

INTERFERENCIA ELECTROMAGNÉTICA CONDUCIDA



Ing. Julio G. Zola
LACE - FIUBA

Temario

Parte 1
Aspectos generales

Parte 2
Evaluación y Diseño

Bibliografia

- [1]. Lluís Ferrer i Arnau, "Introducción a la compatibilidad electromagnética". UPC Departament d'Enginyeria Electrònica. C. Colom,1 08222 TERRASSA (Barcelona) Spain
- [2] Henry W. Ott "Electromagnetic Compatibility Engineering". 2009, John Wiley & Sons
- [3] Dennis F. Knurek, "Reducing EMI In Switch Mode Power Supply". Lorain Products.
- [4] Leo A. Mallete and Ray Adams Hughes, Space and Communications. "An Introduction to EMI/EMC Test Requirements for Space Applications"
- [5] Xuejun Pei, Jian Xiong, Yong Kang and Jian Chen, Senior Member, IEEE. "Analysis and Supression of conducted EMI Emission in PWM inverter". Department of Electrical and Electronic Engineering, Huazhong University of Science and Technology.
- [6] K.R.Aravind Britto, R.Dhanasekaran, R.Vimala, B.Saranya. "EMI Analysis and Evaluation of an Improved Flyback Converter".
- [7] Pulse a Technictrol Company. "Understanding Common Mode Noise". GO19A, 4/1999
- [8] Fu-Yuan Shih, Dan Y. Chen, Senior Member, IEEE, Yan-Pei Wu, and Yie – Tone Chen, Member, IEEE. "A Procedure for Designing EMI Filters for AC Line Applications".
- [9] C. Paul. "*Introduction to Electromagnetic Compatibility*". Second Edition. Wiley. 2006.
- [10] M. Moy. "*Conducted Emissions Testing for Electromagnetic Compatibility*". Electrical Engineering Department, California State Polytechnic University.
- [11] Henry Ott, "Electromagnetic Compatibility Engineering", Wiley. 2009
- [12] F. Daura Luna, "Los disipadores y las emisiones conducidas", www.cemdal.com, 2015.
- [13] Ming-Hian Chew, "Handling EMI in switch mode power supply design", AN1695/D, On Semiconductor.
- [14] Armstrong K. "EMC Compliance Yearbook 2003", Cherry Clough Consultants.
- [15] Motrose M, "Printed Circuit Board Design Techniques for EMC Compliance", Wiley 2000.
- [16] Armstrong K. "Design Techniques for EMC", York EMC Services Ltd, 2002.

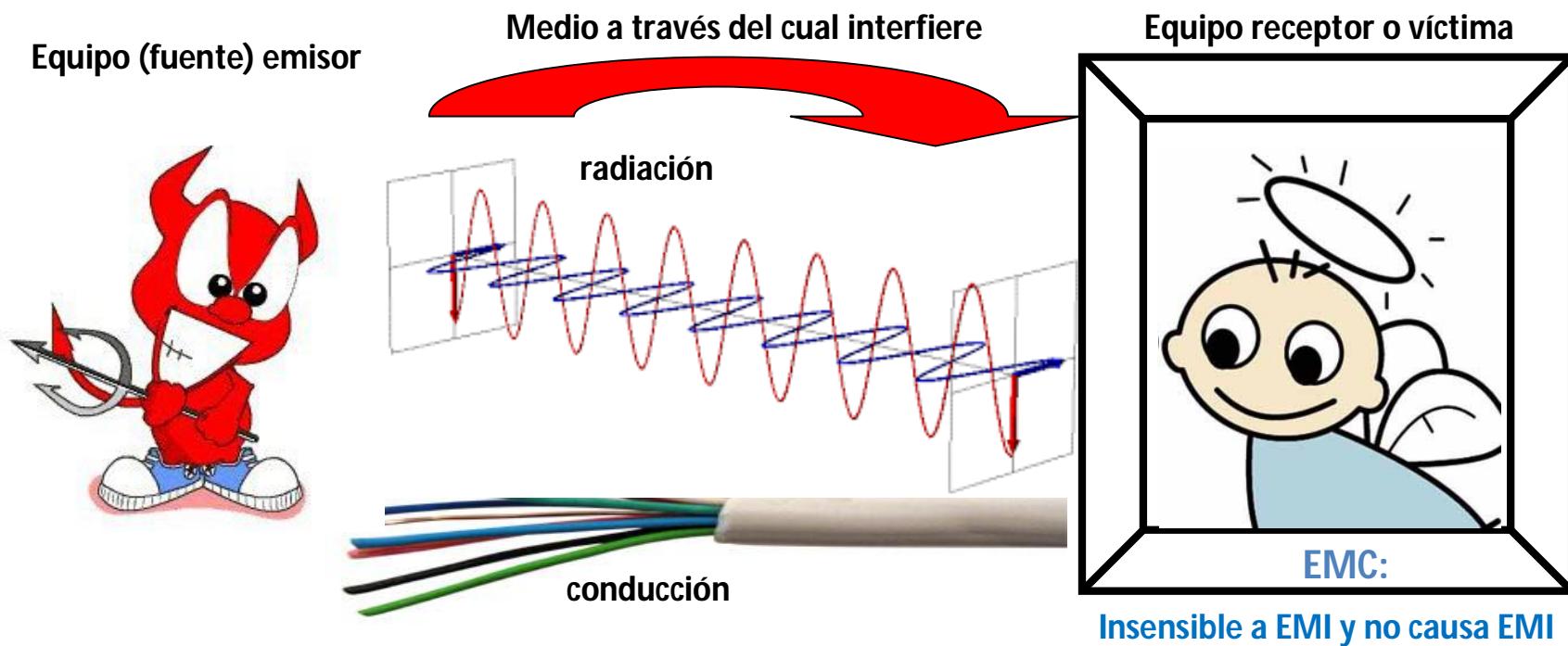
y algunas normas que tratan el tema...

- **IEC 61000-4-2:** Inmunidad a Descargas Electrostáticas directas e indirectas, por aire o por contacto.
- **IEC 61000-4-3:** Inmunidad a Campos Radiados de Alta Frecuencia.
- **IEC 61000-4-4:** Inmunidad a Transitorios Rápidos en líneas de alimentación y acoplados capacitivamente a líneas de datos y de comunicación y control.
- **IEC 61000-4-5:** Inmunidad a Onda de Tensión de 1,2/50 us.
- **IEC 61000-4-6:** Inmunidad a perturbaciones conducidas inducidas por campos radiados.
- **IEC 61000-4-8:** Inmunidad a Campos Magnéticos Inducidos de 50 Hz.
- **IEC 61000-4-11:** Inmunidad a interrupciones breves (microcortes) en la línea de alimentación.
- **IRAM 2345 / IEC 61643-1:** Dispositivos de protección contra sobretensiones (DPS) conectados a redes (sistemas) de distribución de baja tensión.
- **IRAM 2394-1 / UNE-EN 61180-1:** Técnicas de ensayo en alta tensión para equipos de baja tensión.
- **IRAM 2184-4** (Reglamentación AEA 92305-4) / **IEC 62305-4:** Protección contra los rayos. Parte 4 - Sistemas eléctricos y electrónicos en estructuras.
- **IEEE Std. C62.41.2:** Recommended Practice on Characterization of Surges in Low-Voltage (1000 V and Less) AC Power Circuits.
- **IEEE Std. C62.45:** Recommended Practice on Surge Testing for Equipment Connected to Low-Voltage (1000 V and Less) AC Power Circuits.

En casos como equipos médicos, existen normas específicas como la EN60601-1-2 e incluso particulares para cada tipo de equipo.

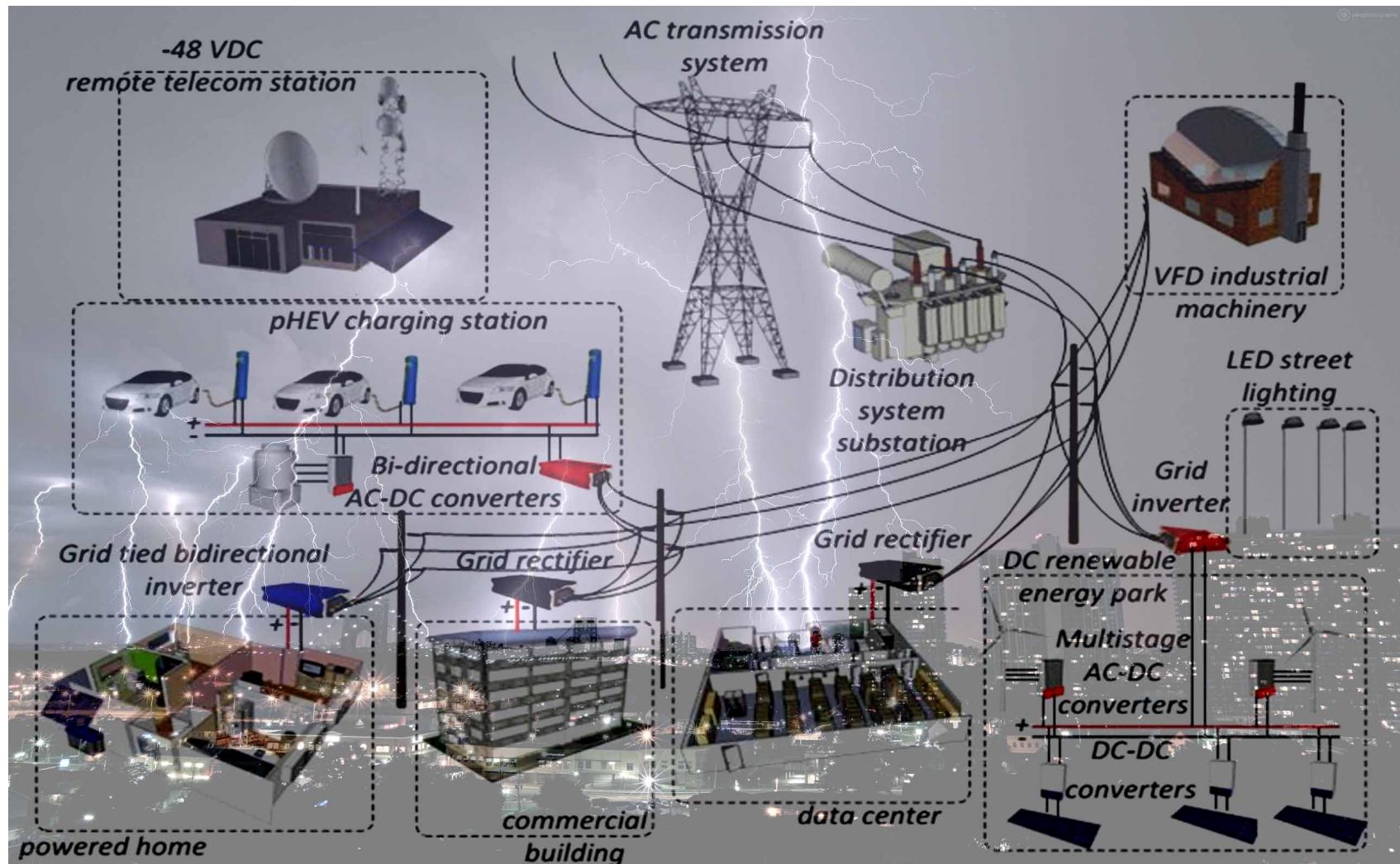
¿Qué entendemos por interferencia electromagnética?

Si el funcionamiento de un equipo o fuente emisora provoca un comportamiento anormal en otro. (**transitorio, permanente o catastrófico**)



Si **no modifica** el comportamiento del receptor, **no es interferencia**.

Vivimos en un “mundo EMI”...



Definiciones (IEC 61000-1-1):

¿Qué es la interferencia electromagnética (EMI)?

La emisión de energía electromagnética que degrada o perjudica la calidad de una señal o el funcionamiento de un sistema.

¿Qué es la inmunidad o susceptibilidad electromagnética (EMS)?

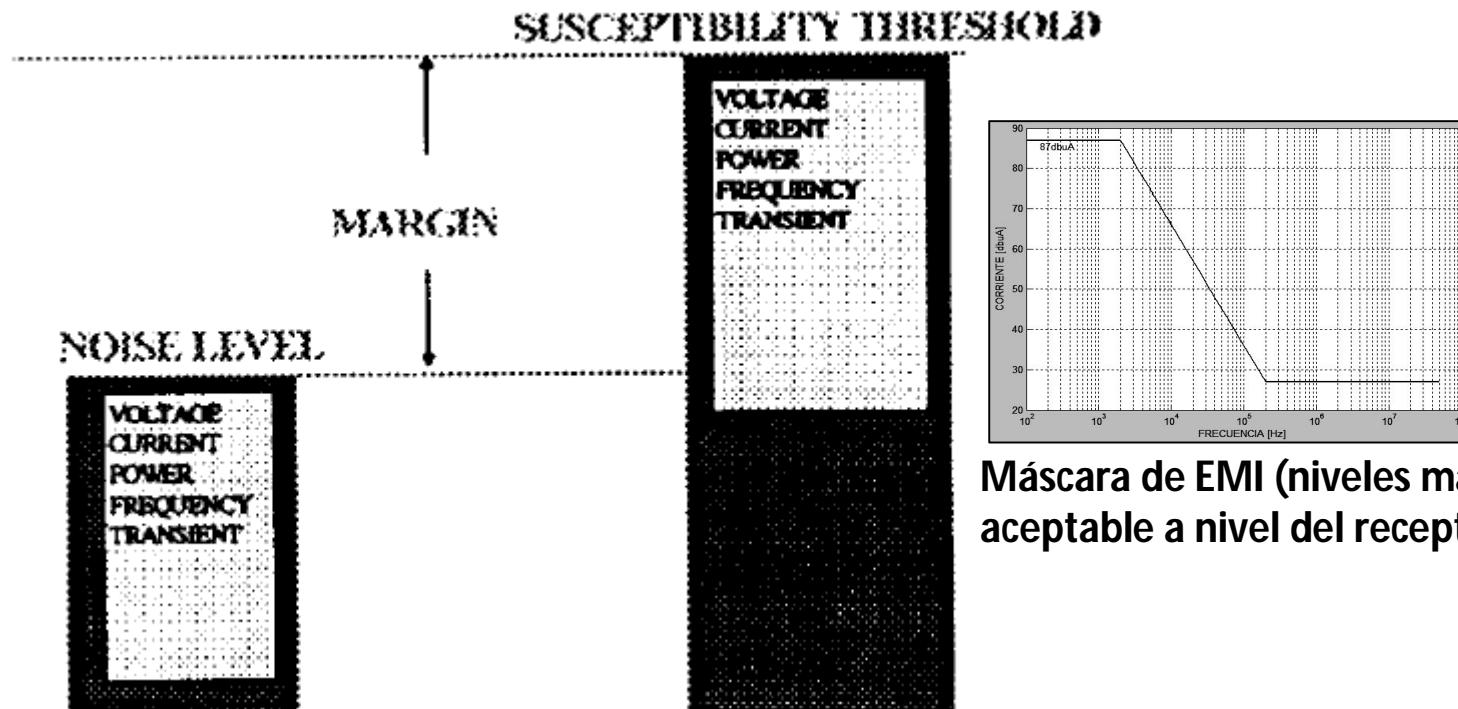
Caracteriza la habilidad de un aparato y/o sistema de funcionar correctamente dentro del entorno electromagnético, para el cual ha sido diseñado o concebido.

¿Qué es la compatibilidad electromagnética (EMC)?

La habilidad de un sistema de no causar interferencias electromagnéticas a otros equipos, pero al mismo tiempo ha de ser insensible a las emisiones que pueden causar otros sistemas.

La EMC comprende tanto la EMI como la EMS

Algo más sobre la EMS:



**Máscara de EMI (niveles máximos)
aceptable a nivel del receptor.**

Se acepta un margen de 6 dB (20 dB para dispositivos electroexplosivos).
(NASA Contractor Report 4759)

Unidades para medir los niveles de EMI:

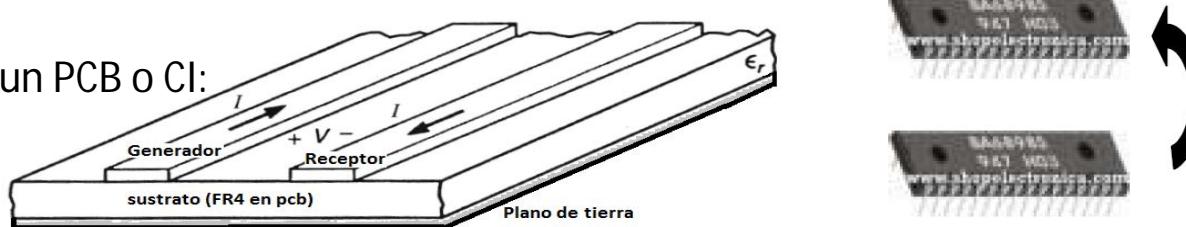
$$dB\mu A = 20 \cdot \log (I/1\mu A) \quad dB\mu V = 20 \cdot \log (V/1\mu V)$$

(ó por ej. dB μ V/m, para EMI radiadas)

¿Por qué la compatibilidad electromagnética resulta cada vez de mayor importancia?

- Porque existe un aumento del equipamiento electrónico (industria y hogar).
- Porque los equipos son cada vez más complejos.
- Porque hay un aumento de los sistemas de telecomunicación (radio, celulares, etc.).
- Porque al disminuir las tensiones de trabajo, se reduce el margen de ruido de los sistemas digitales.
- Porque hay un aumento de la frecuencia de trabajo de los equipos.

Ejemplo en un PCB o CI:



¿Por qué la compatibilidad electromagnética resulta cada vez de mayor importancia?

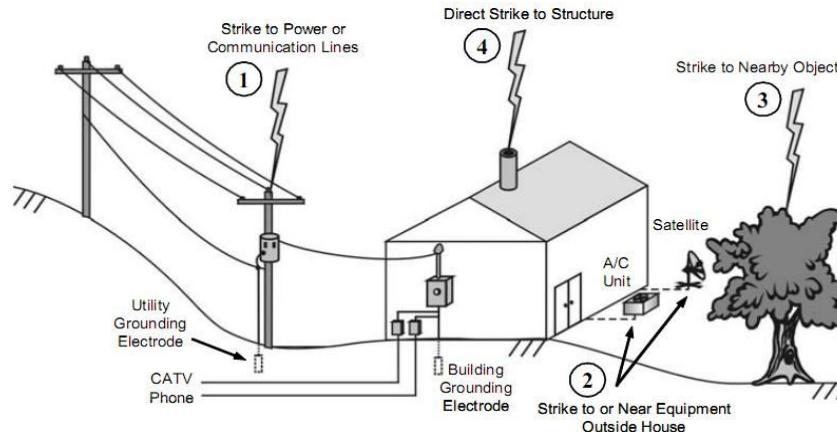
Más ejemplos:

- Líneas en la pantalla de un monitor de PC o en la TV cuando se enciende el motor de un electrodoméstico.
- Mal funcionamiento de los microcontroladores existentes en la electrónica de automóviles para testear sistemas de seguridad, nivel de combustible, etc., en presencia de ciertos campos.
- Desactivación de cierres centralizados en automóviles ante señales de frecuencias no útiles.
- Teléfonos celulares y computadoras que pueden interferir en procesos de despegue y aterrizaje de aviones (comunicaciones y sensores).
- Descarga electrostática accidental al manipular una tarjeta de memoria de una PC, produciendo un daño permanente en su funcionamiento.
- Modems dañados en el interior de un edificio, debido a un rayo que cae en una línea exterior.

¿Cómo se pueden clasificar las fuentes de EMI?

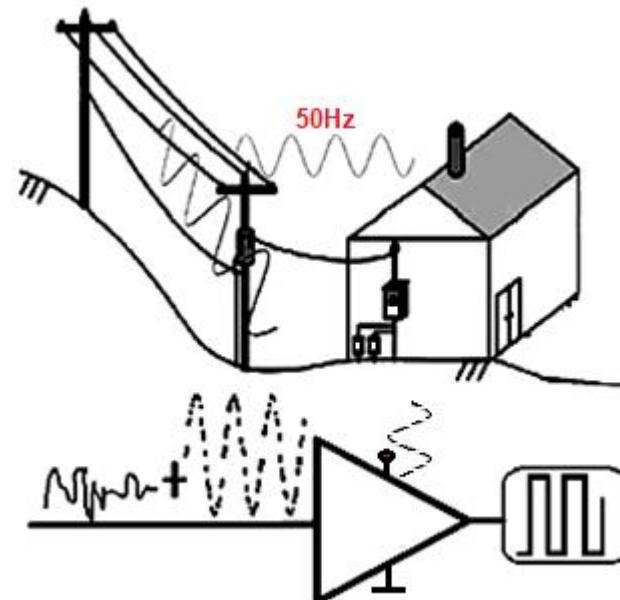
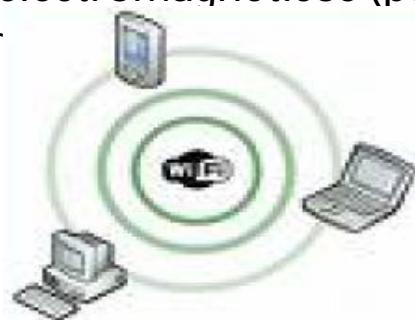
Fuentes naturales:

- Descargas atmosféricas.
- Efectos solares sobre la ionosfera (radiación solar).



Fuentes artificiales (por acción del hombre):

- Descargas electrostáticas.
- Sistemas eléctricos y electrónicos.
- Elementos de telecomunicaciones.
- Pulses electromagnéticos (por ej. explosión nuclear)



Emissions Conductidas

¿Cómo se pueden clasificar las fuentes de EMI?

De acuerdo al nivel de energía de la perturbación, estas fuentes de EMI podrían causar:

- Fallas en equipos de alta tecnología (centrales telefónicas, equipamiento médico, etc.).
 - Perdidas de información (fallas en discos rígidos, etc.).
 - Fallas en sistemas de instrumentación en el control de procesos (pérdida de programación en PLCs, etc.).
 - Fallas en equipos de seguridad (sistemas de CCTV, controles de acceso, etc.).
-

Estas fallas pueden ser **transitorias, permanentes o catastróficas**, como por ejemplo cortocircuitos que provoquen Incendios.

¿Qué métodos se pueden aplicar para mitigar las interferencias?

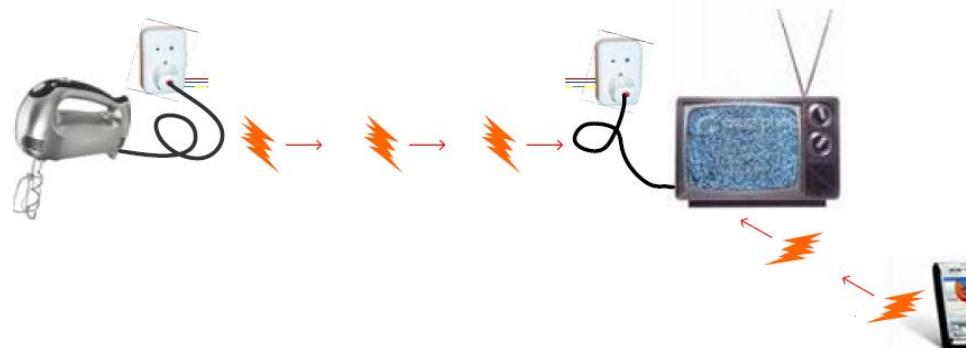
- **Suprimir la emisión en la fuente.**
 - * No siempre se puede identificar la fuente perturbadora.
 - * A veces no es posible eliminarla por ser señales activas del sistema (Reloj, DC-DC, etc.)
- **Hacer menos efectivo el canal de transmisión.**
- **Hacer el receptor menos sensible a las emisiones.**



¿Cuáles son las formas de propagación de EMI?

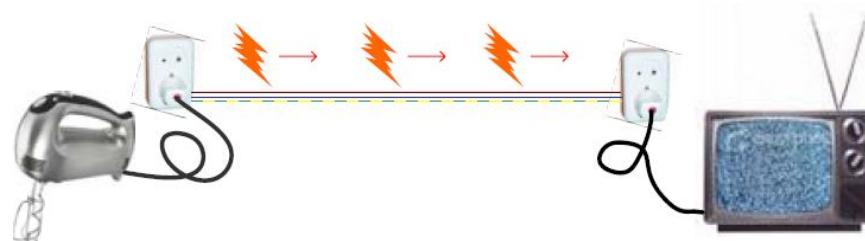
- **EMI radiadas ($f > 30\text{MHz}$)**: Transmisión por el espacio (ondas EM).

Se consideran radiadas (no acopladas) si: $d_{\text{fuente-receptor}} \geq \lambda_{\text{interferencia}}$ (campo lejano).



- **EMI conducidas ($30\text{Hz} < f < 30\text{MHz}$)**: Transmisión a través de los conductores que interconectan los bloques circuitales del sistema (cableado, pistas de pcb, conexiones a tierra).

Otros rangos: Por ej. para MIL-STD-461-C, alcanza los 50 MHz.



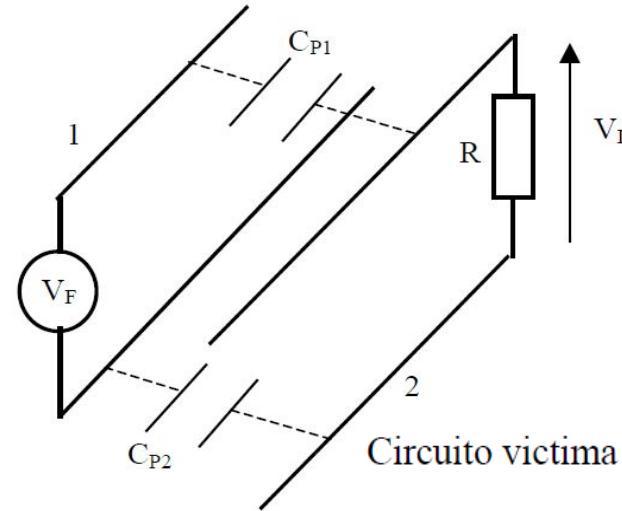
Emissiones Conducidas

¿Cuáles son los mecanismos de propagación de las EMI?

En las **EMI conducidas** se incluyen los acoplamientos reactivos (emisiones de "campos cercanos"):

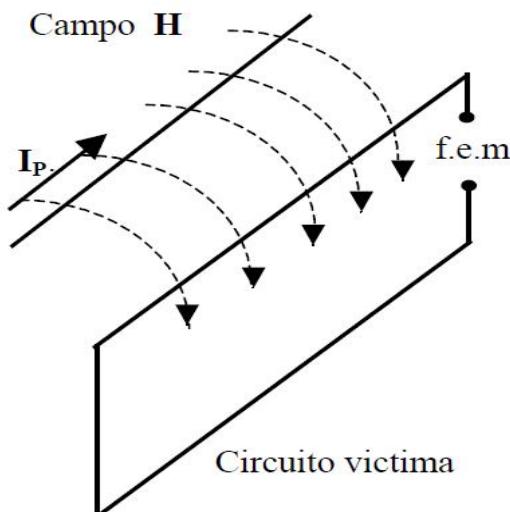
- **EMI propagadas por acoplamiento capacitivo (diafonía):**

Se producen por efecto de campos eléctricos (puntos con elevada dV/dt).

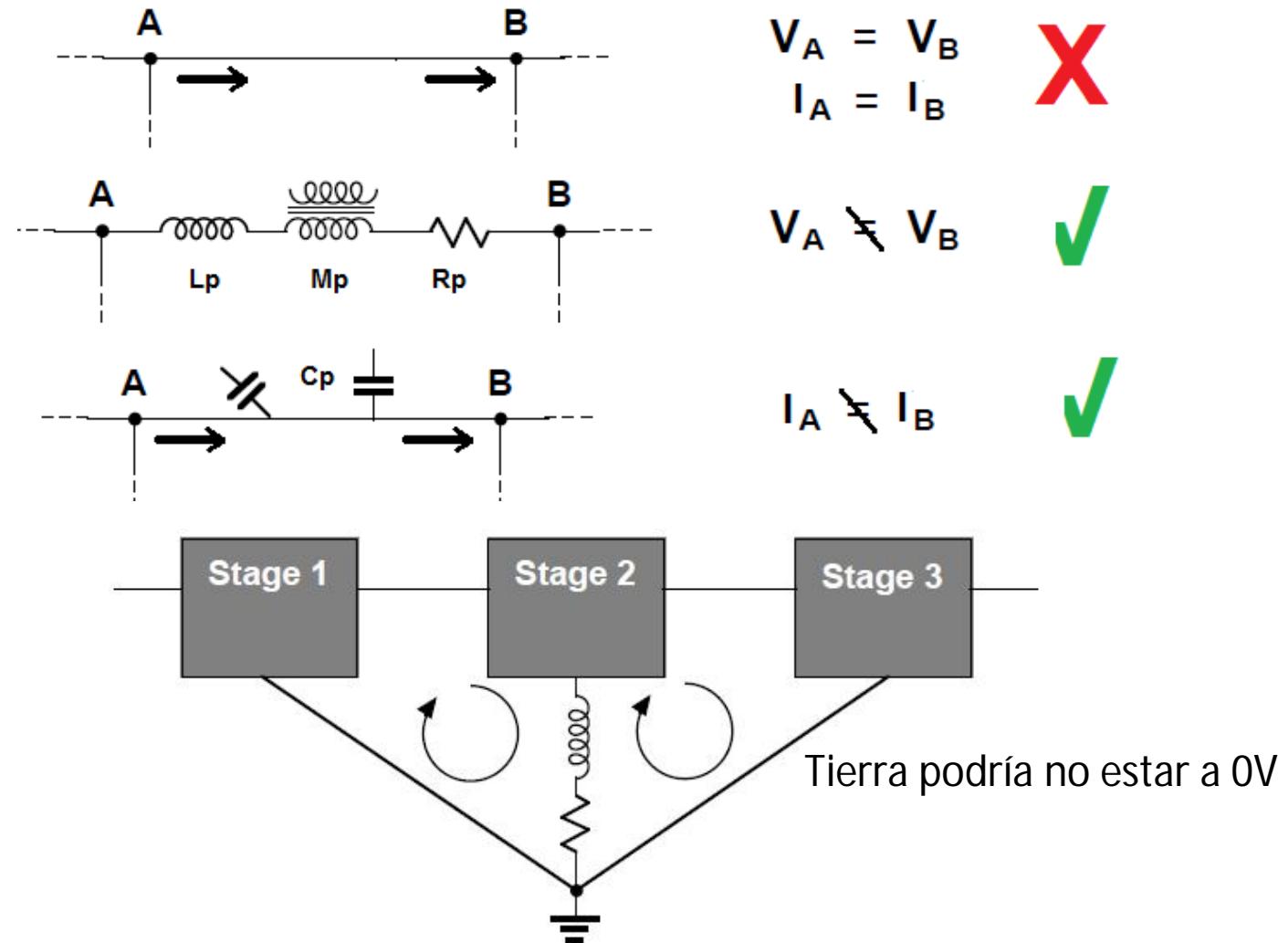


- **EMI propagadas por acoplamiento inductivo:**

Se producen por efecto de campos magnéticos (lazos de corriente con elevada dI/dt).

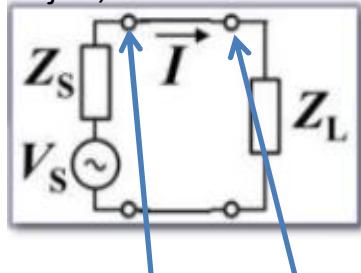


En resumen... no son aplicables los modelos ideales.



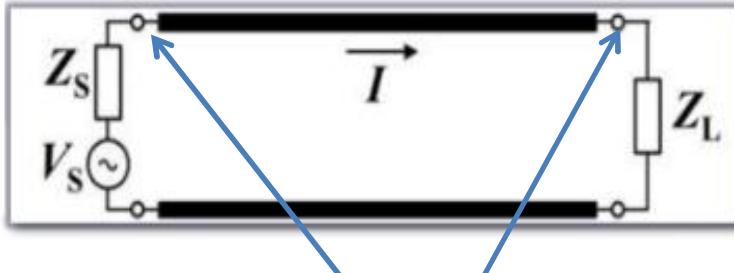
¿Cómo se modelizan los circuitos?

$L/\lambda \ll 1$: parámetros concentrados viajera)



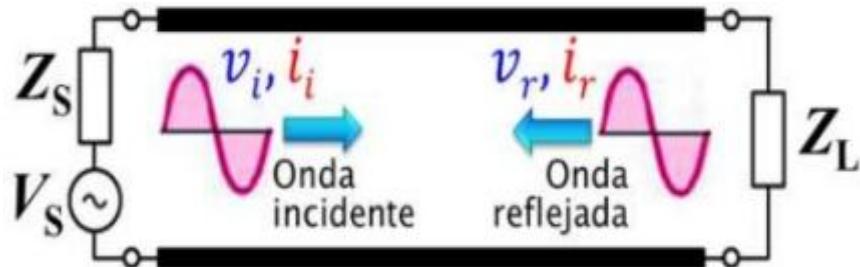
$$I_{Zs}(t1) = I_{ZL}(t1) \text{ (o } V(t1))$$

$L/\lambda \approx 1$: parámetros distribuidos (onda



$$I_{Zs}(t1) \neq I_{ZL}(t1) \text{ (o } V(t1))$$

Por ejemplo: si $f \approx 10\text{MHz}$, en un tendido de 10m $\rightarrow L/\lambda \cancel{\ll} 1$

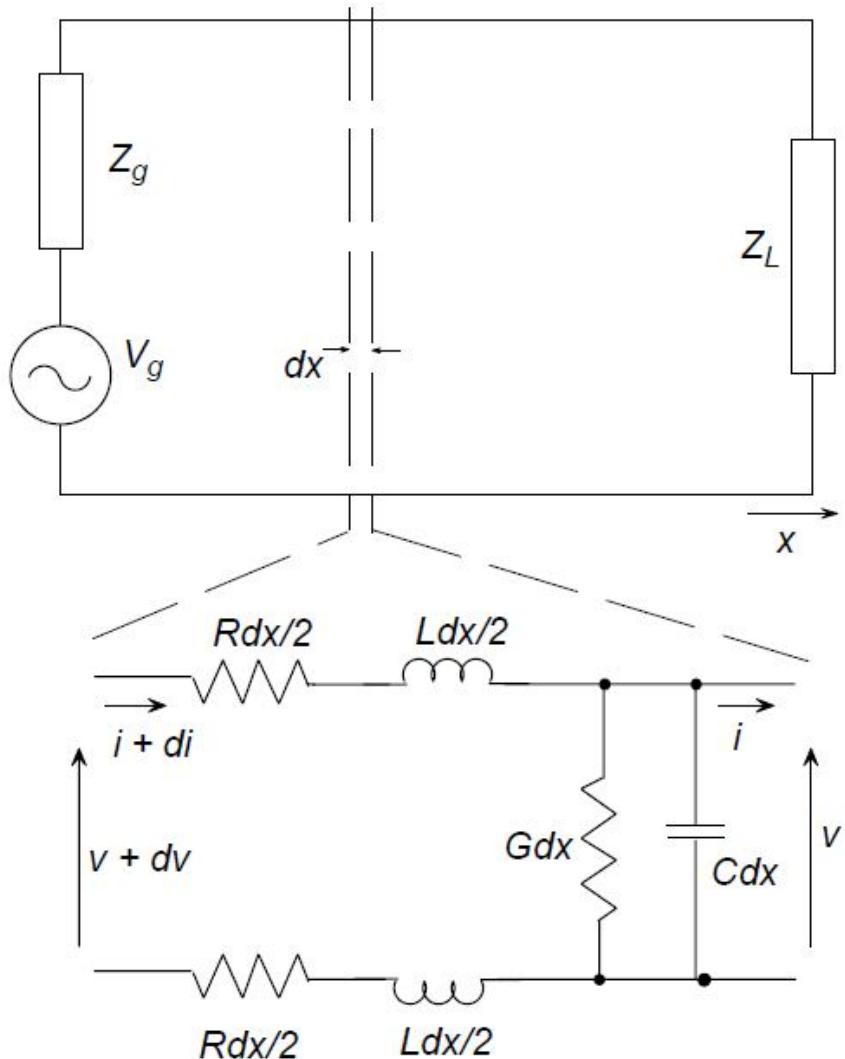


La línea de transmisión se caracteriza por su impedancia Z_0 (es la que se mediría si $L \rightarrow \infty$)

Si $Z_L = Z_0$, no habrá onda reflejada.

Si $Z_L \neq Z_0$, la reflexión se caracteriza por el coeficiente $\Gamma = V_r/V_i$.

