

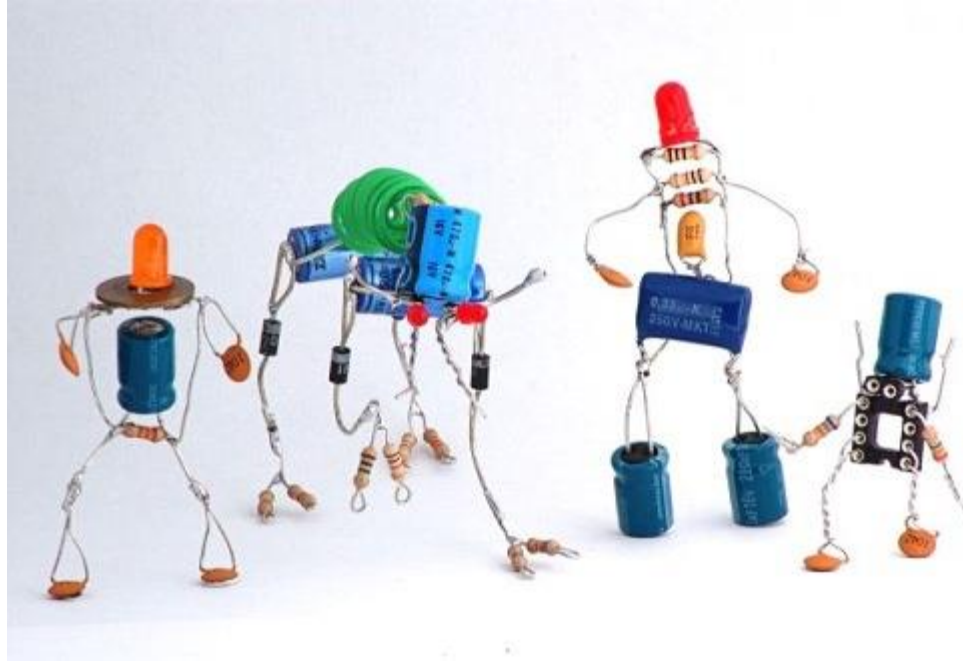
# Circuitos Electrónicos II (66.10)

## Diseño de Circuitos Electrónicos (86.10)

Departamento de Electrónica – FIUBA

Ing. Matías F. Bulacio

### Introducción a la Tecnología de Componentes



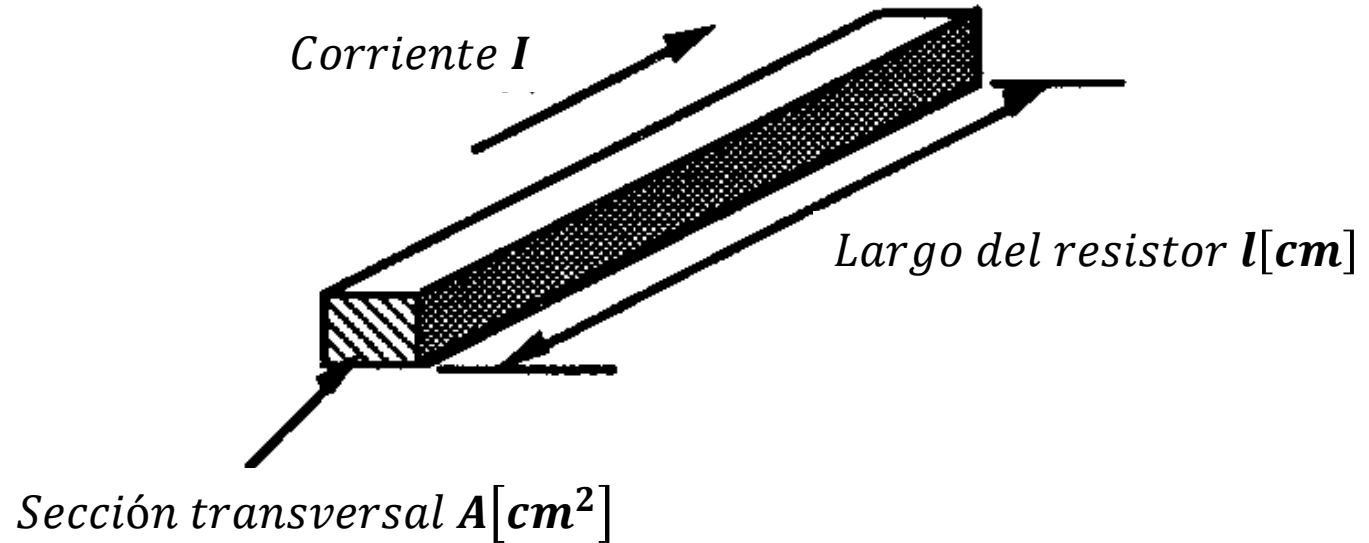
# Componentes Electrónicos

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

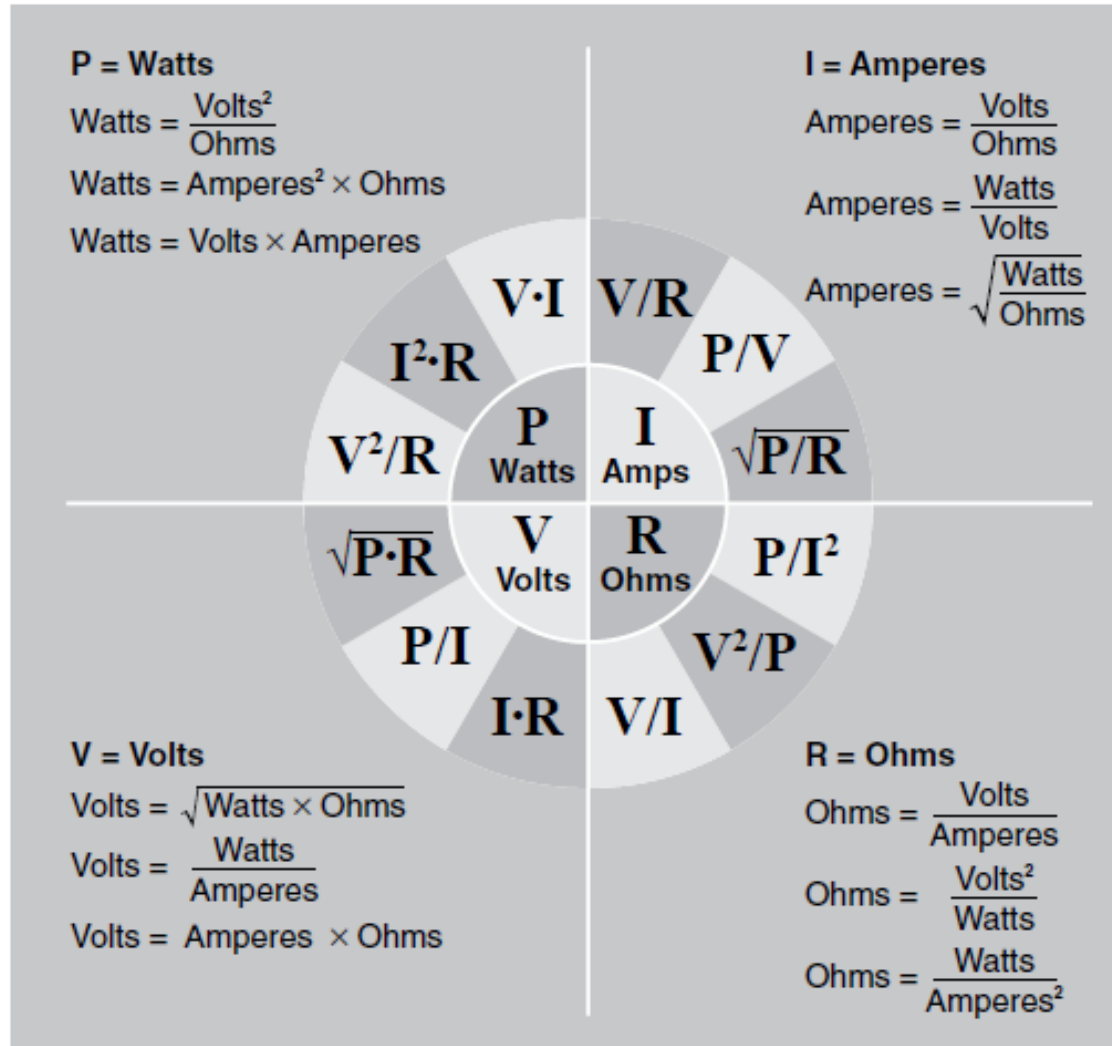
- Resistores
- Capacitores
- Inductores
- Transformadores

# Resistores: Características



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

# Resistores: Características ideales



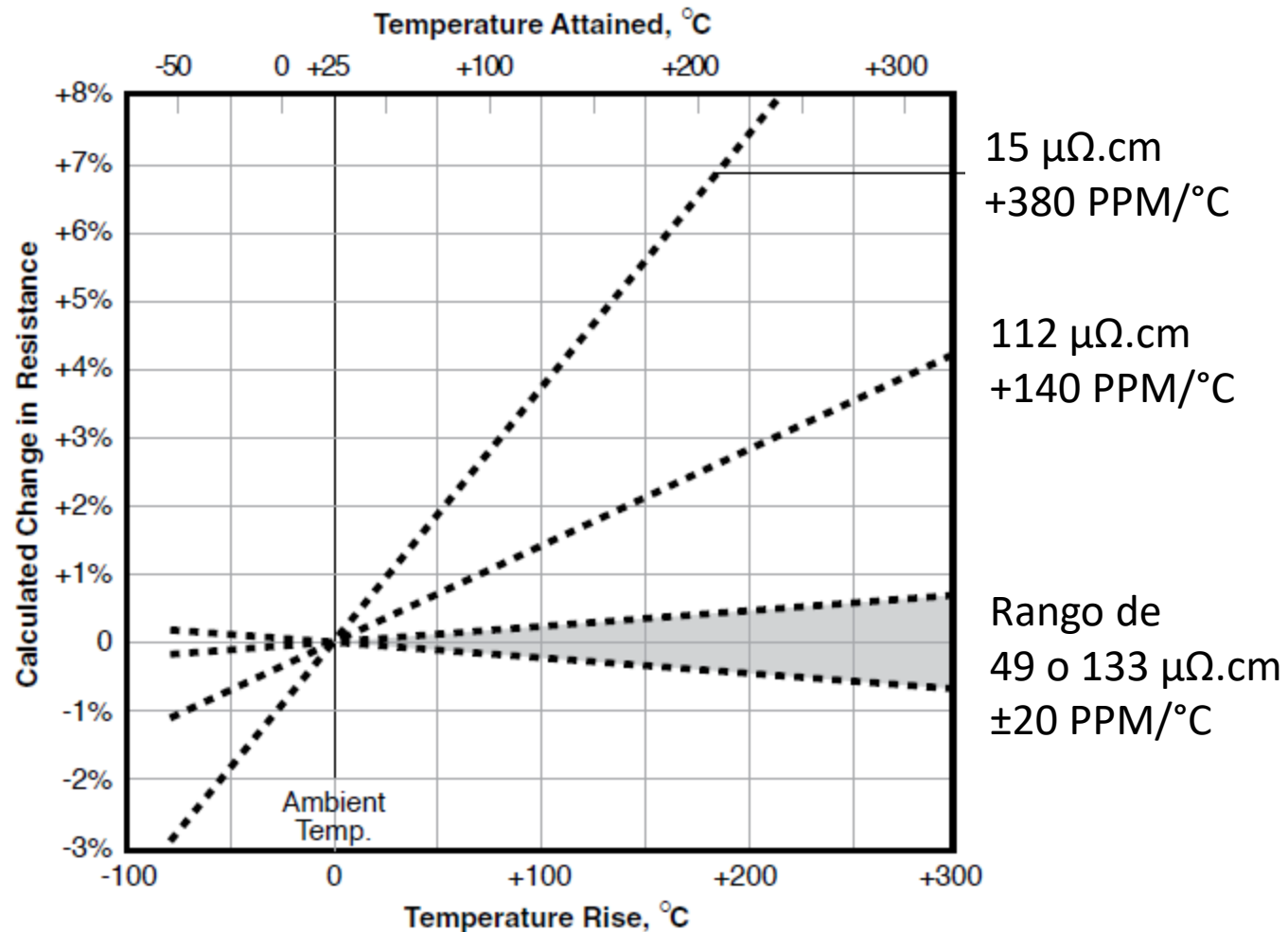
# Resistores: Aplicaciones

- 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

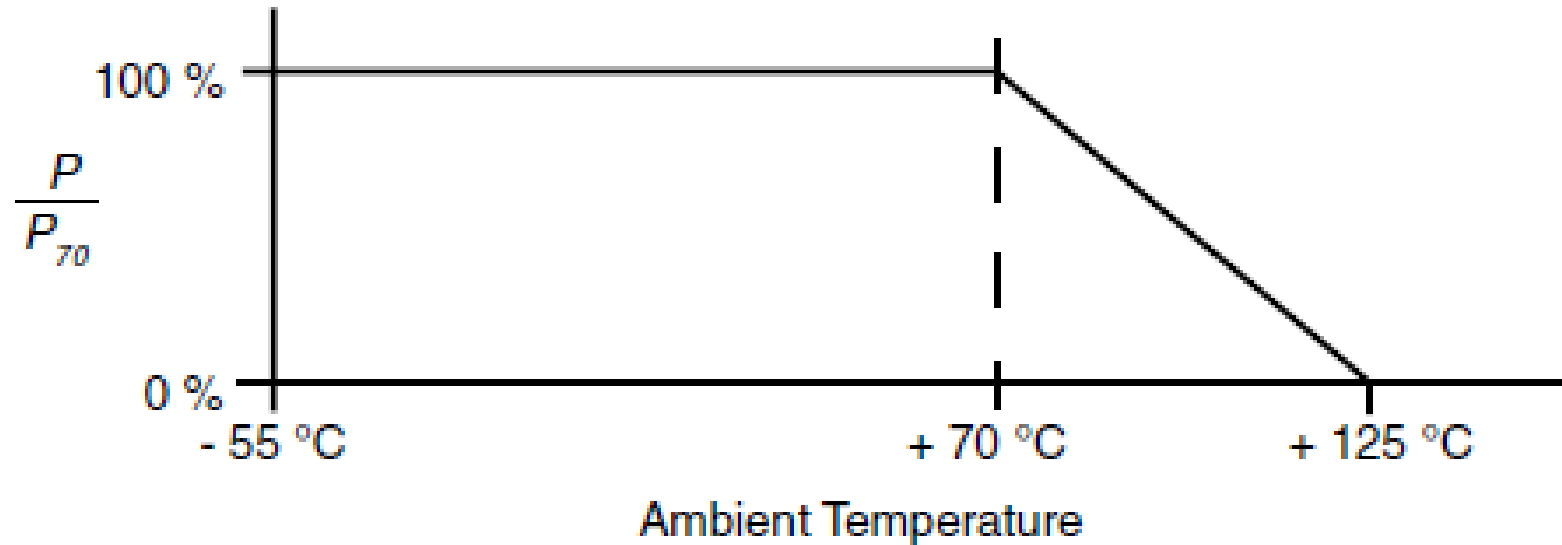
Las pruebas de estabilidad están definidas en estándares.

