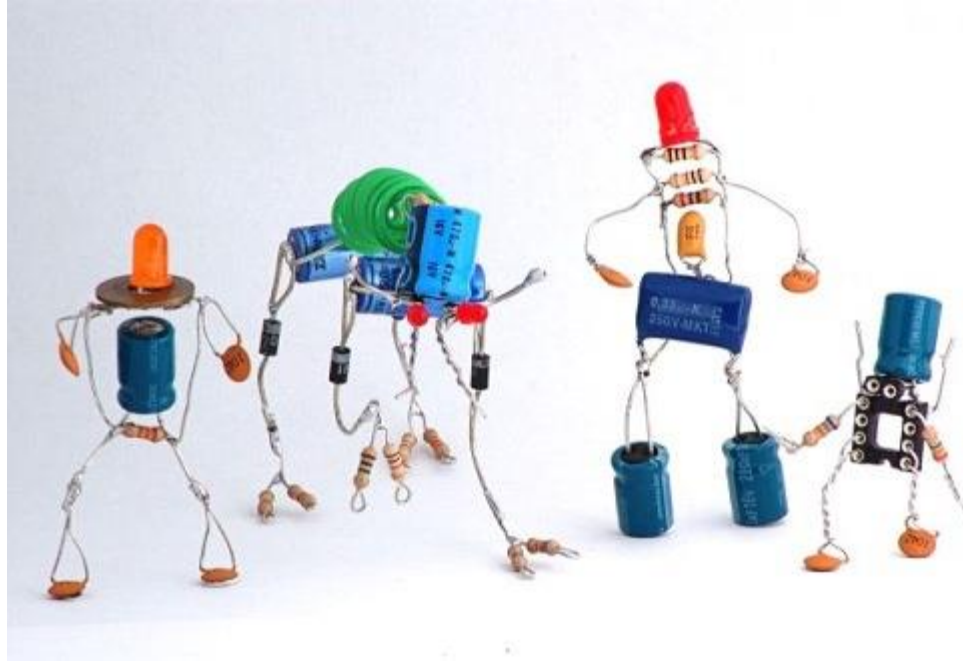


# Circuitos Electrónicos II (66.10)

## Diseño de Circuitos Electrónicos (86.10)

Departamento de Electrónica – FIUBA

### Introducción a la Tecnología de Componentes



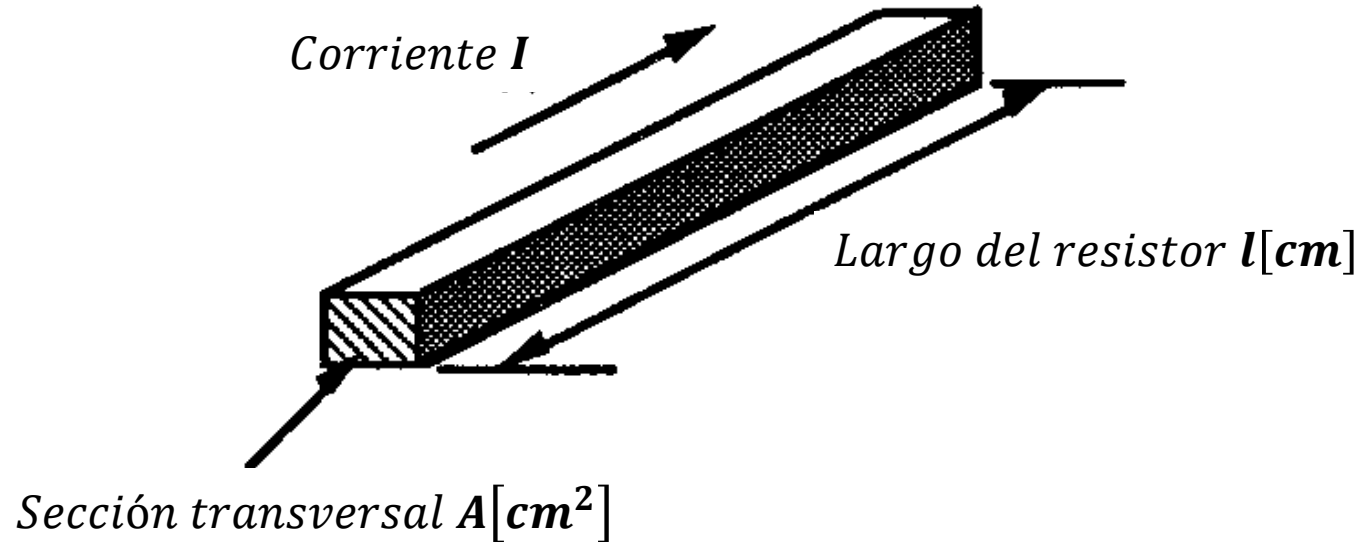
# Componentes Electrónicos

Un componente electrónico es una entidad física en un sistema electrónico cuya intención es afectar los electrones (o sus campos asociados) **en una forma consistente con la función esperada** del sistema electrónico.

# Componentes Pasivos

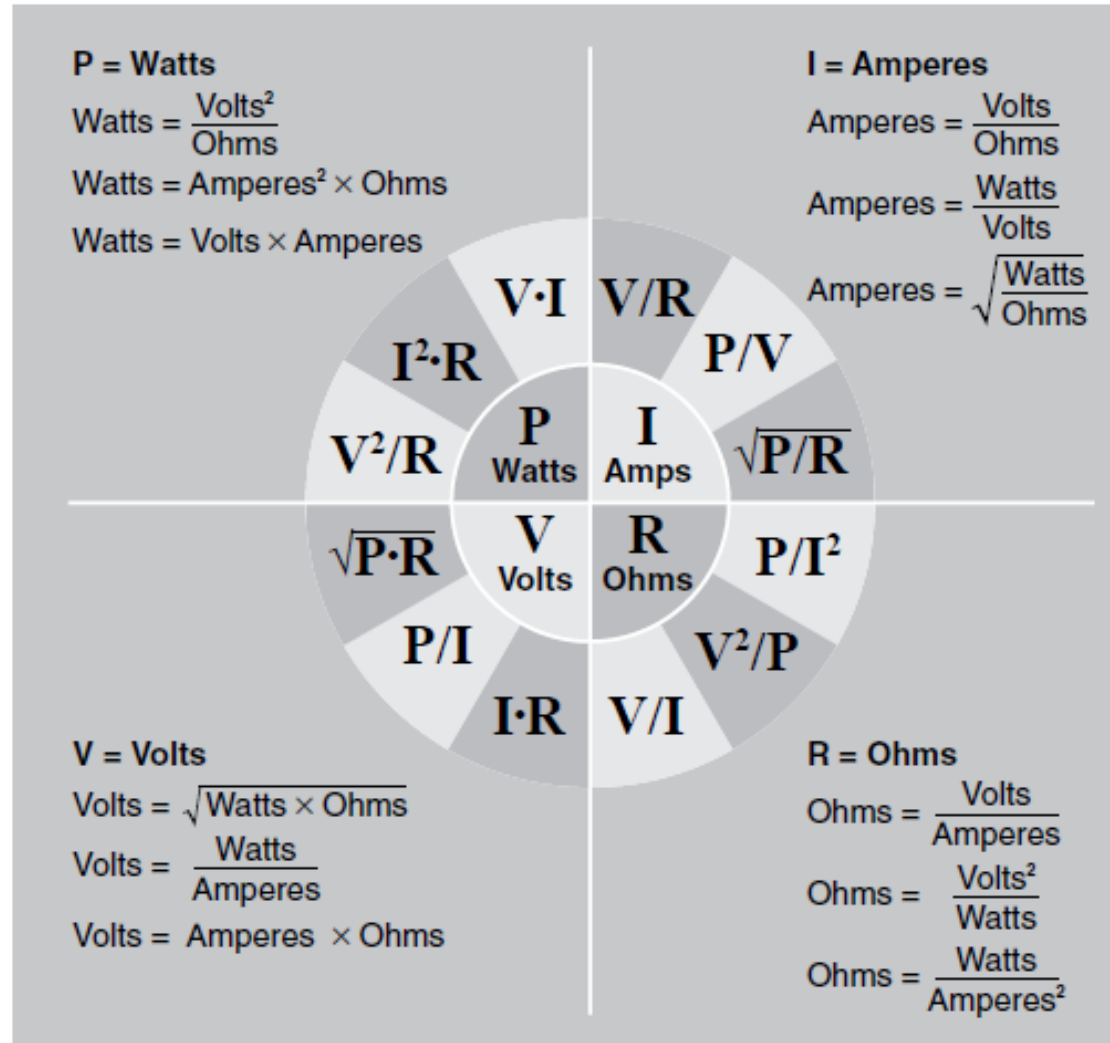
- Resistores
- Capacitores
- Inductores
- Transformadores

# Resistores: Características



$$R[\Omega] = \frac{\rho \cdot l}{A}, \rho [\Omega \cdot \text{cm}]: \text{Resistividad}$$

# Resistores: Características ideales



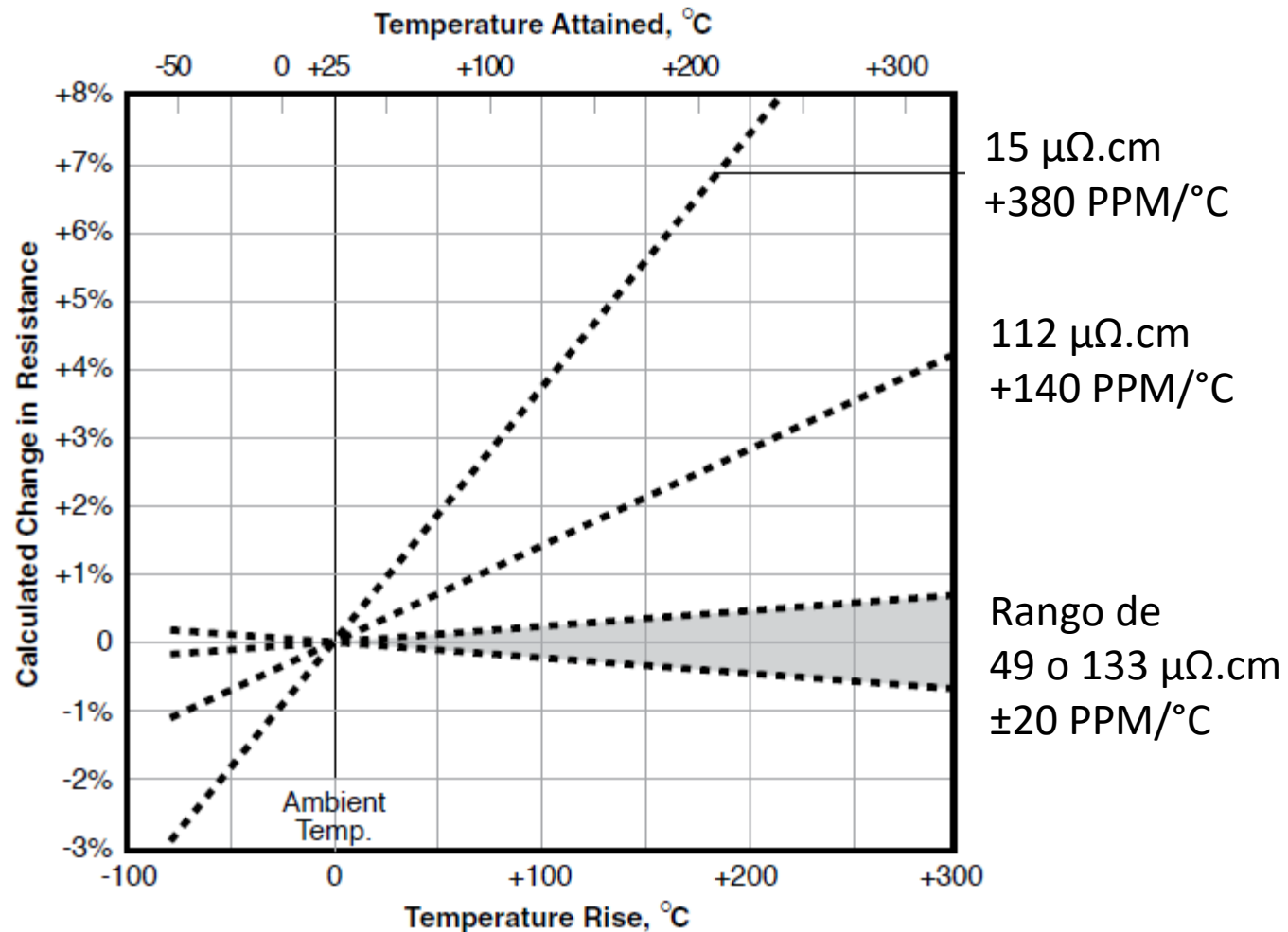
# Resistores: Aplicaciones

- Polarización
- Control de ganancia
- Fijación de constantes de tiempo
- Divisores de tensión
- Adaptación de impedancias
- Generación de calor
- Sensado

# Resistores: ¿Qué especificar?

- **Valor nominal:** Especificado a 20°C.
- **Tolerancia:** Cuánto se puede desviar la resistencia del valor nominal. (5%, 1%, 0.5%)
- **Coeficiente de temperatura (TCR):** Dado en %/°C o ppm/°C
- **Rango de temperatura:** Comercial (0°C a 70°C), Militar (-55°C a 125°C).
- **Estabilidad:** Máximo cambio permitido debido a influencias térmicas, eléctricas o mecánicas.
- **Disipación de potencia:** Máxima potencia para una temperatura ambiente definida.
- **Tensión de operación:** Máxima tensión continua o eficaz que soporta de modo continuo.
- **Alinealidades:** Se mide la tercer armónica para una senoidal de 10 kHz.
- **Ruido:** Ruido térmico y corriente de ruido.
- **Estabilidad pulsante (Pulse stability):** Puede soportar mayor potencia que la máxima especificada en este modo de operación.
- **Resistencia térmica:**  $\Delta\vartheta = P \cdot R_{th}$
- **Características de alta frecuencia**

# Resistores: Coeficiente de temperatura (según aleación)



Coeficiente de temperatura:  $R(T2) = R(T1) \cdot [1 + \alpha_{T1}(T2 - T1)]$


T1: Temperatura de referencia. Típicamente 20°.




# Resistores: Estabilidad

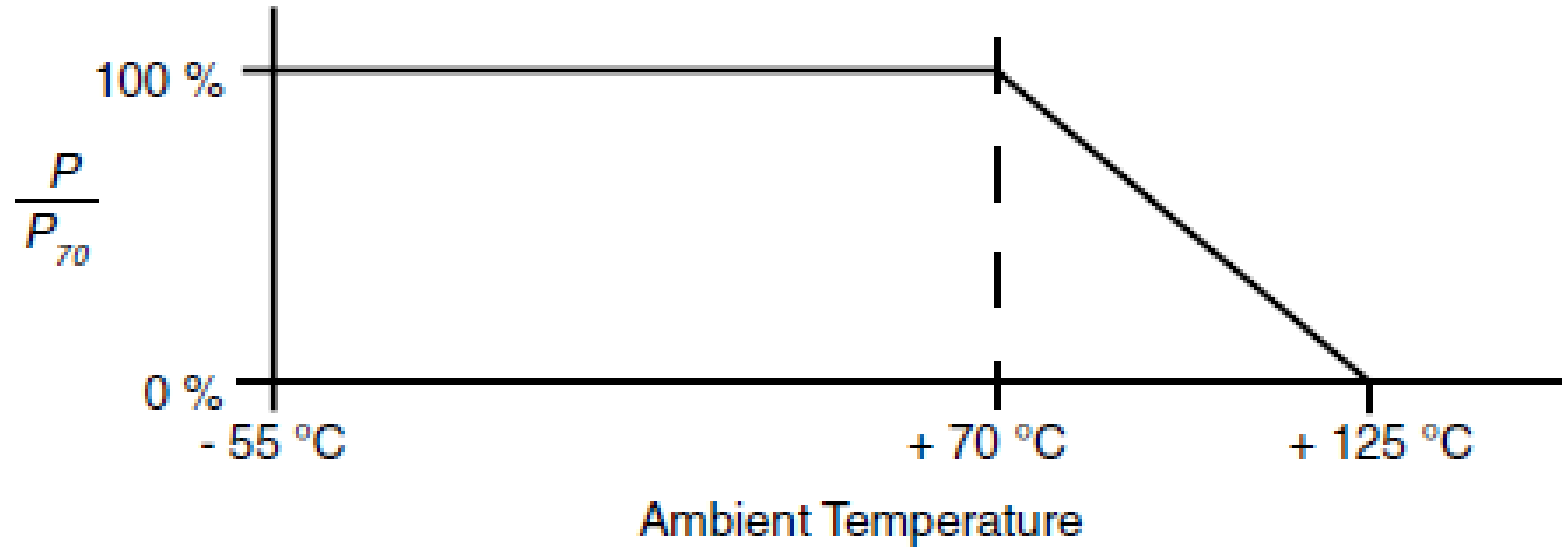
Las pruebas de estabilidad están definidas en estándares.