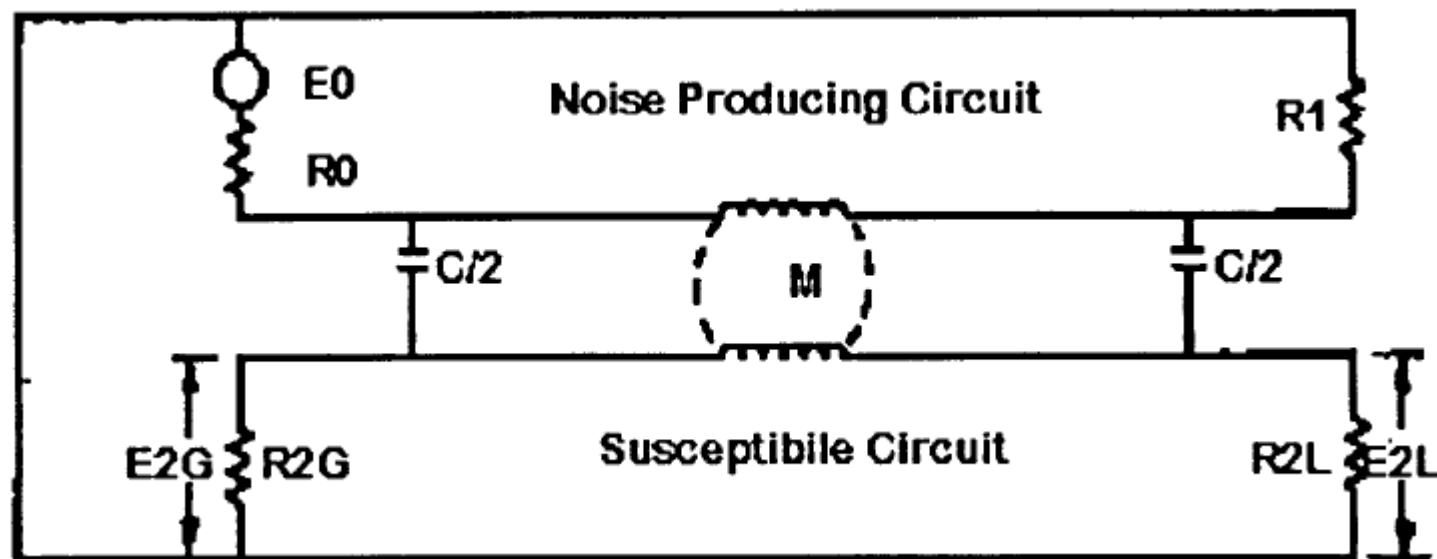
¿Cómo se modelizan los circuitos?



Para obtener la v e i en cada punto, la línea de transmisión se modelizará mediante redes eléctricas RLC de parámetros distribuidos por unidad de longitud. (con $Z_0 = \sqrt{L/C}$)

"Formalmente" el análisis de EMI conducidas sobre este circuito no diferirá de otro de parámetros concentrados.

Ejemplo de acoplamiento del voltaje de ruido E_o entre dos cables cercanos (NASA Contractor Report 4759)

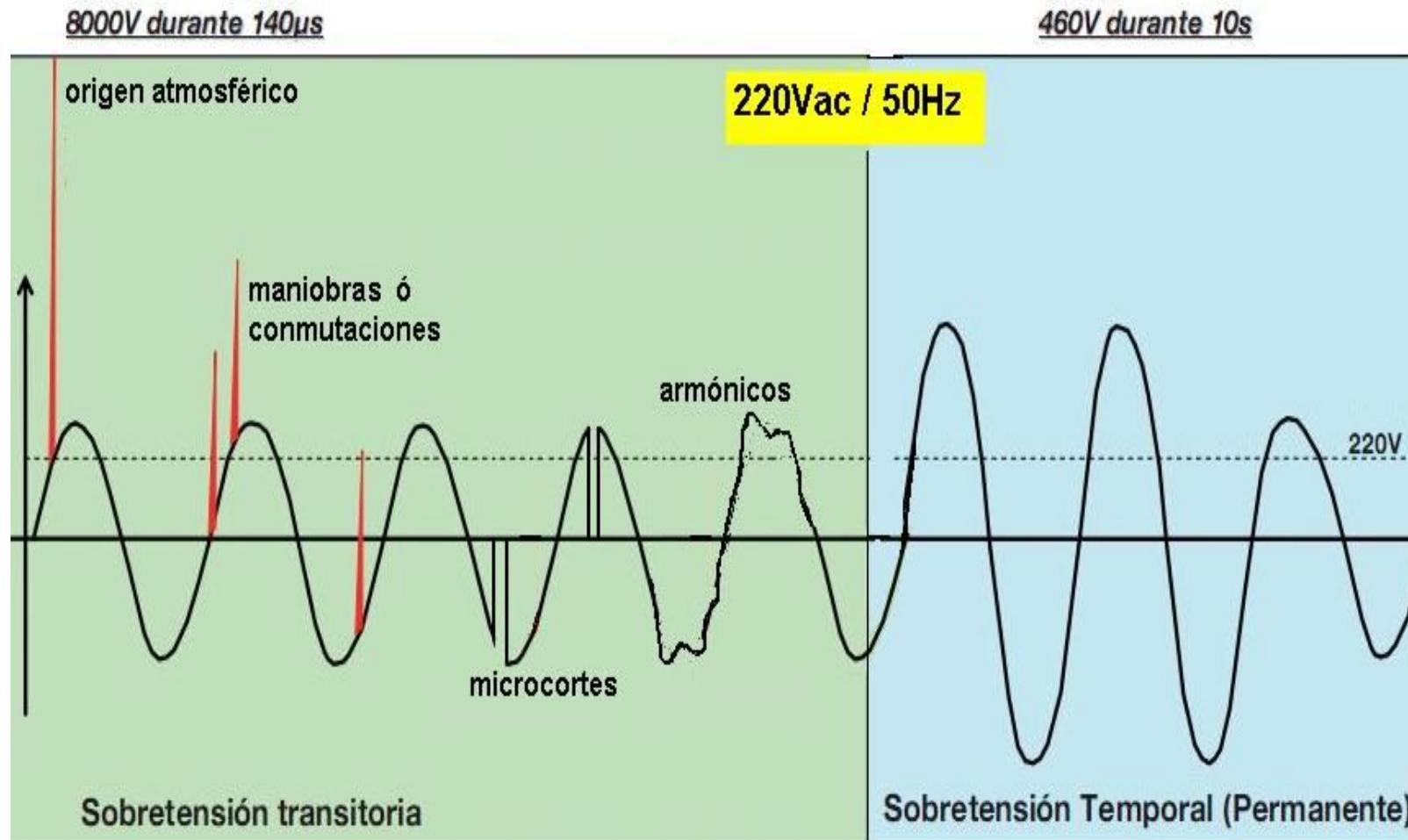


$$E_{2G}/E_o = [R_1/(R_1+R_0)R_2/X_C] + [X_M/(R_1+R_0)R_{2G}/(R_{2G}+R_{2L})]$$

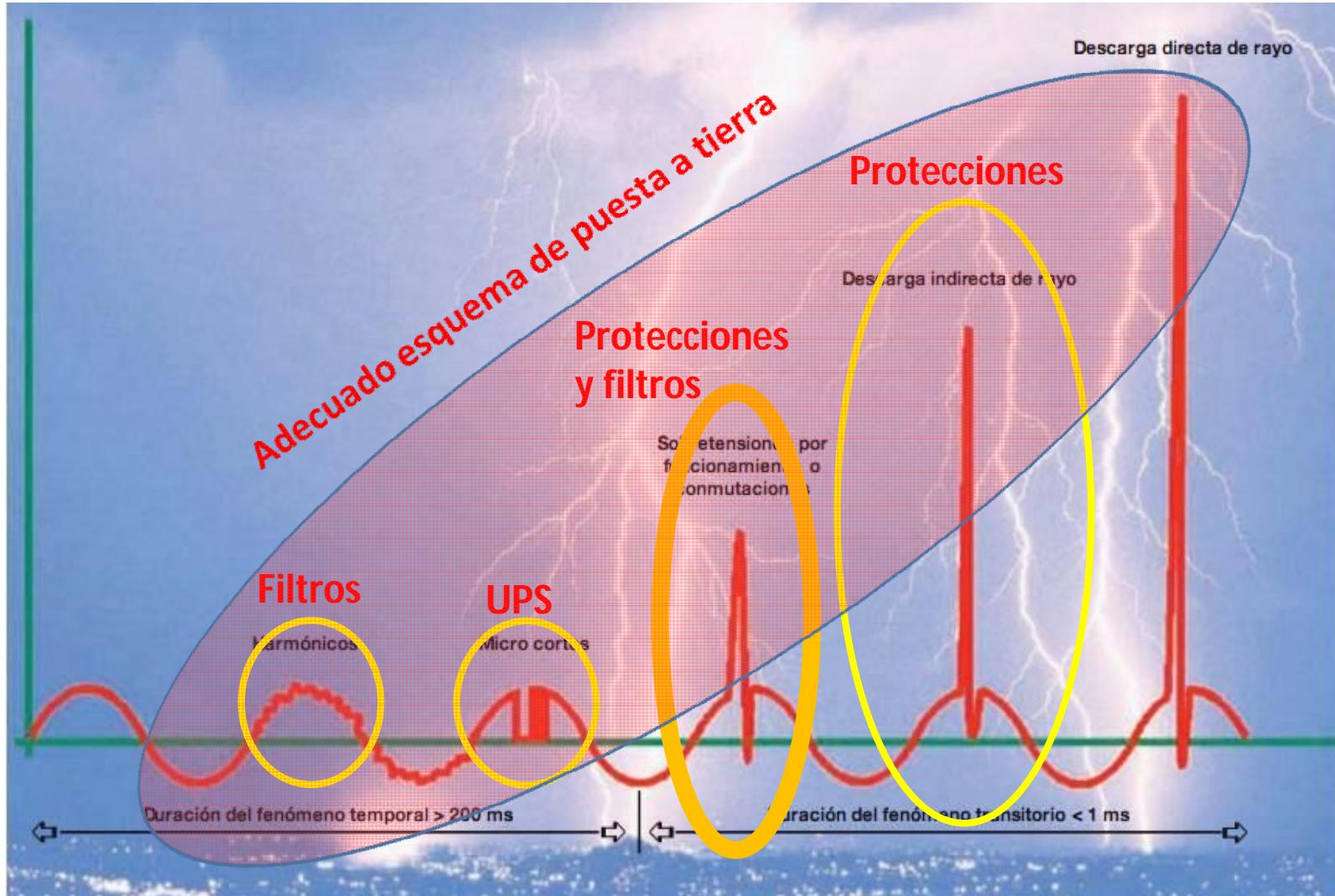
$$E_{2L}/E_o = [R_1/(R_1+R_0)R_2/X_C] - [X_M/(R_1+R_0)R_{2L}/(R_{2G}+R_{2L})]$$

Donde: $R_2 = R_{2L}/R_{2G}$

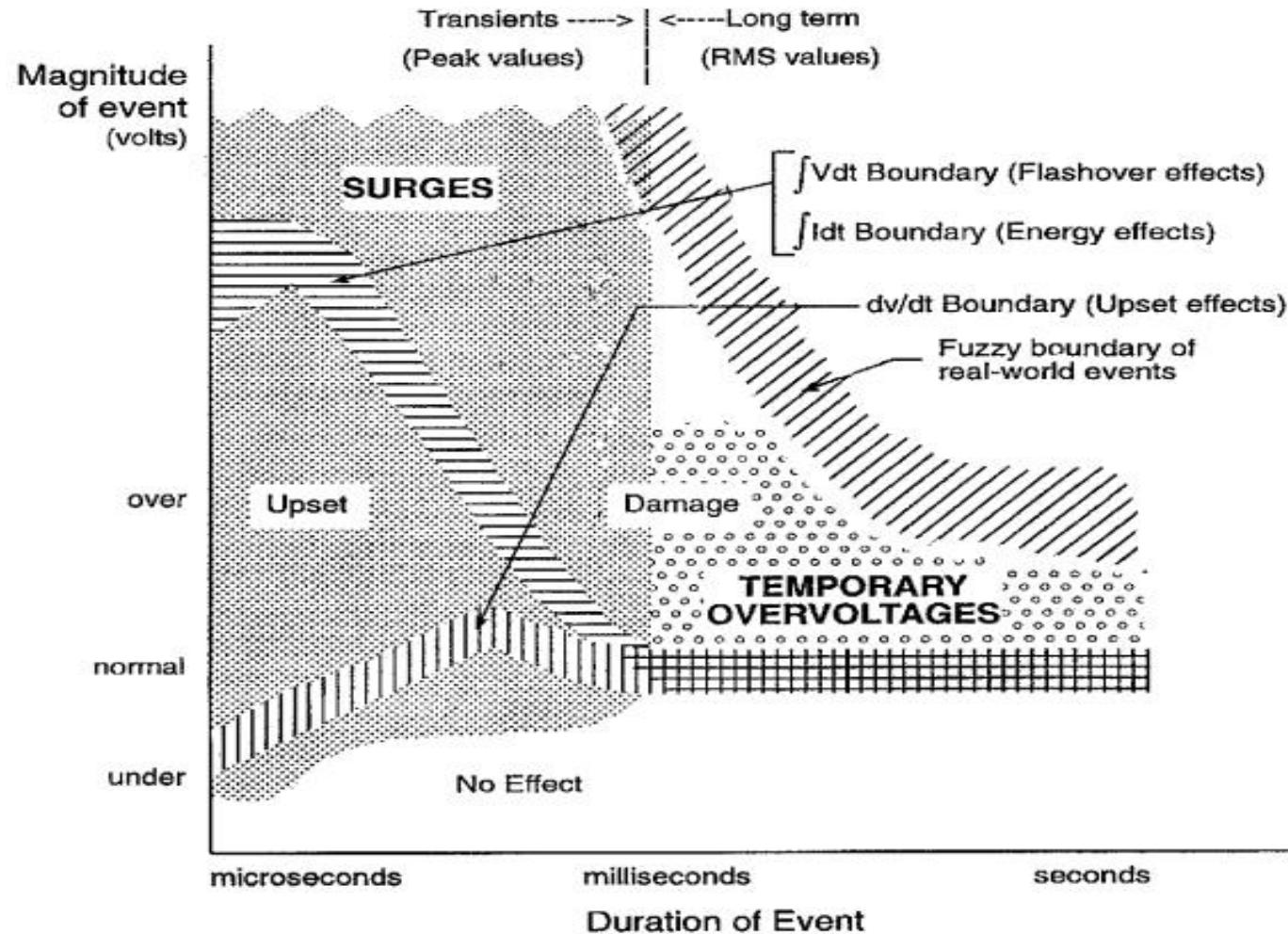
¿Cuáles son las perturbaciones en redes eléctricas?



¿Cuáles son las perturbaciones en redes eléctricas?

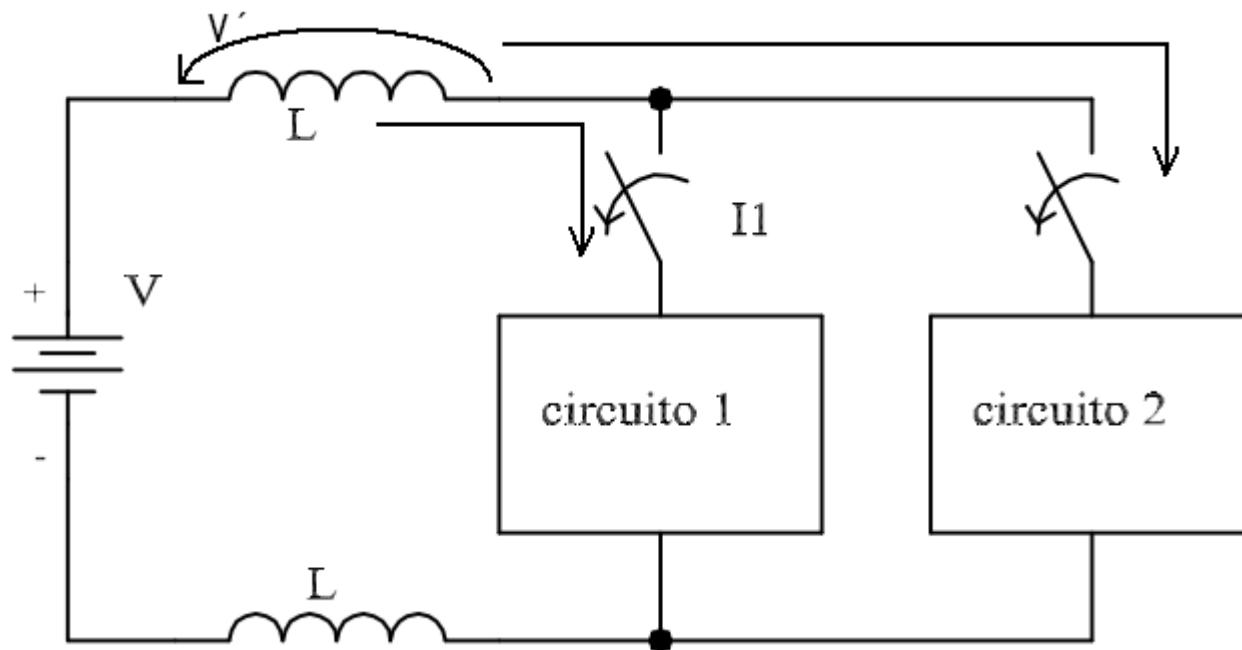


Caracterización de las perturbaciones (IEEE Std. C62.41.2)



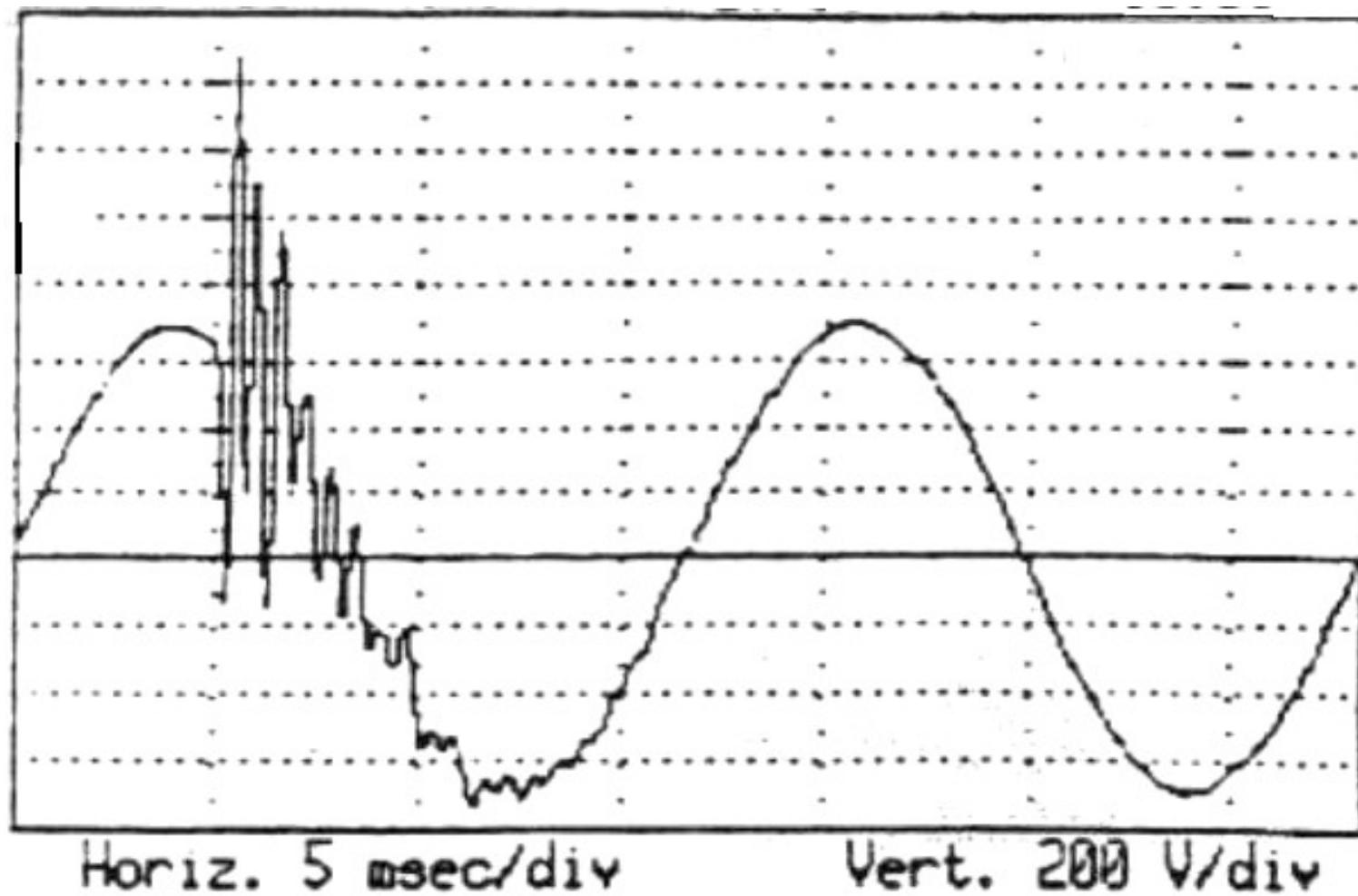
Ejemplo de propagación de EMI conducidas

Al conmutar cargas en una línea de alimentación, se producen transitorios.



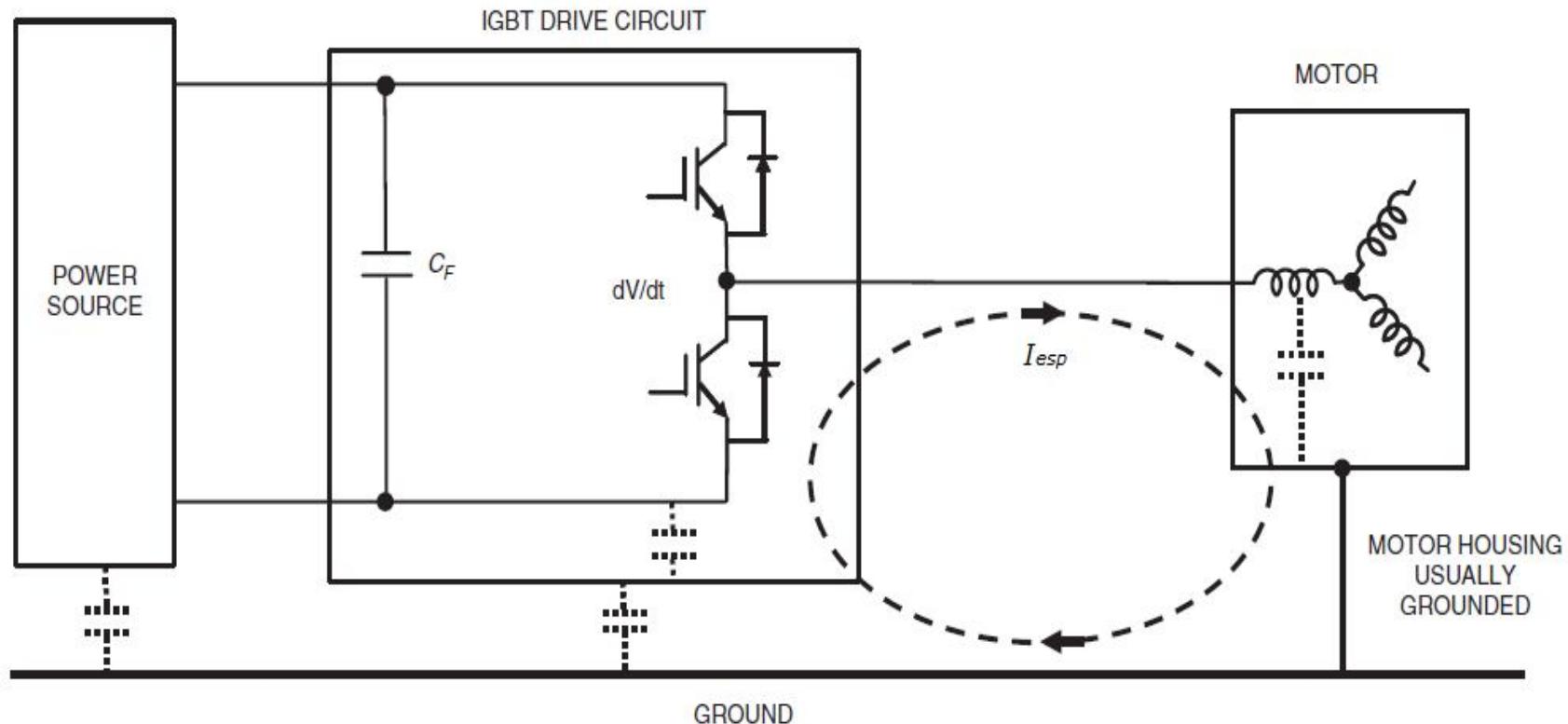
Si se abre I_1 , el cambio brusco de corriente induce una tensión $V' = -L \frac{dI}{dt}$, que puede afectar al resto de circuitos conectados.

Ejemplo de propagación de EMI conducidas



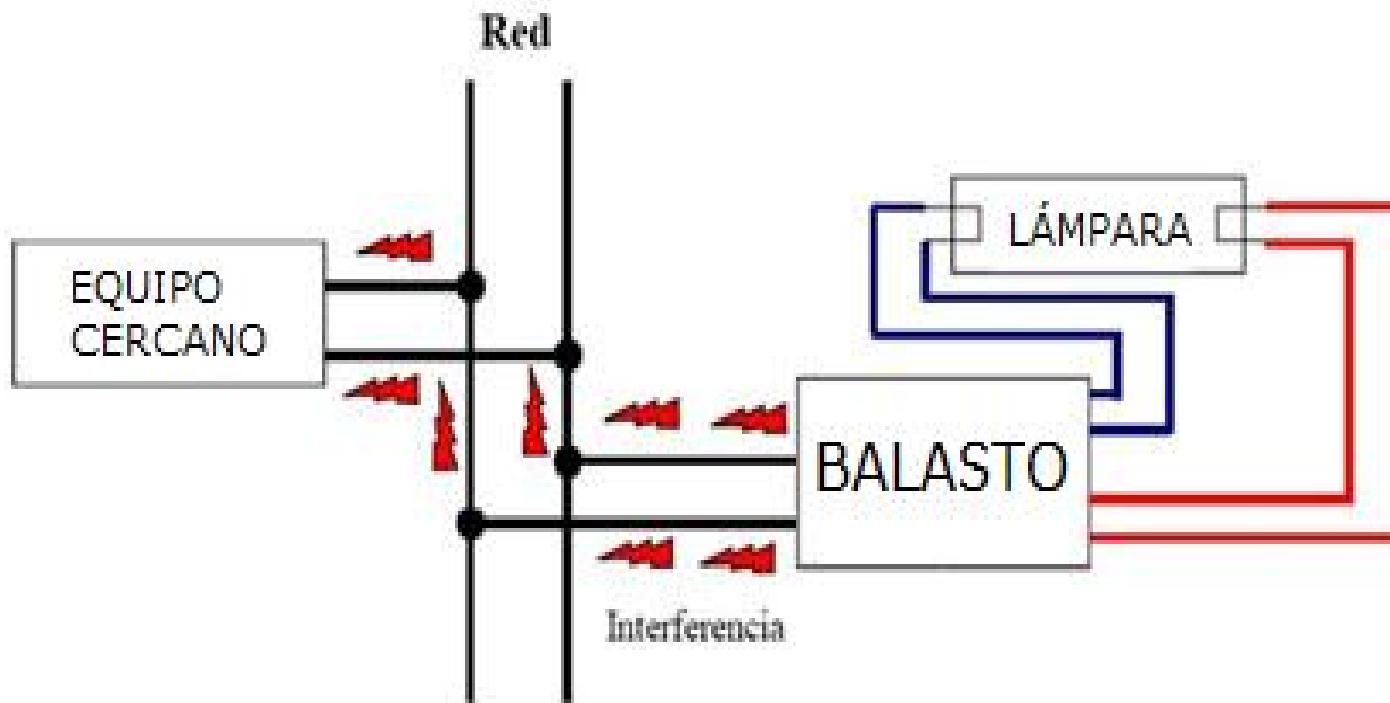
Transitorios durante la desconexión de un banco de capacitores para mejora del factor de potencia.

Ejemplo de propagación de EMI conducidas



Corrientes espurias circulando a través de un driver de control de velocidad de un motor.

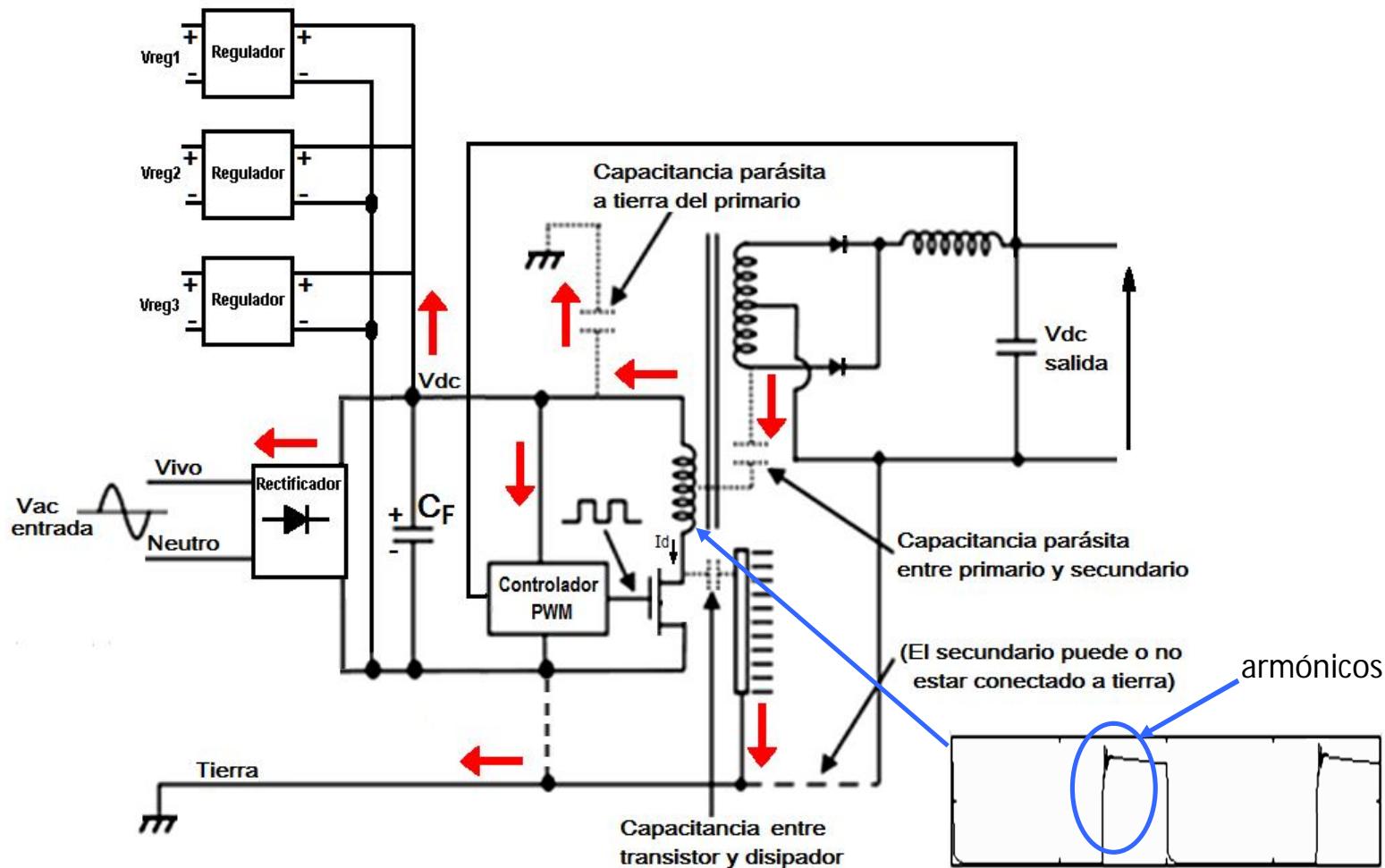
Ejemplo de propagación de EMI conducidas



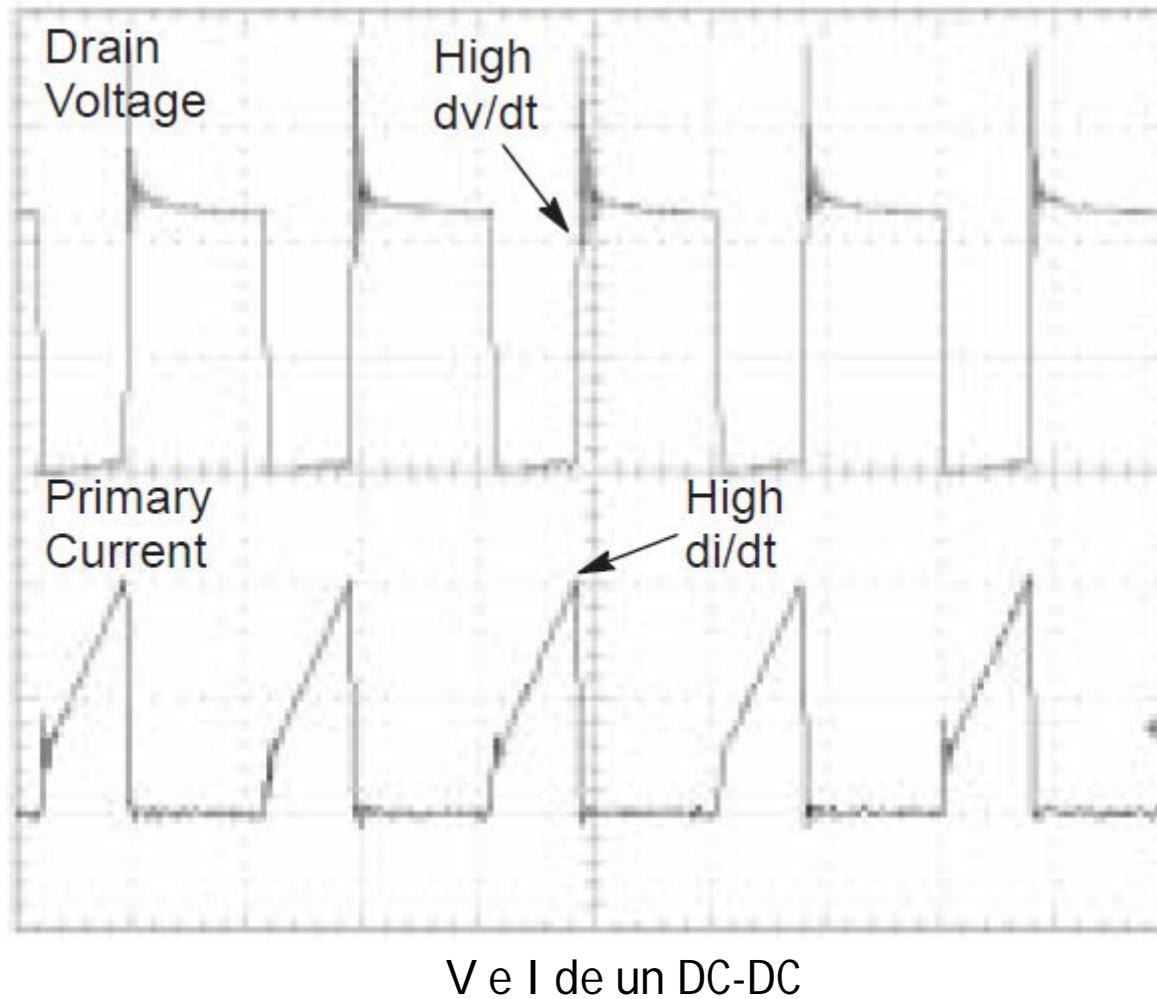
Corrientes espurias producidas por un balasto electrónico para un tubo fluorescente

Ejemplo de propagación de EMI conducidas

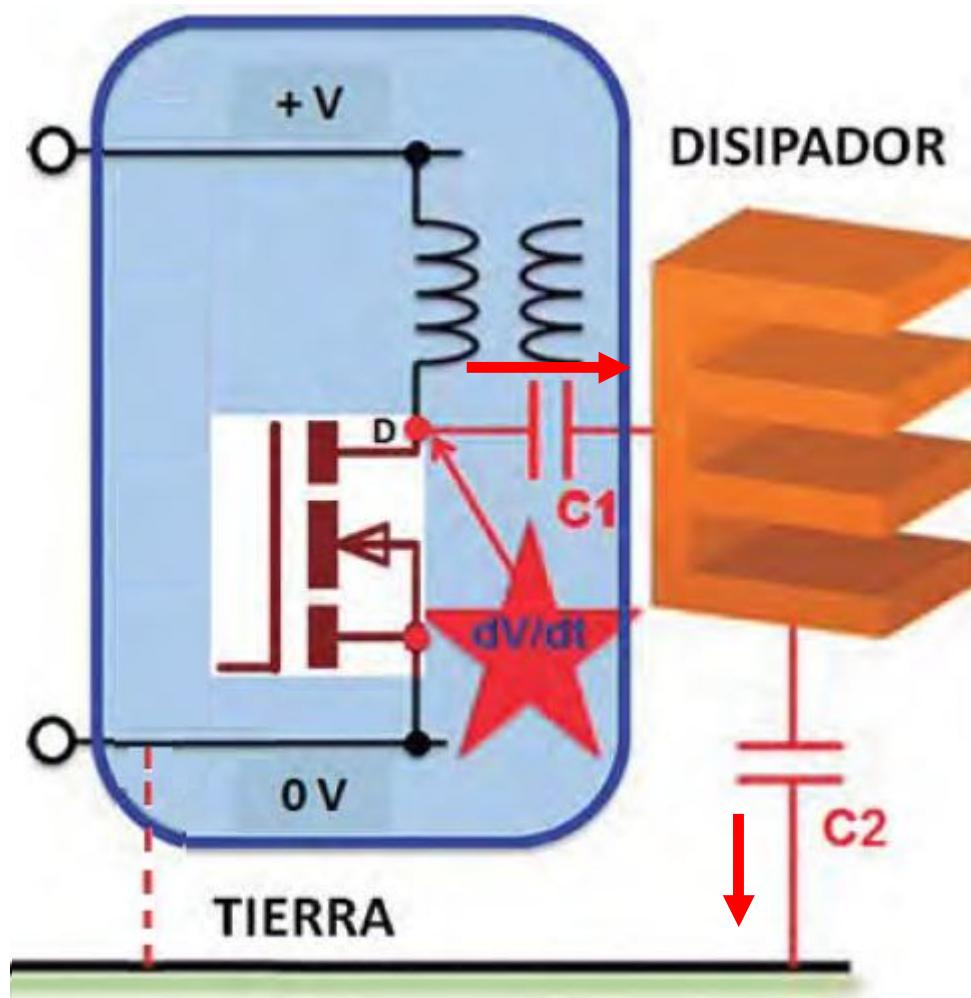
Una fuente de switching como bloque emisor.