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	$\pm (0.05\%.R+0.01\Omega)$	$\pm (0.025\%.R+0.01\Omega)$



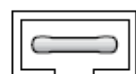


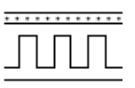


- 
- Secuencias climáticas
  - Exposición a calor húmedo
  - Exposición a altas temperaturas con cambios cíclicos en la carga.

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

# Resistores: Disipación de potencia

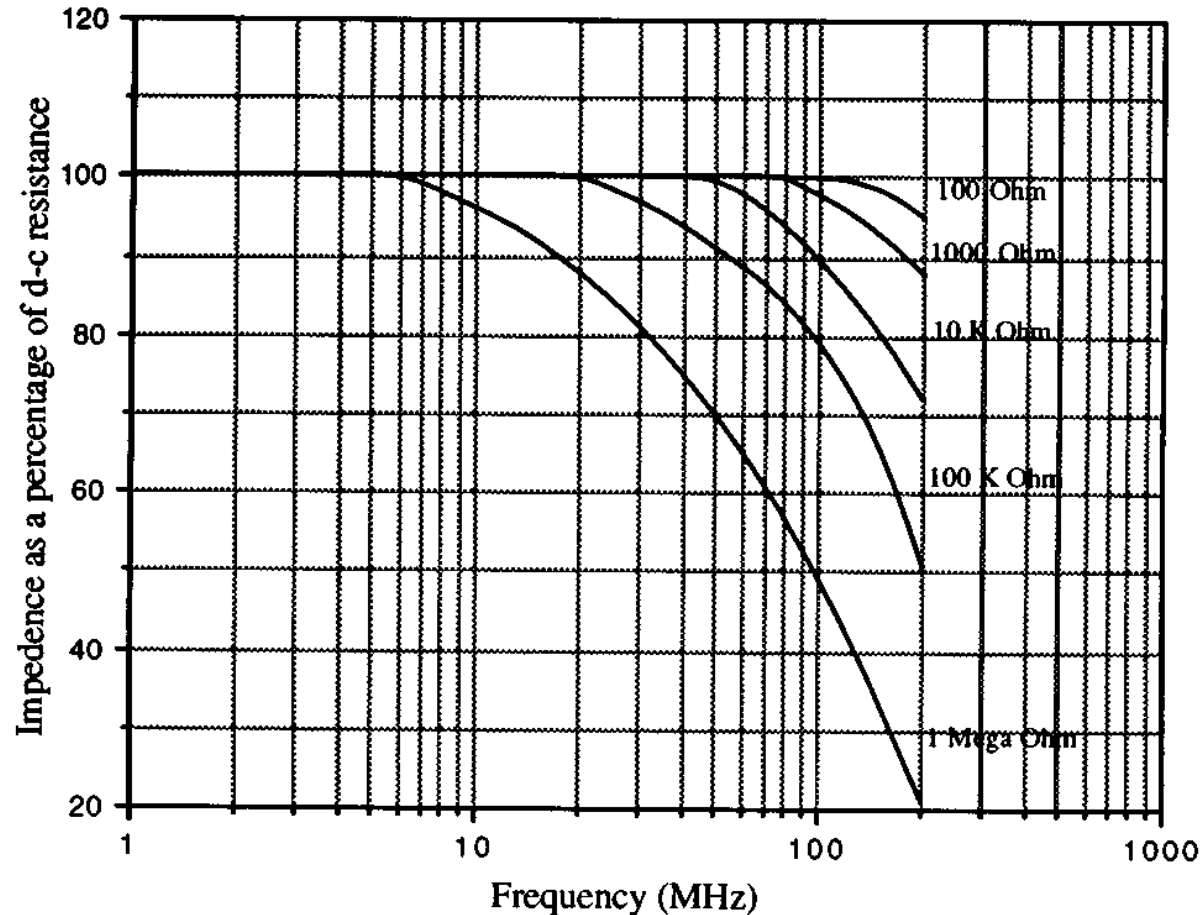
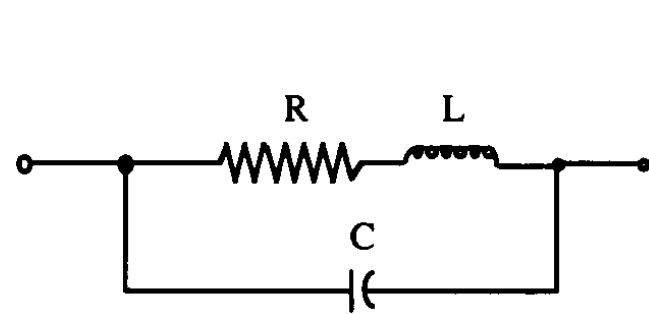


# Resistores: Disipación de potencia

Watts 	Application Conditions													
	Ambient Temperature 		Enclosure 		Grouping 		Altitude 		Pulse Operation 		Cooling Air 		Limited Temp. Rise 	
<p>Record the watts to be dissipated as set by your circuit conditions.</p> <p>Standard free air conditions</p>	°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	thousands of feet	100	percent load	1000	0.10	1500	40	104.0
	—	5.0	—	—		—		90		900	0.11	1400	50	122.0
	—	4.1	90	1.9		—		80		800	0.12	1300	—	104.0
	—	3.2	80	1.8	0.5" space	12 — 1.6		70		700	0.13	1200	8.0	46.0
	—	2.7	70	1.7		8 — 1.5		60		600	0.14	1100	7.0	41.0
	200	2.2	60	1.6		4 — 1.4		50		500	0.15	1000	6.0	36.0
	—	1.9	50	1.5	1" space	2 — 1.3		40		400	0.16	900	5.0	32.0
	—	1.6	40	1.4		12 — 1.5		30		300	0.17	800	4.0	28.0
	—	1.4	30	1.3		8 — 1.4		20		200	0.18	700	3.0	24.0
100	1.3	20	1.2	2" space	4 — 1.3	10		100		0.19	600	2.5	20.0	
—	1.2	10	1.1		2 — 1.2	5		50		0.20	500	2.0	17.0	
50	1.1	—	—		12 — 1.4	—		—		0.25	400	1.75	15.0	
25	1.0	None	1.0	1 — 1.0	8 — 1.3	—		—		0.30	300	1.5	13.0	
—	—	—	—	—	4 — 1.2	—		—		0.35	200	1.4	12.0	
—	—	—	—	—	2 — 1.1	—		—		0.40	100	1.3	11.0	
—	—	—	—	—	1 — 1.0	—		—		0.50	50	1.2	10.0	
—	—	—	—	—	—	—		—		0.60	20	1.1	9.0	
—	—	—	—	—	—	—		—		0.75	10	1.0	8.0	
—	—	—	—	—	—	—		—		1.0	5	0.90	7.0	
—	—	—	—	—	—	—		—		Still	1	0.80	6.0	
10W watts to be dissipated	1.1 factor	2 factor	1.3 factor	1 factor	1 factor	1 factor		1 factor		1 factor	1 factor	1 factor		
	Temperature at installation includes room temperature plus temperature rise due to adjacent heat sources.		Factors apply approximately for average sheet metal boxes of dimensions such that watts per sq. in. of surface are in the range of 0.2 to 0.4.		Factors apply to uniformly spaced banks of parallel resistors with spacing as shown.			Factors apply to altitudes shown. No derating is required for altitudes to 5000 ft. above sea level.		Percent load for pulse operation must first be determined from graphs and data on page xx.		Factors are approximations only. Effectiveness of cooling varies with installation.		Low temperatures may be desired because of adjacent apparatus, increased stability or maximum reliability.

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

# Resistores: Característica de alta frecuencia



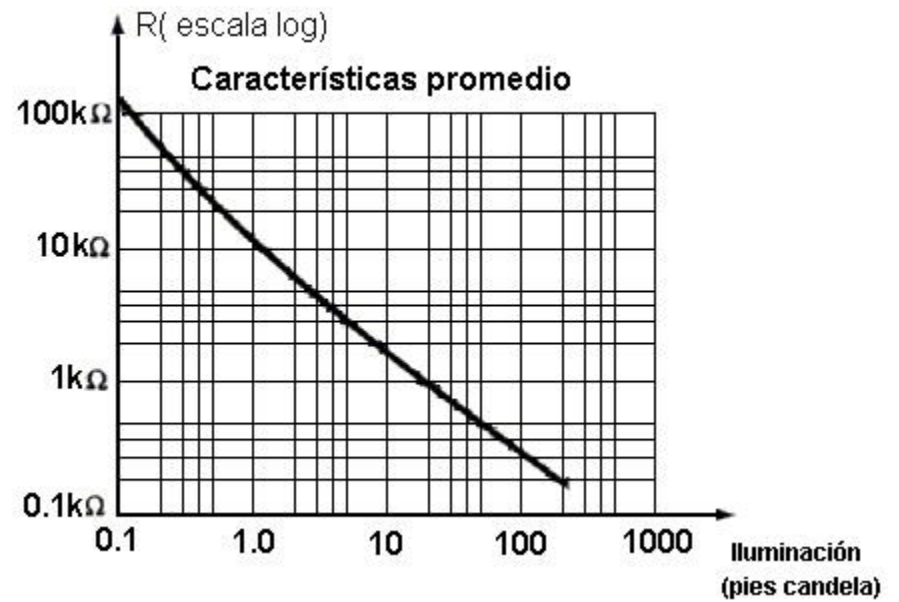
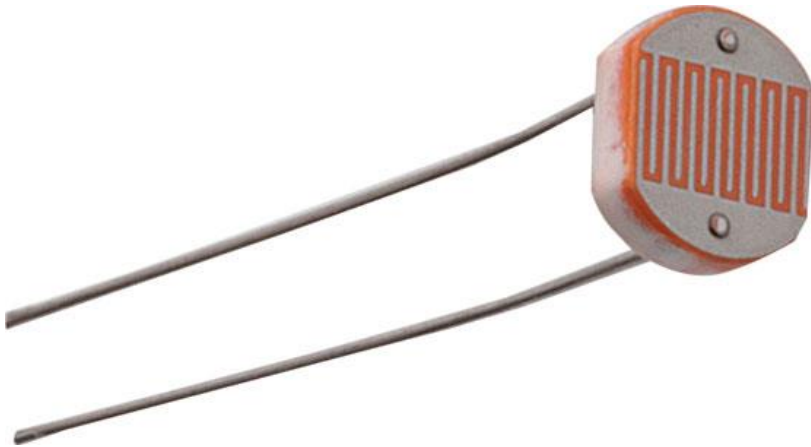
Impedancia como porcentaje de la impedancia en continua en función de la frecuencia, para resistores metal-film.

# 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

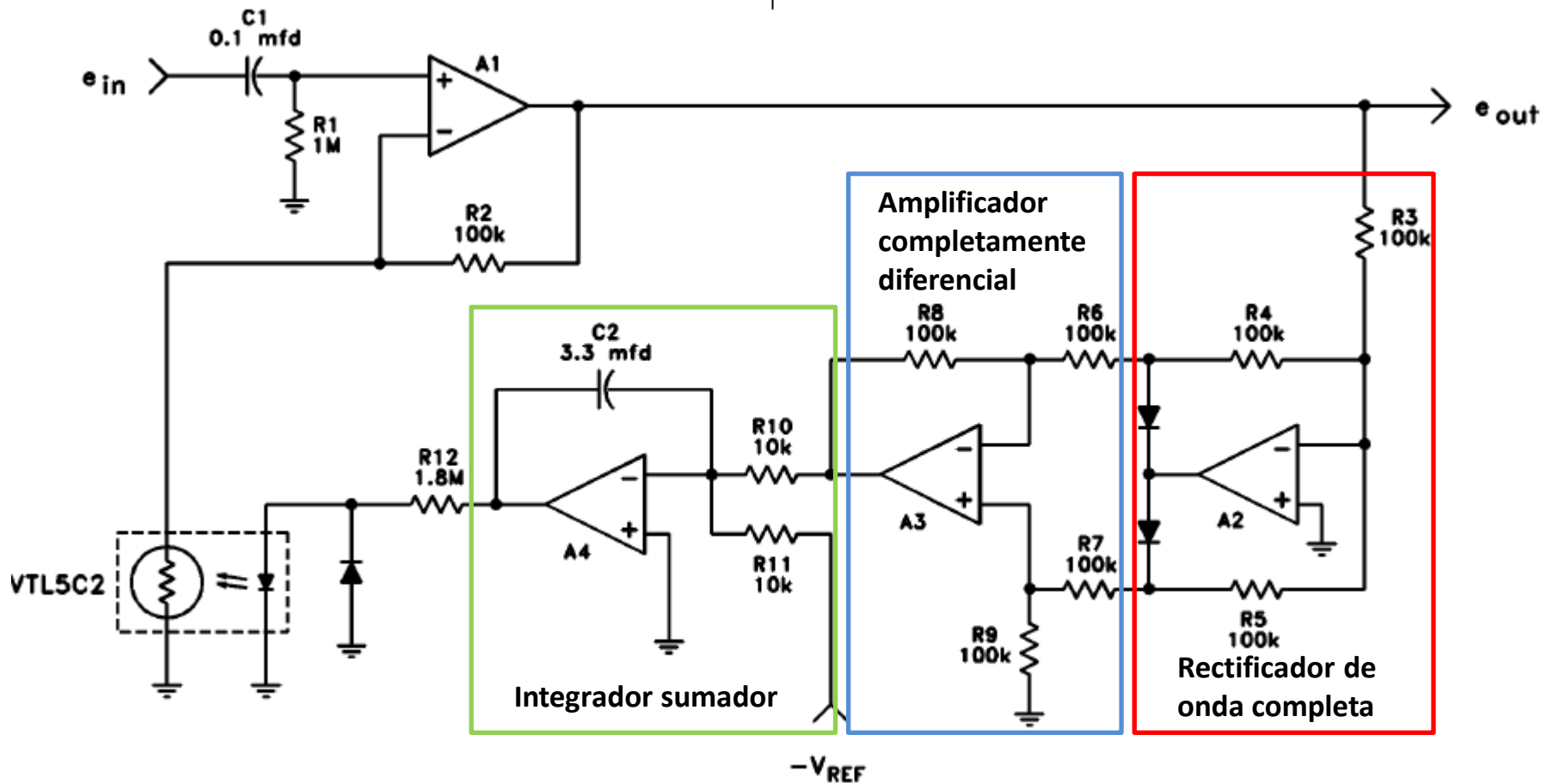
# Resistores especiales

- Foto-resistor (LDR)



# Resistores especiales

- Foto-resistor (LDR): Aplicación.



