



Francesc Daura Luna  
Director de CEMDAL

# INTRODUCCIÓN A LA COMPATIBILIDAD ELECTROMAGNÉTICA EN LA AUTOMOCIÓN

# Introducción a la compatibilidad electromagnética en la automoción

1. Introducción histórica de la Compatibilidad Electromagnética
2. Ambiente electromagnético y tipología del producto
3. Elementos intervinientes en un problema de CEM
4. Generadores de interferencias
5. Receptores de interferencias
6. Acoplamientos de interferencias
7. El cableado en el automóvil
8. Ejemplos de problemas de CEM en vehículos
9. Secuencia recomendada en la metodología
10. Simulación
11. Reducción de costes en el proceso de diseño de CEM
12. Métodos generales de solución
13. Normativa
14. Pruebas y ensayos
15. Conclusiones / Servicios



# 1. Introducción histórica de la compatibilidad electromagnética

# Algunas siglas comunes

- **EMC:** Electro**M**agnetic **C**ompatibility
- **CEM:** Compatibilidad Electro**M**agnética
- **EMI:** Electro**M**agnetic **I**nterference = INTERFERENCIAS
- **EMS:** Electro**M**agnetic **S**usceptibility = INMUNIDAD

**Conceptualmente : CEM = EMI + EMS**

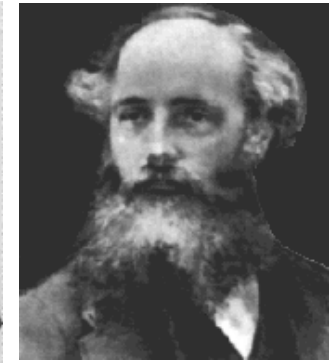
- **RFI:** Radio Frequency Interference = Interferencias de Radio Frecuencia
- **ESD:** Electro**S**tatic **D**ischarge = Descarga Electrostática
- **EFT:** Electrical **F**ast **T**ransient = Transitorio Eléctrico Rápido
- **EMP:** Electro**M**agnetic **P**ulse = Impulso Electromagnético
- **CI:** Circuito **I**ntegrado
- **TCI:** Tarjeta de Circuito **I**mpreso

# Los pioneros

- En los primeros experimentos electromagnéticos se usaron chispas.
- **Heinrich Hertz** fue un pionero. Descubrió la forma de producir y detectar ondas electromagnéticas, las que 20 años habían sido predichas por Maxwell.
- **James Clerk Maxwell** unificó la teoría electromagnética con sus ecuaciones:



Hertz  
1857-1894



Maxwell  
1831-1879

Ley de Ampère

$$\nabla \times \vec{H} = \vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$$

Ley de Faraday

$$\nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

Ley de Gauss

$$\nabla \cdot \vec{D} = \rho$$

Ley de Gauss

$$\nabla \cdot \vec{B} = 0$$



Ampère  
1775-1836



Gauss  
1777-1855



Faraday  
1791-1867

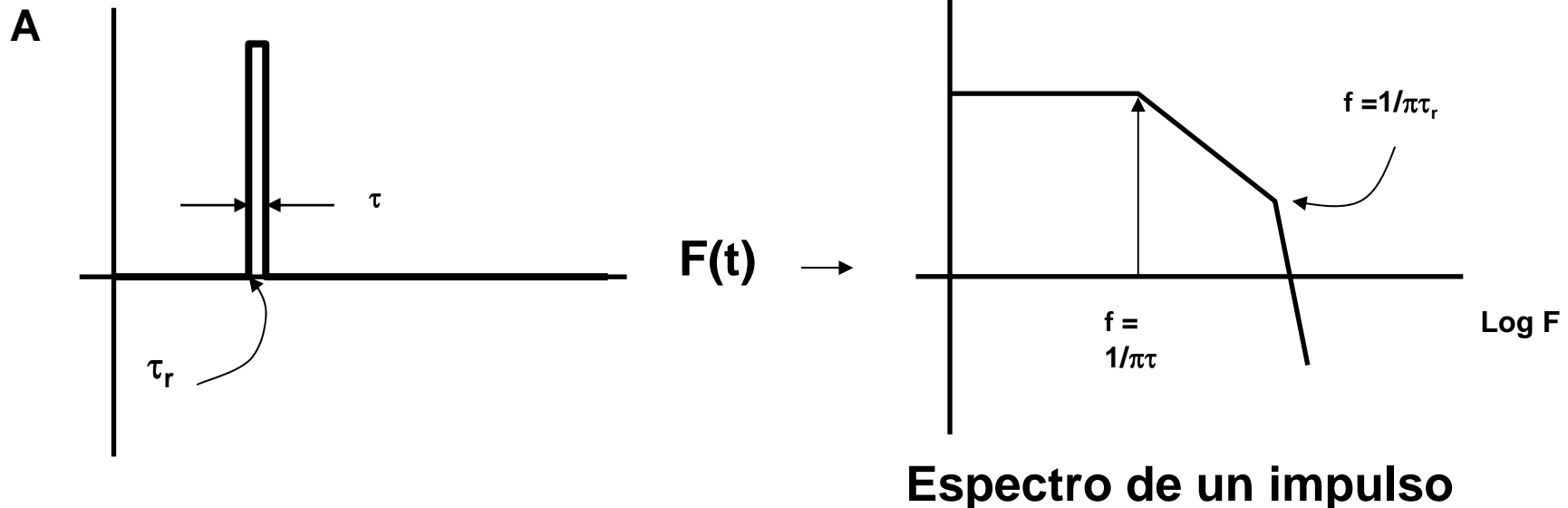
# Fourier: su transformada

Paso del dominio temporal al dominio frecuencial:

Es importante para el análisis de la compatibilidad electromagnética

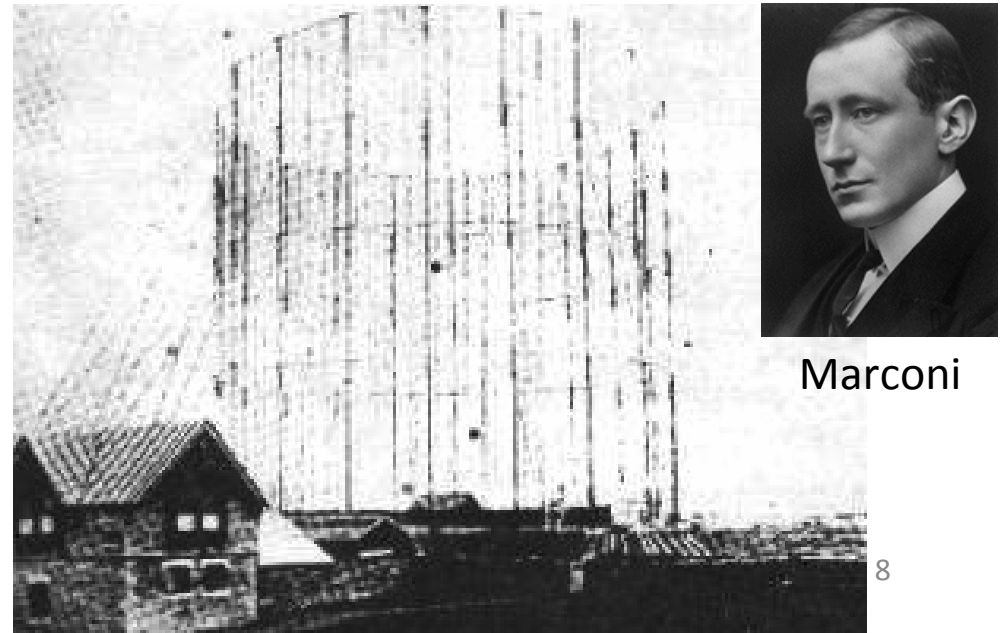


Fourier  
1768-1830



# Breve introducción histórica

- Hacia 1830, los primeros telégrafos ya empezaron a tener problemas de interferencias.
- Los problemas de EMI fueron más importantes cuando se extendió la telefonía y las redes eléctricas hacia 1900 debido a la diafonía entre cables, sobre todo cuando se aumentó la tensión en la distribución de energía eléctrica.
- En 1895 Marconi logró enviar por primera vez señales inalámbricas a una distancia de milla y media, convirtiéndose así prácticamente en el inventor del primer sistema de telegrafía sin cables.
- En 1901, la primera transmisión transatlántica se hizo mediante una malla de cables de cobre. Habían pocos receptores de radio y muy alejados, por lo que los problemas de interferencias no se manifestaban.



# Breve introducción histórica

- Durante la 1ª Guerra Mundial, las radiocomunicaciones tenían problemas con los sistemas de ignición de los motores en los vehículos militares.
- La 2ª Guerra Mundial, con el uso intensivo de las radiocomunicaciones y los radares, provocó un gran desarrollo de la CEM en el ámbito militar.
- En los años 60, los problemas de CEM se centraron en la protección de la difusión de la TV.
- Con el avance de la electrónica y su uso en todos los aspectos de nuestra vida diaria, se hizo necesario el desarrollo de las Directivas y Normas para el control de las emisiones electromagnéticas para, proteger así el espectro radioeléctrico y el buen funcionamiento de todos los equipos electrónicos.
- La actual Directiva Europea en materia de CEM en vigor, de obligado cumplimiento, es la [2004/108/CE](#) (deroga la anterior 89/336/CEE).
- En automoción directiva en vigor es la [2004/104/CE](#).



# Breve introducción histórica

Algunos accidentes importantes debidos a problemas de EMI ocurrieron en:

- 1937: explosión del dirigible Hindenburg debido a una descarga electrostática (ESD) entre la cola y el poste de amarre. El zeppelin se había cargado al navegar entre nubes de tormenta.
- 1967: La alta energía de RF generada por el radar del portaviones Forrestal iluminó un misil de un avión aterrizando, disparándose, alcanzando un avión en cubierta y explotando sus dos bombas. Fue un fallo de inmunidad a alta frecuencia.

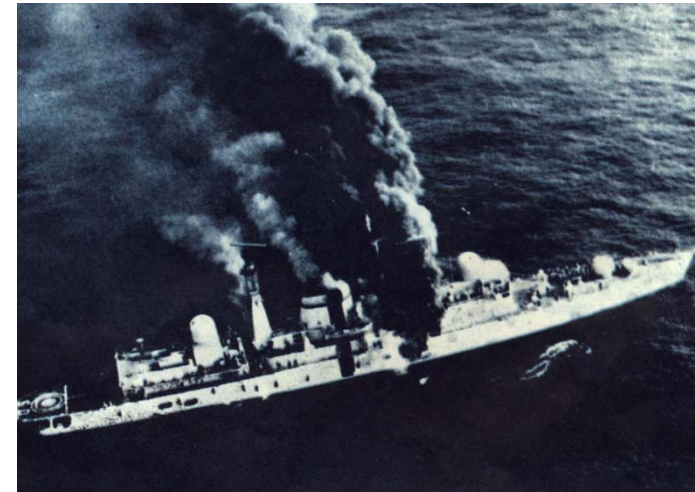


# Historia Agencias Oficiales de Normalización

- El incremento continuo de las frecuencias de funcionamiento de los sistemas electrónicos ha provocado a tener una mayor necesidad del control de la CEM.
- En 1934, en EEUU se creó la **FCC** (**Federal Communications Commission**) para regular el uso de las comunicaciones. En el mismo año siguió la creación de la **VDE** (**Verband Der Elektrotechnik**) alemana y **CISPR** (**Comité International Special des Perturbations Radioelectriques**) con sede en Suiza, dependiente de la **IEC** (**International Electrotechnical Commission**).
- En España, **AENOR** (**Asociación Española de Normalización y certificación**) se creó en 1986, para elaborar normas técnicas españolas (UNE).
- La **ISO** se fundó en 1947 y su central está en Suiza.
- La **SAE** se fundó en 1905 y su sede está en EEUU.

# Historia más reciente

- 1982: Guerra de la Malvinas. El destructor HMS Sheffield es destruido por un misil Exocet. El sistema anti-misiles se debía desconectar cada vez que se debía comunicar con los Harrier, debido su generación de EMI, que impedía su comunicación.
- 1987: Alemania. un helicóptero Sikorsky Blackhawk experimentó movimientos incontrolados de los estabilizadores mientras volaba cerca de una antena de radio de alta potencia.

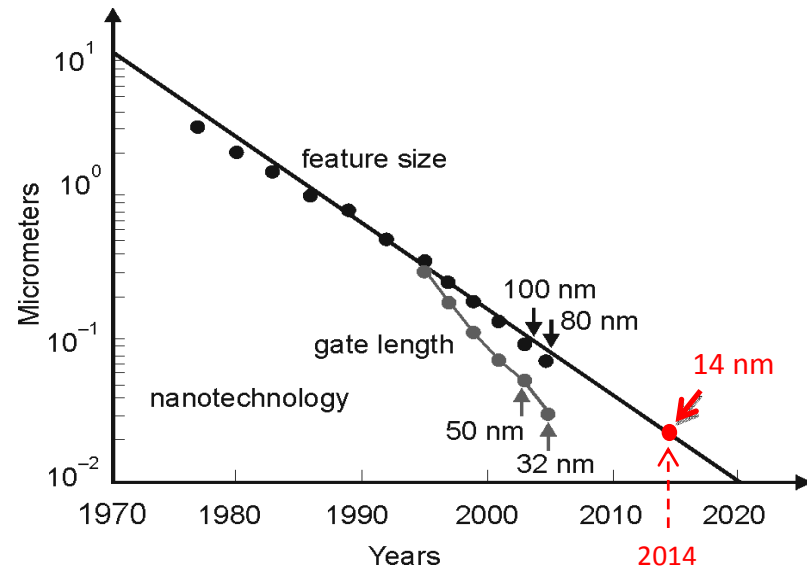


# Tendencias

- Nuestra dependencia de los productos electrónicos cada día es mayor.
- Los vehículos no escapan de esta tendencia y actualmente usan mucha electrónica para controlar sus funcionamiento aportar comodidad al conductor.
- Al usar más electrónica tenemos una mayor contaminación electromagnética.
- Los equipos electrónicos tienden a tener mayor complejidad, miniaturización y menores distancias entre componentes.
- Tenemos una mezcla de sistemas digitales con analógicos y de potencia que debe gestionarse para evitar problemas.

# Tendencias

- Para aumentar la velocidad de procesado y de las comunicaciones, así como su mayor nivel de integración, los circuitos integrados van reduciendo sus dimensiones internas. Canal de silicio: desde las  $\mu$  a los nm.
- Esta reducción de dimensiones conlleva menores distancias internas y con ello mayor intensidad de campo eléctrico interno (**E**).



Miniaturization of a semiconductor devices with time

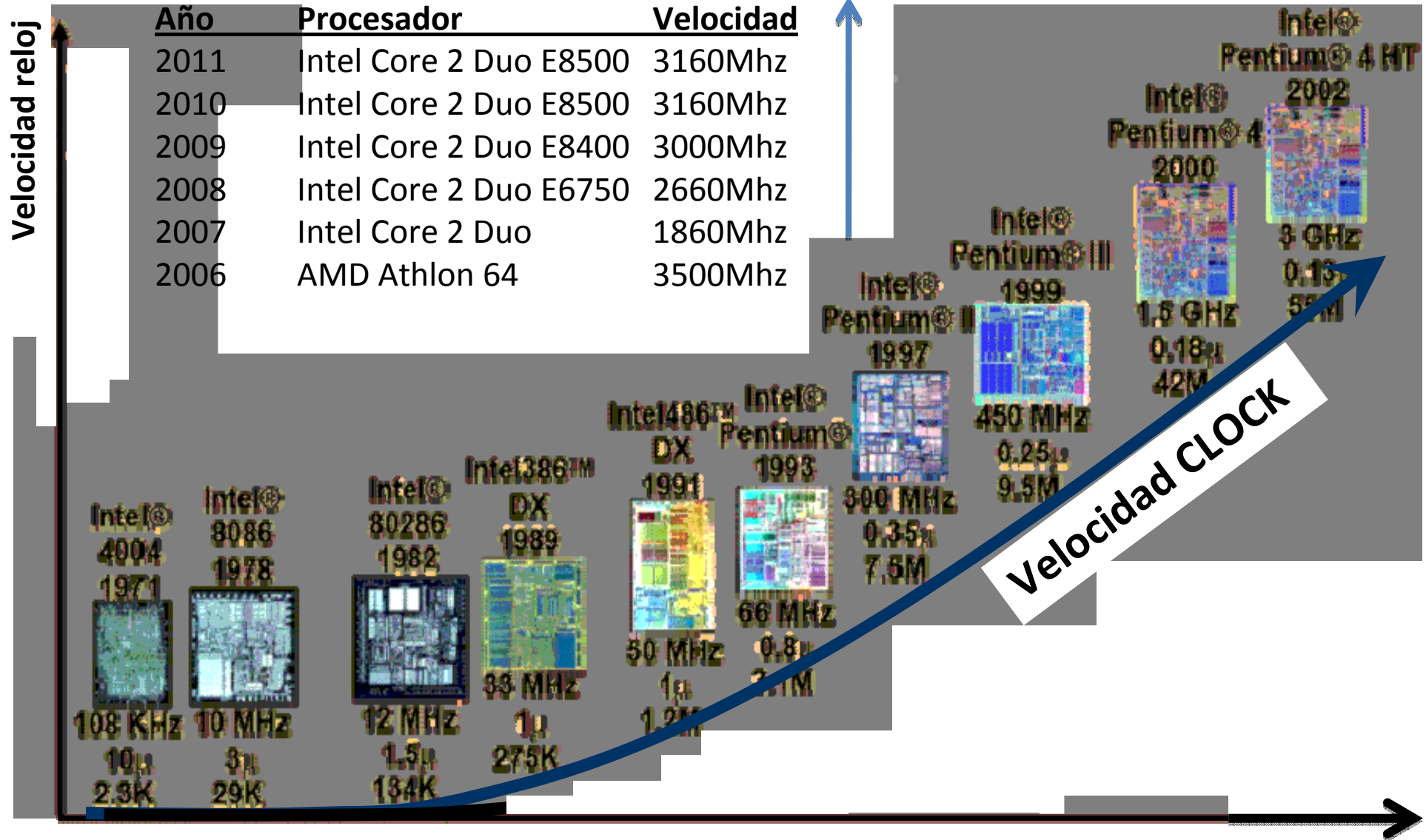
- Para disminuir esta intensidad de campo, que podría ser destructiva, es necesario disminuir la tensión de alimentación de los CIs.: Valores típicos: 5V, 3V3, 3V, 2V85, 2V5, 1V8, 1V2 y ... bajando.
- Al disminuir la tensión de alimentación, disminuye el margen de ruido y con ello la inmunidad a las interferencias.

# Tendencias en los semiconductores

	2000	2005	2010	2015
Longitud puerta Transistor (nm)	130	80	45	25
Frecuencias reloj interno (GHz)	1.2	5	15	33
Frecuencias reloj externo (GHz)	0.7	3	10	29
Flanco de conmutación (ps)	455	106	32	11
Tensión de alimentación (V)	1.9	1.1	1.0	0.8

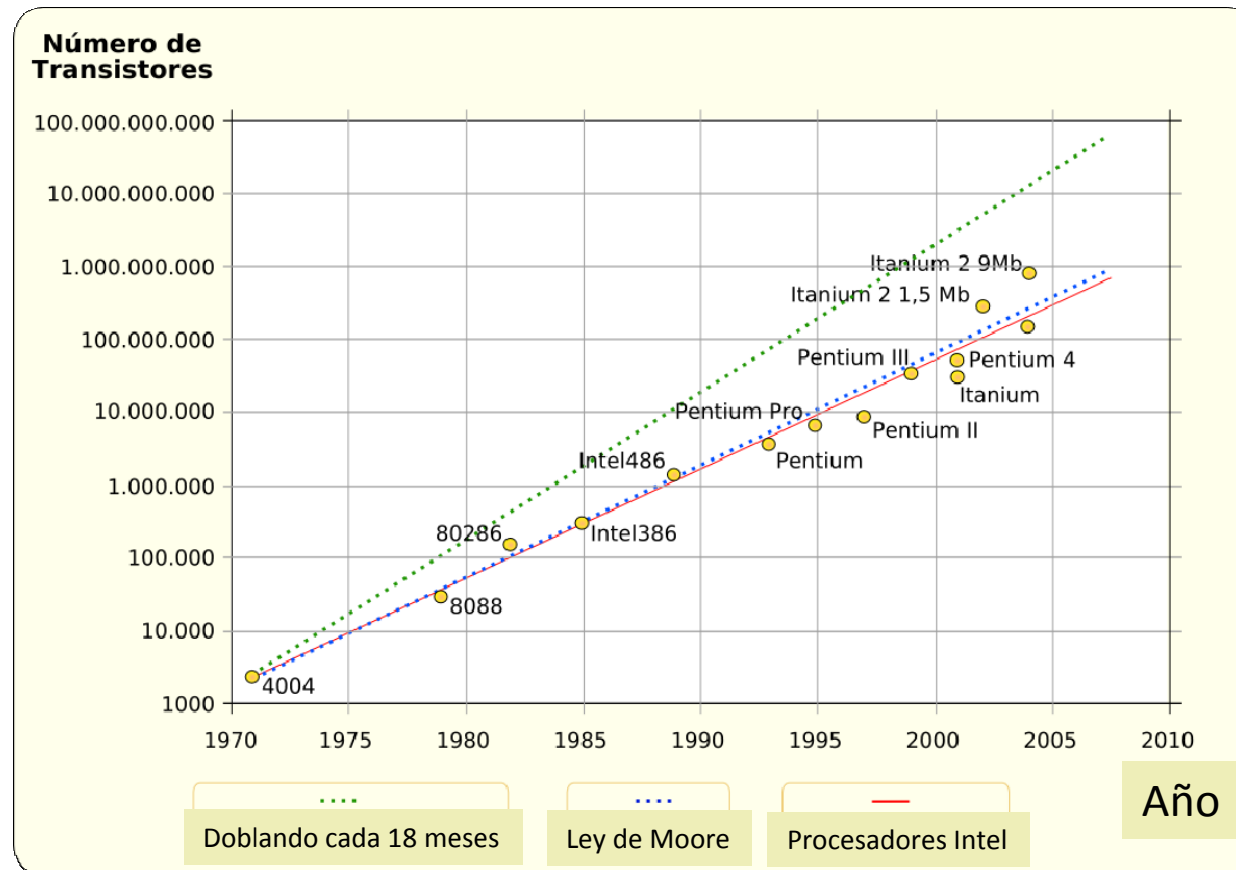


# Evolución de la velocidad de procesamiento hasta 2011



# Mayor integración: Ley de Moore

La **Ley de Moore** expresa que aproximadamente cada 2 años se duplica el número de transistores en un circuito integrado. Es una ley empírica formulada por el cofundador de Intel, Gordon Moore en 1965. Se ha cumplido hasta hoy.





# Mayor complejidad funcional en la automoción que en la aviación

F-35 Joint Strike Fighter



5,7 MILLONES DE LINEAS DE CÓDIGO

Boeing 787 Dreamliner



6,5 MILLONES DE LINEAS DE CÓDIGO

**Vehículo de Alta gama**



**≈ 100 MILLONES DE LINEAS DE CÓDIGO**

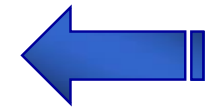
**EL SOFTWARE TAMBIÉN PUEDE AFECTAR A LA COMPATIBILIDAD ELECTROMAGNÉTICA**

# Tendencia: incremento continuo de la complejidad y de las interferencias

Más componentes y microcontroladores



Más BUS'es de comunicaciones



Más funciones



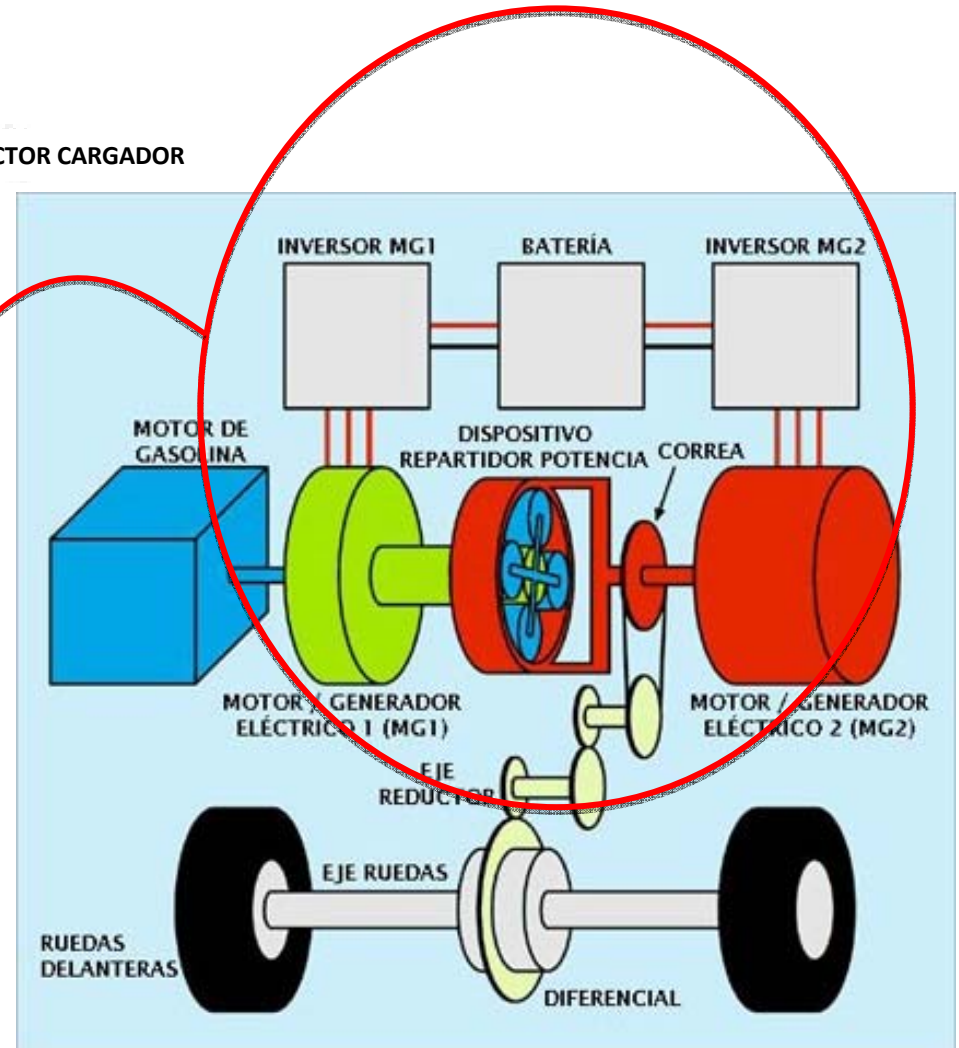
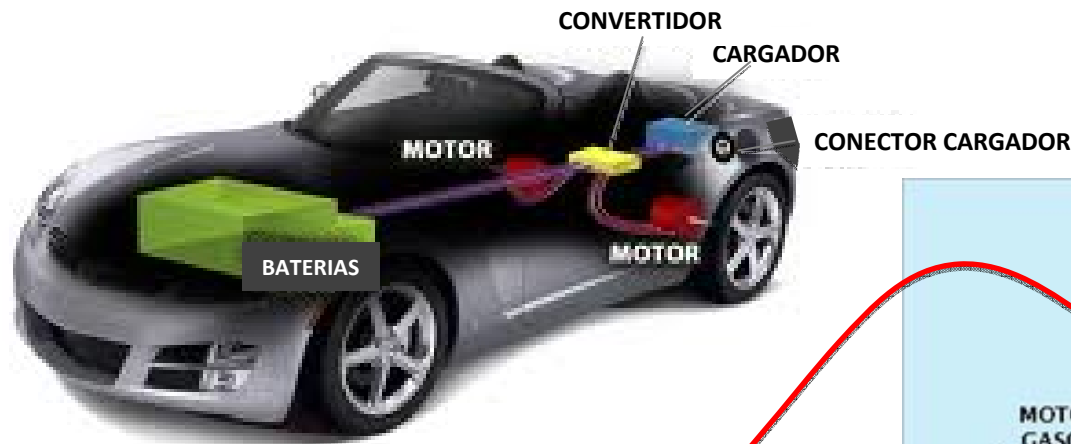
Nuevas localizaciones de nuevas funciones

Aumento de la complejidad

Aumento de la cantidad

**Incremento de las EMI**

# Presente y futuro inmediato en automoción: los coches híbridos y eléctricos





## 2. Ambiente electromagnético y tipología del producto

# Ambiente electromagnético

- Cualquier producto electrónico debe estar diseñado para trabajar correctamente en el ambiente electromagnético donde trabajará.
- Cada tipo de ambiente electromagnético tiene sus normas de CEM correspondientes, de obligado cumplimiento.