Clases de Estabilidad	Pruebas de largo plazo	Pruebas de corto plazo
2	$\pm (2\%.R+0.1\Omega)$	$\pm (0.5\%.R+0.05\Omega)$
1	$\pm (1\%.R+0.05\Omega)$	$\pm (0.25\%.R+0.05\Omega)$
0.50	$\pm (0.5\%.R+0.05\Omega)$	$\pm (0.10\%.R+0.01\Omega)$
0.25	$\pm (0.25\%.R+0.05\Omega)$	$\pm (0.05\%.R+0.01\Omega)$
0.10	$\pm (0.10\%.R+0.02\Omega)$	$\pm (0.05\%.R+0.01\Omega)$
0.05	$\pm (0.05\%.R+0.01\Omega)$	$\pm (0.025\%.R+0.01\Omega)$



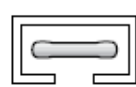


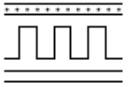


- 
- Secuencias climáticas
  - Exposición a calor húmedo
  - Exposición a altas temperaturas con cambios cíclicos en la carga.

- 
- Sobrecarga
  - Robustez mecánica de terminales
  - Calor de soldadura
  - Cambios bruscos de temperatura
  - Vibraciones

# Resistores: Disipación de potencia



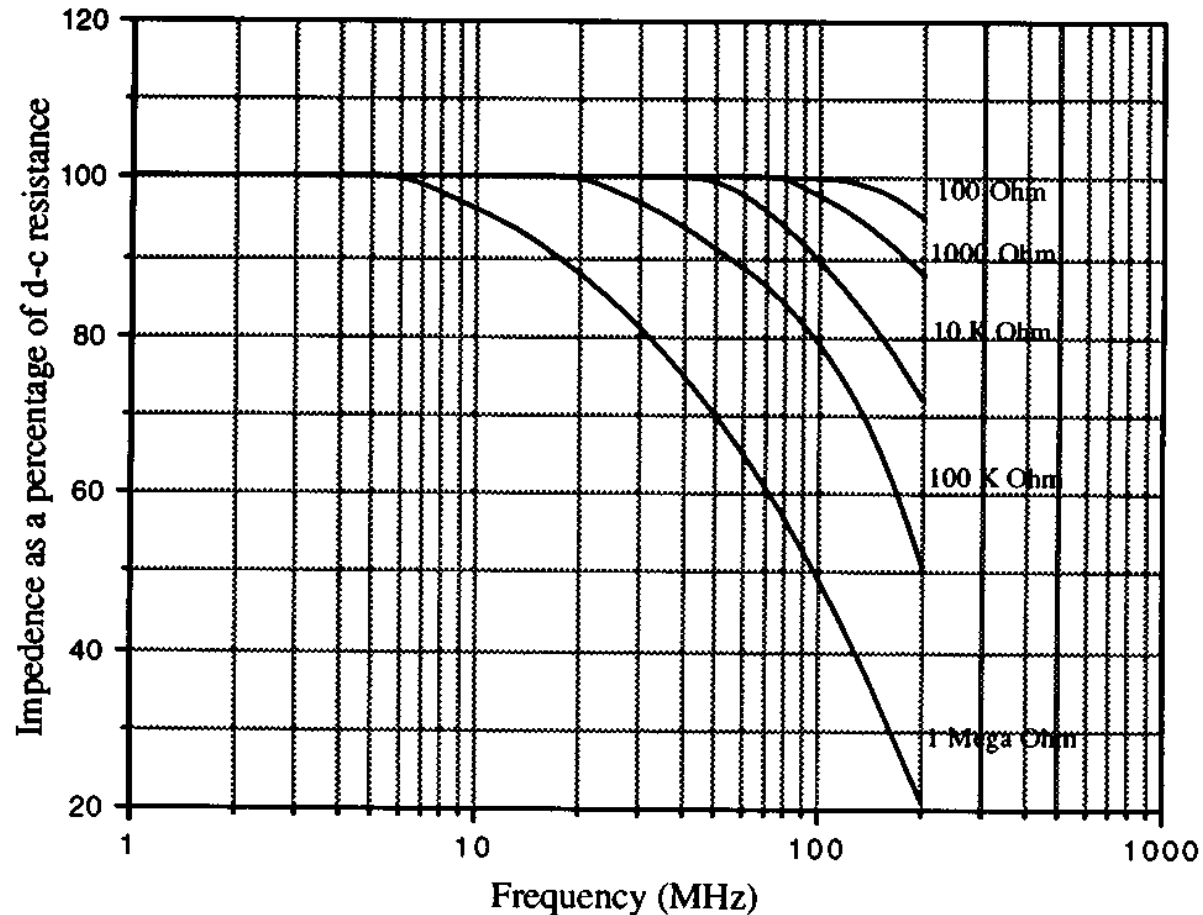
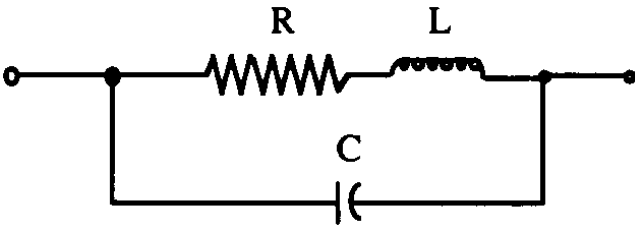
# Resistores: Disipación de potencia

Watts 	Application Conditions															
	Ambient Temperature 		Enclosure 		Grouping 		Altitude 		Pulse Operation 		Cooling Air 		Limited Temp. Rise 			
<div>Record the watts to be dissipated as set by your circuit conditions.</div> <div>Standard free air conditions</div>	°C	F <sub>1</sub>	%	F <sub>2</sub>	no.	F <sub>3</sub>	ft.	F <sub>4</sub>	%	F <sub>5</sub>	fpm	F <sub>6</sub>	°C	F <sub>7</sub>		
	300	8.6	100	2.0	std. brackets 3 — 1.4 2 — 1.3	12 — 1.6 8 — 1.5 4 — 1.4 2 — 1.3	100	1.5	1000	0.10	1500	0.27	40	13.0		
	5.0		90	1.9									1400	0.28	50	10.0
	4.1		80	1.8									1300	0.29	8.0	7.0
	3.2		70	1.7	0.5" space	12 — 1.5 8 — 1.4 4 — 1.3 2 — 1.2	80	1.5	800	0.12	1200	0.30	100	6.0		
	2.7		60	1.6									1100	0.32	5.0	4.0
	200	2.2	50	1.5									1000	0.35	3.0	
	1.9		40	1.4	1" space	12 — 1.4 8 — 1.3 4 — 1.2 2 — 1.1	50	1.4	600	0.13	900	0.35	2.5			
	1.6		30	1.3									800	0.17	2.0	
	1.4		20	1.2									700	0.18	1.75	
	100	1.3	10	1.1	2" space	12 — 1.4 8 — 1.3 4 — 1.2 2 — 1.1	30	1.2	500	0.19	600	0.40	2.0			
	1.2		None	1.0									400	0.20	1.5	
50	1.1											300	0.25	1.4		
25	1.0							100	0.30	200	0.70	1.2				
								5	0.35	100	0.80	1.1				
								0	0.40	50	0.90	1.0				
									0.50	20	1.0	1.0				
									0.60	10	1.0	1.0				
									0.75	5	1.0	1.0				
									1.0	1	1.0	1.0				
									1.0	1	1.0	1.0				
									1.0	1	1.0	1.0				
									1.0	1	1.0	1.0				
									1.0	1	1.0	1.0				
									1.0	1	1.0	1.0				
									1.0	1	1.0	1.0				
									1.0	1	1.0	1.0				
									1.0	1	1.0	1.0				
									1.0	1	1.0	1.0				
									1.0	1	1.0	1.0				
									1.0	1	1.0	1.0				
									1.0	1	1.0	1.0				
									1.0	1	1.0	1.0				
									1.0	1	1.0	1.0				
									1.0	1	1.0	1.0				
									1.0	1	1.0	1.0				
									1.0	1	1.0	1.0				
									1.0	1	1.0	1.0				
									1.0	1	1.0	1.0				
									1.0	1	1.0	1.0				
									1.0	1	1.0	1.0				
									1.0	1	1.0	1.0				
									1.0	1	1.0	1.0				
									1.0	1	1.0	1.0				
									1.0	1	1.0	1.0				
									1.0	1	1.0	1.0				
									1.0	1	1.0	1.0				
									1.0	1	1.0	1.0				
									1.0	1	1.0	1.0				
									1.0	1	1.0	1.0				
									1.0	1	1.0	1.0				
									1.0	1	1.0	1.0				
									1.0	1	1.0	1.0				
									1.0	1	1.0	1.0				
									1.0	1	1.0	1.0				
									1.0	1	1.0	1.0				
									1.0	1	1.0	1.0				
									1.0	1	1.0	1.0				
									1.0	1	1.0	1.0				
									1.0	1	1.0	1.0				
									1.0	1	1.0	1.0				
									1.0	1	1.0	1.0				
									1.0	1	1.0	1.0				
									1.0	1	1.0	1.0				
									1.0	1	1.0	1.0				
									1.0	1	1.0	1.0				
									1.0	1	1.0	1.0				
									1.0	1	1.0	1.0				
									1.0	1	1.0	1.0				
									1.0	1	1.0	1.0				
								</								

Supongamos que tenemos 4 resistores disipando 10W cada uno, que se montarán juntos, separados por una pulgada. Temperatura ambiente de 50°C. Totalmente encerrados.

←  $P_R = 28.6W$

# Resistores: Característica de alta frecuencia



Impedancia como porcentaje de la impedancia en continua en función de la frecuencia, para resistores metal-film.

# Resistores (Fijos): Tipos de fabricación

Resistores	Película de carbón	Película metálica	Película gruesa	Papel de aluminio	Composición de carbón	Alambre arrollado
Valor de resistencia	10Ω a 22MΩ	0.22Ω a 22MΩ	1Ω a 100MΩ	2mΩ a 1MΩ	1Ω a 20MΩ	0.1Ω a 300kΩ
Tolerancia [%]	±2 a ±10	±0.1 a ±2	±1 a ±5	±0.005 a ±5	±5 a ±20	±0.1 a ±10
Coeficiente de temperatura [ppm/°C]	-200 a -1500	±5 a ±50	±50 a ±200	±2 a ±50	-200 a -1500	±1 a ±200
Temp. De operación max [°C]	155	155	155	150	150	400
Disipación nominal P <sub>70</sub> [W]	0.25 a 2	0.063 a 1	0.063 a 0.25	0.25 a 10	0.25 a 1	0.25 a 100
Estabilidad a P <sub>70</sub> (1000h) ΔR/R[%]	±0.8 a ±3	±0.15 a ±0.5	±1 a ±3	±0.05	+4/-6 (tipico -3)	±1 a ±10
Tensión máxima [V]	200 a 1000	50 a 500	50 a 200	200 a 500	150 a 350	$\sqrt{P_{70} \cdot R}$
Corriente de ruido [μV/V]	<1	<0.1	<10	<0.025	2 a 6	Despreciable
Alinealidad A <sub>3</sub> [dB]	>100	>110	>50	Despreciable	~60	Despreciable

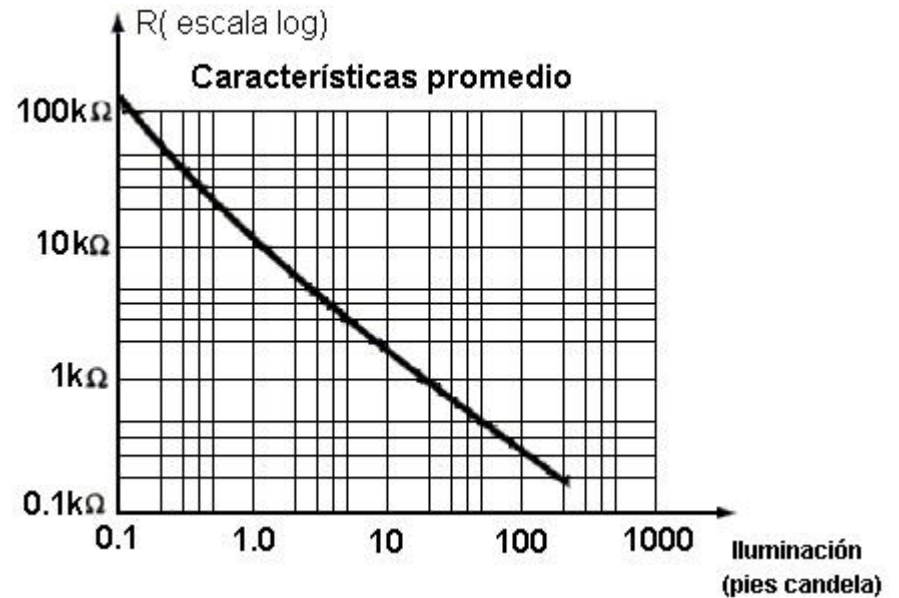
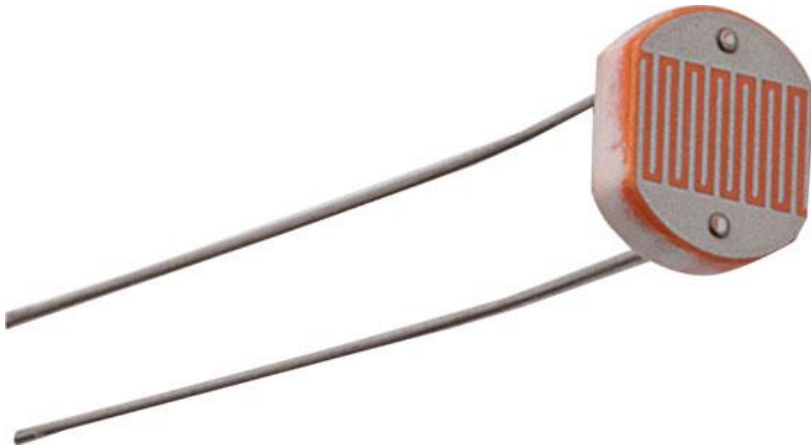
# PRECISION METAL FILM FIXED RESISTOR

## General Specifications

Part No.	Style	Max. Overload Voltage	Max. Working Voltage	Dielectric With - standing V.	Resistance Tolerance	T.C.R.	Resistance Range	Special Order		
								Resistance Tolerance	T. C. R.	Resistance Range
MF0W8 MF0S4	MF-12 MF-25-S	400V	200V	400V	± 5%	±200PPM/°C	1Ω - 1MΩ	±0.25%	±15PPM/°C	51.1Ω-200KΩ
					± 2%	±100PPM/°C	10Ω - 1MΩ	±0.5%	±25PPM/°C	51.1Ω-511KΩ
					± 1%	±50PPM/°C	10Ω - 1MΩ		±50PPM/°C	
MFF04	MF-40-SS	400V	200V	200V						
MF0W4 MF006	MF-25 MF-60-S	500V	250V	500V	± 5%	±200PPM/°C	1Ω - 1MΩ	±0.1%	±15PPM/°C	100Ω-100KΩ
					± 2%	±100PPM/°C	10Ω - 1MΩ	±0.25%	±25PPM/°C	51.1Ω-330KΩ
					± 1%	±50PPM/°C	10Ω - 1MΩ	±0.5%	±50PPM/°C	10Ω-1MΩ
MFFU2	MF-50-SS	500V	250V	250V						
MF0W2 MF0S2	MF-50 MF-50-S	700V	350V	700V	± 5%	±200PPM/°C	1Ω - 1MΩ	±0.1%	±15PPM/°C	100Ω-330KΩ
					± 2%	±100PPM/°C	10Ω - 1MΩ	±0.25%	±25PPM/°C	51.1Ω-511KΩ
					± 1%	±50PPM/°C	10Ω - 1MΩ	±0.5%	±50PPM/°C	10Ω-1MΩ
MF01W MF02W MF03W	MF-100 MF-200 MF-300	1000V	500V	1000V	± 5%	±200PPM/°C	10Ω - 1MΩ	±0.1%	±15PPM/°C	100Ω-330KΩ
					± 2%	±100PPM/°C	51.1Ω - 1MΩ	±0.25%	±25PPM/°C	51.1Ω-511KΩ
					± 1%	±50PPM/°C	51.1Ω - 1MΩ	±0.5%	±50PPM/°C	51.1Ω-1MΩ