Control automático de ganancia (AGC)

# Resistores especiales

- Termistores: NTC y PTC

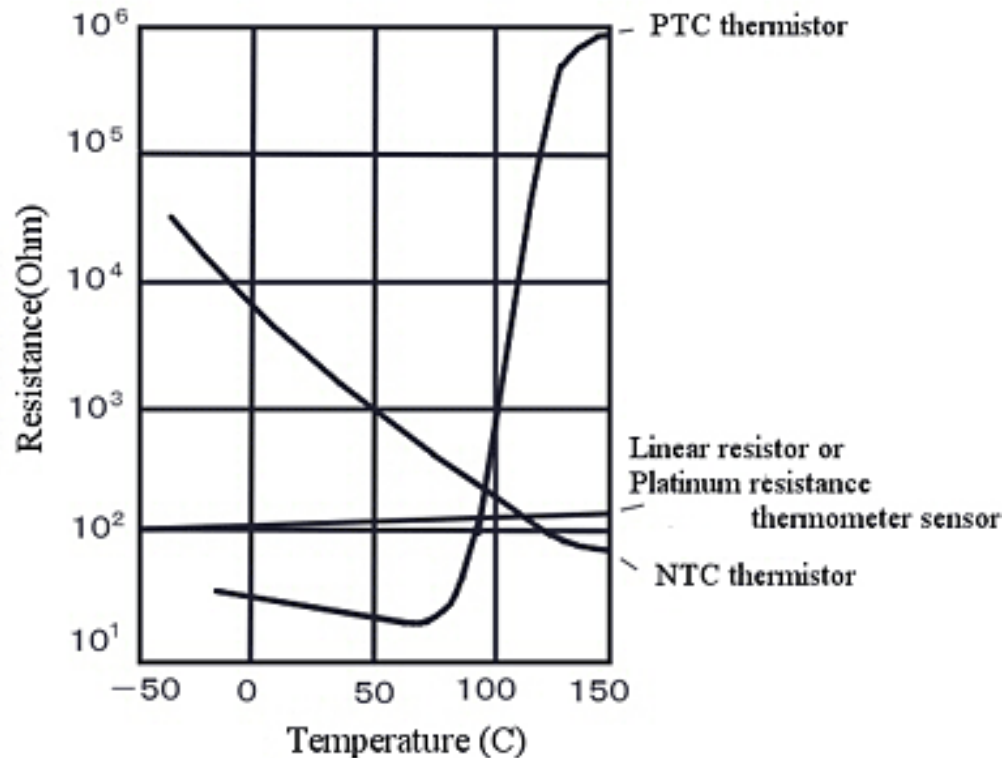
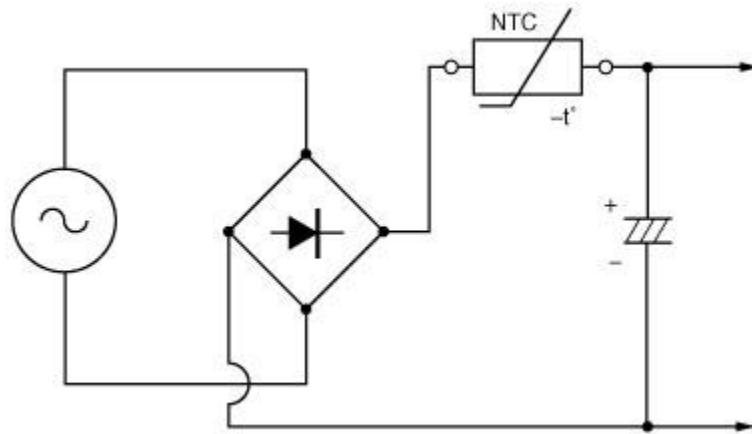


Figure 1 Temperature Characteristics of Resistance Temperature Sensor



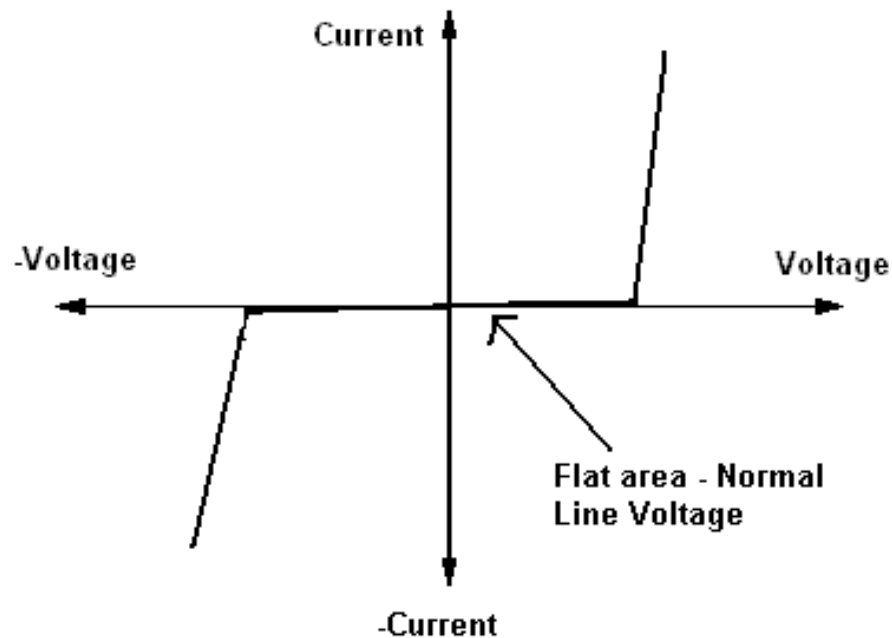
# Resistores especiales

- Termistores NTC: Aplicación.



# Resistores especiales

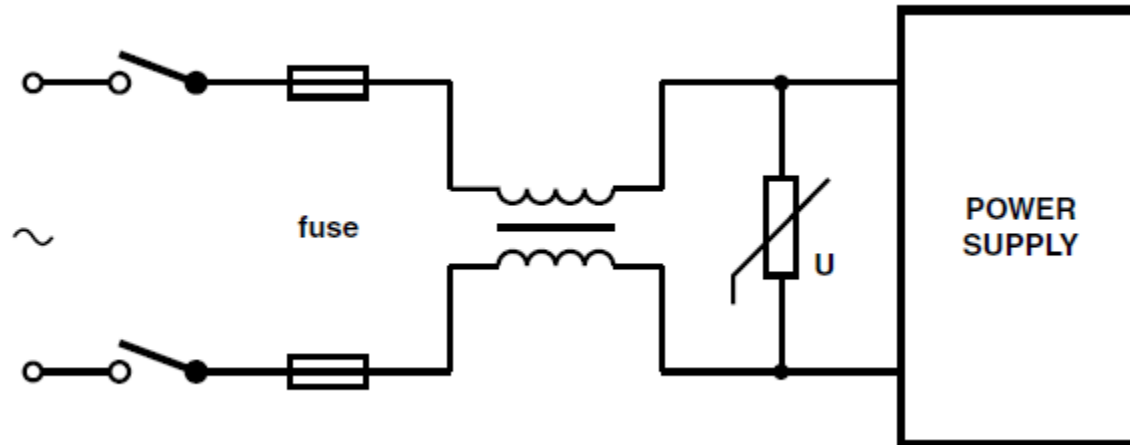
- Varistor



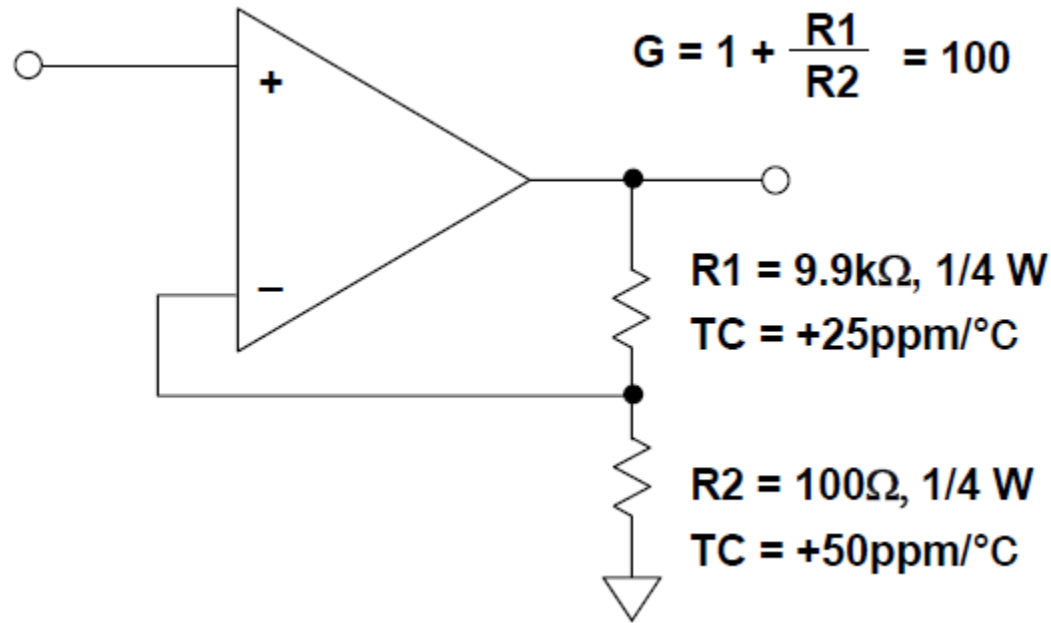
Varistor Volt-Ampere Characteristics Curve

# Resistores especiales

- Varistor: Aplicación

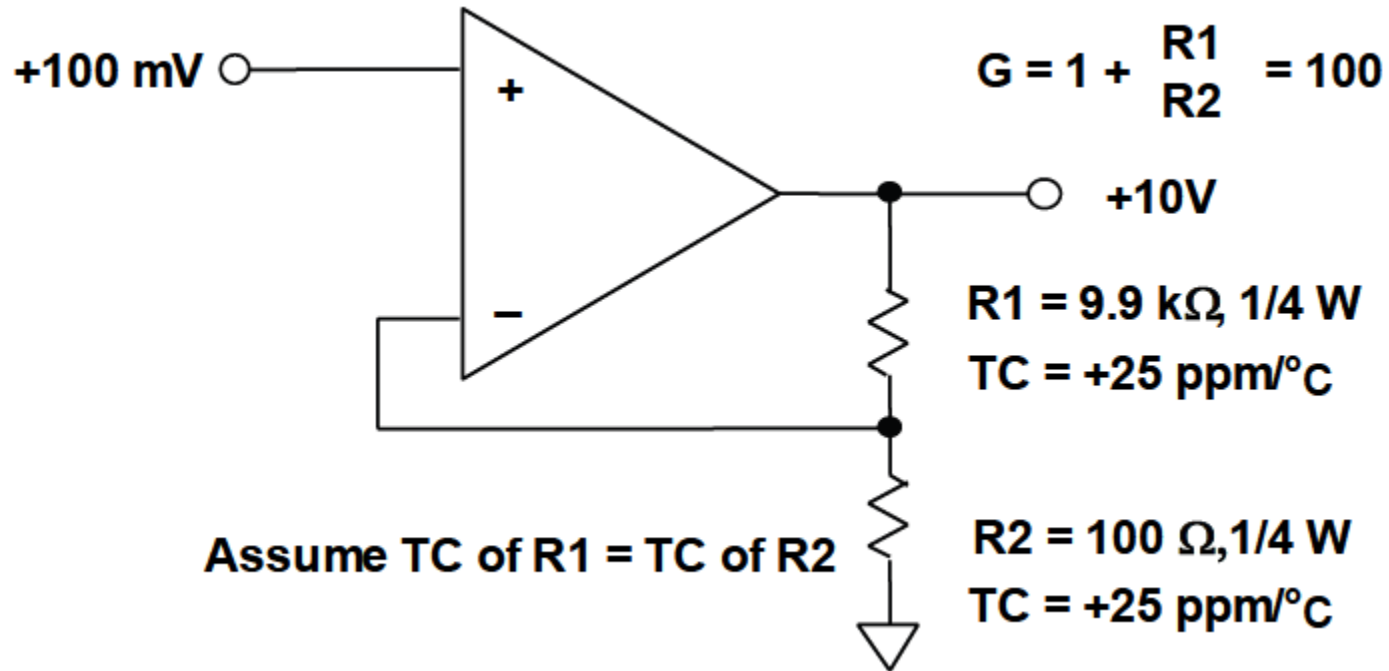


# Resistores : Ejemplo 1



- Un cambio en la temperatura de 10°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!!!

