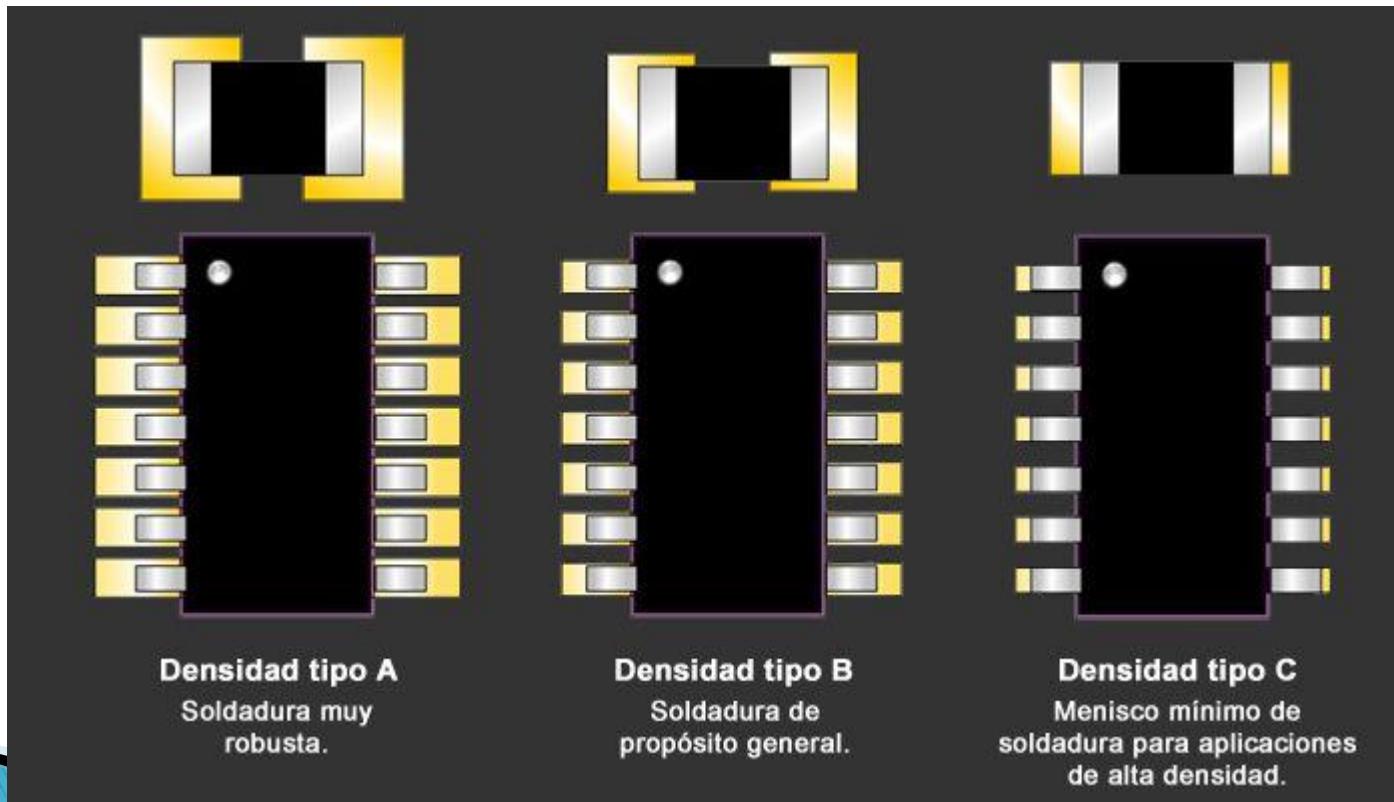
- Reducir el oxido que pueda existir en el PCB y/o componentes a soldar.
- Reducir tensión superficial de la soldadura.
- Sirve para prevenir la re oxidación de la superficie durante la soldadura
- Humecta la superficie.

▶ Tipos

- R – Resina (colofonia)
- RMA – Resina Media Activada
- RA – Resina Activada
- RSA – Resina Súper Activada
- OA – Orgánico Activado
- NO CLEAN (No requiere ser removido)
 - Resina Natural – Sintética
 - VOC – FREE

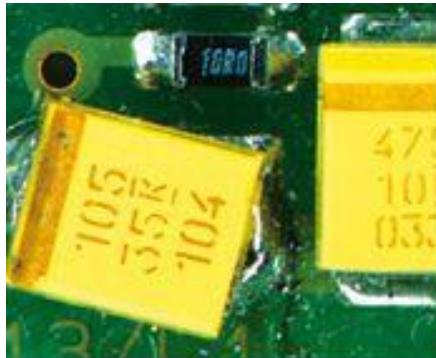
Soldadura - Tips de Diseño

- ▶ El dimensionado de PADS es primordial para el éxito del proceso de soldadura.