# Ambiente electromagnético

- Militar
- Aéreo / Espacial
- **AUTOMOCIÓN**
- Ferroviario
- Médico / hospitalario
- Industrial
- Doméstico



# Tipología del producto



22/10/12

# Sectores afectados

- **AUTOMOCIÓN**
- Aplicaciones Ferroviarias
- Electrodomésticos
- Electrónica Industrial
- Electromedicina y estética
- Energías alternativas
- Informática
- Ingenierías
- Maquinaria Industrial
- Maquinaria para Hostelería
- Material Eléctrico
- Iluminación
- Pesaje
- Megafonía
- Radiocomunicación
- Recreativos
- Seguridad
- Telecomunicaciones
- Telemandos y Teleseñalización
- Militar
- Aéreo / Espacial



# Automoción: pasado y presente

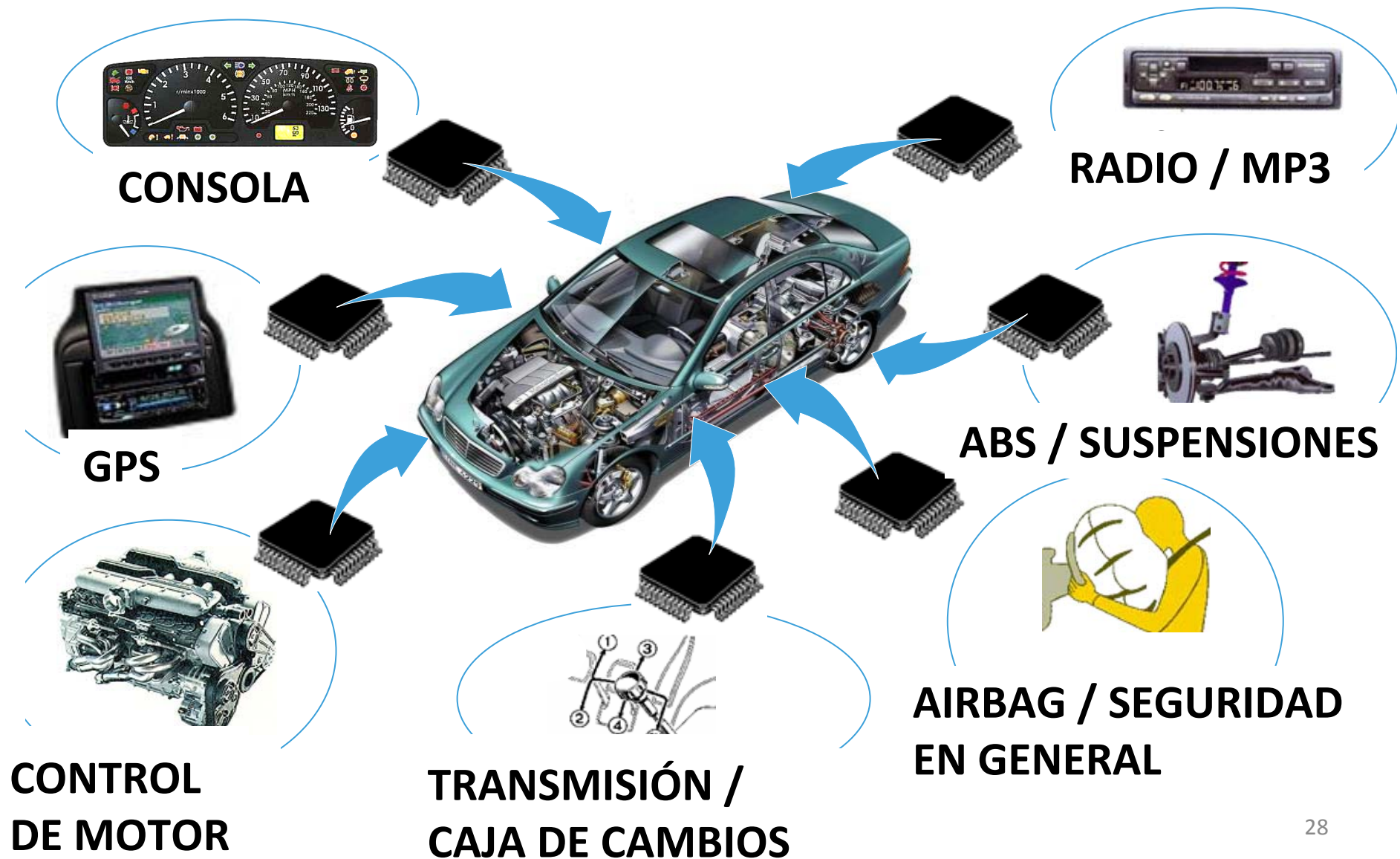
- Hoy los vehículos contienen 200 años de tecnología: empezando por los motores de combustión interna y llegando a los motores eléctricos y la electrónica más compleja.
- Desde las bujías a los sistemas de ayuda al conductor con cámaras digitales y radares (ADAS) radian campos electromagnéticos.



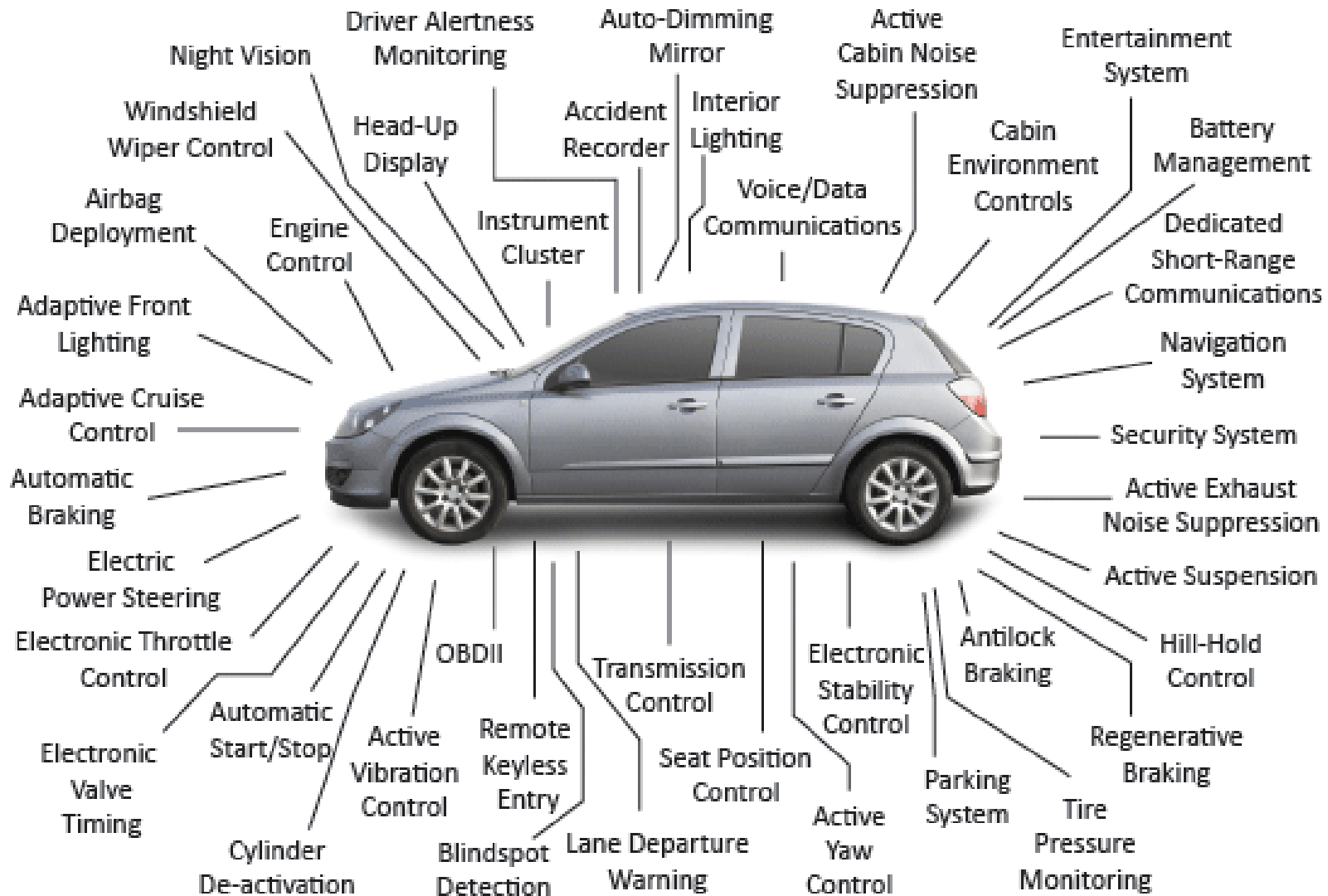
# Complejidad electromagnética interna

- El número de microcontroladores usados en un vehículo aumenta día a día.
- Un BMW serie 7 o un Mercedes clase S llevan unos 100 microcontroladores. Un Volvo S40 lleva unos 60 microcontroladores.
- El número de pequeños motores de corriente continua es de unos 12.
- También se usan motores de corriente alterna cuando se necesita potencia: por ejemplo, el sistema de ayuda a la dirección.

# Los microcontroladores controlan muchas funciones en un vehículo



# La complejidad dificulta la CEM



# Requerimientos en la automoción

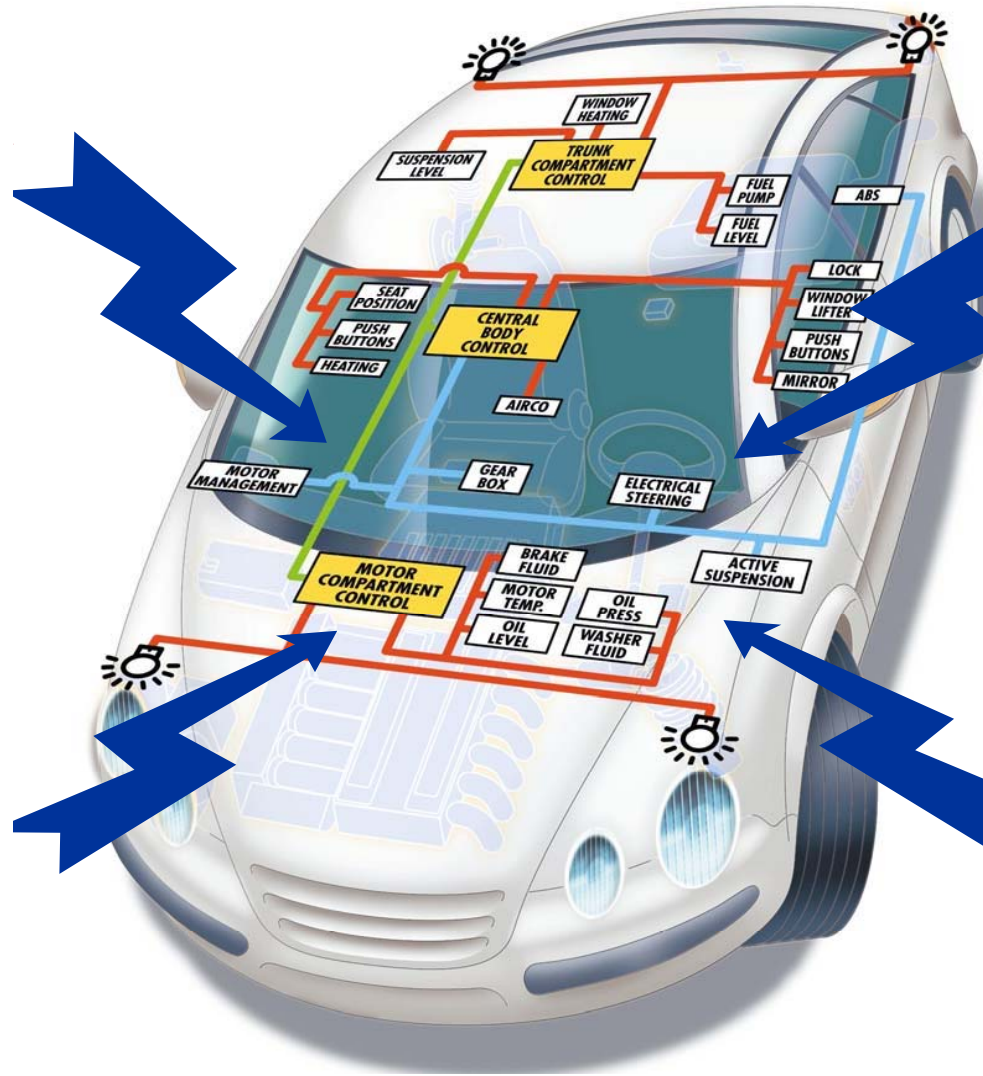
Robustez a errores

Calidad y seguridad

**CEM:**

Bajas emisiones, alta inmunidad

Alta variación de temperatura





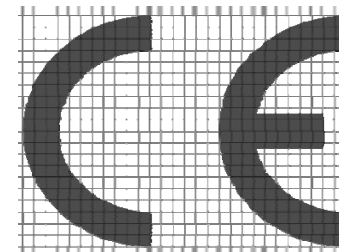
### 3. Elementos intervinientes en un problema de CEM

# Definiciones

- La **compatibilidad electromagnética (CEM ó EMC)** es la habilidad de un sistema, equipo o producto de funcionar correctamente, sin causar interferencias electromagnéticas a otros equipos pero, al mismo tiempo, ser insensible a las emisiones que puedan causarle otros sistemas.
- Las **interferencias electromagnéticas (EMI)** se definen como la energía electromagnética proveniente de sus generadores que afecta adversamente en su entorno, creando respuestas indeseables como funcionamiento degradado del sistema receptor. Pueden ser continuas o transitorias.

# Definiciones

- La **susceptibilidad electromagnética** es la falta de habilidad de un sistema electrónico para funcionar correctamente sin degradación en presencia de una interferencia electromagnética. La susceptibilidad se caracteriza como una falta de **inmunidad**.
- El **Marcado CE o marca CE o de Conformidad Europea** es la marca europea para ciertos grupos de servicios o productos industriales. Se apoya en la actual directiva 2004/108/CE. Es el testimonio por parte del fabricante de que su producto cumple con los mínimos requisitos legales y técnicos en materia de seguridad de los Estados miembros de la Unión Europea.





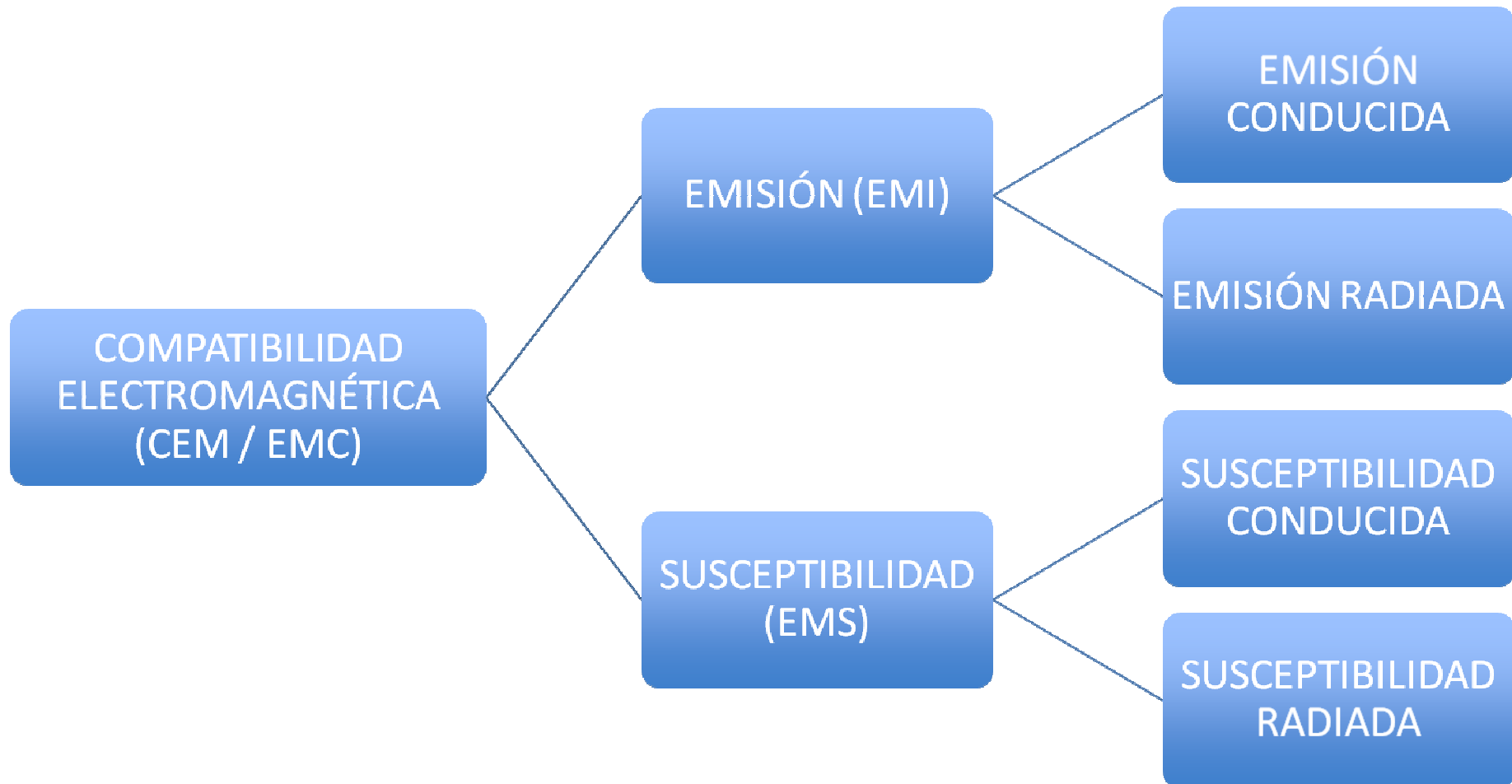
# Tres reglas básicas del buen diseño

- Las **tres reglas básicas del buen diseño** de un equipo electromagnéticamente compatible son:
  - El equipo no es susceptible a emisiones de otros equipos.
  - El equipo no se causa interferencias a si mismo.
  - El equipo no causa interferencias a otros equipos.

# Definiciones nivel conformidad

- **Pre-certificación:** Comprobación del cumplimiento de una normativa con ensayos realizados en una entidad no oficial a tales efectos. Ejemplos: Laboratorios y empresas que dispongan de la instrumentación adecuada.
- **Certificación:** Comprobación del cumplimiento de una normativa con ensayos realizados en una entidad oficial a tales efectos (“Competent Body”)
- **Homologación:** Aprobación oficial de un producto, que “cumple” unas normativas aplicables en el país que se vende. La homologación la realiza una agencia oficial. Ejemplo: Ministerio de Industria.

# Clasificación de la CEM



# Esquema básico



**ACOPLAMIENTO POR CONDUCCIÓN** (Cables)

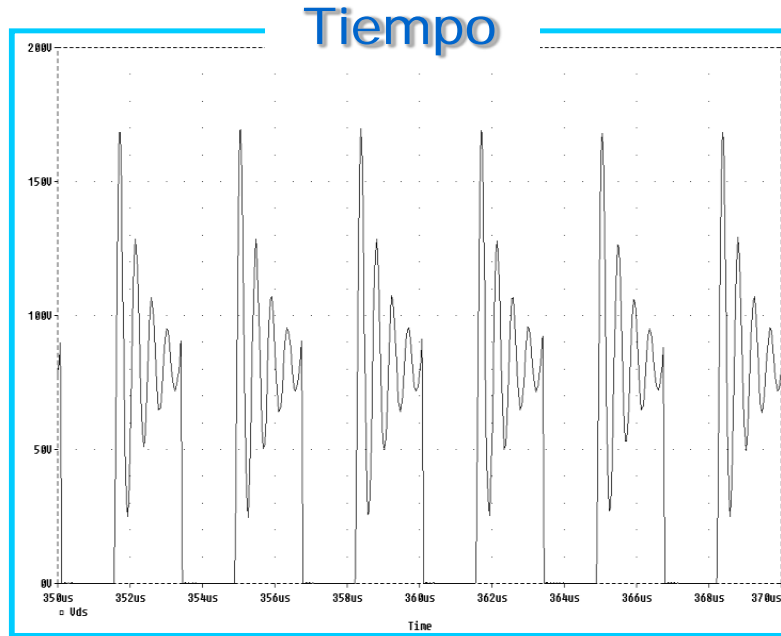
**ACOPLAMIENTO INDUCTIVO** (Campo magnético)

**ACOPLAMIENTO CAPACITIVO** (Campo eléctrico)

**ACOPLAMIENTO POR RADIACIÓN** (Campo electromagnético)

- Cualquier problema de CEM tiene uno o varios generadores, uno o varios acoplamientos y uno o varios receptores de interferencias, que frecuentemente no son fáciles de identificar.
- Tenemos un problema de CEM cuando la energía electromagnética recibida causa en el receptor un comportamiento indeseado, o si se superan los límites de emisión o susceptibilidad establecidos por las normas.