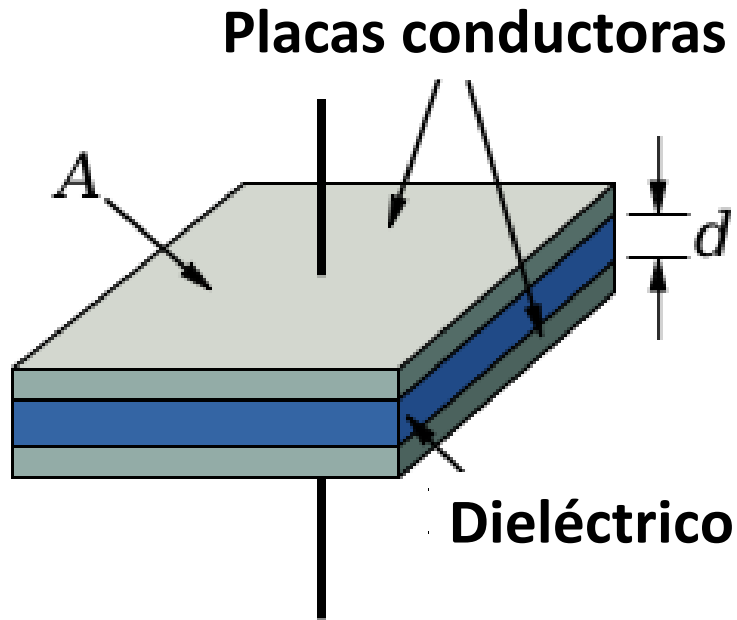
# Resistores : Ejemplo 2



- Suponiendo una resistencia térmica de R1 y R2 de 125°C/W
- La temperatura de R1 aumenta 1.25° ya que PD=9.9 mW
- La temperatura de R2 practicamente se mantiene constante, PD=0.1 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<sup>2</sup>]: 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

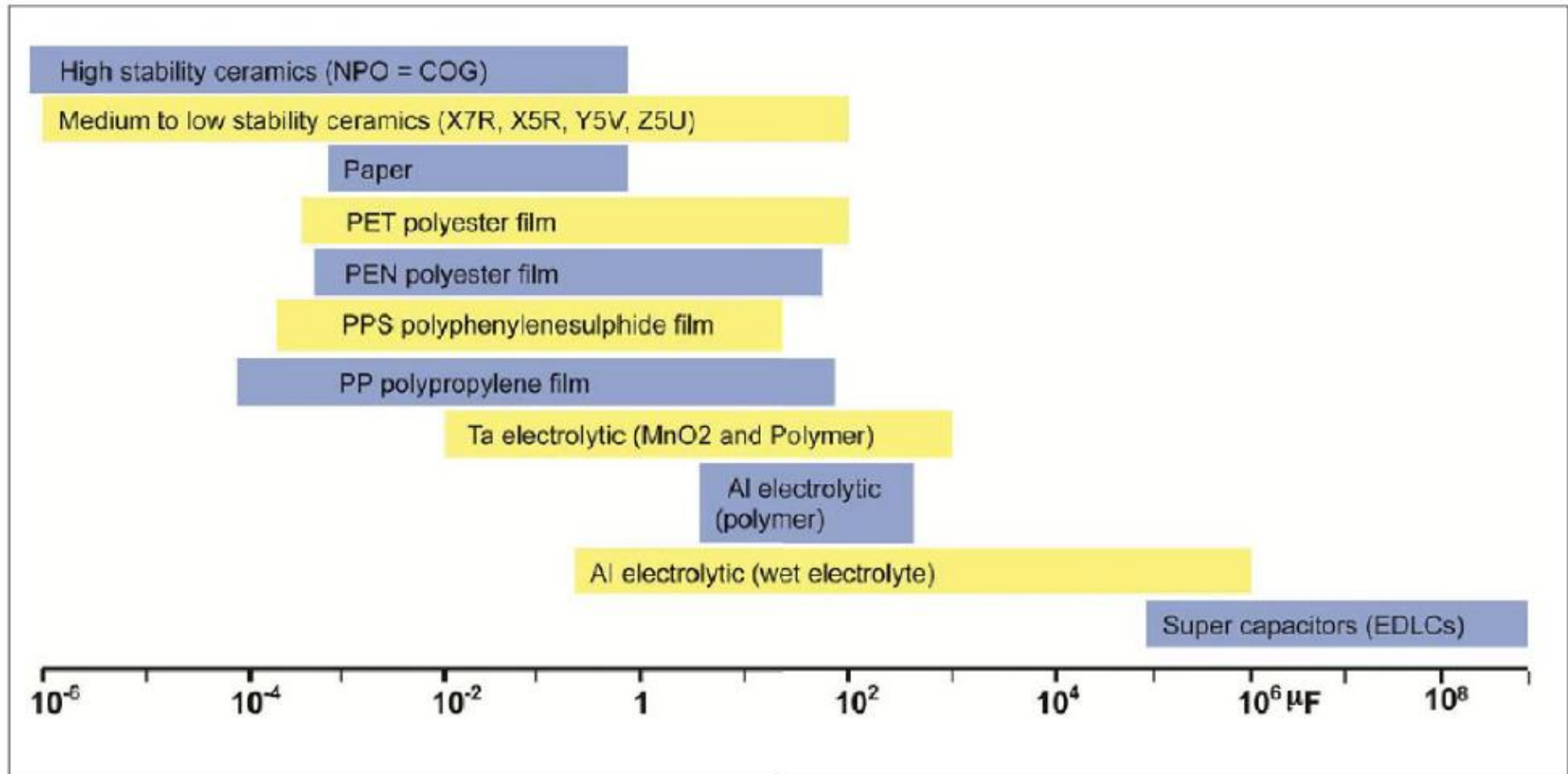
- Filtrado
- Desacople/Bypass
- Acople/Bloqueo de continua
- Snubbers
- Almacenamiento de energía
- Circuitos resonantes
- Corrección de Factor de Potencia
- Osciladores
- Compensación



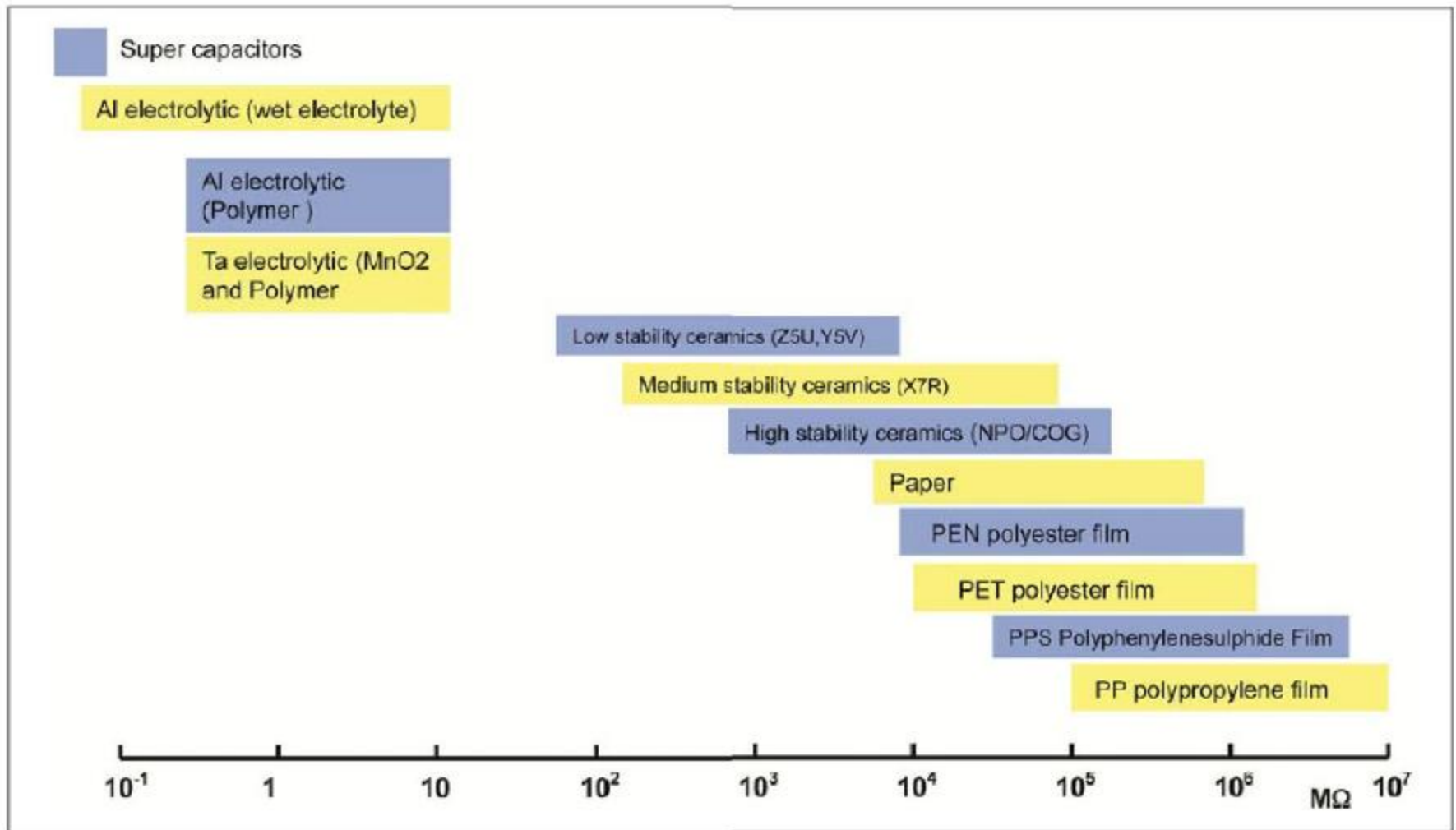
# Capacitores: ¿Qué especificar?