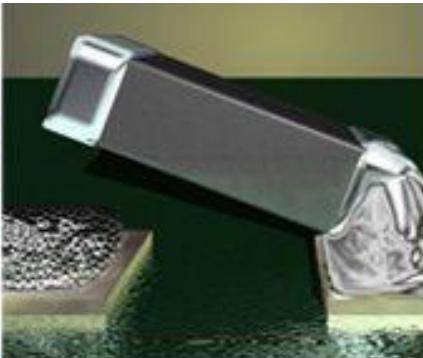


Soldadura - Tips de Diseño

- ▶ Un dimensionado incorrecto



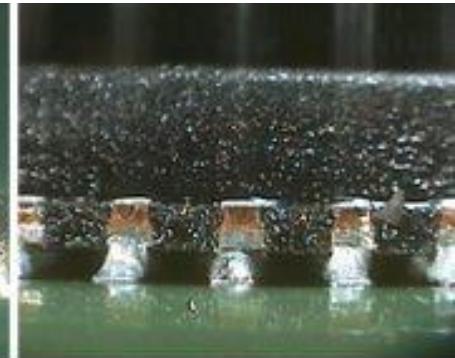
Componente rotado



Defecto Tombstone



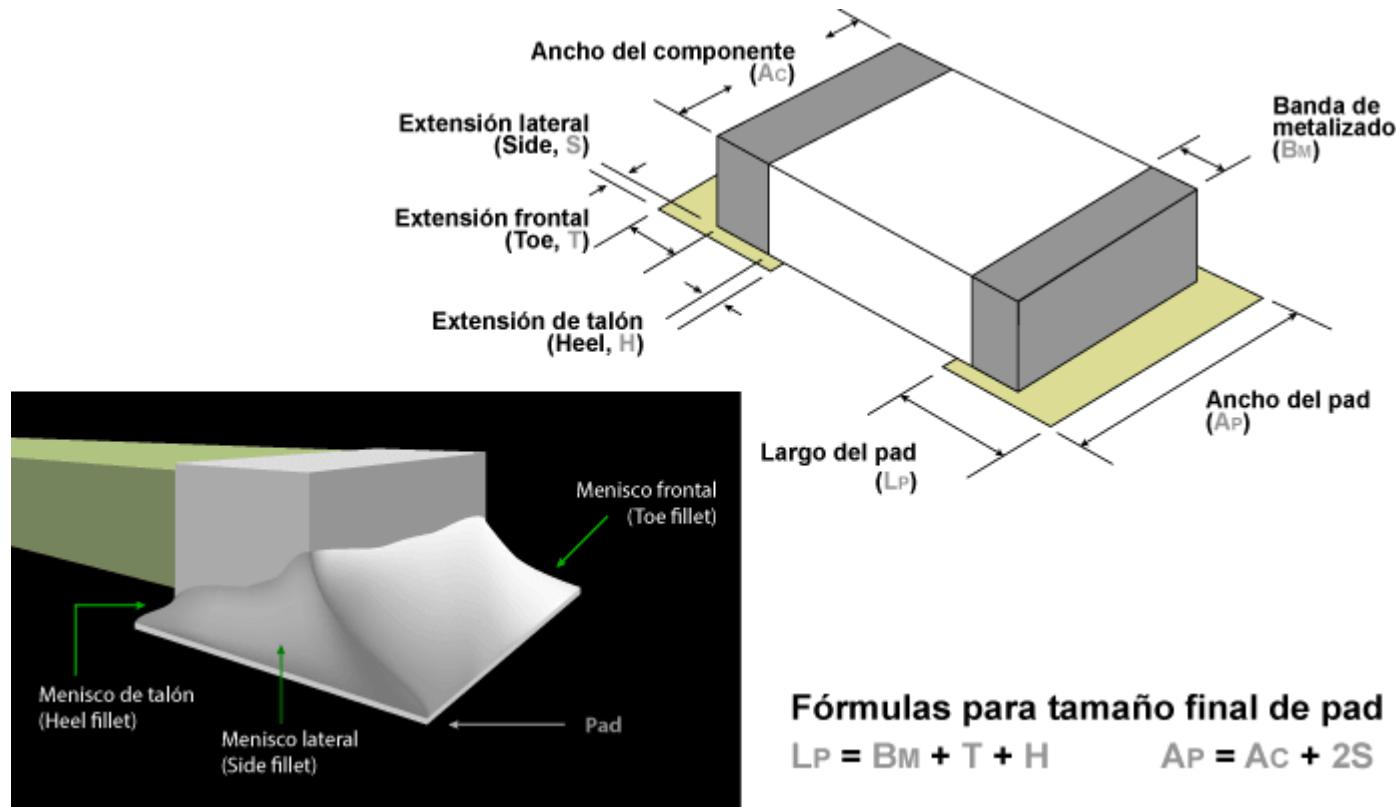
Ausencia de menisco de talón en un QFP



Ausencia de menisco frontal en un QFN

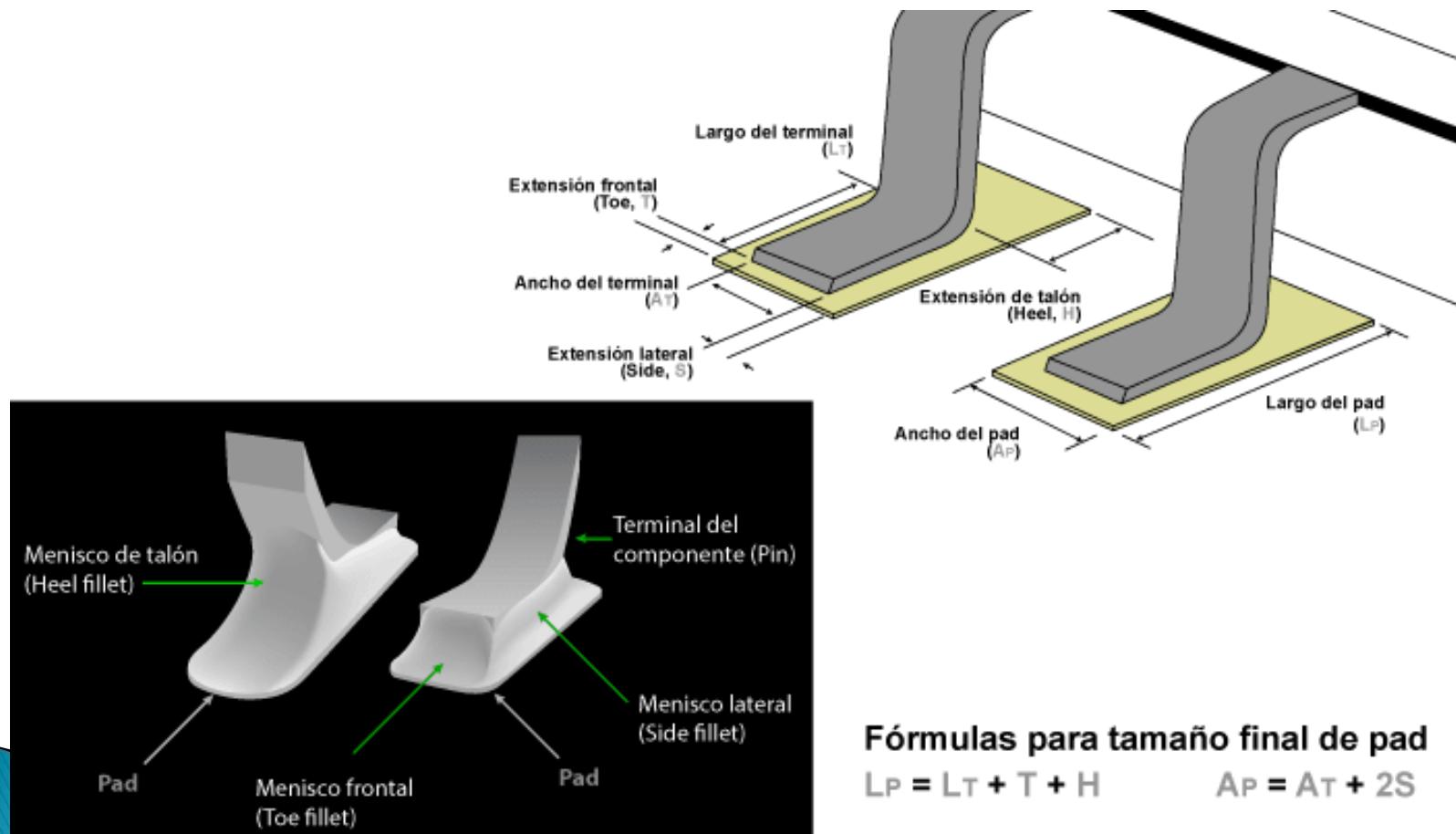
Soldadura - Tips de Diseño

► Dimensiones Recomendadas



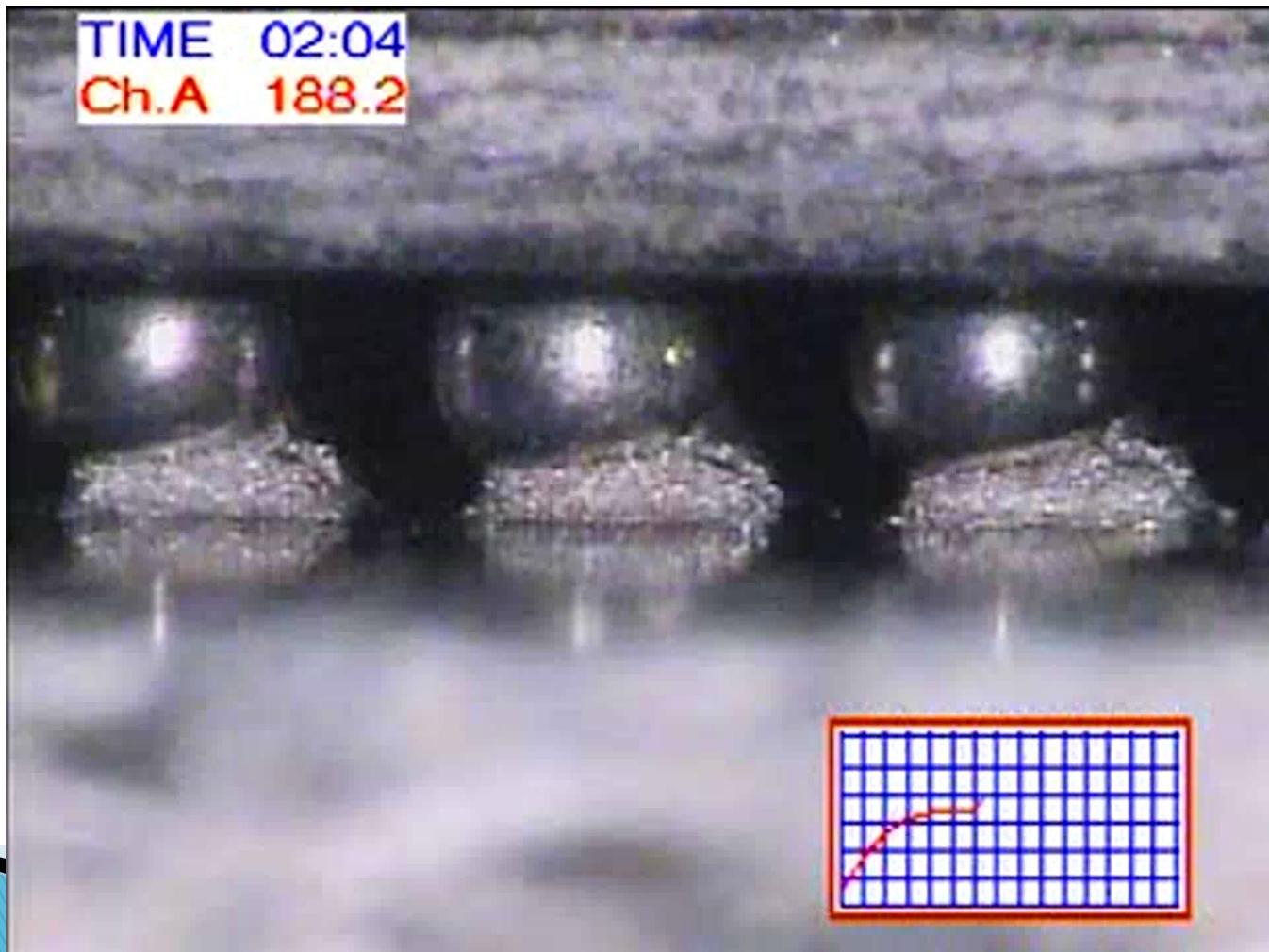
Soldadura - Tips de Diseño

► Dimensiones Recomendadas



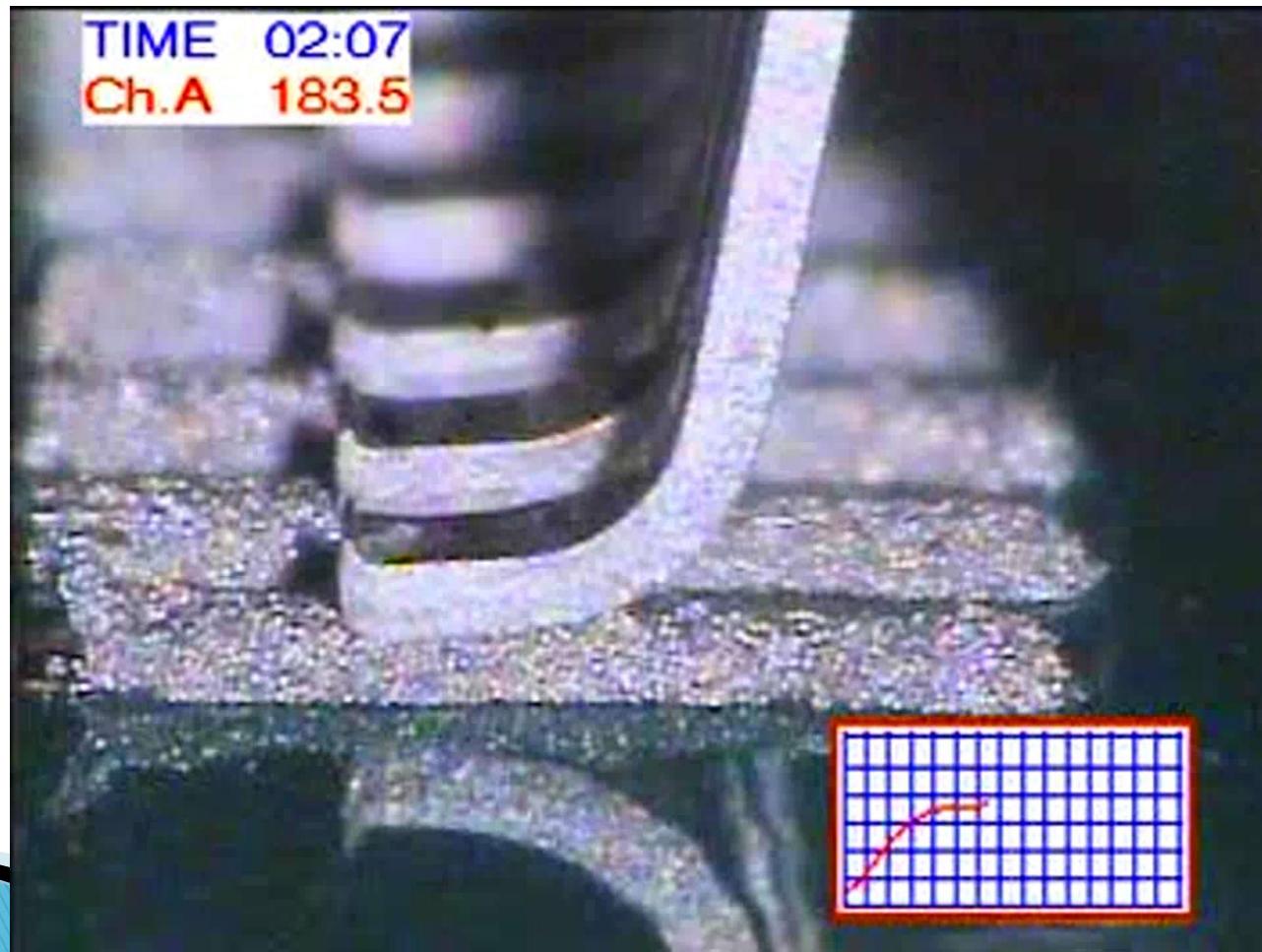
Soldadura - Tips de Diseño

► Dimensiones Recomendadas



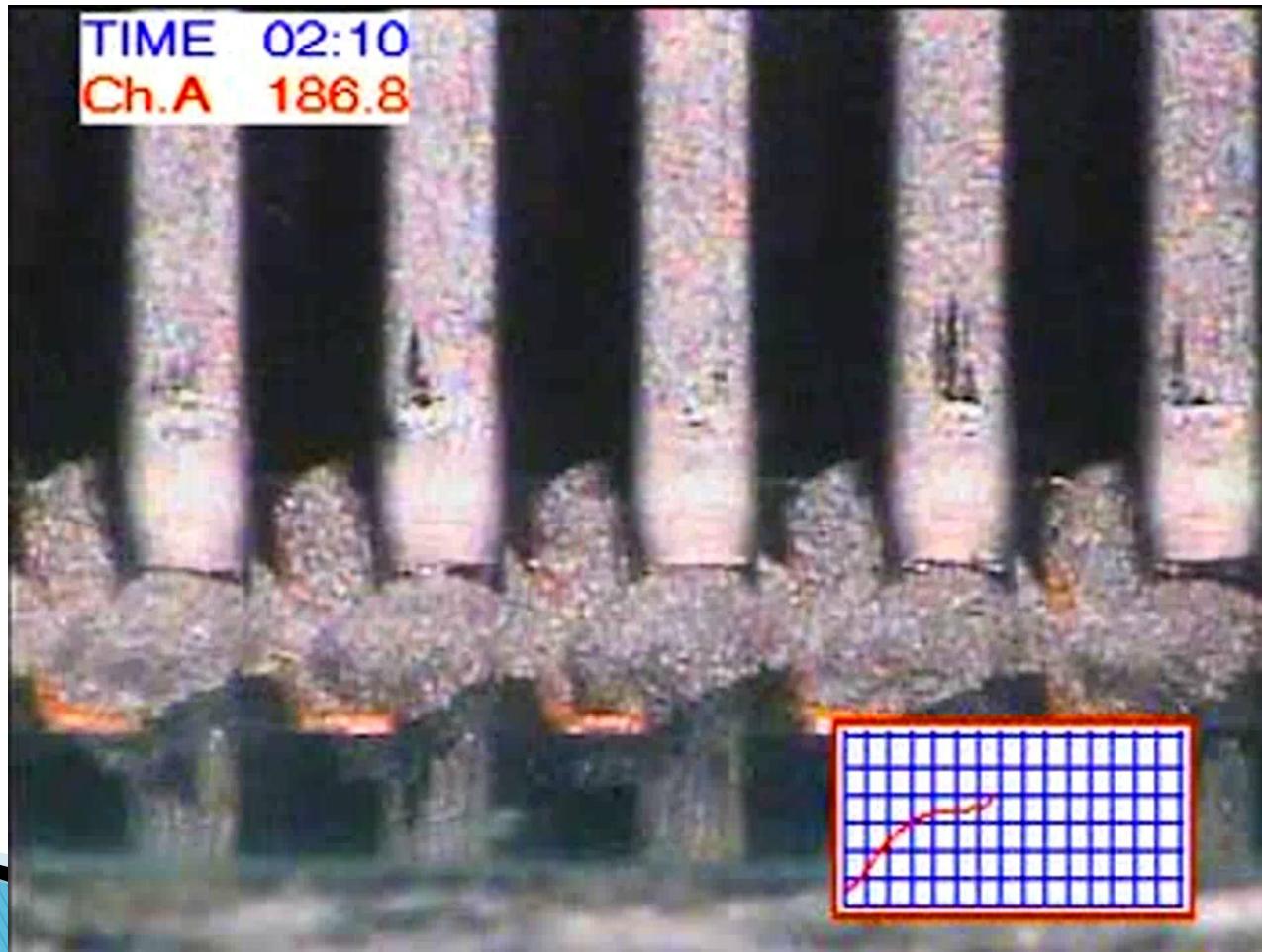
Soldadura - Tips de Diseño

► Dimensiones Recomendadas



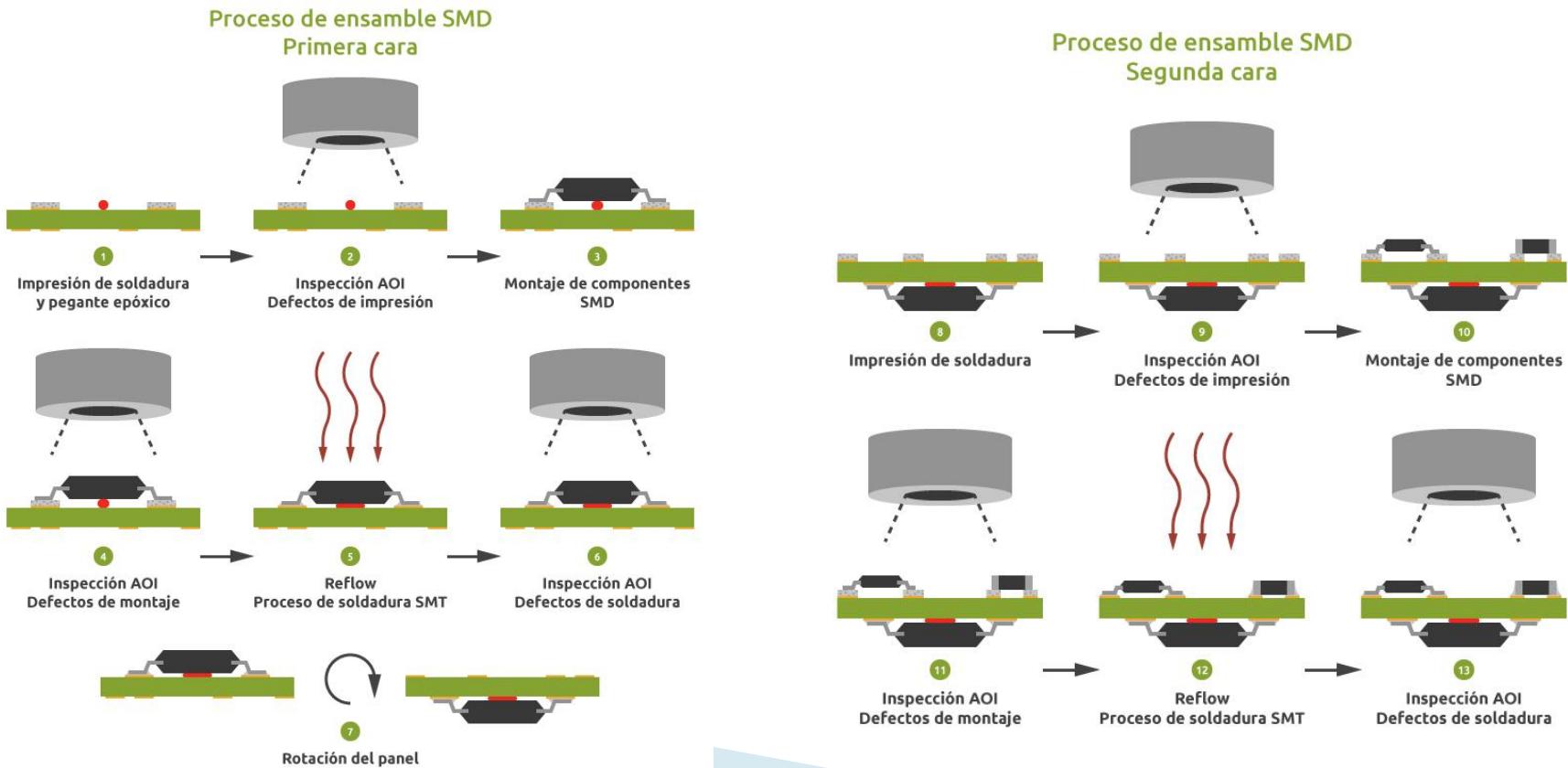
Soldadura - Tips de Diseño

► Dimensiones Recomendadas



Soldadura - Reflow Doble Faz

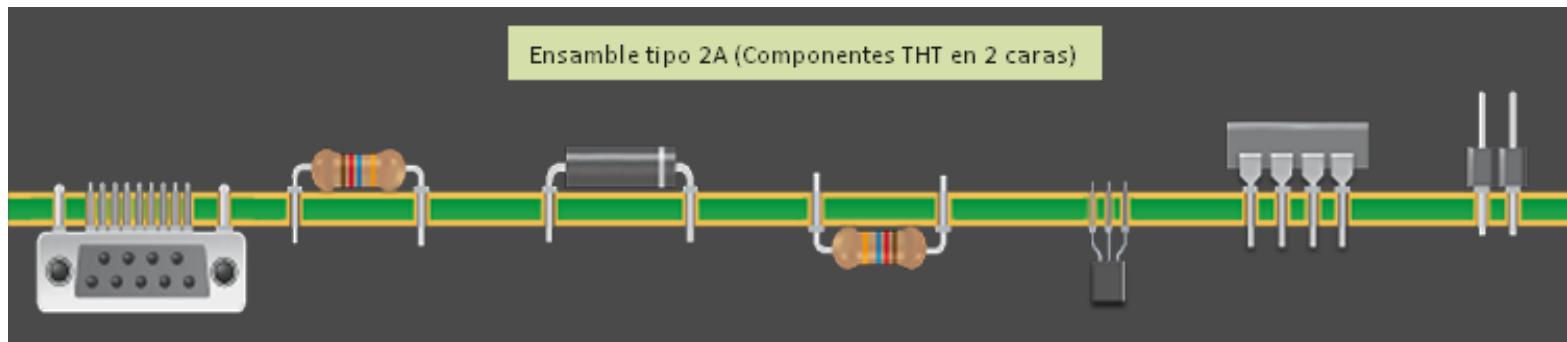
- ▶ Una correcta distribución de componentes SMD (peso) ahorrara costos al momento del montaje y posterior soldadura



Consideraciones Generales

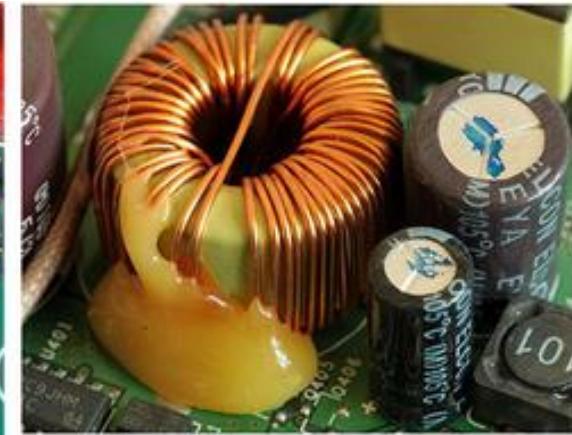
▶ Componentes THT

- Dejar separación entre componentes para futuro trabajo.
- Se debe usar ola selectiva para soldar los componentes de la segunda cara.