# Tiempo / Frecuencia

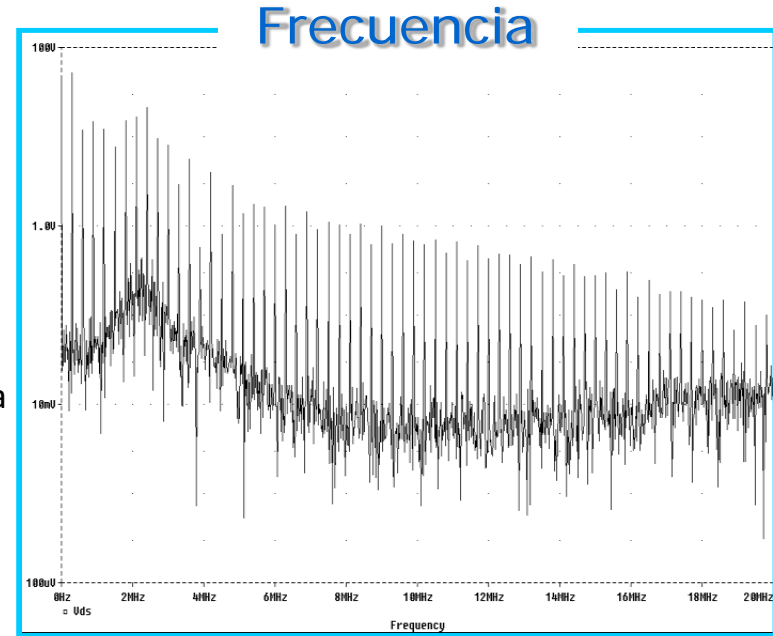


OSCILOSCOPIO

FFT



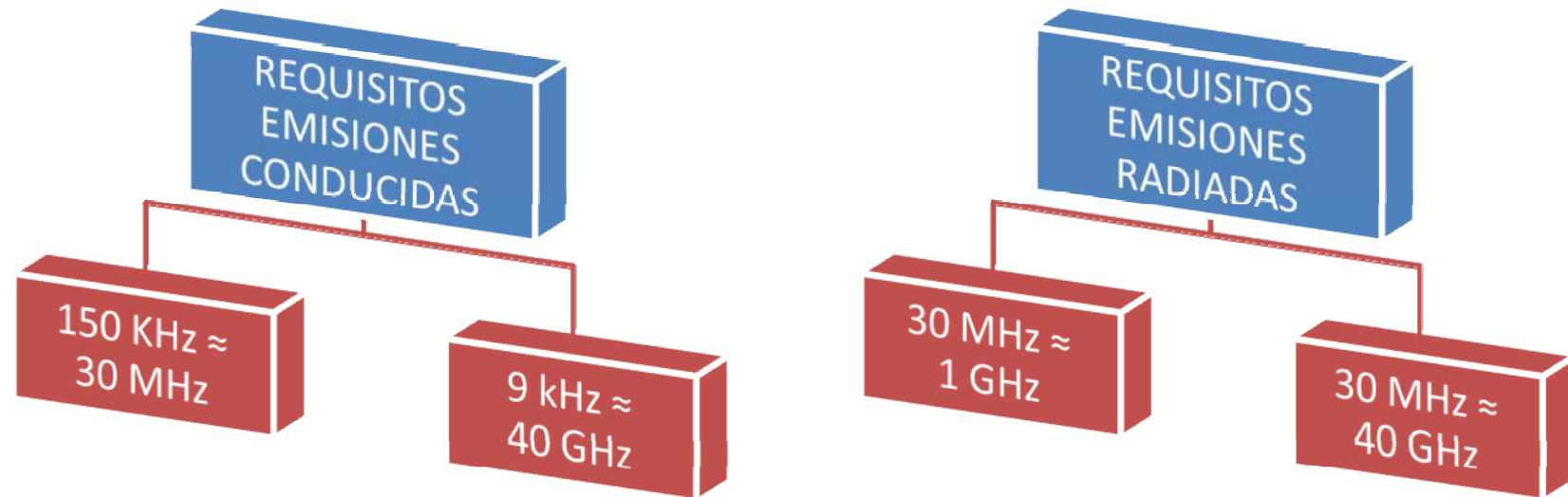
Transformada  
Rápida de  
Fourier



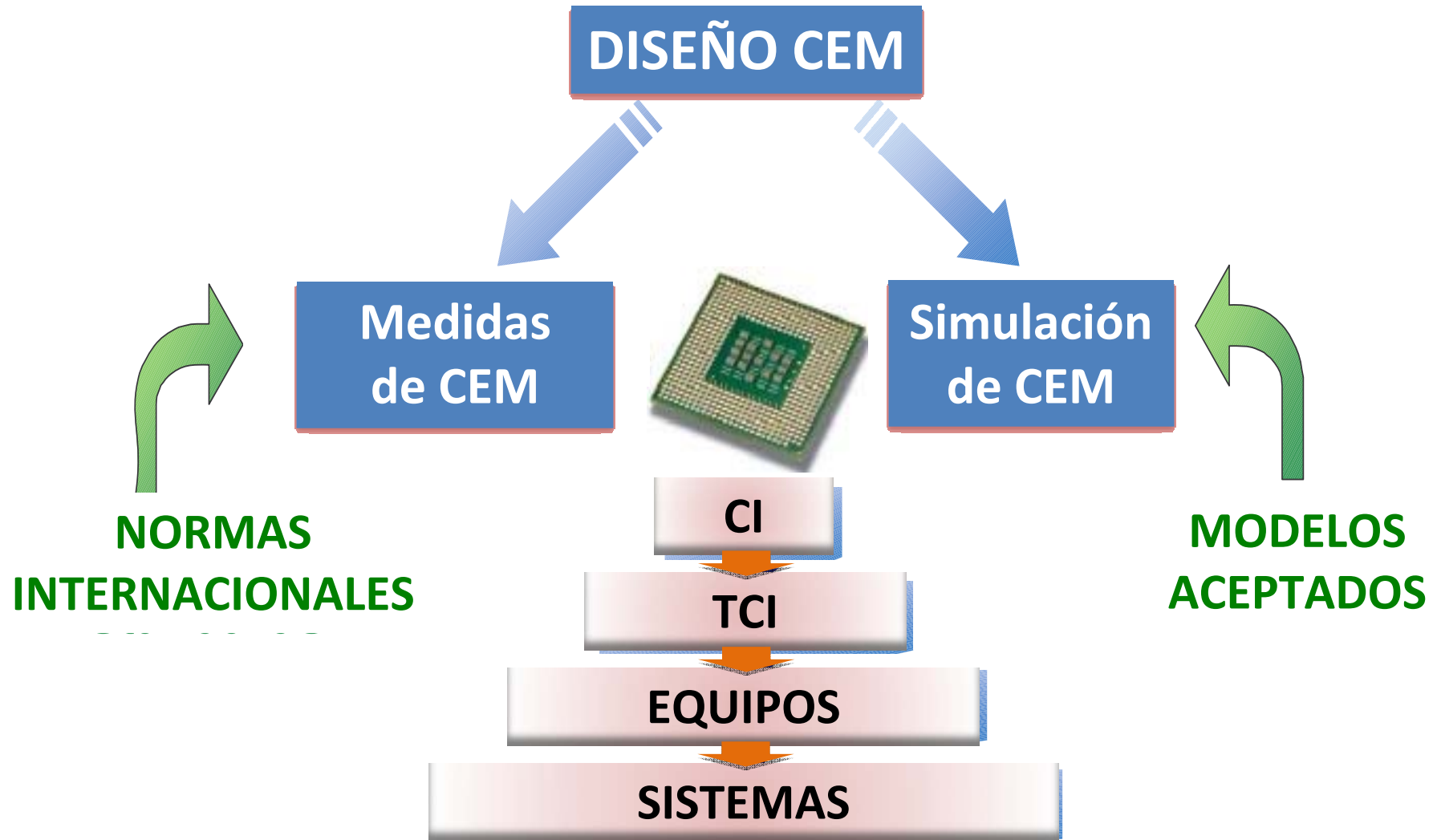
ANALIZADOR DE ESPECTROS

En el ámbito de la compatibilidad electromagnética es más práctico considerar el dominio de la frecuencia que el dominio del tiempo

# Margen de frecuencias



# El contexto de la CEM





## 4. Generadores de interferencias



# Emisor de interferencias

- Un **emisor de interferencias (EMI)** es un radiador electromagnético interno o externo al sistema, natural o artificial, con suficiente intensidad como para afectar a elementos de varios sistemas electrónicos (receptores), provocando mal funcionamiento.
- Pueden ser intencionales (ej.: transmisor de radio, TV, comunicaciones) o no intencionales (motor DC).



# Generadores de interferencias (EMI)

	Tipo	Ejemplo
<b>GENERADORES NATURALES DE INTERFERENCIAS</b>	Terrestre	Rayos Relámpagos Descargas electrostáticas ( ESD )
	Extraterrestre	Energía solar Rayos cósmicos Ruido estelar
<b>GENERADORES ARTIFICIALES DE INTERFERENCIAS</b>	Sistemas eléctricos	Motores y generadores Líneas de distribución y transporte Aparallaje eléctrico Hornos de arco Equipos de soldadura Iluminación
	Sistemas electrónicos	Equipos de comunicación Radar Computadores y sistemas de control Fuentes de alimentación y accionadores Sistemas industriales
	Otros sistemas	Sistemas de encendido, bujías Sistemas de ultrasonidos Pulso nuclear

# Ejemplos de fuentes exteriores al vehículo

- Estamos rodeados de antenas de telecomunicaciones.
- Aparte de las emisoras de Radio y TV, la telefonía móvil ha llegado a todo el territorio.
- Los vehículos deben circular entre transmisores muy potentes y deben quedar afectados.
- Los teléfonos móviles también son fuentes de EMI importantes por estar más cercanos a los posibles elementos receptores de EMI.



# Dispositivos electrónicos que pueden ser generadores de EMI

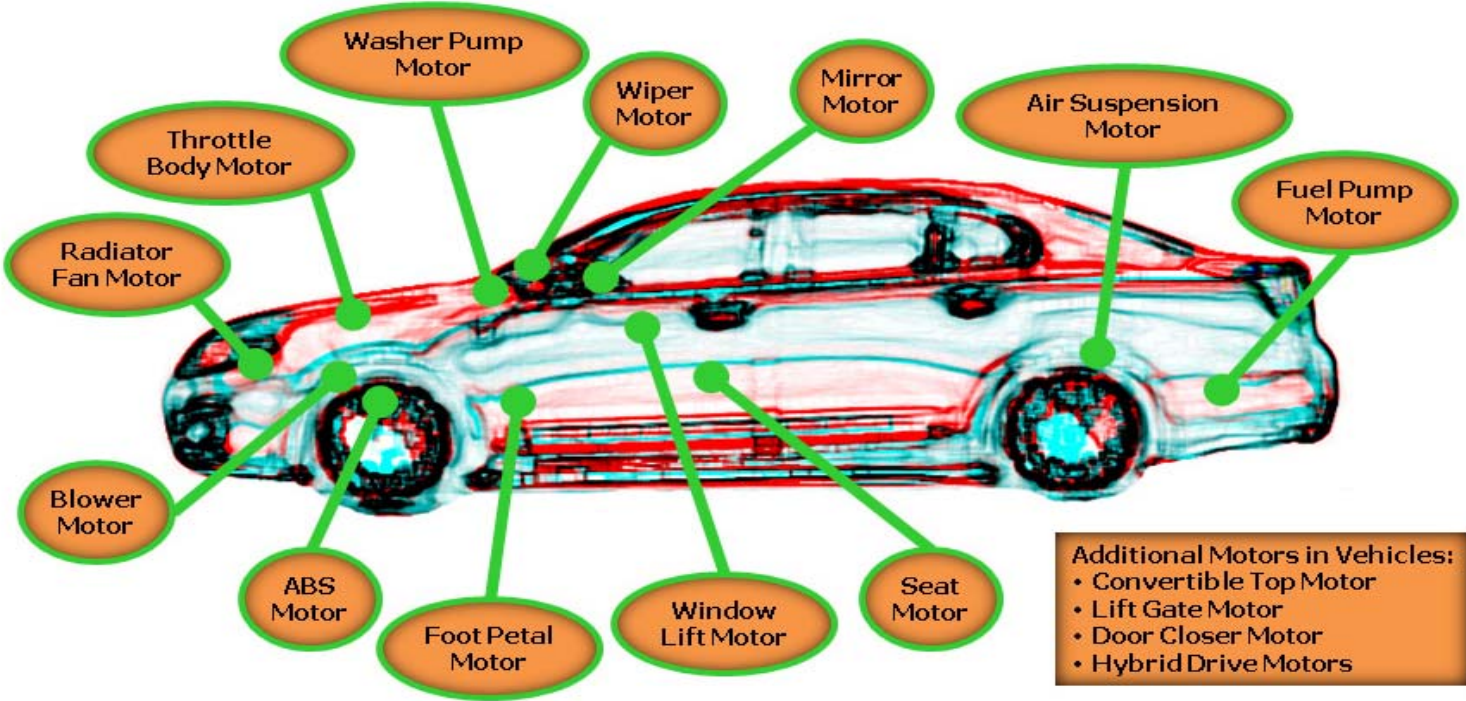


- Mando a distancia puerta garaje
- Llave puerta vehículo
- Teléfonos móviles con Bluetooth
- Dispositivos con Bluetooth
- Reproductores MP3 con wifi
- Consolas de juegos con wifi
- Navegadores no integrados
- Antenas de TV y radio con transmisores de alta potencia

**EMI de banda estrecha: alta energía a frecuencias determinadas**

# Motores de corriente continua y bujías:

**EMI de banda ancha: Energía repartida con un amplio espectro de frecuencias**

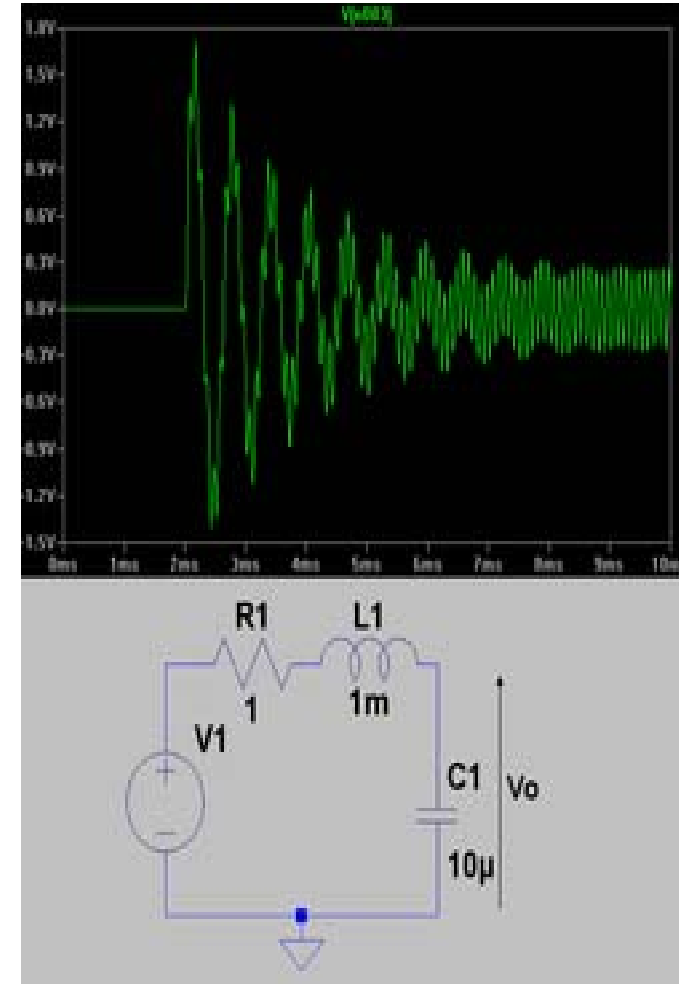


# Ambiente electromagnético en un vehículo

- Las fuentes de EMI pueden ser internas o externas.
- Sus frecuencias van desde 1 Hz a las microondas, con altas intensidades de campo eléctrico y magnético.
- Podemos llegar a medir internamente campos desde 1 a 100V/m.
- Algunos campos exteriores pueden llegar también a más de 110V/m.

# Transitorios debidos a las conmutaciones

- Los transitorios en las conmutaciones de cargas pueden generar tensiones 5-15 veces mayores a la tensión de batería (unos 180V para 12V).
- Son la consecuencia de muchas cargas inductivas en el vehículo.
- Deben protegerse todas las líneas de alimentación y algunas líneas de E/S más sensibles.
- Son necesarias las protecciones contra las sobretensiones, el “load dump” (desconexión de la batería (desde 28V a 70V) y la inversión de la conexión de la batería.



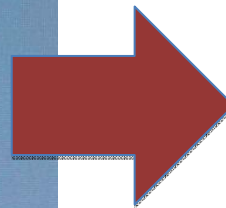
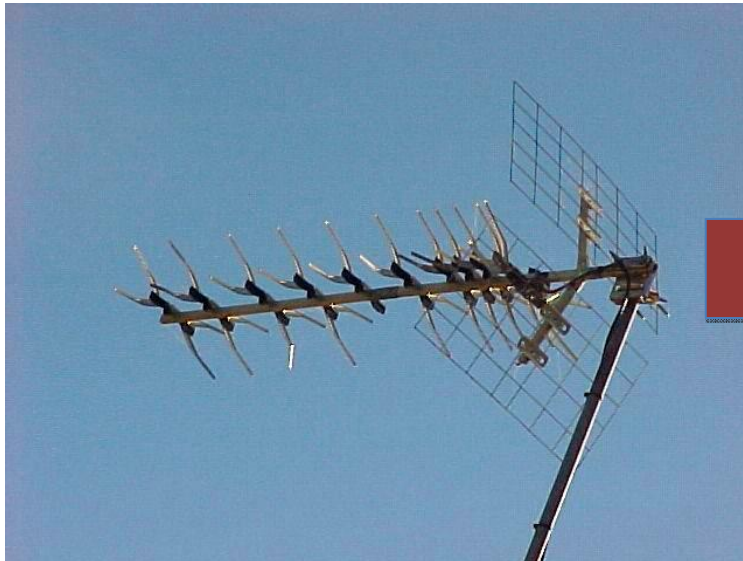


## 5. Receptores de interferencias



# Receptor de interferencias

- Un **receptor de interferencias (EMI)** es un componente o circuito de un sistema electrónico que recibe las interferencias no deseadas del emisor de interferencias, de forma conducida o radiada, afectando al buen funcionamiento del sistema.



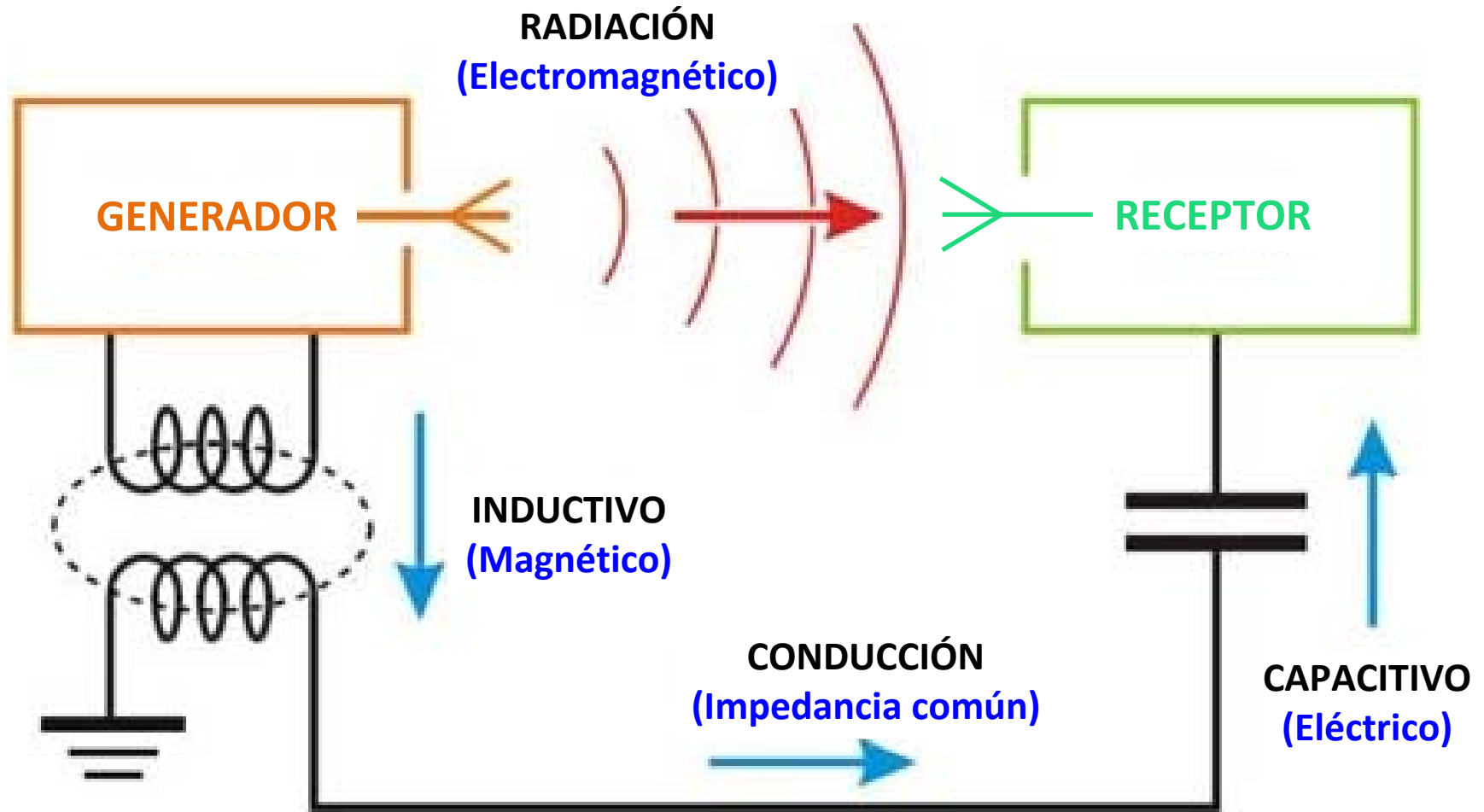


## 6. Acoplamiento de interferencias

# Acoplamientos según el origen del problema de CEM

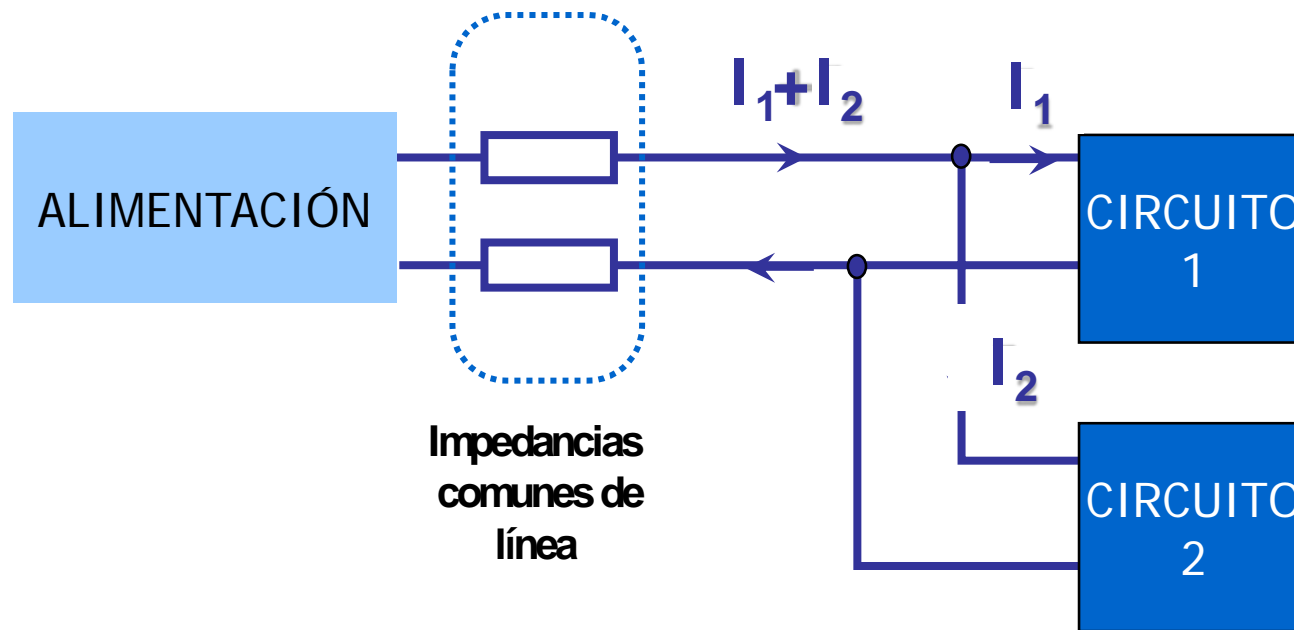
- **INTRASISTEMA:** El acoplamiento se produce entre partes o componentes de un mismo equipo. Ej: entre un motor y su control digital.
- **INTERSISTEMA:** La interferencia aparece entre dos equipos que pertenecen a un mismo sistema. Ej: Entre un ordenador y monitor.
- **ENTRE EQUIPOS INDEPENDIENTES:** El problema aparece entre dos equipos totalmente independientes. Ej: entre una batidora y un televisor.

# Mecanismos de acoplamiento



# Acoplamiento por conducción

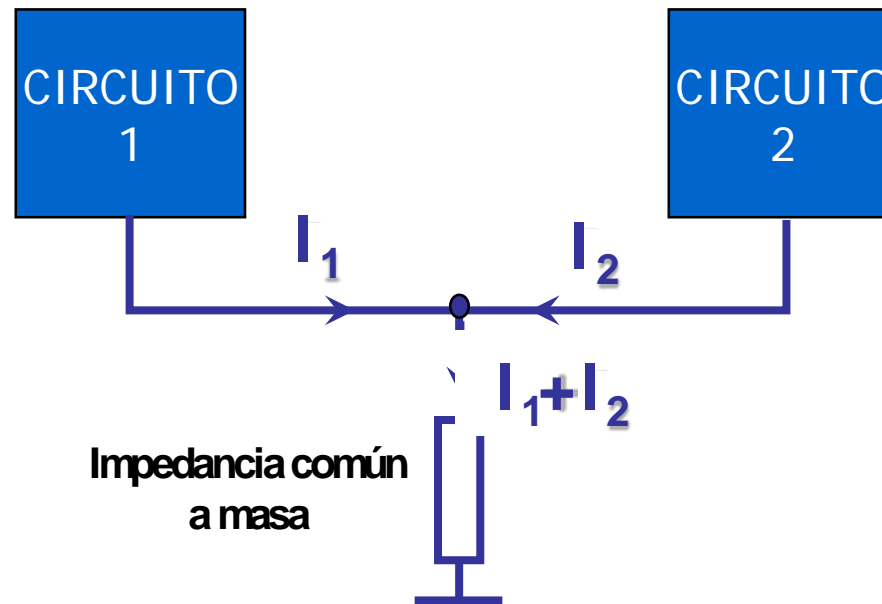
## Impedancia común en la línea



- La interferencia conducida depende de las impedancias comunes en la línea

# Acoplamiento por conducción

## Impedancia común a masa



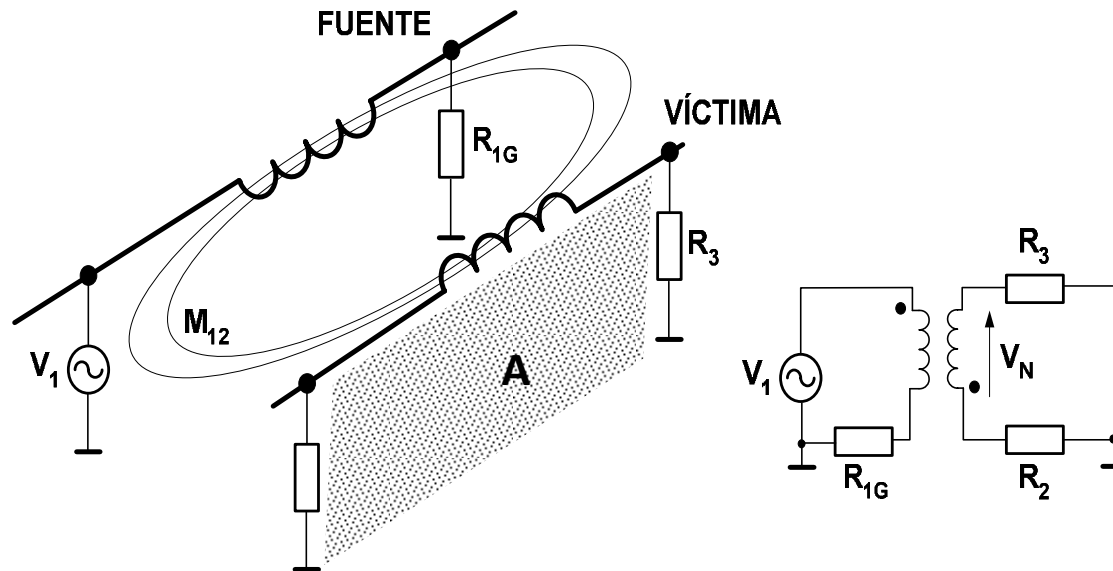
- La interferencia conducida depende de la impedancia común a masa

# La masa y el chasis

- A veces todavía se piensa que la masa puede ser el chasis del vehículo.
- La masa es el retorno de todas las señales para cerrar los circuitos.
- La masa debe estar bien diseñada para evitar problemas de CEM.
- Cada señal debe tener su retorno bien diseñado.
- El chasis nunca debe ser el retorno de las señales.
- Se debe evitar que circulen corrientes por el chasis. No podemos asegurar tener una baja impedancia en el chasis.