- **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**

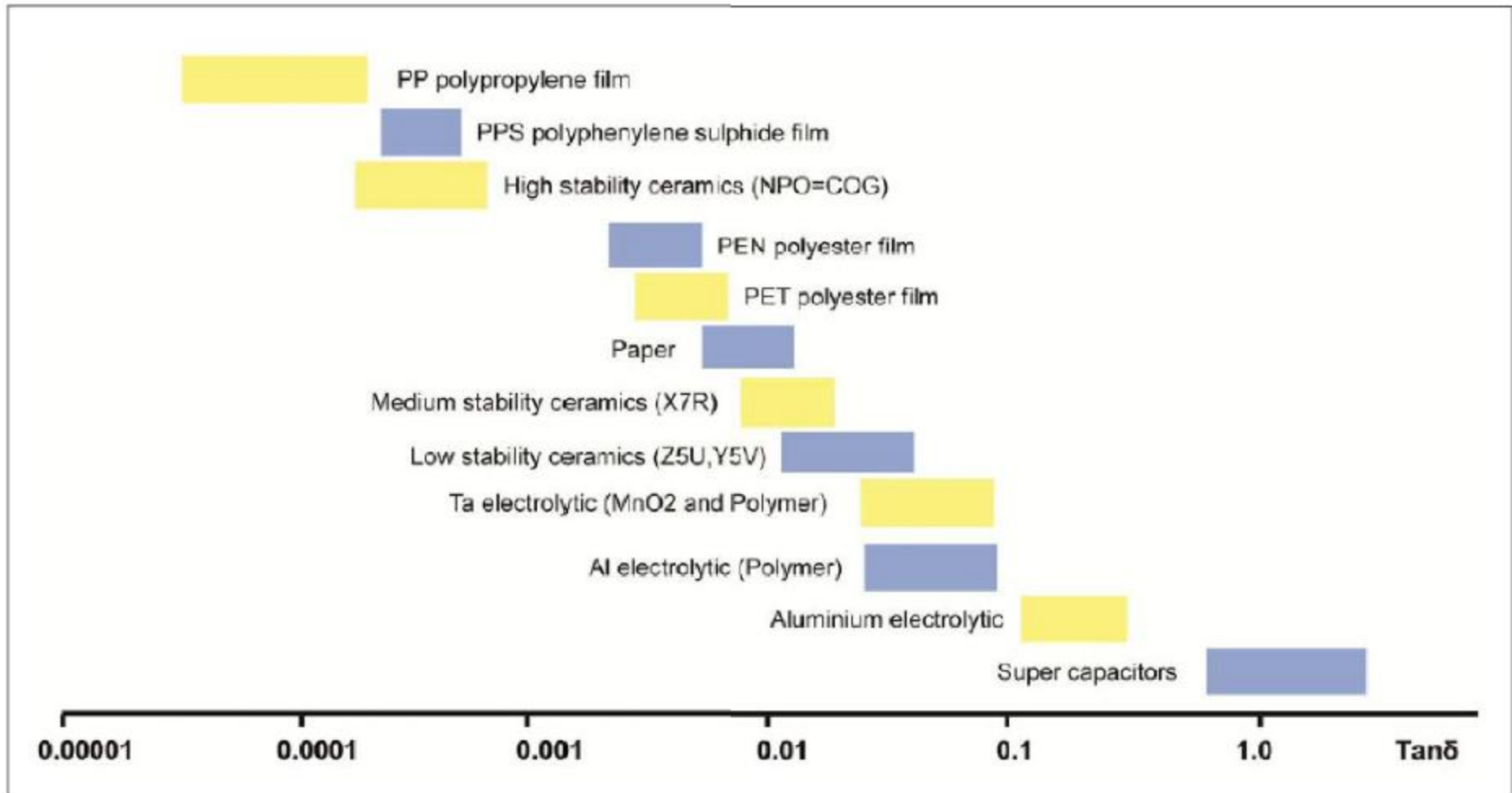
# Capacitores: Valores según tipo



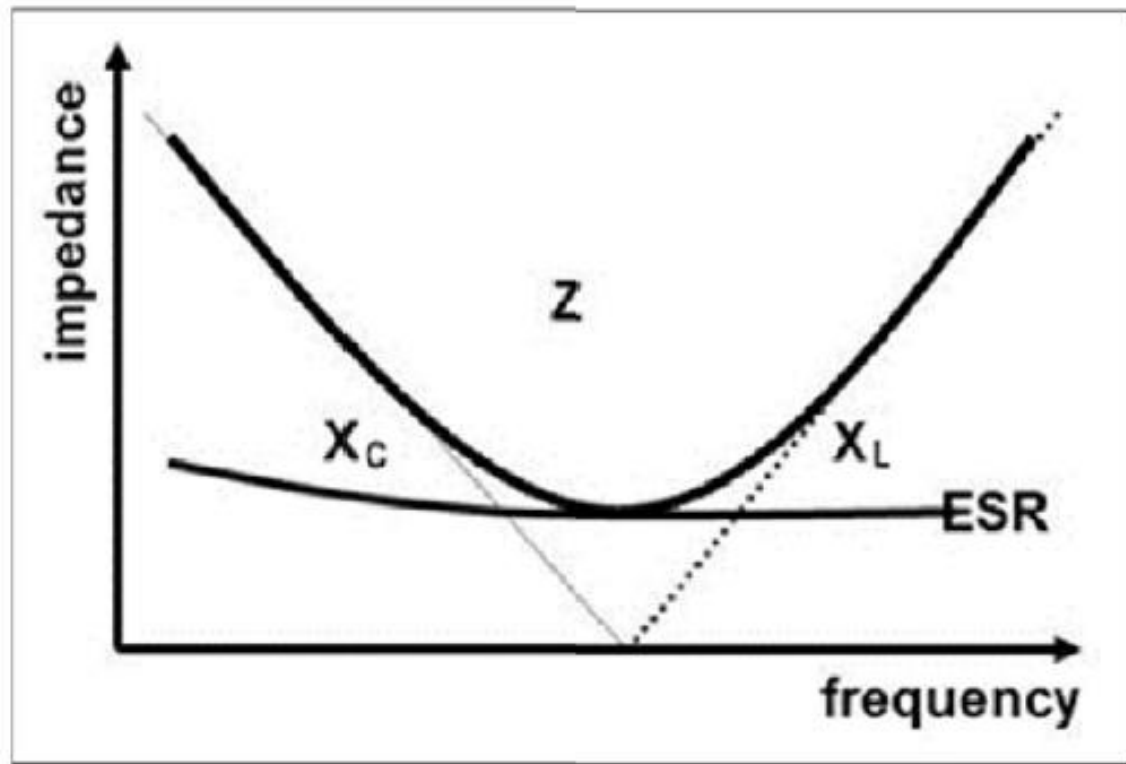
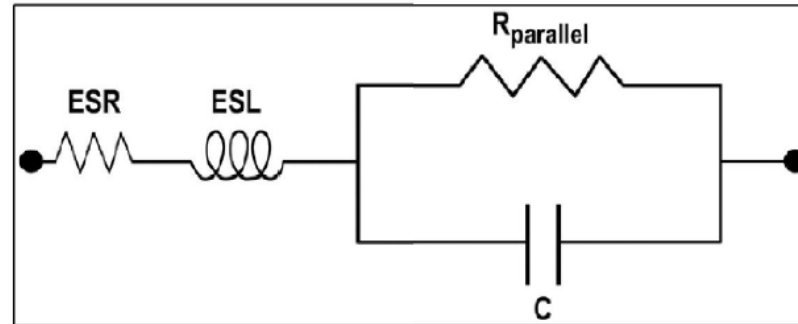
# Capacitores: Resistencia de aislación



# Capacitores: Factor de disipación



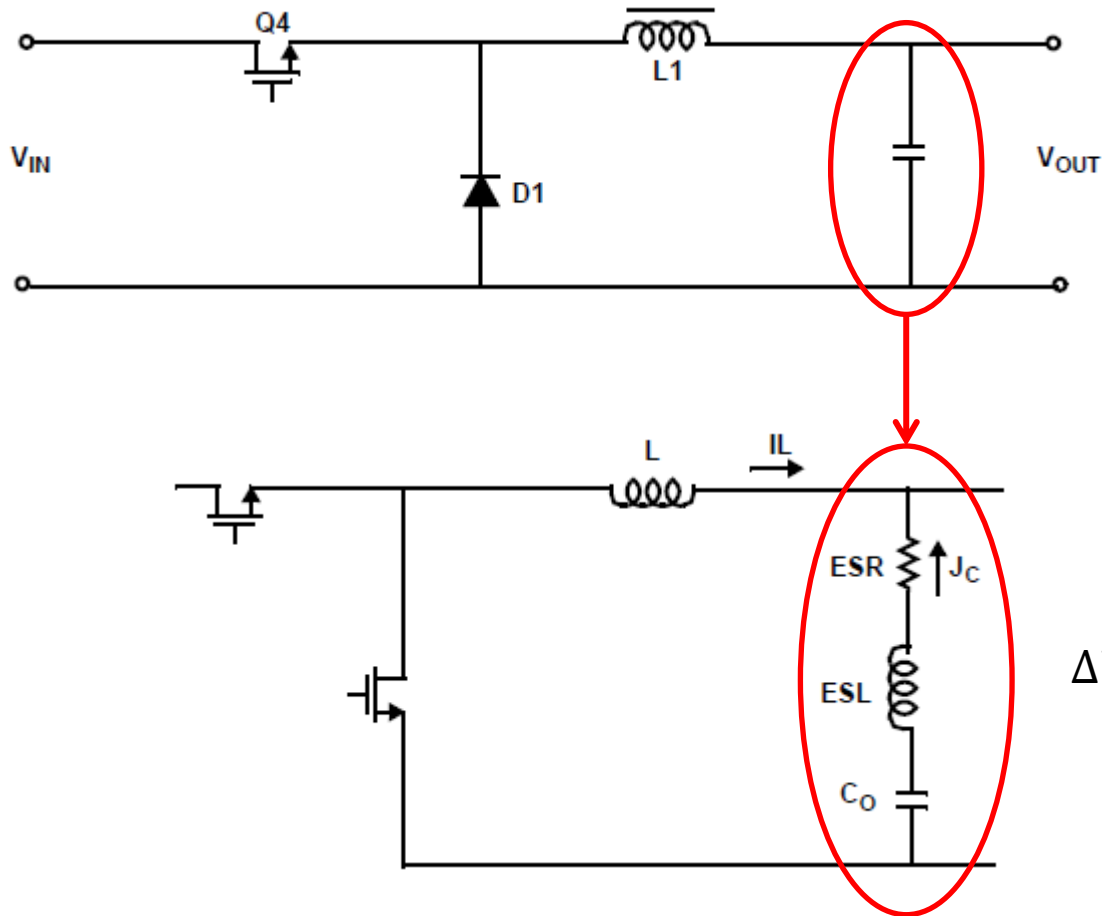
# Capacitores: Característica de alta frecuencia



# Capacitores: Tipos de fabricación

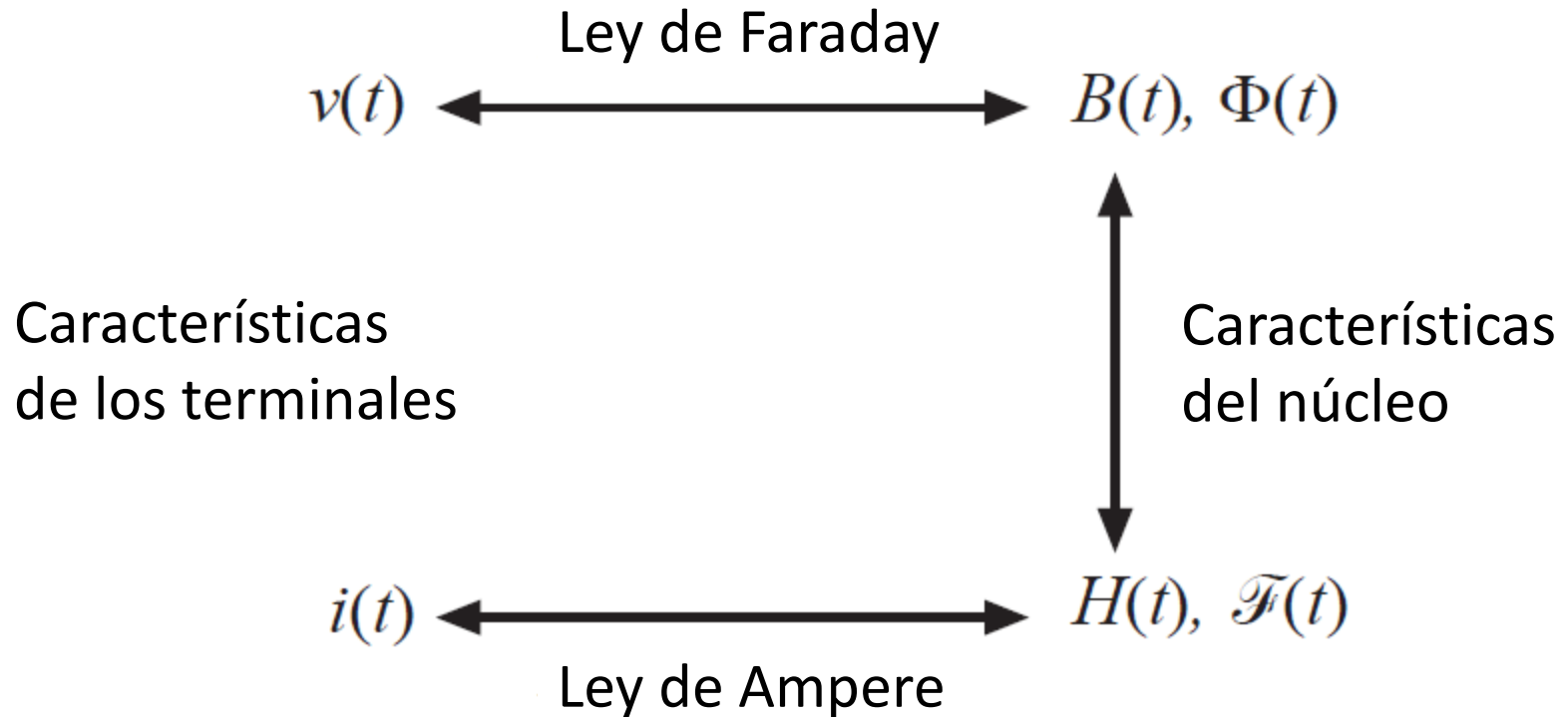
Tipo	Rango	ESR	Fugas	Voltaje	Temperatura	Notas generales
Cerámico	pF a $\mu$ F	Baja	Medias	Alto	-55°C a 125°C	Baratos, de propósito general.
PET film	pF a $\mu$ F	Baja	Medias	Bajo	-55°C a 125°C	Proposito general, bajo DC BIAS, baja frecuencia.
PEN film	pF a $\mu$ F	Baja	Medias	Bajo	-55°C a 150°C	Proposito 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: Ejemplo



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

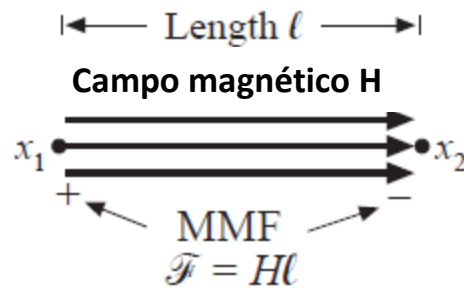
# Componentes magnéticos



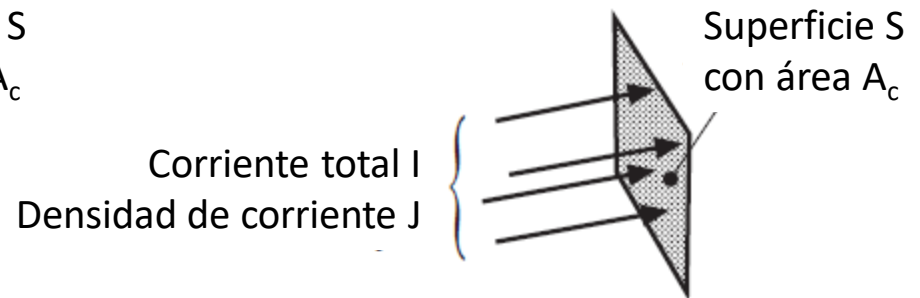
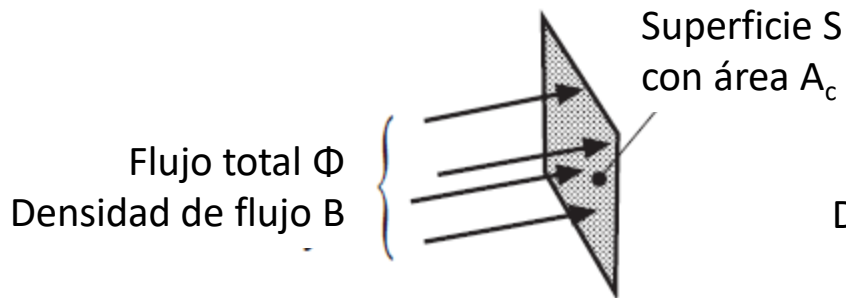
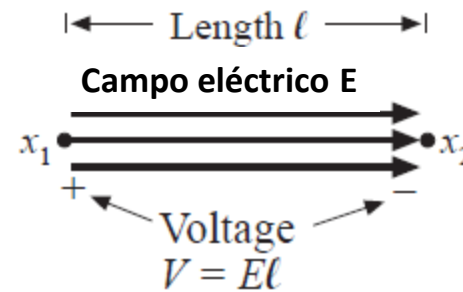