Ejemplo de propagación de EMI conducidas



Ejemplo de propagación de EMI conducidas

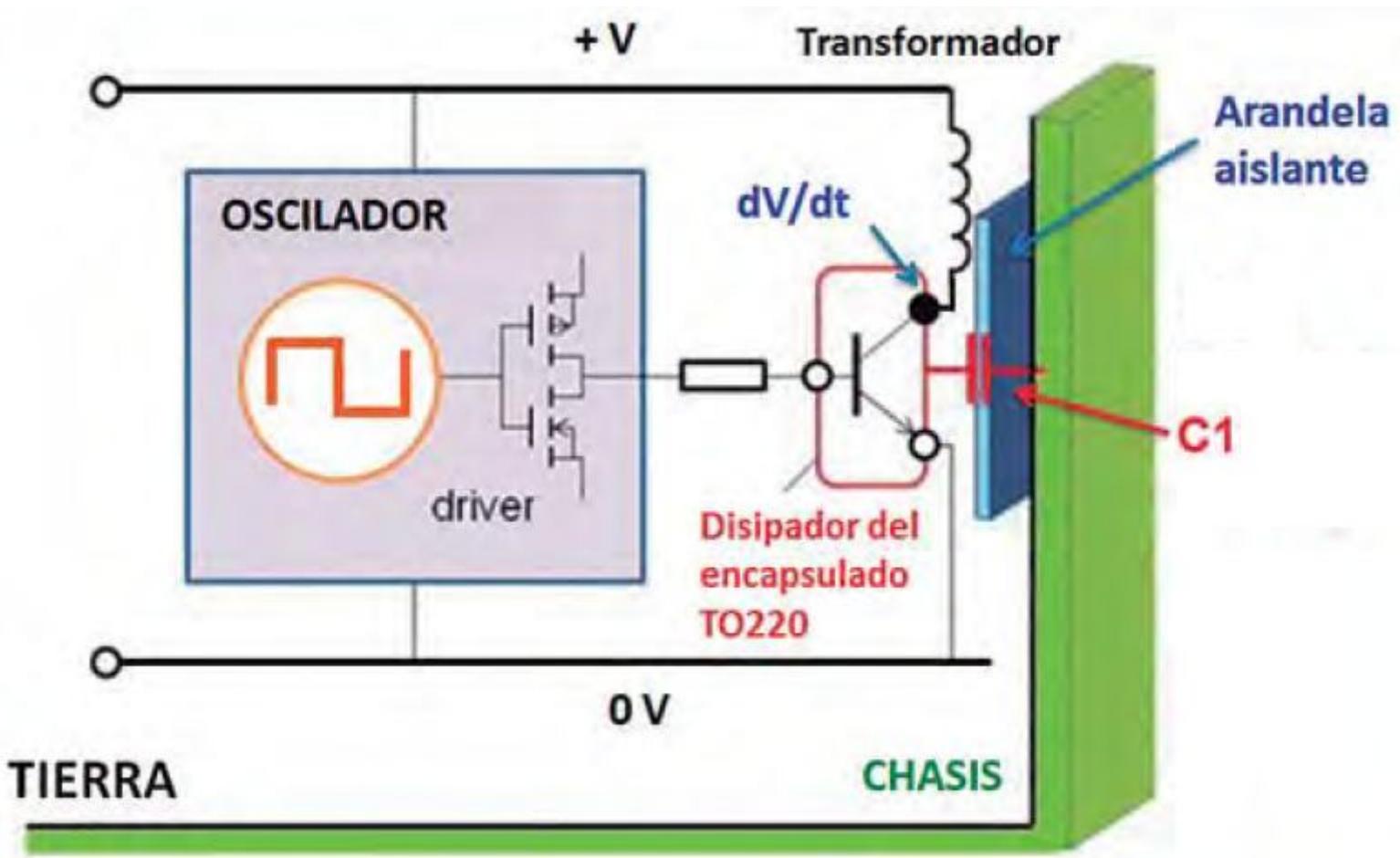


El acople capacitivo entre la base metálica del encapsulado del FET y el disipador formará un camino para corrientes espurias.

$$\begin{aligned} \text{Si } C_1 &= 20\text{pF} \\ I_{C1} &= C_1 \Delta V_D / \Delta t \\ &= 20\text{pF} \cdot 100\text{V} / 0,1\text{us} = 20\text{mA} \end{aligned}$$

Si se aisla el disipador de tierra, aparecerá C_2 .

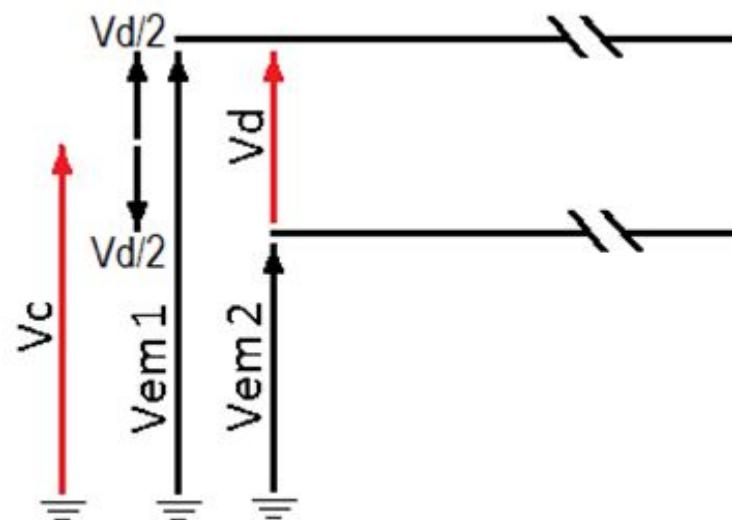
Ejemplo de propagación de EMI conducidas



Si se utiliza el chasis como disipador, circularían por él las corrientes espurias.

Formas de propagación de las EMI conducidas

Conviene analizar el efecto de las señales espurias transformándolas en señales de modo diferencial y común.



$$V_{em1} = V_c + V_d/2$$

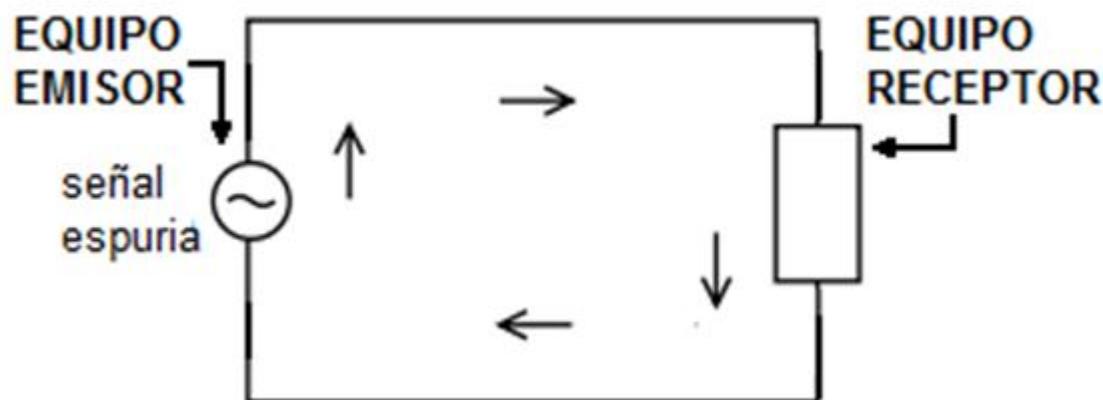
$$V_{em2} = V_c - V_d/2$$

Formas de propagación de las EMI conducidas

Modo diferencial:

Las señales viajan en sentido opuesto en las dos líneas conductoras que llegan a un mismo bloque.

Pueden asociarse a las L_{parásitas} que presentan los componentes que conforman el equipo emisor de las EMI (generación de lazos de corriente).

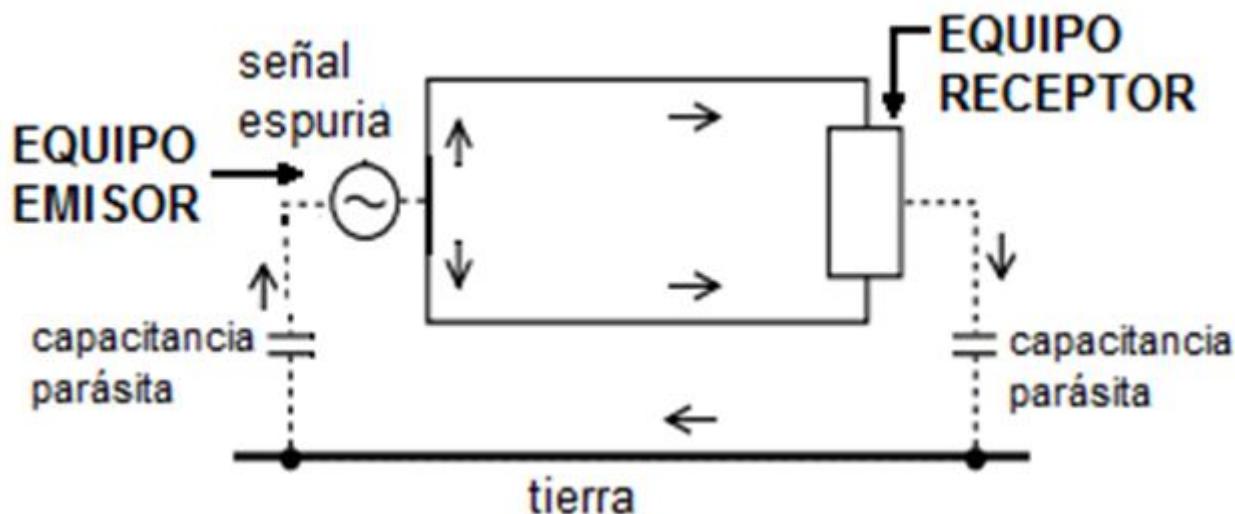


Formas de propagación de las EMI conducidas

Modo común:

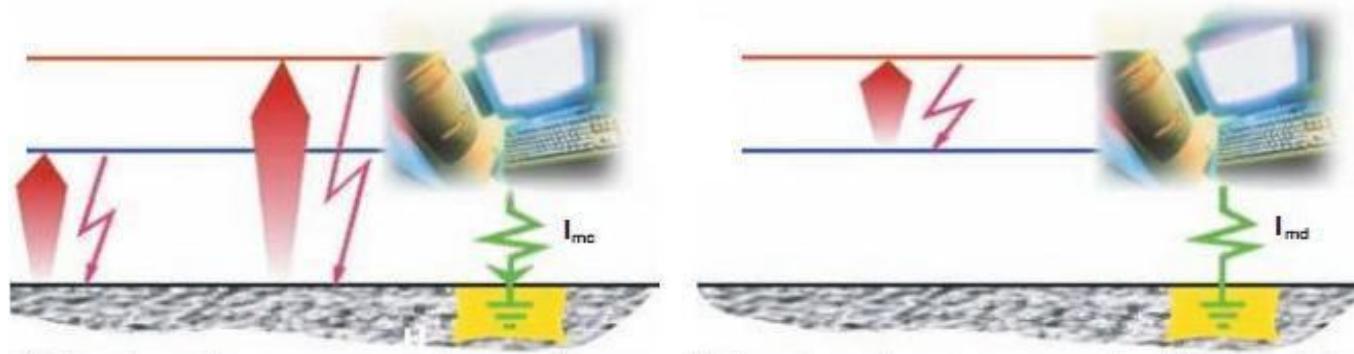
Las señales se propagan en el mismo sentido por cada conductor, cerrándose a tierra a través de las $C_{\text{parásitas}}$ existente entre los conductores y tierra.

Pueden asociarse a la carga y descarga de las capacitancias parásitas presentes en el circuito.



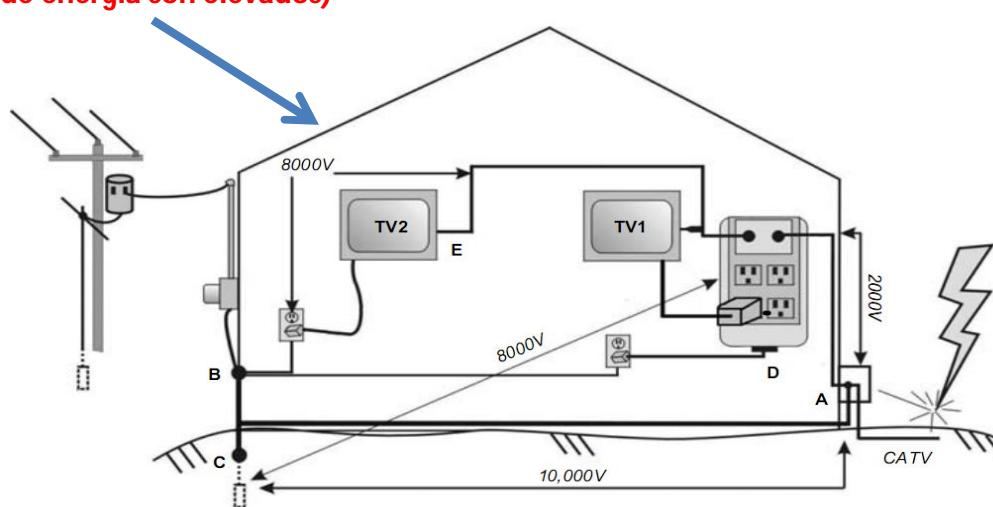
Formas de propagación de las EMI conducidas

La mayoría de las fallas en un equipo por perturbaciones transitorias pueden ser consideradas como **fallas de aislación** en: cableado, bloques funcionales, PCB, CI, etc.



Modo común
(peligrosas si los niveles de energía son elevados)

Modo diferencial

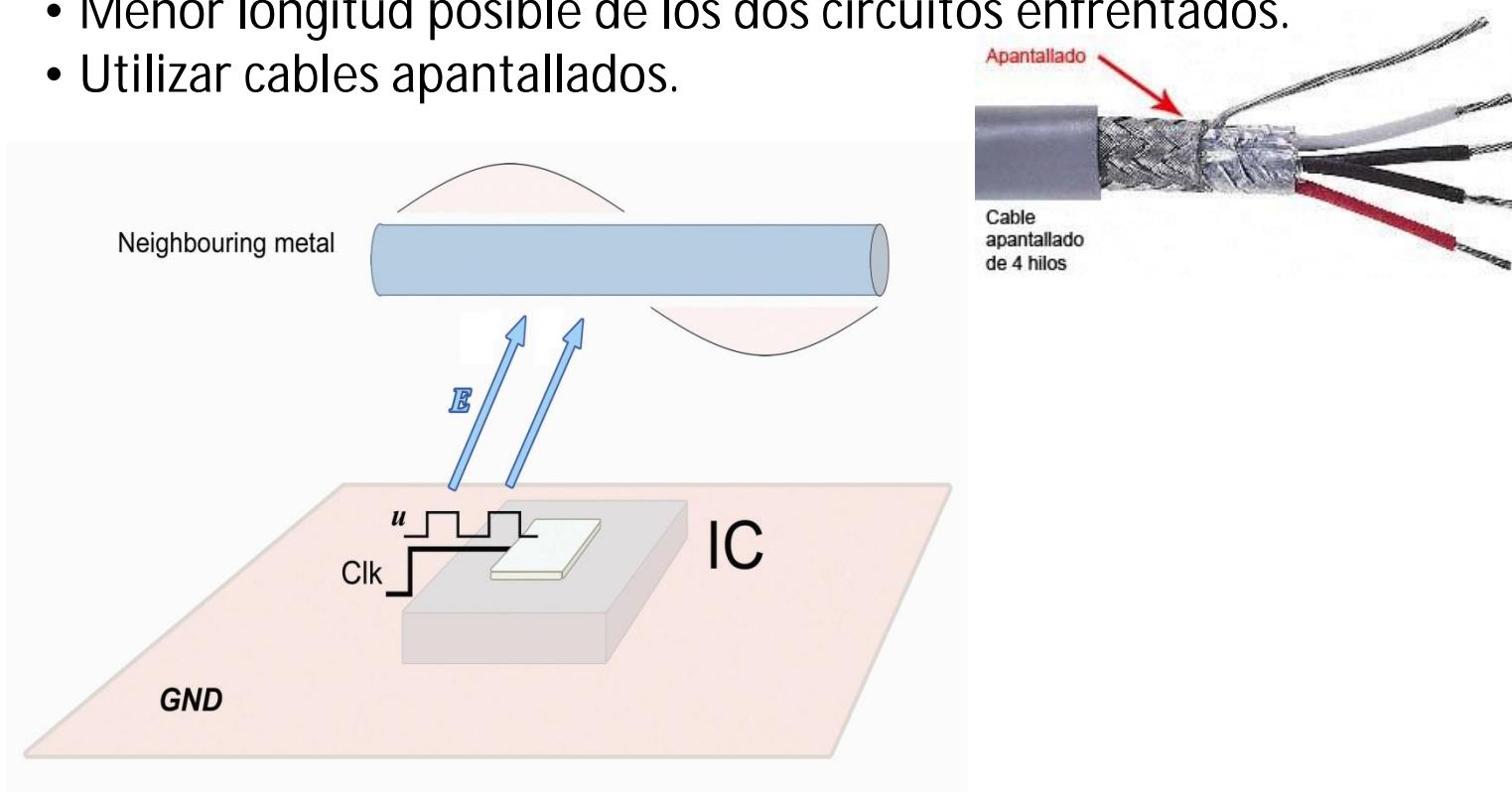


Emissiones Conducidas

¿Qué aspectos hay que considerar para disminuir los niveles de EMI conducidas?

Reducción del acoplamiento capacitivo:

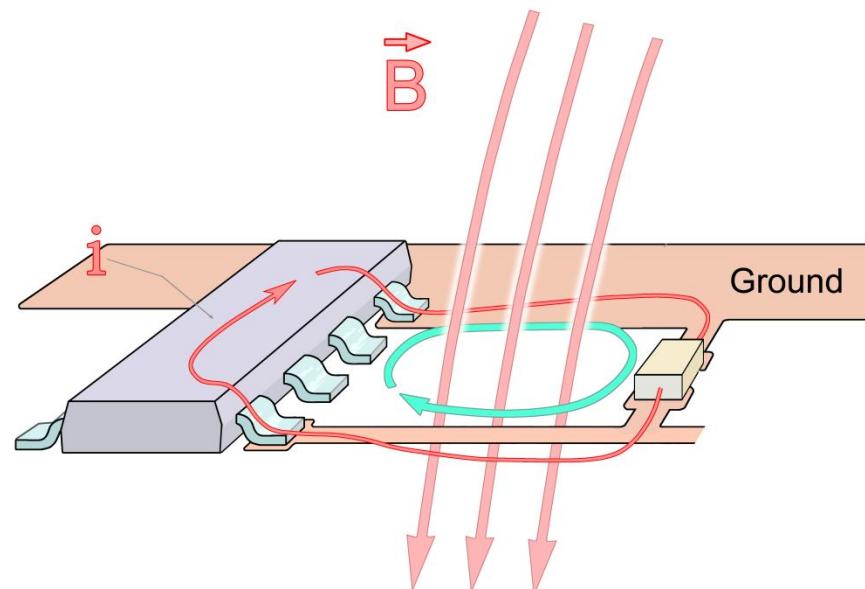
- Mayor distancia posible entre los conductores fuente y víctima.
- Menor longitud posible de los dos circuitos enfrentados.
- Utilizar cables apantallados.



¿Qué aspectos hay que considerar para disminuir los niveles de EMI conducidas?

Reducción del acoplamiento inductivo:

- Mayor distancia posible entre cable perturbador y bucle víctima.
- Reducción del área del bucle víctima (trenzado).
- Reducción de la distancia entre el cable perturbador y el de retorno (anulación del campo magnético)
- Ubicación del cable perturbador perpendicular al bucle víctima.

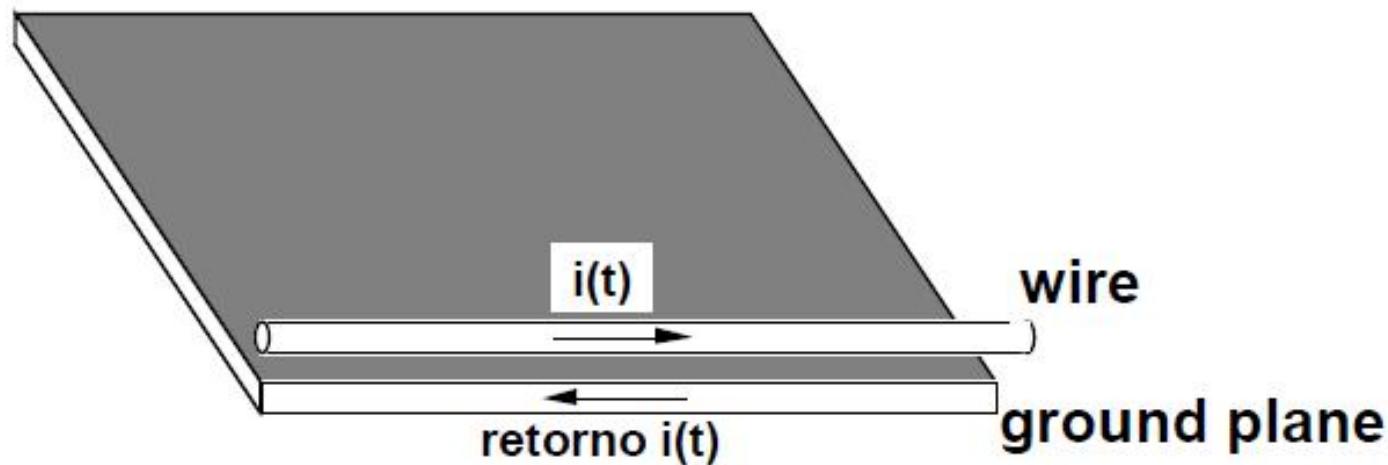


Emisiones Conducidas

¿Qué aspectos hay que considerar para disminuir los niveles de EMI conducidas?

Uso del plano de tierra:

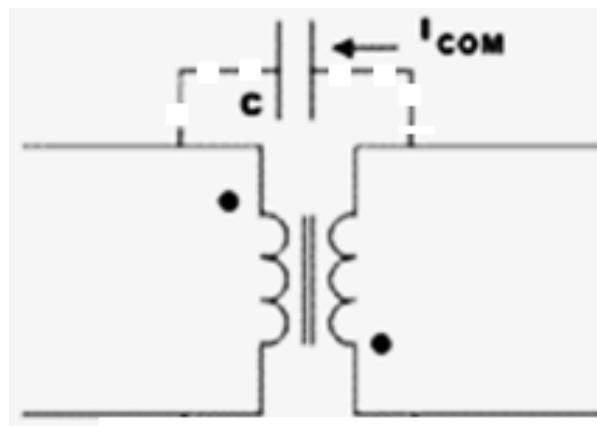
- Minimiza la inductancia del retorno
baja impedancia \Rightarrow equipotencialidad.



¿Qué aspectos hay que considerar para disminuir los niveles de EMI conducidas?

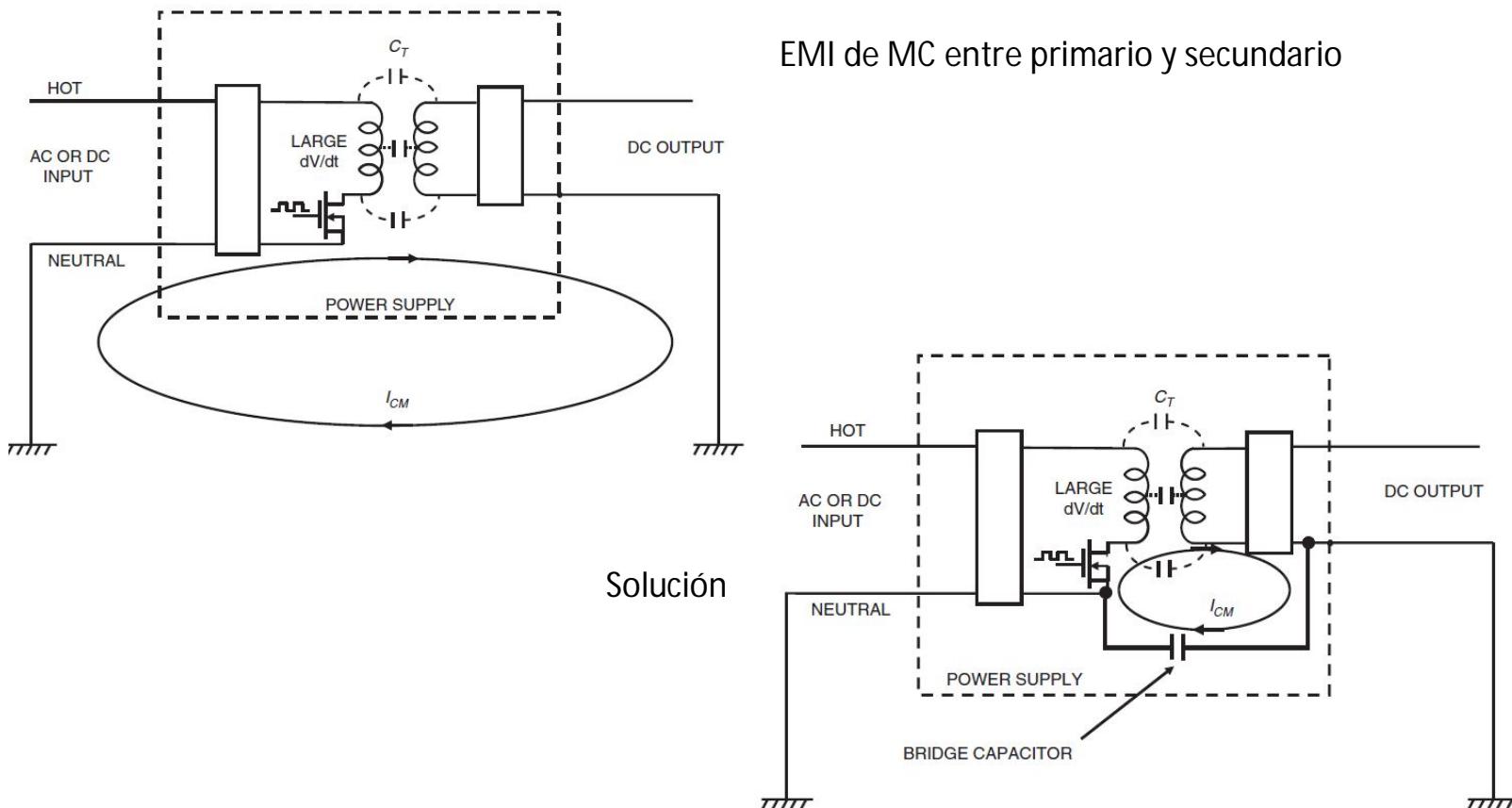
Reducción de las emisiones del equipo culpable

En nuestro ejemplo, la C distribuida entre primario y secundario del trafo del DC-DC, es un camino para las corrientes espurias de MC.



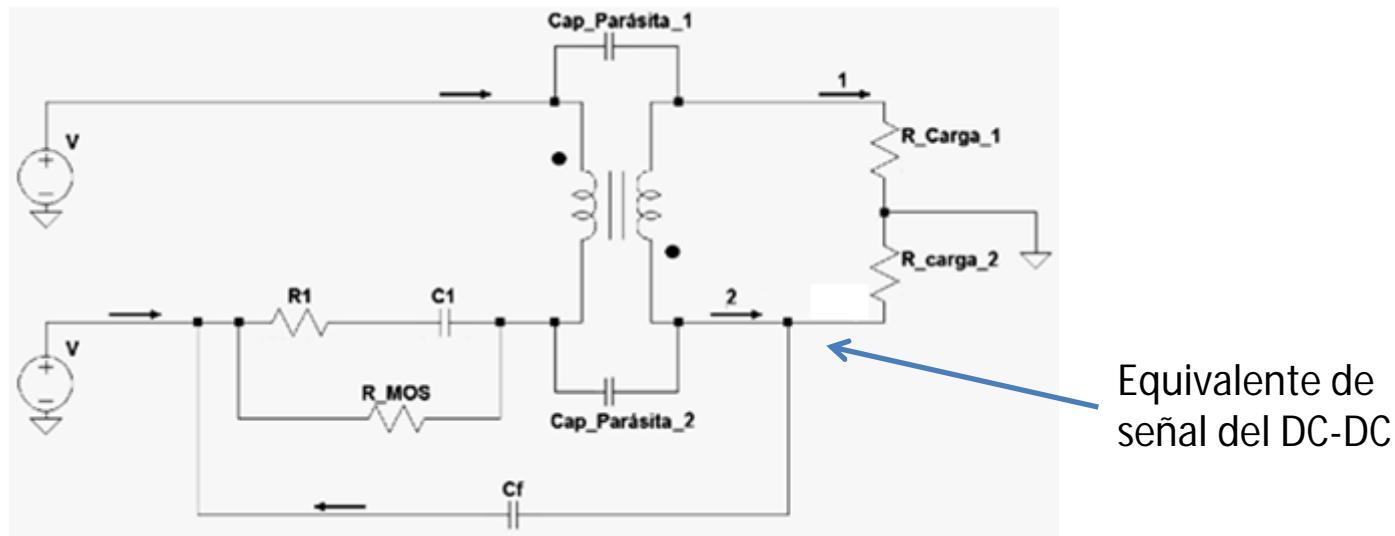
Si la distribución no es uniforme (separación irregular entre devanados), habrá corrientes de MD debidas a señales de MC.

¿Qué aspectos hay que considerar para disminuir los niveles de EMI conducidas?



¿Qué aspectos hay que considerar para disminuir los niveles de EMI conducidas?

¿Cómo producir un equilibrio entre ambas ramas del transformador?



El C_f muestrea tensión del secundario e inyecta corriente al primario.

Si $I_2 > I_1 \Rightarrow$ se inyecta corriente al primario a través de $C_f \Rightarrow \downarrow V$ en el terminal homólogo del primario $\Rightarrow \downarrow V$ en el terminal homólogo del secundario $\Rightarrow \downarrow I_2$.

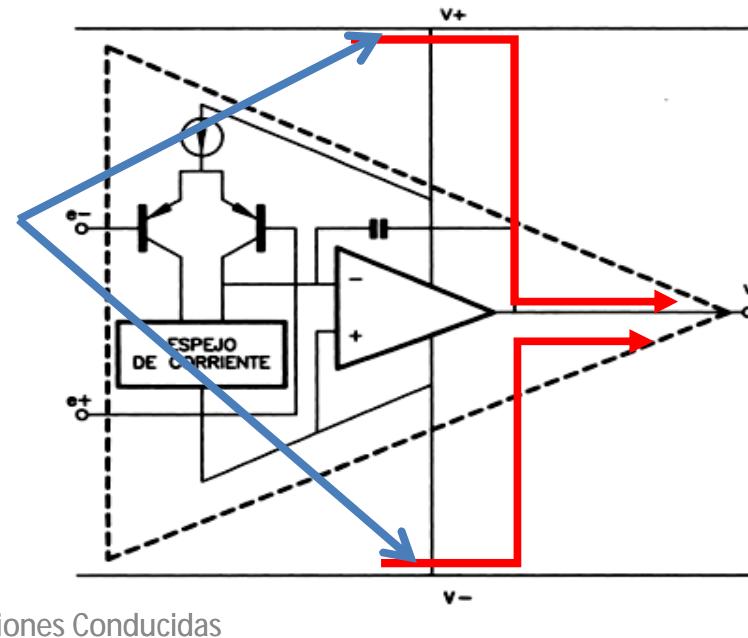
¿Y en un circuito integrado?

El comportamiento es similar en CI analógicos o digitales, pero con diferente nivel de susceptibilidad.

Las señales espurias no tienen por qué ser de una potencia elevada que destruya al CI. Con niveles bajos el sistema podría no comportarse correctamente.

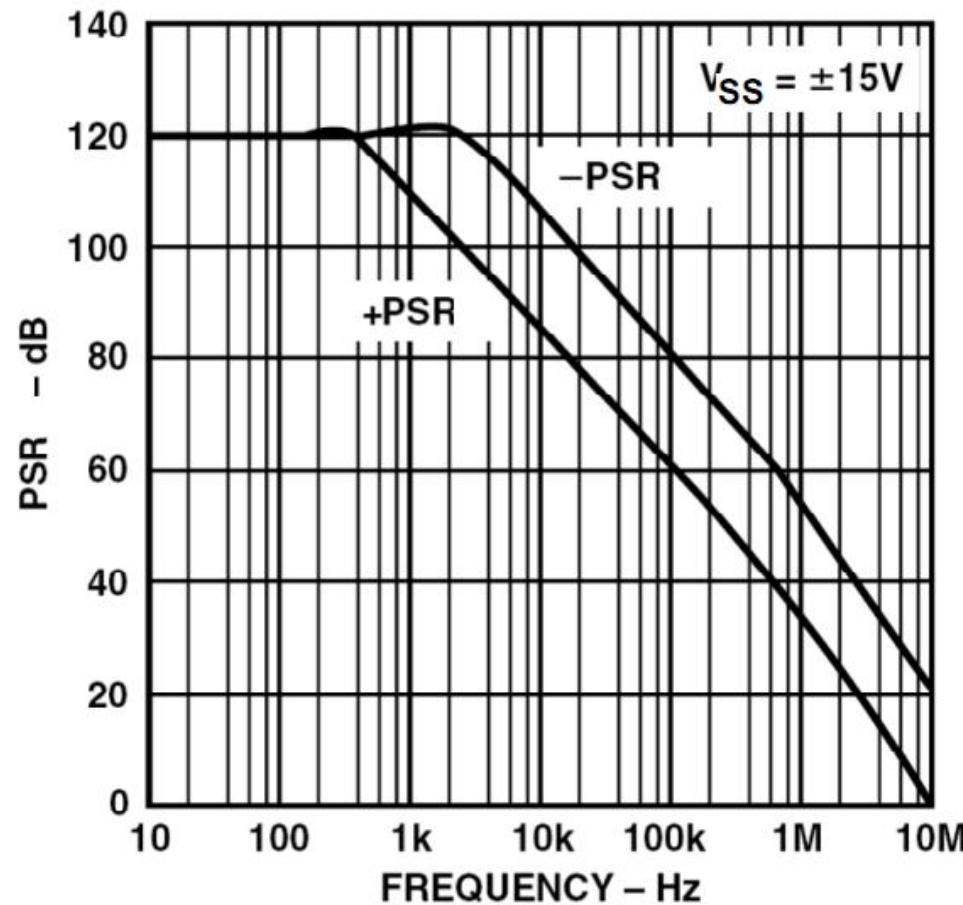
Por ejemplo, interferencias de 50Hz en circuitos de baja potencia.

Ejemplo 1 - Parámetro de un OPAMP que caracteriza la inmunidad a interferencias:
PSRR (Power Supply Rejection Ratio) = $\Delta V_{ss} / \Delta V_o$ [dB]
Por ej. PSRR = 90dB



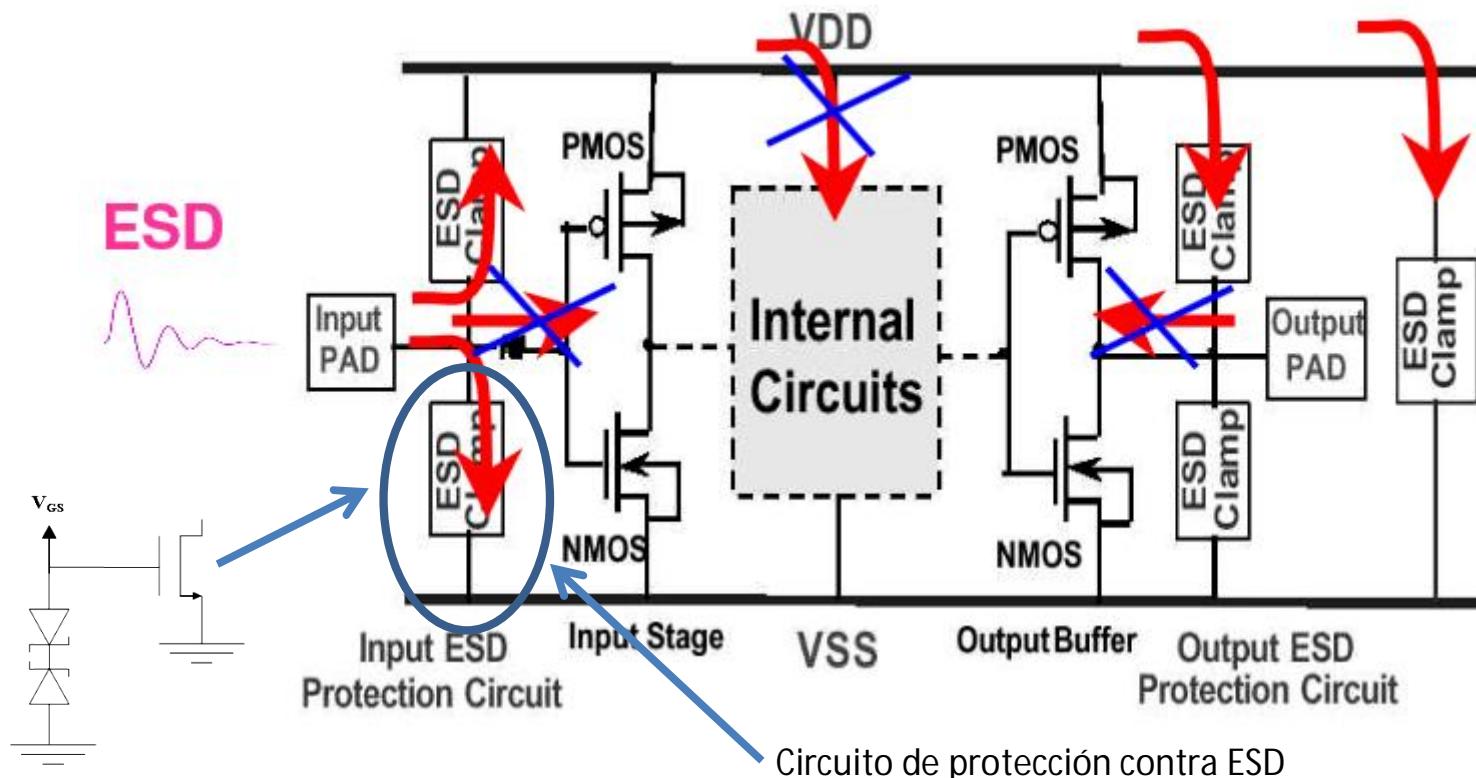
¿Y en un circuito integrado?