Consideraciones Generales

- ▶ Componentes THT – Defectos y Soluciones



Consideraciones Generales

▶ Componentes SMD

- Tratar de poner los componentes activos en una sola capa. En la otra los pasivos.
- Si colocamos componentes tipo BGA, tratar de no poner en la misma posición en la otra cara componentes similar. No se podrá hacer chequeo con RX.
- Verificar la distancia mínima entre componentes de ser posible.

Consideraciones Generales

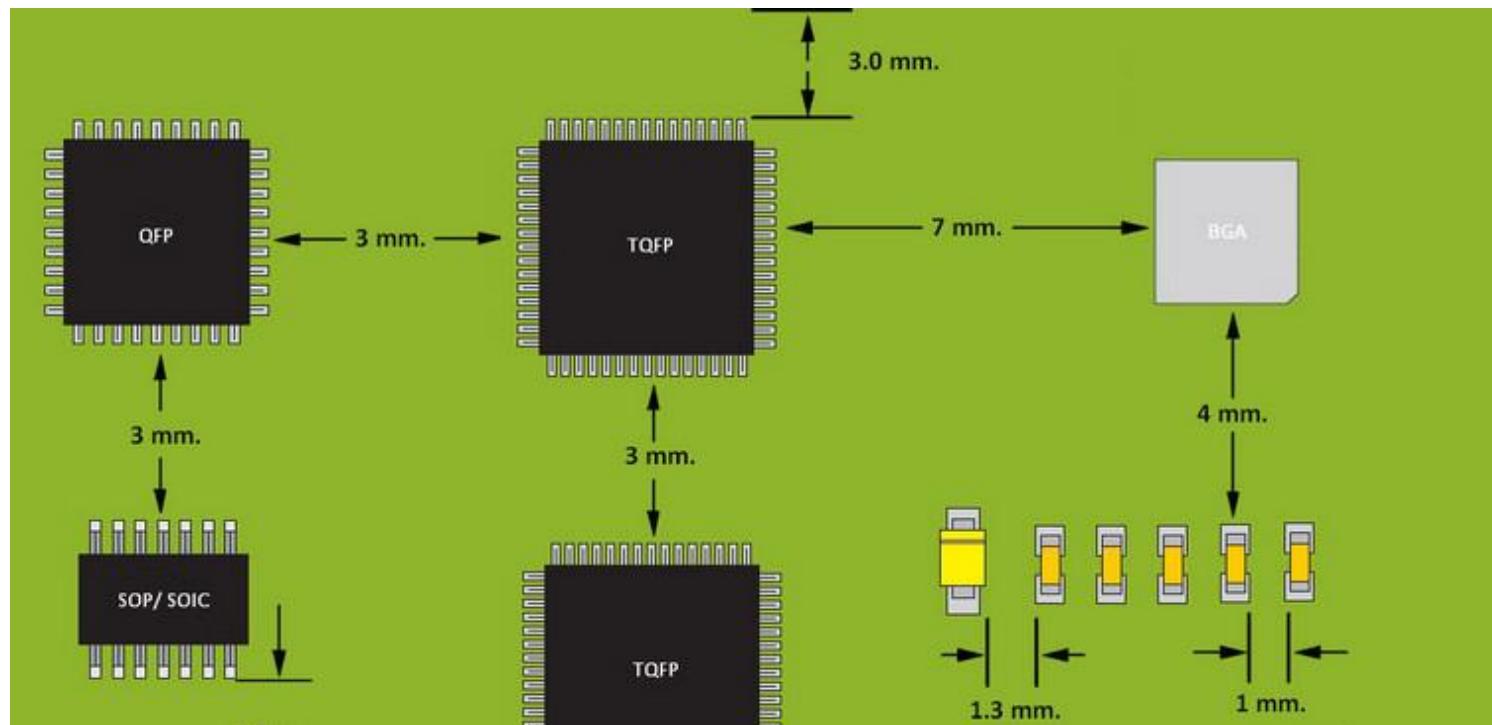
▶ Componentes SMD – Distancias recomendadas

Distancias sugeridas entre encapsulados para prevenir cortos y facilitar procesos de reparación

Tipo de encapsulado	Componentes Pasivos	Condensadores tantalio	SOT23 y similares	SOIC SOP/ SSOP	QFP/ TQFP QFN	PLCC	BGA	CSP	DIP
Componentes Pasivos	1 mm	1.3 mm	1.3 mm	1 mm	3 mm	1.3 mm	4 mm	4 mm	1.6 mm
Condensadores de tantalio	1.3 mm	1.3 mm	2 mm	1.5 mm	3 mm	3 mm	4 mm	3 mm	1.6 mm
SOT23 y similares	1.3 mm	2 mm	1 mm	1.3 mm	3 mm	3 mm	4 mm	4 mm	1.6 mm
SOIC SOP/ SSOP	1 mm	1.5 mm	1.3 mm	1.3 mm	3 mm	3 mm	4 mm	4 mm	1.6 mm
QFP/ TQFP QFN	3 mm	3 mm	3 mm	3 mm	3 mm	3 mm	7 mm	7 mm	3 mm
PLCC	1.3 mm	3 mm	3 mm	3 mm	3 mm	3 mm	4 mm	4 mm	1.6 mm
BGA	4 mm	4 mm	4 mm	4 mm	7 mm	4 mm	7 mm	7 mm	4 mm
CSP	4 mm	3 mm	4 mm	4 mm	7 mm	4 mm	7 mm	3 mm	4 mm
DIP	1.6 mm	1.6 mm	1.6 mm	1.6 mm	3 mm	1.6 mm	4 mm	4 mm	3 mm

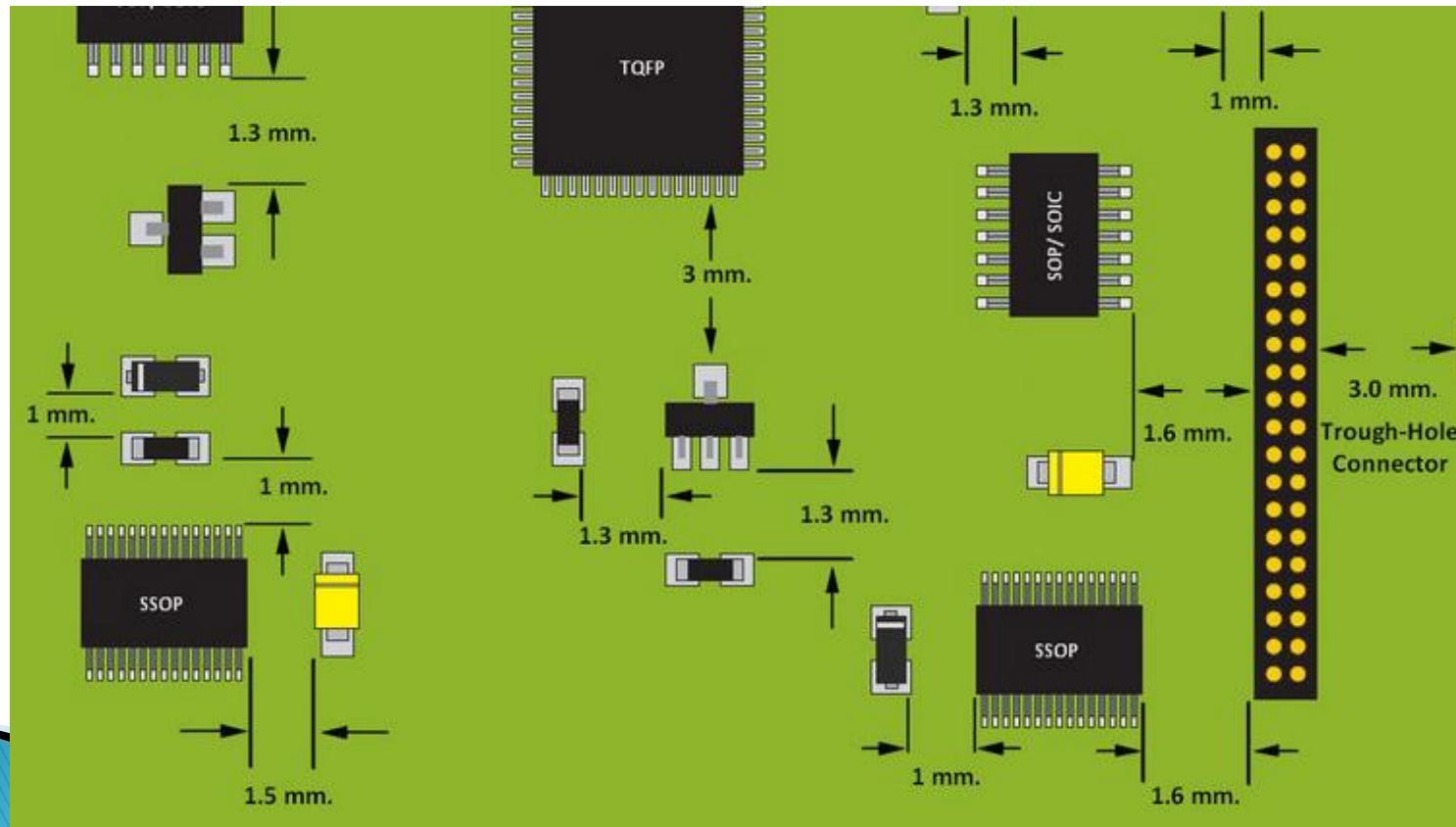
Consideraciones Generales

- ▶ Componentes SMD – Distancias recomendadas



Consideraciones Generales

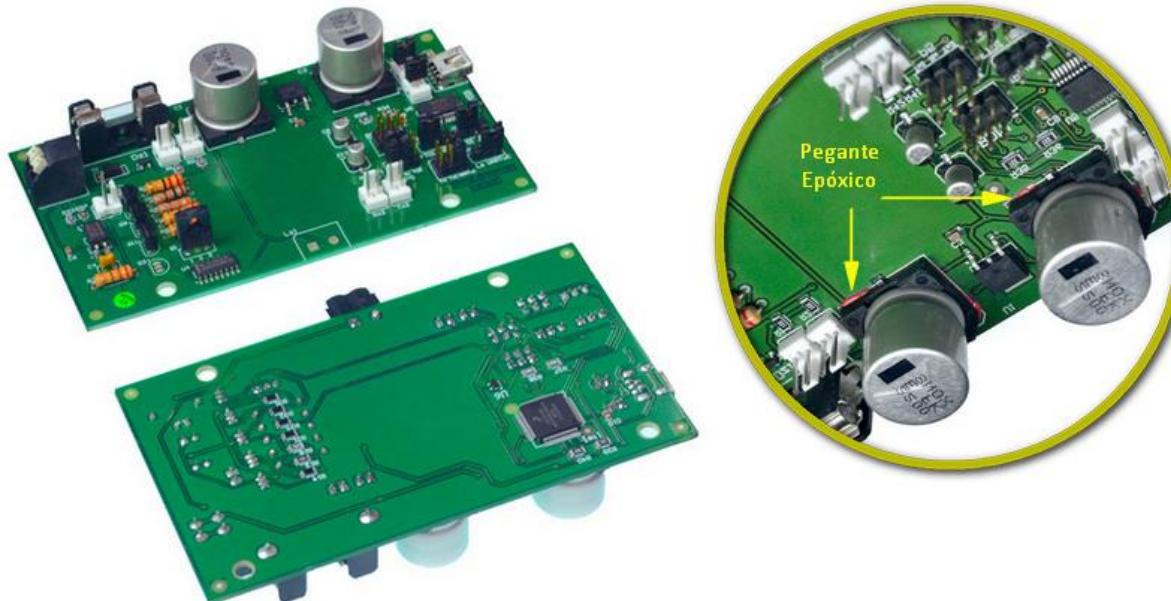
- ▶ Componentes SMD – Distancias recomendadas



Consideraciones Generales

▶ Componentes SMD

- Altura de componentes SMD en la primer cara 2,4mm. Optimo (1,7mm)
- Componentes más altos deben ir en la segunda cara a procesar.
- De ser necesario aplicar pegamento

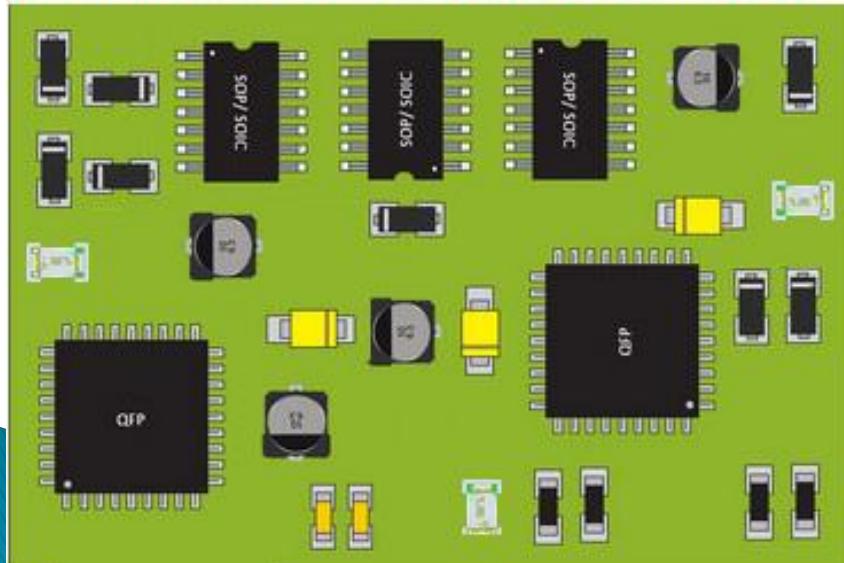


Consideraciones Generales

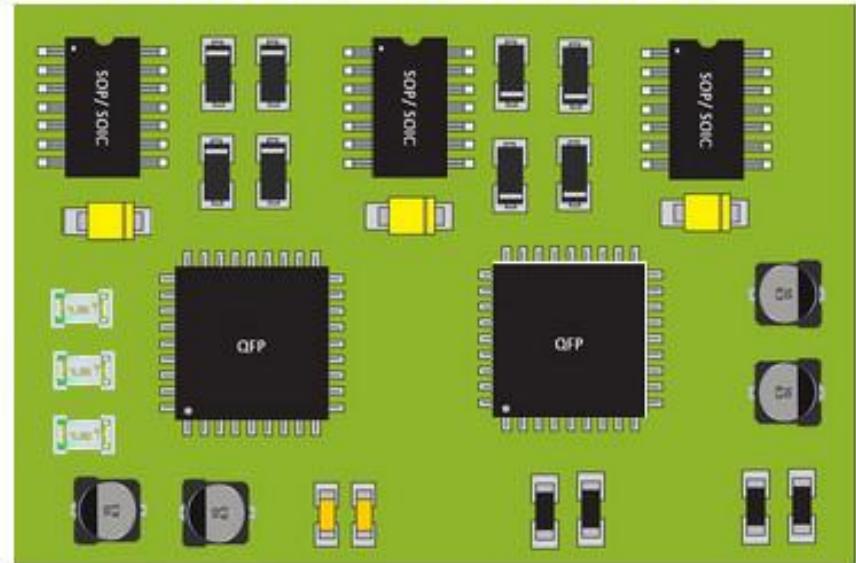
▶ Componentes SMD

- Verificar en las hojas de datos que los componentes SMD soporten mas de un proceso de REFLOW. (leds por ejemplo no lo hacen)
- Distribución de Polaridad Recomendada