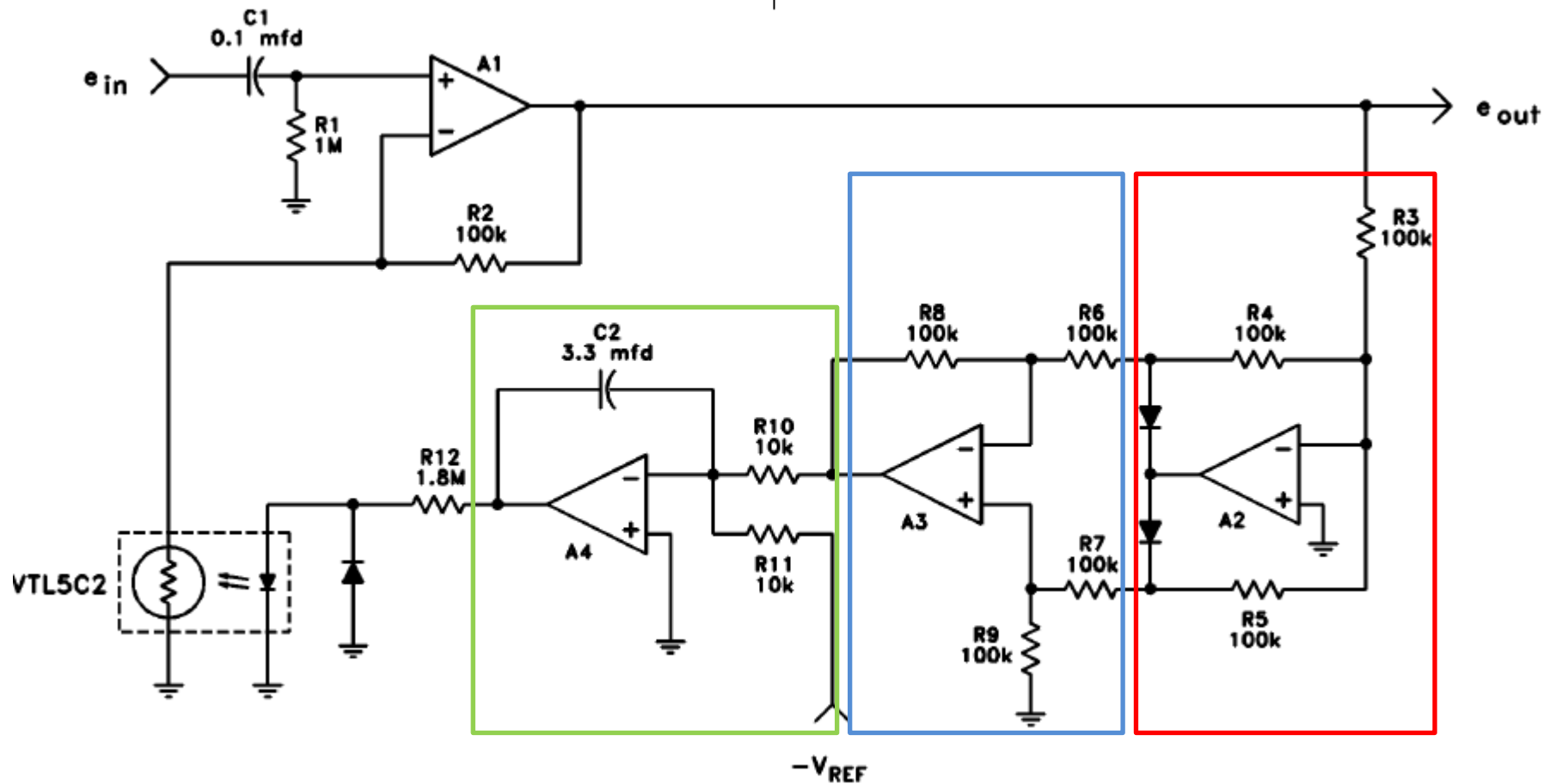
# Resistores especiales

- Foto-resistor (LDR)



# Resistores especiales

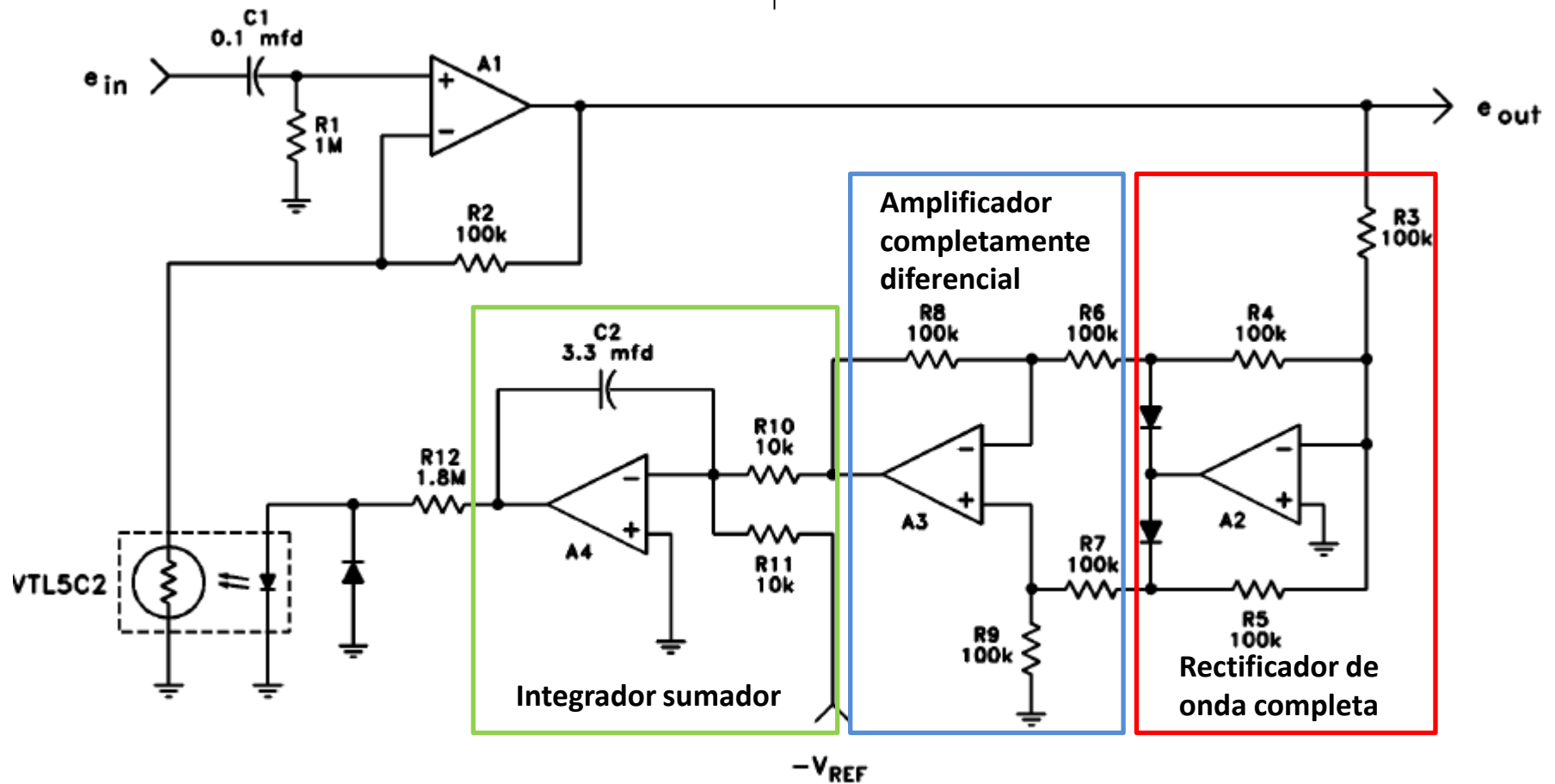
- Foto-resistor (LDR): Aplicación.





# Resistores especiales

- Foto-resistor (LDR): Aplicación.



Control automático de ganancia (AGC)

# Resistores especiales

- Termistores: NTC y PTC

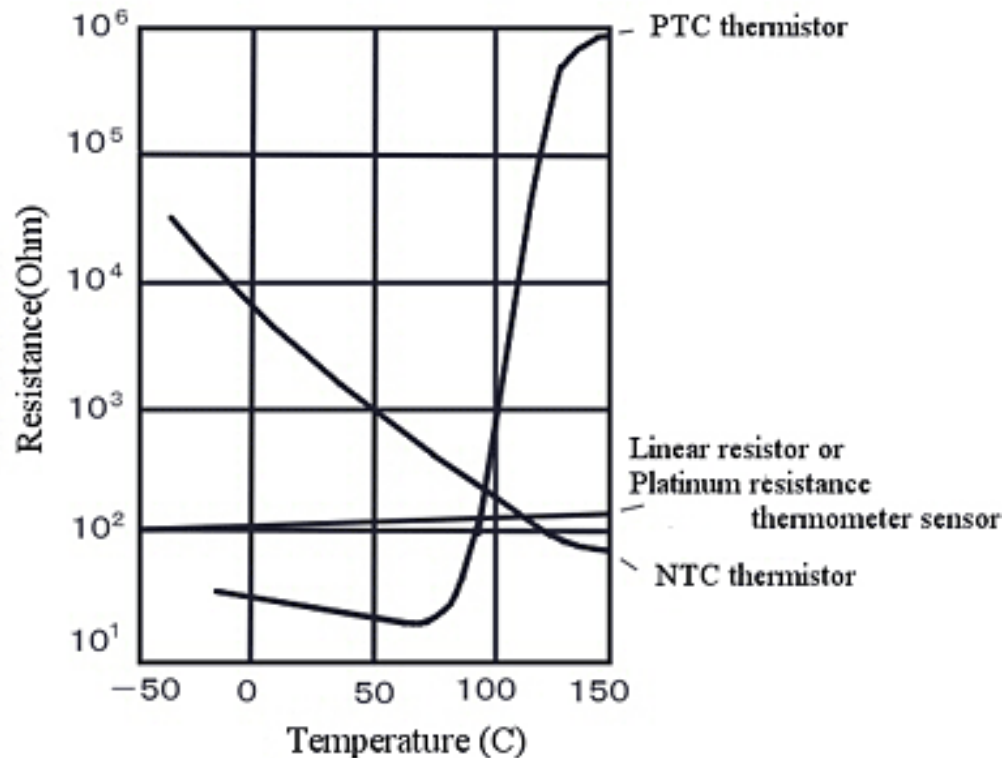
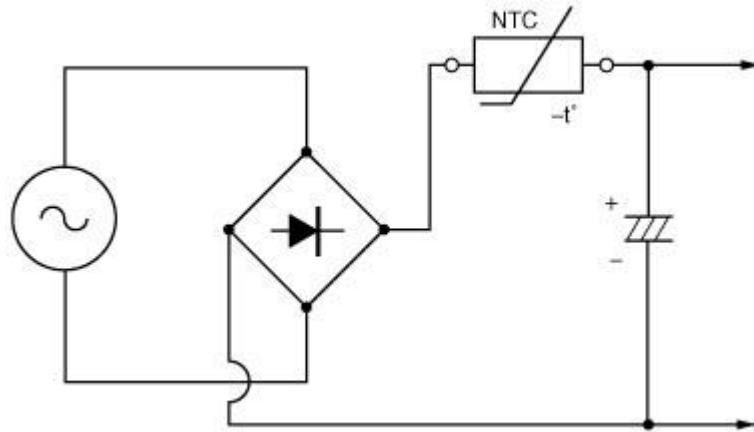


Figure 1 Temperature Characteristics of Resistance Temperature Sensor

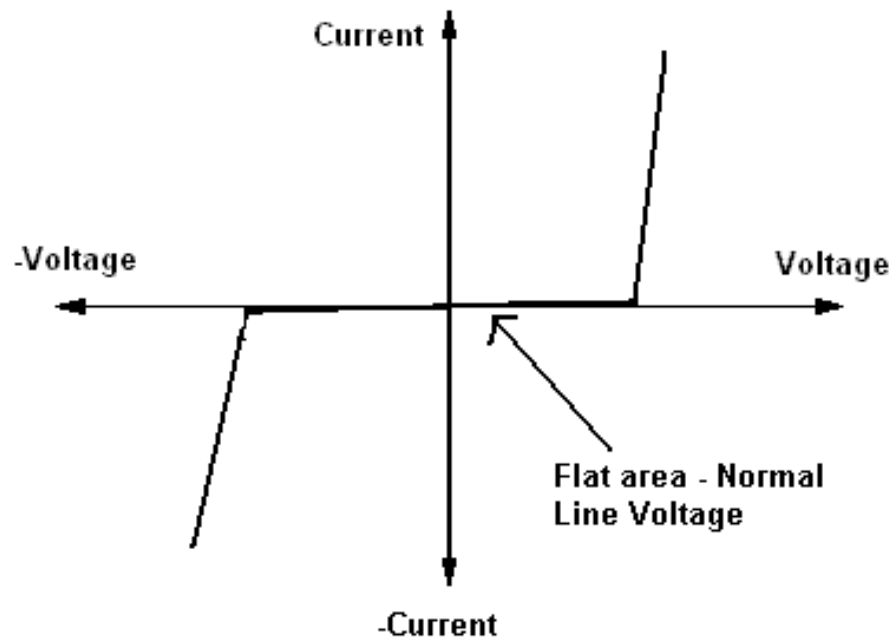
# Resistores especiales

- Termistores NTC: Aplicación.