Como la CMRR (Ad/Ac), el PSRR = f (frecuencia). Y difiere para + o - Vss.



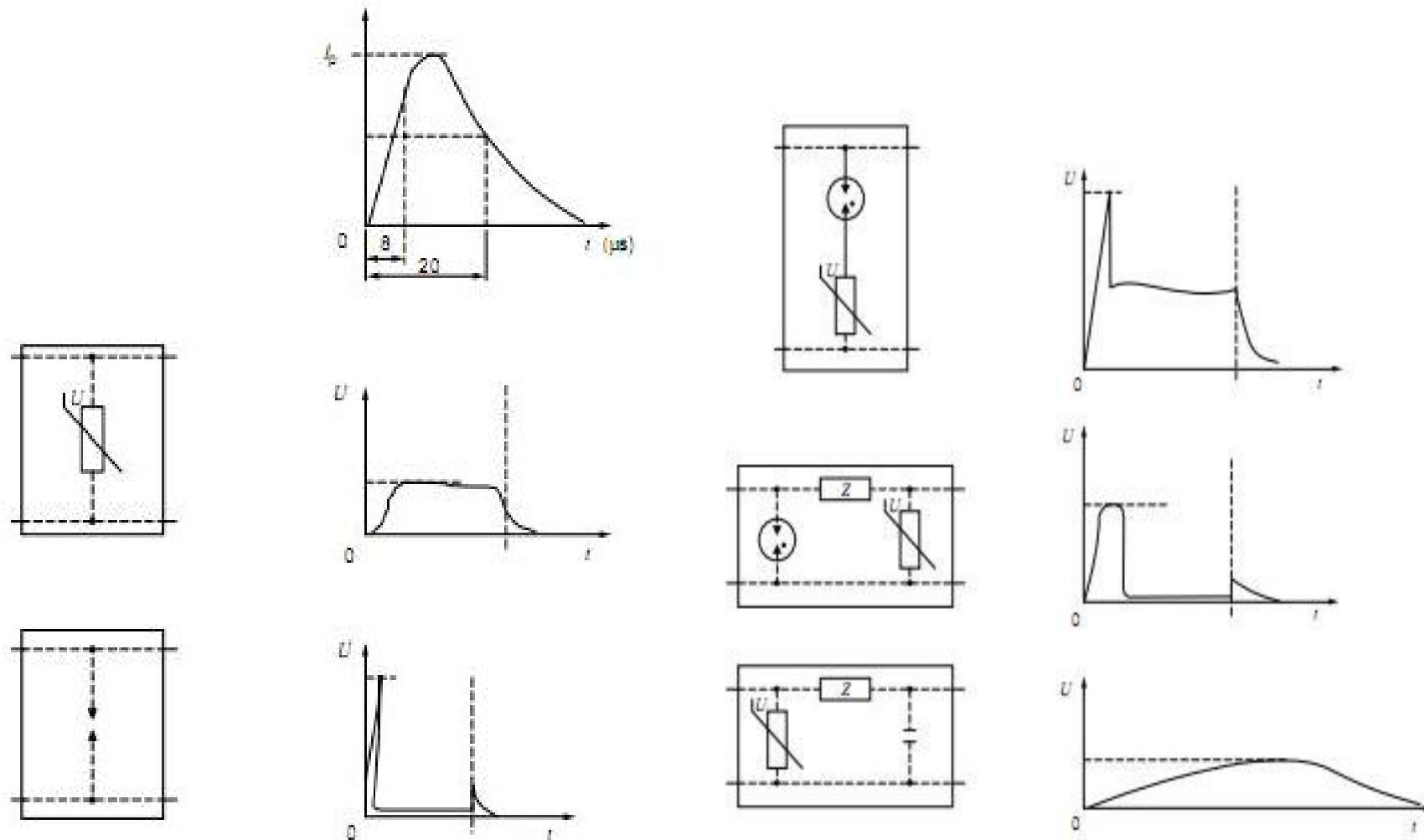
¿Y en un circuito integrado?

Ejemplo 2 - Parámetro de un CI que caracteriza la inmunidad a descargas electrostáticas: ESD Capability [V].
Por ej. ESD = 5000 V



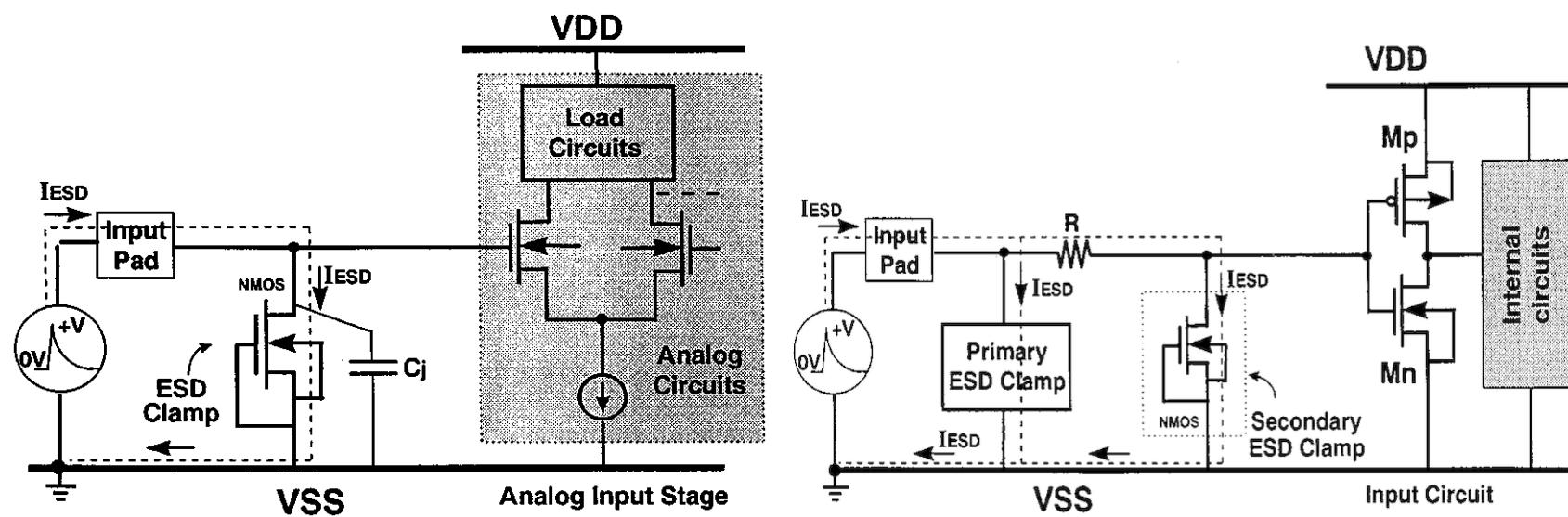
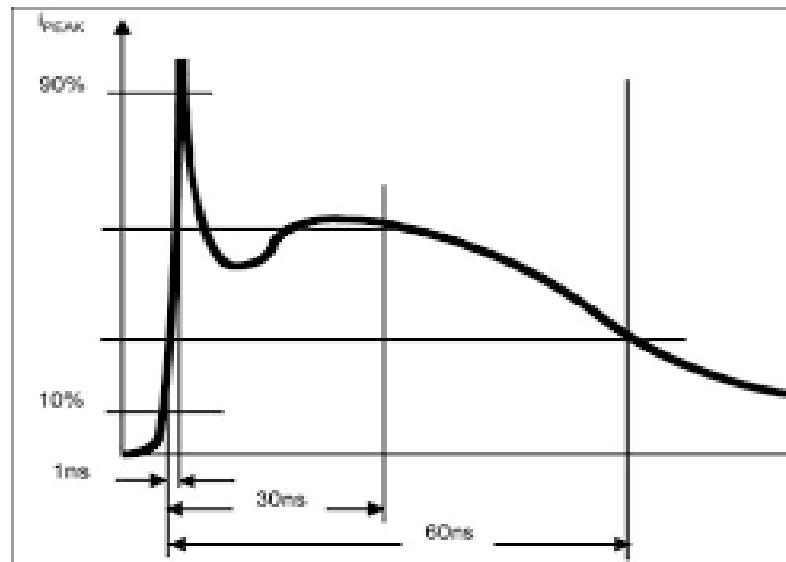
Ejemplos de dispositivos de protección (DPS)

(IEC 61643)



Ejemplos de dispositivos de protección (DPS) para ESD

(IEC 61000)

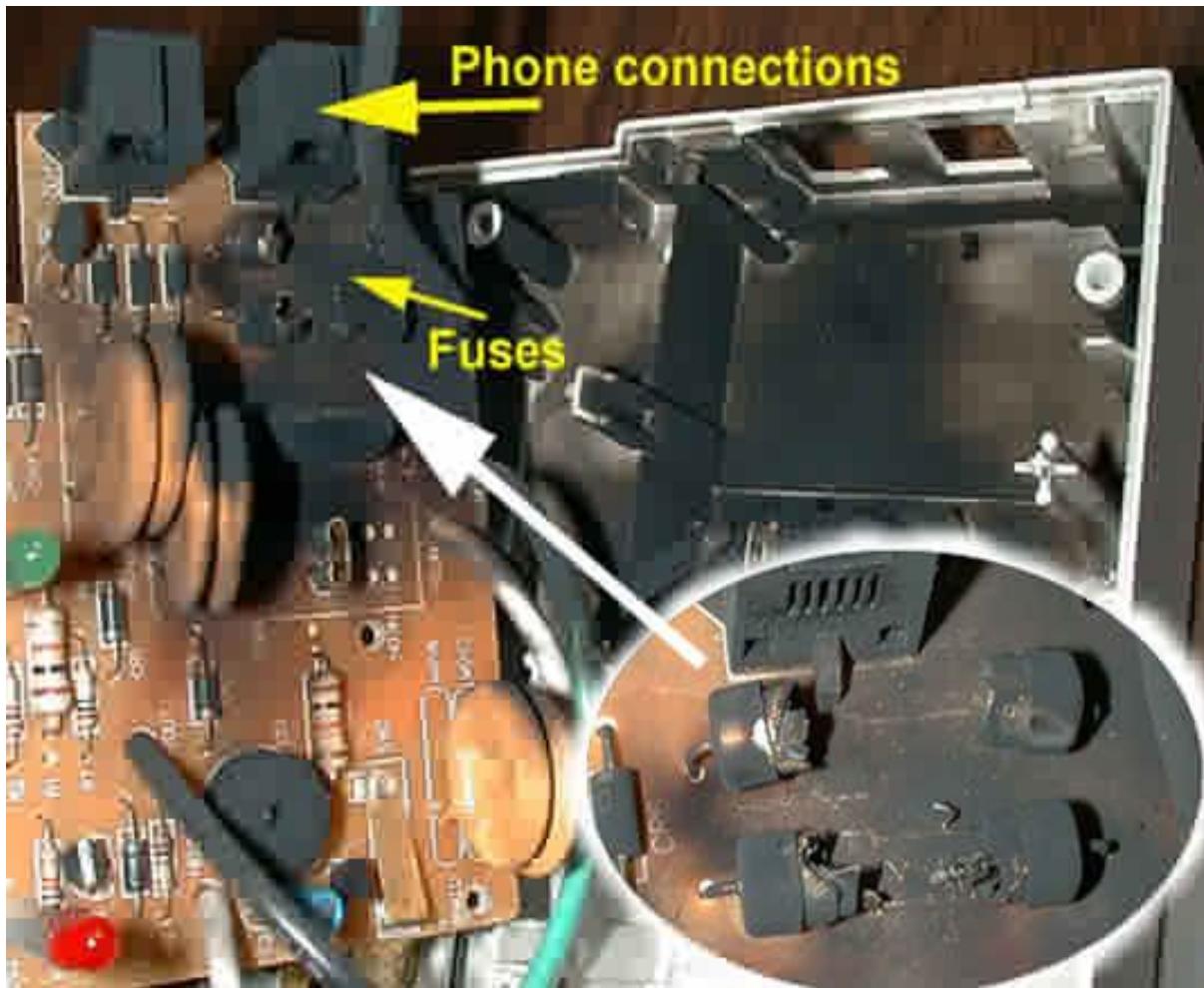


Ejemplos de daños por EMI impulsivas de alta energía

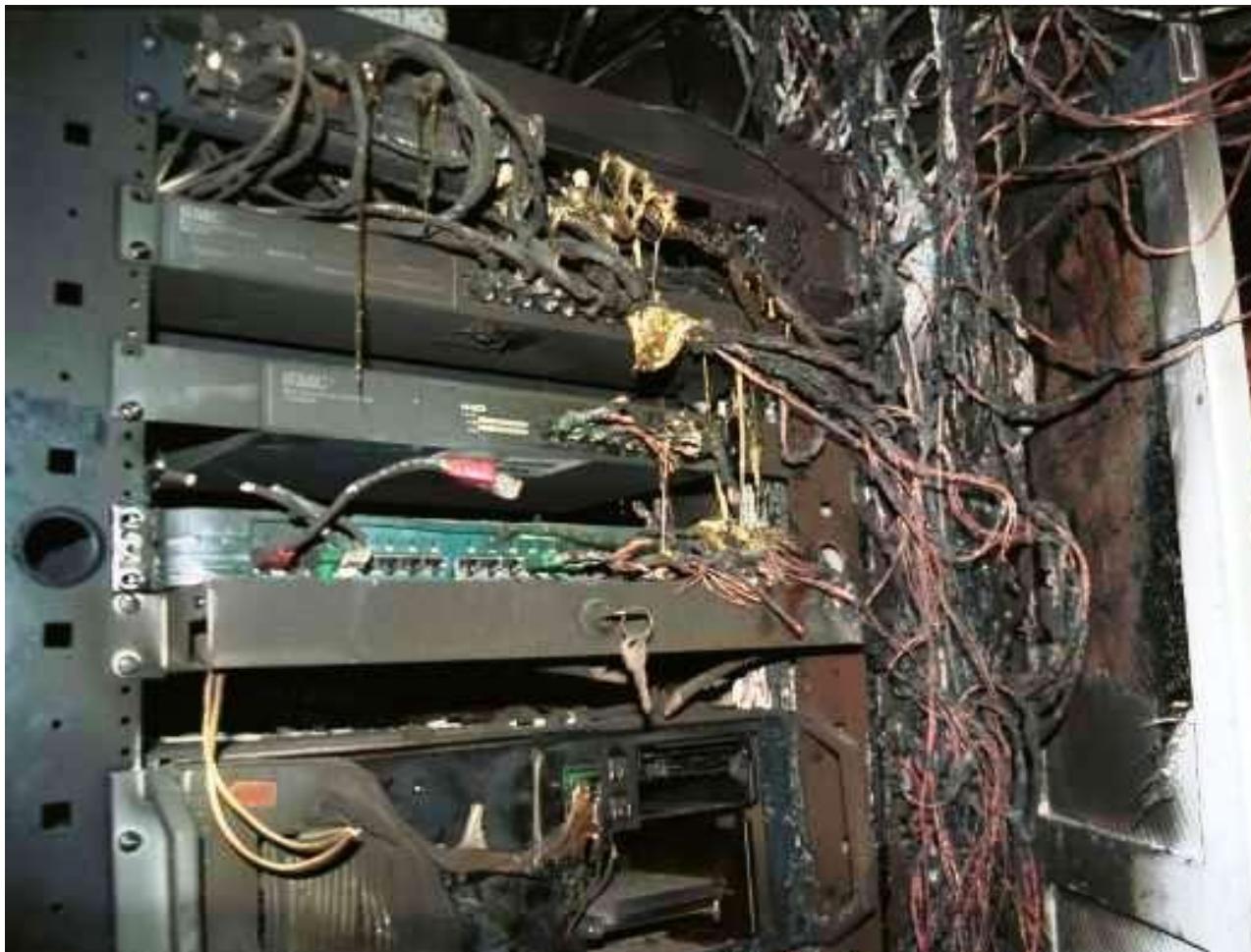


¿Por qué no limitó este protector (GDT)?

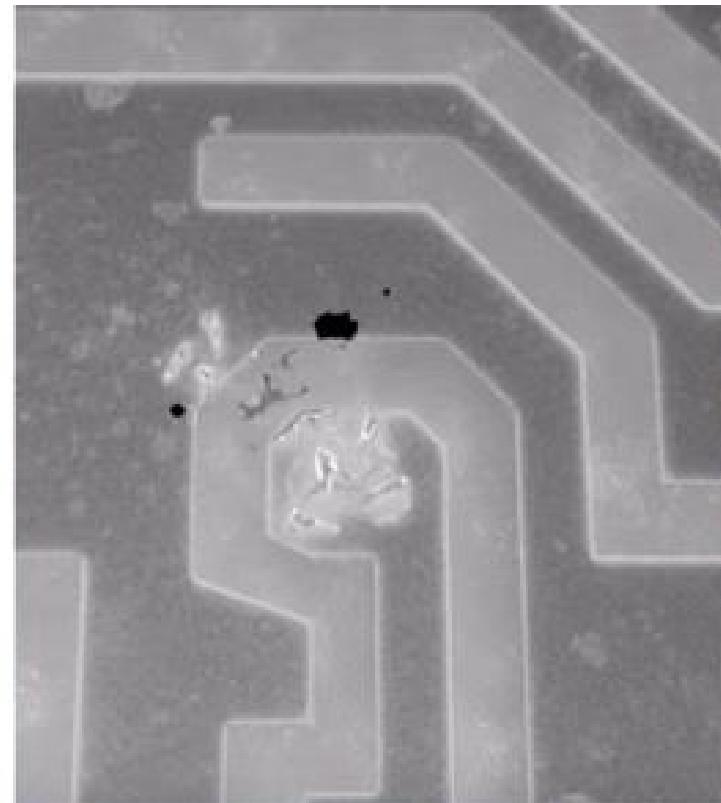
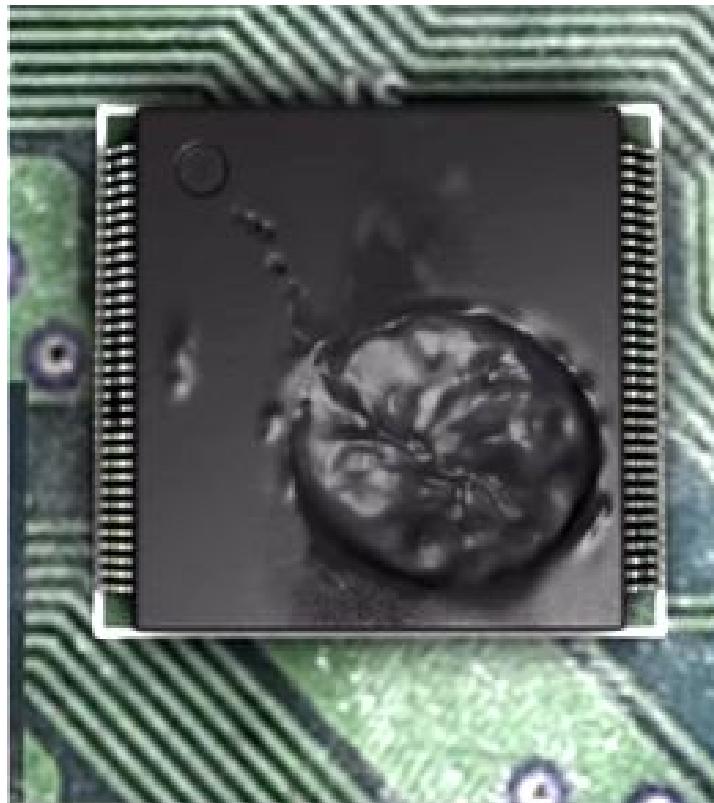
Ejemplos de daños por EMI impulsivas de alta energía



Ejemplos de daños por EMI impulsivas de alta energía



Ejemplos de daños por EMI impulsivas de ¿baja? energía



Resumen 1^{era} parte

EMI

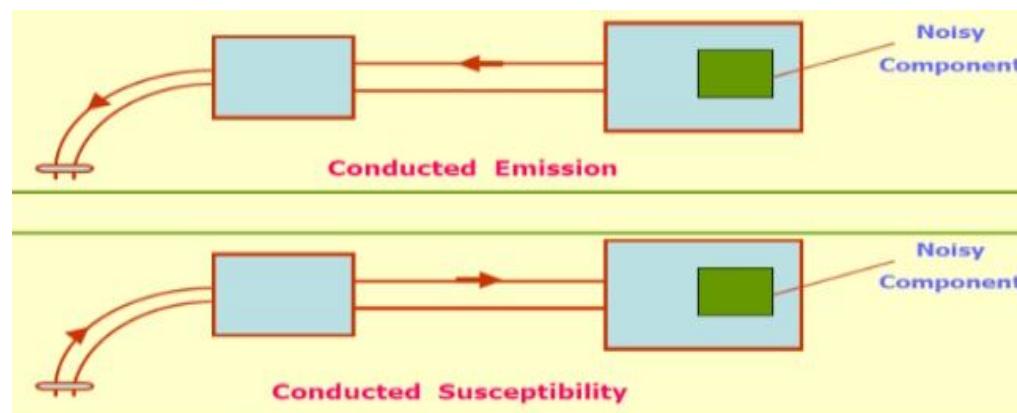


Existe **interferencia** si hay energía indeseada transferida **que causa** en el receptor un mal funcionamiento.

EMS

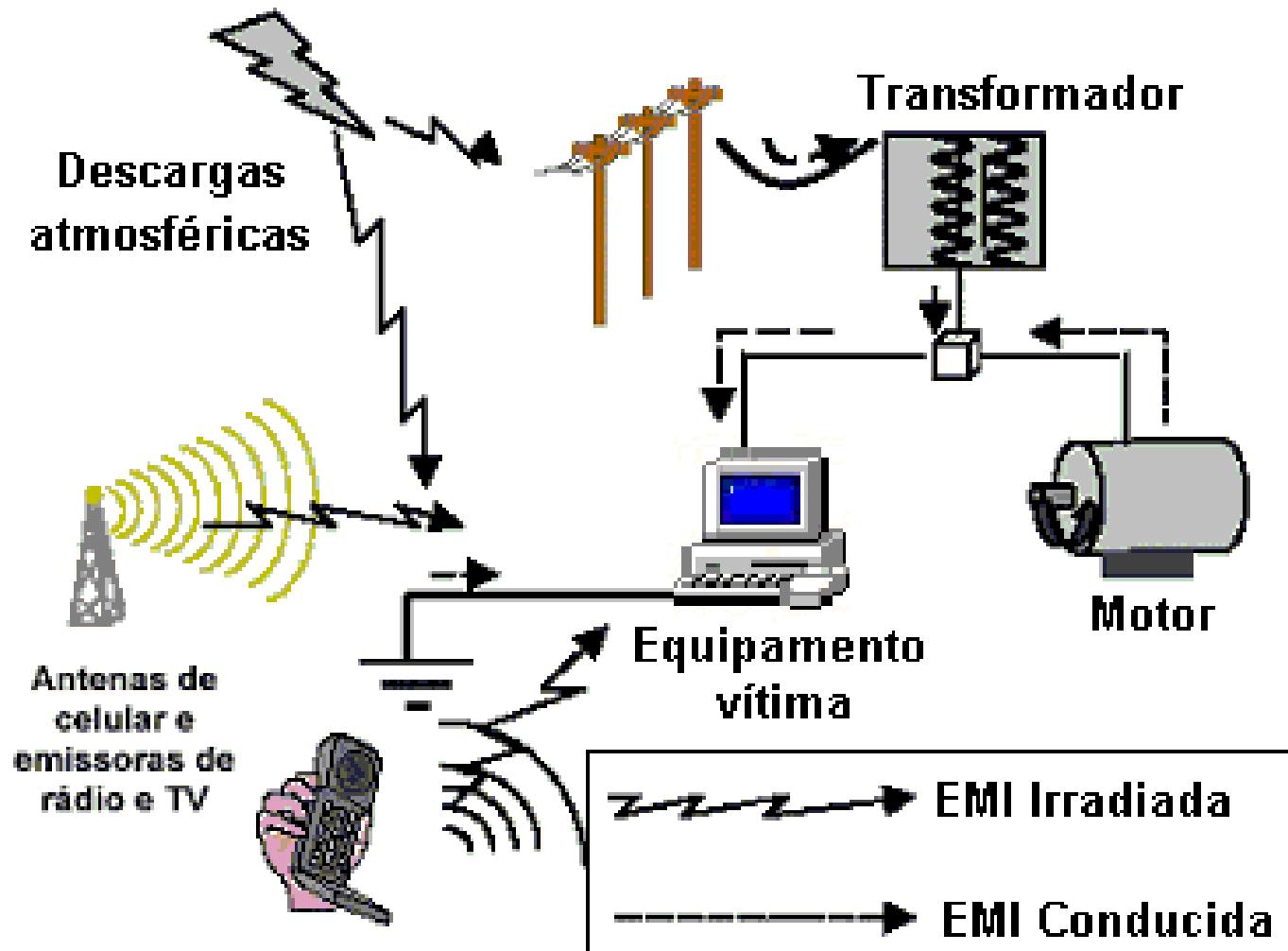
Habilidad de un aparato de funcionar correctamente dentro del entorno EM

Máscara de EMI: fija los niveles máximos aceptables a nivel del receptor



Emissiones Conducidas

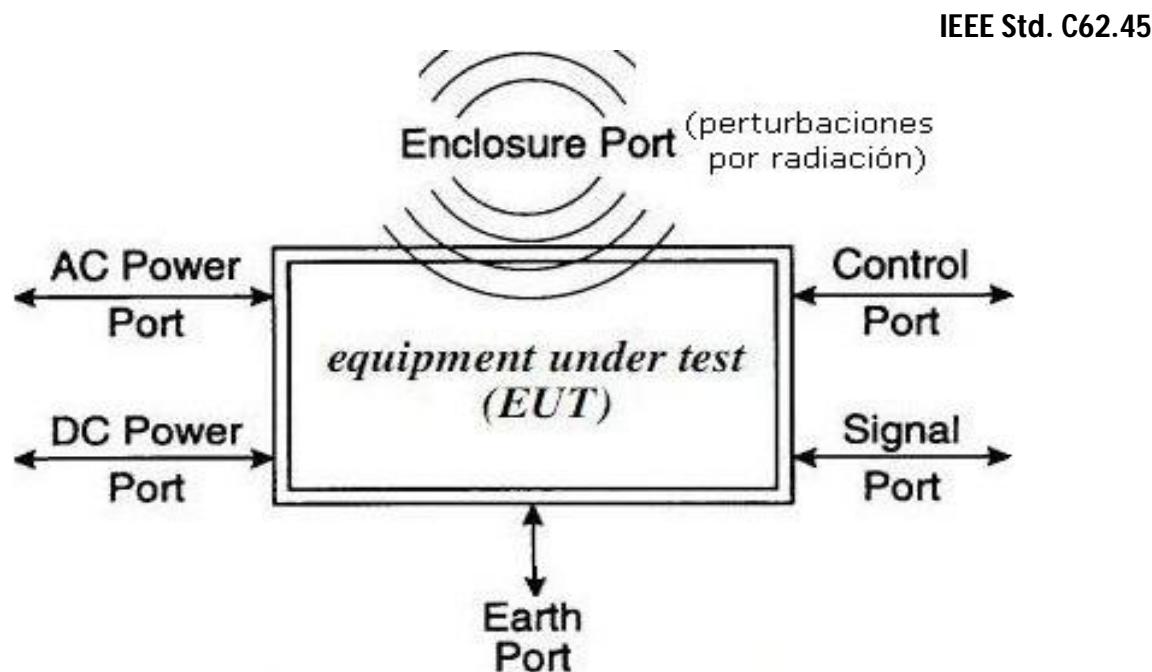
fuentes de EMI



Emissiones Conductidas

EMC

Los dispositivos y equipos electrónicos deben cumplir normas que recomiendan los límites de EMI que pueden generar y recibir sin dejar de funcionar correctamente.

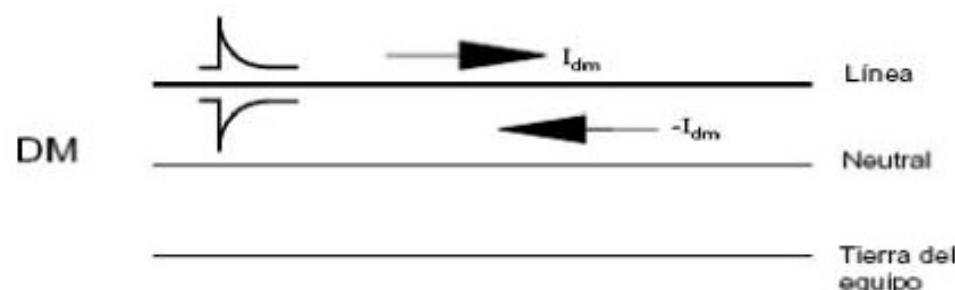


Para reducir EMI

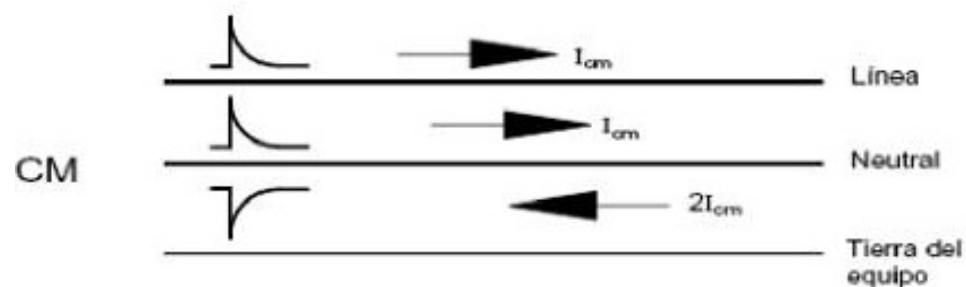
- Suprimir la emisión en la fuente.
- Hacer menos efectivo el canal de transmisión.
- Hacer el receptor menos sensible a las emisiones.

Propagación de las EMI conducidas

Modo diferencial:



Modo común:



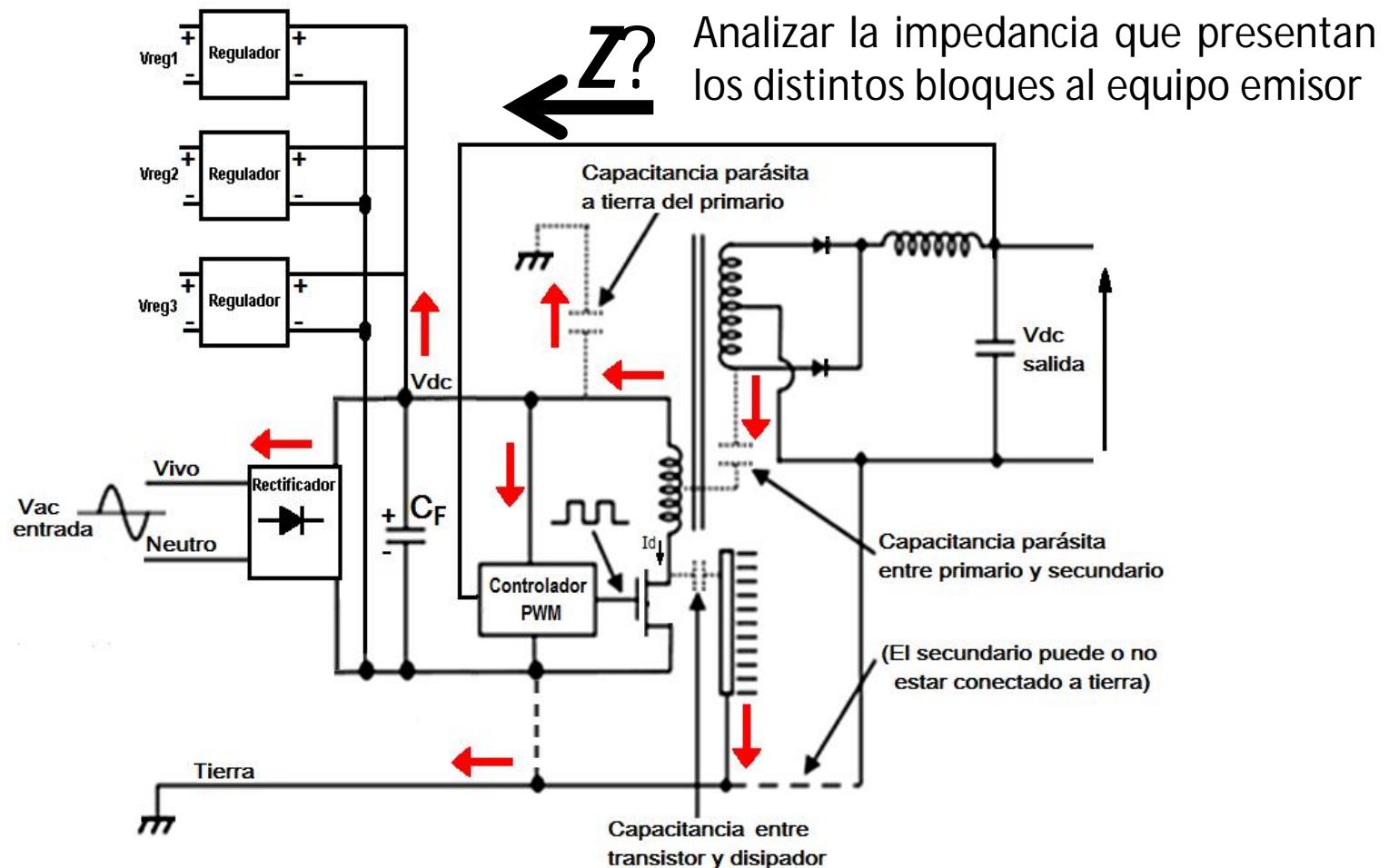
Emisiones Conducidas

Fin 1^{era} parte

Emisiones Conducidas

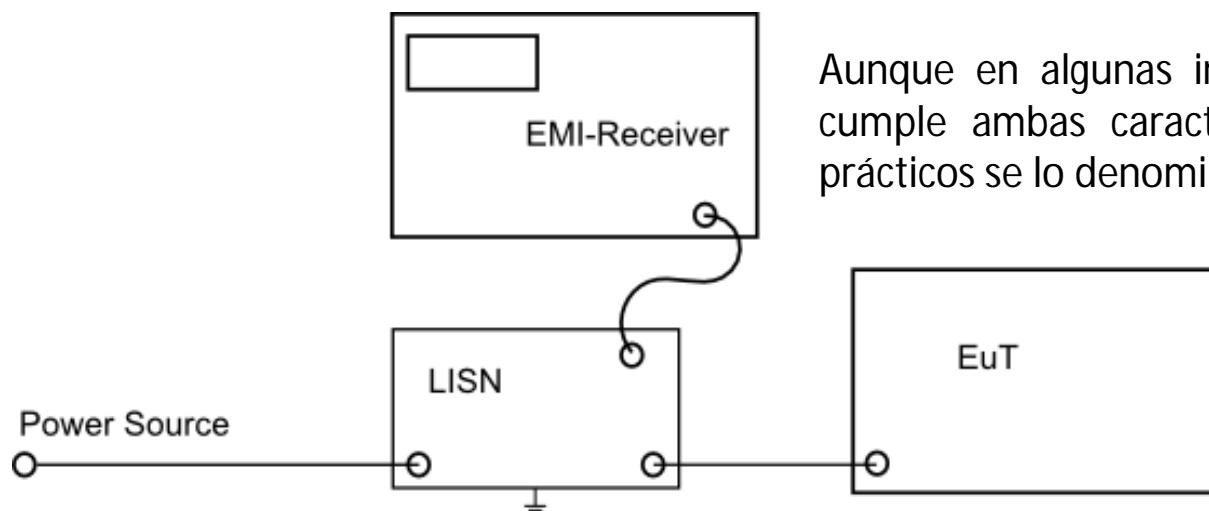
2^{da} parte

¿Cómo se evalúan las EMI conducidas que alcanzan a los distintos bloques receptores?