Posición de componentes polarizados no recomendada



Posición de componentes polarizados sugerida

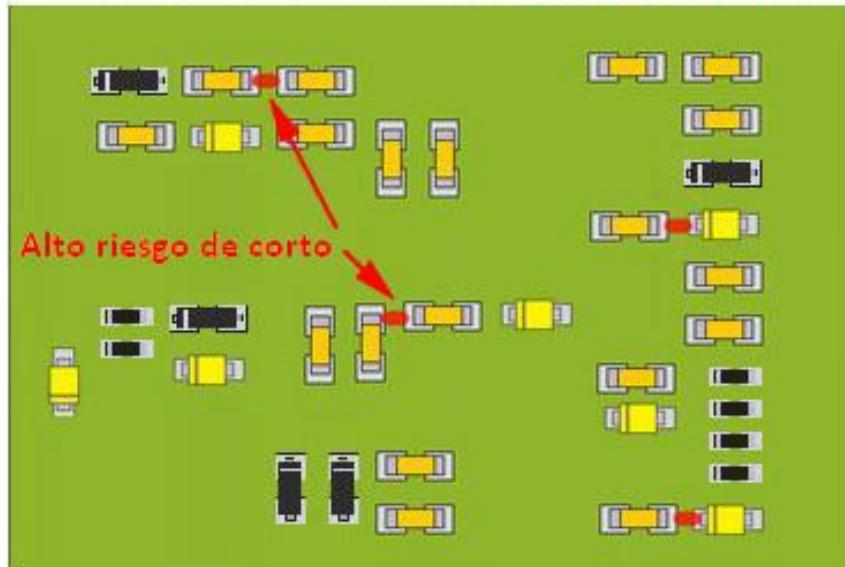


Consideraciones Generales

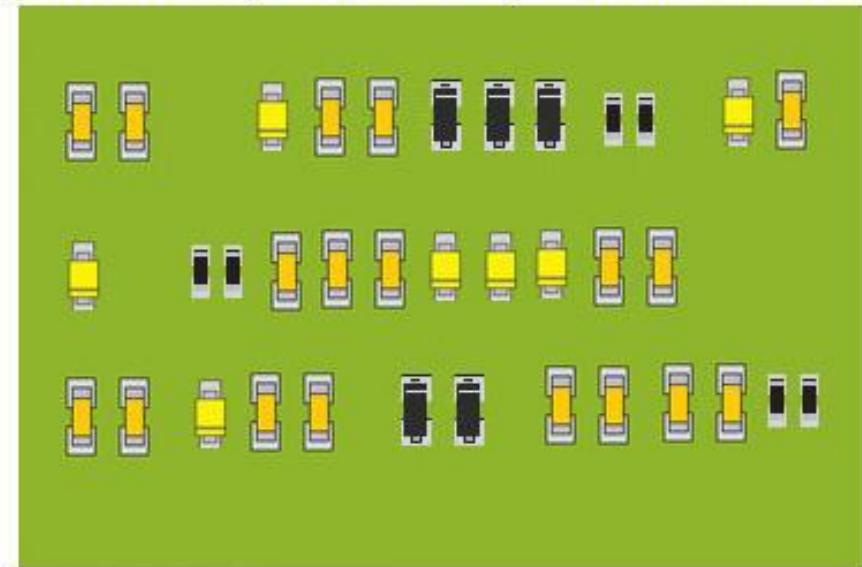
▶ Componentes SMD

- Si se emplea proceso por ola, se recomienda la siguiente distribución de componentes.

Orientación de componentes no recomendada



Orientación preferida: Perpendicular a la ola



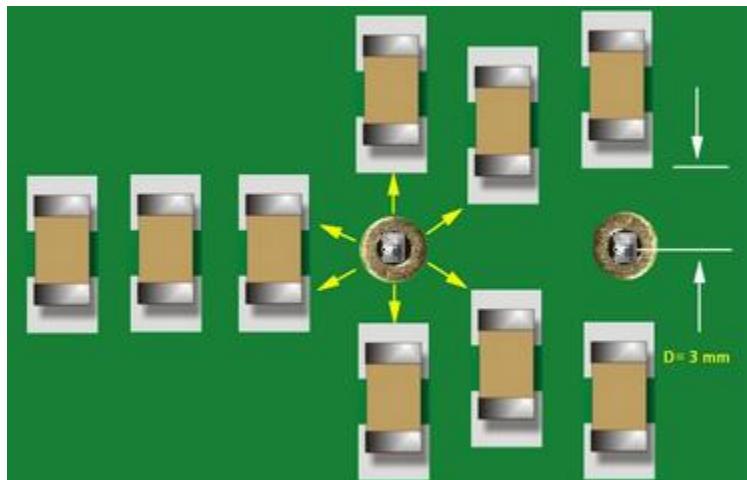
Dirección del proceso de soldadura por ola



Consideraciones Generales

▶ Componentes SMD + THT

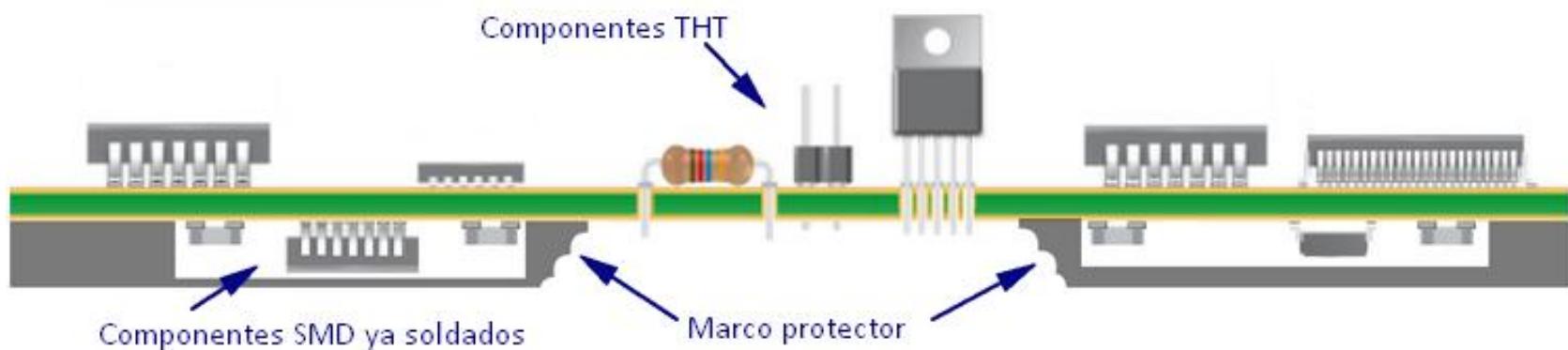
- Dejar separación mínima para evitar que los componentes se desuelden



Consideraciones Generales

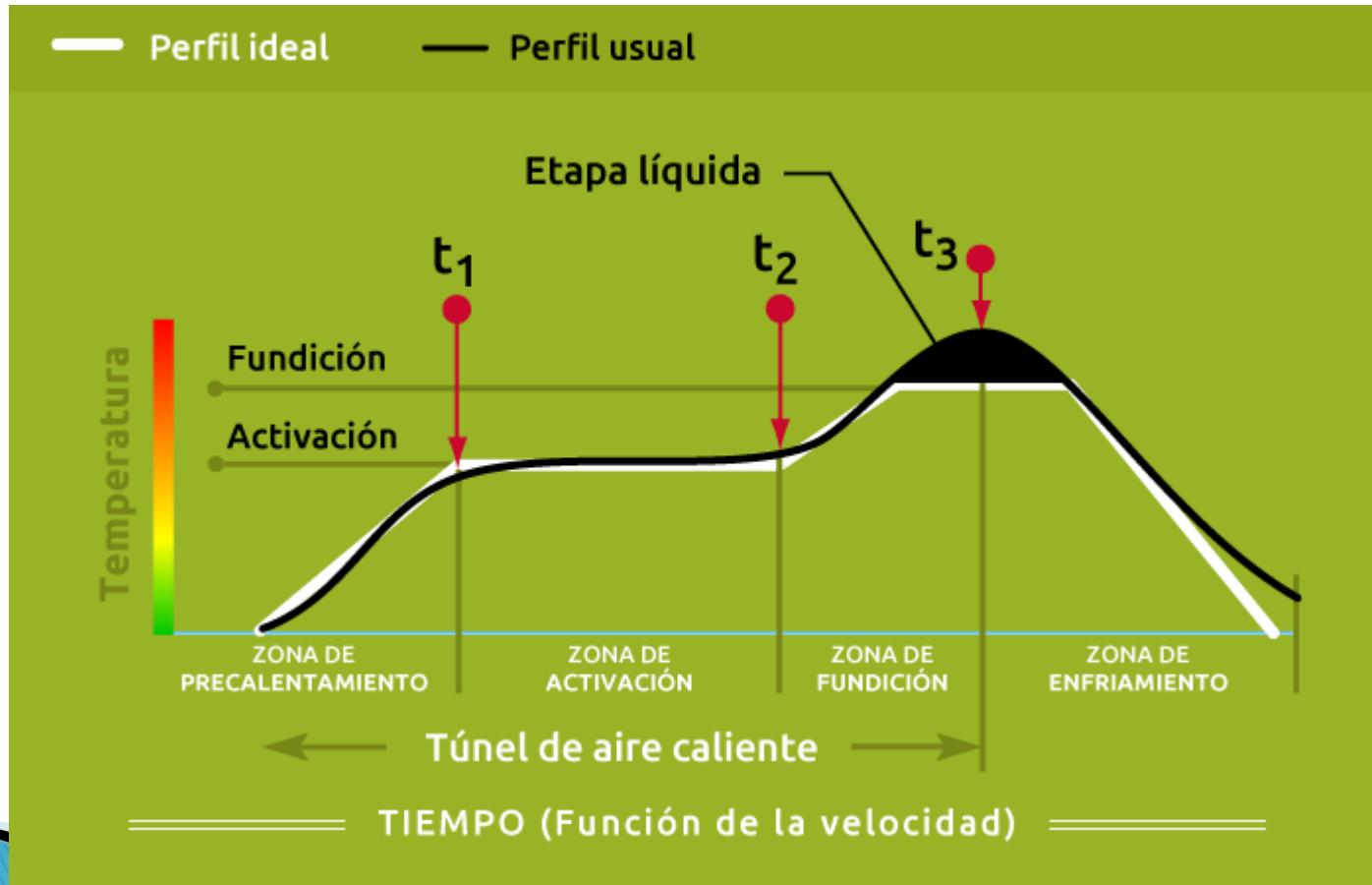
▶ Componentes SMD + THT

- Si aplica el uso de marco protector para soldadura por ola. Diseñar para que sea lo mas sencillo posible.



Consideraciones Generales

▶ Perfil Térmico en proceso de Reflow



Consideraciones Generales

► Defectos en Perfil Térmico

- Posible Fractura del encapsulado
- No se active el Flux
- Mayor temperatura en t3 → puede provocar delaminación del PCB, quemadura en el PCB, daño en los componentes
- Menor temperatura en t3 → Soldaura fría
- Velocidad de enfriamiento elevada → soldadura frágil, fractura de encapsulados.

Consideraciones Generales

▶ Perfilado del Horno

The X5 logo consists of a large, stylized letter 'X' in yellow, with a smaller '5' positioned to its right, all set against a dark background.

1. Get an accurate profile - quickly
2. Get oven setup suggestions

www.kicthermal.com

www.kic.cn

Tecnología Electrónica

Ingeniería en Electrónica

Universidad Tecnológica Nacional
Facultad Regional Córdoba

Soldadura - Técnicas

- ▶ Por Fusión o Refusión (REFLOW)
 - Se funde el material de aporte y se deja enfriar
- ▶ Sin Fusión
 - Se aplica calor y presión
- ▶ Mediante adhesivos
 - Se usan colas epoxídicas o resinadas

Soldadura – Fusión – Reflow

▶ Soldadura Blanda

- Aporte de Calor
 - Conducción
 - Convección
 - Radiación
- Temperatura menor a 450°C
- Se emplean aleaciones

▶ Soldadura Dura

- Se emplean materiales puros
- Alto punto de fusión
- Uso en microelectrónica

▶ Soldadura Eutéctica

- Oro – silicio, oro – estaño
- La más usada en microelectrónica

Soldadura - Sin Fusión

▶ Sin Fusión

- Usada en microelectrónica
- Ultrasonido
 - Se emplean frecuencias entre 20KHz y 50KHz
- Termosónica
 - Se sueldan hilos de oro en donde no se puede superar los 130°C
- Termocompresión
 - Se aplica calor (310°C) y presión

▶ Mediante el aporte de Adhesivos

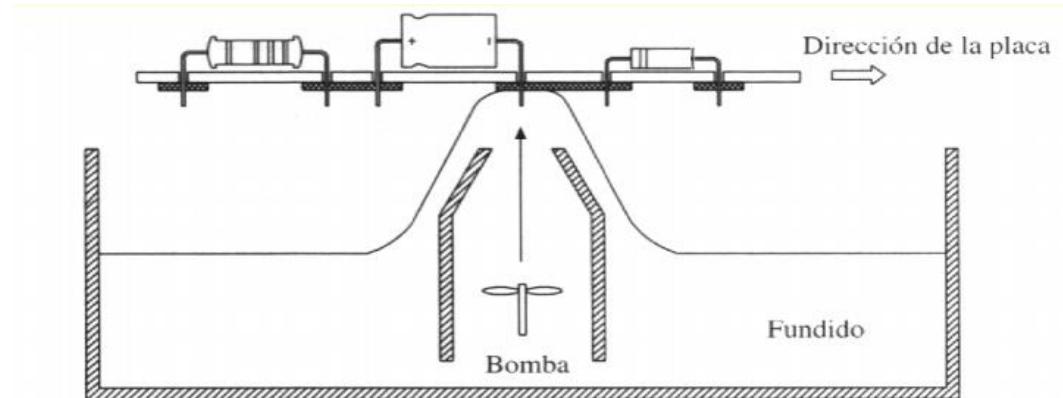
- Colas Epoxis
- Colas de Silicona

Soldadura - Fusión - Reflow

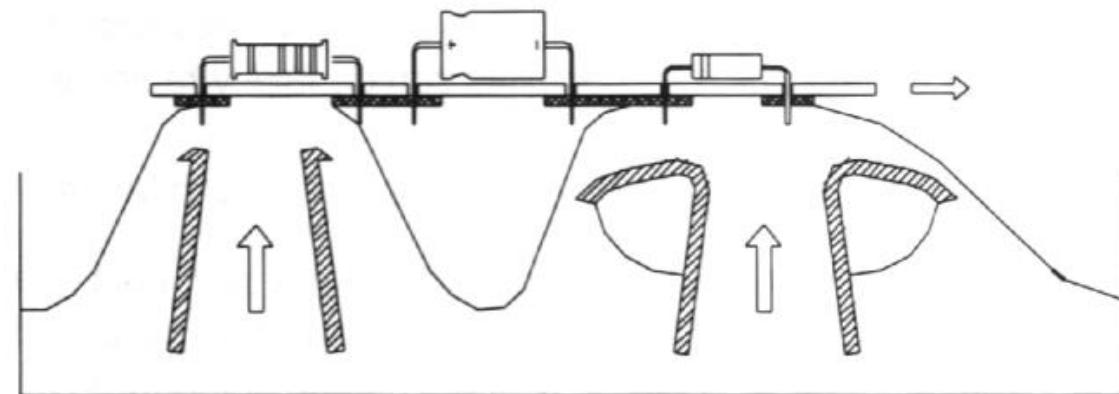
- ▶ Soldadura Blanda – Por Conducción
 - Soldador Manual
 - Por Ola Simple
 - Por doble Ola
 - Por Ola Selectiva
 - Por Inmersión
 - Por placa caliente fija o móvil
 - Electrodos
 - Túnel continuo