# Resistores especiales

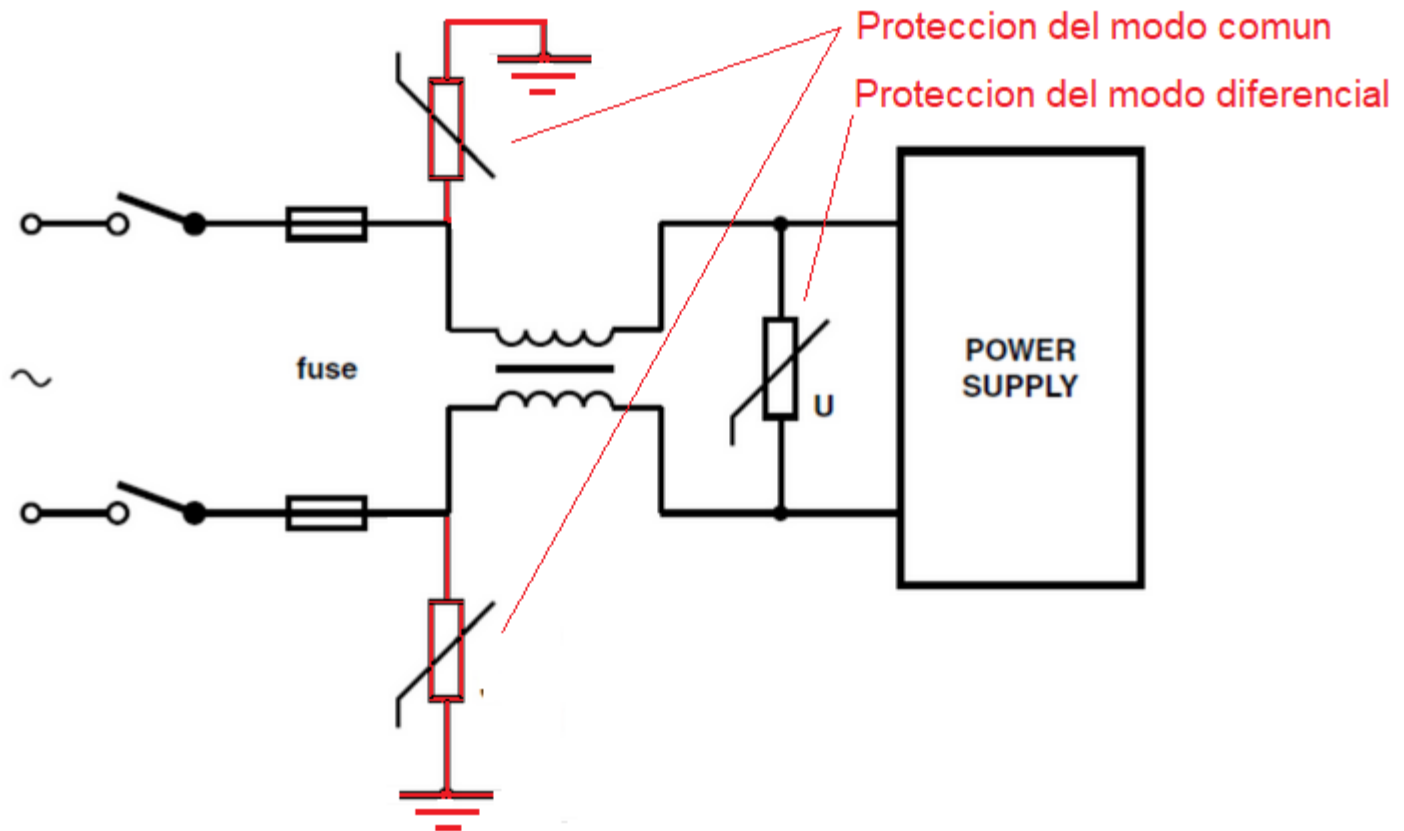
- Varistor



Varistor Volt-Ampere Characteristics Curve

# Resistores especiales

- Varistor: Aplicación

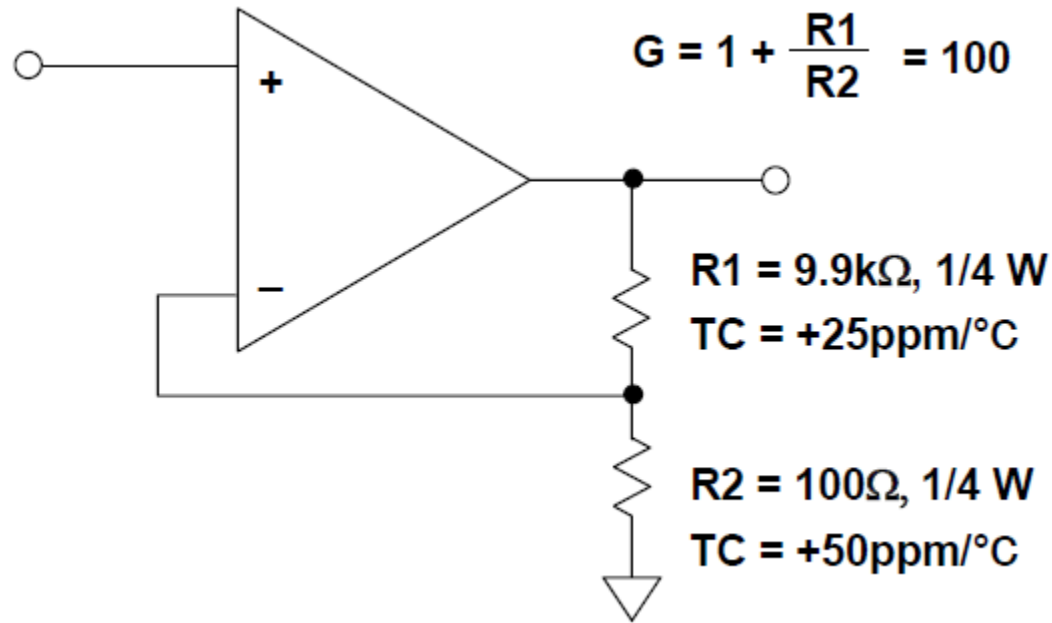


# Varistores

## Ratings & Specifications

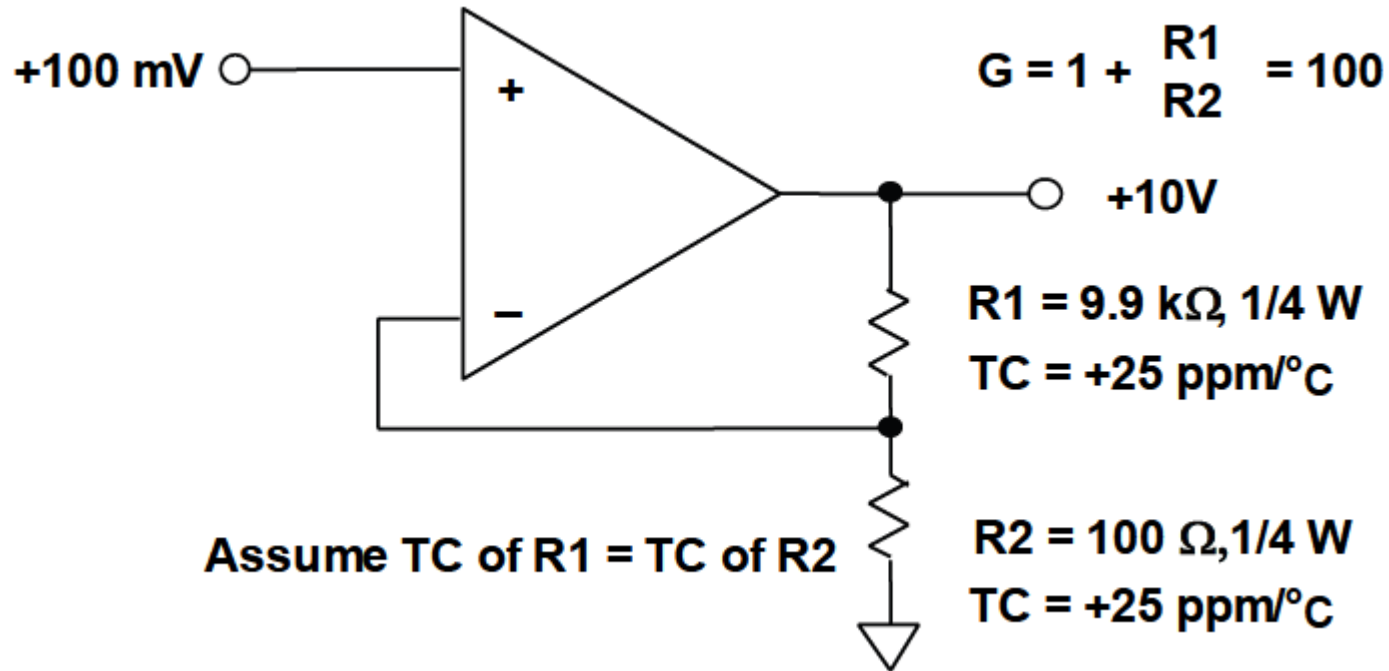
TMOV® Varistor Lead-free And RoHS Compliant Models		ITMOV® Varistor Lead-free And RoHS Compliant Models		Disc Diameter	Maximum Rating (85°C)					Specifications (25°C)				
					Continuous		Transient			Varistor Voltage at 1mA Test Current		Maximum Clamping Voltage 8/20µs		Typical Capaci- tance f = 1MHz
					AC Volts	DC Volts	Energy 2ms	Peak Surge Current 8/20µs		V <sub>NDCl</sub> Min	V <sub>NDCl</sub> Max	V <sub>c</sub>	I <sub>pk</sub>	C
					V <sub>MACRMS</sub>	V <sub>MDCl</sub>	W <sub>TM</sub>	I <sub>TM</sub> 1 x Pulse	I <sub>TM</sub> 2 x Pulse	V <sub>NDCl</sub> Min	V <sub>NDCl</sub> Max	V <sub>c</sub>	I <sub>pk</sub>	C
Part Number	Branding	Part Number	Branding	(mm)	(V)	(V)	(J)	(A)	(A)	(V)	(V)	(V)	(A)	(pF)
TMOV14RP115E	P4T115E	TMOV14RP115M	P4T115M	14	115	150	35	6000	4500	162	198	300	50	1100
TMOV20RP115E	P2T115E	TMOV20RP115M	P2T115M	20	115	150	52	10000	6500	162	198	300	100	2400
TMOV14RP130E	P4T130E	TMOV14RP130M	P4T130M	14	130	170	50	6000	4500	184.5	225.5	340	50	1000
TMOV20RP130E	P2T130E	TMOV20RP130M	P2T130M	20	130	170	100	10000	6500	184.5	225.5	340	100	1900
TMOV14RP140E	P4T140E	TMOV14RP140M	P4T140M	14	140	180	55	6000	4500	198	242	360	50	900
TMOV20RP140E	P2T140E	TMOV20RP140M	P2T140M	20	140	180	110	10000	6500	198	242	360	100	1750
TMOV14RP150E	P4T150E	TMOV14RP150M	P4T150M	14	150	200	60	6000	4500	216	264	395	50	800
TMOV20RP150E	P2T150E	TMOV20RP150M	P2T150M	20	150	200	120	10000	6500	216	264	395	100	1600
TMOV14RP175E	P4T175E	TMOV14RP175M	P4T175M	14	175	225	70	6000	4500	243	297	455	50	700
TMOV20RP175E	P2T175E	TMOV20RP175M	P2T175M	20	175	225	135	10000	6500	243	297	455	100	1400
TMOV14RP200E	P4T200E	TMOV14RP200M	P4T200M	14	200	260	75	6000	4500	283	345	530	50	630
TMOV20RP200E	P2T200E	TMOV20RP200M	P2T200M	20	200	260	154	10000	6500	283	345	530	100	1250
TMOV14RP230E	P4T230E	TMOV14RP230M	P4T230M	14	230	300	80	6000	4500	324	396	595	50	550
TMOV20RP230E	P2T230E	TMOV20RP230M	P2T230M	20	230	300	160	10000	6500	324	396	595	100	1100
TMOV14RP250E	P4T250E	TMOV14RP250M	P4T250M	14	250	320	100	6000	4500	351	429	650	50	500
TMOV20RP250E	P2T250E	TMOV20RP250M	P2T250M	20	250	320	170	10000	6500	351	429	650	100	1000
TMOV14RP275E	P4T275E	TMOV14RP275M	P4T275M	14	275	350	110	6000	4500	387	473	710	50	450
TMOV20RP275E	P2T275E	TMOV20RP275M	P2T275M	20	275	350	190	10000	6500	387	473	710	100	900
TMOV14RP300E	P4T300E	TMOV14RP300M	P4T300M	14	300	385	125	6000	4500	423	517	775	50	400
TMOV20RP300E	P2T300E	TMOV20RP300M	P2T300M	20	300	385	250	10000	6500	423	517	775	100	800
TMOV14RP320E	P4T320E	TMOV14RP320M	P4T320M	14	320	420	136	6000	4500	459	561	840	50	380
TMOV20RP320E	P2T320E	TMOV20RP320M	P2T320M	20	320	420	270	10000	6500	459	561	840	100	750
TMOV14RP385E	P4T385E	TMOV14RP385M	P4T385M	14	385	505	150	6000	4500	558	682	1025	50	360
TMOV20RP385E	P2T385E	TMOV20RP385M	P2T385M	20	385	505	300	10000	6500	558	682	1025	100	700
TMOV14RP420E	P4T420E	TMOV14RP420M	P4T420M	14	420	560	160	6000	4500	612	748	1120	50	300
TMOV20RP420E	P2T420E	TMOV20RP420M	P2T420M	20	420	560	320	10000	6500	612	748	1120	100	600
TMOV14RP460E	P4T460E	TMOV14RP460M	P4T460M	14	460	610	180	6000	4500	675	825	1240	50	220
TMOV20RP460E	P2T460E	TMOV20RP460M	P2T460M	20	460	610	360	10000	6500	675	825	1240	100	200
TMOV14RP510E	P4T510E	TMOV14RP510M	P4T510M	14	510	670	185	6000	4500	738	902	1355	50	200
TMOV20RP510E	P2T510E	TMOV20RP510M	P2T510M	20	510	670	325	10000	6500	738	902	1355	100	350
TMOV14RP550E	P4T550E	TMOV14RP550M	P4T550M	14	550	715	190	6000	4500	819	1001	1500	50	180
TMOV20RP550E	P2T550E	TMOV20RP550M	P2T550M	20	550	715	360	10000	6500	819	1001	1500	100	300

# Resistores : Ejemplo 1



- Un cambio en la temperatura de  $10^\circ\text{C}$  produce un cambio en la ganancia de 250ppm
- Representa un error de 1 bit menos significativo en un sistema digital de 12 bits. En un sistema de 16 bits, es un desastre!!!

# Resistores : Ejemplo 2

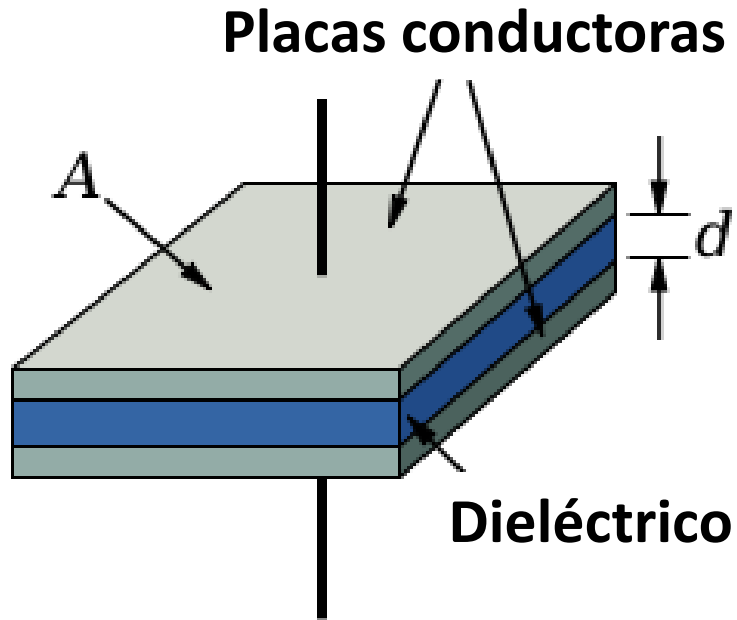


- Suponiendo una resistencia térmica de R1 y R2 de  $125^\circ\text{C}/\text{W}$
- La temperatura de R1 aumenta  $1.25^\circ$  ya que  $PD=9.9 \text{ mW}$
- La temperatura de R2 prácticamente se mantiene constante,  $PD=0.1 \text{ mW}$
- La ganancia cambia en 31 ppm, que representa un error de 1/2 bit menos significativo @14 bits

En circuitos de precisión se requiere que los resistores estén apareados. Una solución es utilizar resistores integrados en el mismo sustrato.



# Capacitores: Características



$$C[F] = \frac{\epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot [(N-1)A]}{d}$$

$\epsilon_0$ : Cte. dieléctrica del vacío  $8.85 \cdot 10^{-12} \frac{F}{m}$

$\epsilon_r$ : Cte. dieléctrica relativa

$N$ : Número de placas

$A[m^2]$ : Área de las placas

$d[m]$ : Separación entre placas

# Capacitores: Características

$$W = \frac{C \cdot V^2}{2}$$

$W[J]$ : *Energía almacenada*

$C[F]$ : *Capacidad*

$V[V]$ : *Voltaje aplicado*

La constante dieléctrica determina la cantidad de energía eléctrica por unidad de volumen que se puede almacenar para un voltaje aplicado.