# Acoplamiento inductivo

## Campo magnético (campo cercano)



$$V_N = M_{12} \frac{dI_1}{dt}$$

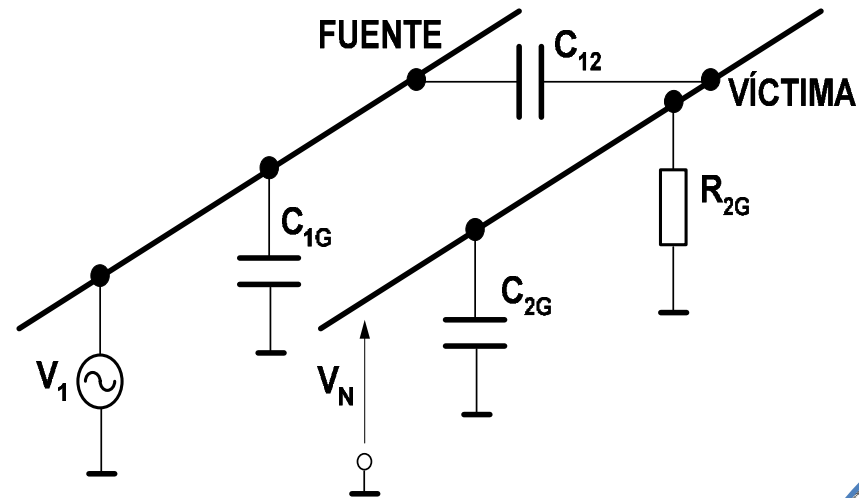
$M_{12}$  : INDUCTANCIA MÚTUA

- ES MAS INTENSO A BAJAS FRECUENCIAS Y BAJAS IMPEDANCIAS
- CRECE AL AUMENTAR LA INDUCTANCIA MÚTUA ( $M_{12}$ )

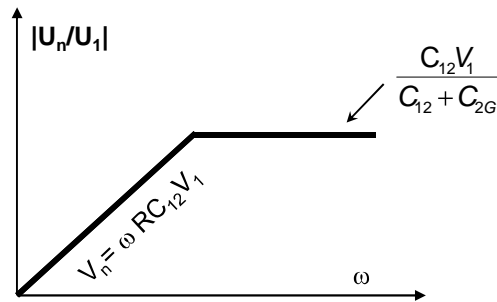


# Acoplamiento capacitivo

## Campo eléctrico (campo cercano)



Ganancia en frecuencia

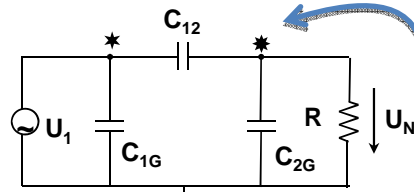


Señal ruidosa en \* crece con

Acoplamiento (Capacidad C12)

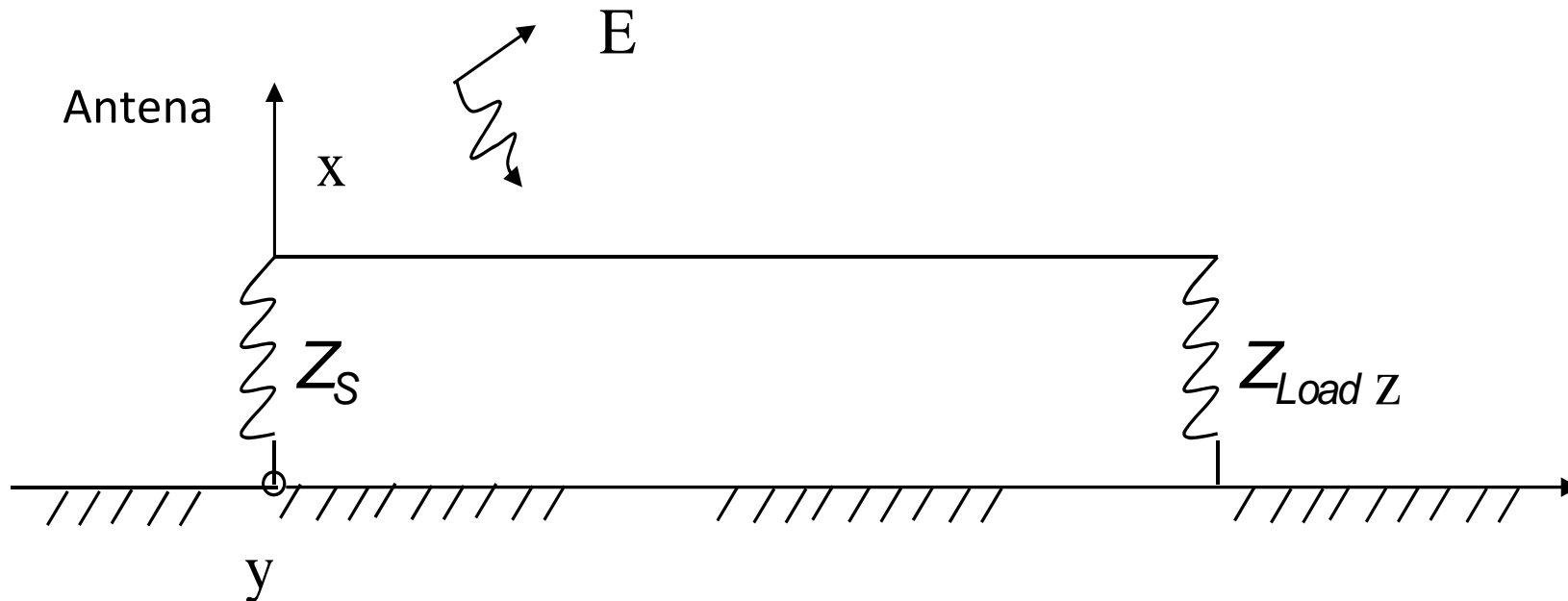
Frecuencia de la señal ( $\omega$ )

Impedancia \* - tierra (R)



# Acoplamiento por radiación

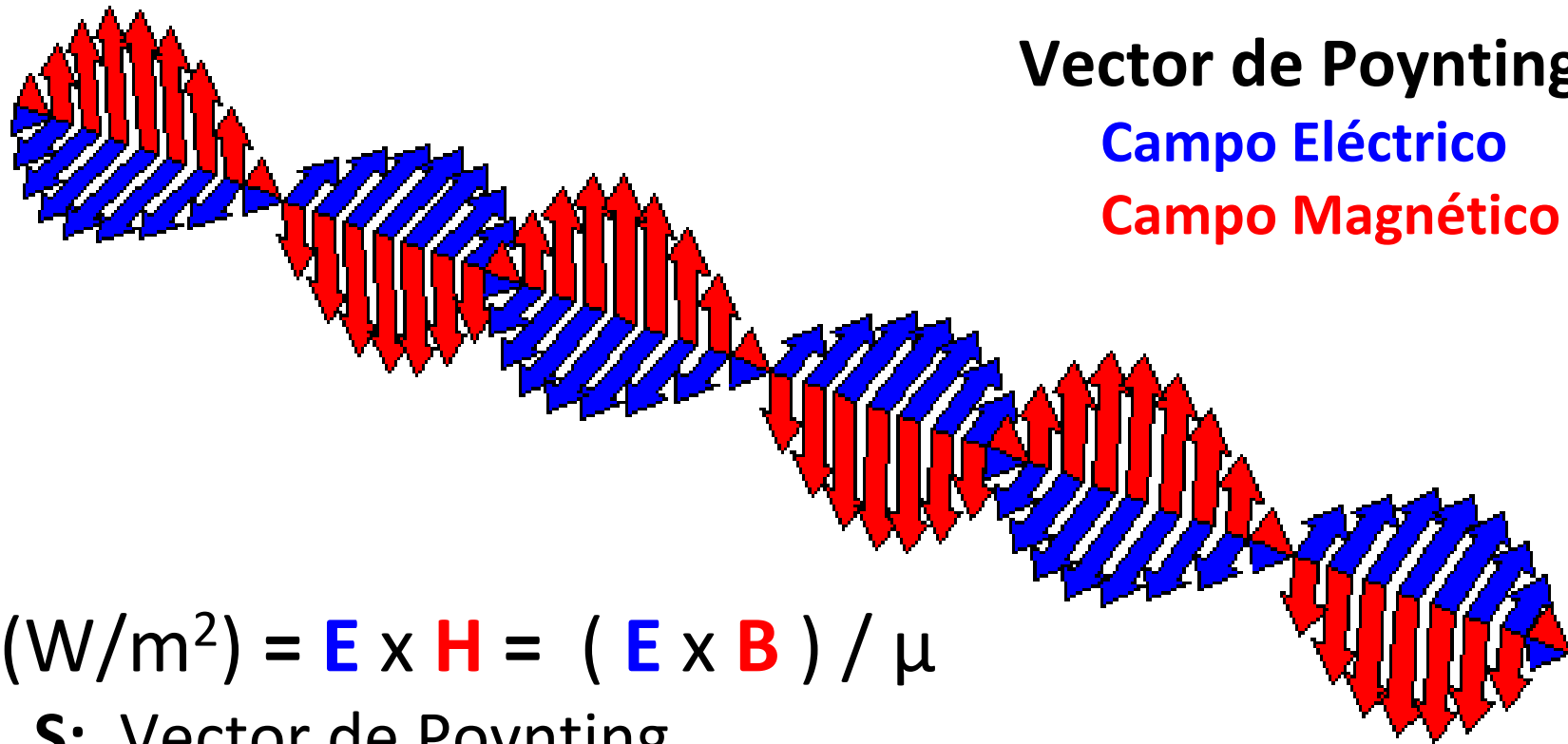
## Campo electromagnético (campo lejano)



$$V_{Load} = E_{Ext} \times Ganancia$$

El valor de *Ganancia* se estima mediante las líneas de transmisión y la teoría de antenas

# Radiación electromagnética



Vector de Poynting:

Campo Eléctrico

Campo Magnético

$$\mathbf{S} \text{ (W/m}^2\text{)} = \mathbf{E} \times \mathbf{H} = (\mathbf{E} \times \mathbf{B}) / \mu$$

**S:** Vector de Poynting

**E:** Campo eléctrico

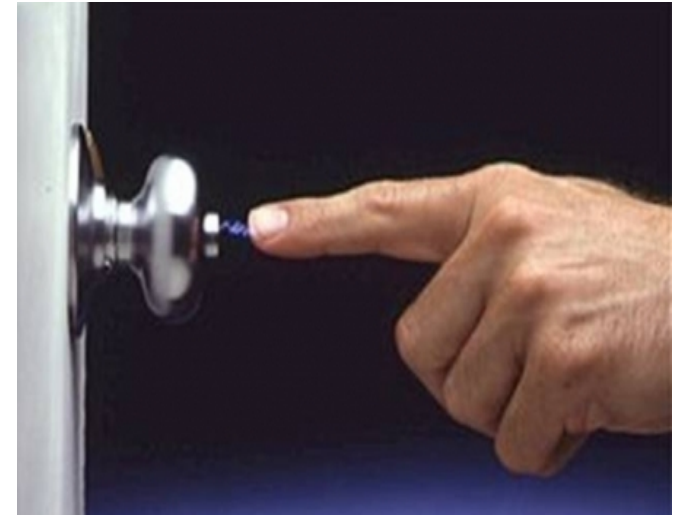
**H:** Campo magnético

**B:** Inducción magnética

$\mu$ : Permeabilidad magnética

# Descargas electrostáticas (ESD)

- Las cargas electrostáticas se generan en los aislantes por rozamiento.
- Provocan fallos sobre los equipos y una posible destrucción a través del efecto “latch-up”.
- El cuerpo humano puede llegar a cargarse a 35 kV solo caminando por una moqueta en un ambiente seco con un 20% o 30% de humedad.



# Efectos descargas electrostáticas

## LAS DESCARGAS PROVOCAN:

La creación campo eléctrico  $E$   
Intenso.

Corrientes de descarga de arco.

## EFFECTOS:

Posible ruptura de dieléctricos.

Mal funcionamiento de los  
equipos y destrucción.



# Descargas electrostáticas en vehículos

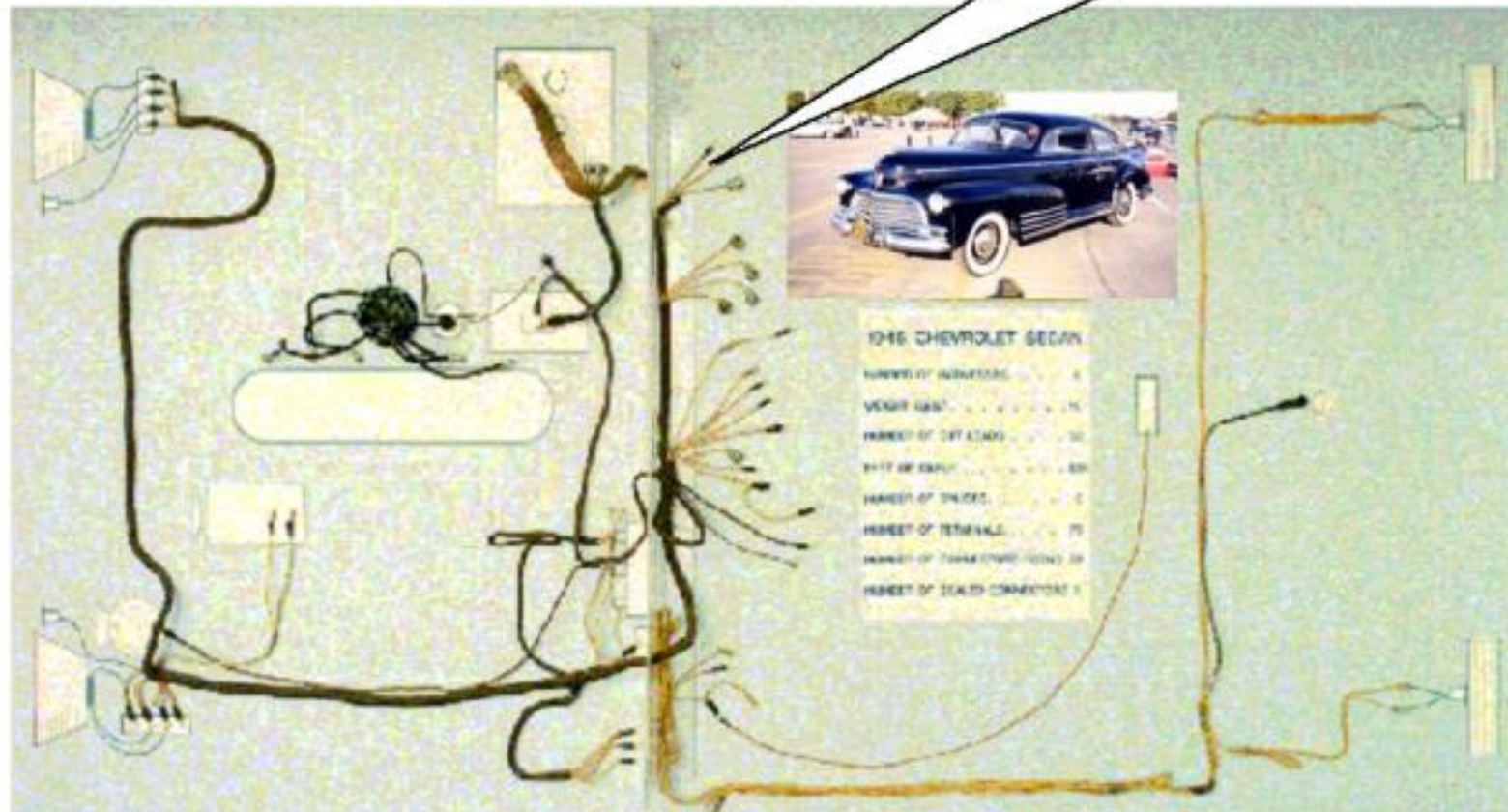
- Podemos tener tener efectos de las ESD, con pequeñas chispas:
  - Al cargar combustible (se han dado casos de incendio), especialmente en días secos y fríos. (<http://www.youtube.com/watch?v=GWC8F-89zZU>). Deberíamos descargarnos antes de coger la manguera de combustible y no entrar de nuevo dentro mientras el está la manguera cargando combustible.
  - Al abrir la puerta del vehículo.
- Algunos vehículos llevan unas tiras rozantes con el suelo para ir descargándolo. Últimamente los neumáticos pueden llevar carga metálica para ir descargando la carga del vehículo
- En los asientos se usan materiales antiestáticos para evitar la carga.
- Depende del tipo de tejido en nuestra vestimenta tendremos más o menos propensión a cargarnos estáticamente.



## 7. El cableado en el automóvil

# Arquitectura típica de un vehículo de 1946

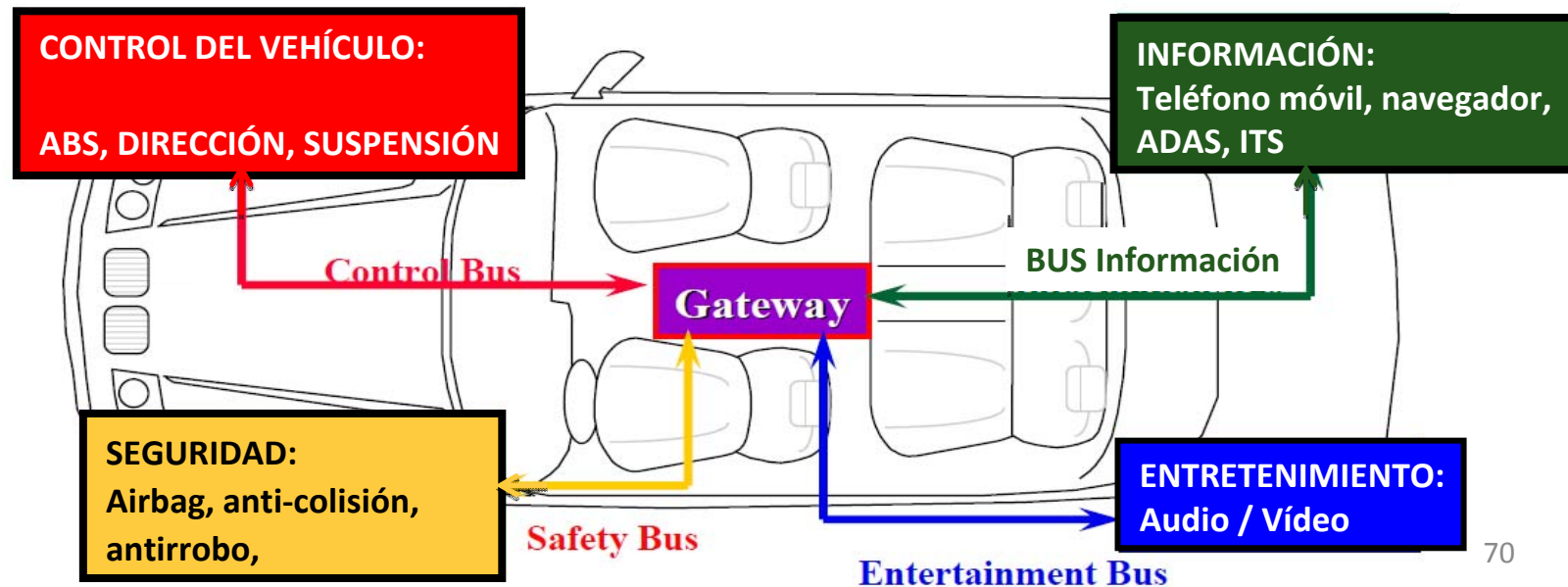
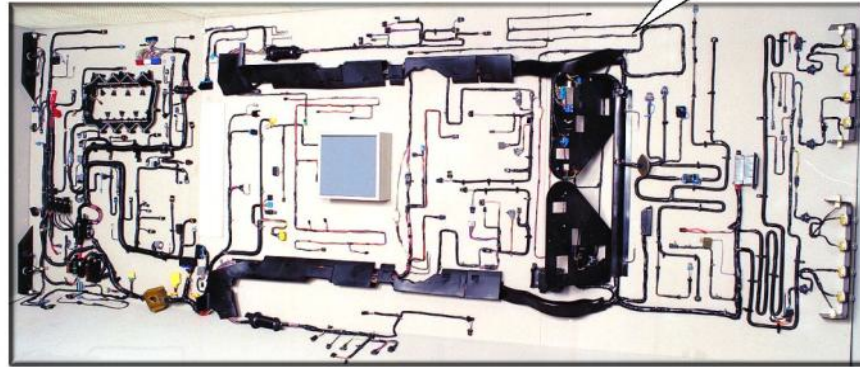
- Menos de 100 terminales
- La mayoría tipo “paella” o anillo