# Componentes magnéticos

*Parámetros magnéticos*



*Parámetros eléctricos*



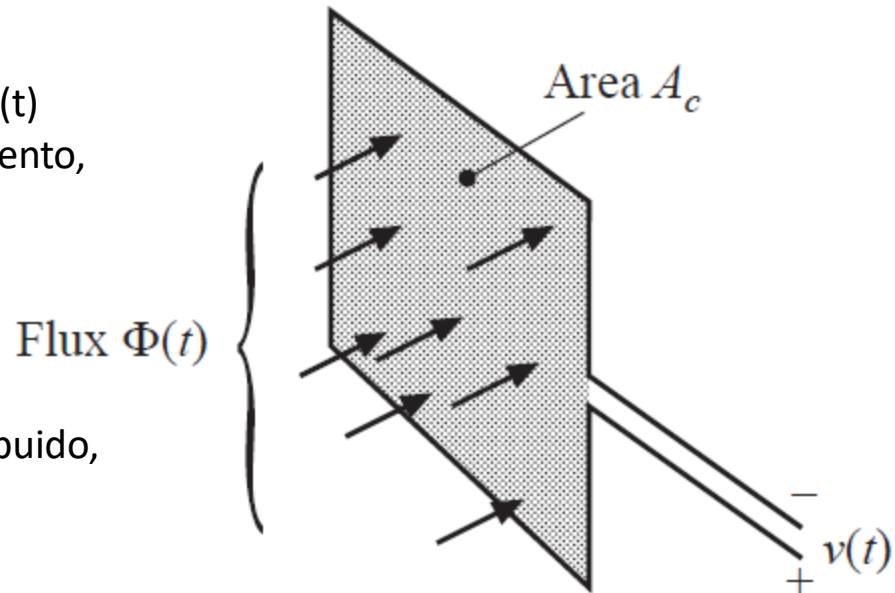
# Componentes magnéticos: Ley de Faraday

Se induce un voltaje  $v(t)$  en una vuelta de cable debido a la variación del flujo total  $\Phi(t)$  que atraviesa el interior del arrollamiento, dado por

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

Para flujo  $\Phi(t)$  uniformemente distribuido,  $\Phi(t) = B(t)A_c$  por lo que

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



# Componentes magnéticos: Ley de Ampere

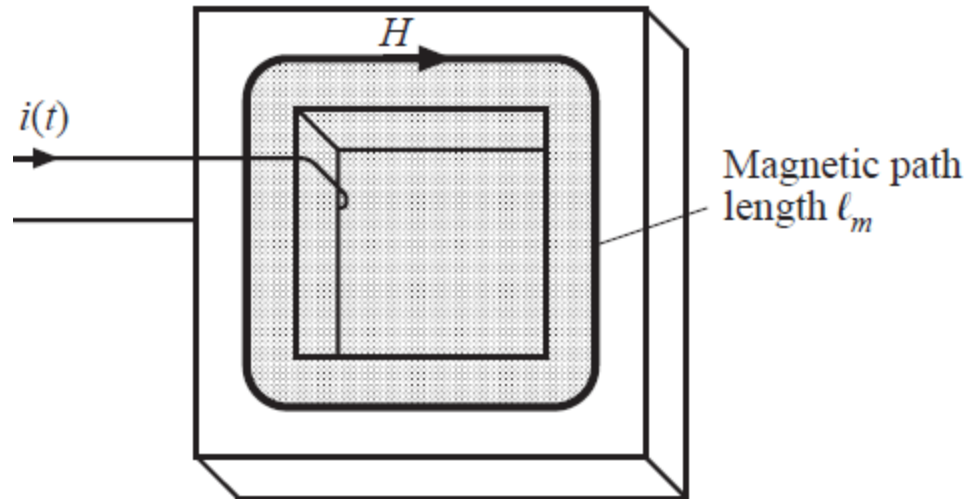
La **FMM** (Fuerza Magneto Motriz) alrededor de un camino cerrado es igual a la corriente total que atraviesa el interior del camino:

$$\oint_{\text{closed path}} \mathbf{H} \cdot d\boldsymbol{\ell} = \text{Corriente total que atraviesa el interior del camino}$$

Ejemplo: núcleo magnético.  
Arrollamiento con corriente  $i(t)$   
que atraviesa la ventana del núcleo

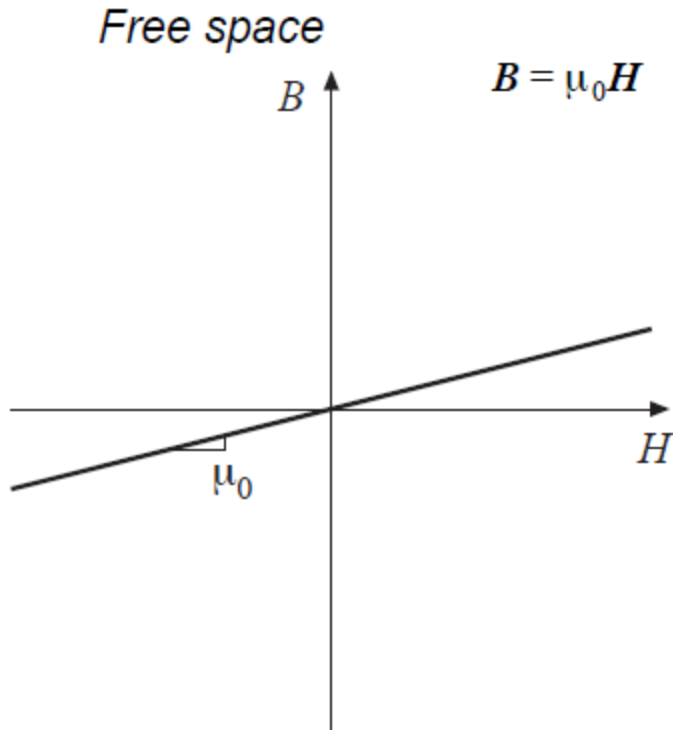
- El camino mostrado sigue las líneas de flujo en el interior del núcleo.
- En el caso de intensidad de campo magnético  $H(t)$  uniforme, la integral (FMM) es  $H(t)\ell_m$ . Así

$$\mathcal{F}(t) = H(t)\ell_m = i(t)$$

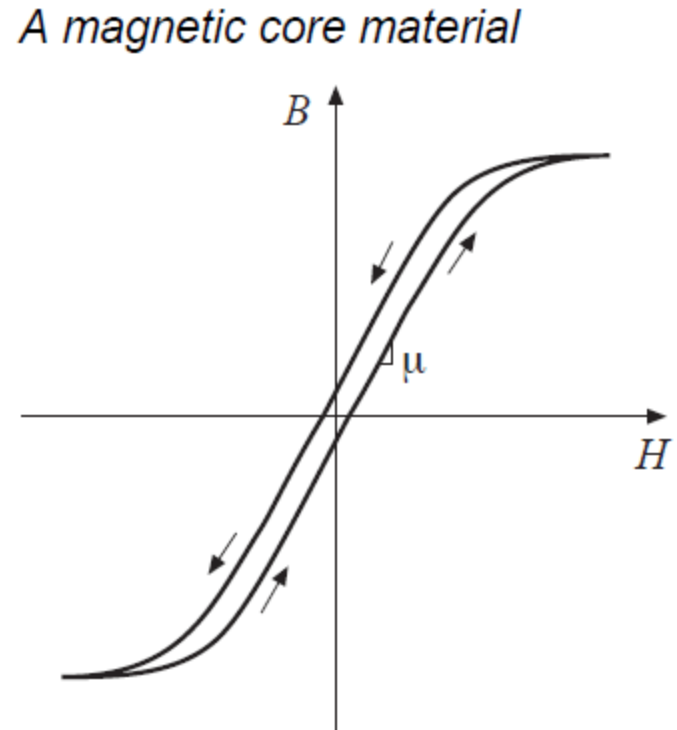


# Componentes magnéticos:

## Característica B-H



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

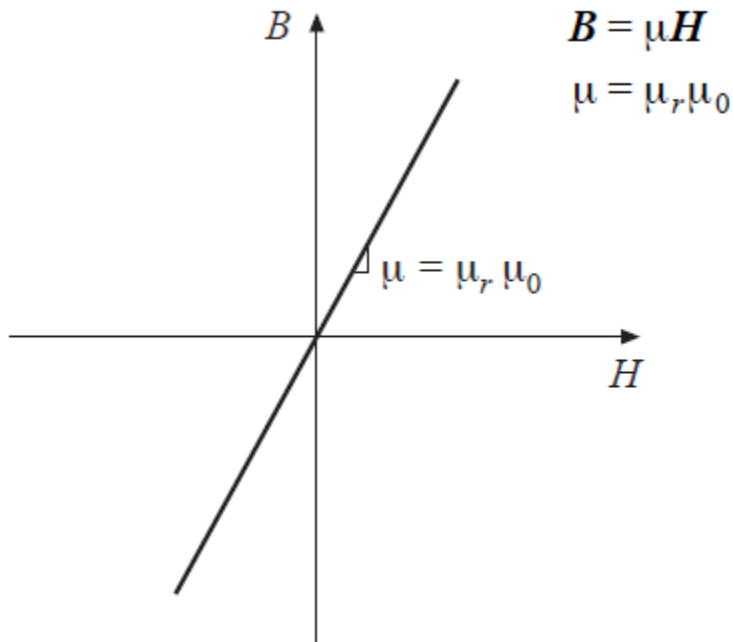


Highly nonlinear, with hysteresis  
and saturation

# Componentes magnéticos:

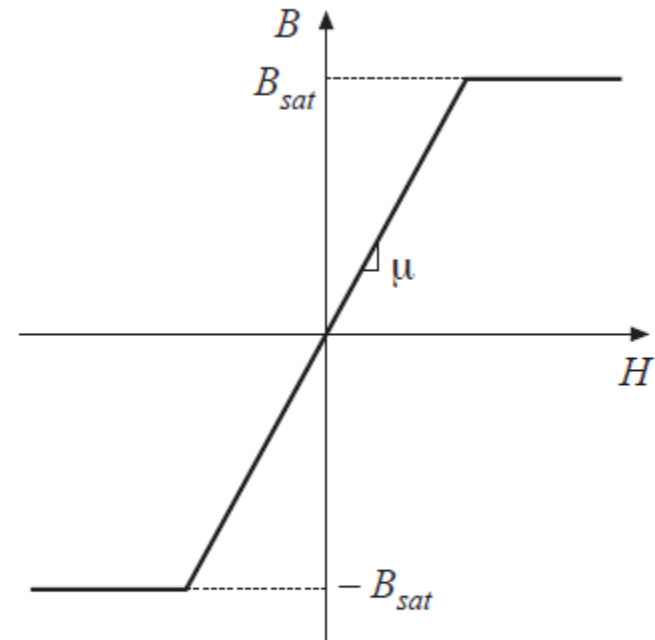
## Característica B-H linealizada

*No hysteresis or saturation*



Typical  $\mu_r = 10^3$  to  $10^5$

*Saturation, no hysteresis*



Typical  $B_{sat} =$  0.3 to 0.5T, ferrite  
0.5 to 1T, powdered iron  
1 to 2T, iron laminations

# Componentes magnéticos:

## Característica Inductor

*Ley de Faraday:*

Para cada vuelta de alambre, podemos escribir

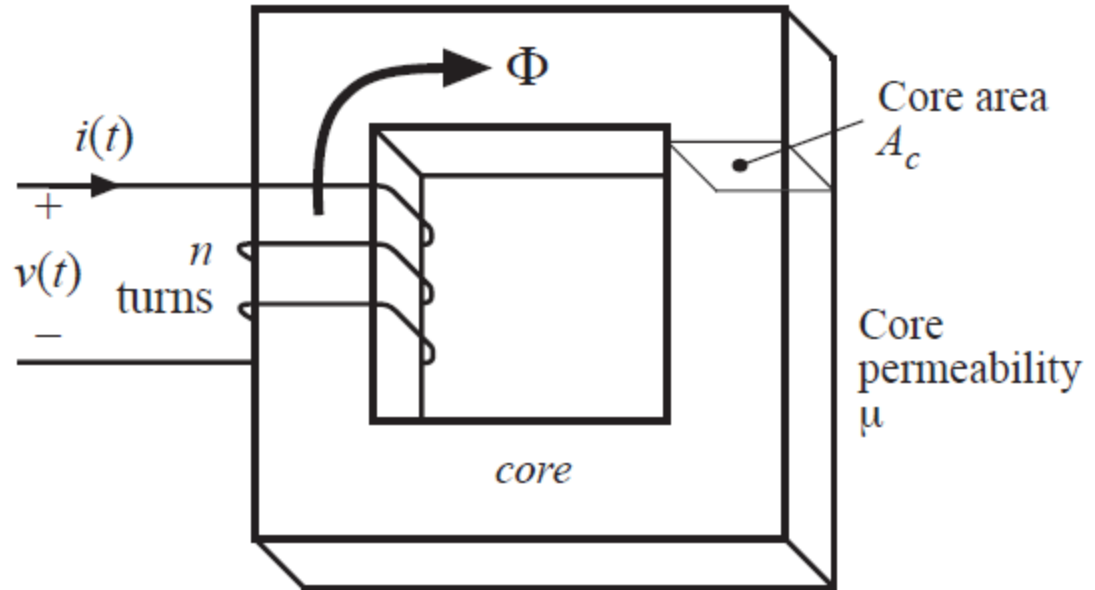
$$v_{turn}(t) = \frac{d\Phi(t)}{dt}$$

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

Tenemos:

$$v(t) = nA_c \frac{dB(t)}{dt} \quad H(t) \ell_m = n i(t) \quad B = \begin{cases} B_{sat} & \text{for } H \geq B_{sat}/\mu \\ \mu H & \text{for } |H| < B_{sat}/\mu \\ -B_{sat} & \text{for } H \leq -B_{sat}/\mu \end{cases}$$

Eliminando B y H, y resolviendo para obtener la relación entre v e i. Para  $|i| < i_{sat}$

$$v(t) = \mu n A_c \frac{dH(t)}{dt} \longrightarrow v(t) = \frac{\mu n^2 A_c}{\ell_m} \frac{di(t)}{dt}$$

Que tiene la forma de

$$v(t) = L \frac{di(t)}{dt} \quad \text{siendo} \quad L = \frac{\mu n^2 A_c}{\ell_m}$$