TABLE 1.4 Comparison of Capacitor Dielectric Constants

Dielectric	$K$ (Dielectric Constant)
Air or vacuum	1.0
Paper	2.0–6.0
Plastic	2.1–6.0
Mineral oil	2.2–2.3
Silicone oil	2.7–2.8
Quartz	3.8–4.4
Glass	4.8–8.0
Porcelain	5.1–5.9
Mica	5.4–8.7
Aluminum oxide	8.4
Tantalum pentoxide	26
Ceramic	12–400,000

# Capacitores: Aplicaciones

- Filtrado
- Desacople/Bypass
- Acople/Bloqueo de continua
- Snubbers
- Almacenamiento de energía
- Circuitos resonantes
- Corrección de Factor de Potencia
- Osciladores
- Compensación

# Capacitores: ¿Qué especificar?

- **Valor nominal:** Especificado a 20°C.
- **Tensión de operación:** Máxima tensión continua o eficaz que soporta de modo continuo.
- **Tolerancia:** Cuánto se puede desviar la capacitancia del valor nominal. ( $\pm 1\% = F$ ,  $\pm 2\% = G$ ,  $\pm 2.5\% = H$ ,  $\pm 5\% = J$ ,  $\pm 10\% = K$ ,  $\pm 20\% = M$ )
- **Corriente de fuga:** Del orden de los pA a  $\mu A$  según el dieléctrico. Se puede especificar la resistencia de aislación en lugar de la corriente de fuga.
- **Rango de temperatura:** Comercial (0°C a 70°C), Militar (-55°C a 125°C).
- **Coeficiente de temperatura (TCR):** Dado en  $\%/^{\circ}C$  o ppm/ $^{\circ}C$  (Ej. P100, N50)
- **Polaridad:** Para los capacitores electrolíticos se indica la polaridad de los terminales.
- **Resistencia equivalente serie (ESR):** Dada en  $\Omega$  o m $\Omega$ .
- **Inductancia equivalente serie (LSR):** Dada en pHy o nHy.
- **Factor de calidad:** Relación de la reactancia y la resistencia a una dada frecuencia.
- **Factor de disipación:** Es el inverso del factor de calidad. Cuánto más bajo mejor.
- **Características de alta frecuencia**

# Código EIA RS-198 Clase I para capacitores

Coeficiente de temperatura ppm/°C	Multiplicador del coeficiente de temperatura	Tolerancia del coeficiente de temperatura ppm/°C
C: 0.0	0: -1	G: +/-30
B: 0.3	1: -10	H: +/-60
L: 0.8	2: -100	J: +/-120
A: 0.9	3: -1000	K: +/-250
M: 1.0	4: +1	L: +/-500
P: 1.5	6: +10	M: +/-1000
R: 2.2	7: +100	N: +/-2500
S: 3.3	8: +1000	
T: 4.7		
V: 5.6		
U: 7.5		

Por ejemplo un capacitor con código **P3K** tendrá una variación en temperatura de -1500 ppm/°C con una tolerancia máxima de +/-250 ppm/°C.

# Código EIA RS-198 Clase II para capacitores

Código para temperatura mínima	Código para temperatura máxima	Código para el coeficiente de temperatura
X = -55°C	4 = +65°C	P = ±10%
Y = -30°C	5 = +85°C	R = ±15%
Z = +10°C	6 = +105°C	S = ±22%
	7 = +125°C	T = +22% / -33%
	8 = +150°C	U = +22% / -56%
	9 = +200°C	V = +22% / -82%

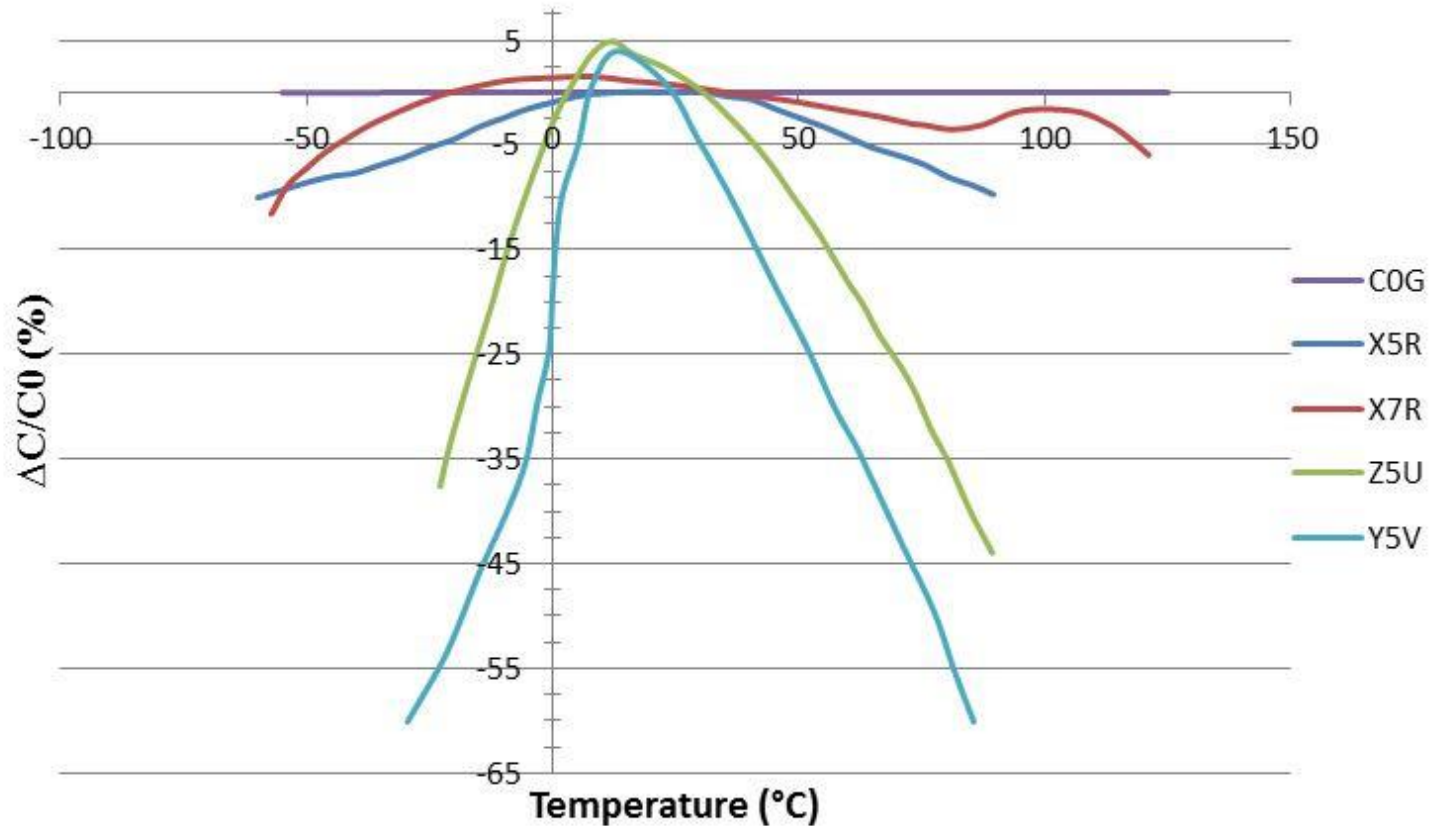
Por ejemplo un capacitor con código **Z5U** va a operar de +10°C a +85°C con una variación máxima de +22% a -56%.

Un capacitor con código **X7R** va a operar de -55°C a +125°C con una variación máxima de +/- 15%.

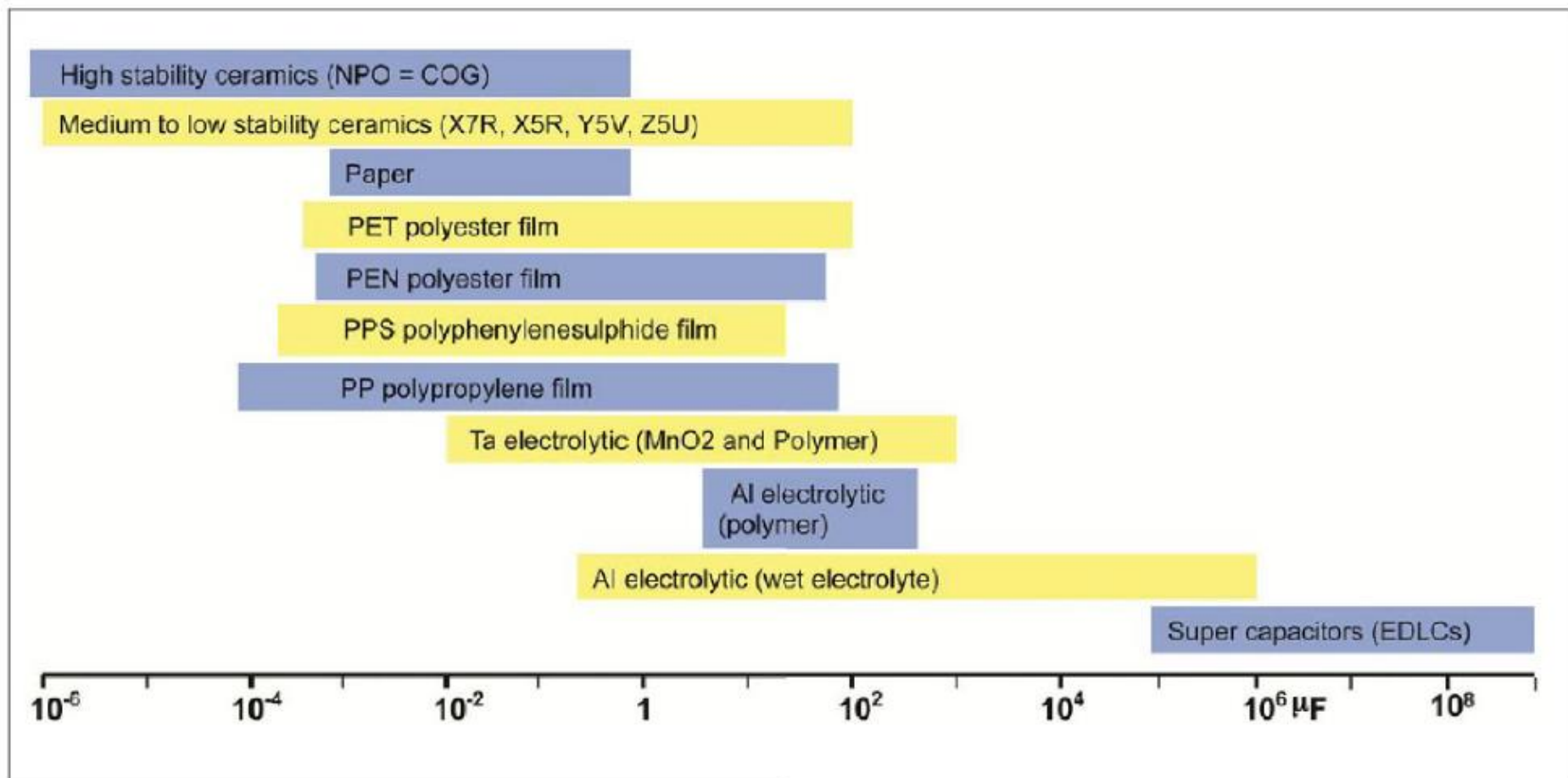
# Capacitores: Coeficiente térmico (ejemplo)

## Example variations of capacitance w/temperature

(source data: AVX Surface mount ceramic capacitor products catalog, v13.10)