Soldadura - Ola

▶ Simple Ola

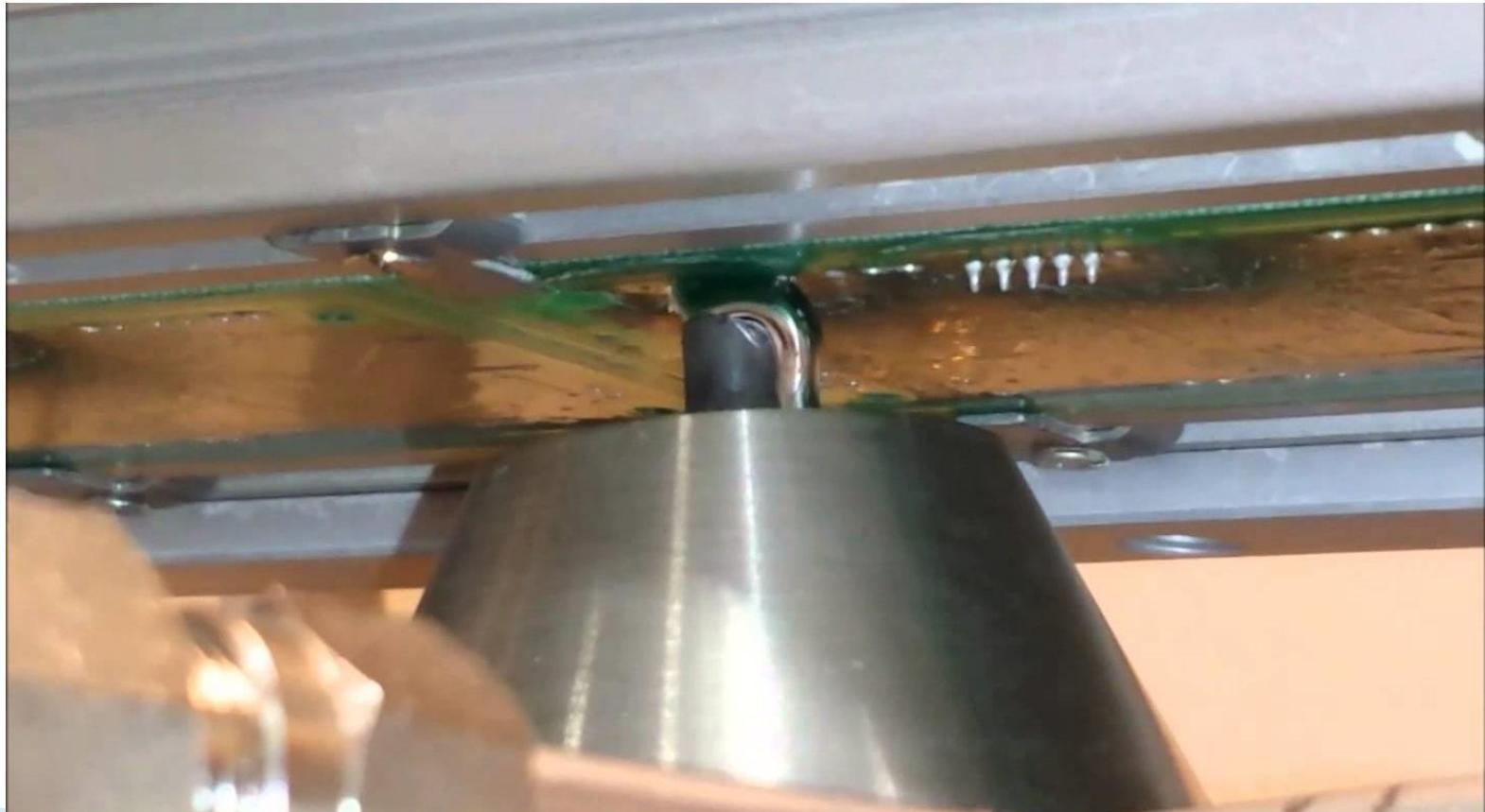


▶ Doble Ola



Soldadura – Ola

- ▶ Ola Selectiva



Soldadura – Ola

▶ Procedimiento

- 1 – Se montan los componentes
- 2 – Se Introduce en la máquina a través de una cinta transportadora
- 3 – Se aplica FLUX
- 4 – Precalentado.
 - Activar el FLUX
 - Evitar el choque térmico
- 5 – Se pasa la placa por la ola
- 6 – Se retira el FLUX remanente.



Soldadura – FLUX

▶ USO

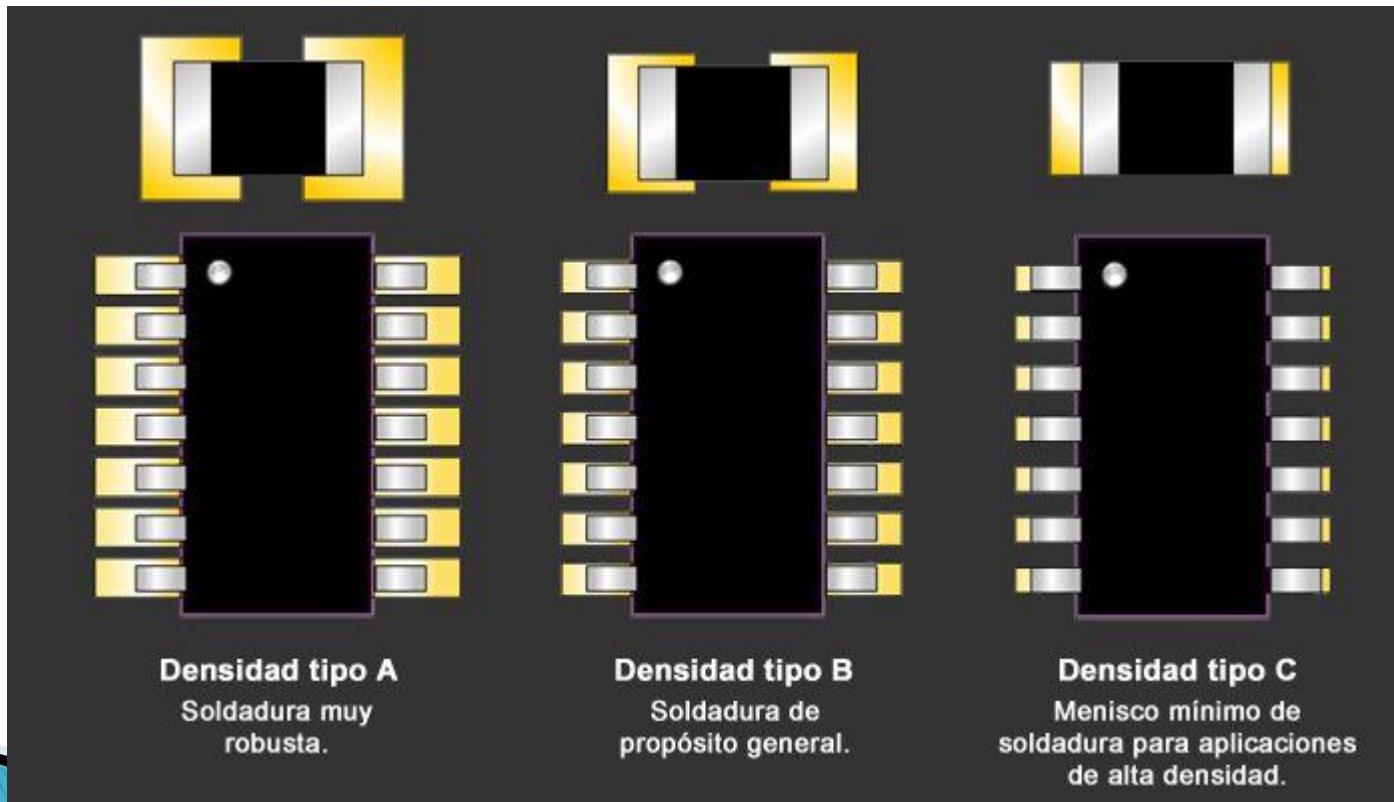
- Reducir el oxido que pueda existir en el PCB y/o componentes a soldar.
- Reducir tensión superficial de la soldadura.
- Sirve para prevenir la re oxidación de la superficie durante la soldadura
- Humecta la superficie.

▶ Tipos

- R – Resina
- RMA – Resina Media Activada
- RA – Resina Activada
- RSA – Resina Súper Activada
- OA – Orgánico Activado
- NO CLEAN
 - Resina Natural – Sintética
 - VOC – FREE

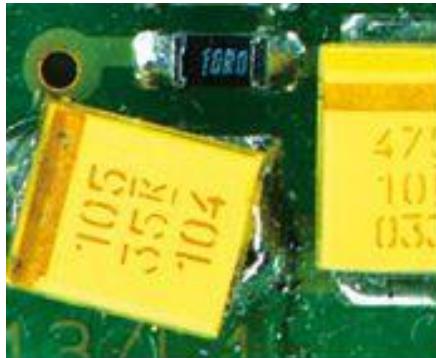
Soldadura - Tips de Diseño

- ▶ El dimensionado de PADS es primordial para el éxito del proceso de soldadura.