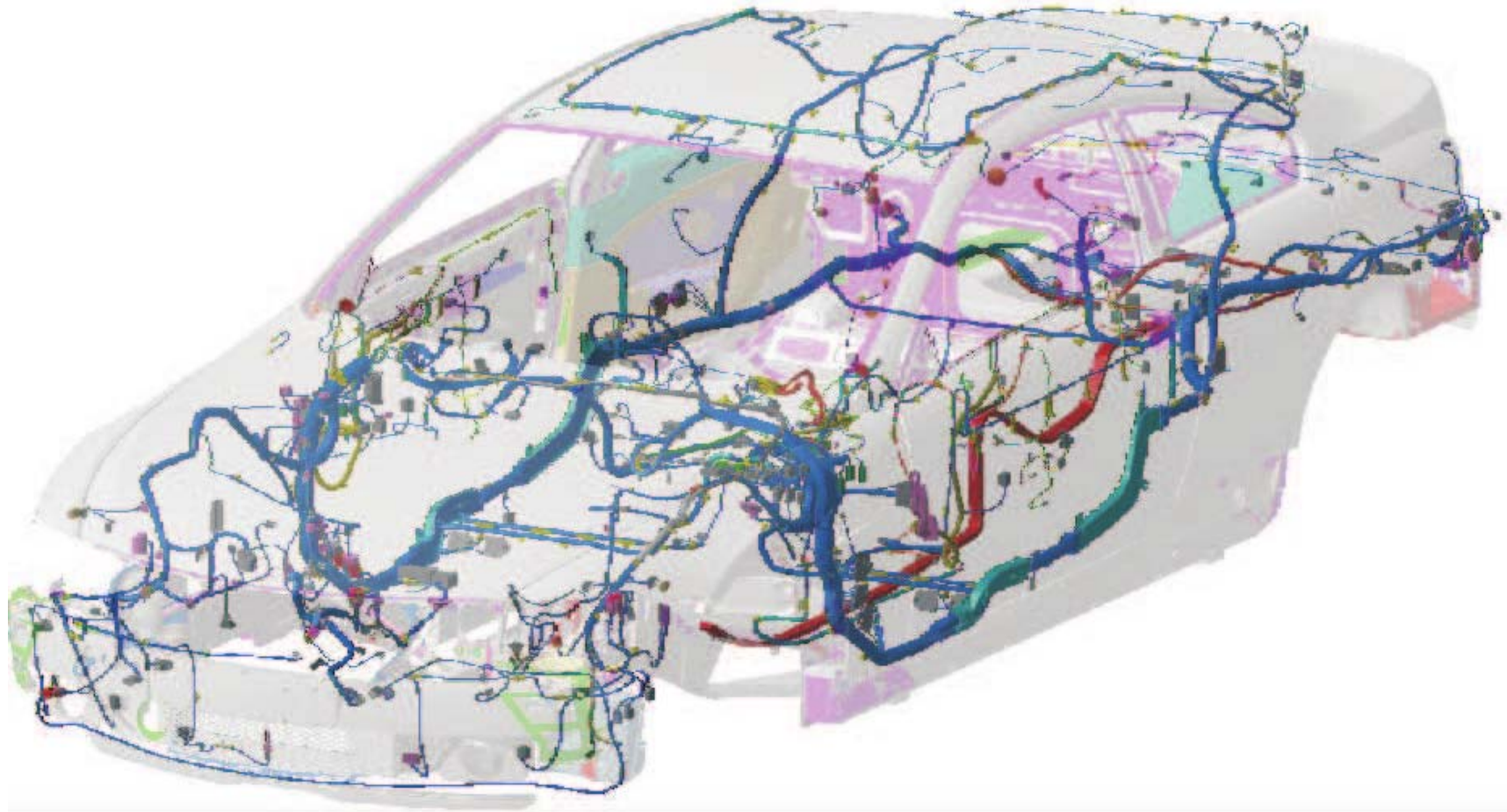


# Arquitectura actual de un vehículo

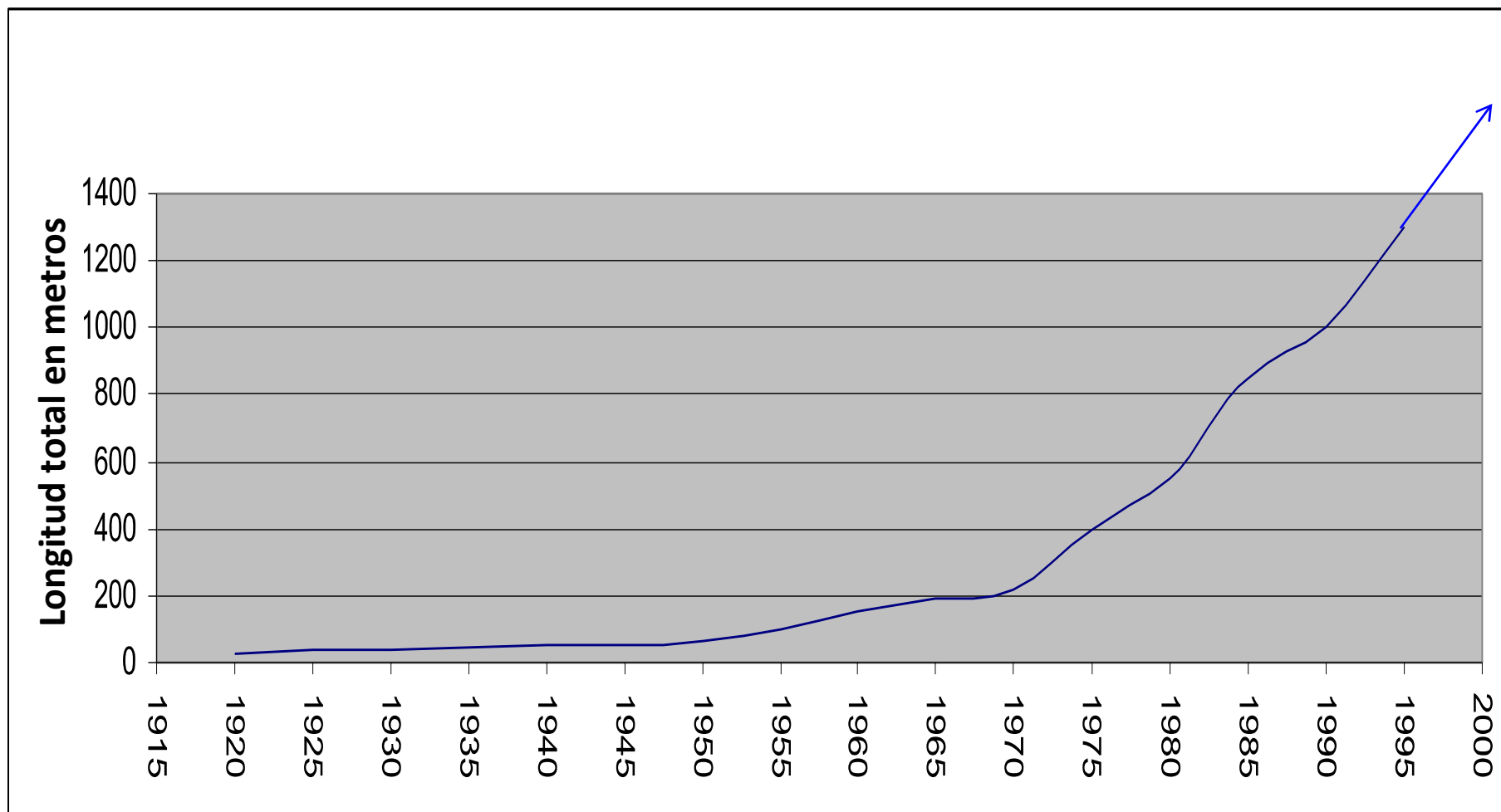
- Más de 6500 terminales
- Unos 500 conectores



# Cableado y funciones electrónicas en un vehículo actual



# Incremento continuo de la longitud del cableado



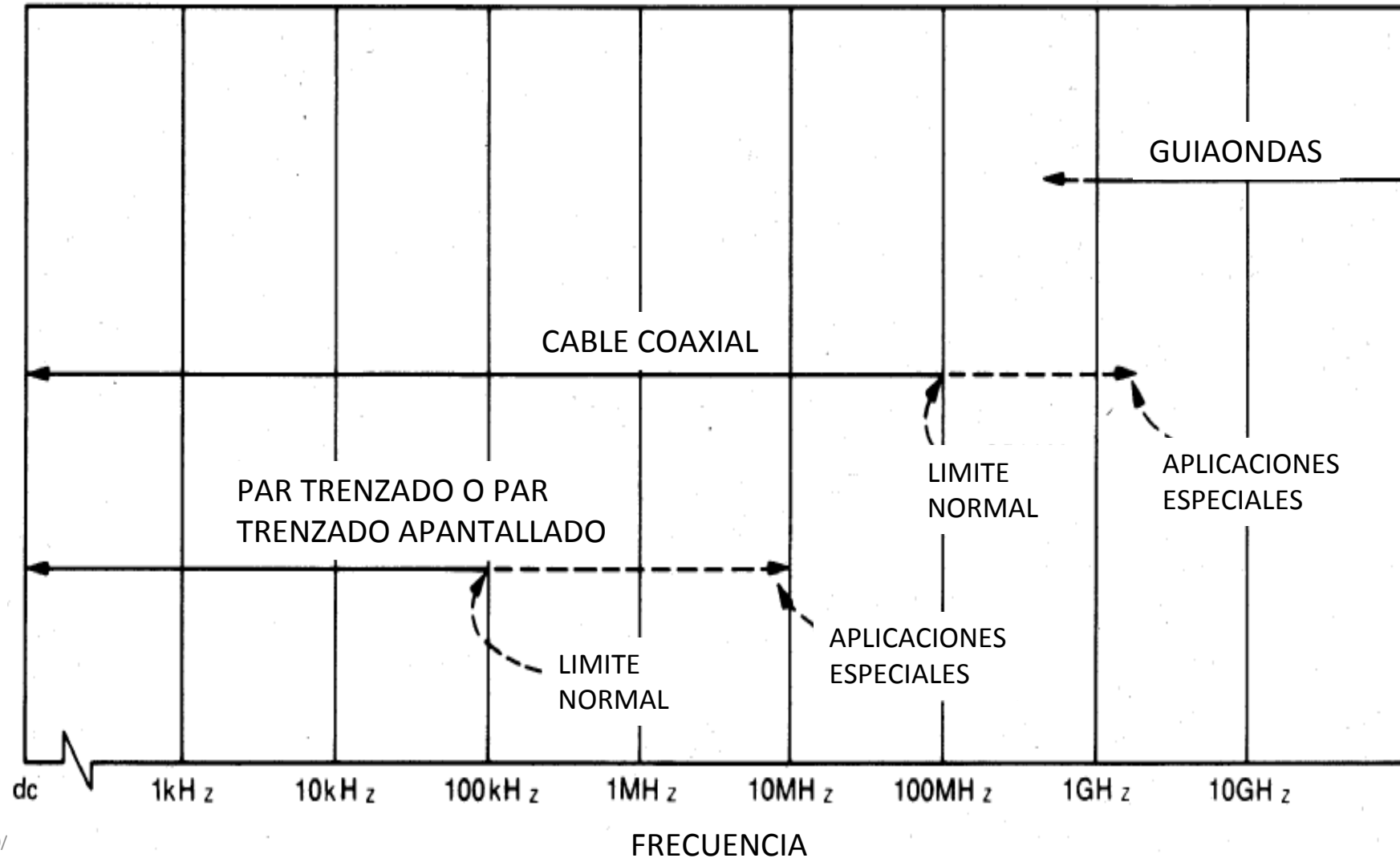
# ¿Por qué el cableado es importante?

- Su ruteado afecta a la CEM.
- Debe entenderse cuales pueden ser las fuentes y los receptores de EMI conectados a través de los cables.
- Su ruteado afecta a los acoplos de las EMI.
- Las capacidades e inductancias parásitas en el cableado afectan a la CEM.
- El cableado debe clasificarse correctamente, según el tipo de señales que lleve.

# Protocolos de comunicación en automoción

Protocol	Max. Data Rate (bps)	Cabling	Notes
LIN	20 k	Single cable	Typically used in low cost application such as from modules to smart loads.
Single Wire CAN	50 k	Single cable	Typically in use for body functions.
Fault Tolerant CAN (FTCAN)	125 k	Cable pair	Special case of CAN that offers more robust comm. in the event of faults.
Medium Speed CAN (MSCAN)	125 k	Cable pair	Typically in use for body functions.
High Speed CAN (HSCAN)	1 M	Cable pair	Used at a maximum of 500 kbps. Most popular for vehicle networks.
FlexRay	10 M	Cable pair	Most probable next generation of automotive communication.
Ethernet	10 G	Cable pair	Possible next generation of automotive communication at 10 Mbps.

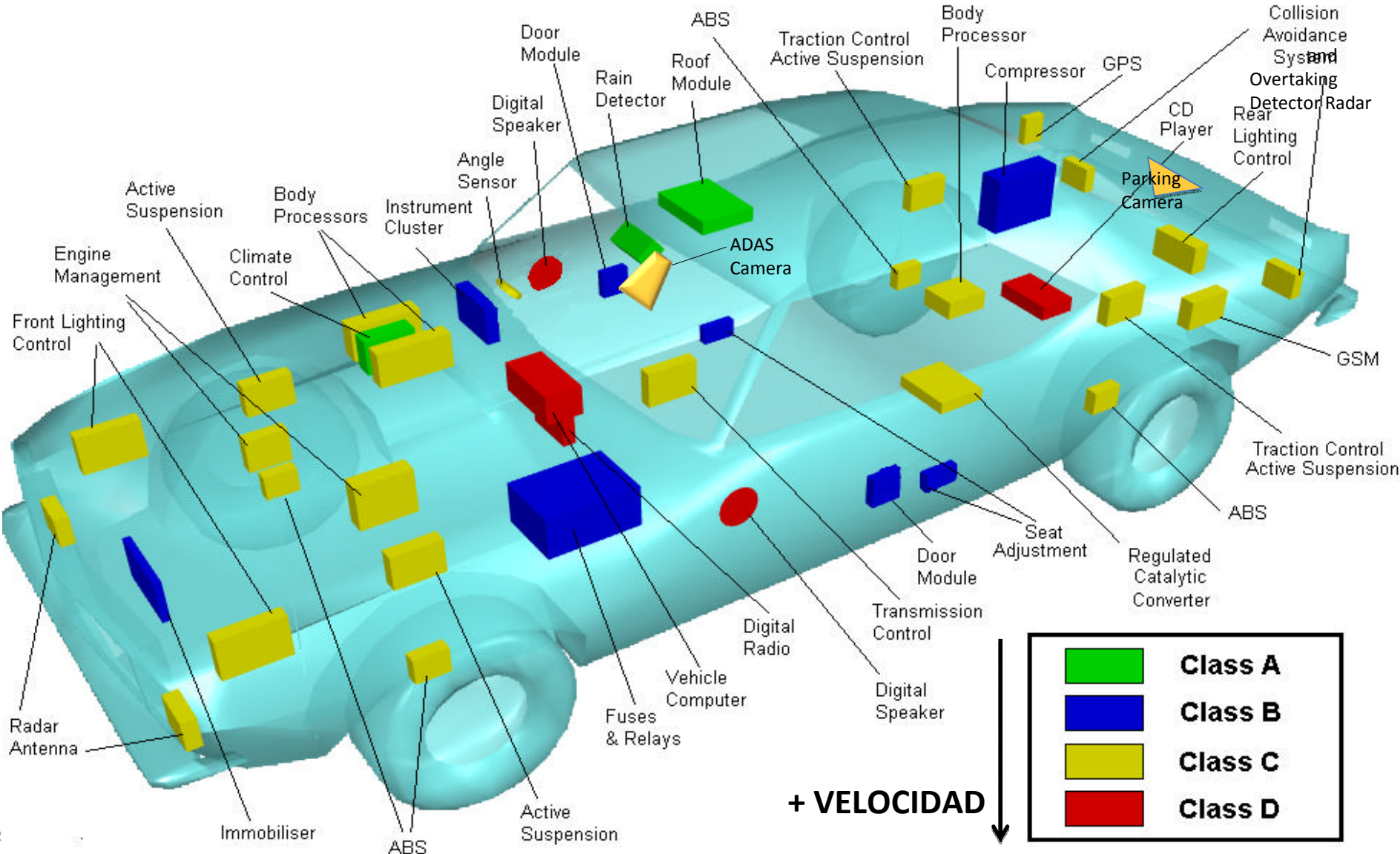
# Rango de frecuencias del cableado



# Clasificación cableado

CLASIFICACIÓN CABLEADO	VELOCIDAD	APLICACIÓN
<b>CLASE A</b>	<10 kb/s Baja velocidad	Funciones de comodidad: <a href="#">Apertura maletero, ajuste retrovisor</a>
<b>CLASE B</b>	10 – 125 kb/s Media velocidad	Transferencia de información: <a href="#">Instrumentos, ventanas eléctricas</a>
<b>CLASE C</b>	125 kb/s – 1 Mb/s Alta velocidad	Control en tiempo real: <a href="#">Propulsión, dinámica del vehículo</a>
<b>CLASE D</b>	> 1 Mb/s	Aplicaciones multimedia: <a href="#">Internet, TV digital</a>  Funciones hardware con tiempo crítico <a href="#">Aplicaciones X-by-wire</a>

# Clasificación cableado







## 8. Ejemplos de problemas de CEM en vehículos

# Historias CEM en vehículos

## FALLO EN LOS ABS:

- En el inicio de los sistemas ABS, eran susceptibles a las EMI.
- Hubieron accidentes cuando los frenos funcionaron incorrectamente debido a las EMI que interrumpieron el control del sistema ABS



# Historias CEM en vehículos



## FALLO EN EL ABS

- Algunos vehículos equipados con ABS, tuvieron problemas en algunos puntos de las autopistas alemanas.
- Los frenos quedaron afectados por transmisores potentes de radio cercanos.
- La solución inmediata consistió en construir un blindaje en forma de malla a lo largo de varios km para atenuar la intensidad de campo electromagnético.

# Historias CEM en vehículos



## FALLO EN UNA AMBULANCIA

- La susceptibilidad de los equipos médicos a las emisiones conducidas o radiadas es un problema.
  - Una víctima de un ataque cardiaco era llevada al hospital con el monitor/desfibrilador cardiaco conectado a su cuerpo.
- 
- Cada vez que los enfermeros usaban la radio para requerir consejo médico, el monitor/desfibrilador se apagaba y el enfermo murió.
  - Causa: la combinación de insuficiente inmunidad del monitor/desfibrilador y la excesiva intensidad de campo de RF de la radio. El techo de la ambulancia se había cambiado de metal a fibra de vidrio.

# Problemas de CEM

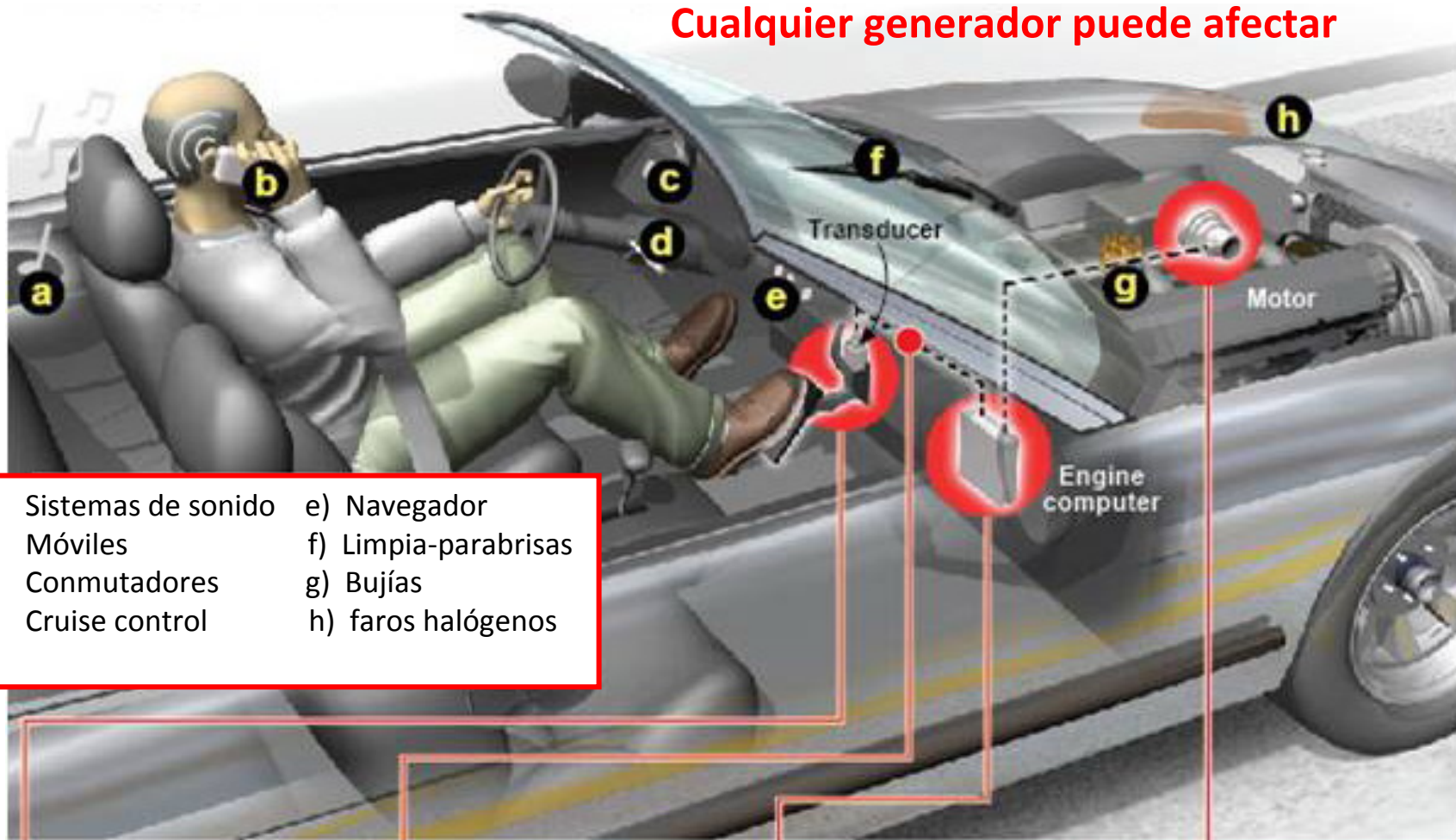
- La aceleración repentina imprevista del vehículo ha sido un problema de CEM para los OEM's desde los 80'.
  - Empezó con los primeros vehículos con cajas de cambio automático que también llevaban controles de crucero electrónicos:
  - Un mal funcionamiento del control de crucero provocaba una sobre-aceleración, posiblemente creando un bloqueo del acelerador.
- Pero los OEM's lo podían aducir presumiblemente a un error del conductor o un atrapamiento del pie con la alfombrilla o por un pedal pegajoso y sucio.

# Otros casos

- GM ha reconocido haber tenido problemas con el cruise control debido a EMI's.
- Paro súbito de un vehículo al circular frente a una base militar, al recibir la interferencia de un radar.
- Mal funcionamiento del ABS y el Airbag debido al teléfono móvil del conductor.
- Activación Airbag por ondas bluetooth.
- 2010: Recall de Toyota debido a un problema de CEM con el acelerador. Provocaban aceleradas repentinas.
- 2011: Información de GM: El airbag se puede desactivar debido a la presencia de un reproductor MP3 o PC o iPad o una consola de juegos, ...

# Generadores de EMI que podrían provocar un acelerón no deseado

Cualquier generador puede afectar



- |                       |                      |
|-----------------------|----------------------|
| a) Sistemas de sonido | e) Navegador         |
| b) Móviles            | f) Limpia-parabrisas |
| c) Conmutadores       | g) Bujías            |
| d) Cruise control     | h) faros halógenos   |

**1** El conductor aprieta el pedal del acelerador

**2** Se envía el mensaje de su posición

**3** El computador decide **las órdenes** a enviar a la inyección

**4** El control de inyección responde a las órdenes

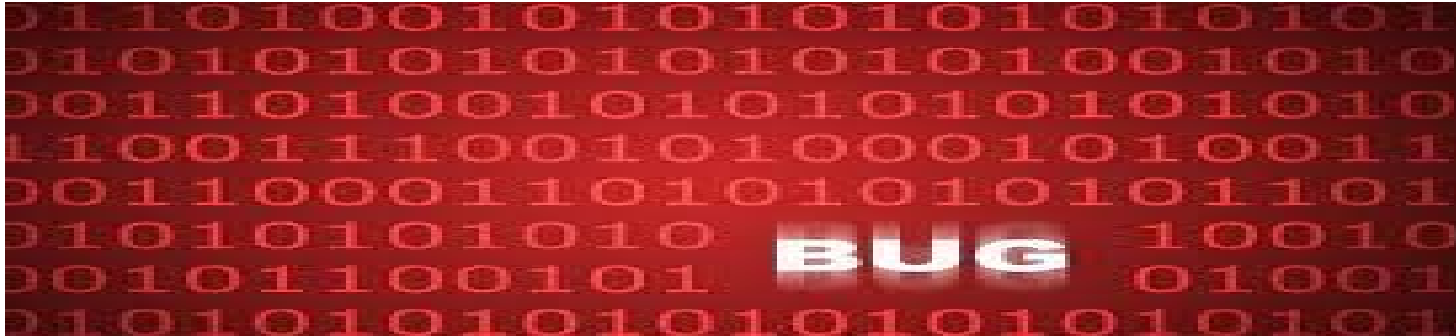
# Los “bugs” en el software

- Normalmente los OEM’s dicen tener software sin “bugs”.
- Pero los estudios realizados por la Carnegie Mellon University dicen que el código con los mayores niveles de calidad (como el del transbordador de la NASA) tiene aproximadamente 1 “bug” latente por cada 10.000 líneas de código.
- Un vehículo de alta gama actual tiene unos 100 millones de líneas de código y por tanto podemos esperar tener unos 10.000 “bugs”.
- Son necesarios bastantes auto “recalls” para la puerta del día de software.

**Guaranteed**



# Los “bugs” en el software



- Un programa debe ser diseñado para asegurar el comportamiento seguro del vehículo completo como un “sistema seguro”.
- Un vehículo actual lleva entre 40 y 100 microcontroladores en su interior.
- Todo el software se verifica de forma independiente en cada microcontrolador para detectar problemas de mal funcionamiento.
- Hay una tendencia de usar sistemas operativos bien probados con garantías. Ej.: AUTOSAR.



## 9. Secuencia recomendada en la metodología

# Motivación para el buen diseño CEM

- La existencia de directivas legales con sus:
  - Límites de emisión.
  - Límites de inmunidad.
- La existencia de normas impuestas por los OEM's para facilitar el cumplimiento de las directivas legales del vehículo completo.
- Protección del espectro radioeléctrico para tener buenas comunicaciones.
- Aseguramiento del correcto funcionamiento de todos los elementos electrónicos en el vehículo.
- Prevención de desastres por problemas de seguridad.
- Mejor calidad para la satisfacción del consumidor.

# Condicionantes del diseño CEM

- Costes de desarrollo y coste unitario en producción.
- Tiempo de desarrollo.
- Plan de test para el nivel de calidad elegido y para las normas de obligado cumplimiento o requeridas por el OEM.
- Facilidad de producción.

# Prácticas a nivel de componente

- Hace años el enfoque de la CEM era el vehículo.
- Actualmente, el enfoque es el componente de automoción.
- Debido a la complejidad de los vehículos se divide el problema para asegurar que cada componente cumple con unos niveles de CEM superiores a los niveles aplicados en el vehículo.
- Asegurando la conformidad más exigente a nivel de componente se facilita la conformidad a nivel de vehículo.

# El rol del suministrador de componentes de automoción

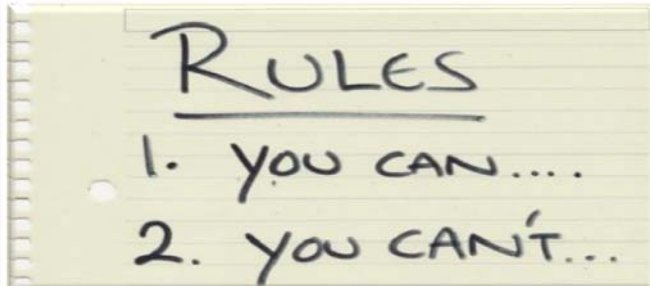
- Tiene la obligación de suministrar sus componentes conformes a los niveles de CEM requeridos por el OEM, sin necesitar acciones correctivas a nivel de vehículo.
- Debe haber una buena colaboración suministrador-OEM.
- Es importante comprender los requerimientos de CEM y demostrar su conformidad y validación. Se debe acordar un plan de validación.