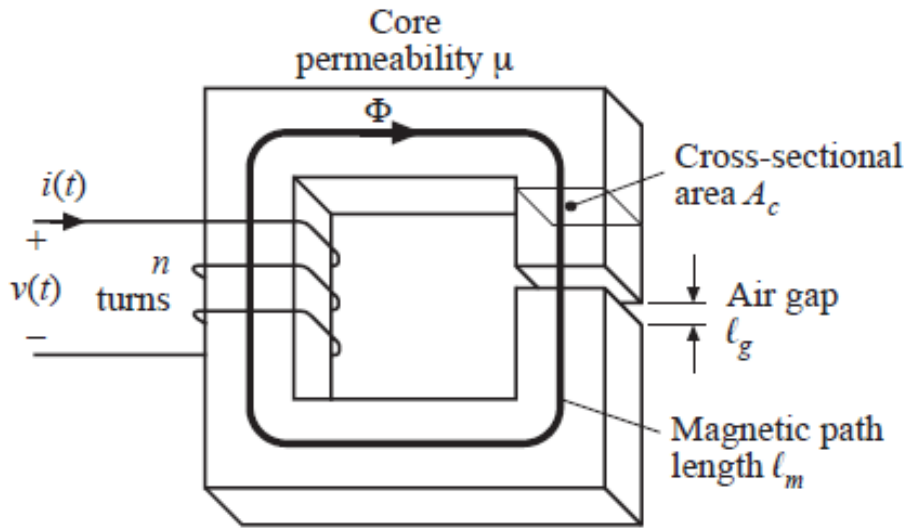
-un inductor

Para  $|i| > i_{sat}$  la densidad de flujo es constante e igual a  $B_{sat}$ . La Ley de Faraday predice

$$v(t) = nA_c \frac{dB_{sat}}{dt} = 0 \quad \text{-la saturación provoca un cortocircuito}$$

# Componentes magnéticos:

## Característica Inductor con entrehierro

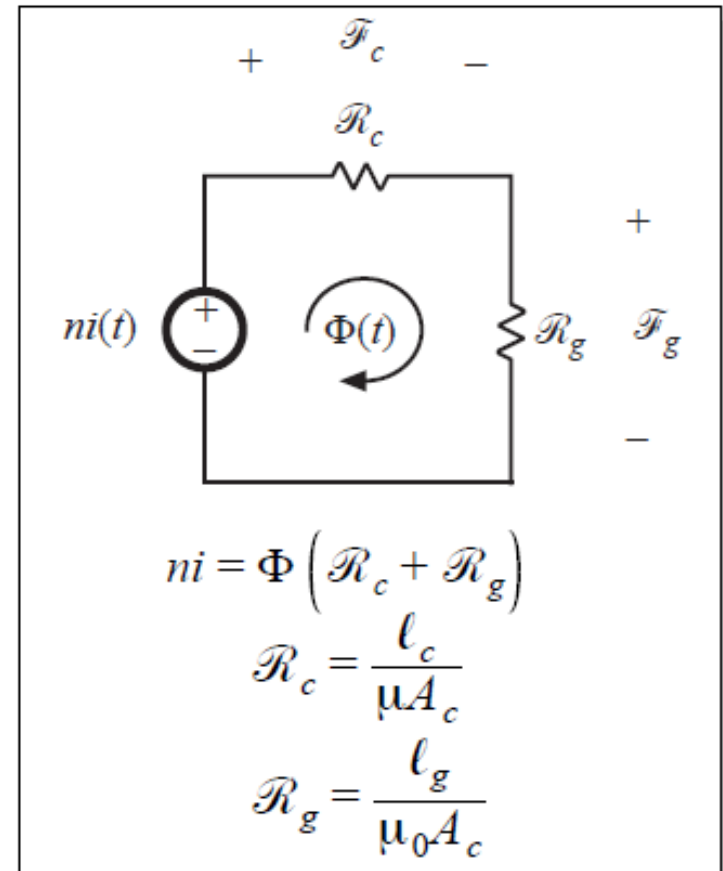


Ley de Faraday: 
$$v(t) = n \frac{d\Phi(t)}{dt}$$

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

Por lo que la inductancia es:

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





# Componentes magnéticos:

## Característica Inductor con entrehierro

$$ni = \Phi (\mathcal{R}_c + \mathcal{R}_g)$$

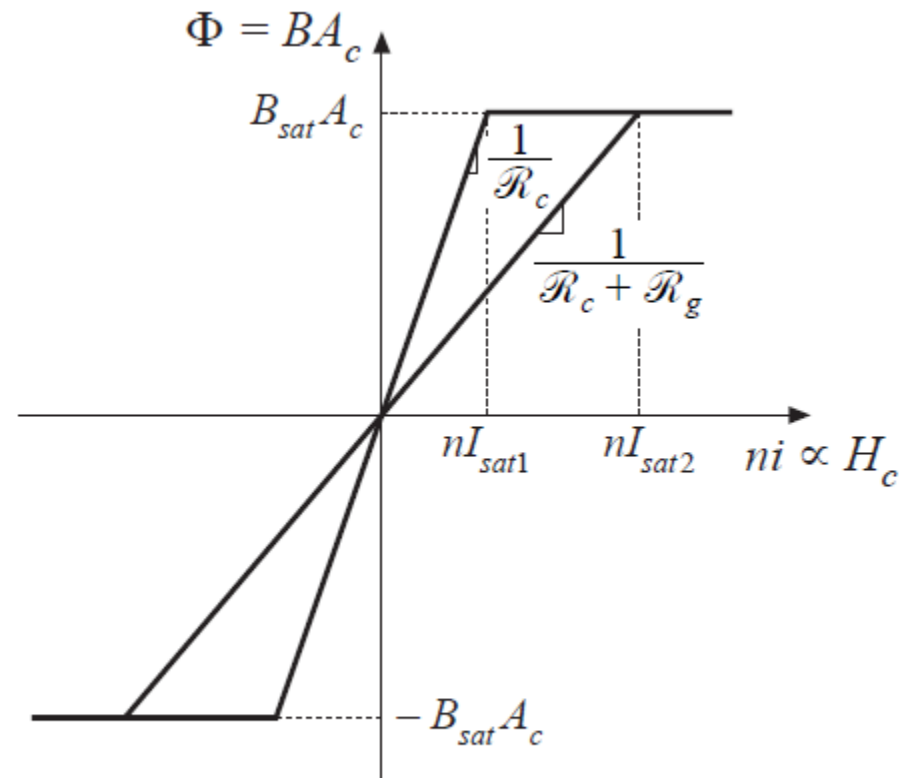
$$L = \frac{n^2}{\mathcal{R}_c + \mathcal{R}_g}$$

$$\Phi_{sat} = B_{sat} A_c$$

$$I_{sat} = \frac{B_{sat} A_c}{n} (\mathcal{R}_c + \mathcal{R}_g)$$

Efecto del entrehierro:

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



# Componentes magnéticos:

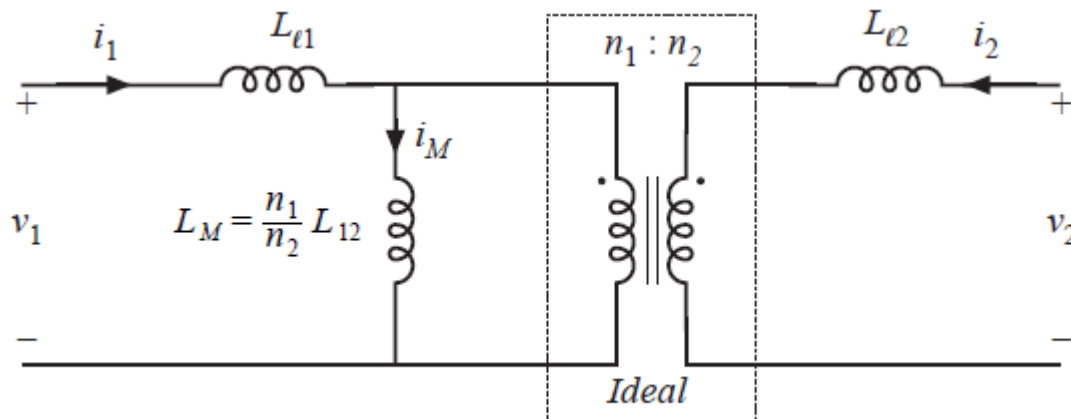
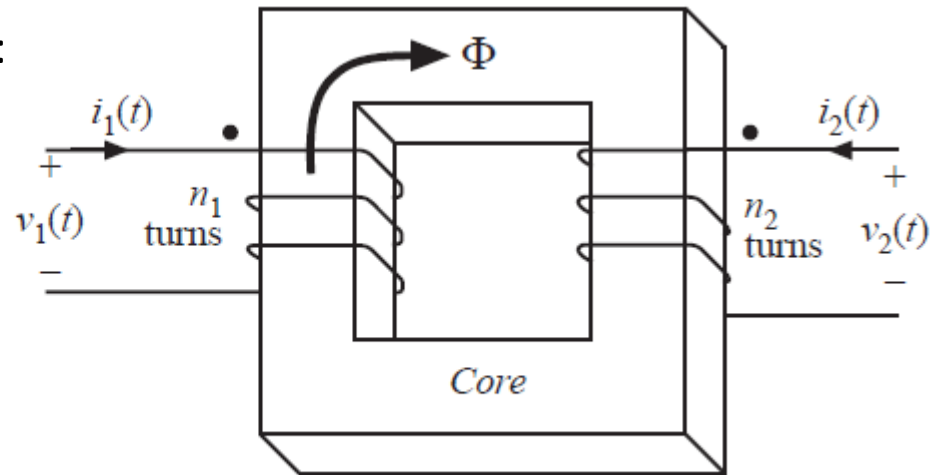
## Característica Transformador

Dos devanados, sin entrehierro:

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

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

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



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

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

Inductancia mutua:

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

Inductancias propias  
del primario y secundario:

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

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

# Componentes magnéticos: Pérdidas

- Pérdidas del cobre
- Pérdidas por histéresis
- Efecto pelicular (skin effect) en altas frecuencias
- Corrientes de eddy en altas frecuencias
- Efecto de proximidad en altas frecuencias

# Pérdidas en el cobre

- La resistencia del cobre produce pérdidas del tipo  $i^2(t)R$
- Por efecto pelicular (efecto skin) la resistividad del cobre aumenta con la frecuencia. 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 en el Núcleo

La energía por ciclo  $W$  que es entregada a un bobinado de  $n$  vueltas de un inductor, excitado por una forma de onda periódica de frecuencia  $f$ :

$$W = \int_{\text{one cycle}} v(t)i(t)dt$$

Relacionando la tensión y corriente con la inducción  $B$  y la intensidad de campo  $H$  del núcleo mediante las leyes de Faraday y Ampere:

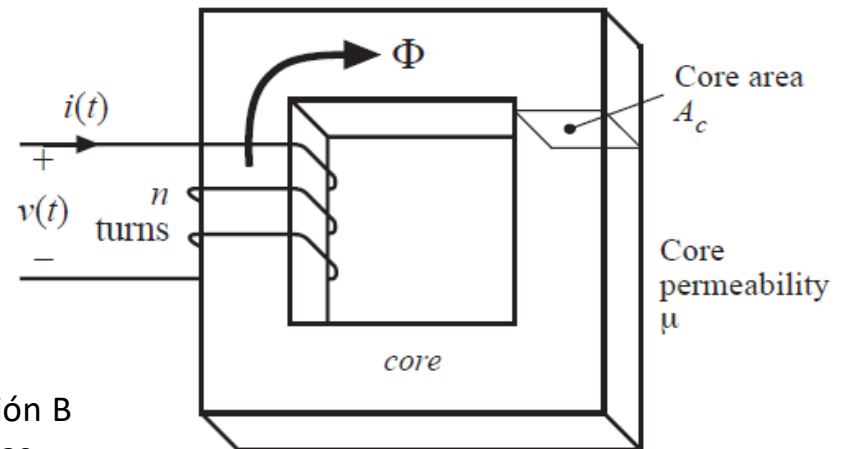
$$v(t) = nA_c \frac{dB(t)}{dt}$$

$$H(t)\ell_m = ni(t)$$

Reemplazando en la integral:

$$\int_{\text{one cycle}} \left( nA_c \frac{dB(t)}{dt} \right) \left( \frac{H(t)\ell_m}{n} \right) dt$$

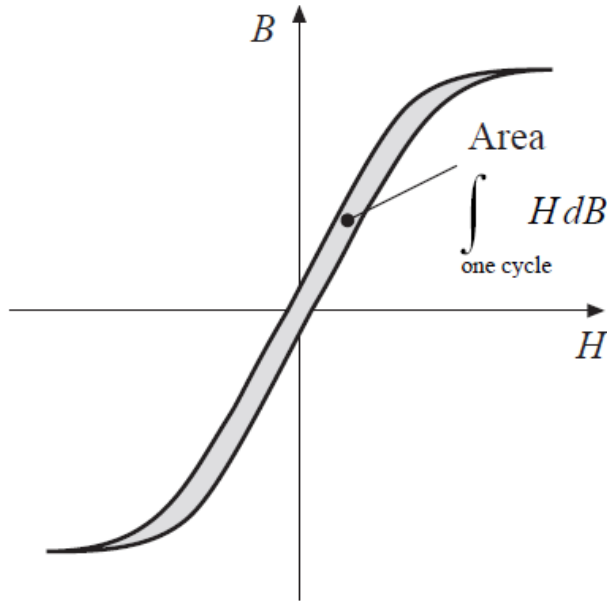
$$= (A_c \ell_m) \int_{\text{one cycle}} H dB$$



# Pérdidas en el Núcleo por histéresis

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

La energía es proporcional al volumen del núcleo y al área de la curva B-H.



(energía pérdida por ciclo)=(Volumen del núcleo)\*(área de la curva B-H)

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

Las pérdidas por histéresis son proporcionales a la frecuencia aplicada.

# Pérdidas en el Núcleo por histéresis

- Las pérdidas por histéresis varían directamente con la frecuencia aplicada
- Dependencia de la densidad de flujo máxima: ¿Cómo depende el área de la curva B-H con la densidad de flujo máxima (y las formas de onda aplicadas)?