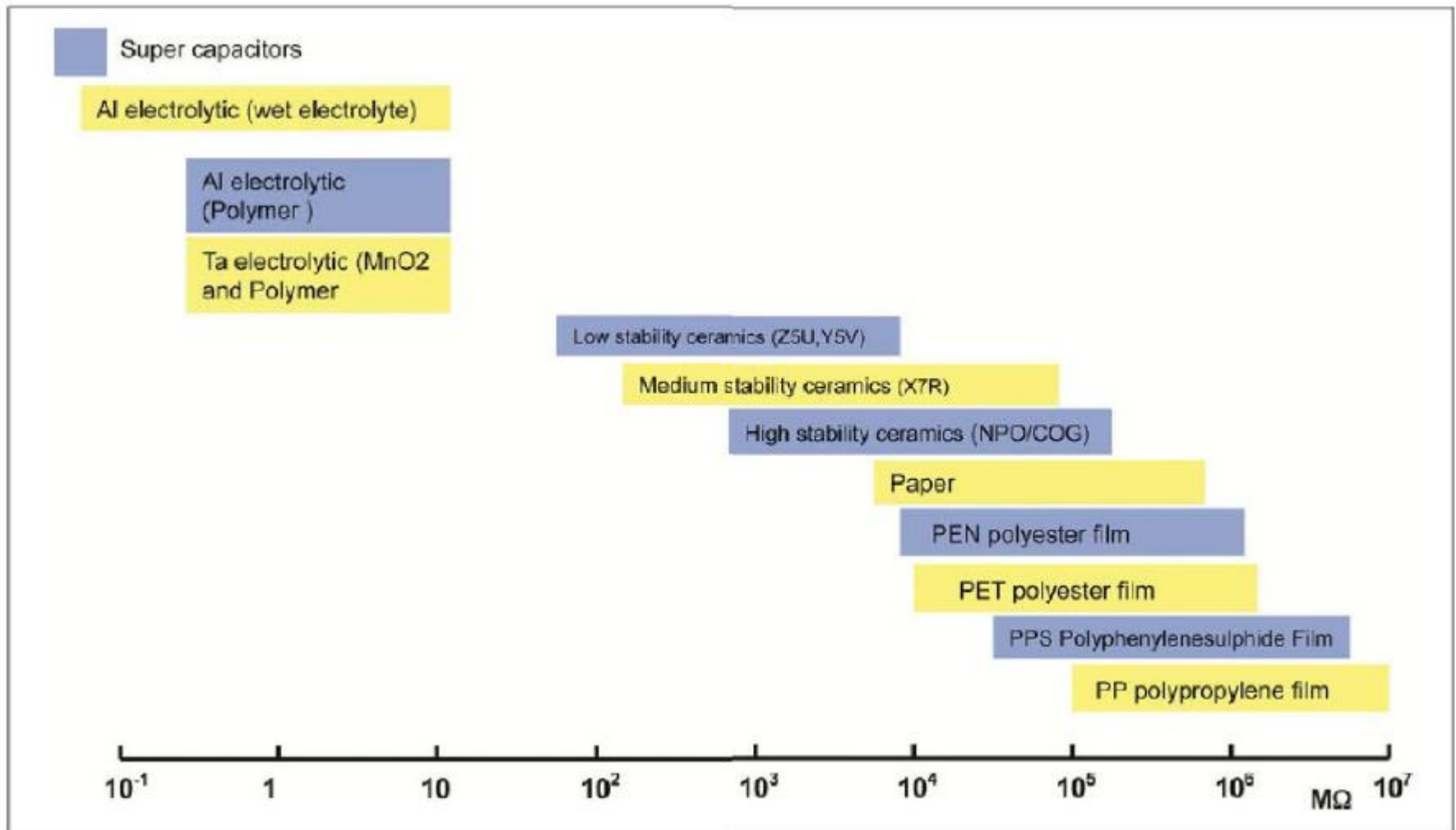


# Capacitores: Valores según tipo

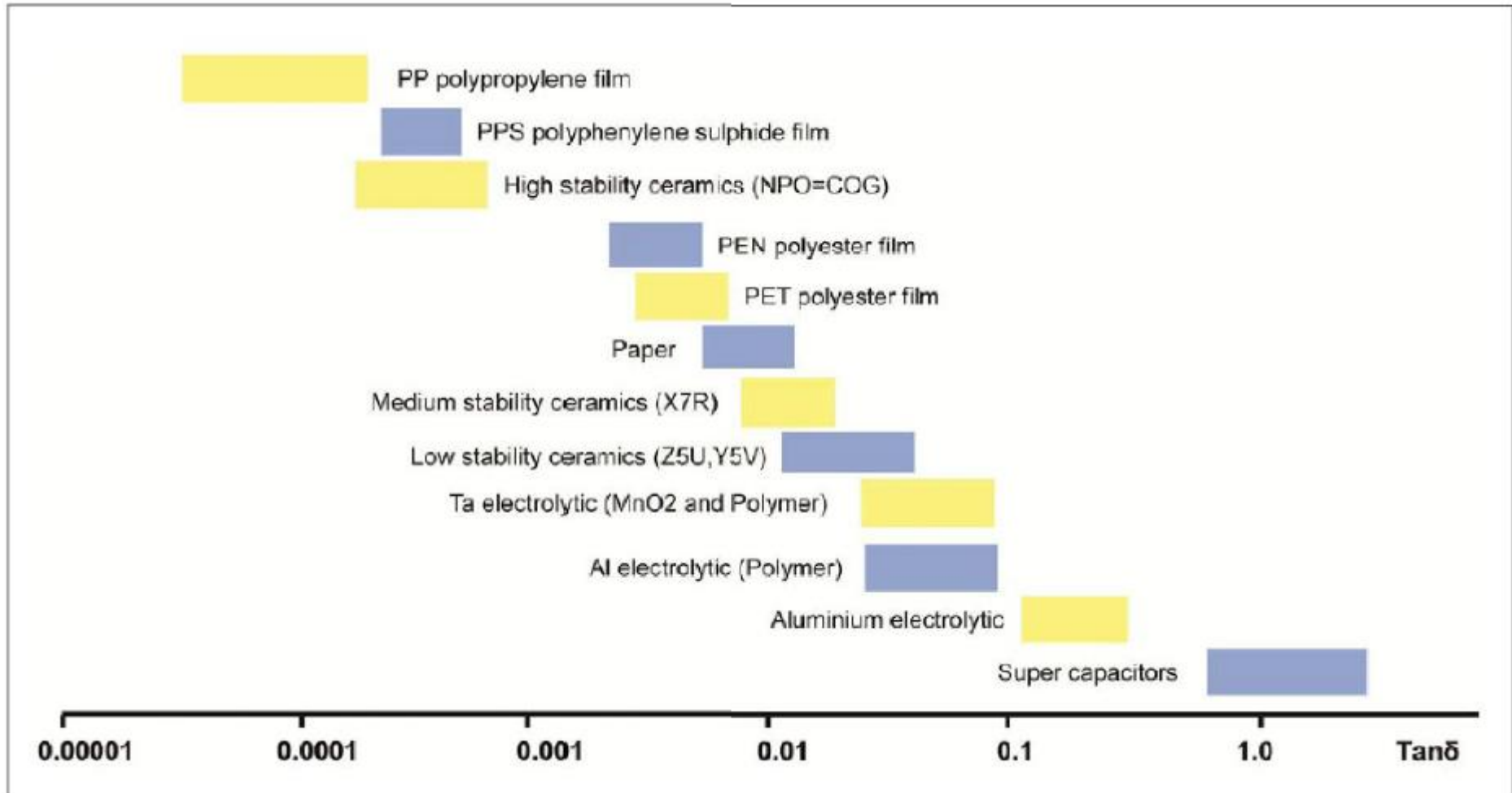




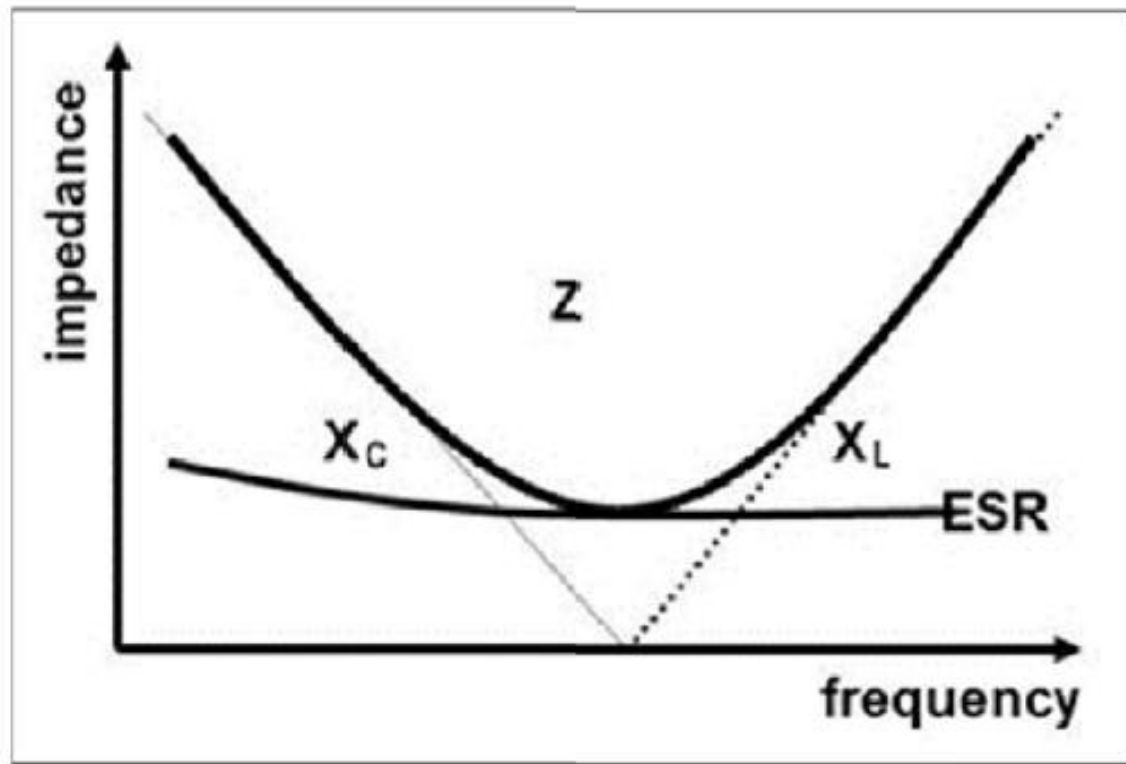
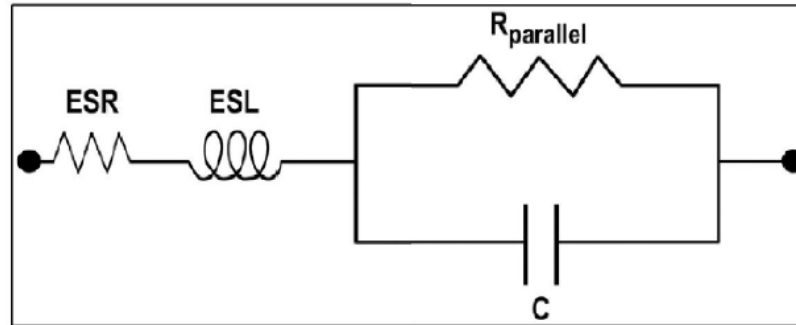
# Capacitores: Resistencia de aislación



# Capacitores: Factor de disipación



# Capacitores: Característica de alta frecuencia



# Capacitores: Tipos de fabricación

Tipo	Rango	ESR	Fugas	Voltaje	Temperatura	Notas generales
Cerámico	pF a $\mu$ F	Baja	Medias	Alto	-55°C a 125°C	Baratos, de propósito general.
PET film	pF a $\mu$ F	Baja	Medias	Bajo	-55°C a 125°C	Proposito general, bajo DC BIAS, baja frecuencia.
PEN film	pF a $\mu$ F	Baja	Medias	Bajo	-55°C a 150°C	Proposito general. Mayor resistencia a la temperatura que los PET.
PP film	pF a $\mu$ F	Baja	Bajas	Alto	-55°C a 125°C	Para alta frecuencia y pulsos. Supresión de interferencias.
Mica y Vidrio	pF a nF	Baja 0.01 $\Omega$ a 0.1 $\Omega$	Bajas	Alto	-55°C a 125°C	Para filtros RF, caros, muy estables.
Papel y Plástico	Algunos $\mu$ F's	Media	Medias	Alto	Variable	Para baja frecuencia, baratos.
Tantalio	$\mu$ F's	Alta 0.5 $\Omega$ a 5 $\Omega$	Bajas	Bajo	-55°C a 125°C	Caros, alinéales (malos para audio).
OSCON	$\mu$ F's	Baja 0.01 $\Omega$ a 0.5 $\Omega$	Bajas	Bajo	-55°C a 105°C	Mejor calidad, mas caros.
Electrolítico de aluminio	Varios $\mu$ F's	Alta 0.05 $\Omega$ a 2 $\Omega$	Medias	Bajo	-40°C a 105°C	Para bajas a medias frecuencias, baratos, almacenamiento de energía.

# Capacitores: Tipos de fabricación

Electrolítico



Policarbonato



Electrolito Tántalo



Mylar



Mica



Poliestireno



Poliéster



Pasante



Trimmer



Variable



Cerámico



Papel



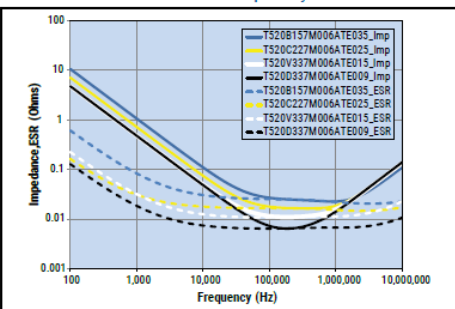
Electrolítico



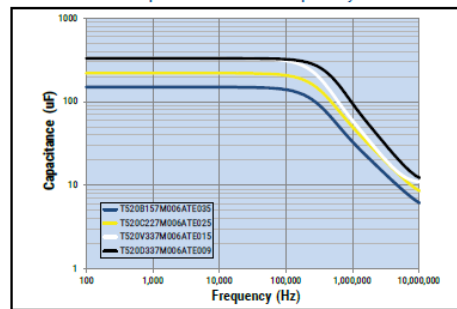
Bipolar



ESR vs. Frequency

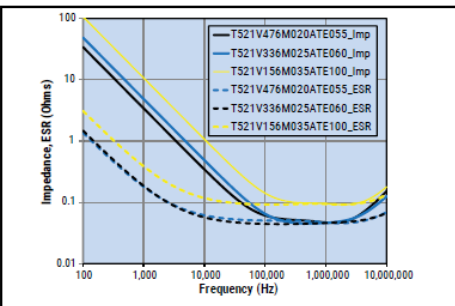


Capacitance vs. Frequency

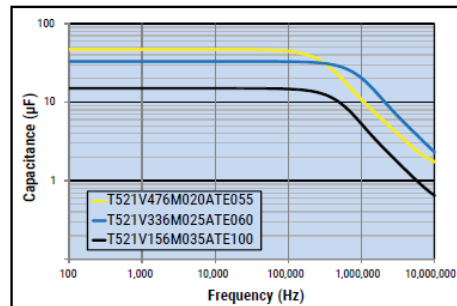


T521 High Voltage (12 V – 75 V)

ESR vs. Frequency



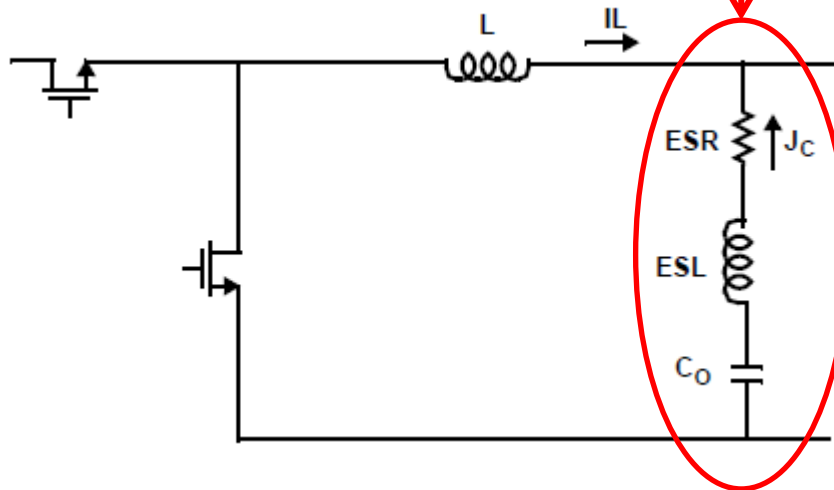
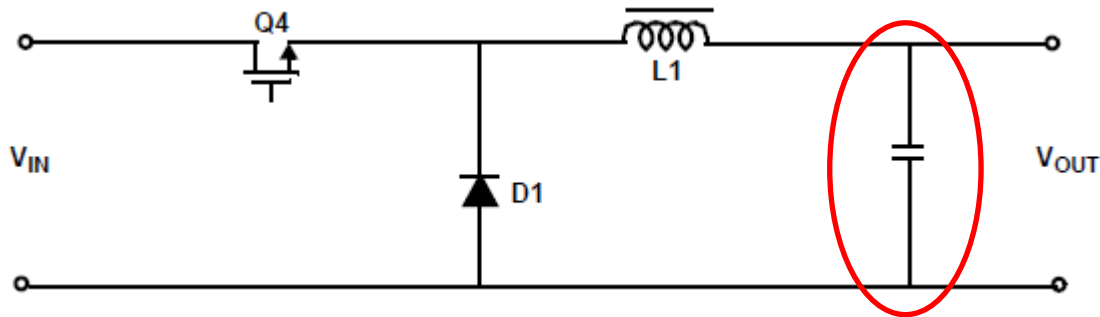
Capacitance vs. Frequency



# Capacitores: Ejemplo de características

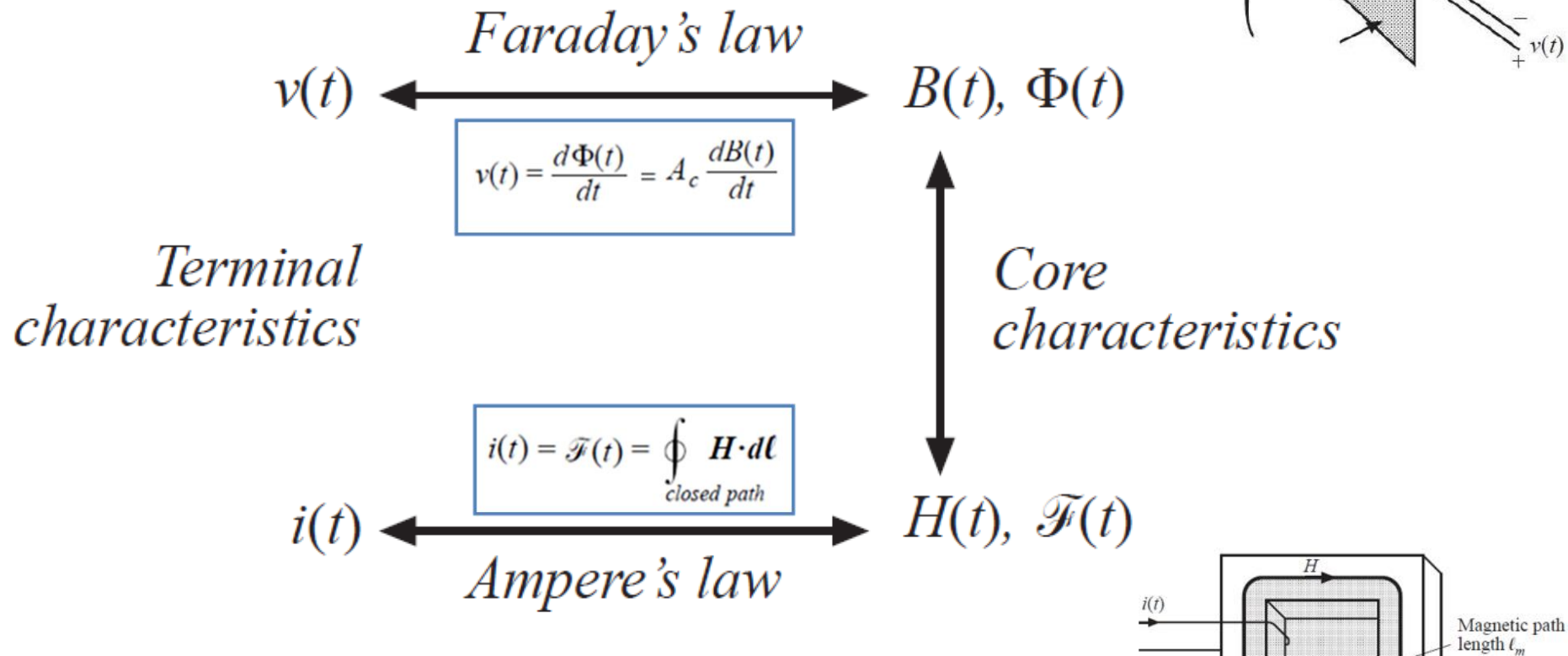
Rated Voltage VDC at 105°C	Rated Capacitance	Case Code/ Case Size	KEMET Part Number	DC Leakage	DF	ESR	Maximum Allowable Ripple Current	MSL	Maximum Operating Temperature
Not all parts are 105°C rated	µF	KEMET/EIA	(See below for part options)	µA at 25°C Maximum/ 5 Minutes	% at 25°C 120 Hz Maximum	mΩ at 25°C 100 kHz Maximum	(rms) mA at +45°C 100 kHz	Reflow Temp ≤ 260°C	°C
2	470	V/7343-19	T520V477M002A(1)E040	94	10	40	2,200	3	105
2.5	47	A/3216-18	T520A476M2R5A(1)E090 ^	11.75	8 *	90	1,100	3	105
2.5	68	A/3216-18	T520A686M2R5A(1)E070 ^	17	8 *	70	1,300	3	105
2.5	68	A/3216-18	T520A686M2R5A(1)E080 ^	17	8 *	80	1,200	3	105
2.5	100	T/3528-12	T520T107M2R5A(1)E040	25	8	40	1,600	3	105
2.5	100	T/3528-12	T520T107M2R5A(1)E070	25	8	70	1,200	3	105
2.5	100	T/3528-12	T525T107M2R5A(1)E080	25	10	80	1,100	3	125
2.5	100	B/3528-21	T520B107M2R5A(1)E025	25	8	25	2,300	3	105
2.5	100	B/3528-21	T520B107M2R5A(1)E035	25	8	35	1,900	3	105
2.5	100	B/3528-21	T520B107M2R5A(1)E040	25	8	40	1,800	3	105
2.5	100	B/3528-21	T520B107M2R5A(1)E070	25	8	70	1,300	3	105
2.5	150	U/6032-15	T520U157M2R5A(1)E055	37.5	8	55	1,600	3	105
2.5	220	A/3216-18	T520A227M2R5A(1)E025 ^	55	8 *	25	1,732	3	105
2.5	220	A/3216-18	T520A227M2R5A(1)E035 ^	55	8 *	35	1,500	3	105
2.5	220	B/3528-21	T520B227M2R5A(1)E015	55	8	15	2,900	3	105
2.5	220	B/3528-21	T520B227M2R5A(1)E018	55	8	18	2,700	3	105
2.5	220	B/3528-21	T520B227M2R5A(1)E021	55	8	21	2,500	3	105
2.5	220	B/3528-21	T520B227M2R5A(1)E025	55	8	25	2,300	3	105
2.5	220	B/3528-21	T520B227M2R5A(1)E030	55	8	30	2,100	3	105
2.5	220	B/3528-21	T520B227M2R5A(1)E035	55	8	35	1,900	3	105