## ¿Por qué el suministrador de componentes es importante en el control de la CEM?

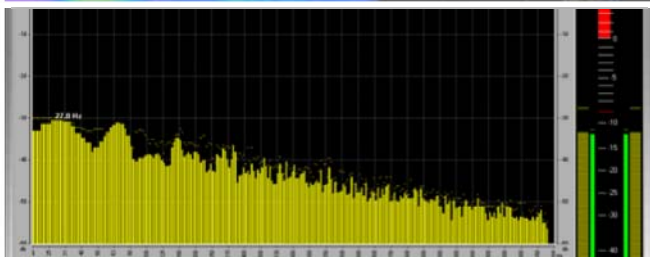
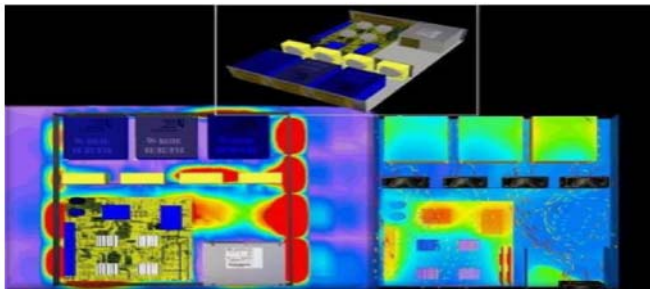
- El suministrador de componentes de automoción tiene el mayor control sobre su diseño y como está realizado.
- Puede rediseñar su componente rápidamente si se necesitan cambios.
- Así hay una menor probabilidad de retrasar la fecha de inicio de la producción del vehículo.

# Aplicación de métodos.

## Predicción y ante un problema



	Forma Integral	Forma Diferencial
Ley de Gauss	$\oiint_S \vec{D} \cdot d\vec{S} = q$	$\nabla \cdot \vec{D} = \rho$
Ley de Faraday	$\oint_C \vec{E} \cdot d\vec{l} = -\frac{\partial}{\partial t} \oiint_S \vec{B} \cdot d\vec{S}$	$\nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$
Flujo del campo Magnético	$\oiint_S \vec{B} \cdot d\vec{S} = 0$	$\nabla \cdot \vec{B} = 0$
Ley de Ampère	$\oint_C \vec{H} \cdot d\vec{l} = I + \frac{\partial}{\partial t} \oiint_S \vec{D} \cdot d\vec{S}$	$\nabla \times \vec{H} = \vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$



- **Reglas de diseño y comprobación.** La experiencia práctica ayuda mucho para encontrar las propuestas correctas.
- **Aproximación por cálculo.** Útil para confirmar las reglas de diseño. Pero no siempre se tienen todos los datos necesarios.
- **Simulación por métodos numéricos.** Necesita tiempo y muchos recursos. Útil en el inicio de diseño de un sistema complejo. La modelización es crítica.
- **Medidas: prueba y error.** Útil a nivel de la pre-evaluación. Método caro si se espera al final del desarrollo.



# Métodos generales

¿Cómo podemos reducir el riesgo de tener EMI ?

- Conociendo los requerimientos de CEM antes de empezar el diseño:
  - OEM's : Directivas internacionales.
  - Fabricantes componentes: Normas impuestas por los OEM's.
- Evaluando cómo las EMI pueden afectar al diseño.
- Realizando unas pruebas de pre-evaluación en el primer prototipo.
- Realizando varias revisiones de diseño desde el punto de vista de la CEM.
- Finalmente, las pruebas de pre-certificación deben asegurar la conformidad a las normas.

# Métodos generales

Por orden de prioridad, los tres modos de prevenir los problemas de interferencias son:

- 1. Suprimir o atenuar la emisión en su fuente. Siempre es el más eficaz.**
- 2. Hacer el camino de acoplamiento tan ineficiente como sea posible.**
- 3. Hacer que el receptor sea menos susceptible a la emisión.**

# Secuencia metodología

La experiencia demuestra que la aplicación de las reglas del buen diseño de CEM desde el principio del diseño puede solventar entre el 80% y el 90% de los problemas. Por tanto:

–Empezar por definir las especificaciones del sistema teniendo en cuenta los requerimientos de CEM aplicables.

–Preparar un plan de control de CEM:

- Detalles de los requerimientos de CEM, clarificando su interpretación.
- Lista de los documentos aplicables: normas y especificaciones técnicas de componentes y materiales a usar.
- Definir una propuesta de gestión de la CEM.
- Definir los procedimientos y técnicas de diseño.

–Tener en cuenta que las soluciones de diseño CEM no son únicas y a veces pueden parecer repetitivas.

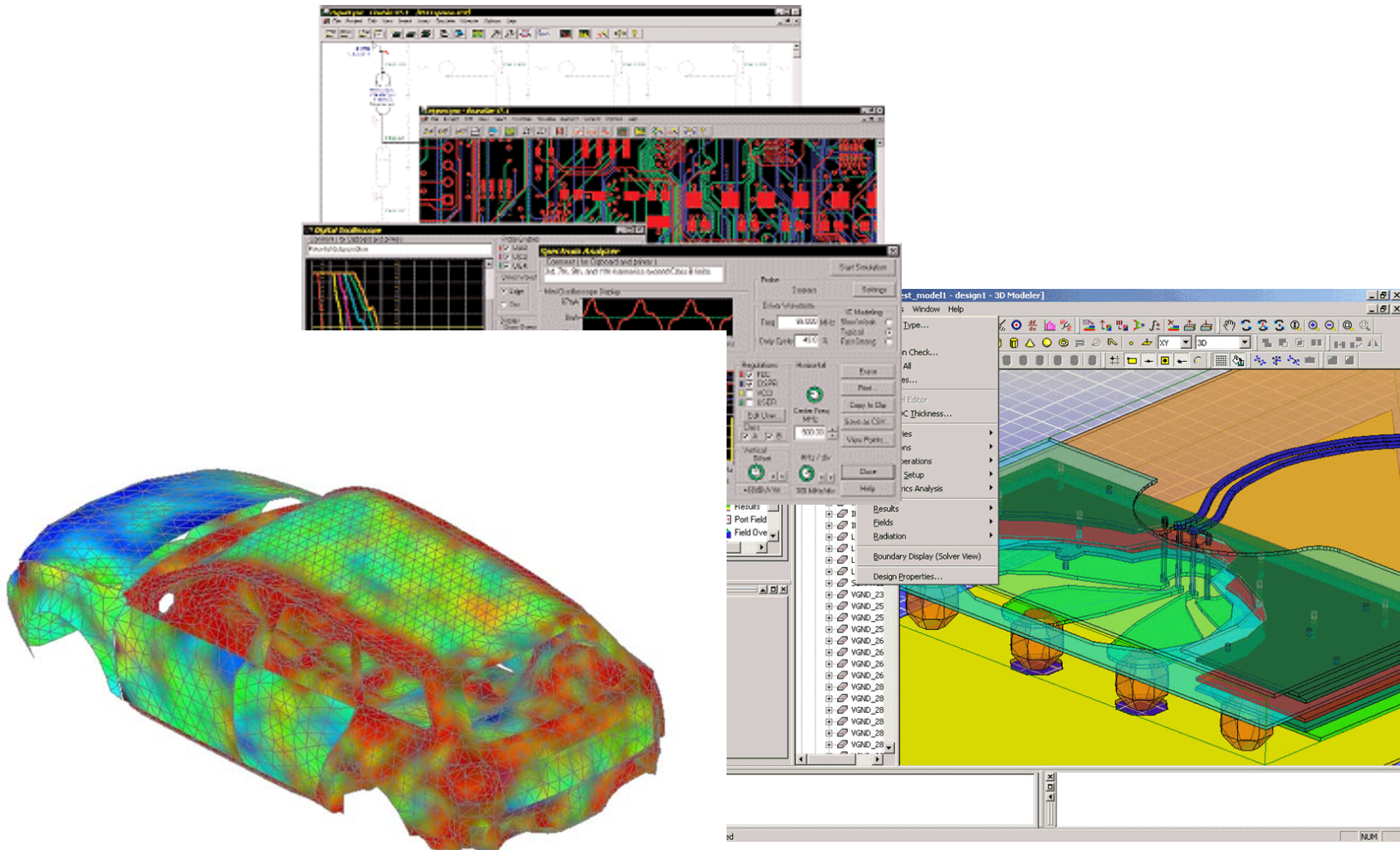
# Plan general de control de CEM

- Debe ser parte de la especificación del nuevo producto.
- ¿ Por qué es importante ?:
  - Cuando se tiene en cuenta el ambiente EM, se reducen los problemas de EMI.
  - Los proyectos se desarrollan con menos tiempo.
  - Se minimiza el riesgo de tener problemas de EMI ya antes de que el prototipo se ponga en marcha por primera vez.
  - Es caro y no siempre posible añadir componentes al equipo cuando los problemas de EMI aparecen demasiado tarde en el proceso de diseño.



## 10. Simulación

# Simuladores



# Simulación vehículo completo

- Es factible realizar estudios de CEM de vehículo completo o parcial con simulación.
- Se pueden estudiar una variedad de situaciones:
  - Fuentes de EMI idealizadas (dipolos)
  - Fuentes de EMI realistas:
    - Cableado
    - Telefonía
    - Bujías
    - DVD y reposa-cabezas activo
    - Funciones ADAS: radares, cámaras digitales
    - Etc ...
- Se debe modelizar el comportamiento del sistema antes de realizar el prototipo y asegurar preventivamente sus prestaciones con las debidas pruebas en laboratorio.

# Simulación en la automoción

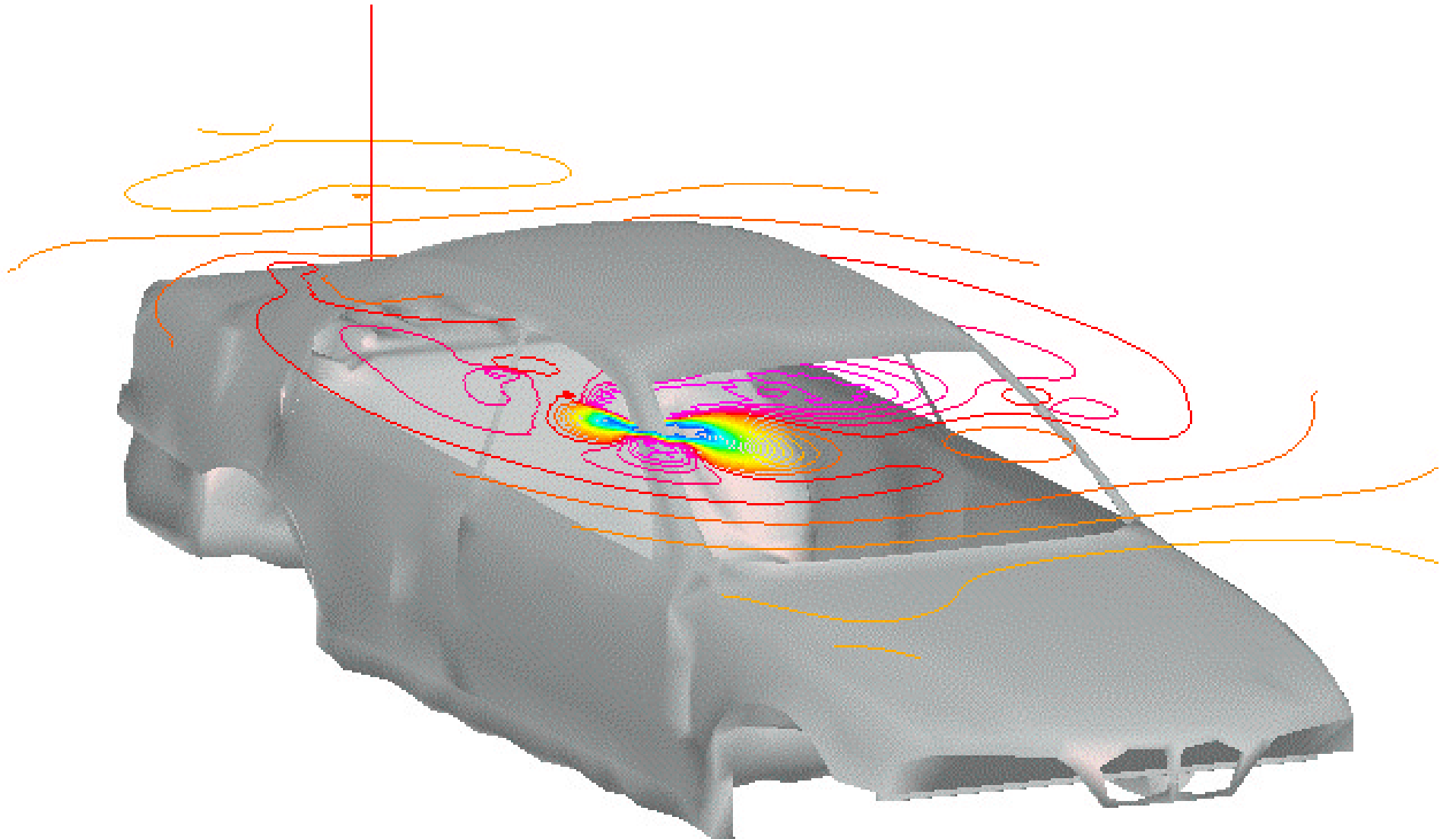
- La simulación necesita tener unos buenos modelos electromagnéticos que incluyan los aspectos CEM del diseño y de la producción.
- Con ello podremos anticipar los problemas y solventarlos preventivamente.
- Es clave entender donde pueden estar las fuentes, los acoplamientos y los receptores de EMI.
- Problema: se requiere una alta inversión de tiempo y dinero para obtener resultados.



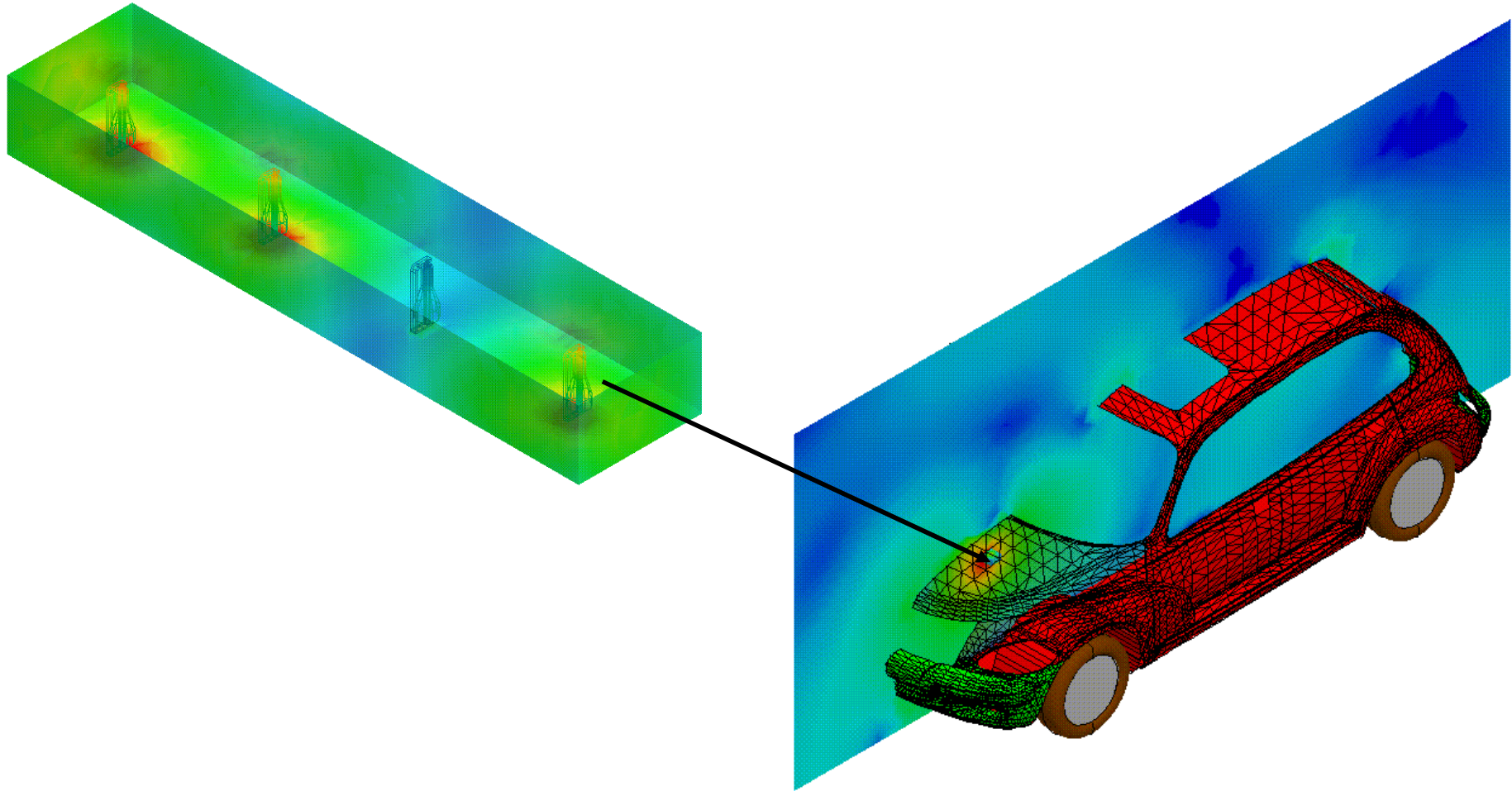
# Métodos de simulación

- No existe un único paquete de software que gestione todos los problemas de CEM. Es necesario tener varios paquetes independientes para cubrir todas las necesidades.
- Algunos de los métodos numéricos más comunes en CEM son:
  - Método de las diferencias finitas en el dominio del tiempo (**FTDT** : “Finite Difference Time-Domain”)
  - Método de los momentos” (**MoM**: “Method of Moments”)
  - Método de los elementos finitos” (**FEM**: “Finite Element Method”)
  - Modelo de línea de transmisión (**TLM**: “Transmission Line Model”).
  - Teoría de la difracción uniforme (**UTD**: “Uniform Theory of Diffraction”)
- Algunas de las marcas importantes en simulación son:  
FEKO, ANSYS, CST, AGILENT, SONNES SOFT, ANSOFT, REMCOM, MENTOR GRAPHICS, VECTOR FIELDS, COBHAN, COMSOL, HELIC, EFIELD, QUANTIC, ...

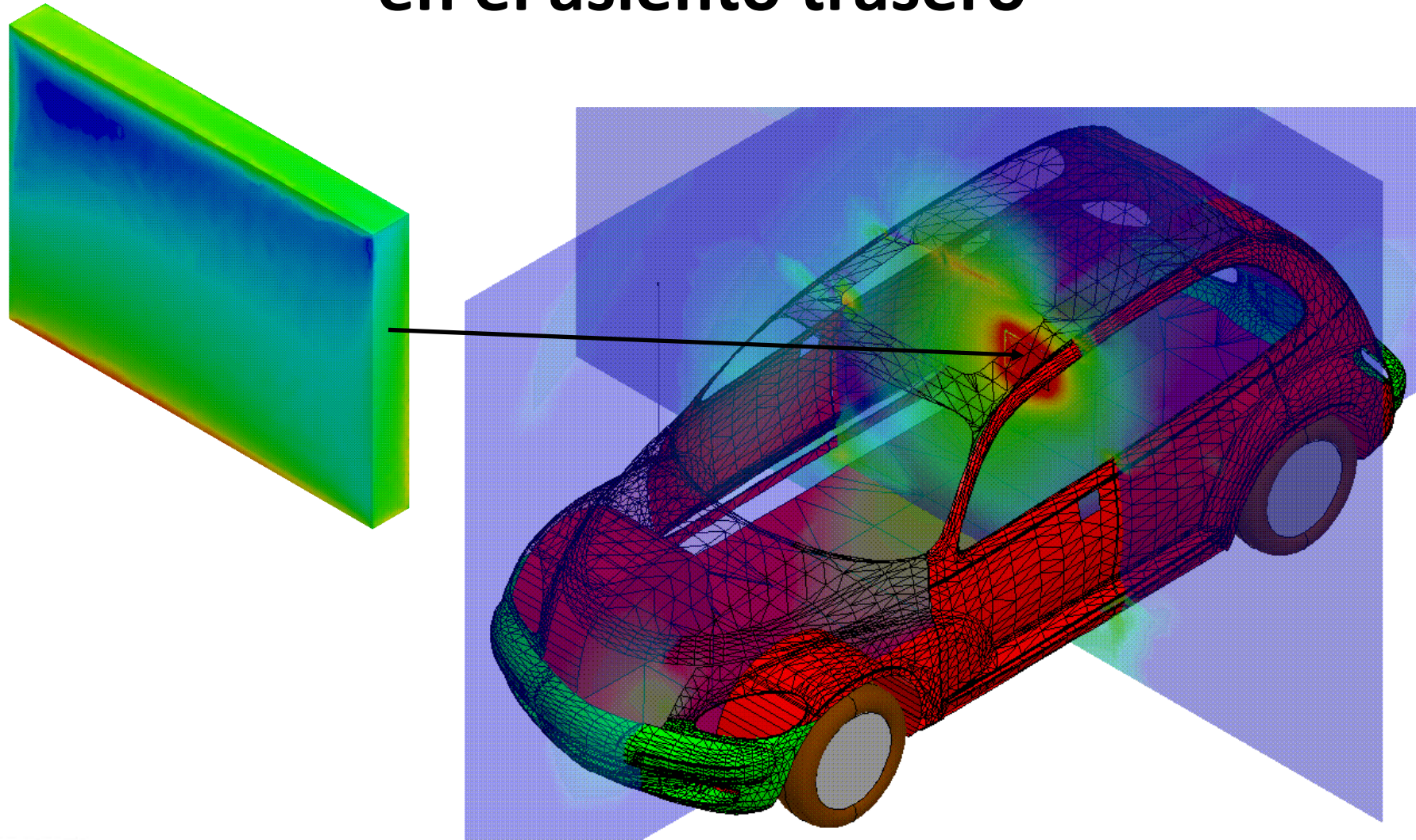
# Simulación emisión radiada cableado interno



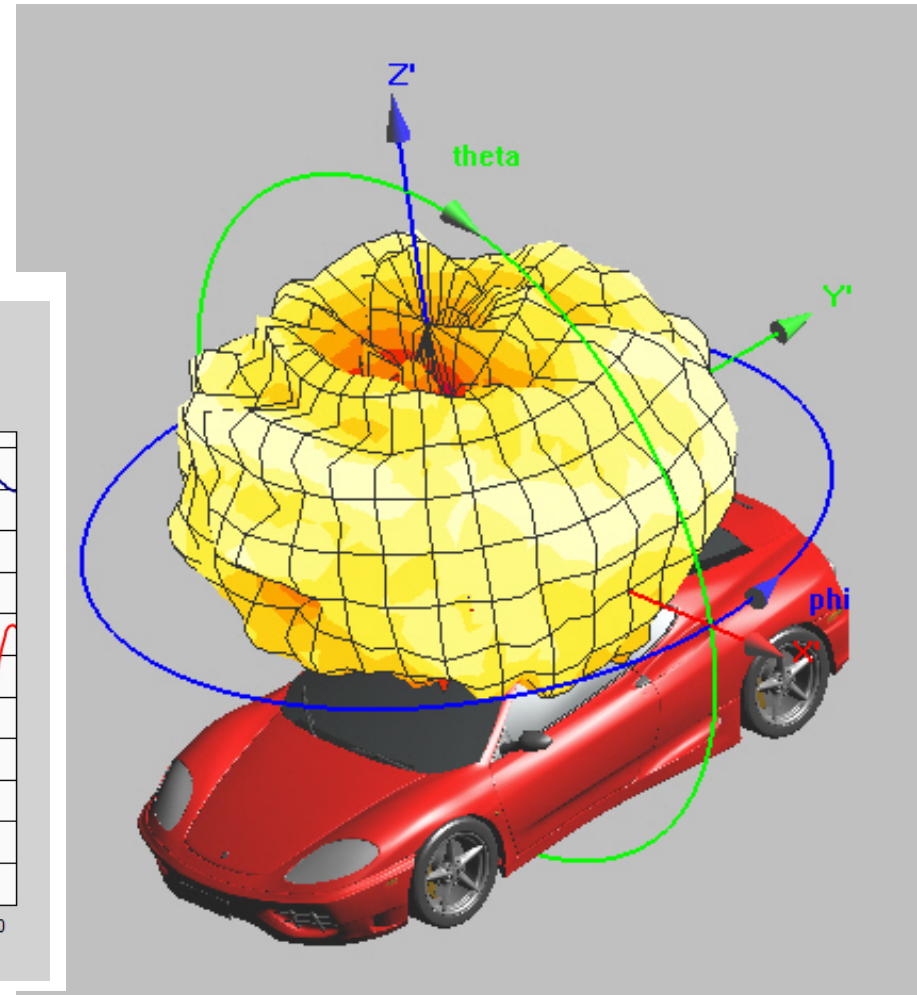
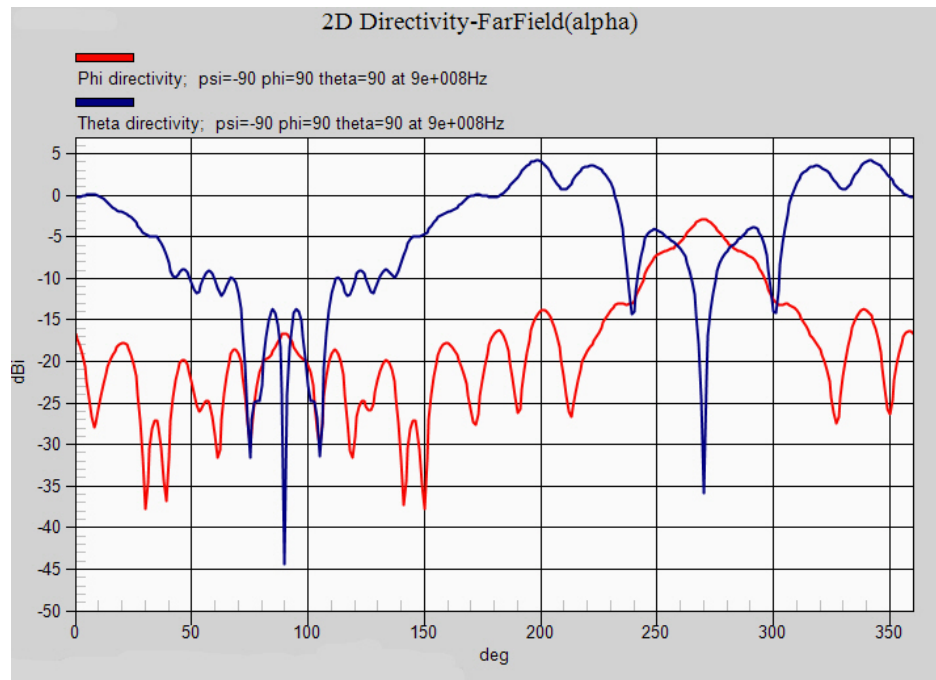
# Simulación campo magnético bujías