Ecuación empírica de Steinmetz:

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

# Pérdidas en el Núcleo por corrientes de Eddy

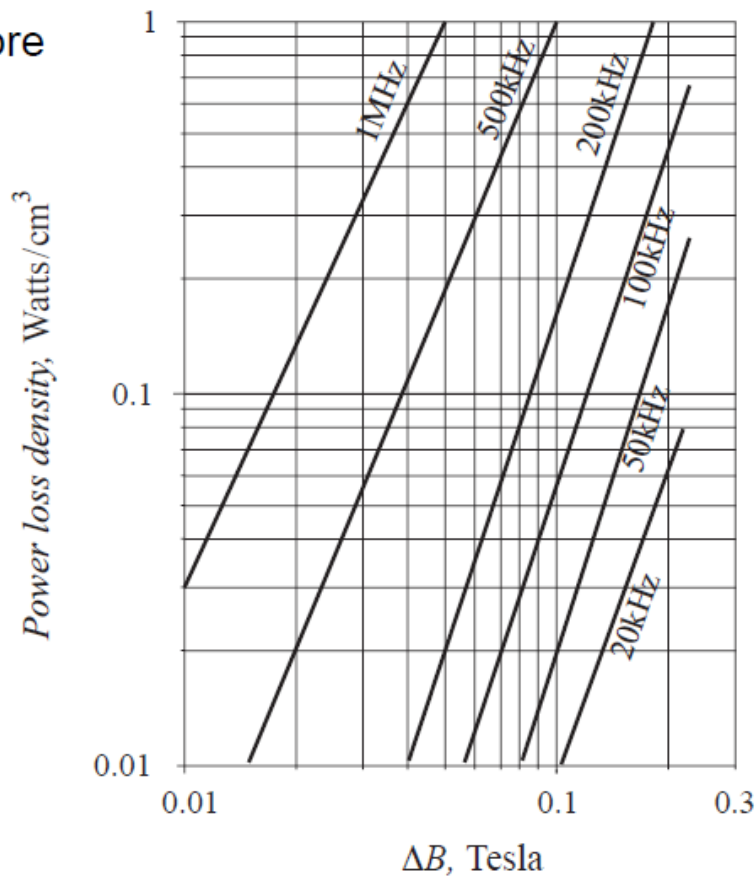
- La variación de flujo  $\phi(t)$  induce un voltaje  $v(t)$  según la ley de Faraday. Por lo tanto la magnitud del voltaje inducido es proporcional a la frecuencia  $f$ .
- Si se supone que la impedancia del núcleo es puramente resistiva, entonces las corrientes de Eddy son proporcionales al voltaje inducido. Por lo que la magnitud de las corrientes inducidas son proporcionales a la frecuencia  $f$ .
- Entonces las pérdidas por corrientes de Eddy  $i^2(t)R$  varían con el cuadrado de la frecuencia  $f$ .
- Ecuación empírica de Steinmetz:

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



# Pérdidas en el Núcleo totales: Datos del fabricante

Ferrite core material



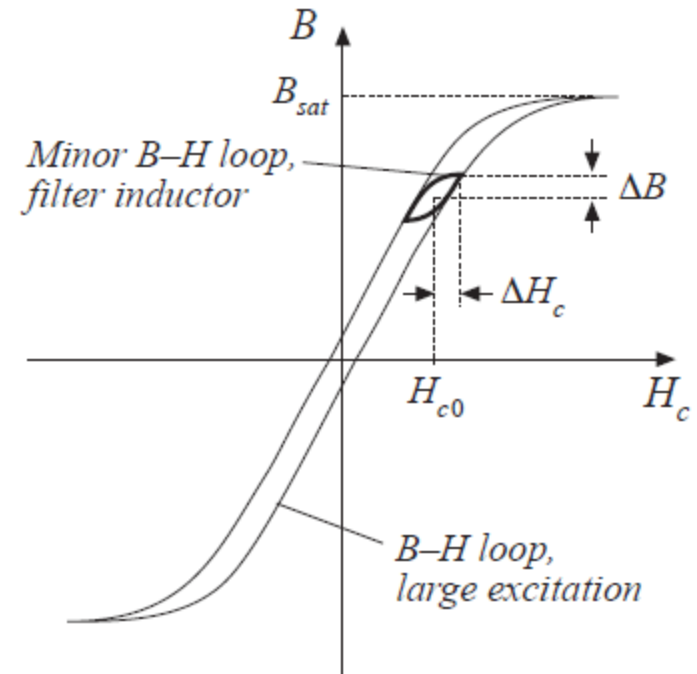
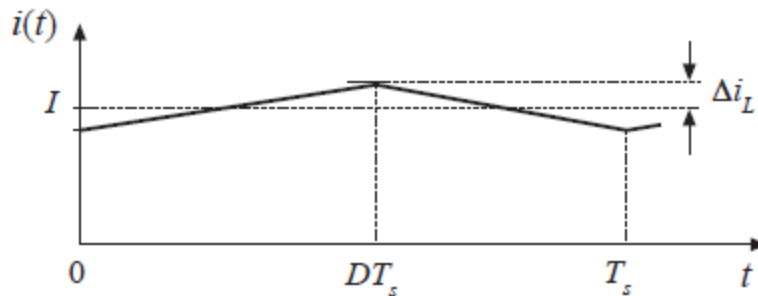
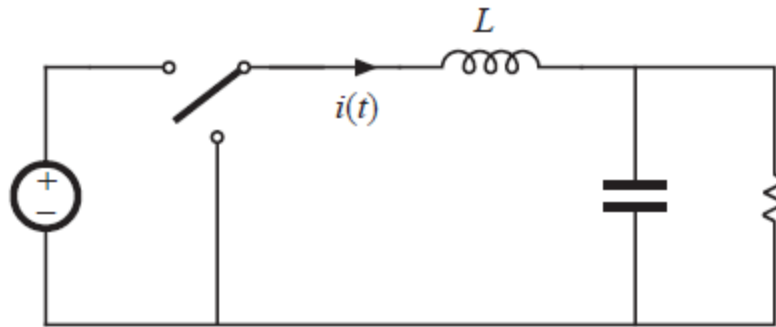
Ecuación empírica, a una frecuencia fija:

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

# 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

# Inductor de filtrado: Ejemplo

Objetivo:

- Diseñar un inductor con una inductancia  $L$  dada.
- Que conduzca una corriente máxima  $I_{max}$  sin saturar.
- Y que tiene una resistencia de bobinado  $R$ , o, equivalentemente pérdidas en el cobre máxima dada.

# Inductor de filtrado: Ejemplo

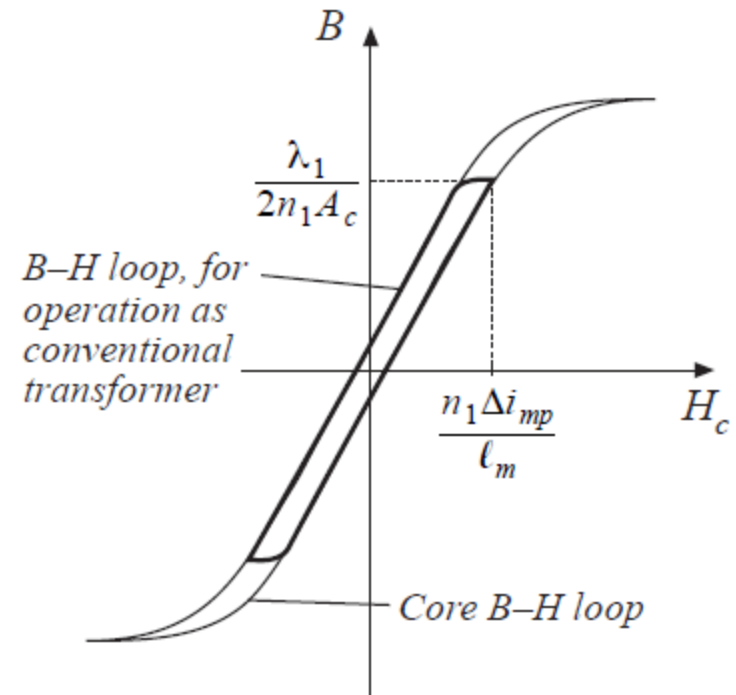
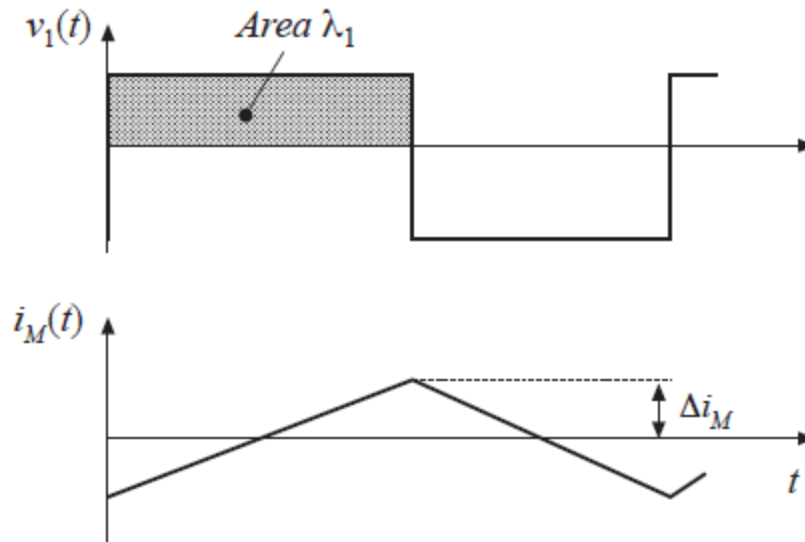
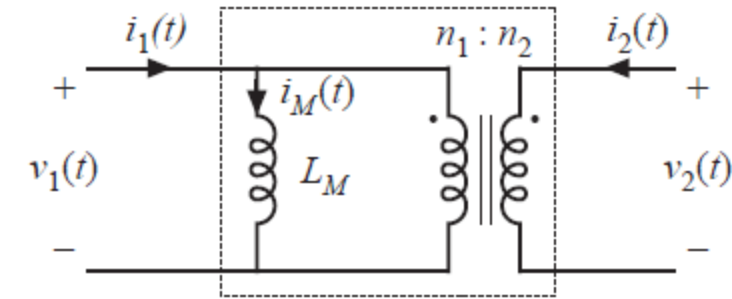
## Restricciones

- $nI_{max} = B_{max}AcR_g = B_{max} \frac{l_g}{\mu_0}$
- $L = \frac{n^2}{R_g} = \frac{\mu_0 A_c n^2}{l_g}$
- $K_u W_A \geq nA_w$ ,  $K_u$ : 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.

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

# Componentes magnéticos: Aplicaciones, transformador.

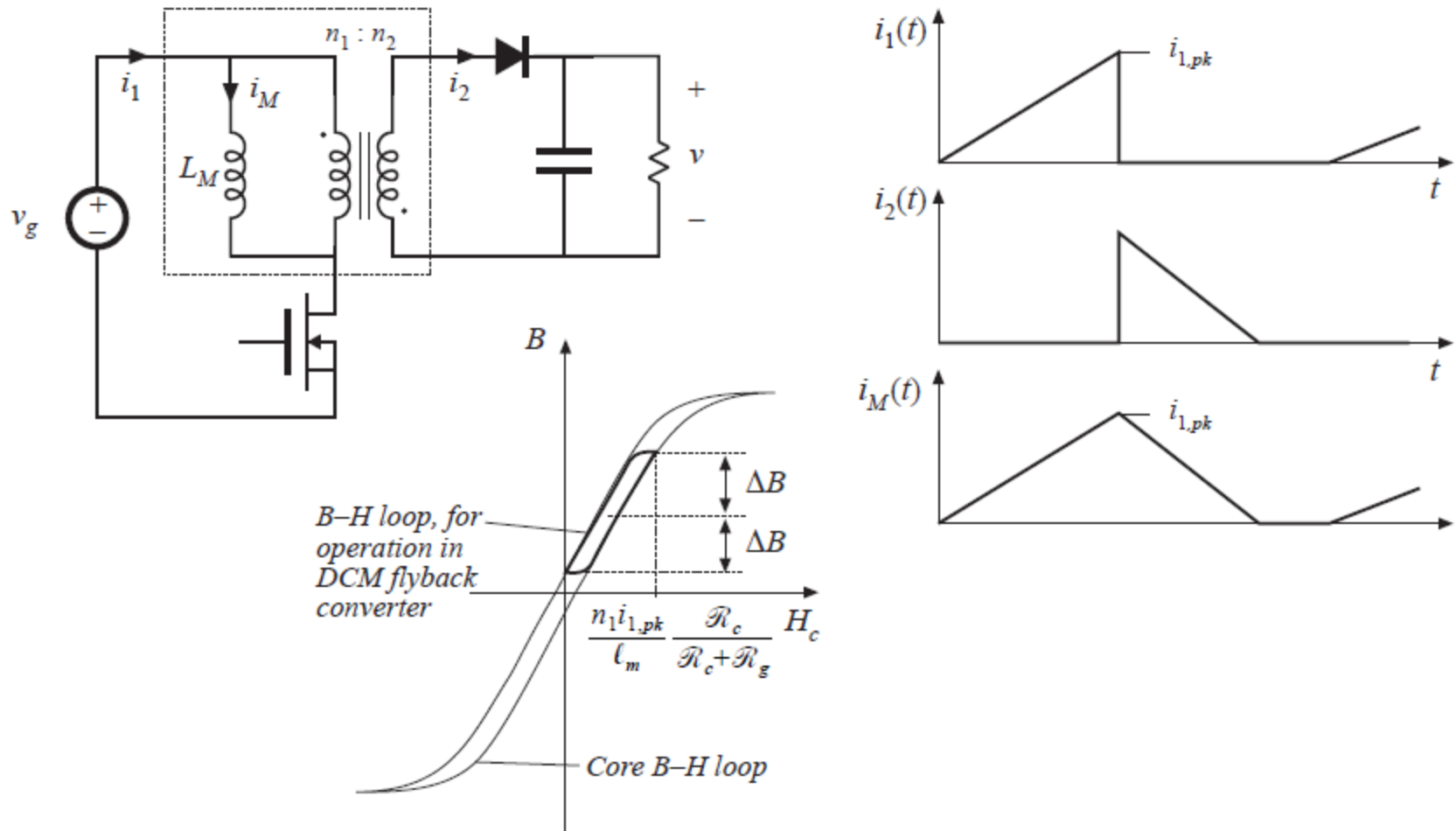


$$H(t) = \frac{n i_M(t)}{\ell_m}$$

- 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.

# 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”