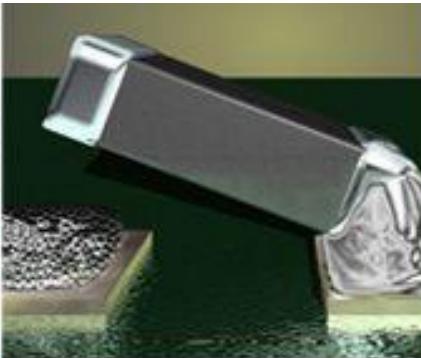


Soldadura - Tips de Diseño

- ▶ Un dimensionado incorrecto



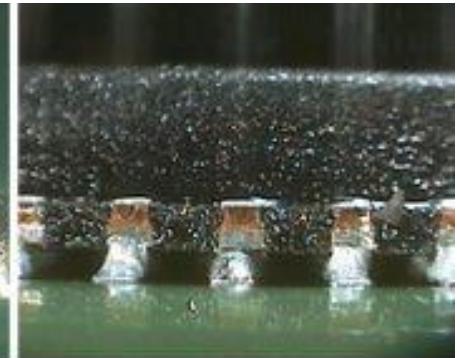
Componente rotado



Defecto Tombstone



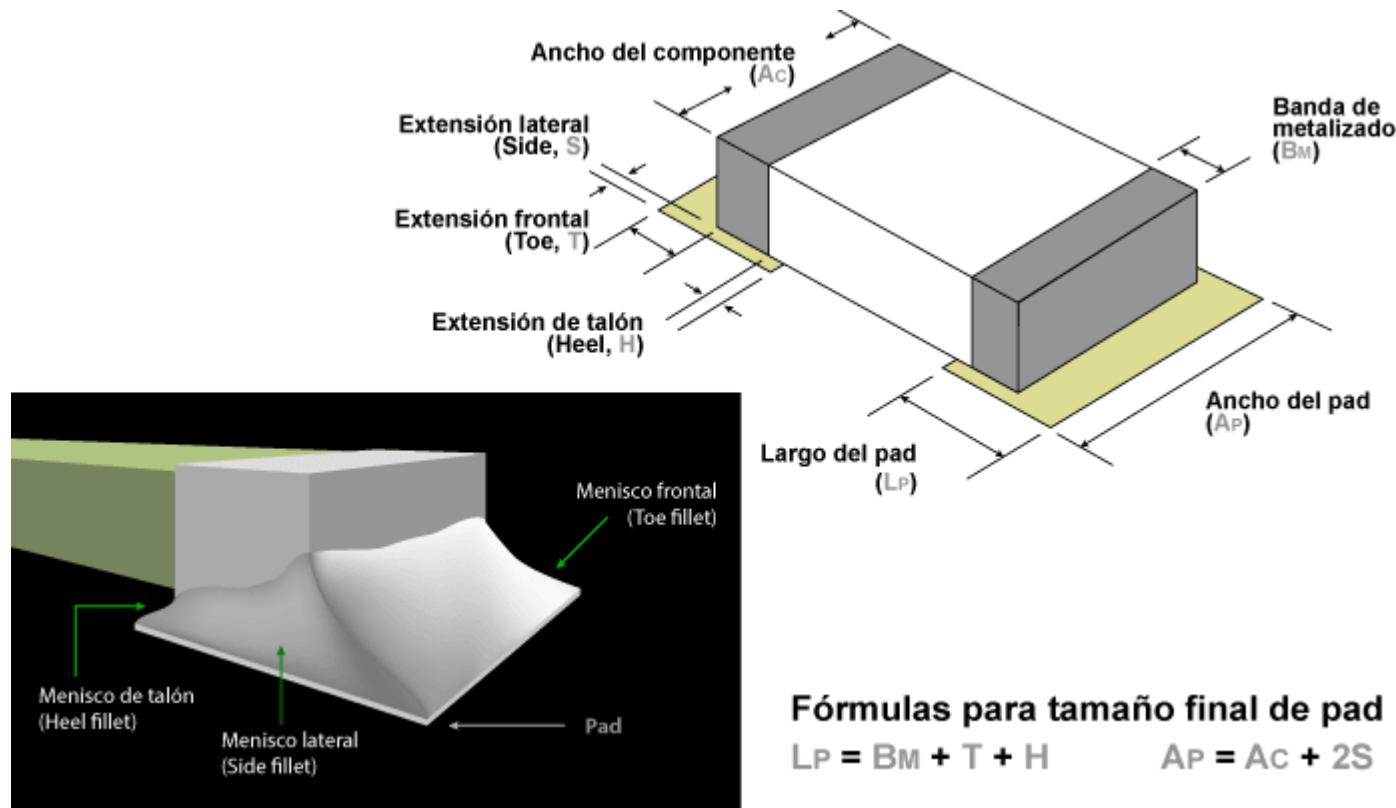
Ausencia de menisco de talón en un QFP



Ausencia de menisco frontal en un QFN

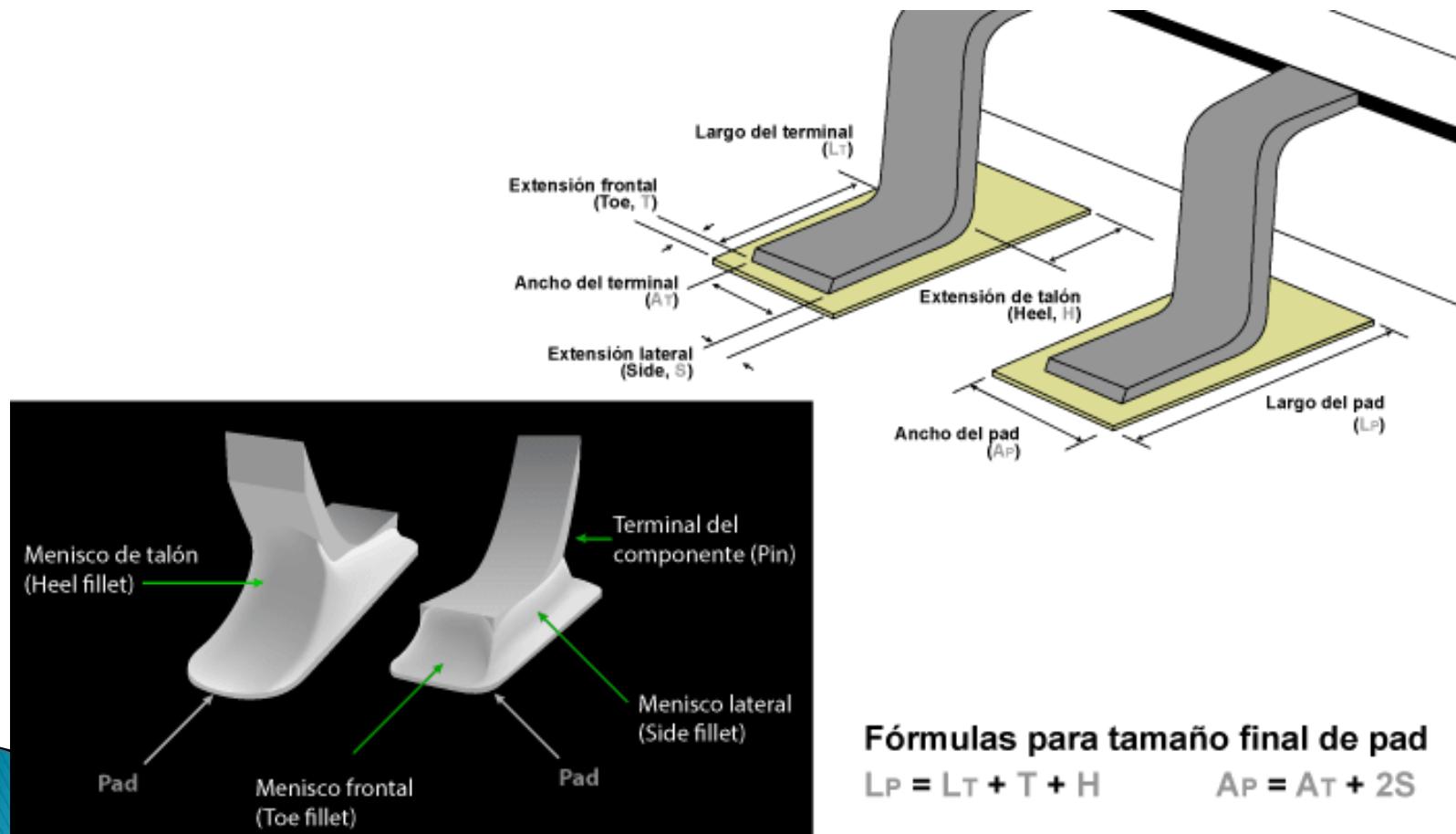
Soldadura - Tips de Diseño

► Dimensiones Recomendadas



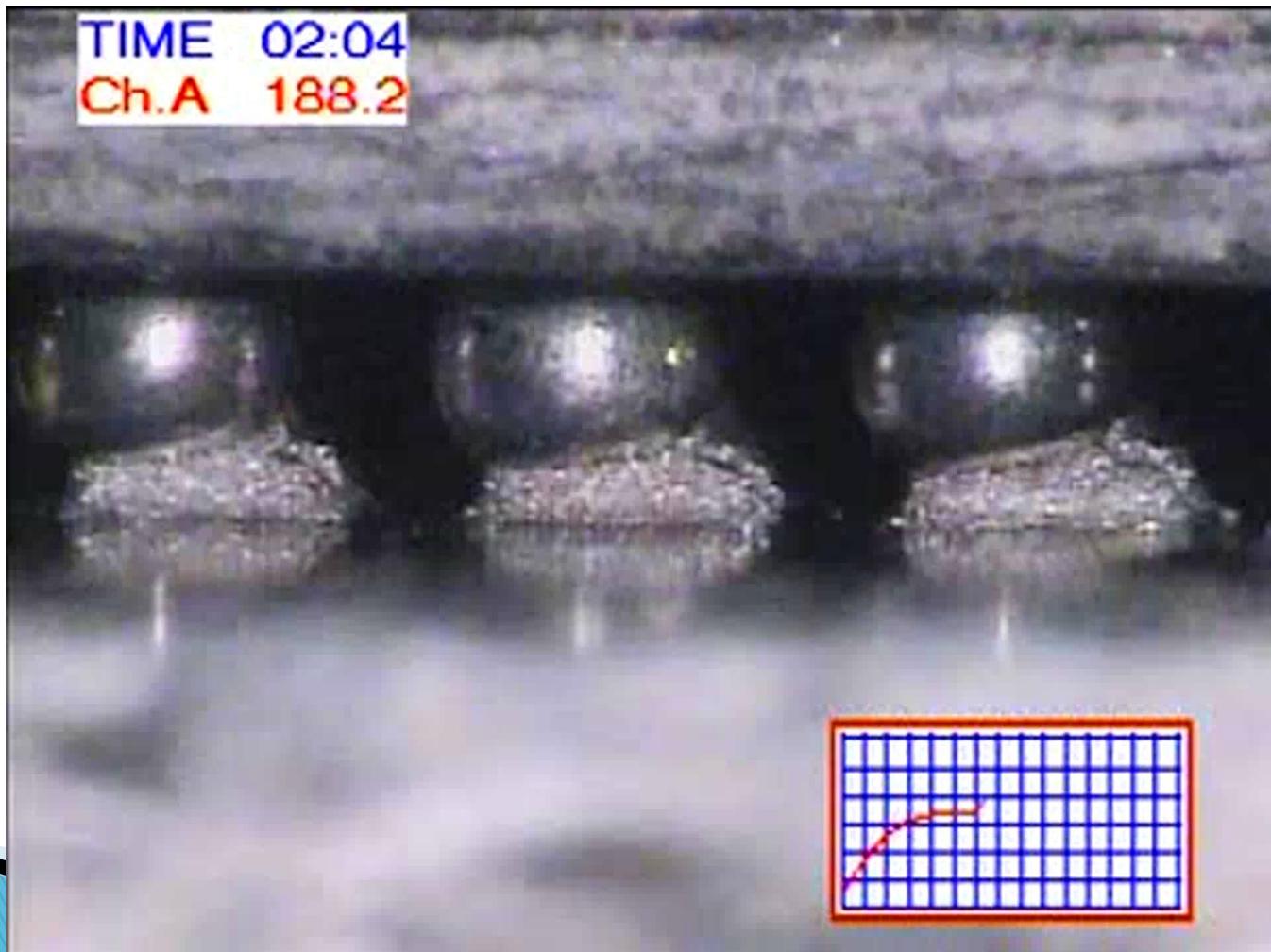
Soldadura - Tips de Diseño

► Dimensiones Recomendadas



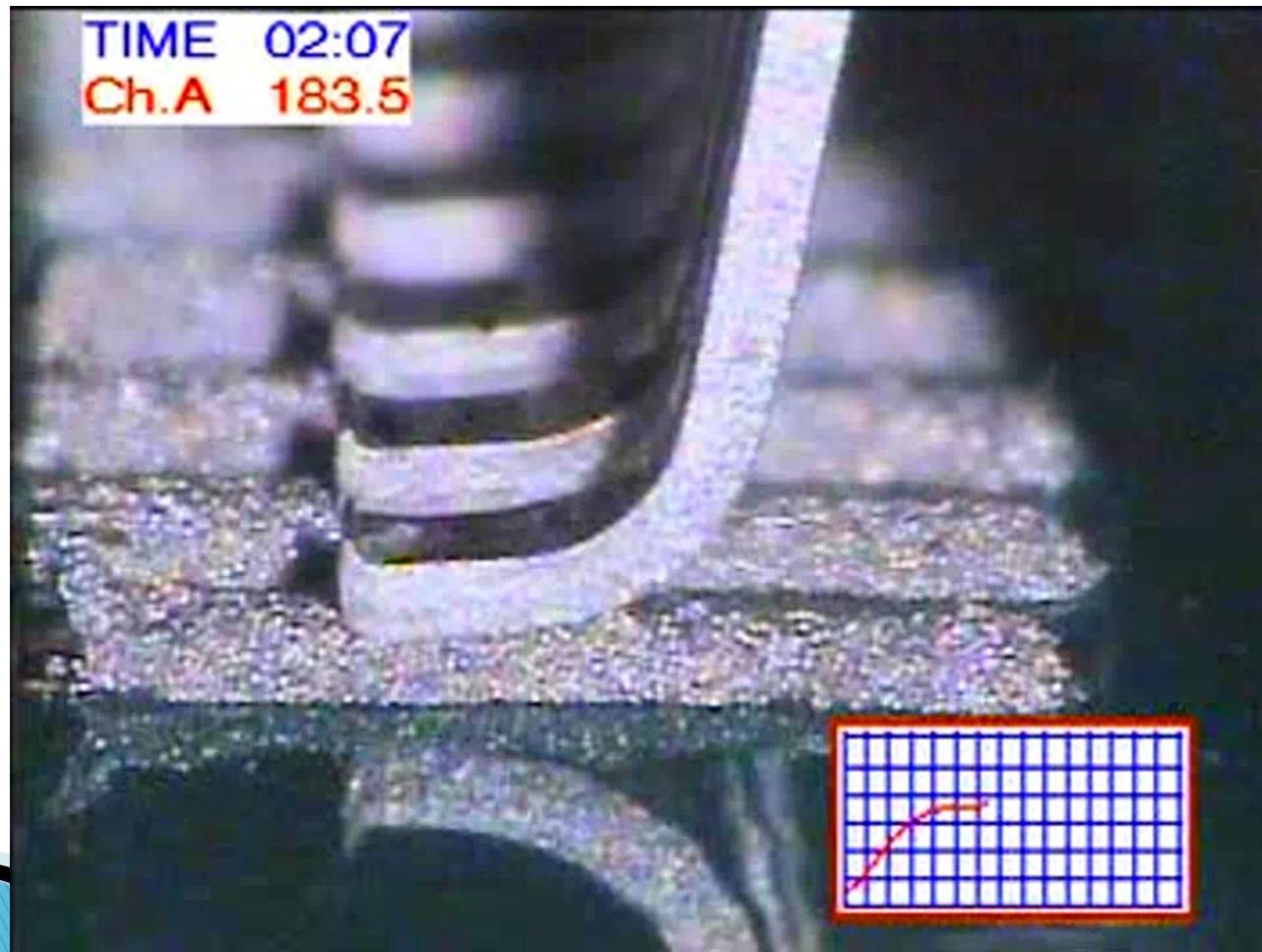
Soldadura - Tips de Diseño

► Dimensiones Recomendadas



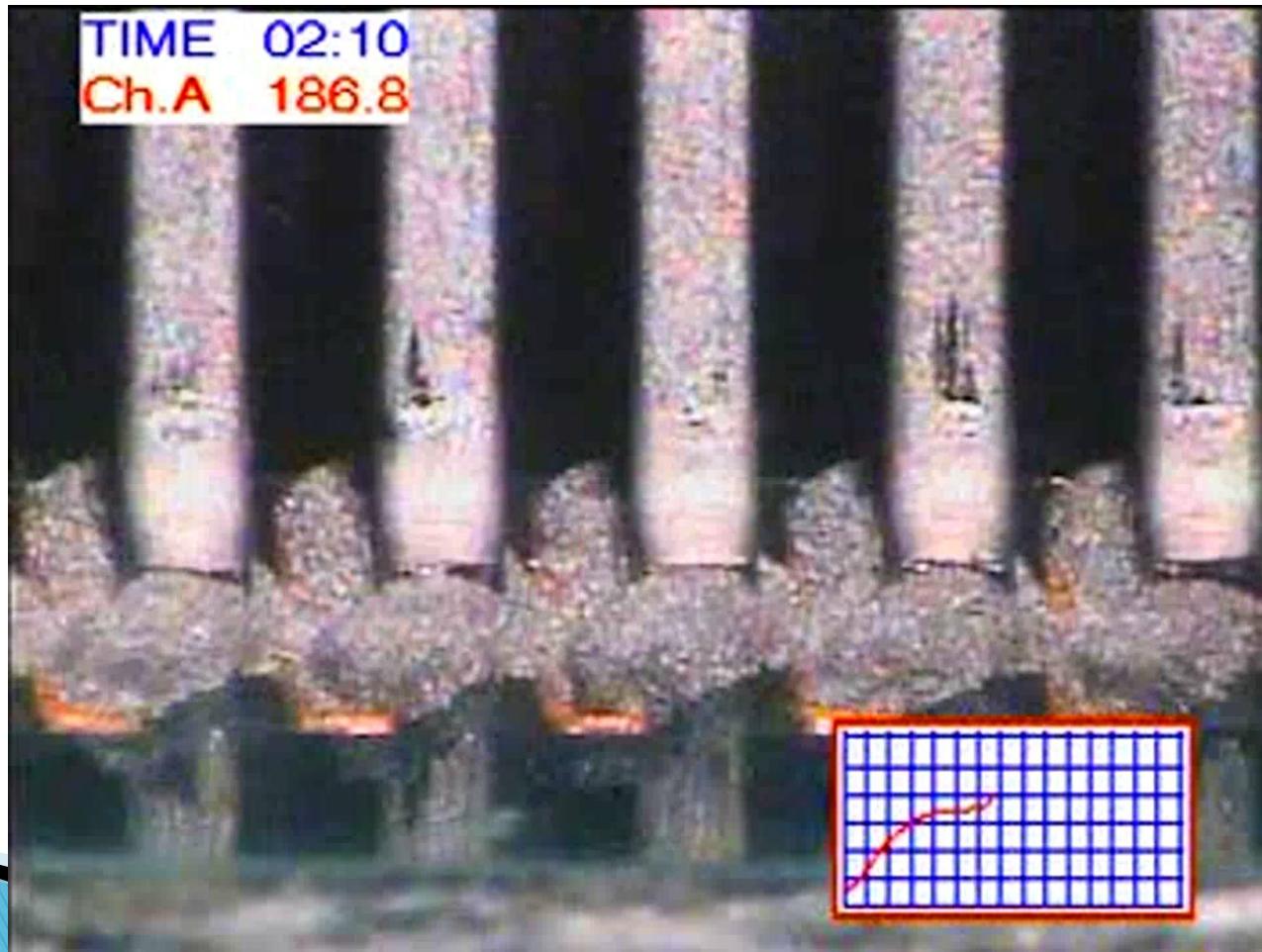
Soldadura - Tips de Diseño

► Dimensiones Recomendadas



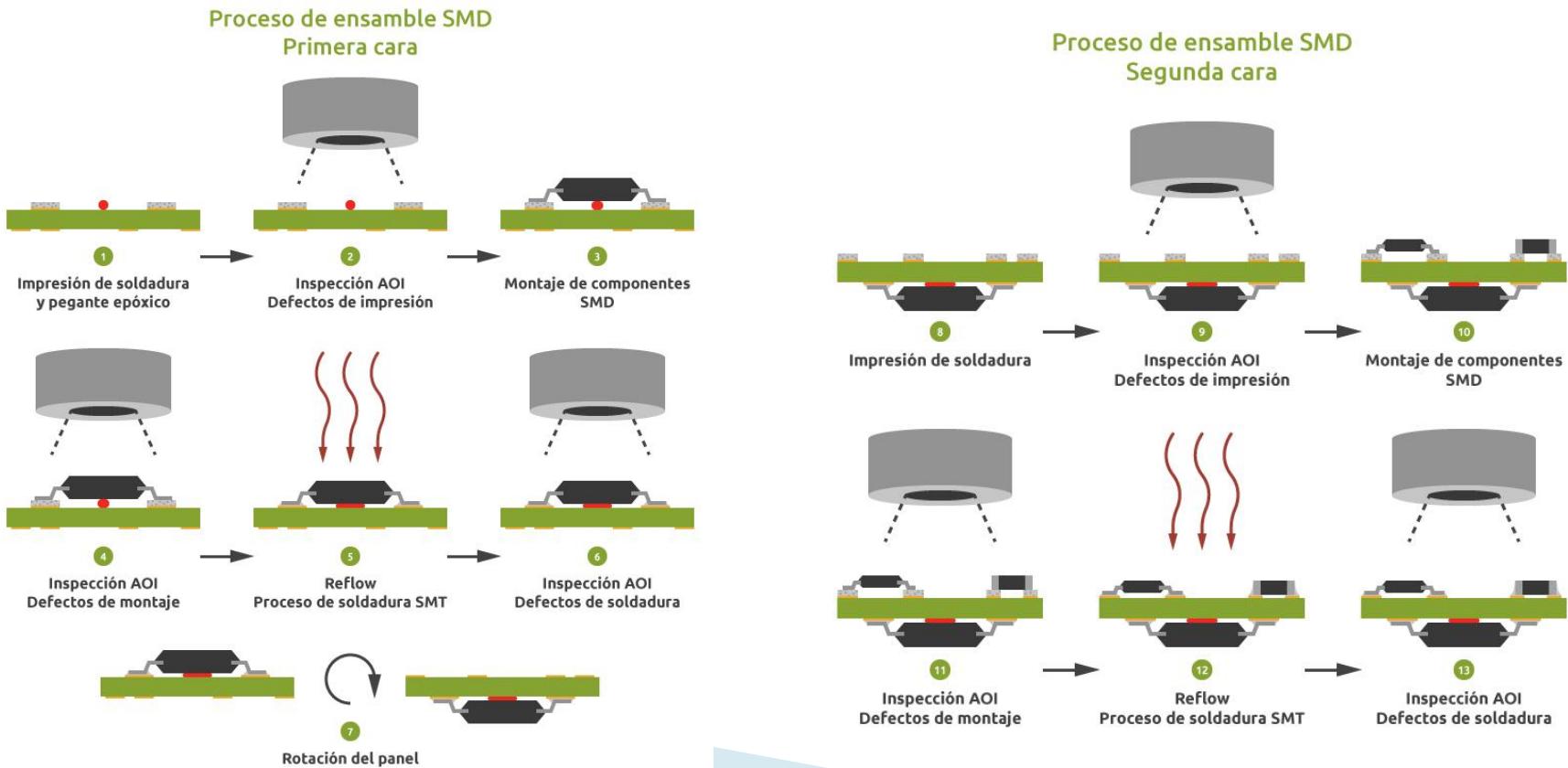
Soldadura - Tips de Diseño

► Dimensiones Recomendadas



Soldadura - Reflow Doble Faz

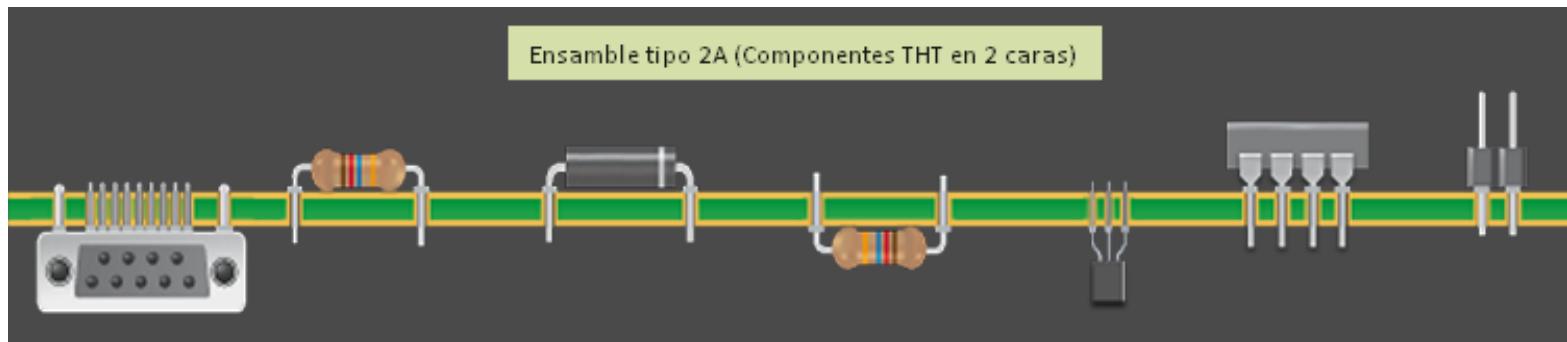
- ▶ Una correcta distribución de componentes SMD (peso) ahorrara costos al momento del montaje y posterior soldadura



Consideraciones Generales

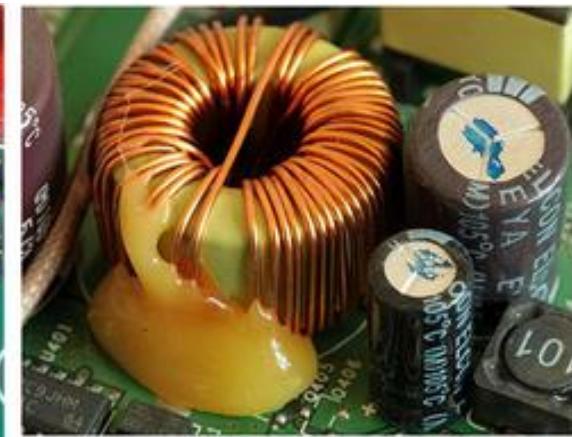
▶ Componentes THT

- Dejar separación entre componentes para futuro trabajo.
- Se debe usar ola selectiva para soldar los componentes de la segunda cara.



Consideraciones Generales

- ▶ Componentes THT – Defectos y Soluciones



Consideraciones Generales

▶ Componentes SMD

- Tratar de poner los componentes activos en una sola capa. En la otra los pasivos.