# Simulación emisiones del DVD en el asiento trasero



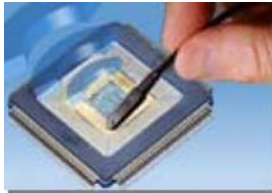
# Antena monopolo





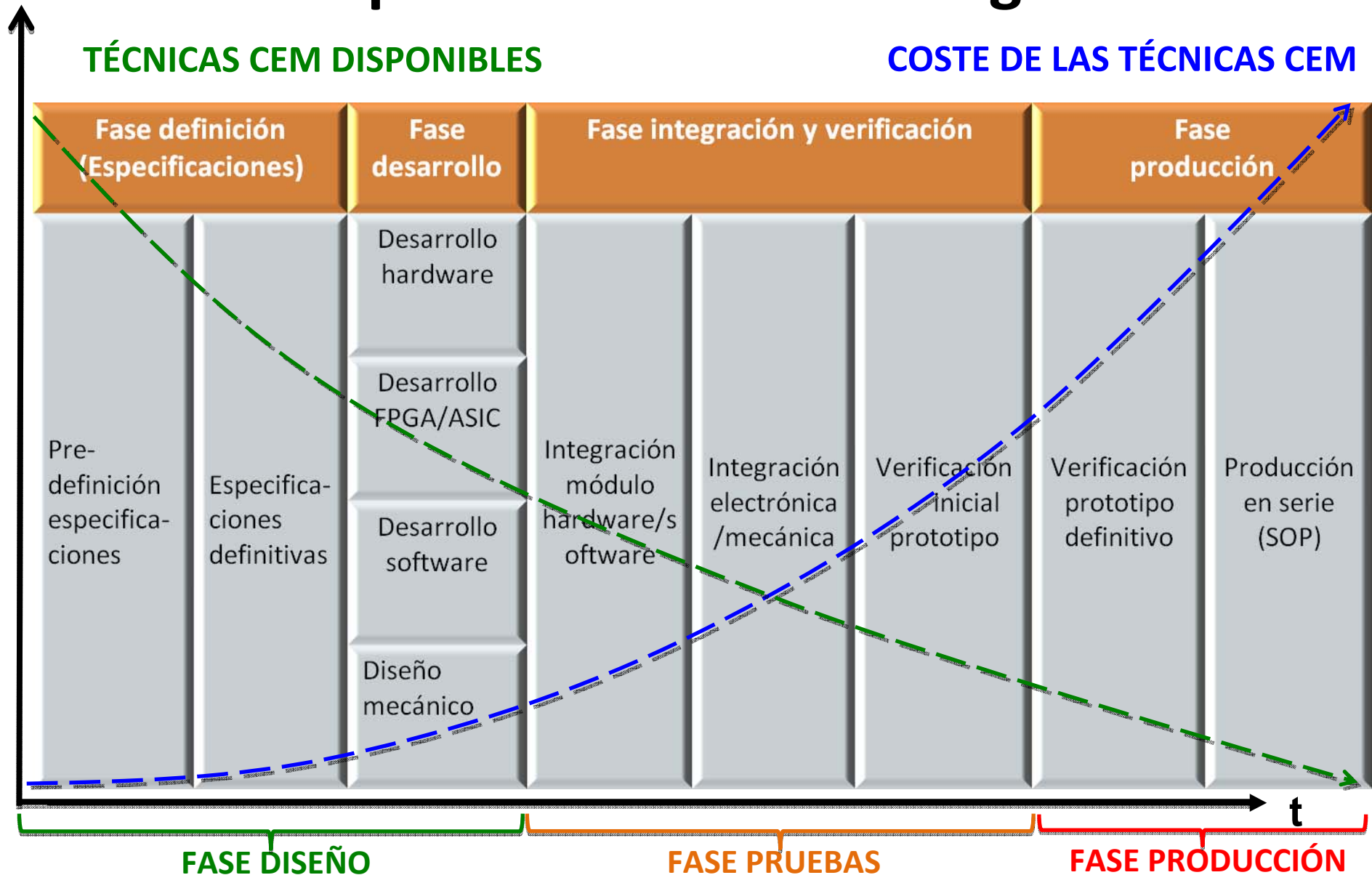
# 11. Reducción de costes en el proceso de diseño de CEM

# Soluciones efectivas con menor coste



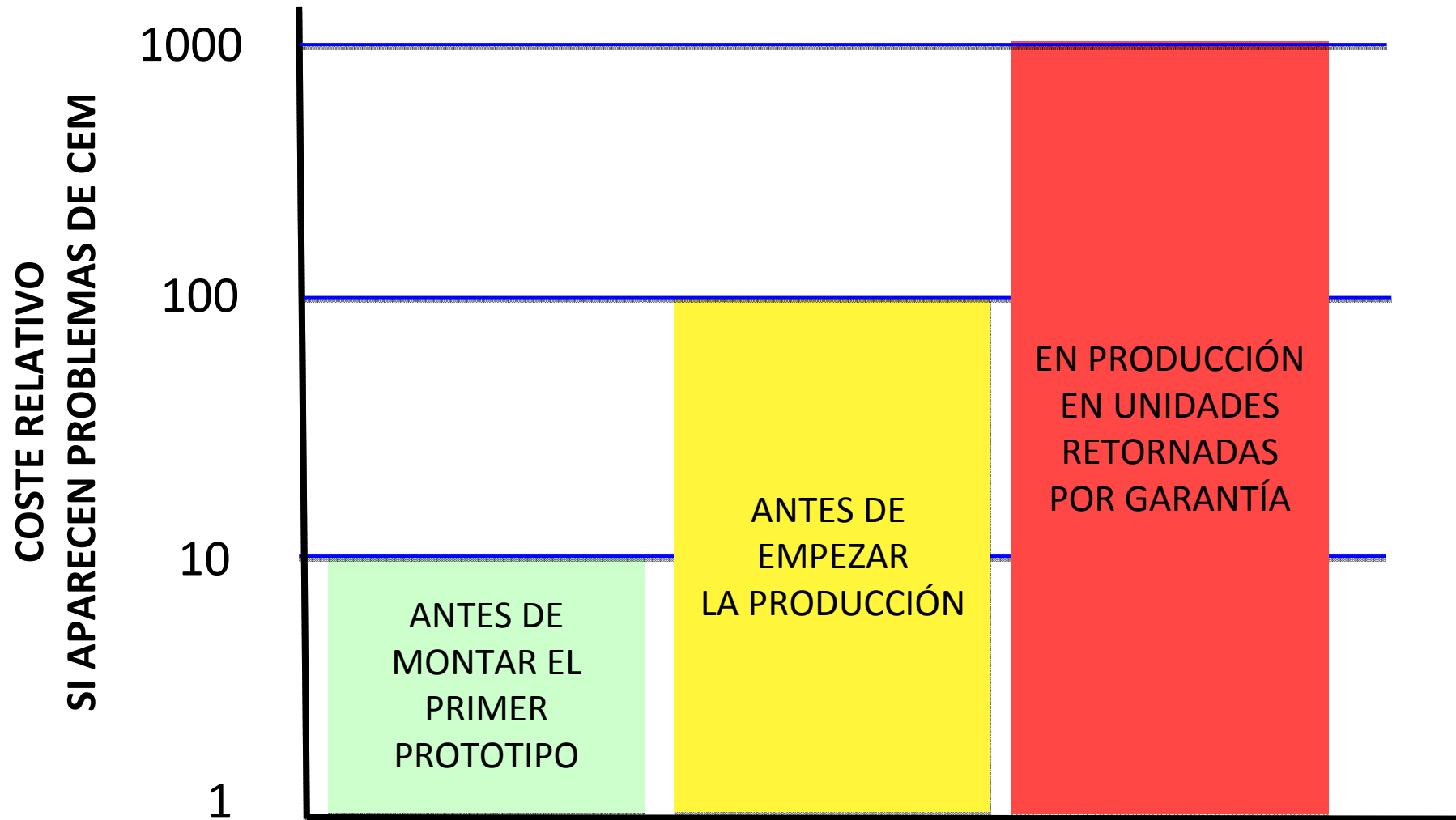
Las soluciones se deben aplicar en cada nivel:  
CI, PCB, COMPONENTE, VEHÍCULO

# Técnicas y costes en la gestión de la compatibilidad electromagnética





# Costes: orden de magnitud





## 12. Métodos generales de solución

# Soluciones / flujo diseño

## RECORDATORIO:

Es conveniente que el experto de CEM participe desde el principio

**ESPECIFICACIONES DEL PRODUCTO**

GENERACIÓN DEL PLAN DE CEM

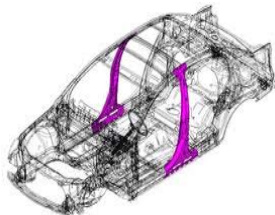
**DISEÑO MECÁNICO**

**DISEÑO ELÉCTRICO**

**DISEÑO DEL SISTEMA**

**S  
O  
L  
U  
C  
I  
O  
N  
E  
S**

Chasis / caja



Cajas  
Blindaje  
"Gaskets"  
Materiales

Masas y uniones



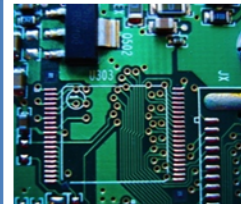
Masa simple o multipunto  
Chasis  
Uniones

Hardware



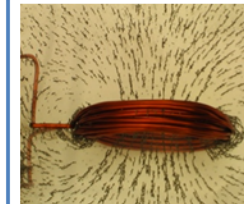
Localización funcional  
Separación áreas:  
analógica,  
digital,  
potencia,  
alimentación,  
alta frecuencia,...

Circuito impreso



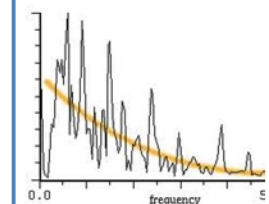
- Trazado de pistas
- Número de capas
- Orden capas
- Capas de masa
- Separación áreas:
- analógica,
- digital,
- potencia,
- alimentación,
- alta frecuencia,...

Potencia



Topología de la conversión:  
lineal,  
Resonante,  
PWM  
Conectores  
Filtros

Distribución señal



Modo común o diferencial  
Familia lógica  
Conectores  
Filtros  
Cables y blindajes  
Espectro de la señal

# Soluciones básicas

- Las estrategias de solución en la CEM son difíciles de individualizar. Se deben analizar caso por caso. Muchas veces la solución final es un equilibrio entre diferentes posibilidades.
- En la práctica, se requiere más de una estrategia para resolver un único problema de CEM:
  - Conexionado de las masas
  - Apantallado
  - Filtrado
  - Cableado
  - Conectores
  - Localización de componentes
  - Desacoplo
  - Supresión de transitorios
  - Trazado en el circuito impreso
  - Aislamiento galvánico.

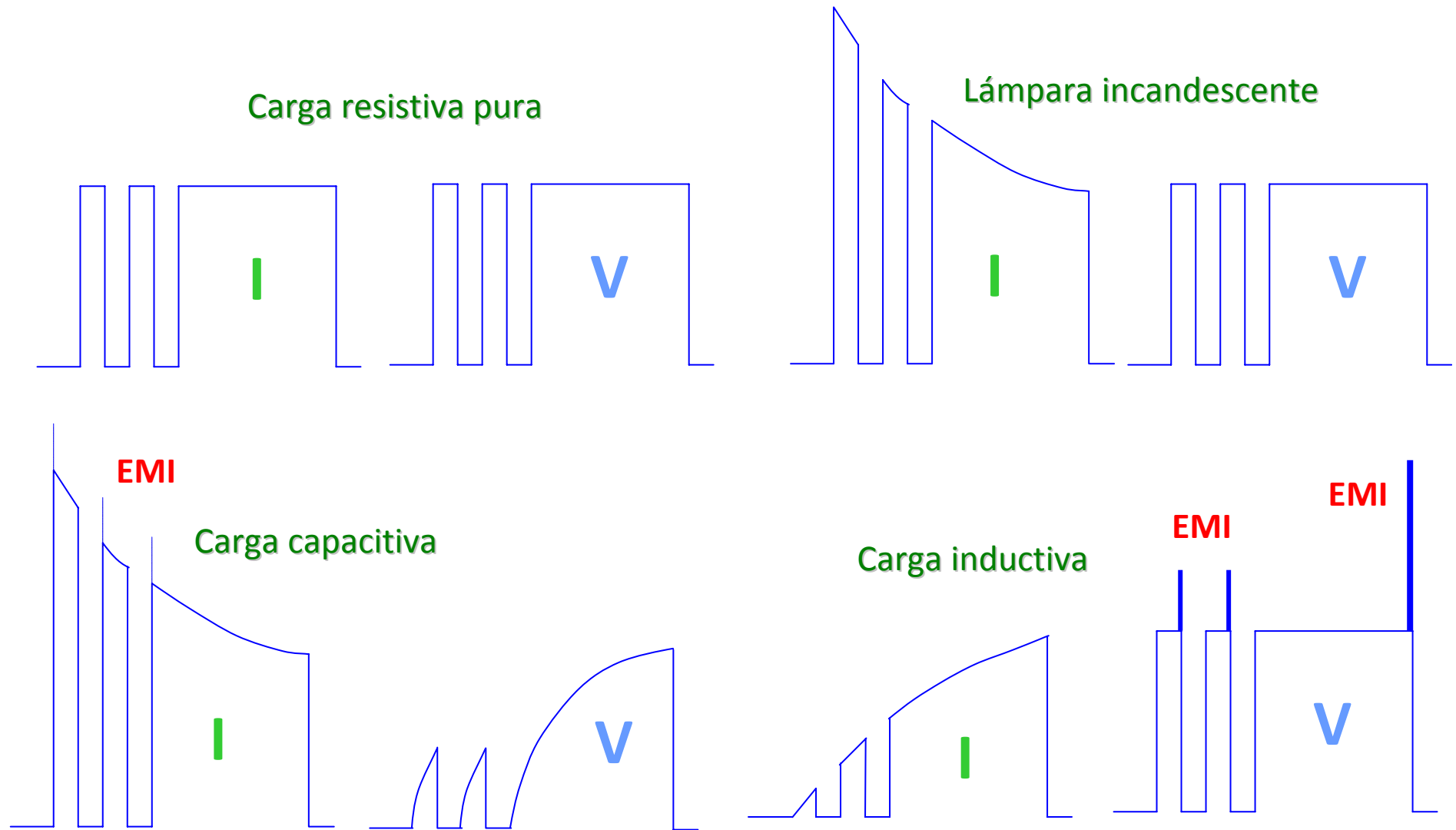
# Técnicas correctivas a nivel del generador de EMI

1. Usar la frecuencia menor posible.
2. Reducir la superficie de los bucles de masa al máximo posible.
3. Localizar los componentes más ruidosos lejos de las aperturas en las cajas metálicas.
4. Apantallar los componentes ruidosos.
5. Usar supresores de transitorios.
6. Desplazar la frecuencia operativa, si es necesario.
7. Reducir la energía del generador, si es posible.

# Protección de las conmutaciones

- Al cerrar una **carga capacitiva** se genera un pico de sobre-intensidad que provoca EMI.
  - Para evitarlo, lo mejor es conectar un choque inductivo con suficiente inductancia en serie .
- Al abrir una **carga inductiva** se genera un pico de sobretensión que provoca EMI.
  - Para evitarlo en corriente alterna lo mejor es conectar un filtro “RC” en paralelo con la carga, con las conexiones muy cortas.
  - En corriente continua se puede usar un diodo volante.

# Efectos de las conmutaciones



# Técnicas correctivas a nivel de acoplamientos

1. Usar filtros de alta frecuencia en los cables de E / S.
2. Usar técnicas de reducción de las EMI en modo común.
3. Usar cables apantallados o trenzados y conectores apantallados.
4. Reducir la impedancia de la conexión de masa.
5. Reducir las dimensiones de los bucles de masa de los cables de interconexión.
6. Mejorar el apantallamiento en la fuente o en la víctima.
7. Separar los cables en familias.



# Técnicas correctivas a nivel del receptor de EMI

1. Reducir el ancho de banda al nivel estrictamente necesario.
2. Filtrar los puertos de entrada.
3. Reducir la impedancia de entradas.
4. Reducir el área de los bucles de masa en los circuitos víctima.
5. Apantallar los componentes víctima.
6. Usar supresores de transitorios.
7. Desplazar la frecuencia operativa, si es necesario.



## 13. Normativa

# Normas CEM de automoción

## INTERNACIONALES A NIVEL MUNDIAL

ISO  
IEC / CISPR



Dificultad media

## REGIONALES

2004/104/EC (e-mark)  
SAE (SAE J1113-11, SAE J1113-12)  
JASO  
GB/T

Mucho más complicado



## Fabricantes (OEM)

BMW  
Daimler Chrysler  
Fiat  
Ford  
General Motors  
Honda  
Hyundai  
Mazda  
Peugeot  
Nissan  
Renault  
Toyota  
Volkswagen  
...More!

# Normas internacionales y regionales de CEM para la automoción

	<u>Norma</u>	<u>Fecha</u>
<b>CE</b>	95/54/EC	1995
	97/24/EC	1997
	2000/2/EC	2000
	2002/24/EC	2002
	2003/77/EC	2003
	<b>2004/104/EC</b>	<b>2004</b>
<b>ISO</b>	ISO 7637	1995-2004
	ISO 10605	2008
	ISO 11451	2005-2007
	ISO 11452	1997-2007
<b>CISPR</b>	CISPR-12	2007
	CISPR-25	2008
<b>SAE</b>	SAE J551	1995-2003
	SAE J1113	1995-2002

<http://www.autoemc.net/Standards/StandardsMain.htm>

# Los OEM's se refieren a las normas internacionales, pero de forma diferente

- Los requerimientos en los transitorios son diferentes en:
  - Amplitud
  - Tipo de impulso
  - Frecuencia
  - Energía
  - Método de test e instalación de la prueba
- Causas de las diferencias:
  - Cableado
  - Componentes
  - Generadores
  - etc

# Normas de algunos OEM's

## **BMW**

GS 95002

Electromagnetic Compatibility (EMC) Requirements and Tests

## **Porsche**

AV EMC EN

Porsche EMC Requirements

## **Daimler-Chrysler**

DC 10613

Vehicles EMC

DC 10614

Components EMC

DC 10615

Components Electric

## **Ford**

ES-XW7T-1A278-AC

Ford Motor Company Electronic Component EMC Requirements & Test Procedures.

# Normas de algunos OEM's

## General Motors

- GMW3097 General Specification for Electrical/Electronic Components and Subsystems;  
Electromagnetic Compatibility: Requirement Part 3
- GMW3100 General Specification for Electrical/Electronic Components and Subsystems;  
Electromagnetic Compatibility: Verification Part 3

## Lotus

- 17.39.01 Lotus Engineering Standard: Electromagnetic Compatibility

## PSA - Peugeot - Citroen

- B21 7110 General Technical Specifications Concerning the Environment of Electrical and  
Electronic Equipment Electrical Characteristics

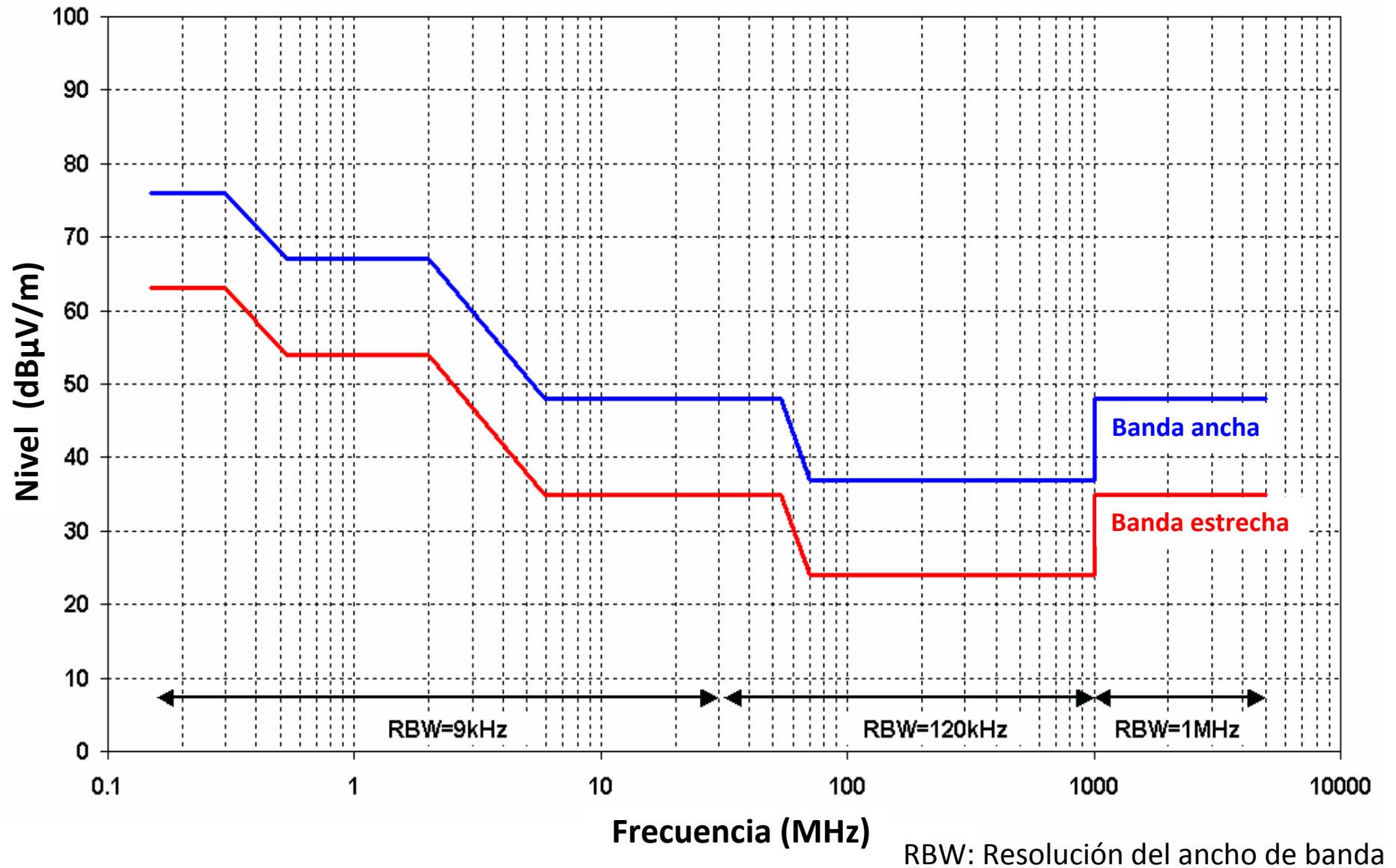
## Renault

- 36-00-808/--D Resistance to electrical disturbances and electromagnetic compatibility instructions  
concerning vehicle and electrical, electronic and pyrotechnic equipment