¿Cómo se evalúan las EMI conducidas que alcanzan a los distintos bloques receptores?

- Estimación de la impedancia que presenta cada bloque que compone al sistema para distintas condiciones de funcionamiento .
- Síntesis de estos valores de **Z** en un circuito equivalente o LISN (Line Impedance Stabilization Network), que se utilizará para medir las EMI conducidas con el sistema **no operativo**.
- La LISN debería poseer $Z = \text{cte.}$ con la frecuencia y aislar al EUT.

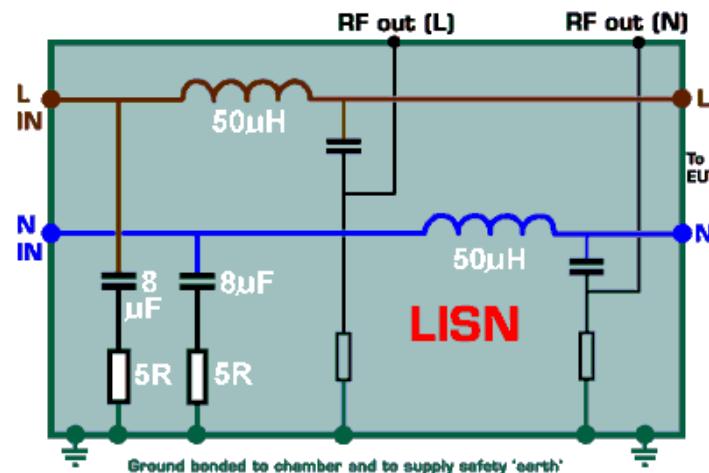


Aunque en algunas implementaciones no cumple ambas características, a los fines prácticos se lo denomina igualmente LISN.

¿Por qué es conveniente armar una LISN?

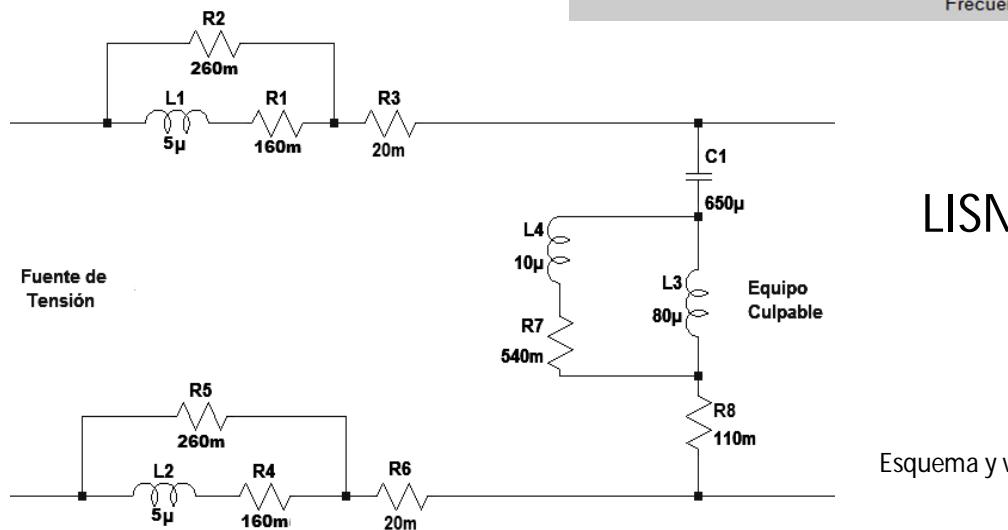
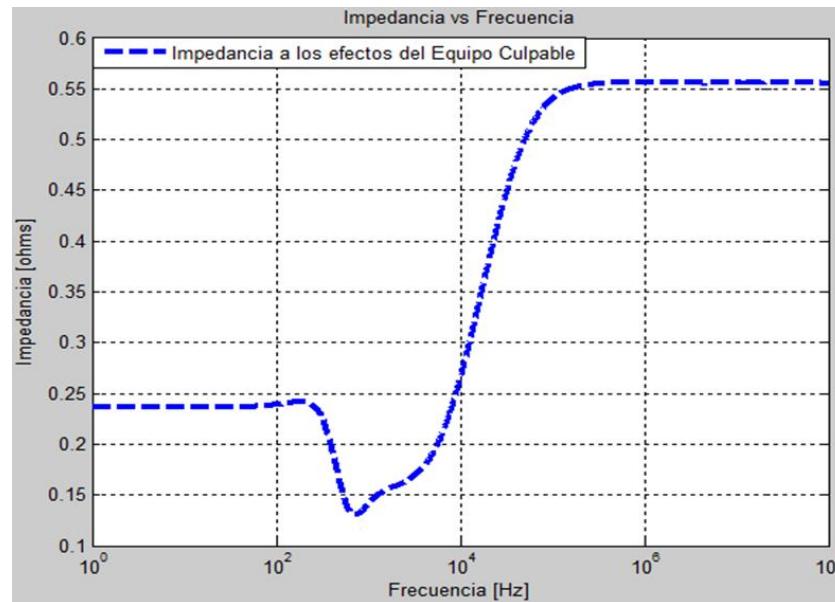
- Porque en sistemas complejos, la EMC es una característica a tener en cuenta en el proceso de diseño del equipo.
- Porque existen sistemas en los cuales no resulta posible evaluar las EMI en operación sin riesgo: aviones, satélites, etc.
- En estos casos se realiza una evaluación “en tierra”.

Ejemplo: esquema de LISN



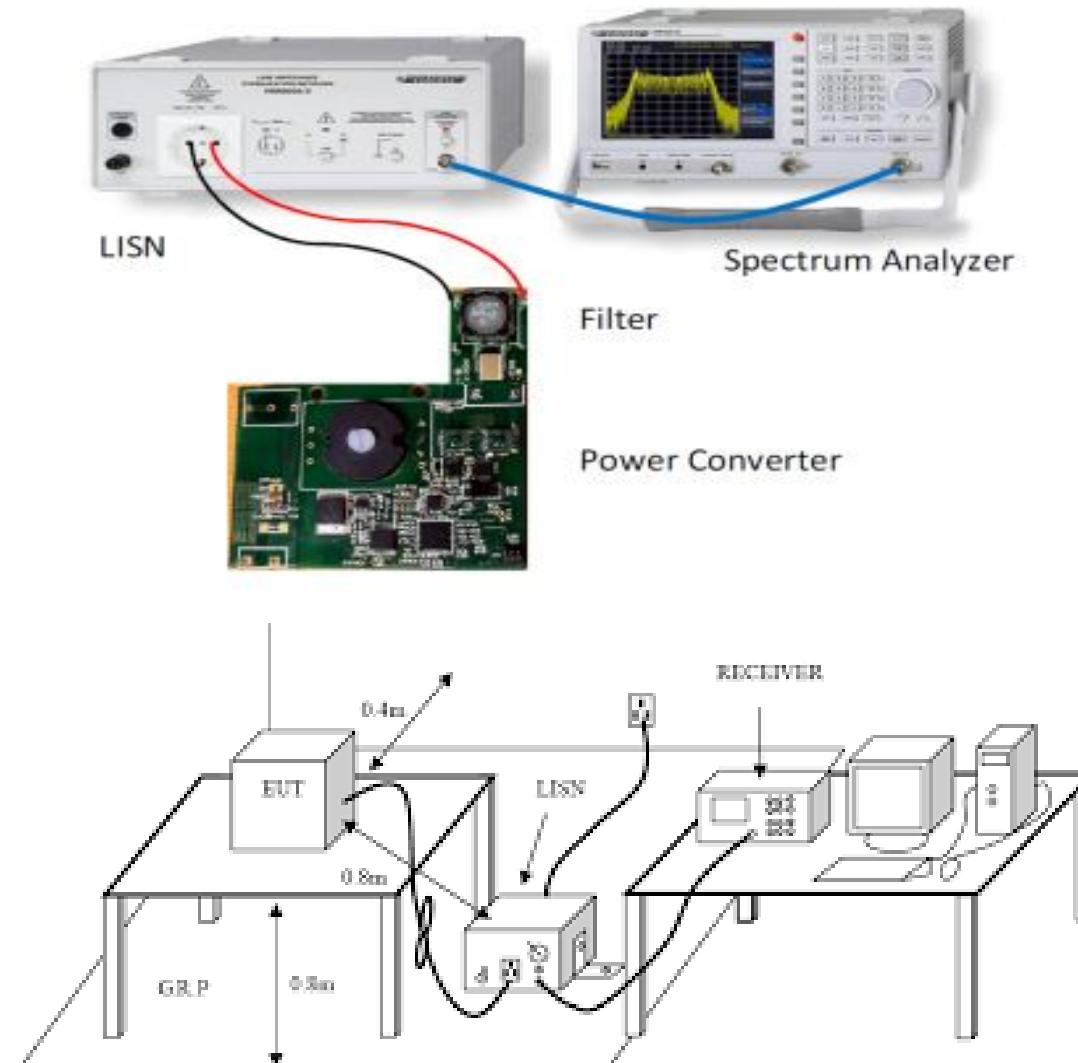
Síntesis de la LISN:

Z estimada



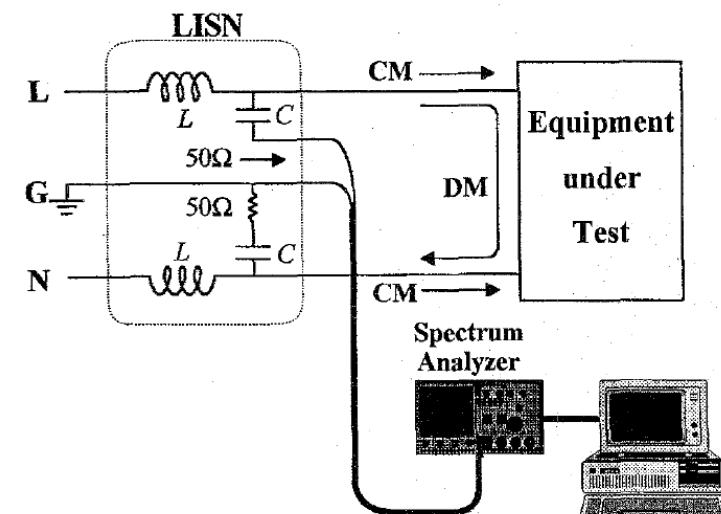
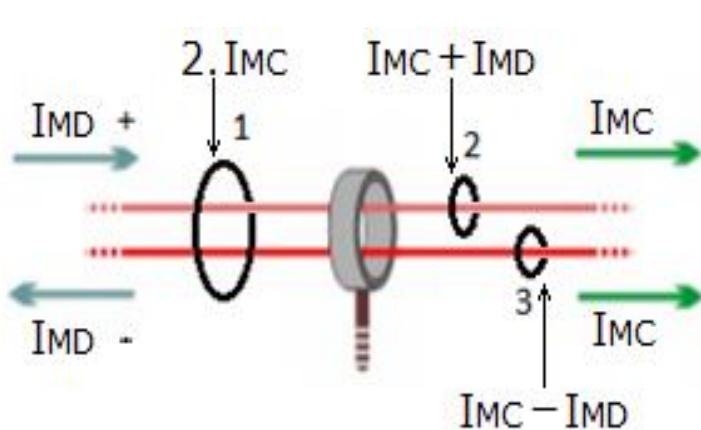
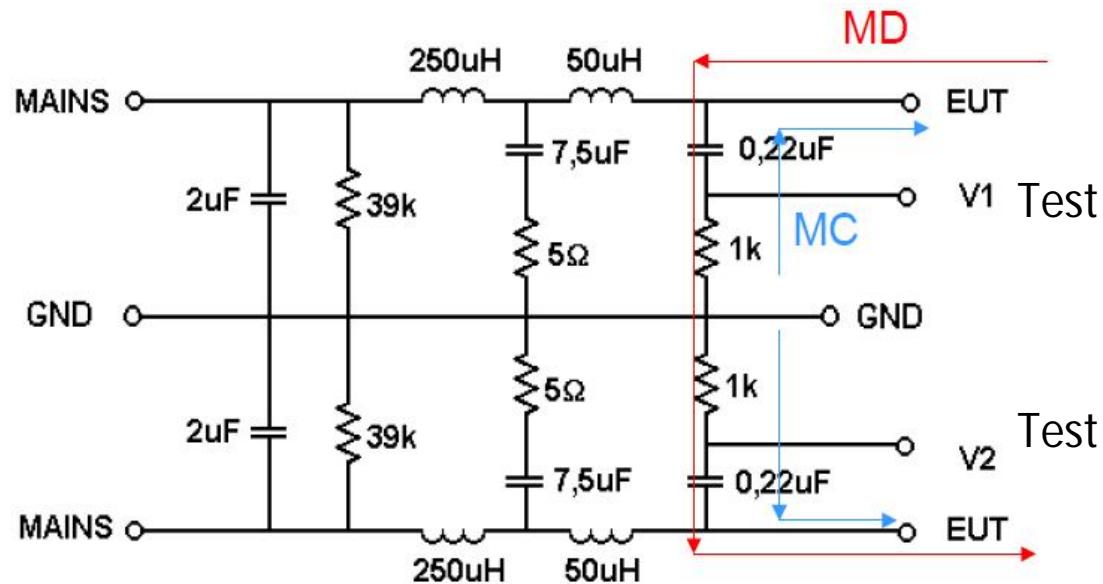
Emissiones Conductidas

Medición con LISN:



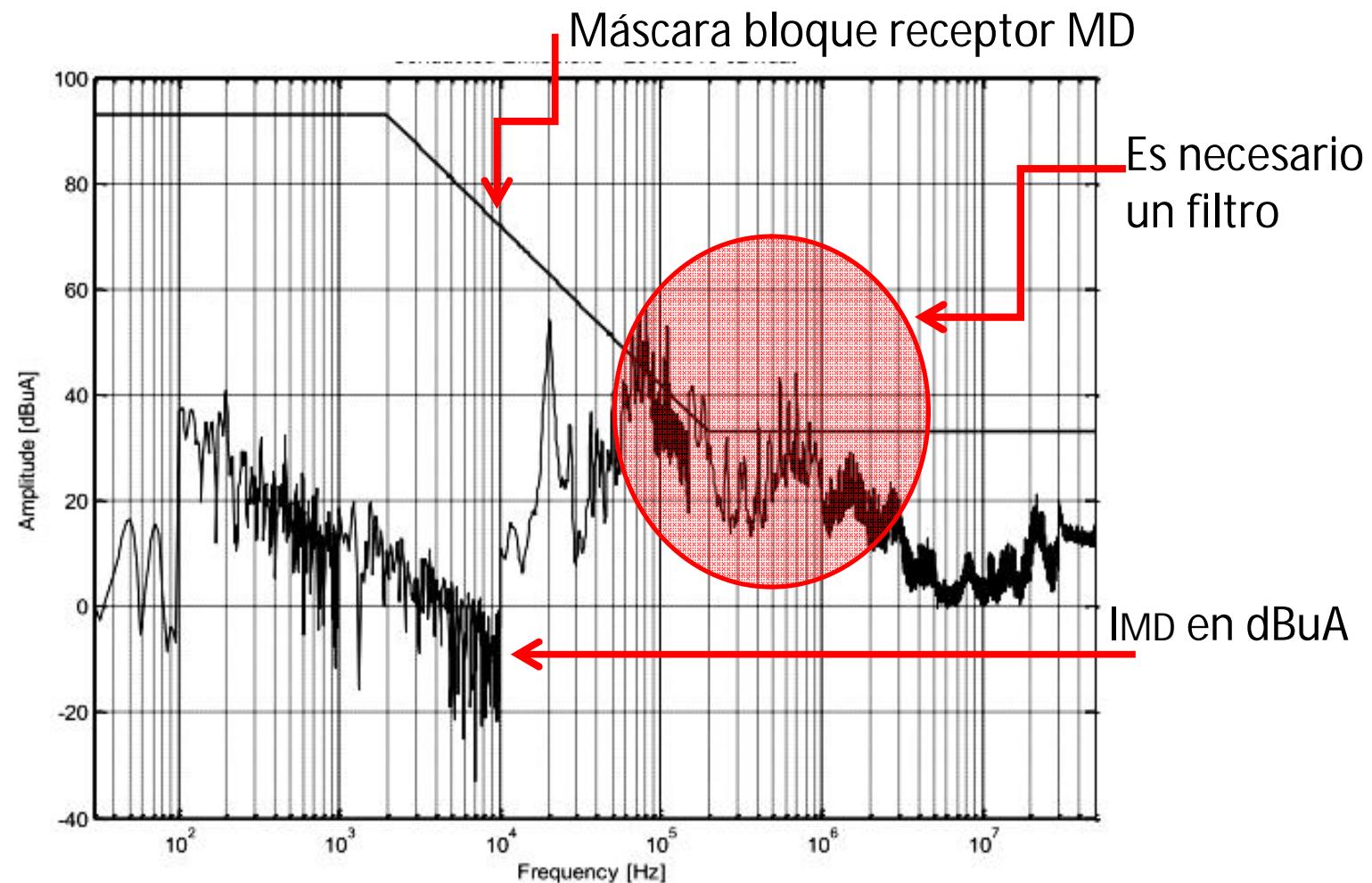
Emissiones Conductidas

Medición con LISN:

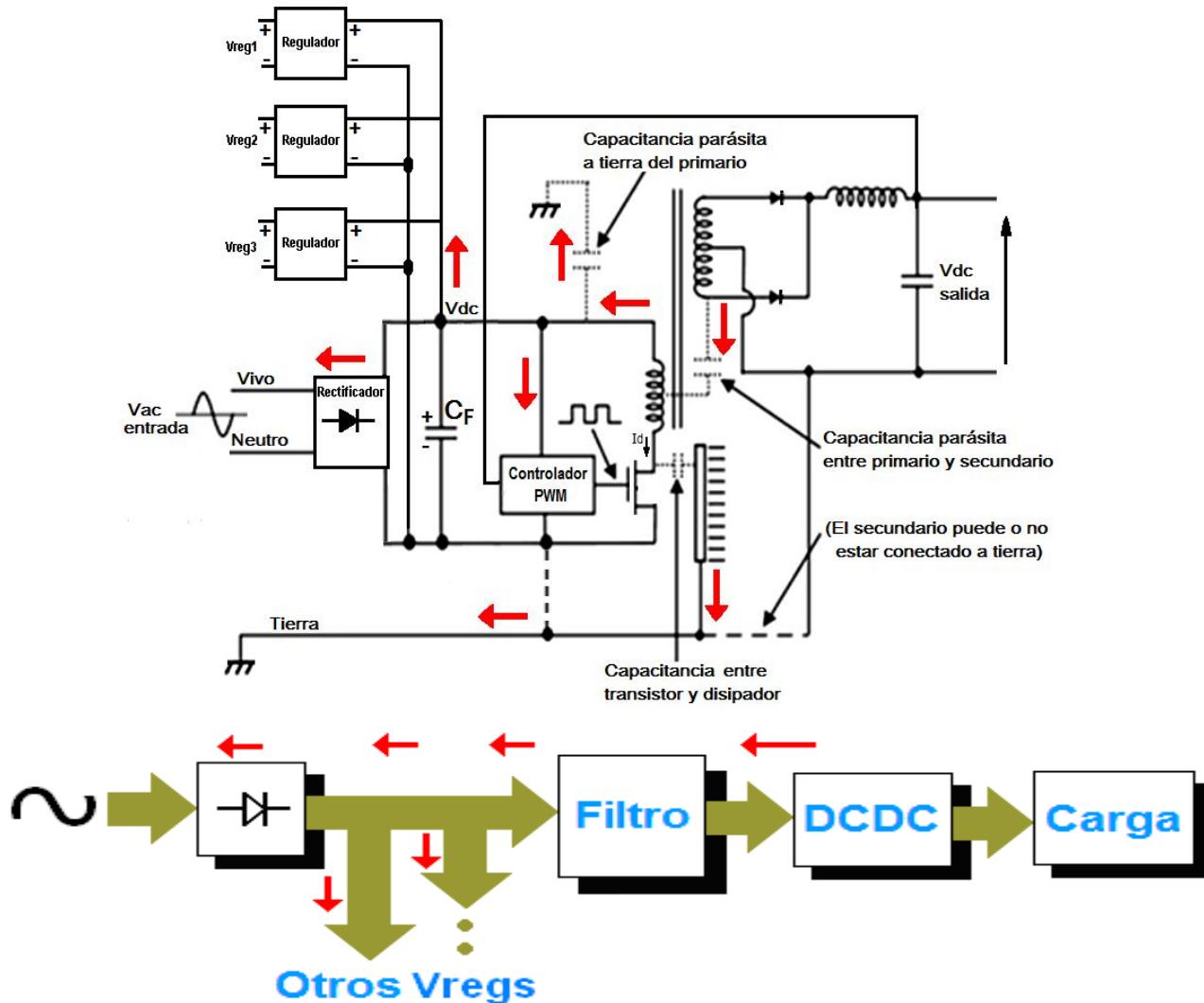


Emissiones Conductidas

Medición con LISN:



¿Dónde se debería ubicar el filtro?



Emissiones Conductidas

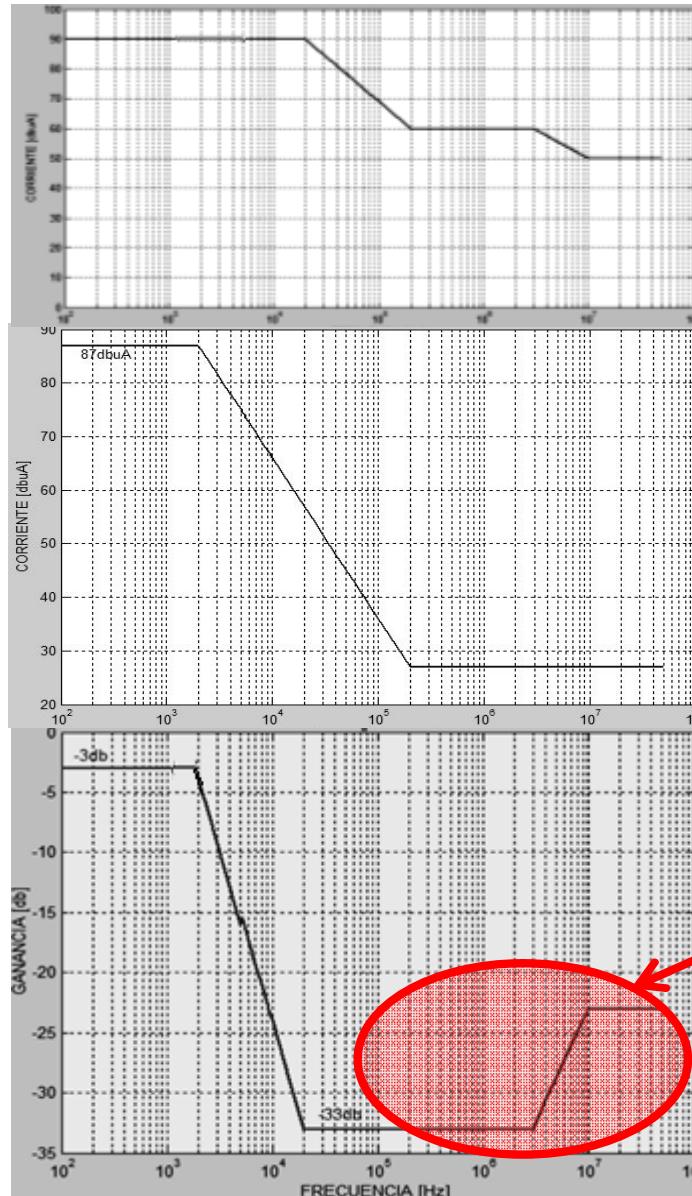
¿Cuáles son los pasos para el diseño del filtro?

Datos a tener en cuenta:

- La máscara de EMI conducidas proveniente del bloque emisor.
(niveles máximos emitidos para cada frecuencia, en MD y MC).
- La máscara de EMI conducidas que se desea tener a la entrada de los bloques receptores.
(niveles máximos deseados que no afecten al bloque receptor, en MD y MC).
- Una vez obtenido el filtro, se debe hallar **una nueva LISN** para volver a medir el nivel de EMI conducidas con el filtro conectado.

Ejemplo:

Admitimos igual
máscara para MD y MC



máscara a nivel emisor
(en d μ A ó d μ V)

máscara a nivel receptor
(en d μ A ó d μ V)

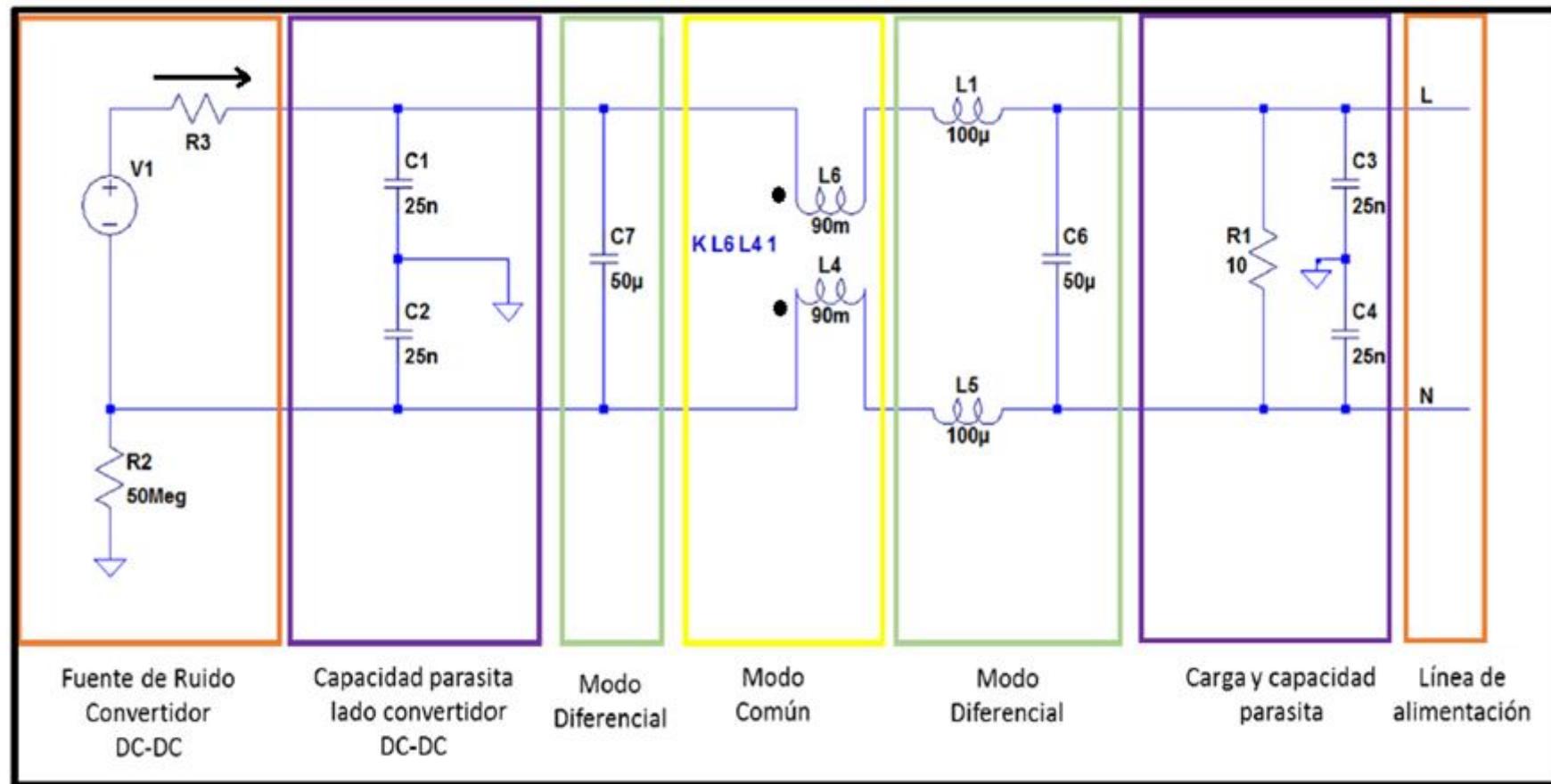
Se descarta esta forma

respuesta del filtro

$$Att(db) = I_o(db\mu A) - I_{in}(db\mu A)$$

$$\text{ó } Att(db) = V_o(db\mu V) - V_{in}(db\mu V)$$

Ejemplo: Filtro diseñado

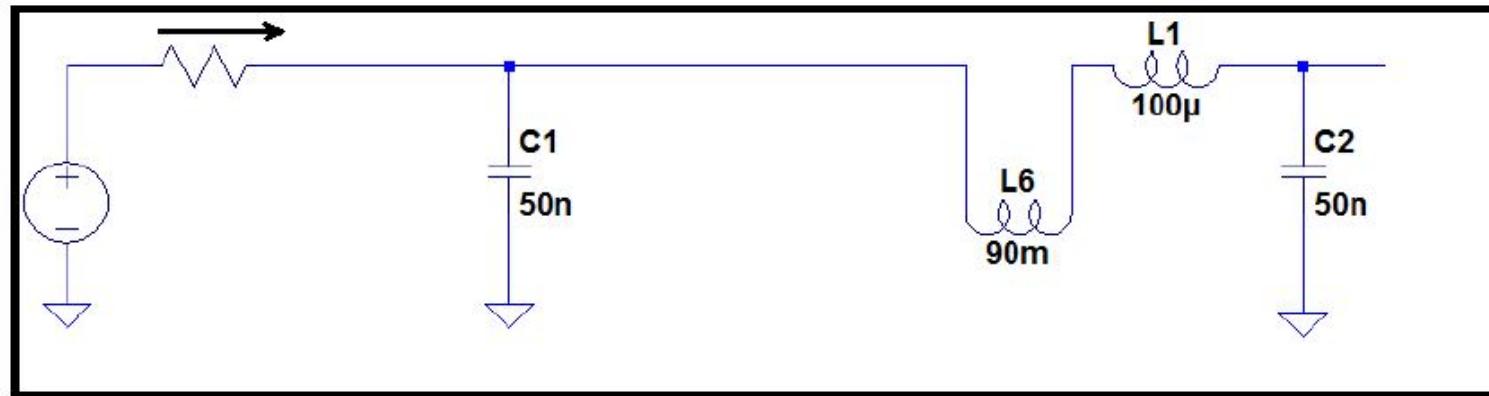


Esquema y valores solo de referencia.

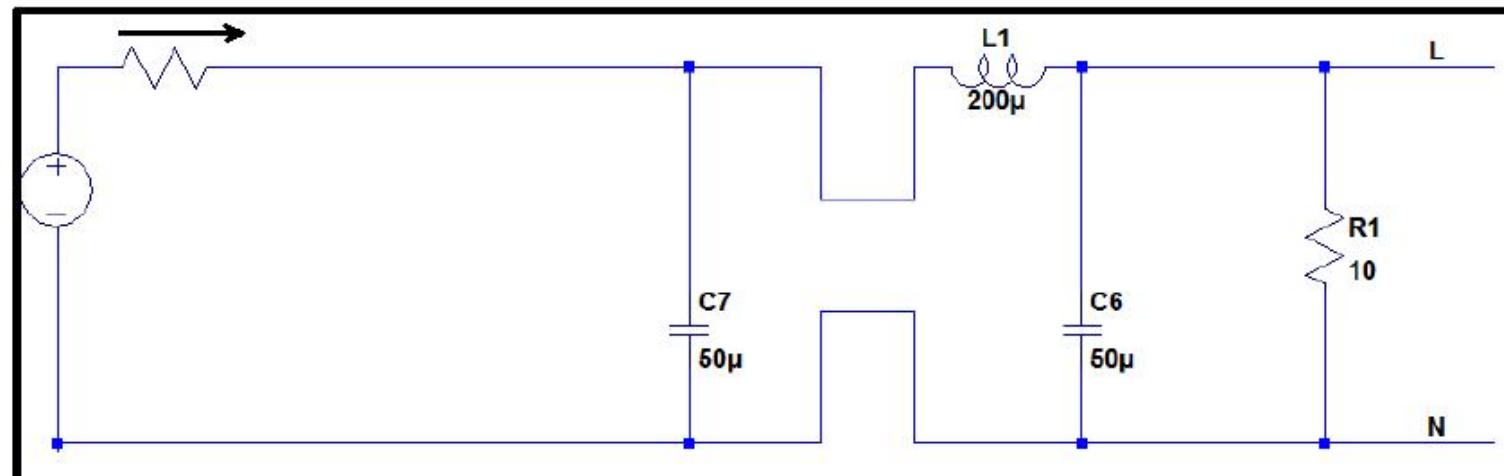
Evitar el agregado de R serie, para reducir la disipación y pérdidas por inserción en bajas frecuencias al circular las señales útiles por los conductores (ya existen pérdidas por efectos parásitos de L y C).

Ejemplo de filtro: (comportamiento para MC y MD)

modo común:

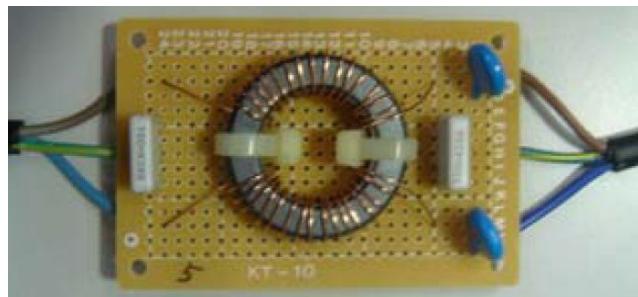
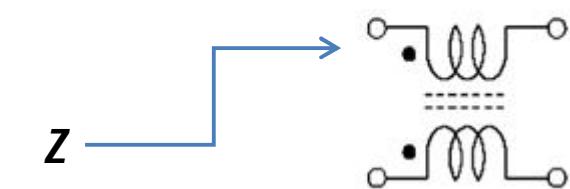
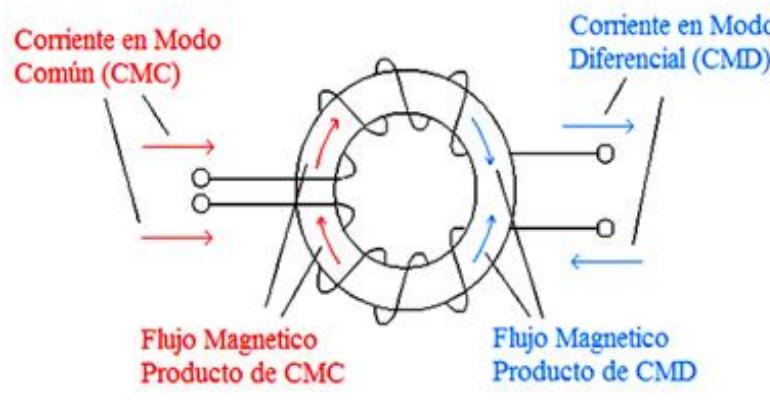


modo diferencial:



Esquema y valores solo de referencia.

Ejemplo de filtro: ¿Cómo actúa el bloque MC?



Par de inductores acoplados – choke.

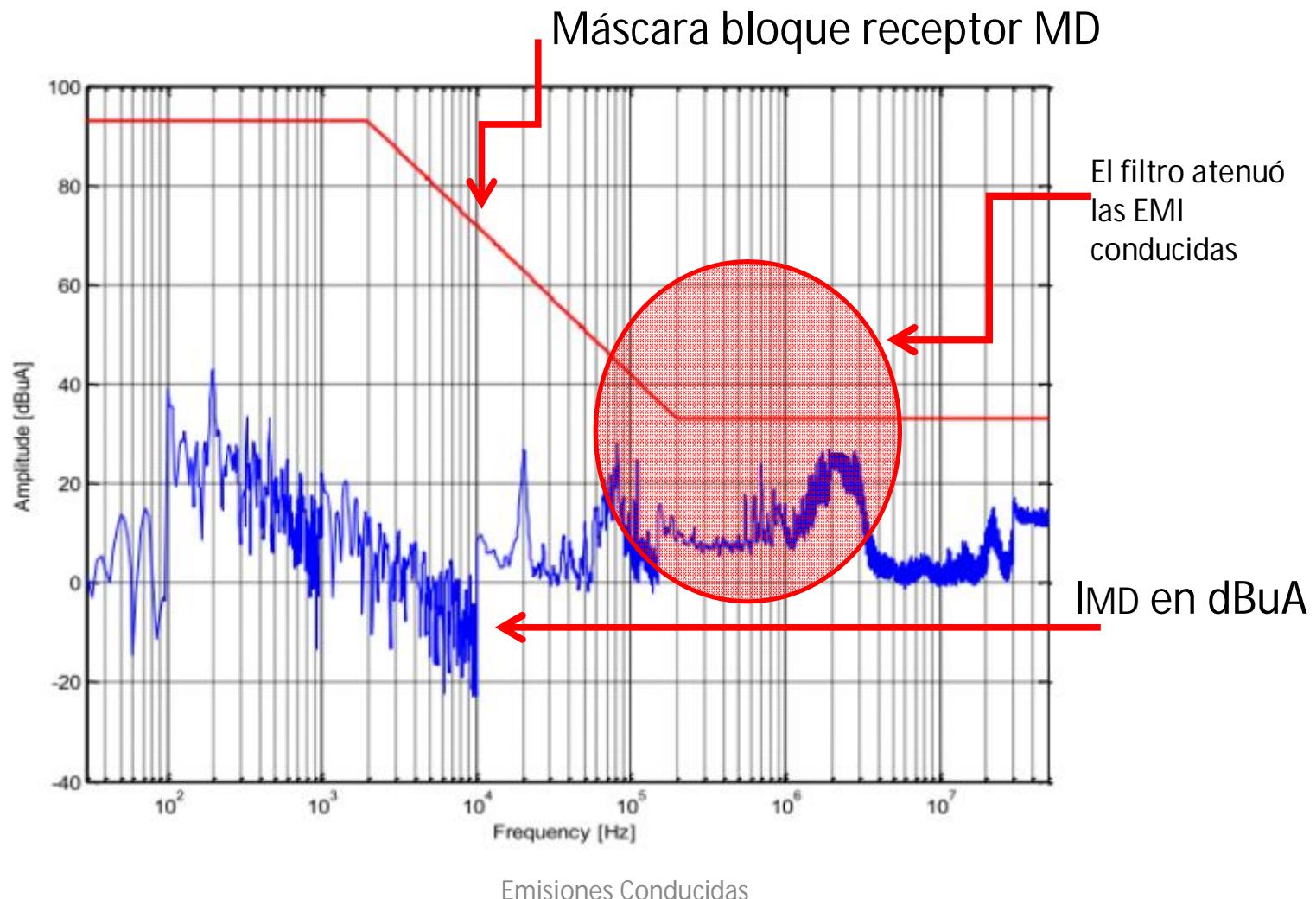
Las corrientes de MC, circulan en el mismo sentido en ambas ramas, produciendo campos magnéticos con la misma orientación.