- Si colocamos componentes tipo BGA, tratar de no poner en la misma posición en la otra cara componentes similar. No se podrá hacer chequeo con RX.
- Verificar la distancia mínima entre componentes de ser posible.

Consideraciones Generales

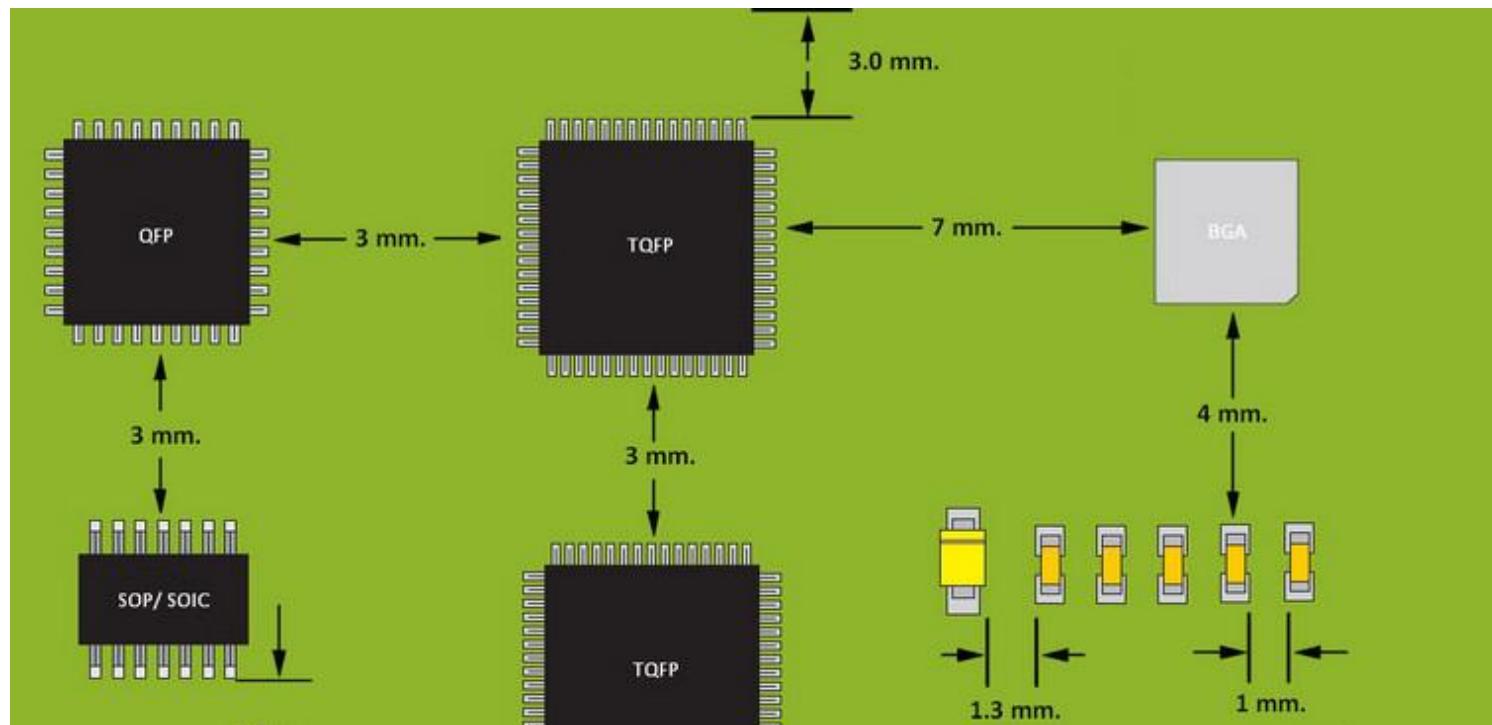
▶ Componentes SMD – Distancias recomendadas

Distancias sugeridas entre encapsulados para prevenir cortos y facilitar procesos de reparación

Tipo de encapsulado	Componentes Pasivos	Condensadores tantalio	SOT23 y similares	SOIC SOP/ SSOP	QFP/ TQFP QFN	PLCC	BGA	CSP	DIP
Componentes Pasivos	1 mm	1.3 mm	1.3 mm	1 mm	3 mm	1.3 mm	4 mm	4 mm	1.6 mm
Condensadores de tantalio	1.3 mm	1.3 mm	2 mm	1.5 mm	3 mm	3 mm	4 mm	3 mm	1.6 mm
SOT23 y similares	1.3 mm	2 mm	1 mm	1.3 mm	3 mm	3 mm	4 mm	4 mm	1.6 mm
SOIC SOP/ SSOP	1 mm	1.5 mm	1.3 mm	1.3 mm	3 mm	3 mm	4 mm	4 mm	1.6 mm
QFP/ TQFP QFN	3 mm	3 mm	3 mm	3 mm	3 mm	3 mm	7 mm	7 mm	3 mm
PLCC	1.3 mm	3 mm	3 mm	3 mm	3 mm	3 mm	4 mm	4 mm	1.6 mm
BGA	4 mm	4 mm	4 mm	4 mm	7 mm	4 mm	7 mm	7 mm	4 mm
CSP	4 mm	3 mm	4 mm	4 mm	7 mm	4 mm	7 mm	3 mm	4 mm
DIP	1.6 mm	1.6 mm	1.6 mm	1.6 mm	3 mm	1.6 mm	4 mm	4 mm	3 mm

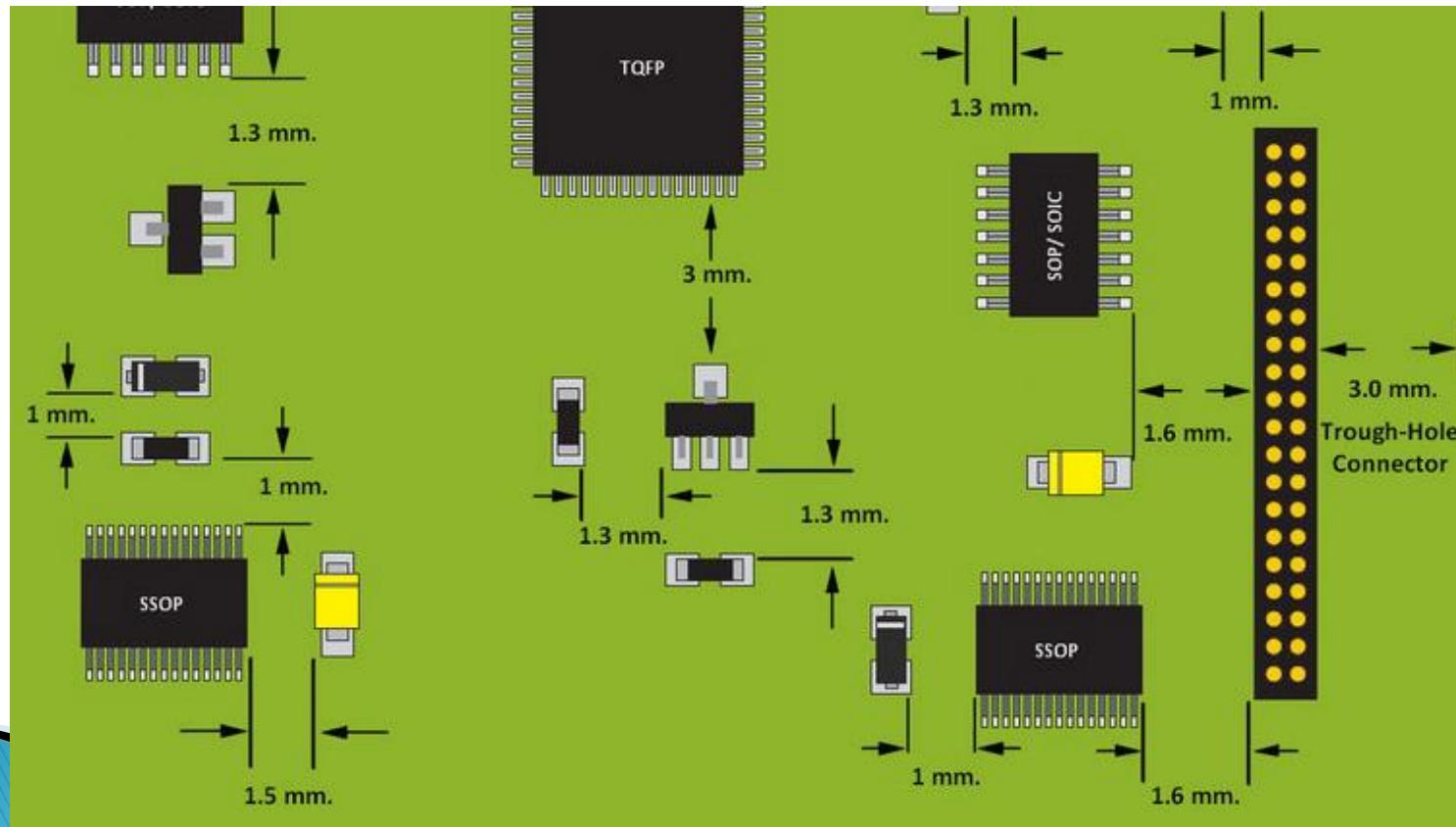
Consideraciones Generales

- ▶ Componentes SMD – Distancias recomendadas



Consideraciones Generales

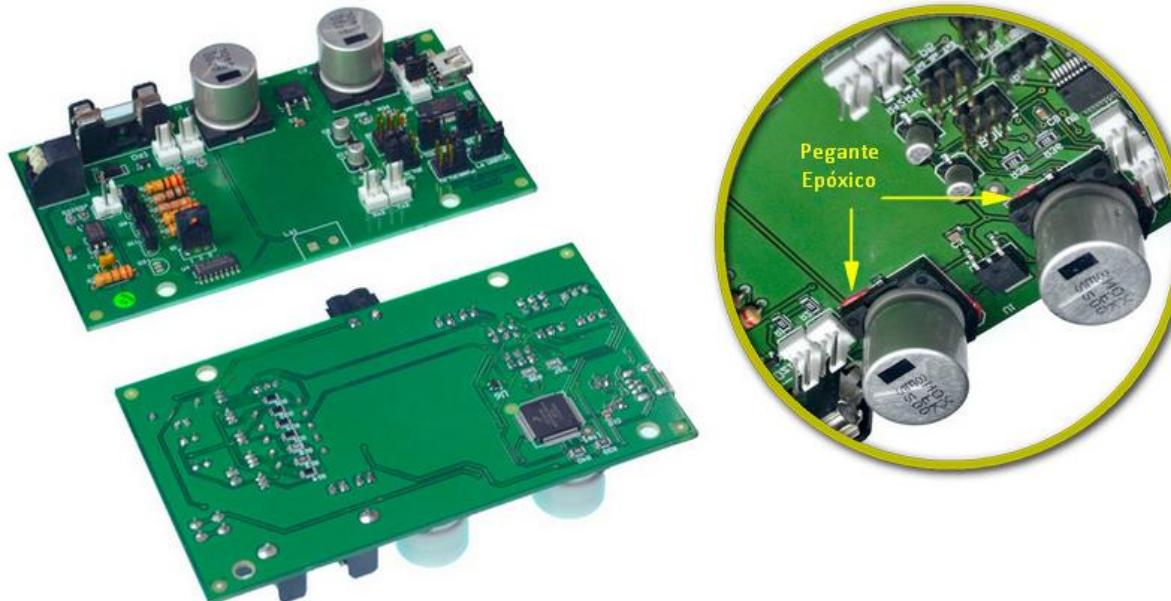
- ▶ Componentes SMD – Distancias recomendadas