# Capacitores: Ejemplo



$$\Delta V_{out} = ESR \cdot I_{transiente} + ESL \cdot \frac{\Delta I}{\Delta T}$$

# Componentes magnéticos



$\Phi(t)$ : Flujo total

$B(t)$ : Densidad de flujo

$\Phi(t) = B(t)A_c$  si  $\Phi(t)$  esta uniformemente distribuido atravesando el área  $A_c$

$\mathcal{F}(t)$ : Fuerza magneto motriz

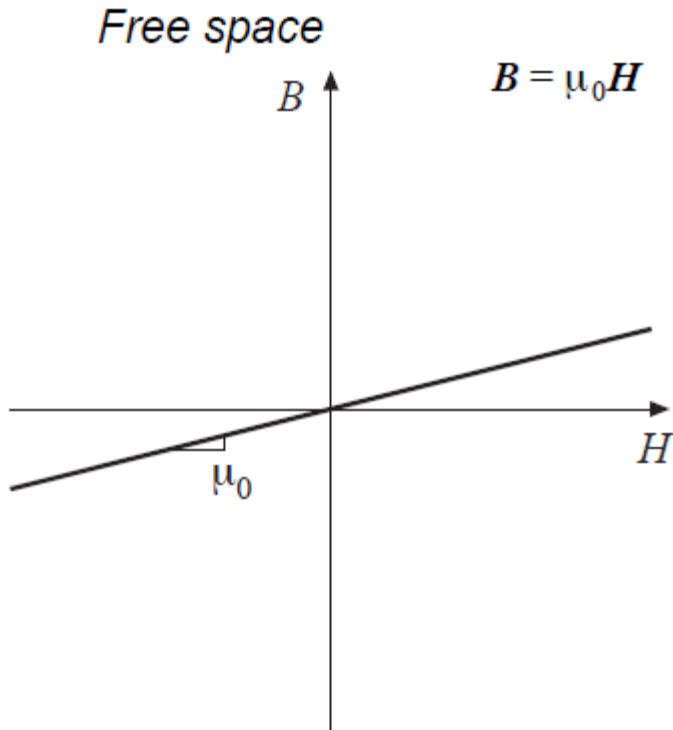
$H(t)$ : Intensidad de campo magnético

$\mathcal{F}(t) = H(t)L_m$  si  $H(t)$  esta uniformemente distribuido a lo largo del camino magnético  $L_m$

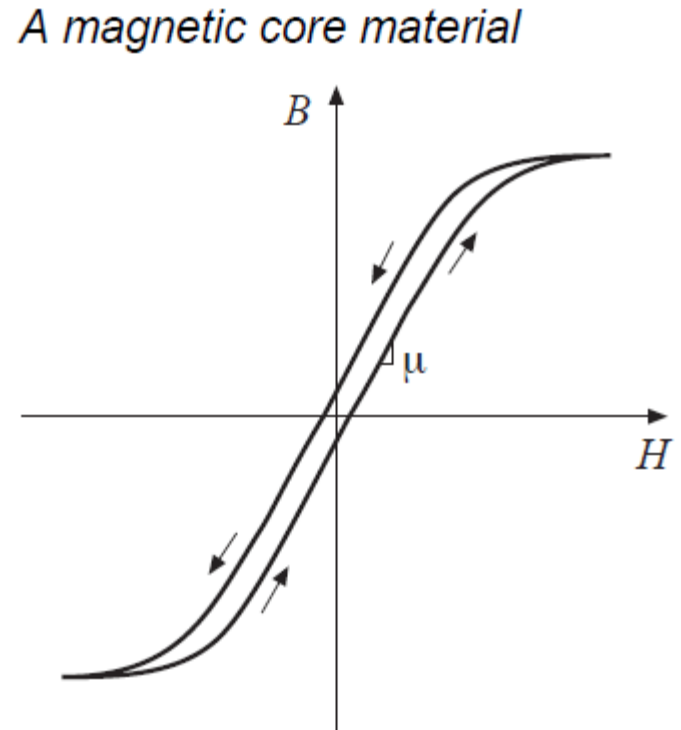


# Componentes magnéticos:

## Característica B-H



$\mu_0$  = permeability of free space  
=  $4\pi \cdot 10^{-7}$  Henries per meter



Highly nonlinear, with hysteresis  
and saturation

# Componentes magnéticos:

## Característica Inductor

*Ley de Faraday:*

Para cada vuelta de alambre, podemos escribir

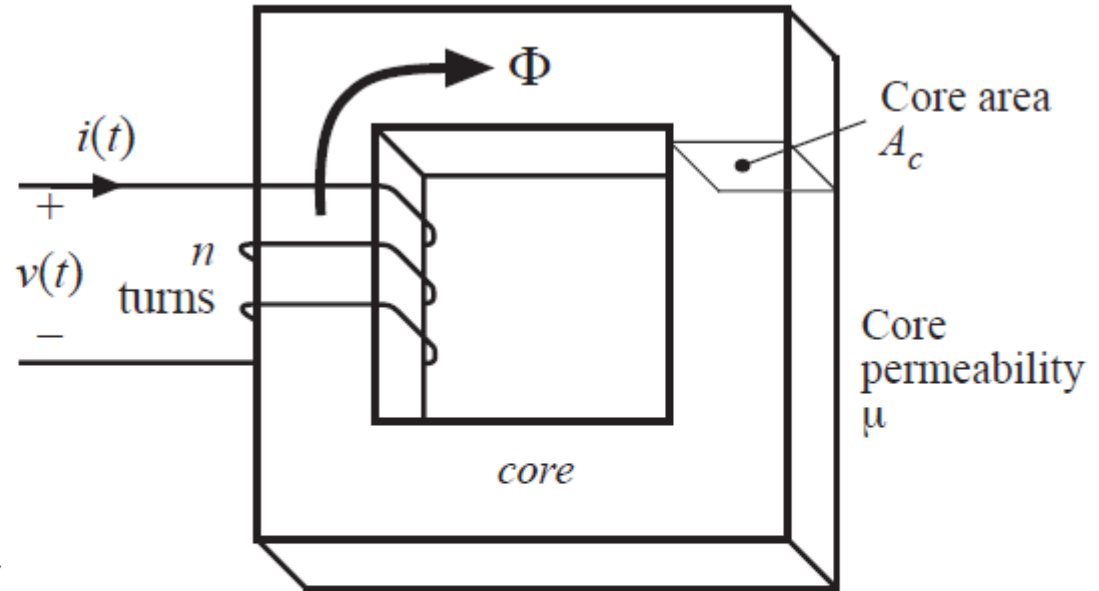
$$v_{turn}(t) = \frac{d\Phi(t)}{dt}$$

El voltaje total del bobinado es

$$v(t) = nv_{turn}(t) = n \frac{d\Phi(t)}{dt}$$

Reemplazando el flujo total por la inducción  $B(t) = \Phi(t)/A_c$

$$v(t) = nA_c \frac{dB(t)}{dt}$$

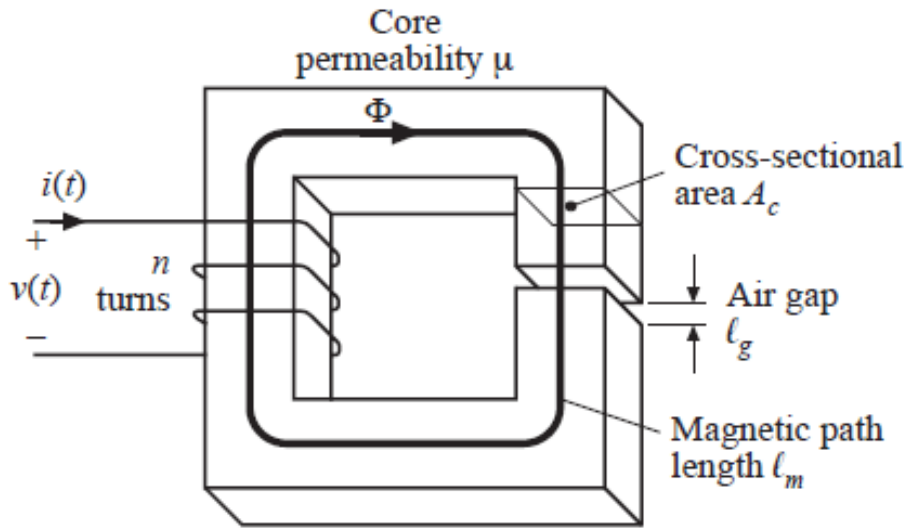


De la Ley de Ampere, tenemos

$$H(t) \ell_m = n i(t)$$

# Componentes magnéticos:

## Característica Inductor con entrehierro



Ley de Faraday:

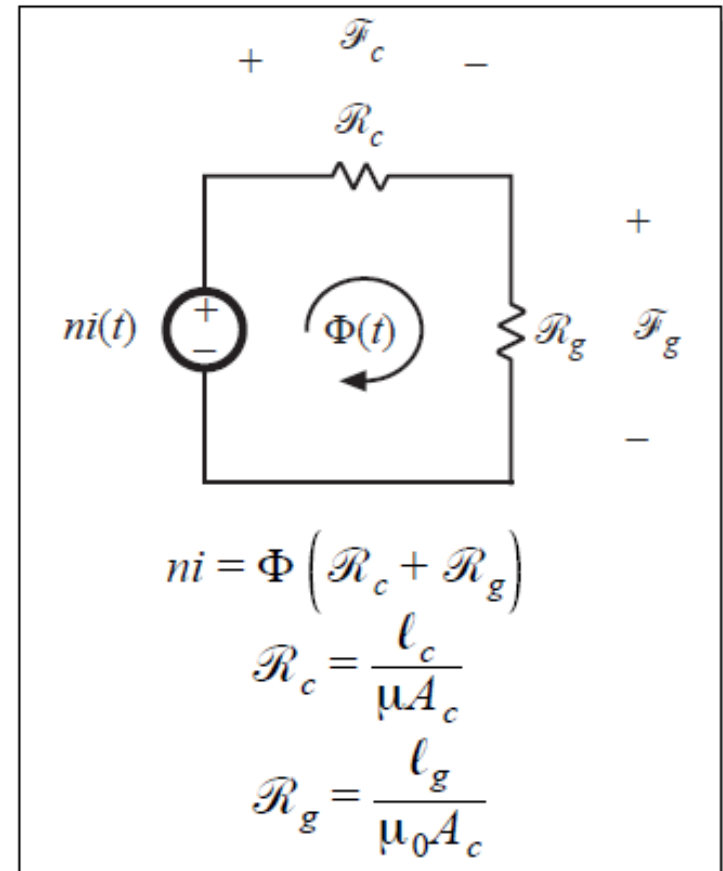
$$v(t) = n \frac{d\Phi(t)}{dt}$$

Sustituyendo  $\Phi$ :

$$v(t) = \frac{n^2}{\mathcal{R}_c + \mathcal{R}_g} \frac{di(t)}{dt}$$

Por lo que la inductancia es:

$$L = \frac{n^2}{\mathcal{R}_c + \mathcal{R}_g}$$



Efecto  
del  
entrehierro



- Disminuye la inductancia.
- Aumenta la corriente de saturación.
- La inductancia es menos dependiente de la permeabilidad del núcleo.

# Componentes magnéticos:

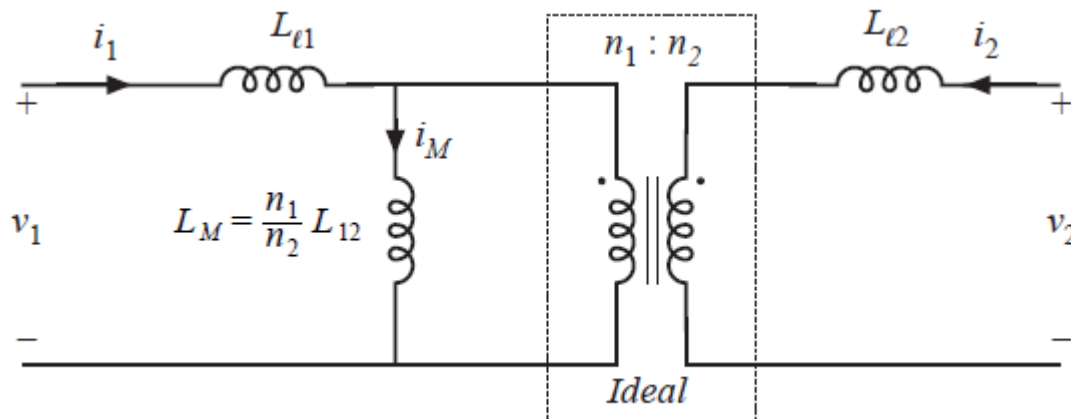
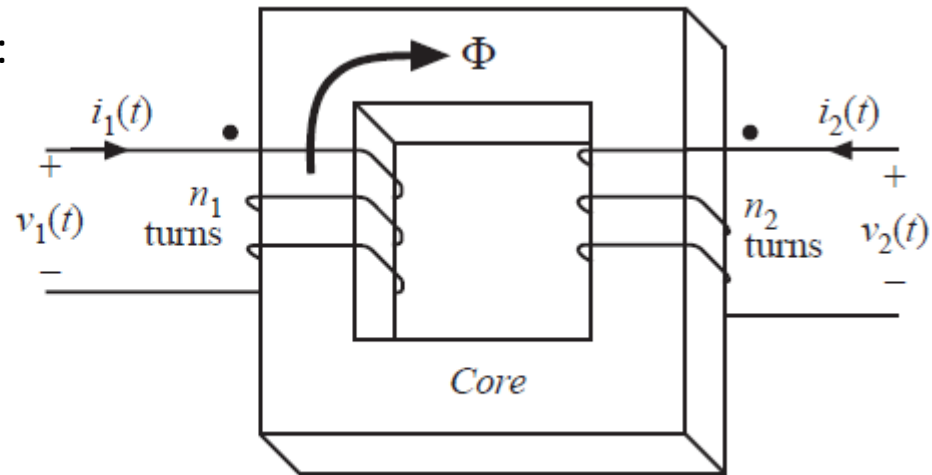
## Característica Transformador

Dos devanados, sin entrehierro:

$$\mathcal{R} = \frac{\ell_m}{\mu A_c}$$

$$\mathcal{F}_c = n_1 i_1 + n_2 i_2$$

$$\Phi \mathcal{R} = n_1 i_1 + n_2 i_2$$



Inductancia mutua:

$$L_{12} = \frac{n_1 n_2}{\mathcal{R}} = \frac{n_2}{n_1} L_M$$

Inductancias propias  
del primario y secundario:

$$L_{11} = L_{e1} + \frac{n_1}{n_2} L_{12}$$

$$L_{22} = L_{e2} + \frac{n_2}{n_1} L_{12}$$

Relación de vueltas efectiva  $n_e = \sqrt{\frac{L_{22}}{L_{11}}}$

Coeficiente de acoplamiento  $k = \frac{L_{12}}{\sqrt{L_{11} L_{22}}}$

# Componentes magnéticos: Pérdidas

- **Pérdidas del cobre**
- **Efecto pelicular (skin effect) en altas frecuencias**

La resistividad del cobre aumenta con la frecuencia y se calcula la profundidad de penetración para una frecuencia dada con el fin de obtener el aprovechamiento de la sección del conductor.

$\delta = \frac{7.5}{\sqrt{f}} [cm]$ , para el cobre a temperatura ambiente.