Suma de flujo magnético $\Rightarrow Z \uparrow\uparrow$ para las corrientes de MC.

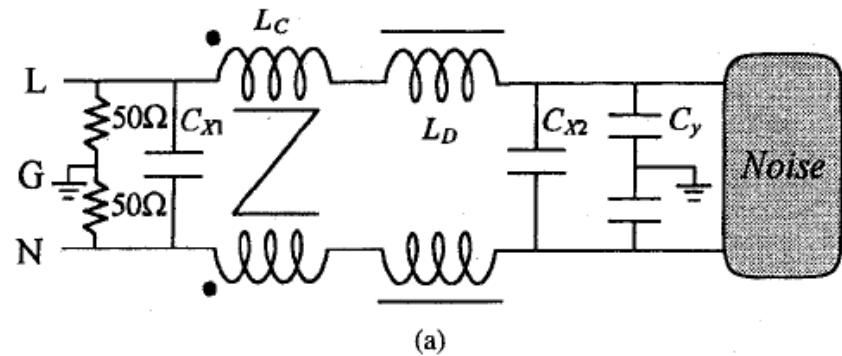
Para las corrientes de MD se restarán los flujos $\Rightarrow Z \downarrow\downarrow \Rightarrow$ no afectará la respuesta para MD.

La f_{corte} para MC se obtendrá teniendo en cuenta las $C_{parásitas}$.

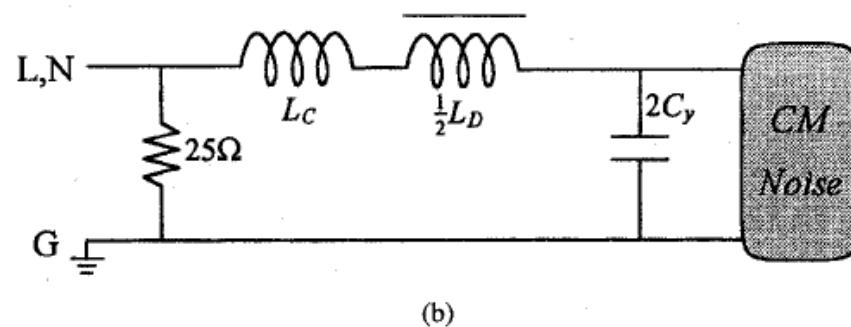
Ejemplo: Resultados de la medición de EMI conducidas con el filtro agregado.



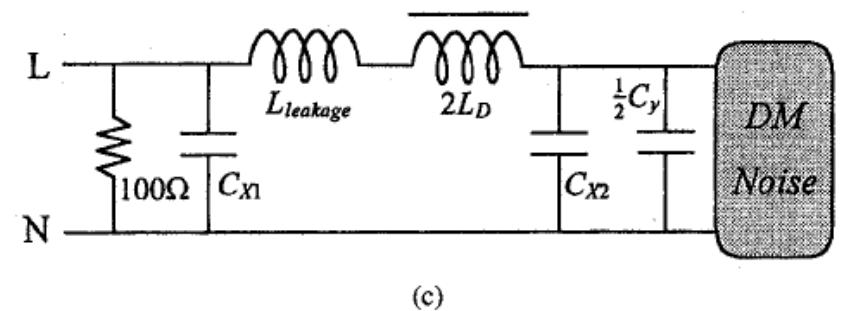
En resumen... (otro ejemplo)



(a)



(b)



(c)

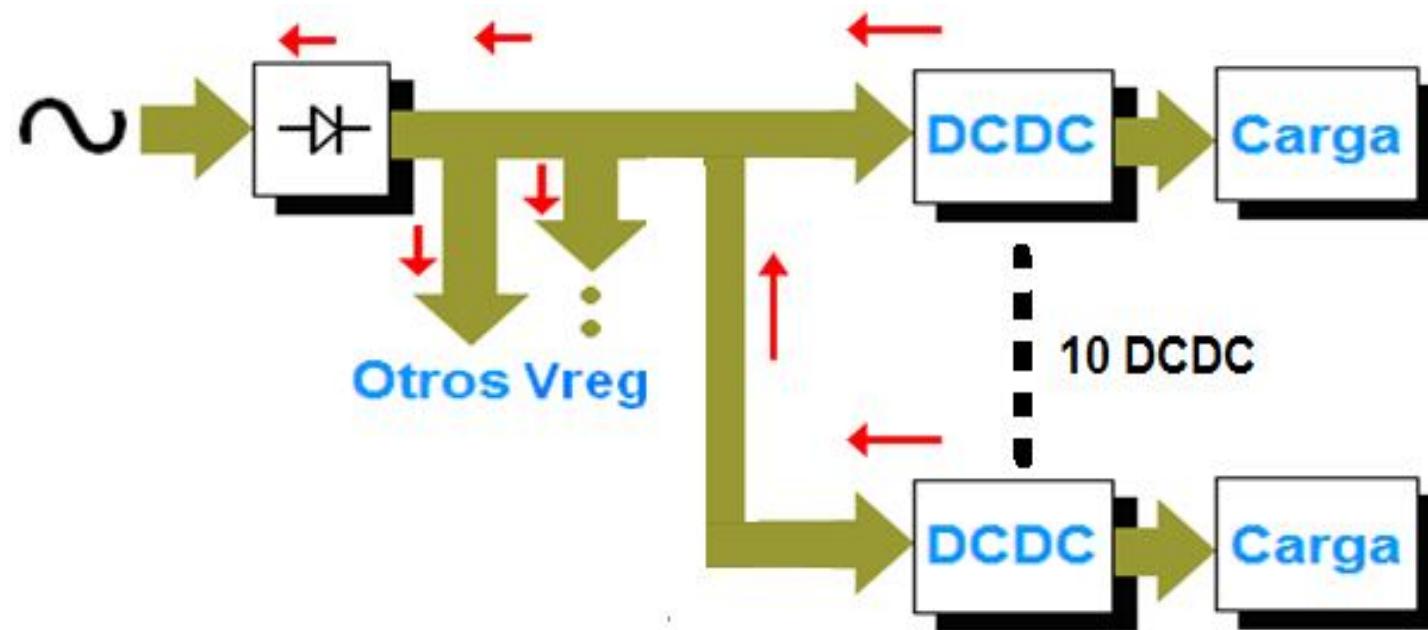
$$L_C \gg L_D$$

Si se busca $C_y \uparrow$ para $L_C \downarrow$, se debe analizar el nivel de aislación eléctrica.

$$L_D \gg L_{leakage}$$

¿Cómo se analizan varias fuentes de EMI conducidas?

Por ejemplo 10 DC-DC alimentados de la misma línea:



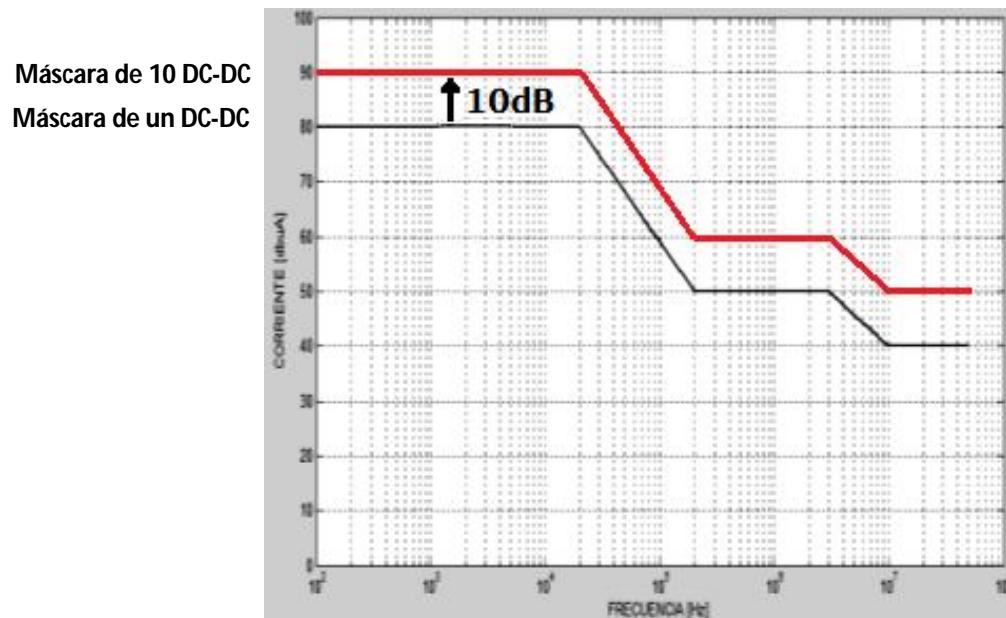
¿Cómo se analizan varias fuentes de EMI conducidas?

La contribución de las EMI conducidas será la suma de valores eficaces.

$$I_{total} = \sqrt{I_1^2 + I_2^2 + \dots + I_{10}^2} = \sqrt{10I_1^2} = \sqrt{10}I_1$$

No se considera la suma aritmética (peor caso) ya que es improbable que las señales estén en fase.

Deberá modificarse la máscara de EMI conducidas proveniente del bloque emisor.



Emisiones Conducidas

¿Cuáles son los pasos para diseñar con EMC?

Para evitar problemas tales como:

- “Teóricamente es correcto y en la simulación anda, pero... **¿?**...”
- “A veces funciona y a veces no.... **¿?**...”

Considerar la EMC desde el diseño reduce el tiempo de desarrollo.

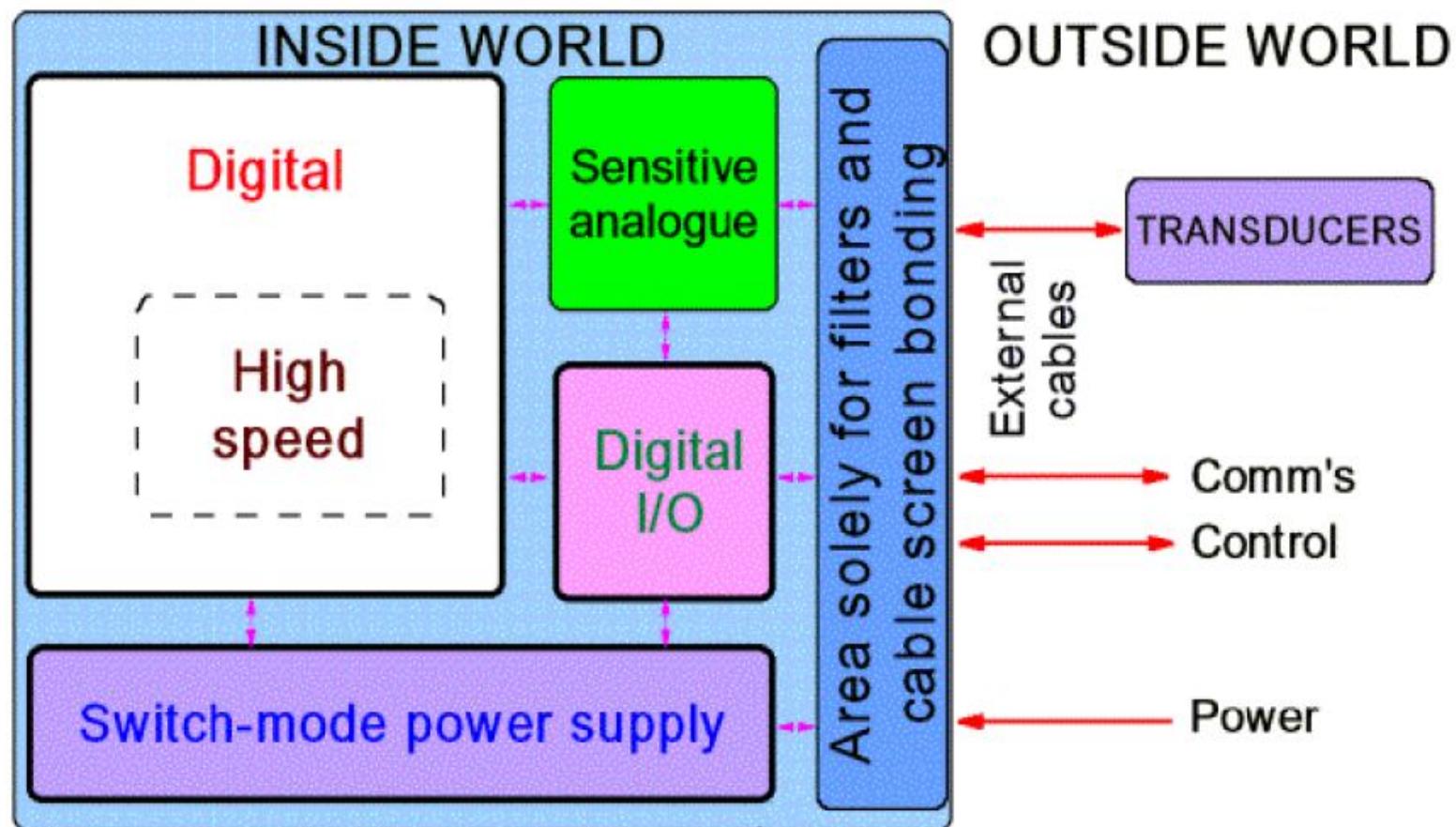
Ejemplo: diseño de un PCB

Paso 1: Distribución de bloques funcionales

- Evitar mezcla de circuitos “ruidosos” con “sensibles”.
- Bloques de potencia (drivers, por ej.) lejos de bloque de baja señal y cerca de conectores de salida.
- Analizar en detalle el bloque de alimentación (componentes, filtros, etc.).
- Analizar la ubicación de bloques de alta frecuencia (reloj, moduladores, etc.).

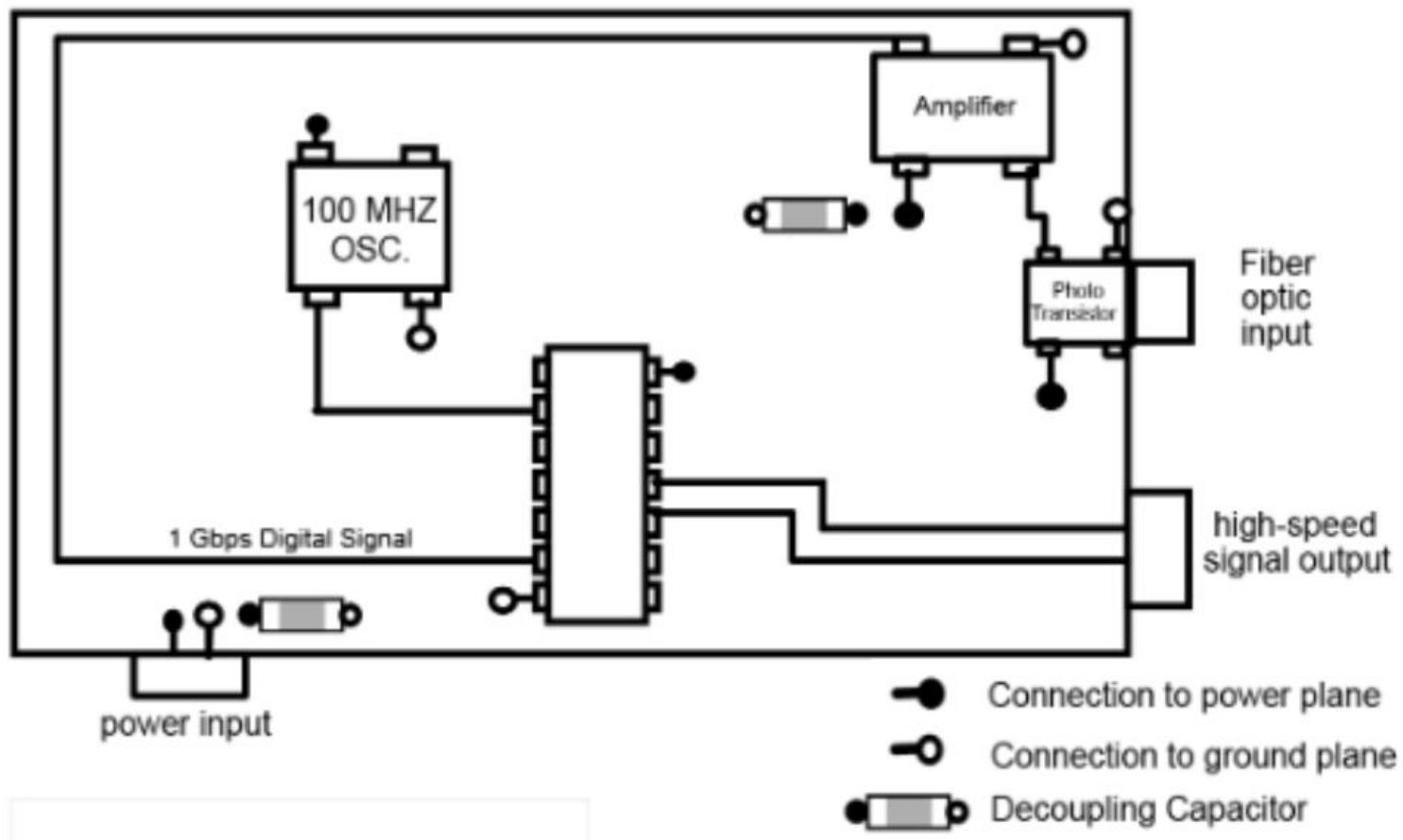
¿Cuáles son los pasos para diseñar con EMC?

Es decir, se busca una distribución como esta:



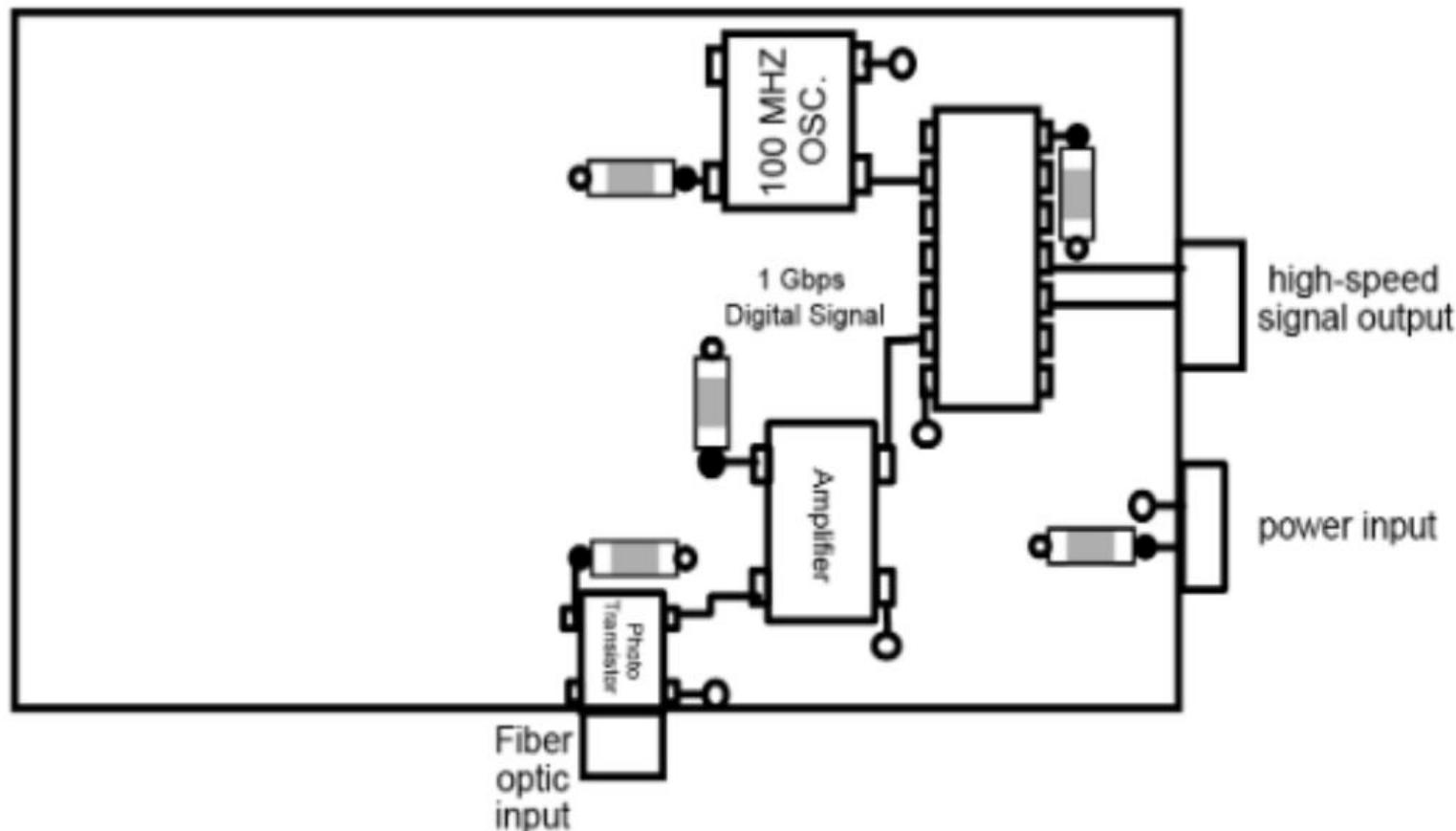
¿Cuáles son los pasos para diseñar con EMC?

Una distribución incorrecta:



¿Cuáles son los pasos para diseñar con EMC?

Una distribución adecuada:



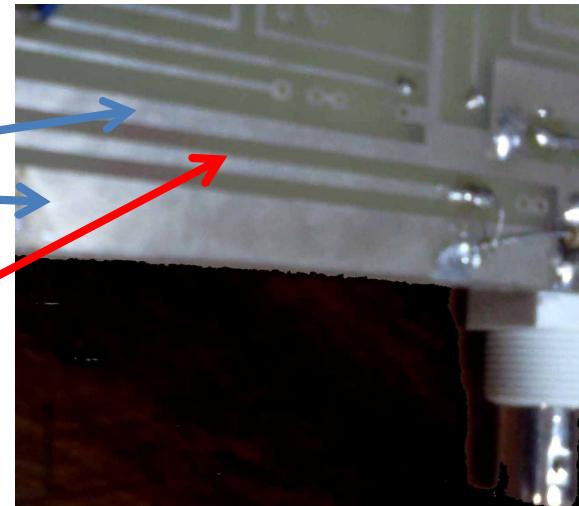
¿Cuáles son los pasos para diseñar con EMC?

Paso 2: Trazado de pistas y esquema de tierra

- Pistas con señales de alta frecuencia conviene apantallarlas con líneas de tierra.

Tierra

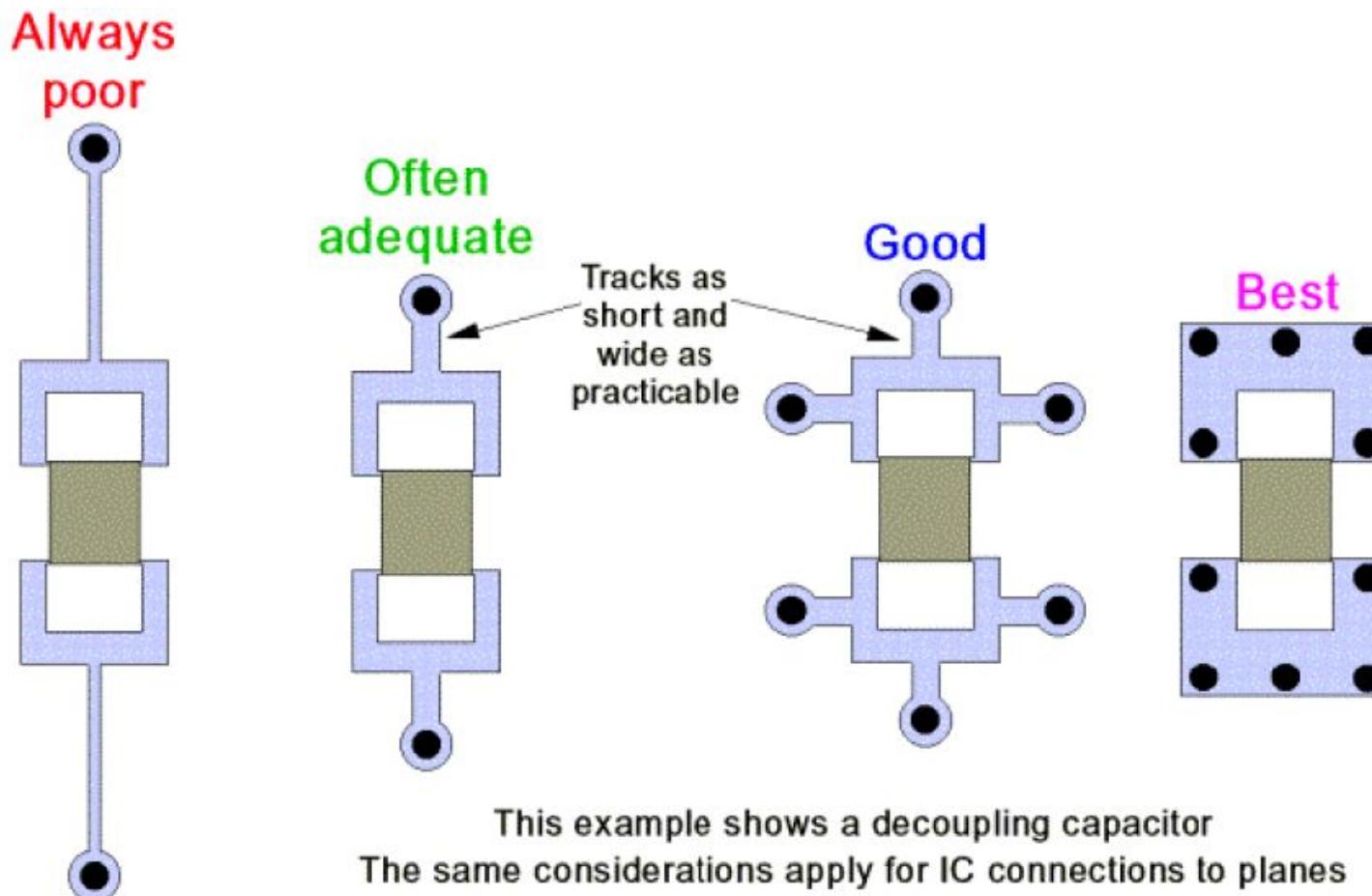
Pulsos de 0 a 1kV de 100ns



- Separación conveniente entre pistas de corrientes elevadas de las de baja señal
- Separación entre pistas con distintas señales para reducir el acople capacitivo.
- El plano de tierra reduce la inductancia del camino de la corriente de retorno.
- Cercanía entre pista de señal (o alimentación) y de retorno para reducir la inductancia mutua.
- Pistas de alimentación trazadas en estrella a los distintos bloques.

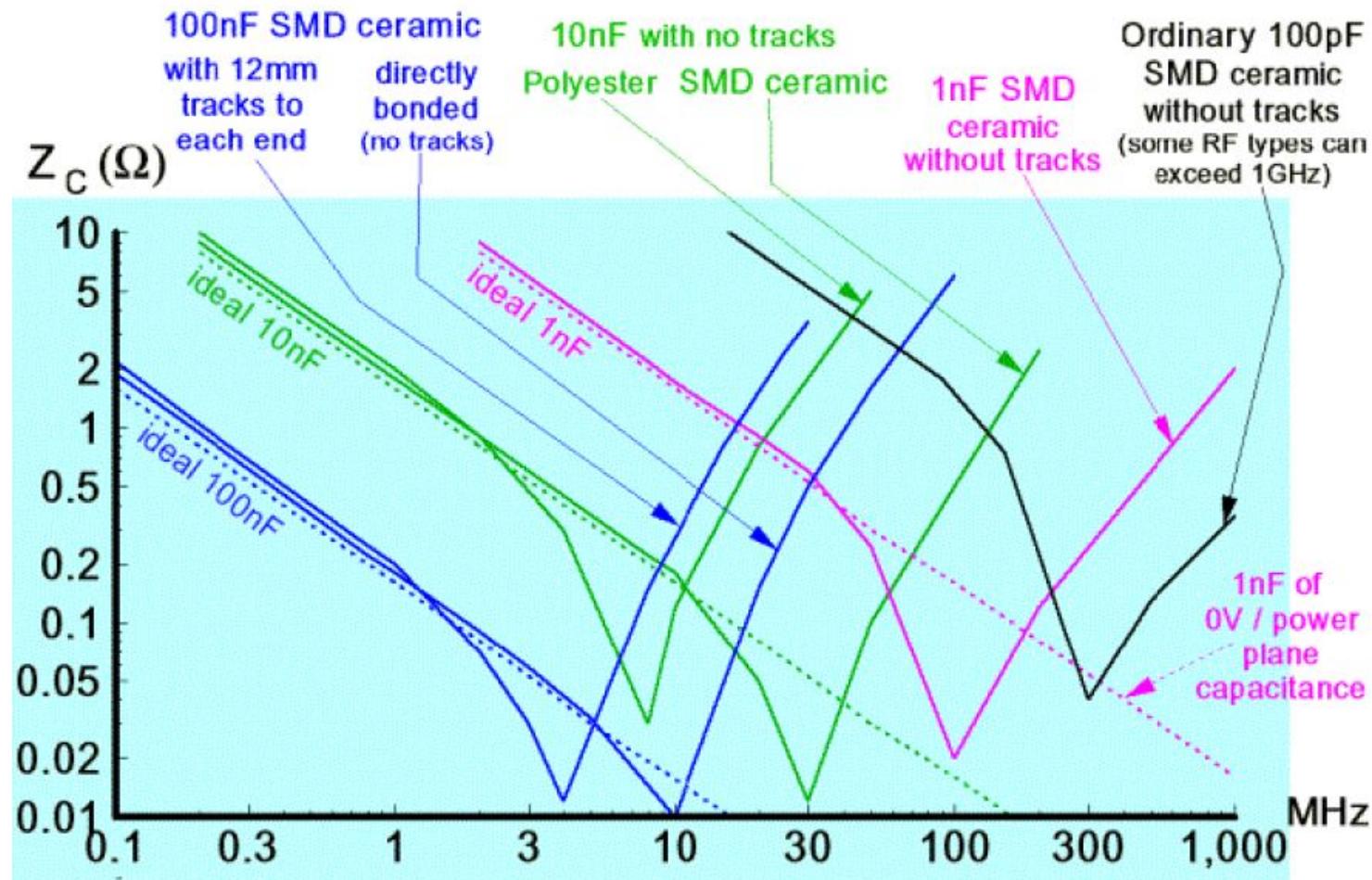
¿Cuáles son los pasos para diseñar con EMC?

Formas de conexión de componentes.



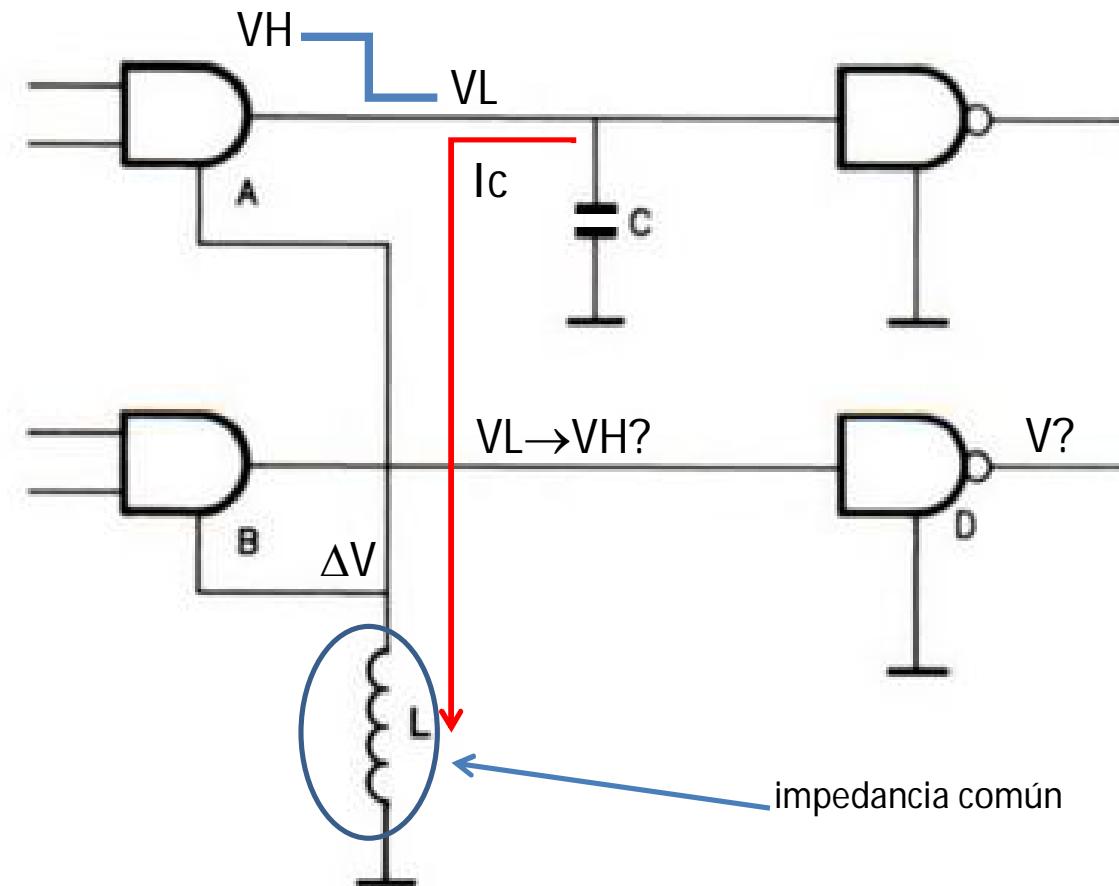
¿Cuáles son los pasos para diseñar con EMC?

Comportamiento de los componentes (ejemplo de resonancia serie en capacitores)



¿Cuáles son los pasos para diseñar con EMC?

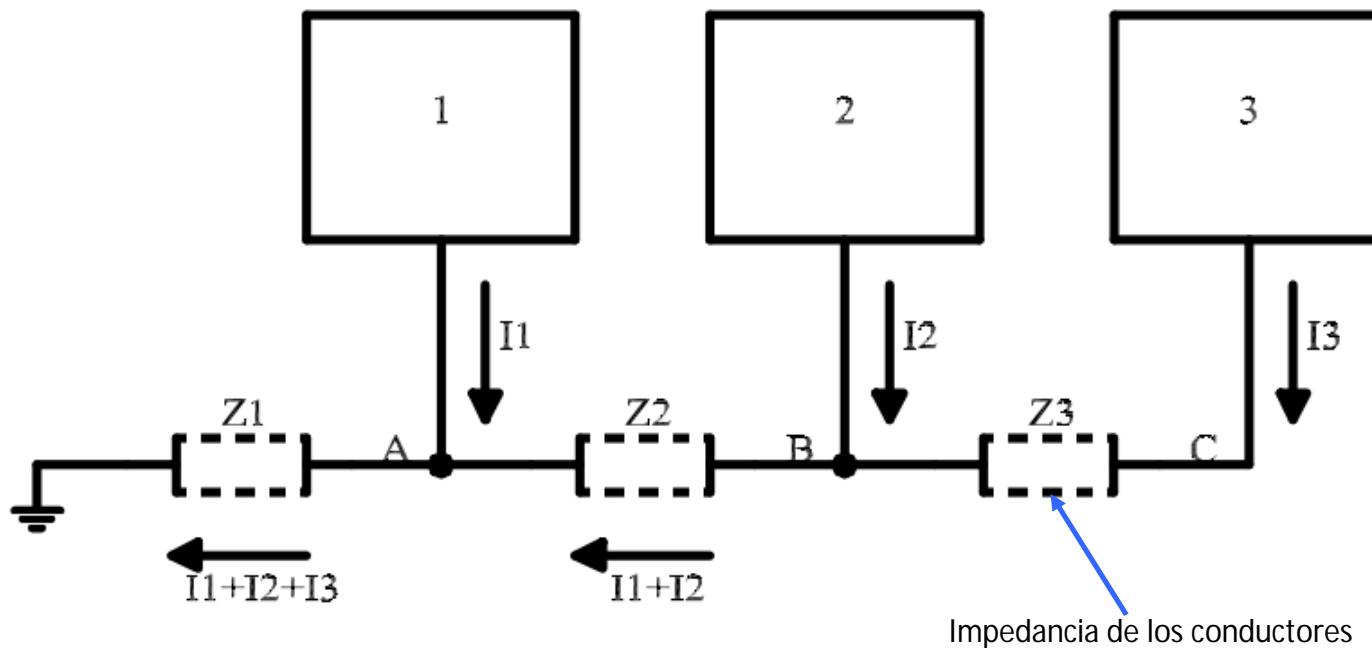
Un ejemplo: Inconvenientes por el esquema de tierra



¿Cuáles son los pasos para diseñar con EMC?