Consideraciones Generales

▶ Componentes SMD

- Altura de componentes SMD en la primer cara 2,4mm. Optimo (1,7mm)
- Componentes más altos deben ir en la segunda cara a procesar.
- De ser necesario aplicar pegamento

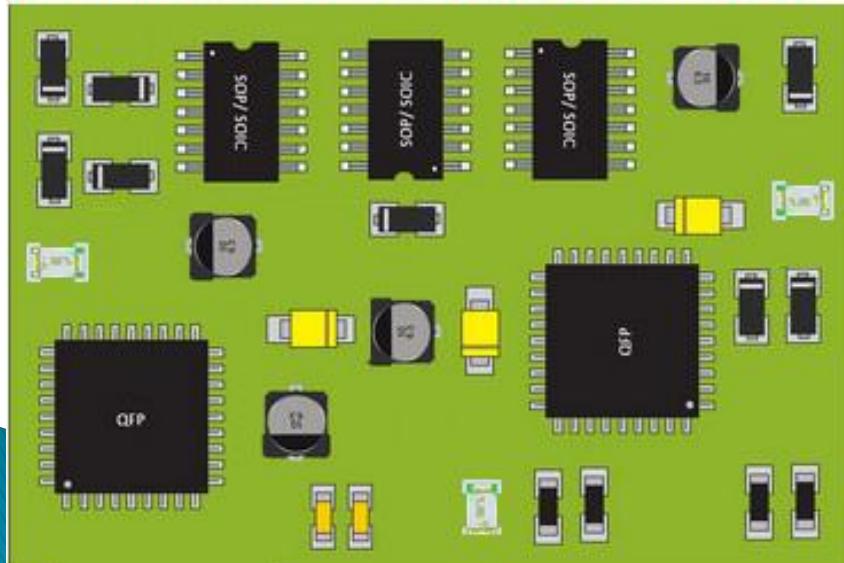


Consideraciones Generales

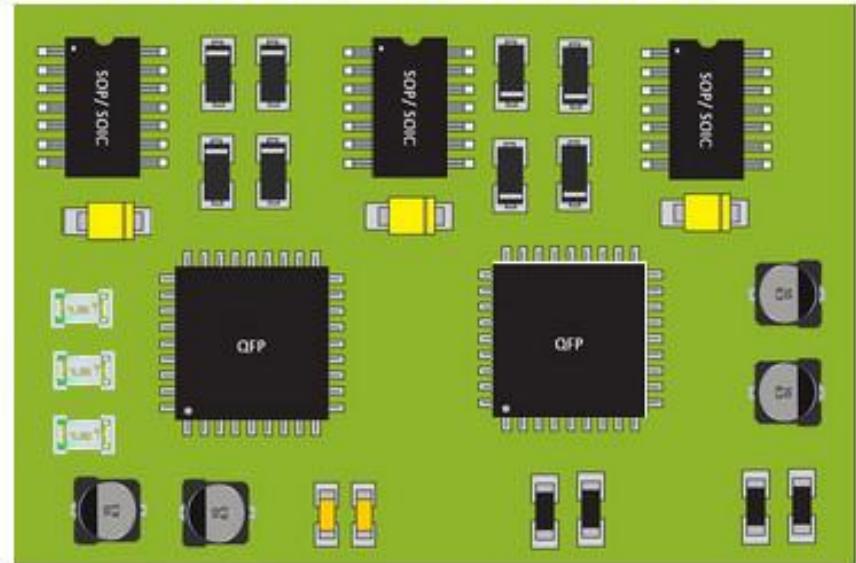
▶ Componentes SMD

- Verificar en las hojas de datos que los componentes SMD soporten mas de un proceso de REFLOW. (leds por ejemplo no lo hacen)
- Distribución de Polaridad Recomendada

Posición de componentes polarizados no recomendada



Posición de componentes polarizados sugerida

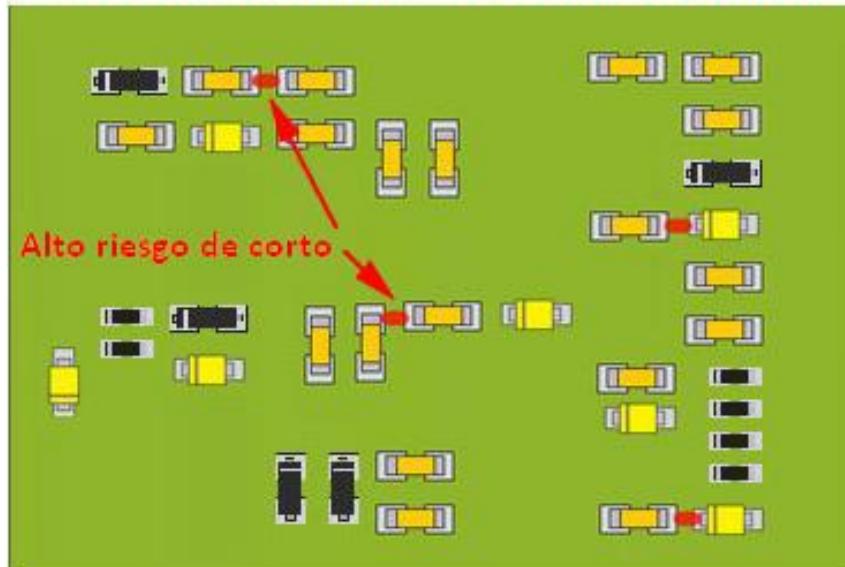


Consideraciones Generales

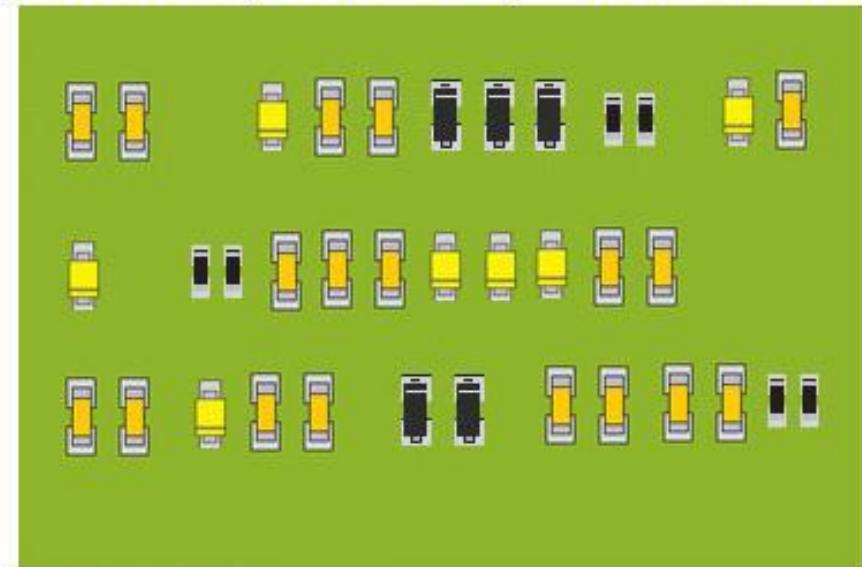
▶ Componentes SMD

- Si se emplea proceso por ola, se recomienda la siguiente distribución de componentes.

Orientación de componentes no recomendada



Orientación preferida: Perpendicular a la ola



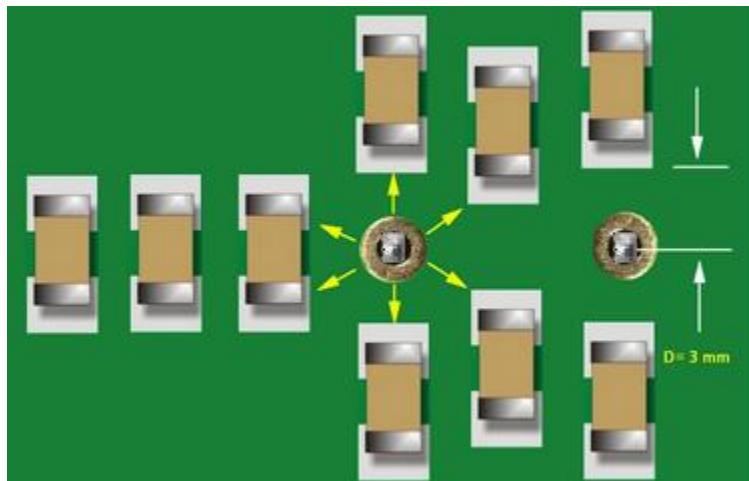
Dirección del proceso de soldadura por ola



Consideraciones Generales

▶ Componentes SMD + THT

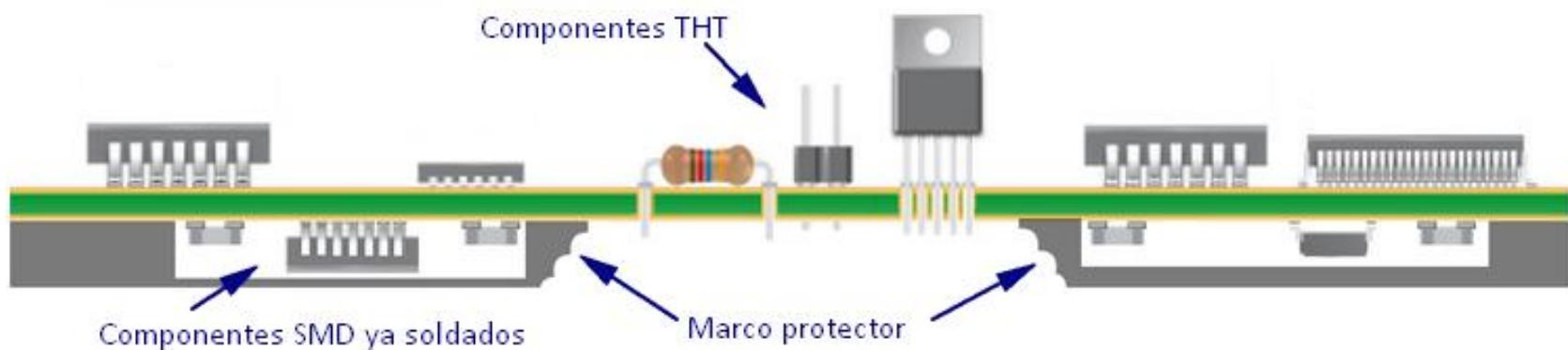
- Dejar separación mínima para evitar que los componentes se desuelden



Consideraciones Generales

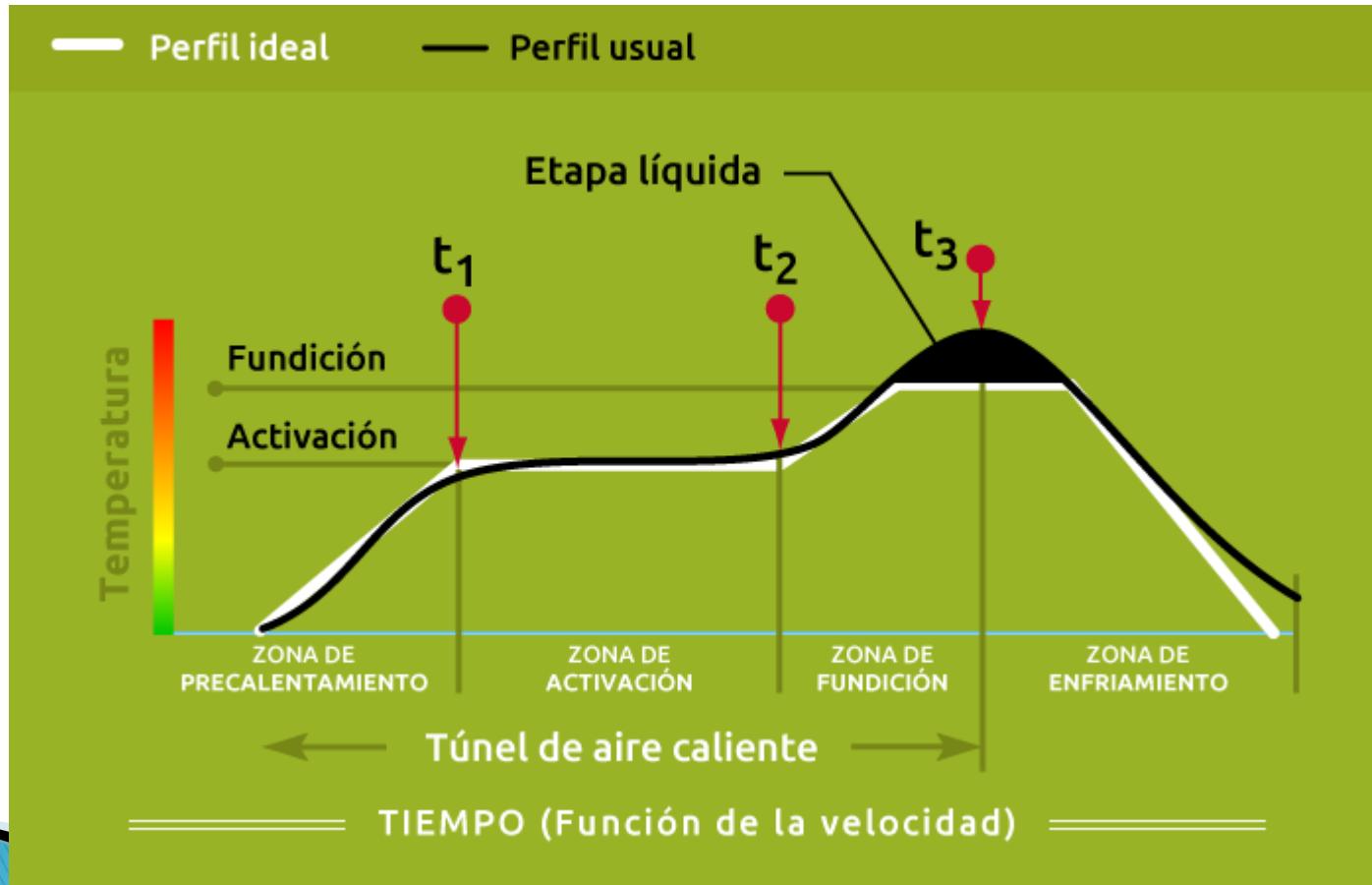
▶ Componentes SMD + THT

- Si aplica el uso de marco protector para soldadura por ola. Diseñar para que sea lo mas sencillo posible.



Consideraciones Generales

▶ Perfil Térmico en proceso de Reflow



Consideraciones Generales

► Defectos en Perfil Térmico

- Posible Fractura del encapsulado
- No se active el Flux
- Mayor temperatura en t3 → puede provocar delaminación del PCB, quemadura en el PCB, daño en los componentes
- Menor temperatura en t3 → Soldaura fría
- Velocidad de enfriamiento elevada → soldadura frágil, fractura de encapsulados.

Consideraciones Generales

▶ Perfilado del Horno

The X5 logo consists of a large, stylized letter 'X' in yellow, with a smaller '5' positioned to its right, all set against a dark background.

1. Get an accurate profile - quickly
2. Get oven setup suggestions

www.kicthermal.com

www.kic.cn