- **Pérdidas por histéresis**

Las pérdidas por histéresis son proporcionales a la frecuencia aplicada.

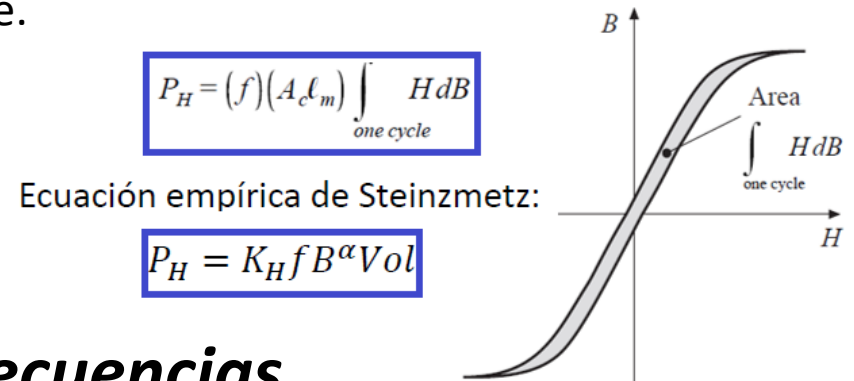
- **Corrientes de Eddy en altas frecuencias**

Si se supone que la impedancia del núcleo es puramente resistiva, entonces las corrientes de Eddy son proporcionales al voltaje inducido, por lo que la magnitud de las corrientes inducidas son proporcionales a la frecuencia  $f$ .

Ecuación empírica de Steinmetz:  $P_H = K_H f B^\alpha Vol$

- **Efecto de proximidad en altas frecuencias**

Ecuación empírica, a una frecuencia fija:  $P_{fe} = K_{fe} (\Delta B)^b A_c \ell_m$



$$P_H = (f)(A_c \ell_m) \int_{\text{one cycle}} H dB$$

Ecuación empírica de Steinmetz:

$$P_H = K_H f B^\alpha Vol$$

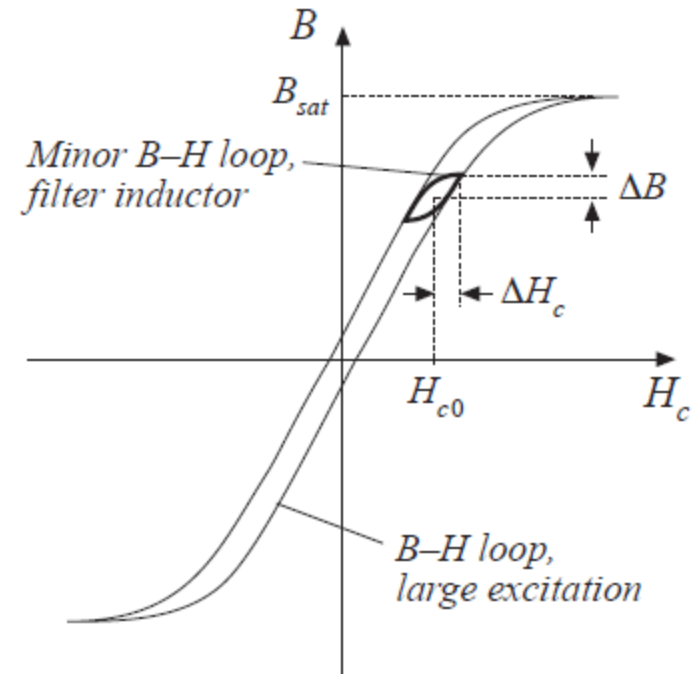
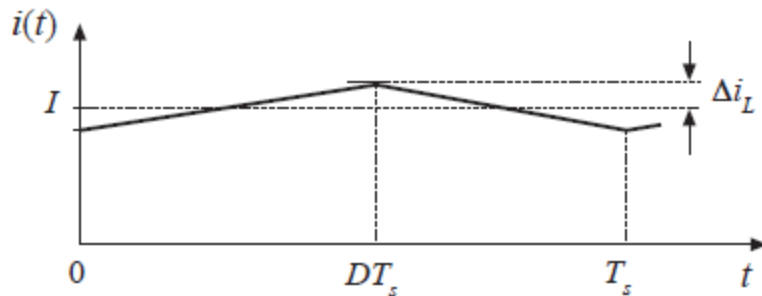
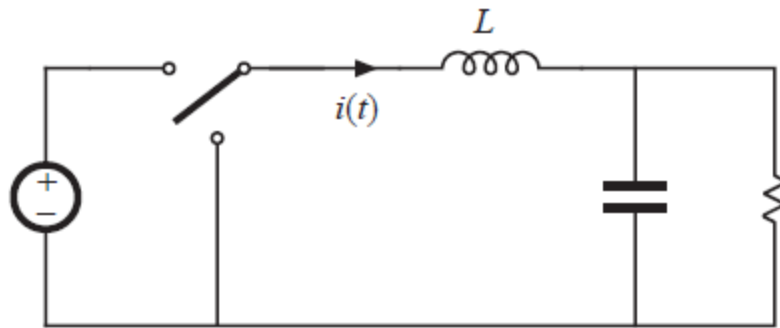
$$P_H = K_E f^2 B^2 Vol$$

$$P_{fe} = K_{fe} (\Delta B)^b A_c \ell_m$$

# Componentes magnéticos:

## Aplicaciones, inductor de filtrado.

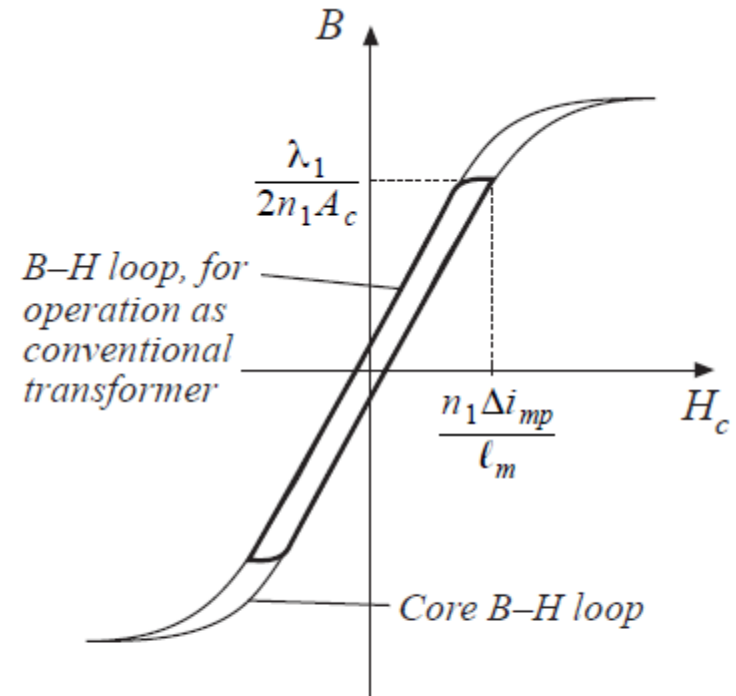
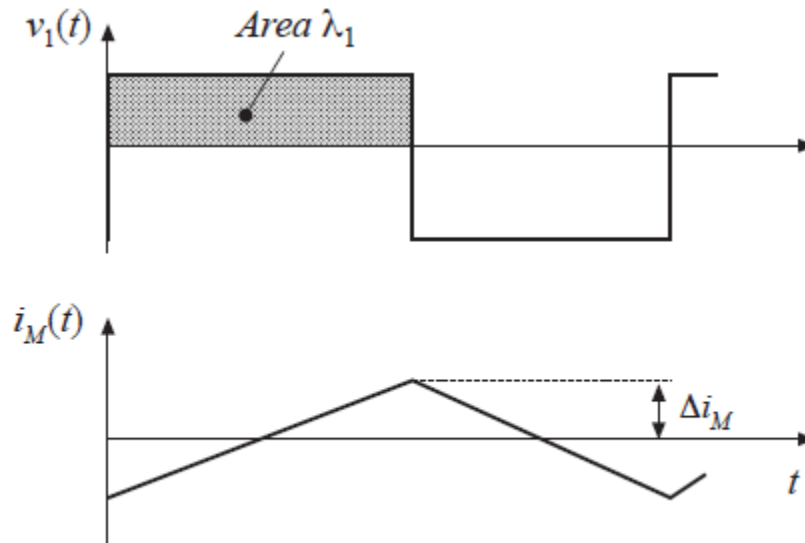
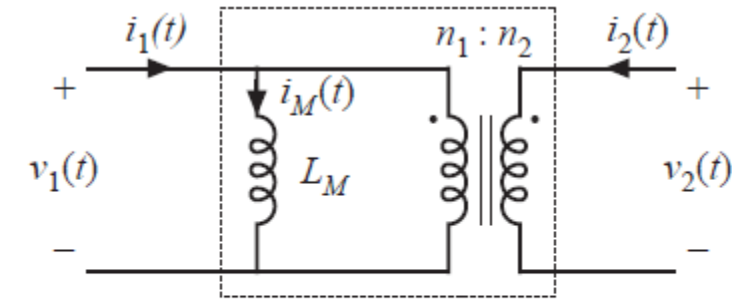
Ejemplo Buck en MC



$$H_c(t) = \frac{ni(t)}{\ell_c} \frac{\mathcal{R}_c}{\mathcal{R}_c + \mathcal{R}_g}$$

- Pérdidas del núcleo y de proximidad despreciables
- Dominan las pérdidas del cobre
- Elegir flujo magnético para evitar saturación

# Componentes magnéticos: Aplicaciones, transformador.

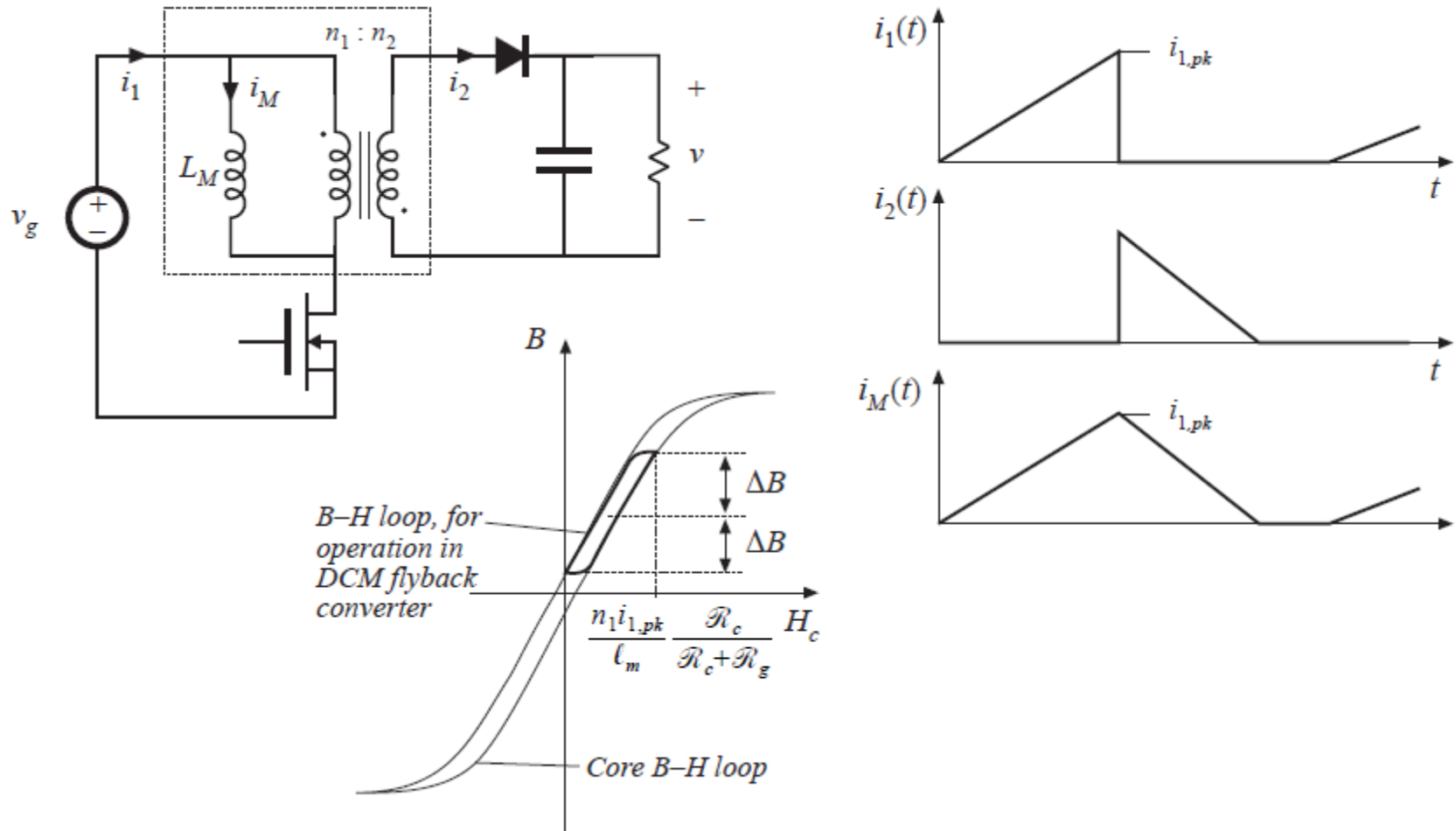


$$H(t) = \frac{n i_M(t)}{\ell_m}$$

- Pérdidas del núcleo, de proximidad y del cobre apreciables.
- No se usa entrehierro.
- La densidad de flujo se elige para reducir pérdidas del núcleo.
- Se debe elegir un ferrite que opere en alta frecuencia.

# Componentes magnéticos:

## Aplicaciones, transformador flyback.



- Pérdidas del núcleo, de proximidad y del cobre apreciables.
- Se usa entrehierro.
- La densidad de flujo se elige para reducir pérdidas del núcleo.
- Se debe elegir un ferrite que opere en alta frecuencia.

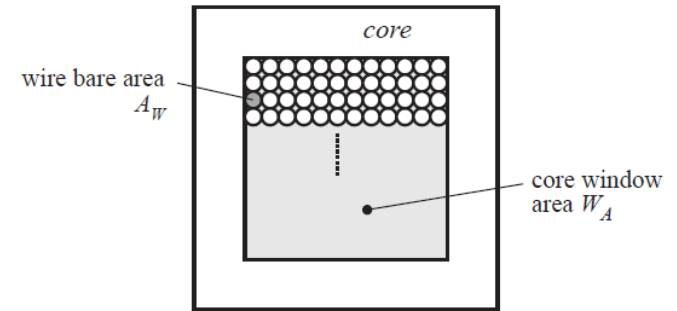


# Inductor de filtrado: Restricciones

- $nI_{max} = B_{max}AcR_g = B_{max} \frac{l_g}{\mu_0}$
- $L = \frac{n^2}{R_g} = \frac{\mu_0 A_c n^2}{l_g}$
- $K_u W_A \geq nA_w$ ,  $K_u$ : Factor de utilización de la venta;  $W_A$ : Área de ventana;  $A_w$ : Sección del conductor.
- $R = \rho \frac{n(MLT)}{A_w}$ ,  $MLT$ : Largo promedio por vuelta

$n$ ,  $l_g$  y  $W_A$  son las incógnitas. Usando las cuatro restricciones se puede llegar a la siguiente relación.

$$K_g = \frac{A_c^2 W_A}{(MLT)^2} \geq \frac{\rho L^2 I_{max}^2}{B_{max}^2 R K_u}$$



# Bibliografía

- C. A. Harper, “Passive Electronic Component Handbook”, Mc. GrawHill, 1997.
- Richard C. Dorf, “The Electrical Engineering Handbook”, CRC Press & IEEE Press, 1997.
- Hank Zumbahlen, “Basic linear design”, Analog Devices, 2007.
- Vishay Application Note, “Basics of Linear Fixed Resistors”, 2008.
- Ohmite Application Note, “Resistor Selection”.
- Kemet Application Note, “Introduction to Capacitor Technologies”, 2013.
- R. W. Erickson, “Fundamental of Power Electronics”, Springer Science & Business Media, 2001.
- Alex Van den Bossche, Vencislav Cekov Valchev, “Inductors and Transformers for Power Electronics”, 2005.
- W. G. Hurley, W. H. Wolfle, “Transformers and Inductors for Power Electronics”, Wiley, 2013.
- H. E. Tacca, “Flyback vs. Forward converter topology comparison based upon magnetic design”