Conexiones a tierra de distintos bloques funcionales.

Conexión serie:



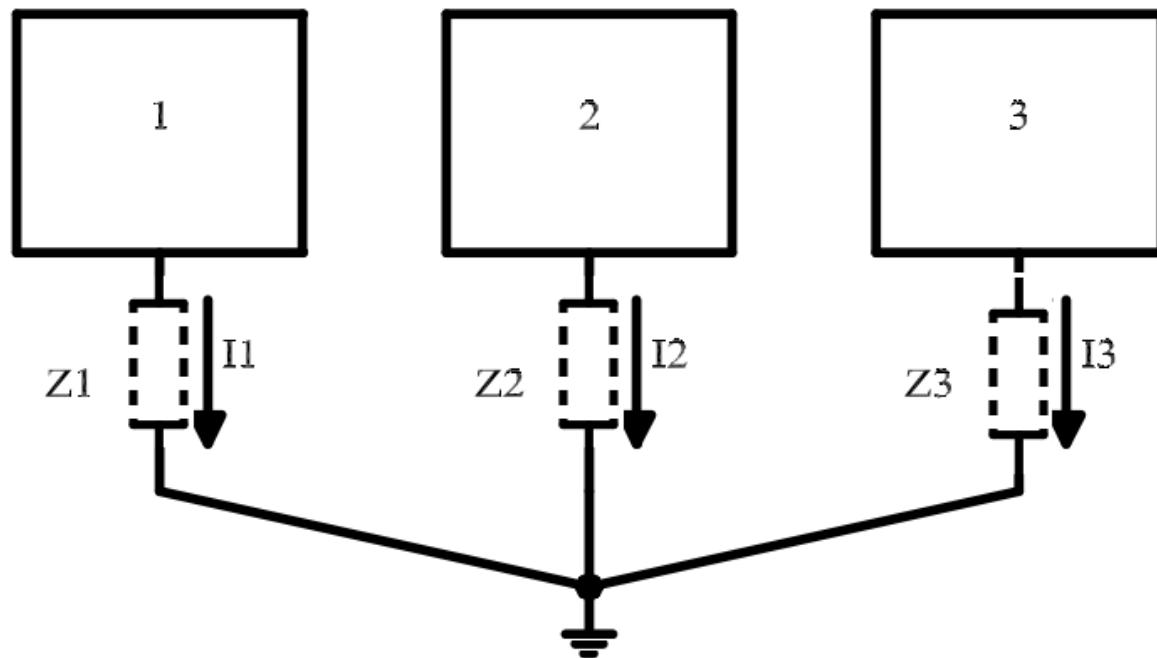
V_A , V_B y V_C no son nulas y dependen de la corriente.

No resulta conveniente en alta frecuencia ni en bloques de consumos dispares.

¿Cuáles son los pasos para diseñar con EMC?

Conexiones a tierra de los distintos bloques funcionales.

Conexión paralelo:



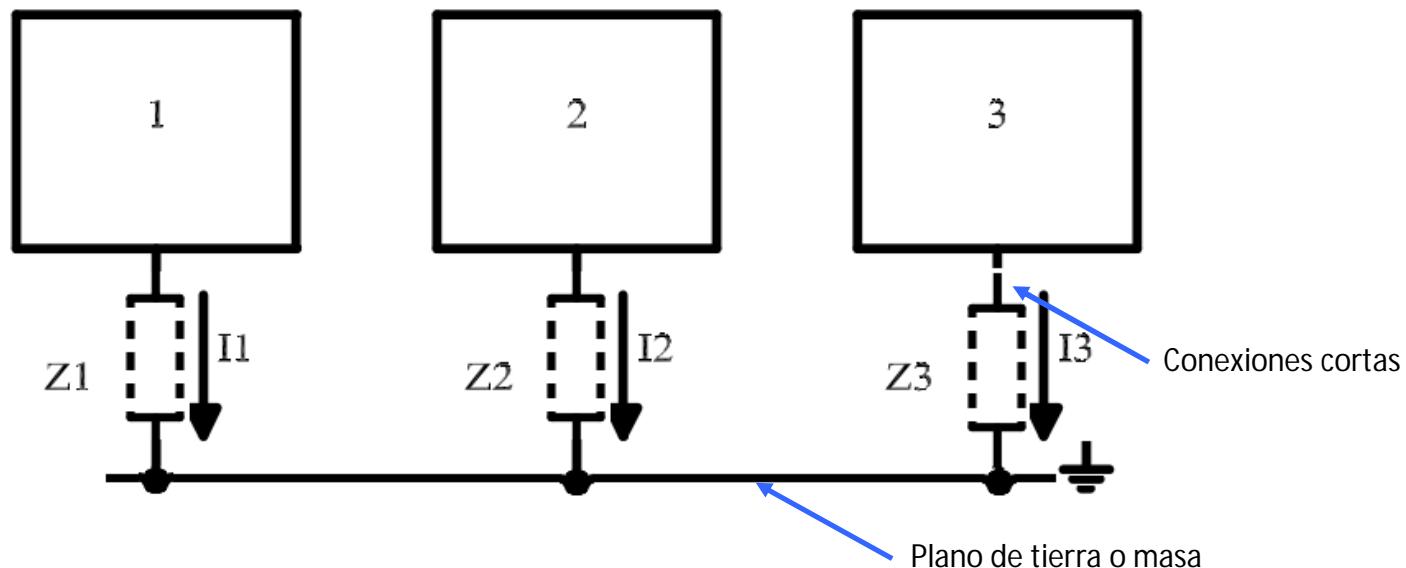
Es conveniente que el punto de referencia esté cerca de la salida de la alimentación.

Hay un aumento de lazos que favorecen los acoplos de alta frecuencia.

¿Cuáles son los pasos para diseñar con EMC?

Conexiones a tierra de los distintos bloques funcionales.

Conexión a un plano de tierra:



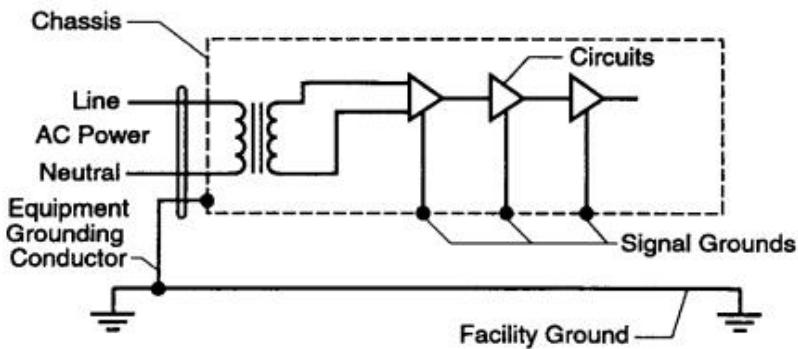
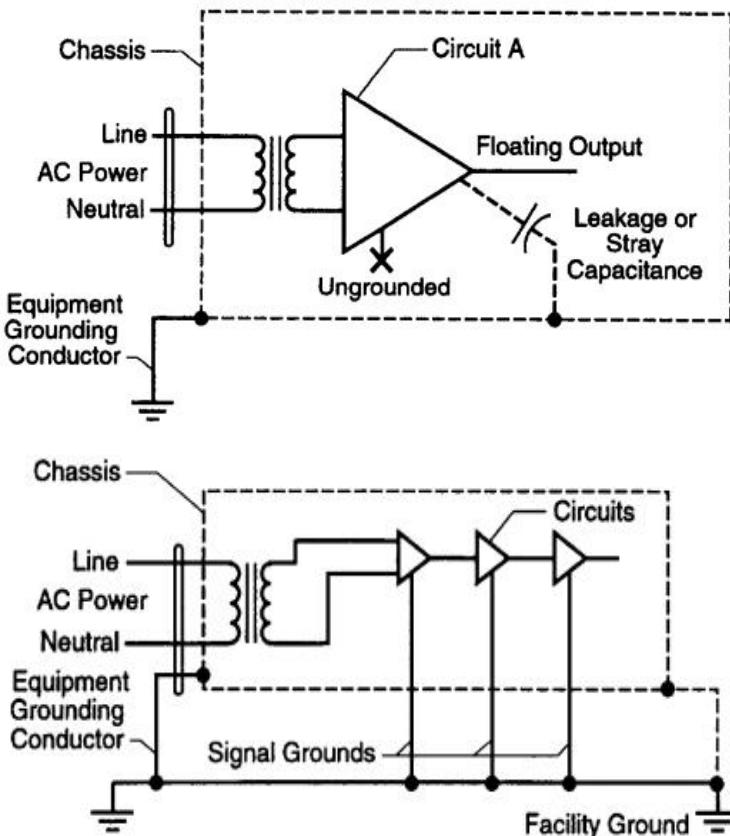
En un pcb, el plano de tierra corresponde a una de las caras del impreso
(o plano interno en mult capas).

Conveniente para disminuir el área de lazos de corriente.

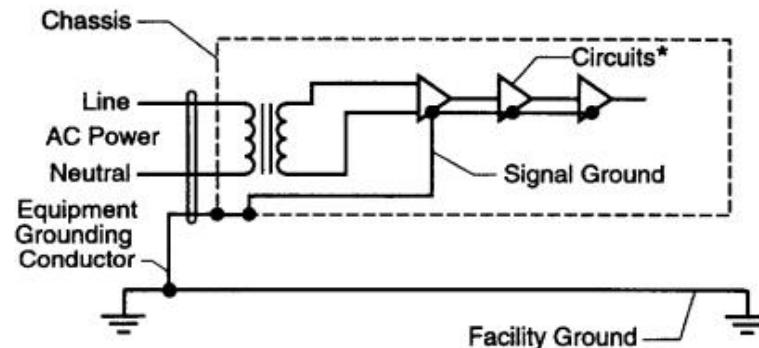
¿Cuáles son los pasos para diseñar con EMC?

Conexiones a tierra de los distintos bloques funcionales.

IEEE Std. C62.45:



(a) Parallel single-point ground



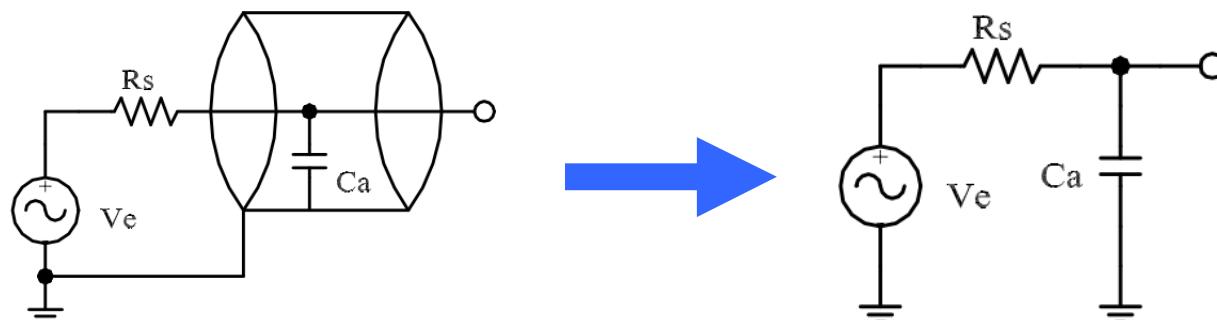
* Note: Removal of center circuits for test purposes can cause an inadvertent break in the ground chain.

(b) Series single-point ground

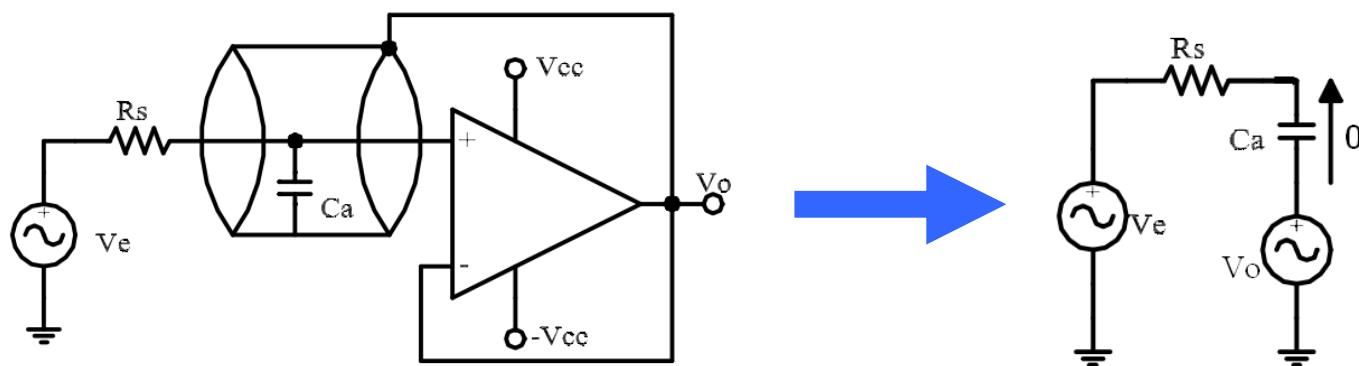
¿Cuáles son los pasos para diseñar con EMC?

Conexiones a tierra de cables apantallados (o blindados).

Al blindar un cable se introduce una capacitancia parásita entre el conductor y tierra.
(circuito equivalente pasa bajos que reduce el ancho de banda).

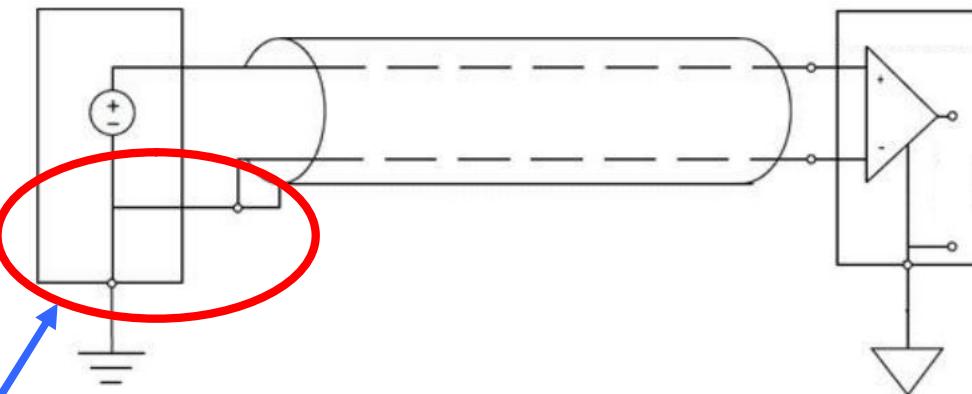


Si fuese necesario, se implementa la **guarda activa**, donde el OPAMP anula el efecto de Ca.

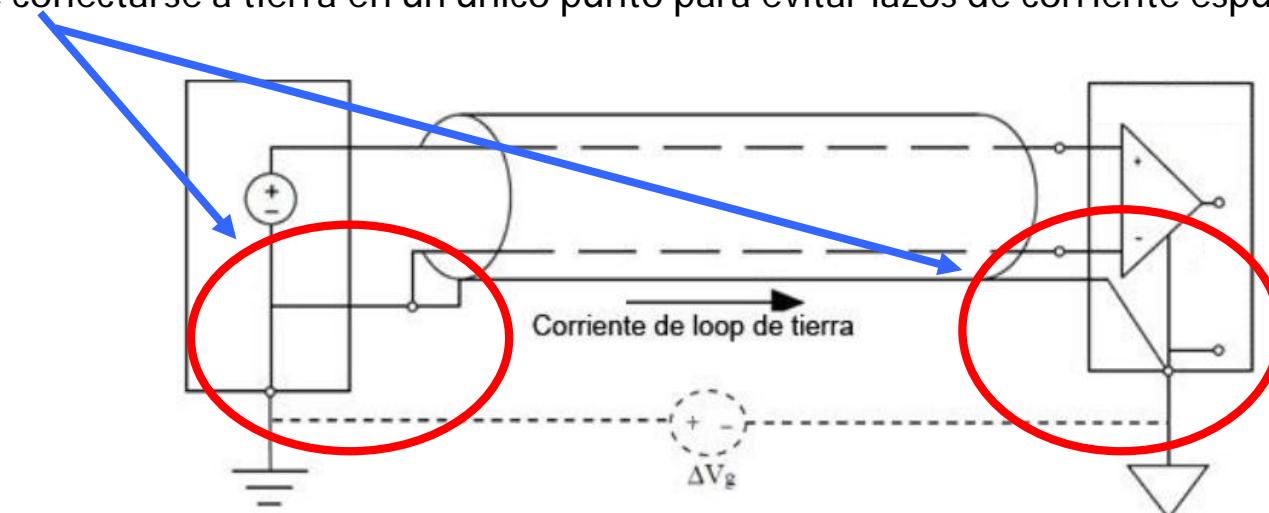


¿Cuáles son los pasos para diseñar con EMC?

Conexiones a tierra de cables apantallados o a blindajes.

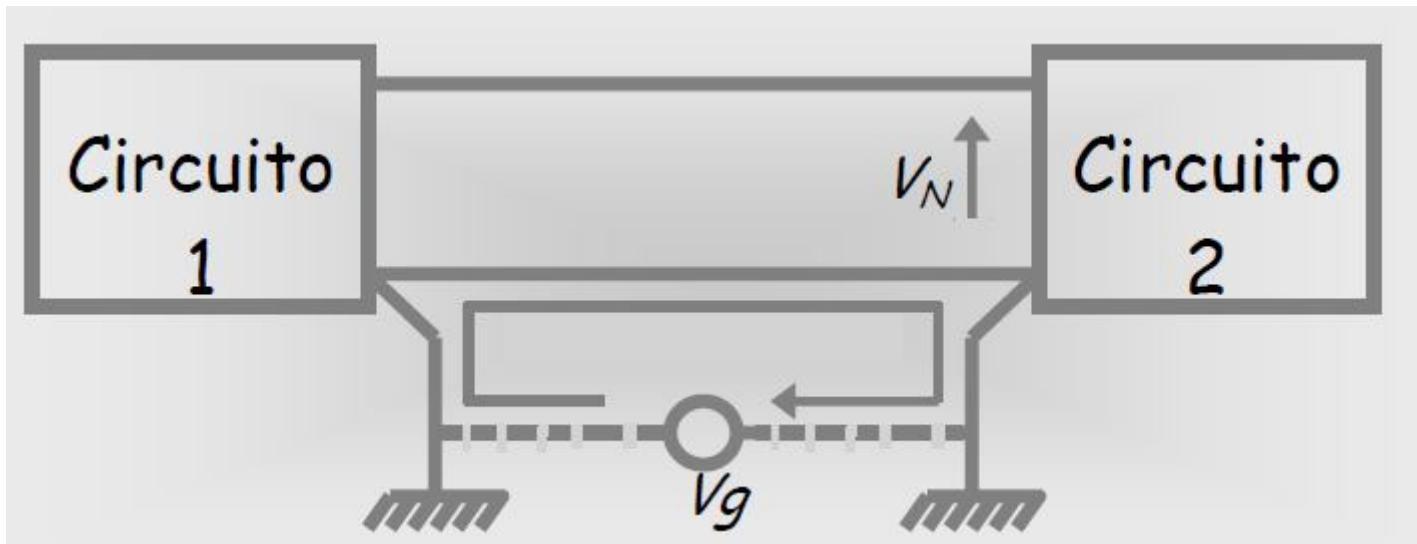


El blindaje debe conectarse a tierra en un único punto para evitar lazos de corriente espurios.



¿Cuáles son los pasos para diseñar con EMC?

Otras formas de eliminar lazos de tierra:



Acoplar mediante transformador.

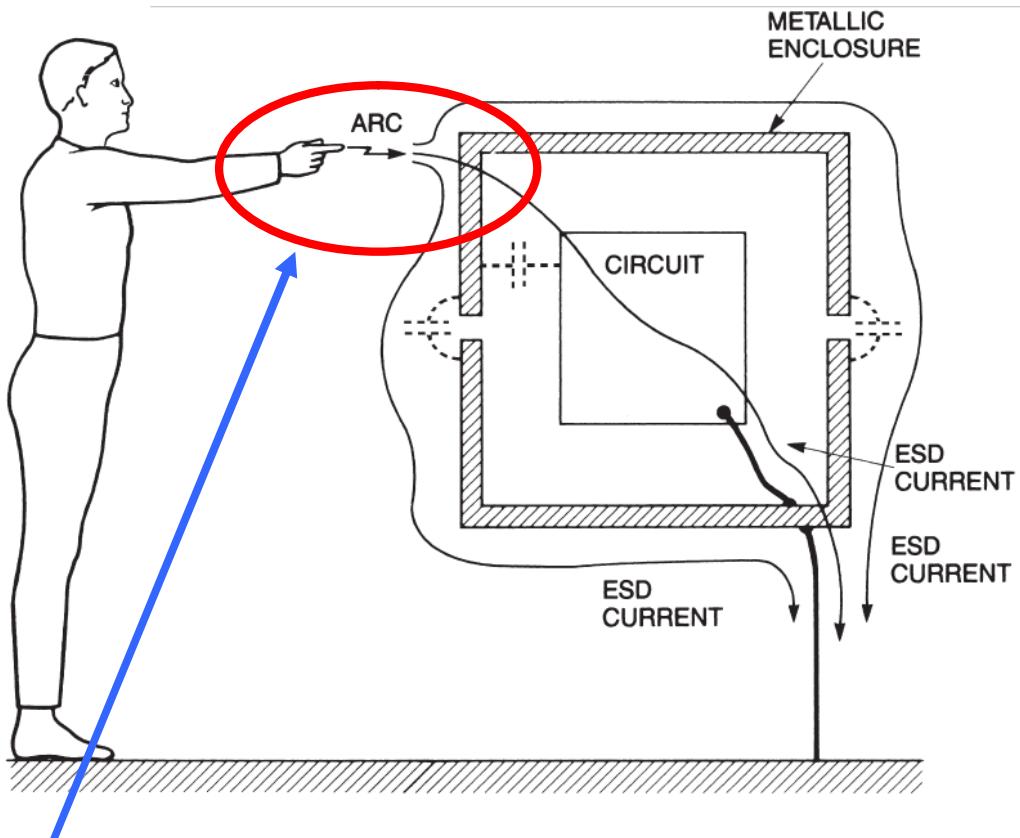
Acoplar mediante optoaislador.

Acoplar mediante transformador serie o choke.

¿Cuáles son los pasos para diseñar con EMC?

Paso 3: Protección ante impulsos transitorios (useg o nseg).

Ejemplo: ESD

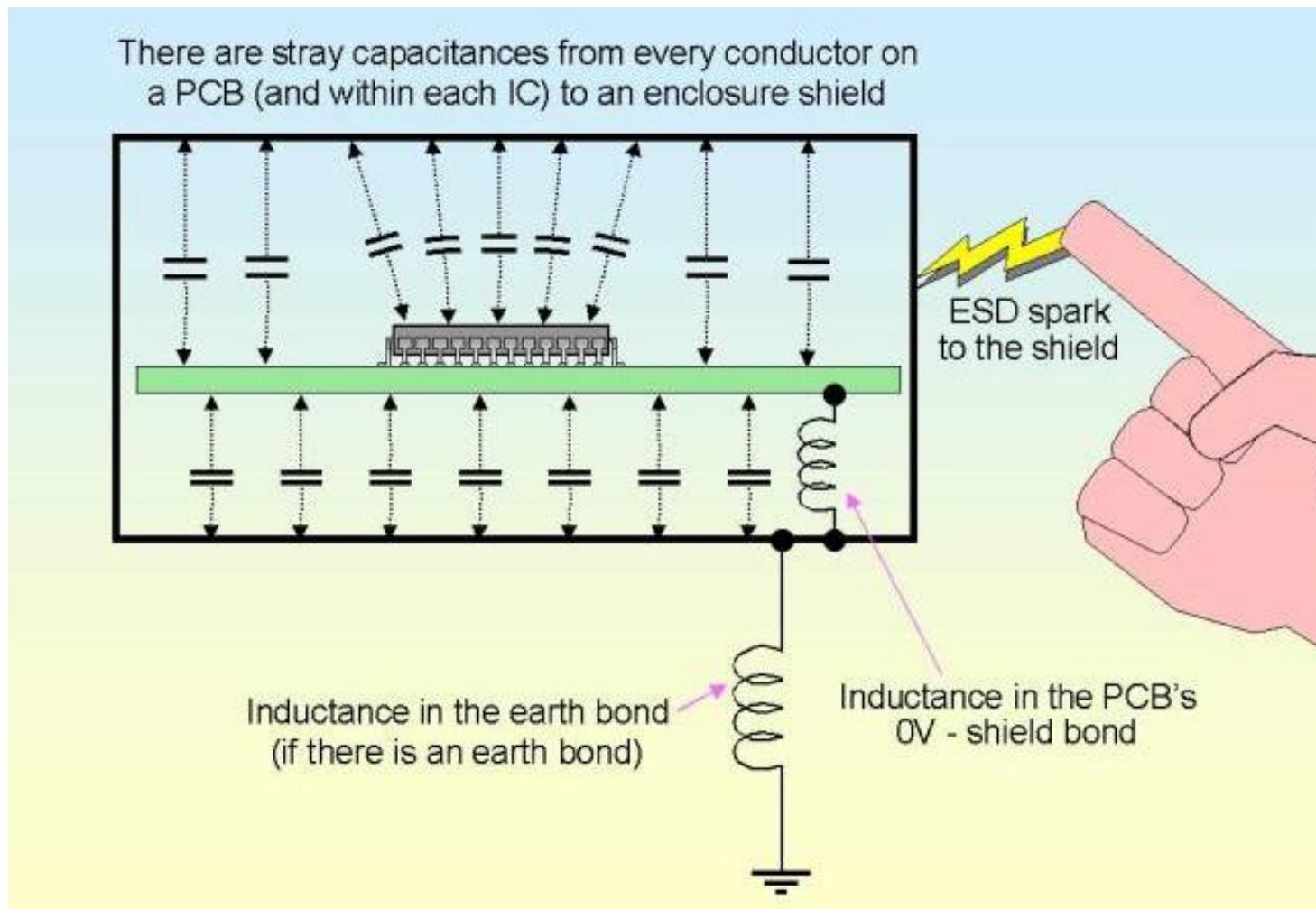


La fuente emisora no siempre es humana.

Es importante dónde se realice la conexión del blindaje a tierra, para evitar la circulación de corrientes espurias a través del circuito.

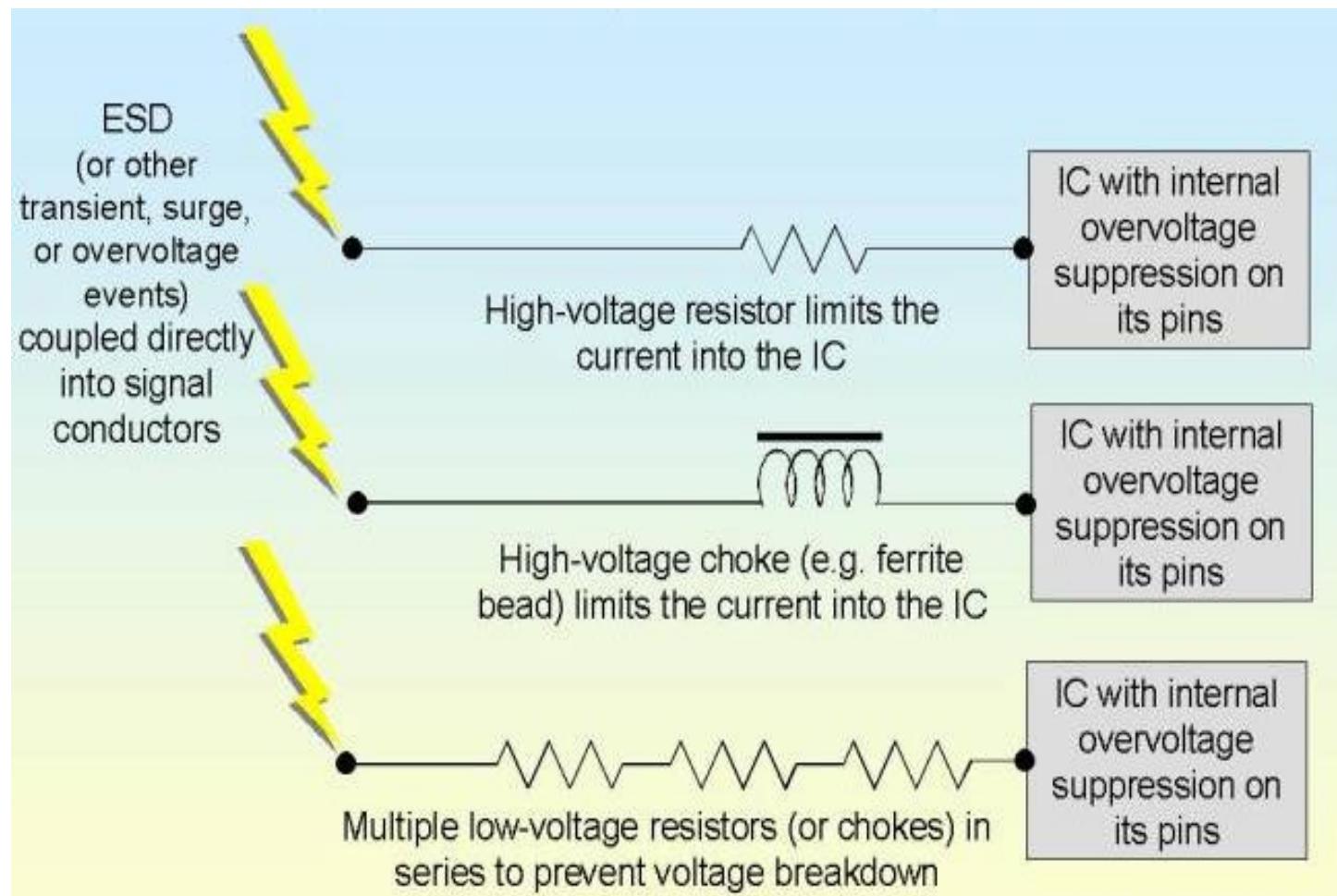
¿Cuáles son los pasos para diseñar con EMC?

Protección ante impulsos transitorios (useg o nseg) (imágenes de "Design Techniques for EMC", Armstrong)



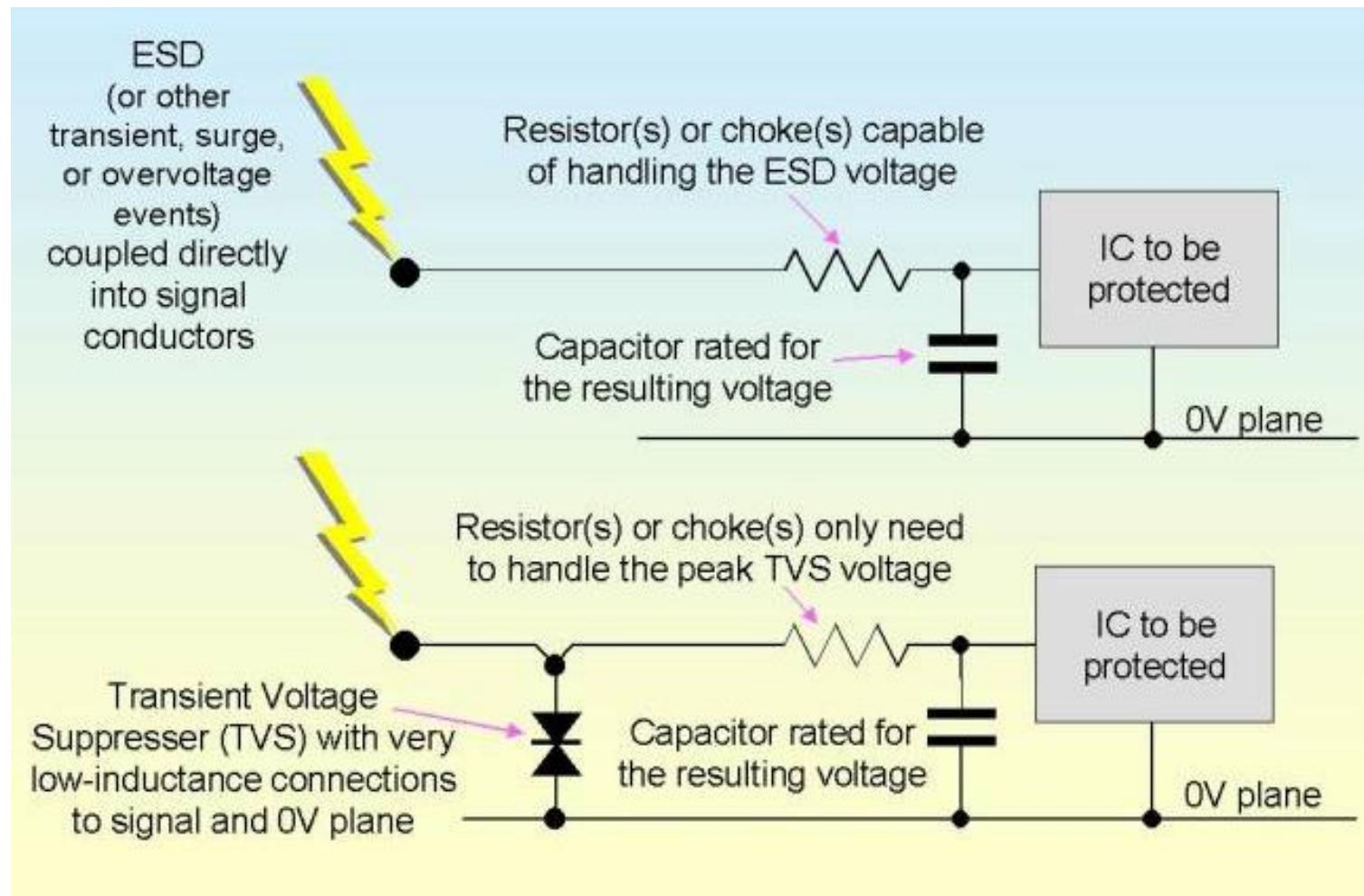
¿Cuáles son los pasos para diseñar con EMC?

Protección ante impulsos transitorios (useg o nseg) (imágenes de "Design Techniques for EMC", Armstrong)



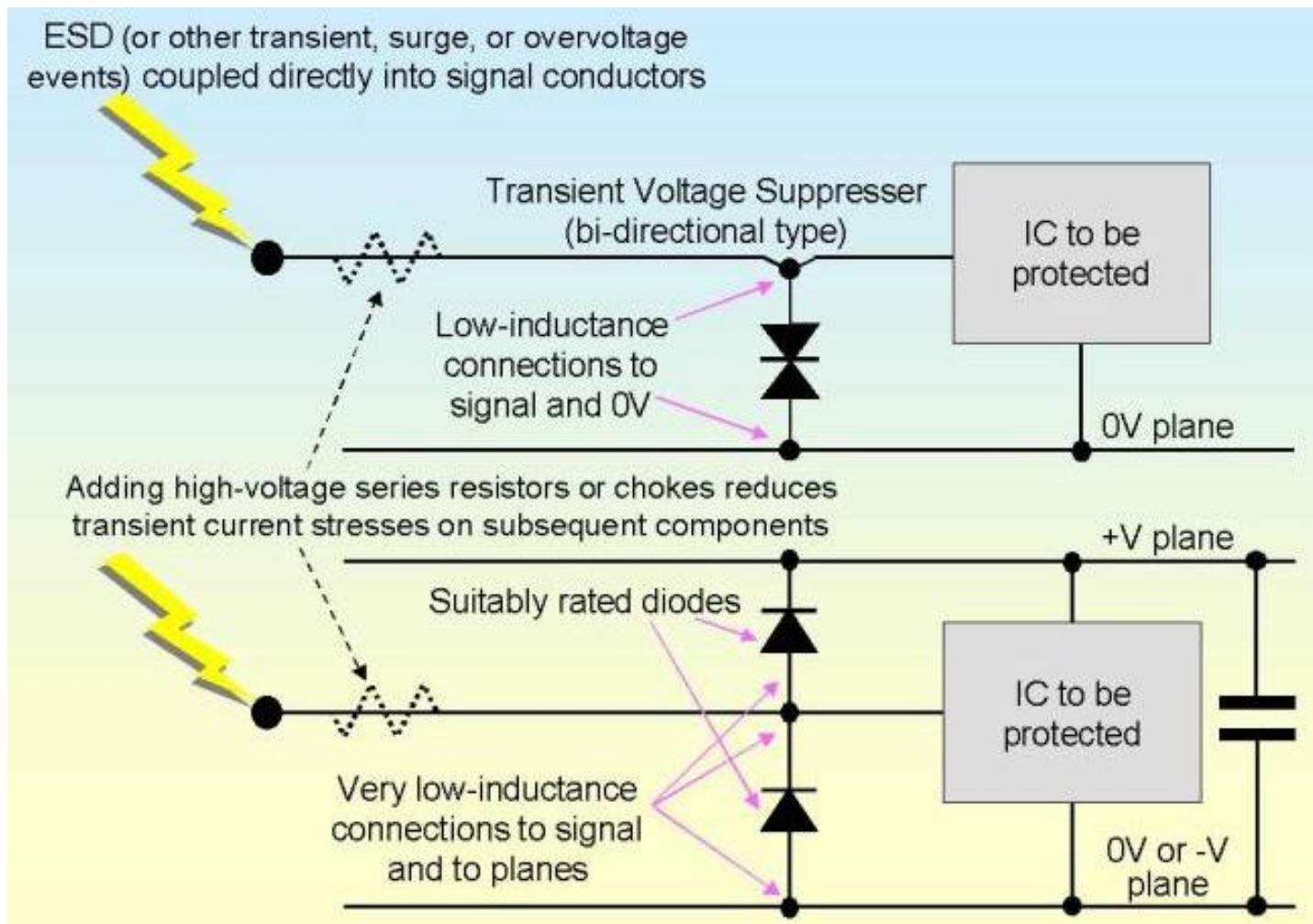
¿Cuáles son los pasos para diseñar con EMC?

Protección ante impulsos transitorios (useg o nseg) (imágenes de "Design Techniques for EMC", Armstrong)



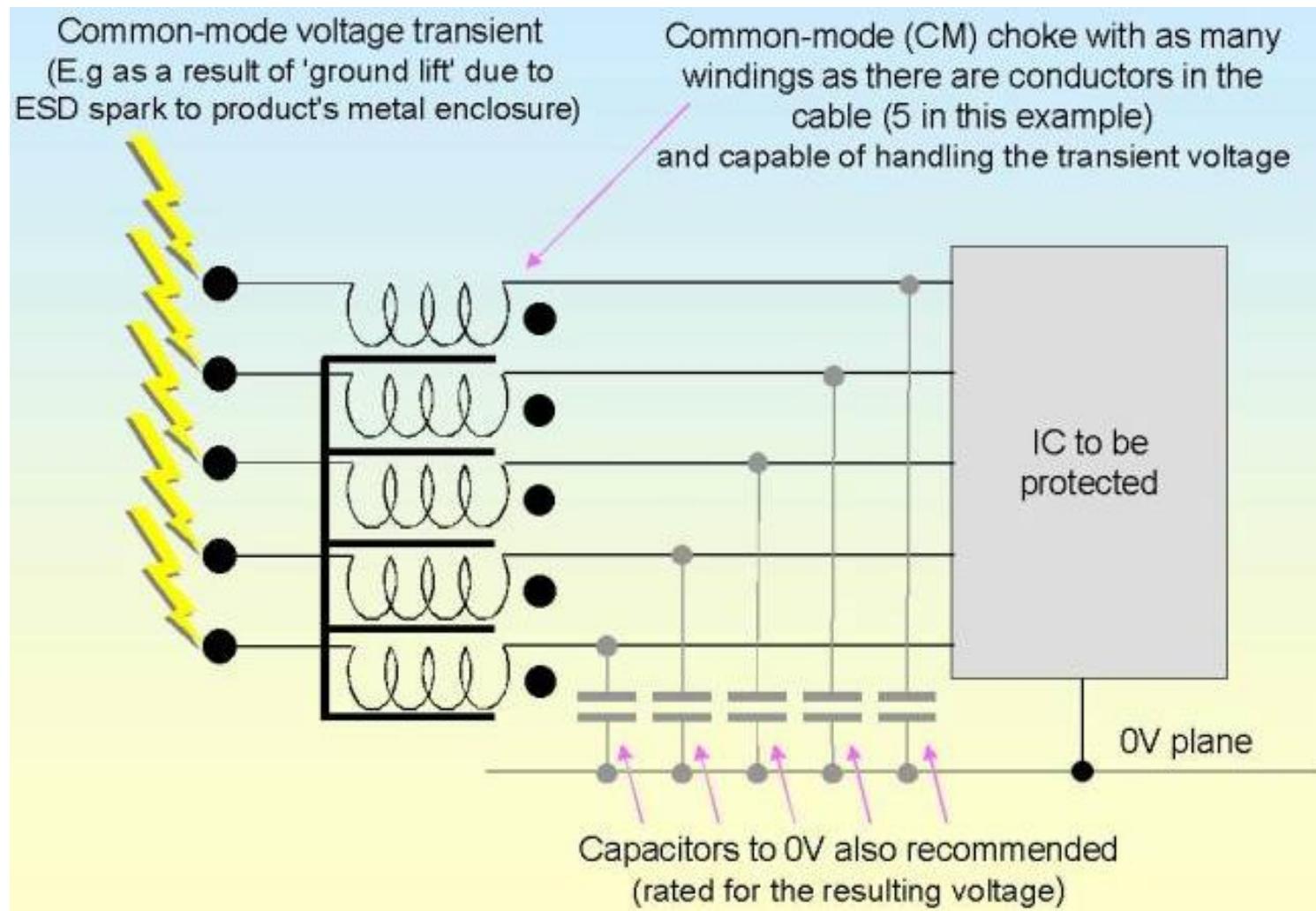
¿Cuáles son los pasos para diseñar con EMC?

Protección ante impulsos transitorios (useg o nseg) (imágenes de "Design Techniques for EMC", Armstrong)



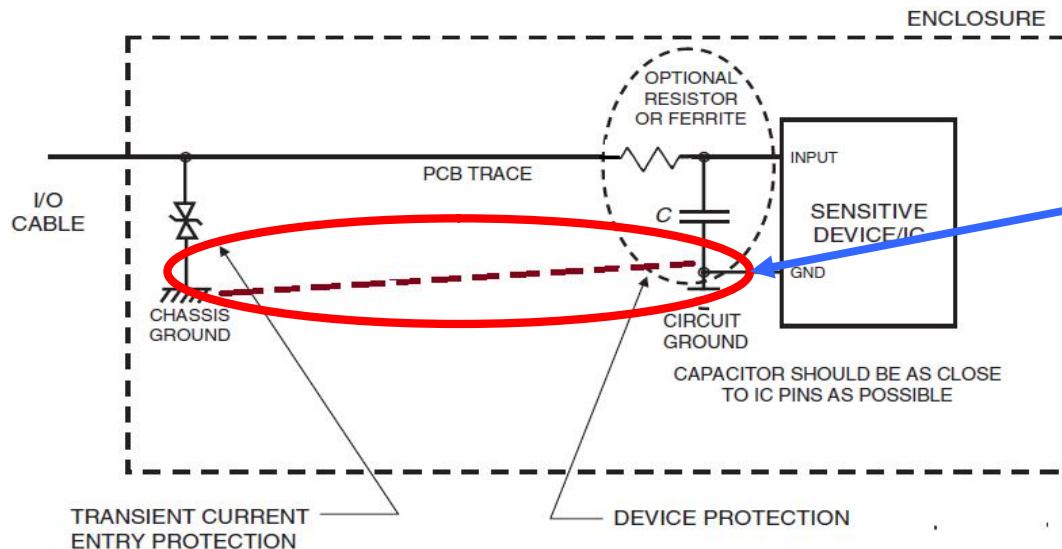
¿Cuáles son los pasos para diseñar con EMC?

Protección ante impulsos transitorios (useg o nseg) (imágenes de "Design Techniques for EMC", Armstrong)

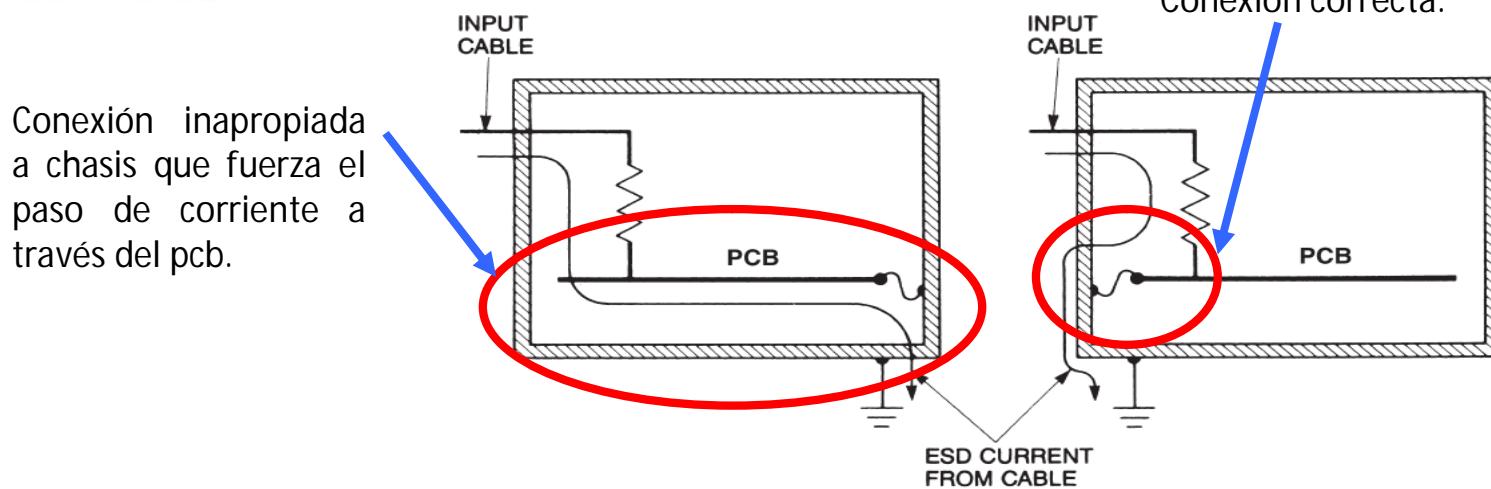


¿Cuáles son los pasos para diseñar con EMC?

Protección ante impulsos transitorios (useg o nseg).



La conexión debe ser en el mismo punto para evitar inductancias serie.

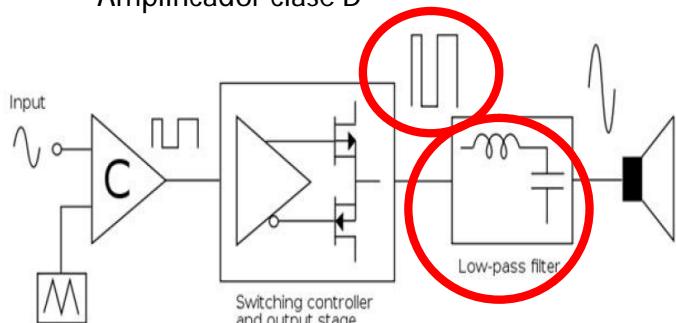


Emissiones Conductidas

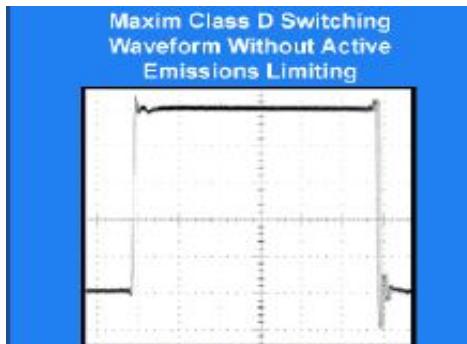
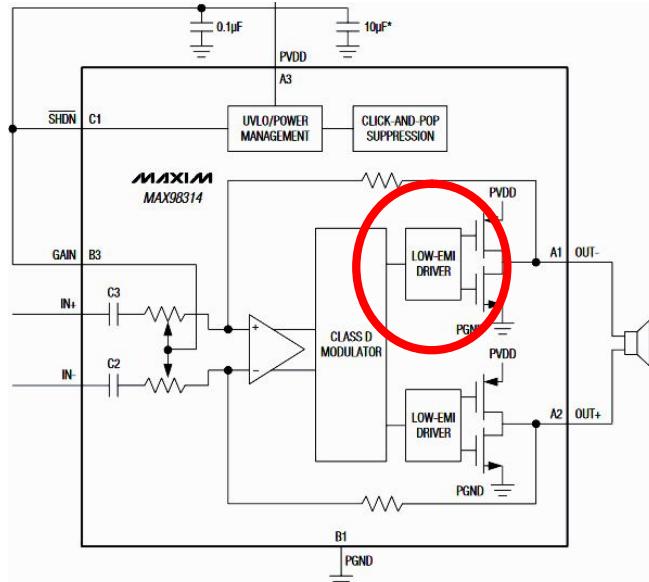
¿Cuáles son los pasos para diseñar con EMC?

¿Si no hay espacio para el filtro? Por ej. equipos portátiles.

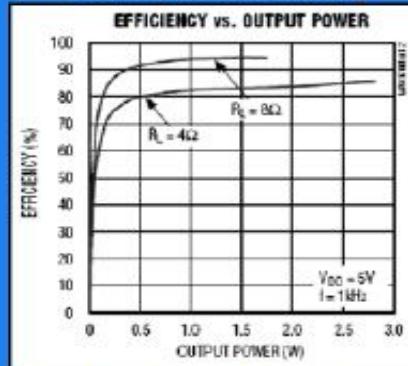
Amplificador clase D



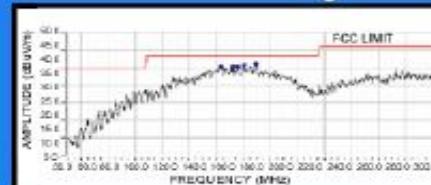
Amplificador clase D con AEL



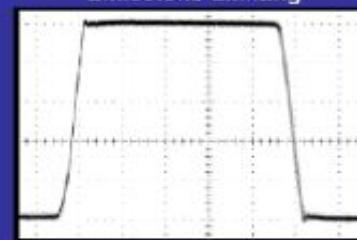
Maxim Class D Efficiency Without Active Emissions Limiting



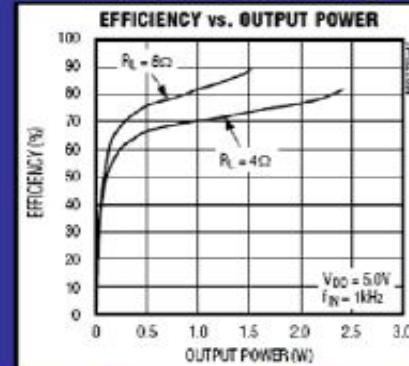
Maxim Class D Radiated Emissions Without Active Emissions Limiting



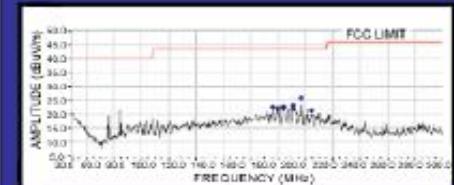
Maxim Class D Switching Waveform with Active Emissions Limiting



Maxim Class D Efficiency with Active Emissions Limiting

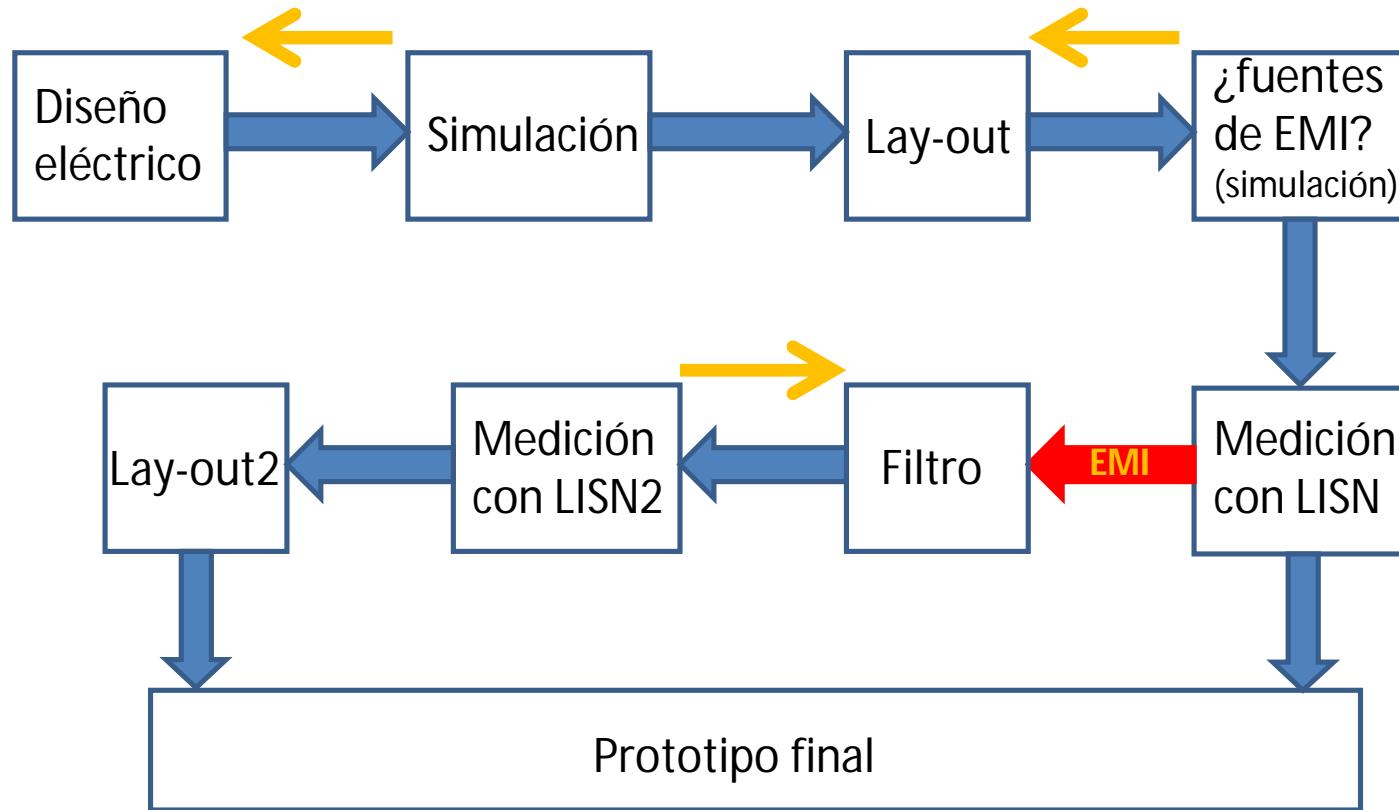


Maxim Class D Radiated Emissions with Active Emissions Limiting



Emissiones Conducidas

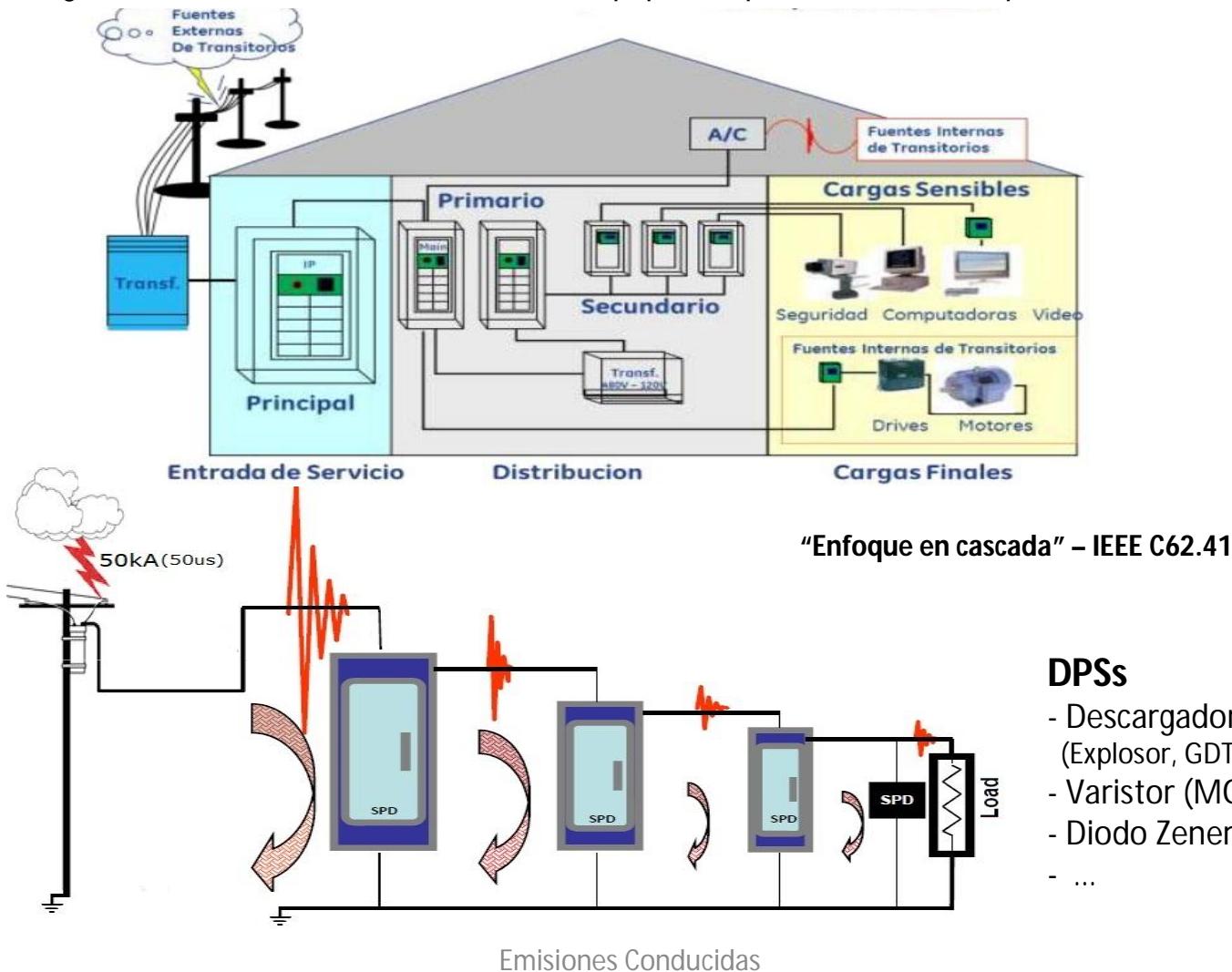
En resumen...



¿Cuáles son los pasos para diseñar con EMC?

Protección contra perturbaciones de energía elevada.

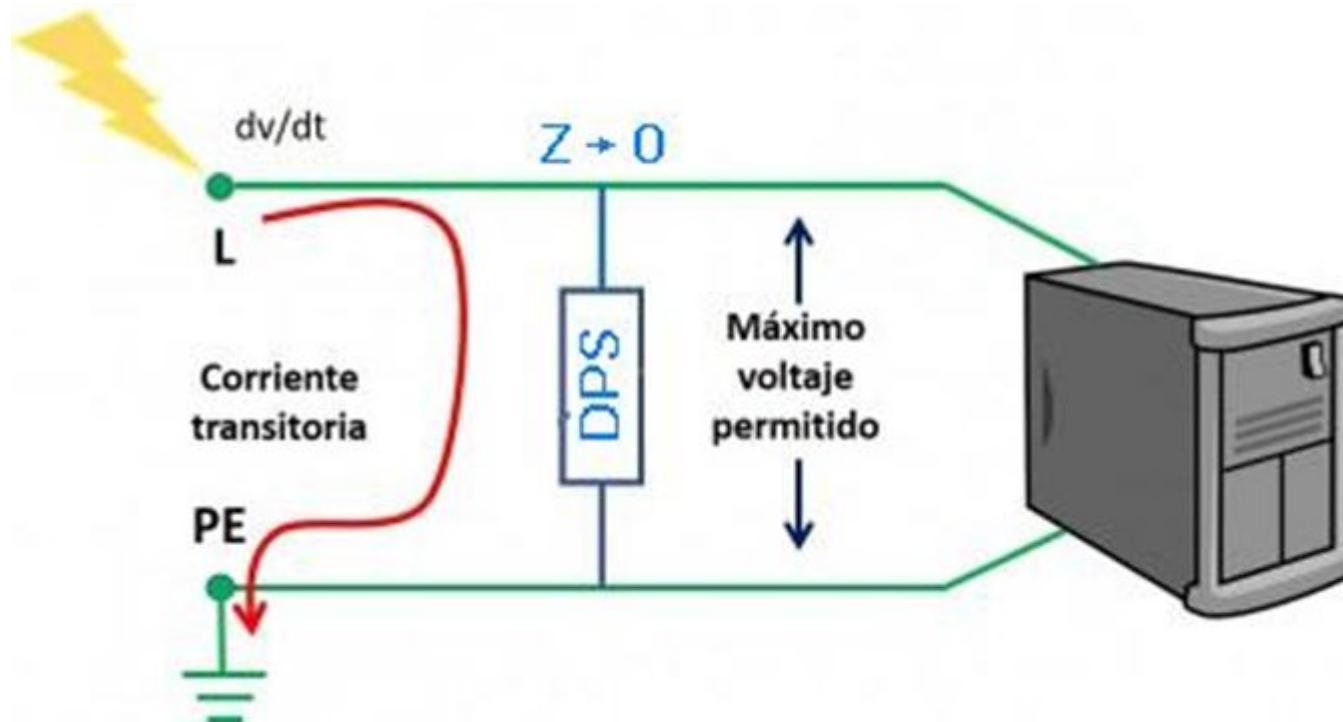
Se protege de acuerdo con la ubicación de los equipos respecto de la fuente perturbadora:



¿Cuáles son los pasos para diseñar con EMC?

Protección contra perturbaciones de energía elevada.

¿Cómo se atenúa el efecto de las corrientes inducidas elevadas?

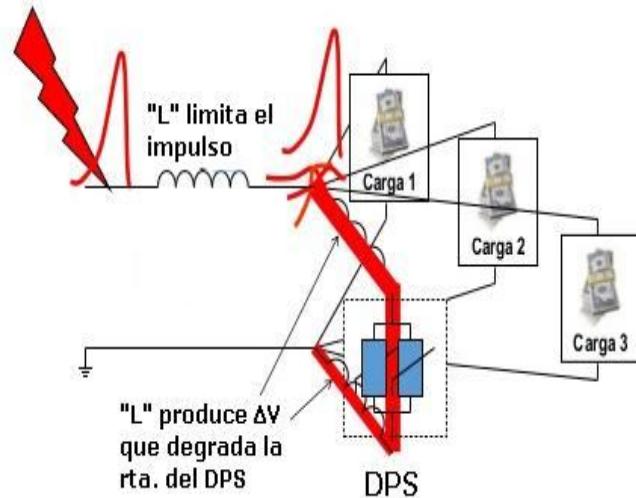


¿Cuáles son los pasos para diseñar con EMC?

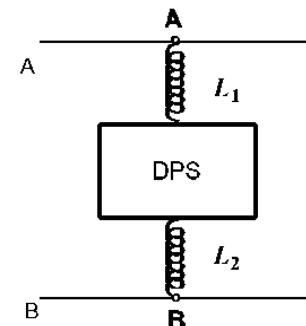
Protección contra perturbaciones de energía elevada.

Instalación de DPSs

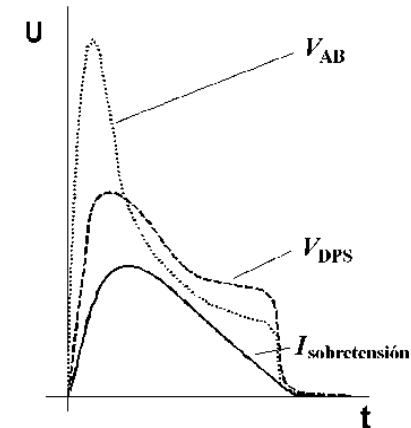
(IEC 61643-2)



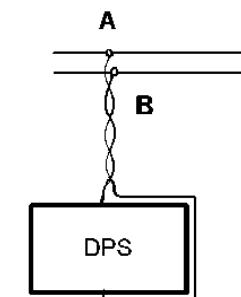
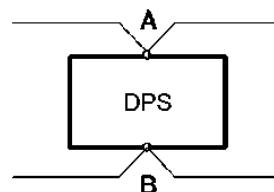
a)



b)

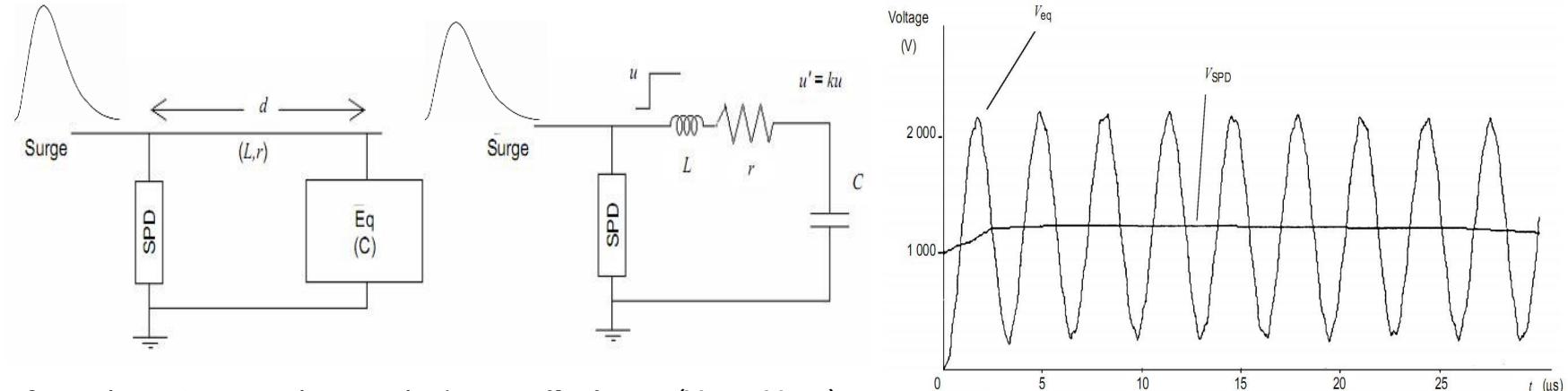


c)



¿Cuáles son los pasos para diseñar con EMC?
Protección contra perturbaciones de energía elevada.

Coordinación de DPSs (IEC 61643-2)



Con "d" > 10 m pueden producirse **oscilaciones** ($V_{Eq} > V_{SPD}$).

(**¡Atención con d → 0!**: alto campo magnético en la entrada).

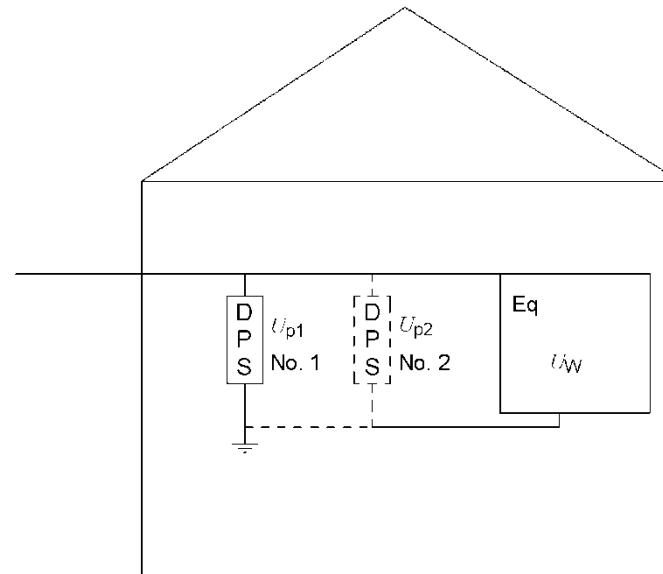
En ese caso (o si el Equipo es muy sensible), sería necesario un arreglo de **DPSs coordinados**:

DPS1 (DPS Clase I) + **DPS2** (DPS Clase II y/o III)

La **Clase** se determina con onda de ensayo estandarizada:

Clase I: alta exposición.

Clases II y III: menor exposición.



¿Cuáles son los pasos para diseñar con EMC?

Protección contra perturbaciones de energía elevada.

¿Cómo se calcula la protección?... ejemplo:

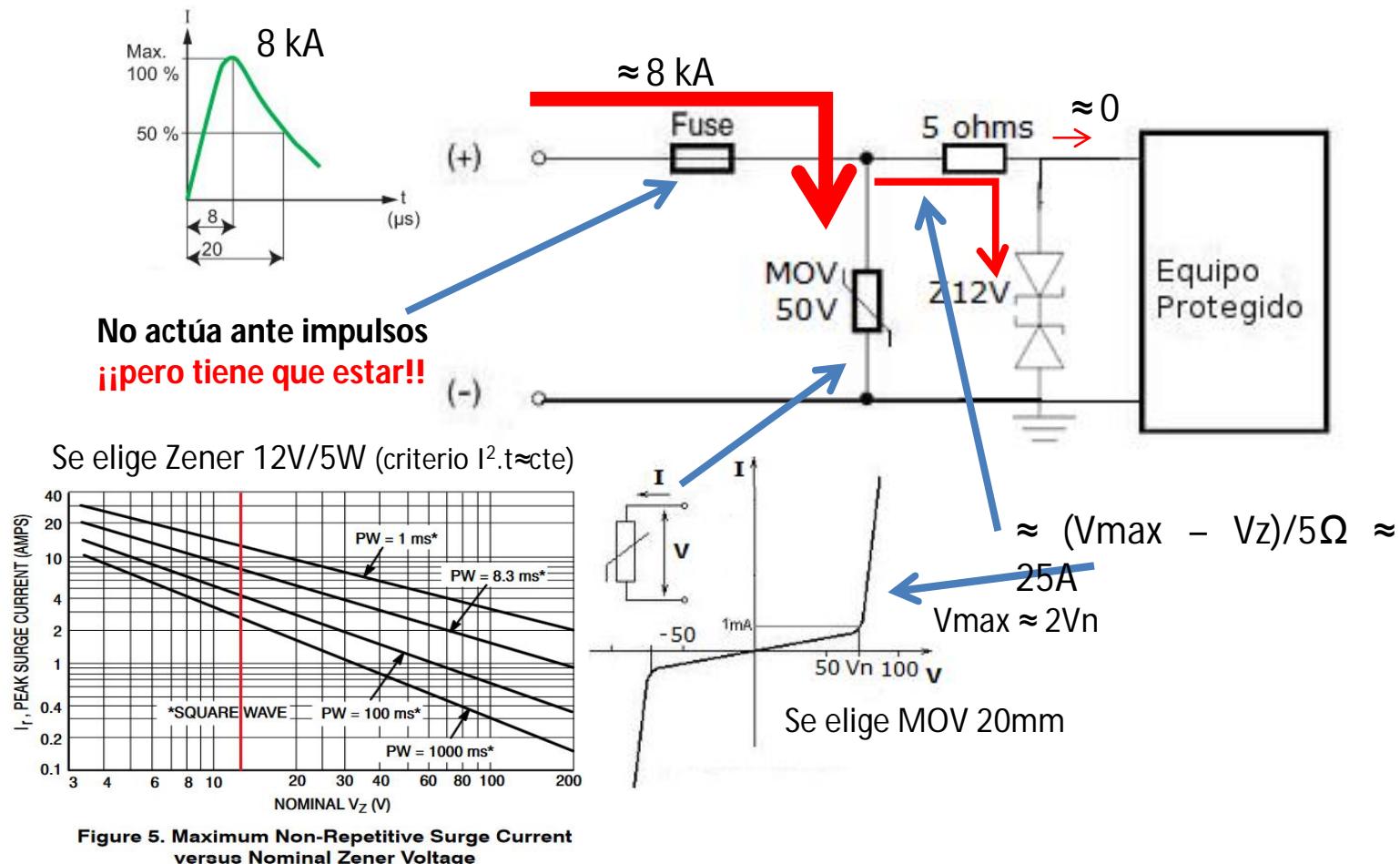
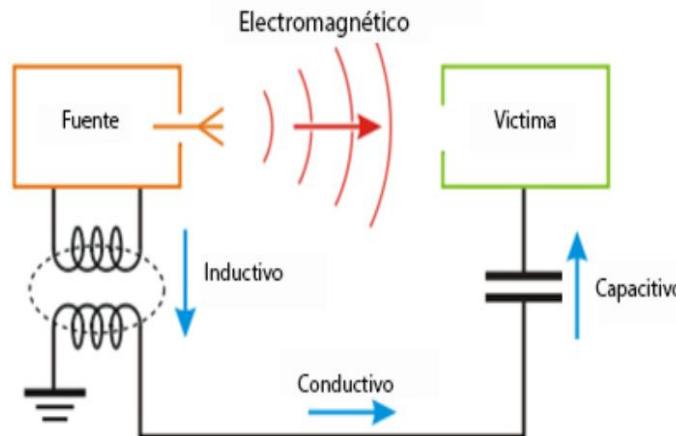


Figure 5. Maximum Non-Repetitive Surge Current versus Nominal Zener Voltage

Conclusiones

El análisis y atenuación de las EMI en sistemas electrónicos resulta un aspecto importante a considerar, debido al mal funcionamiento que pueden provocar en los equipos.



En EMI conducidas es necesario evaluar las reactancias parásitas (posibles acoplos).

En el diseño se debe tener en cuenta tanto la distribución de bloques funcionales, como la distribución del conexionado o pistas del PCB (o CI) y el esquema de tierra.

Para evaluar EMI conducidas es conveniente la construcción de una LISN para medir en condiciones no operativas (y decidir la necesidad o no de agregar un filtro).

Para perturbaciones transitorias por descargas atmosféricas, ESD, etc. deberán utilizarse DPS que brinden un camino a las corrientes impulsivas, previo al equipo víctima.

Y seguir las recomendaciones de las NORMAS.

Fin 2^{da} parte

Gracias