## Volkswagen

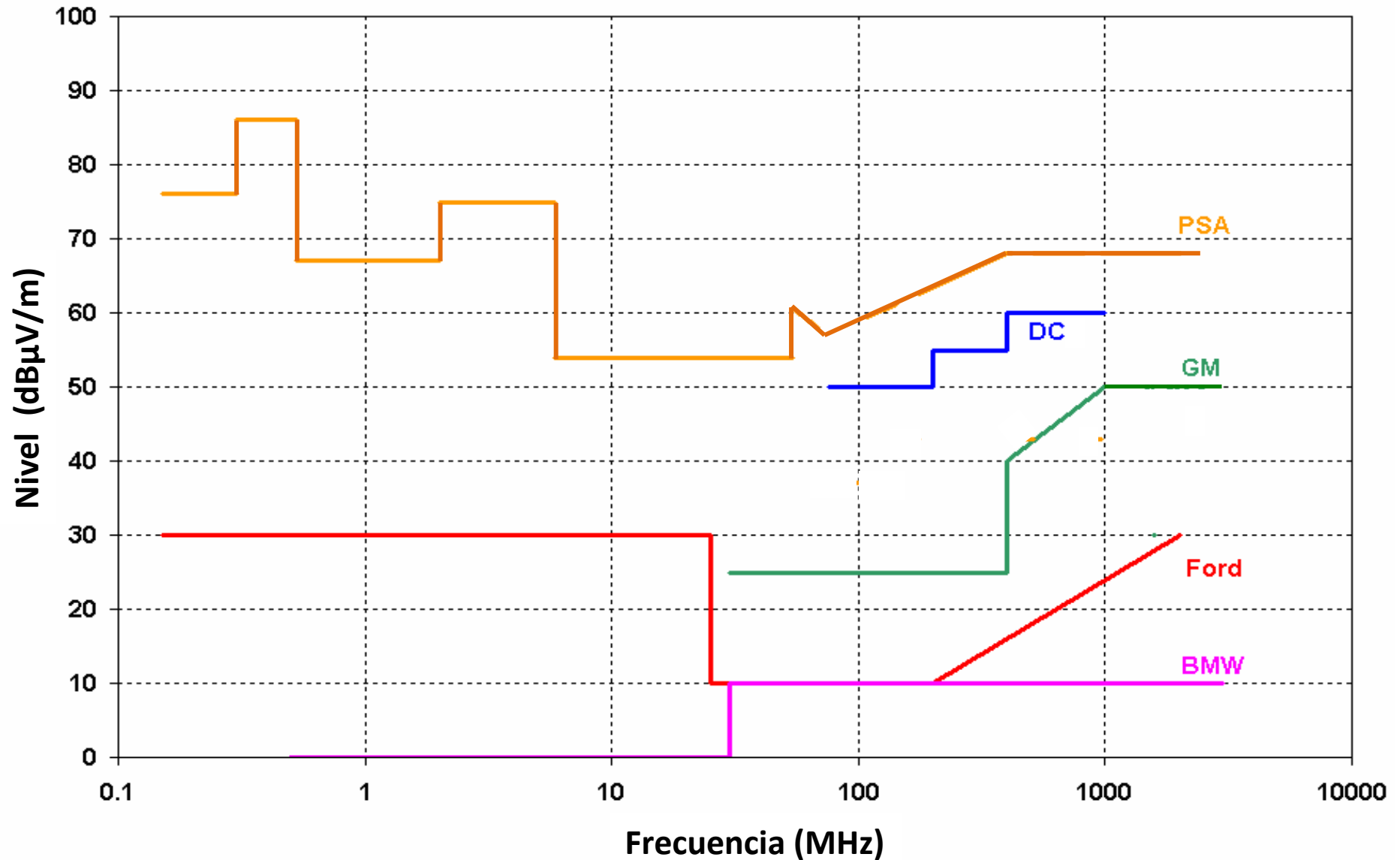
- TL 965 Short-Distance Interference Suppression
- TL 82066 Conducted Interference
- TL 82166 Radiated Interference
- TL 82366 Coupled Interference on Sensor Cables
- TL 82466 Immunity Against Electrostatic Discharge

# Límites genéricos emisiones radiadas CISPR 25 nivel 3

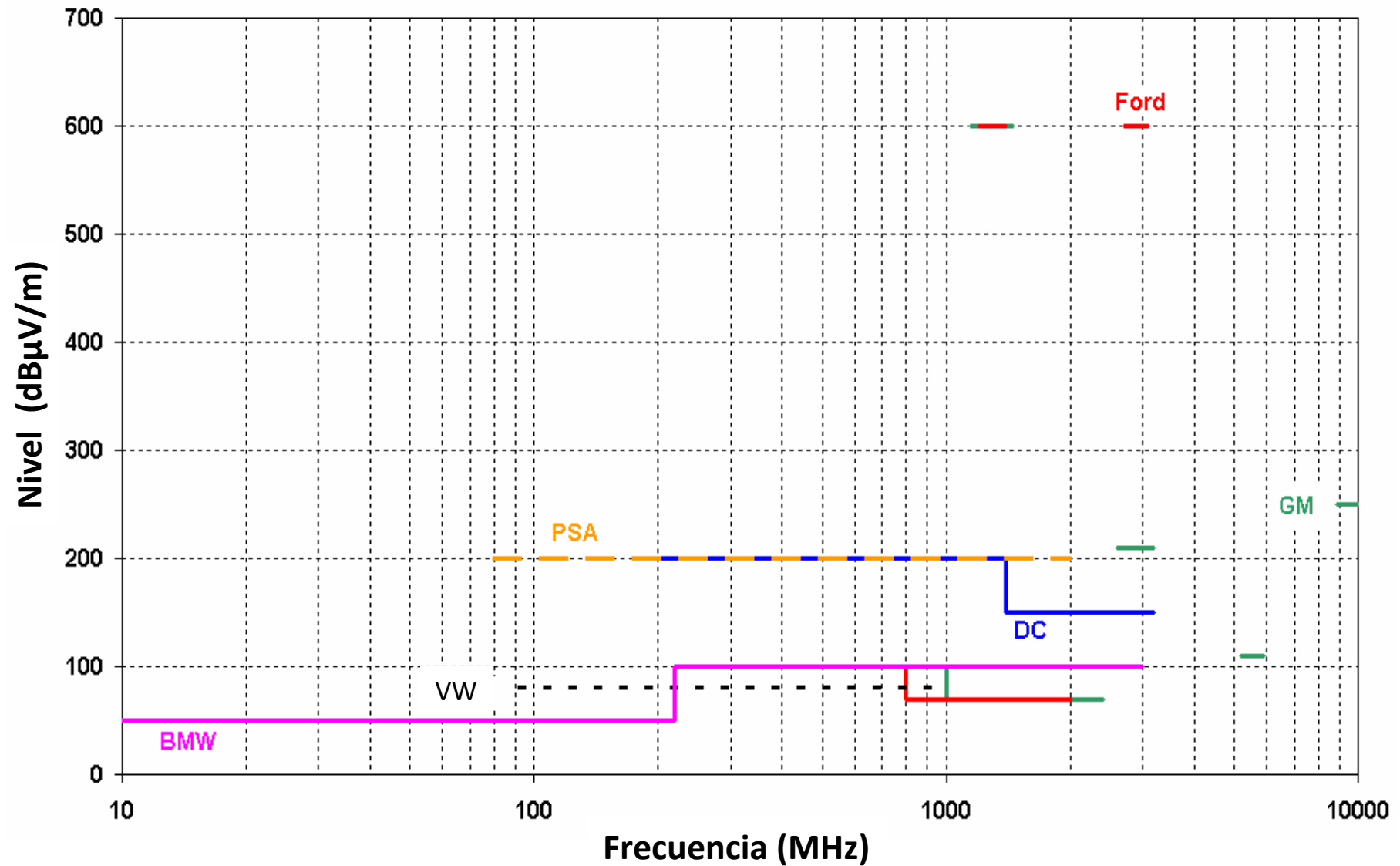




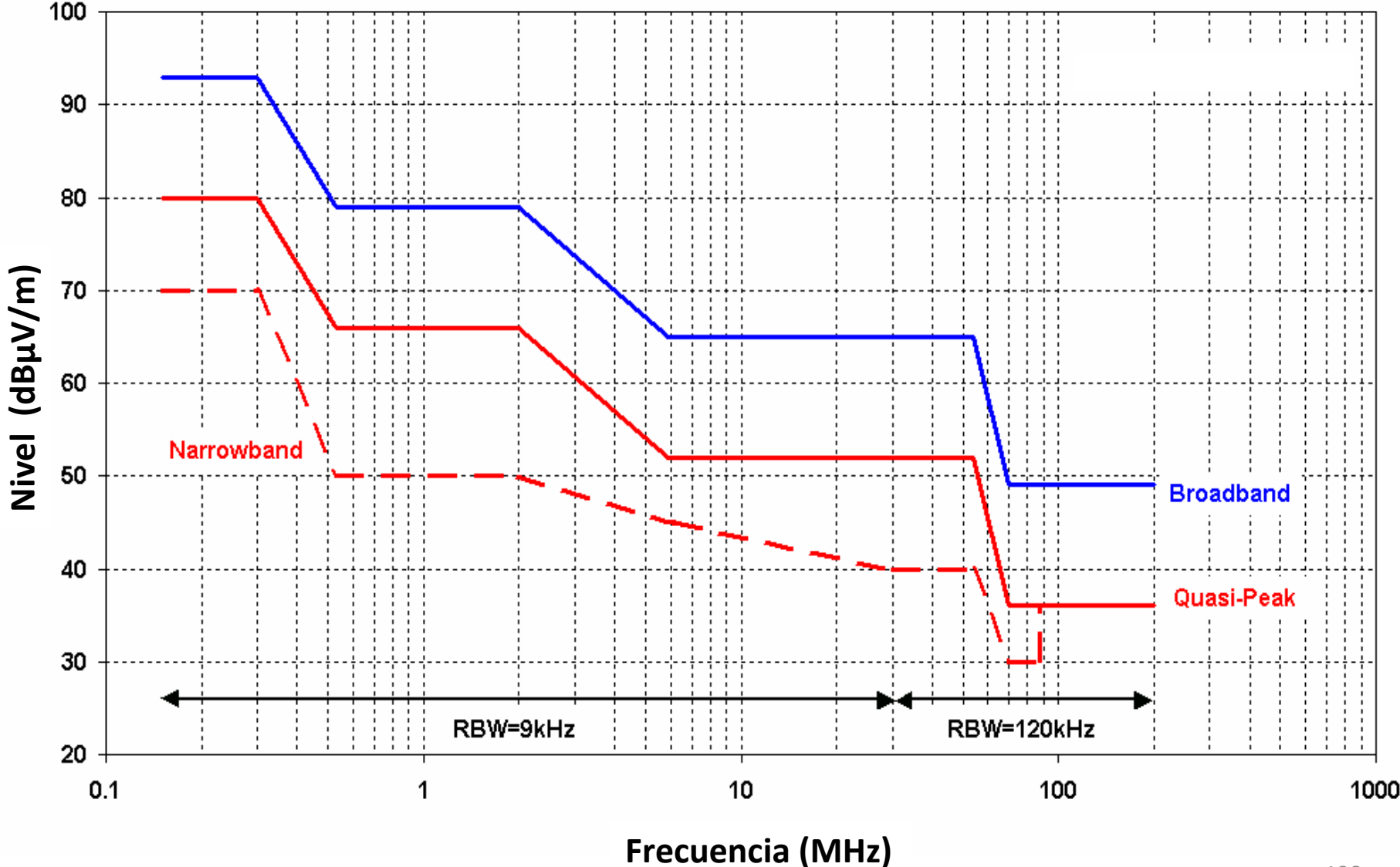
# Límites emisiones radiadas OEM's



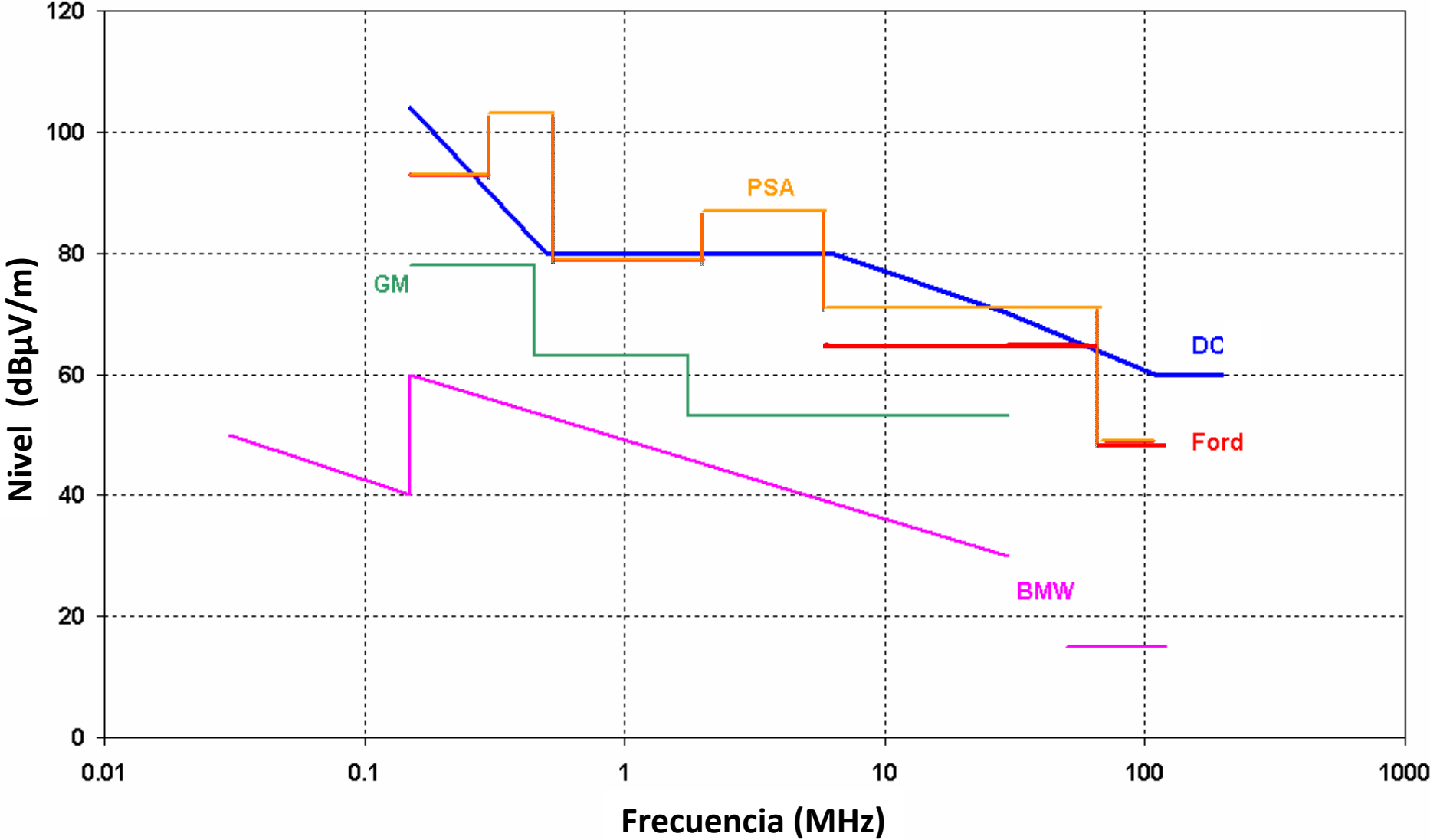
# Niveles de inmunidad radiada OEM's



# Niveles emisiones conducidas CISPR 25 nivel 3



# Niveles emisiones conducidas OEM's



# Niveles de Descarga Electrostática (ESD) OEM's / ISO 10605

## OEM's

Vehicle Manufacturer	Handling (kV)		In-Vehicle (kV)		Human Body Model	Standard Referenced
	Contact	Air	Contact	Air		
BMW			±8	±15	150pF/330Ω	IEC 61000-4-2
DC	±4	±8	±8	±25	150pF/330Ω	IEC 61000-4-2
Ford	±6	±8	±8	±25	330pF/2000Ω	ISO 10605
GM	±6	±8	±8	±25	150pF/2000Ω	ISO 10605
Porsche	±8	±25	±15	±25	150pF/2000Ω	ISO 10605
PSA	±4	±30	±8	±15	150/330Ω & 330pF/2000Ω	IEC 61000-4-2 & ISO 10605
Renault			±8	±15	330pF/2000Ω	ISO 10605
VAG	±8	±15		±25	150pF/330Ω	IEC 61000-4-2

## ISO 10605

Test	Discharge	Network	Test Severity Level
Unpowered or Handling	Contact	150pF/2kΩ	±8kV
	Air	330pF/2kΩ	±15kV
Powered	Contact	150pF/2kΩ	±8kV
	Air	330pF/2kΩ	±25kV

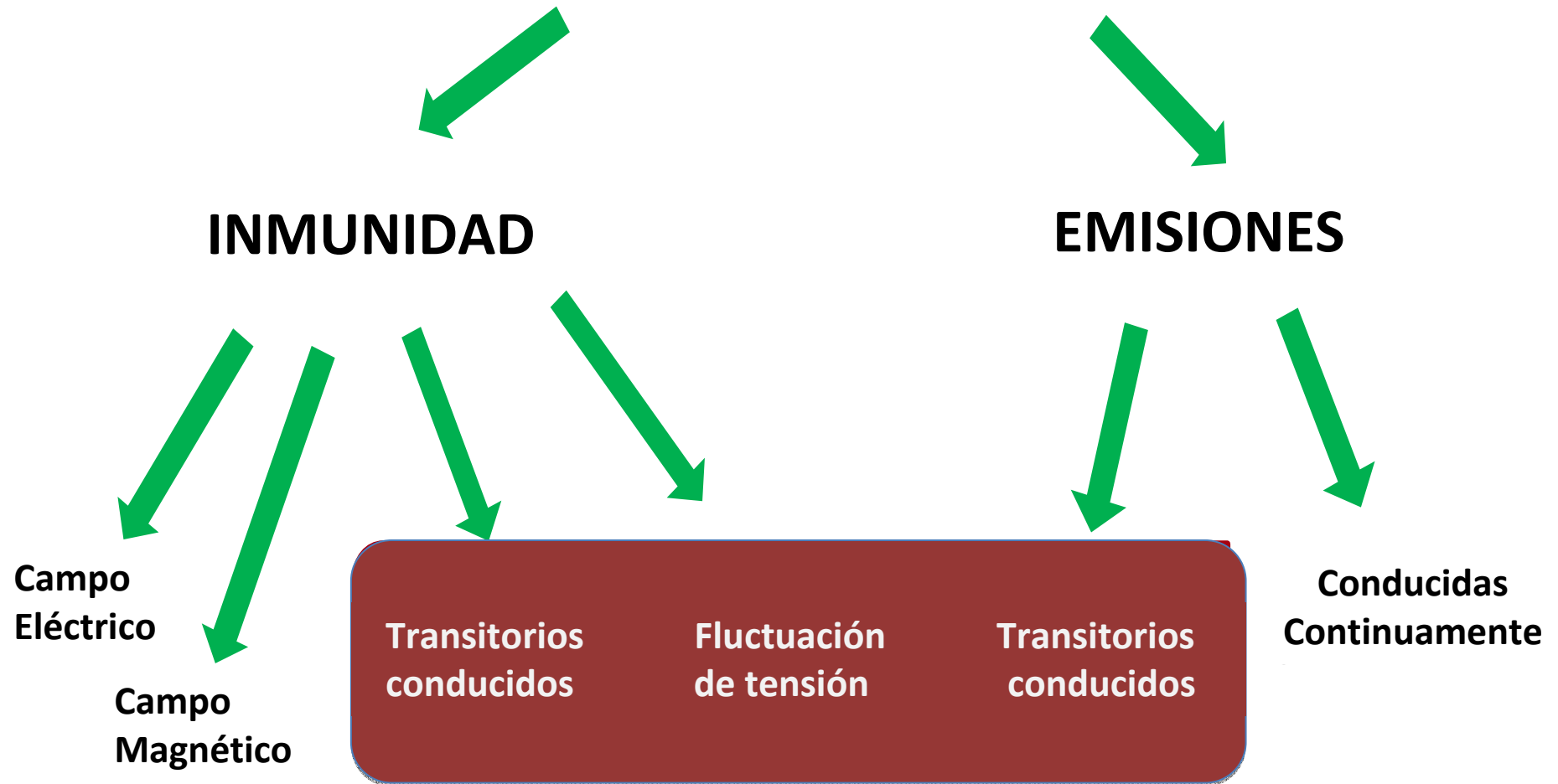


## 14. Pruebas y ensayos

# Antes de empezar las pruebas de CEM a nivel de vehículo

- Asegurarse que los componentes de automoción cumplen individualmente.
- Asegurar que el cableado se ha realizado correctamente y evitar que los retornos de señal y de alimentación pasan por el chasis del vehículo.
- Asegurarse que tenemos un buen diseño de la distribución de masas.
- El cableado debe ser representativo del que se montará en producción.
- El vehículo, en su aproximación electromagnética, debe ser lo más cercano a la producción que sea posible.

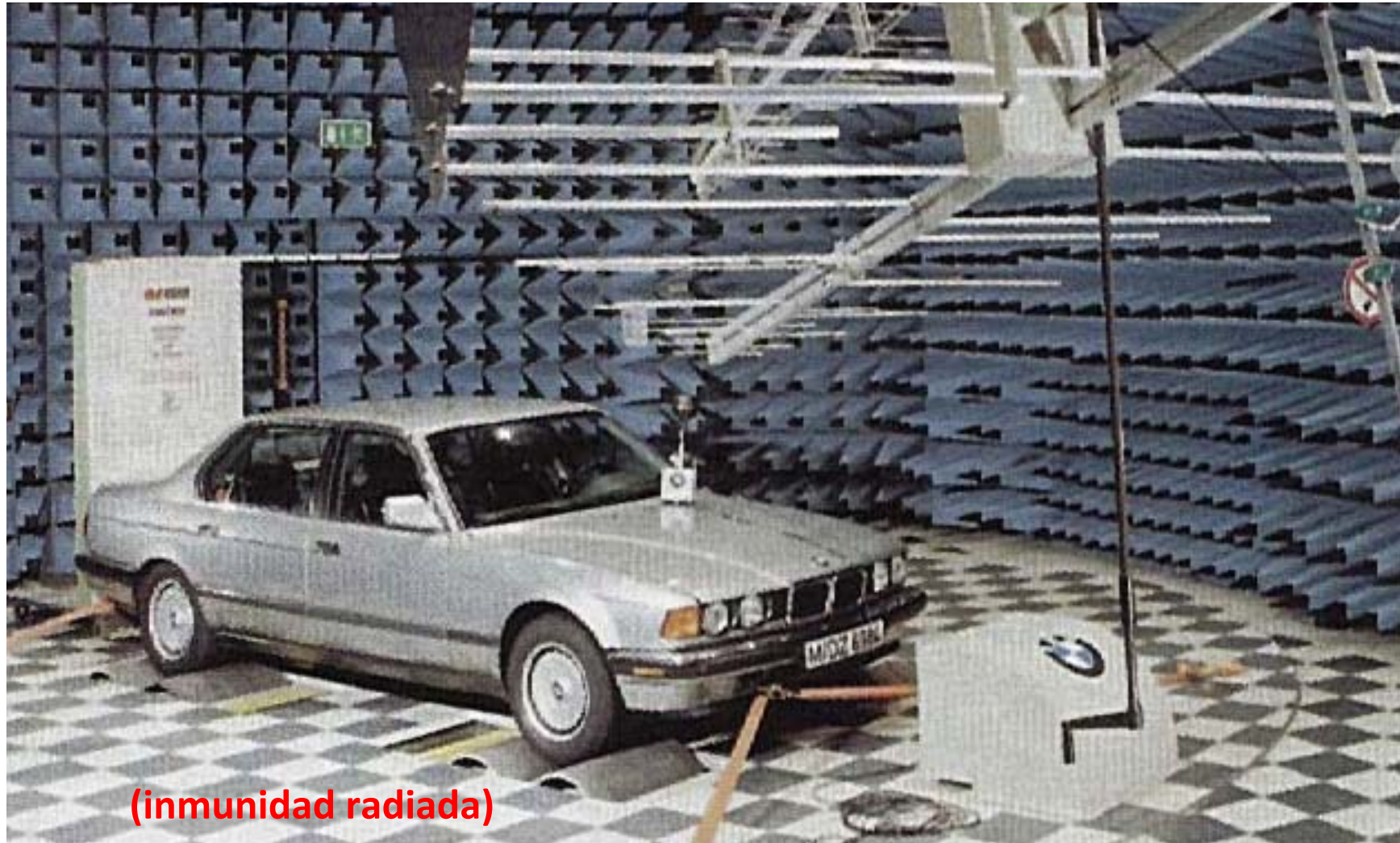
# Pruebas CEM en la automoción



**Muchos tipos de pruebas a realizar  
están detalladas en las normas**



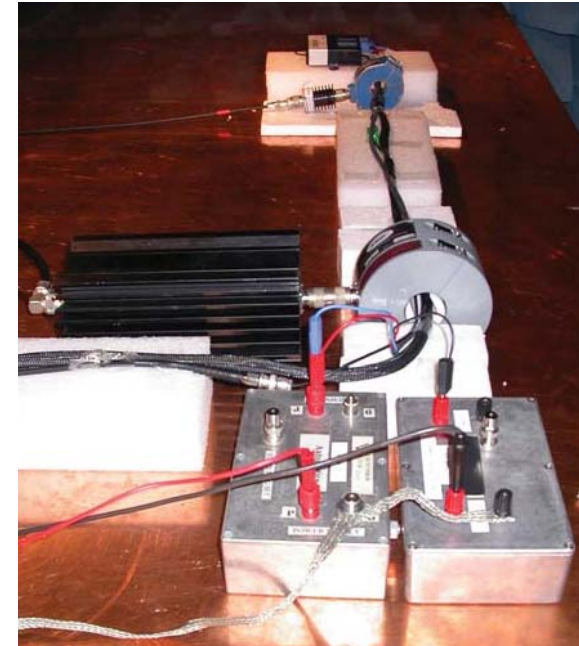
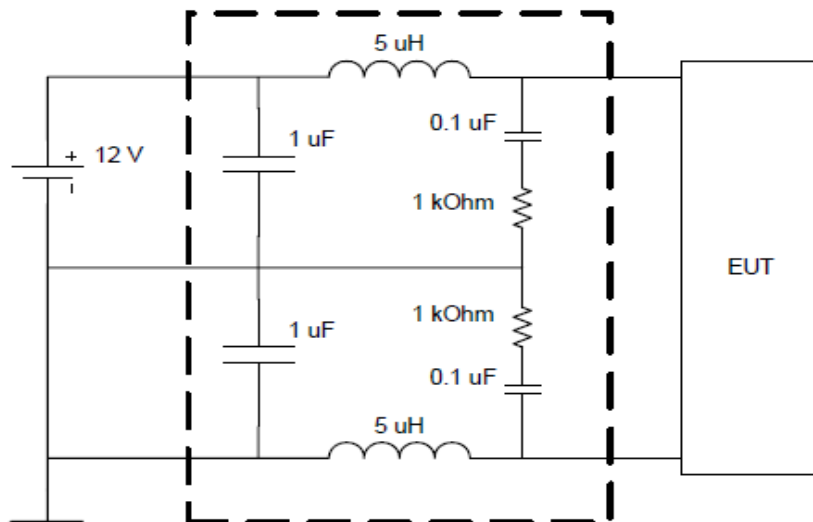
# Pruebas CEM de vehículo completo siguiendo las normas internacionales



# Pruebas CEM de componentes de automoción siguiendo las normas de los OEM's



Standard 12V CISPR 25 LISN





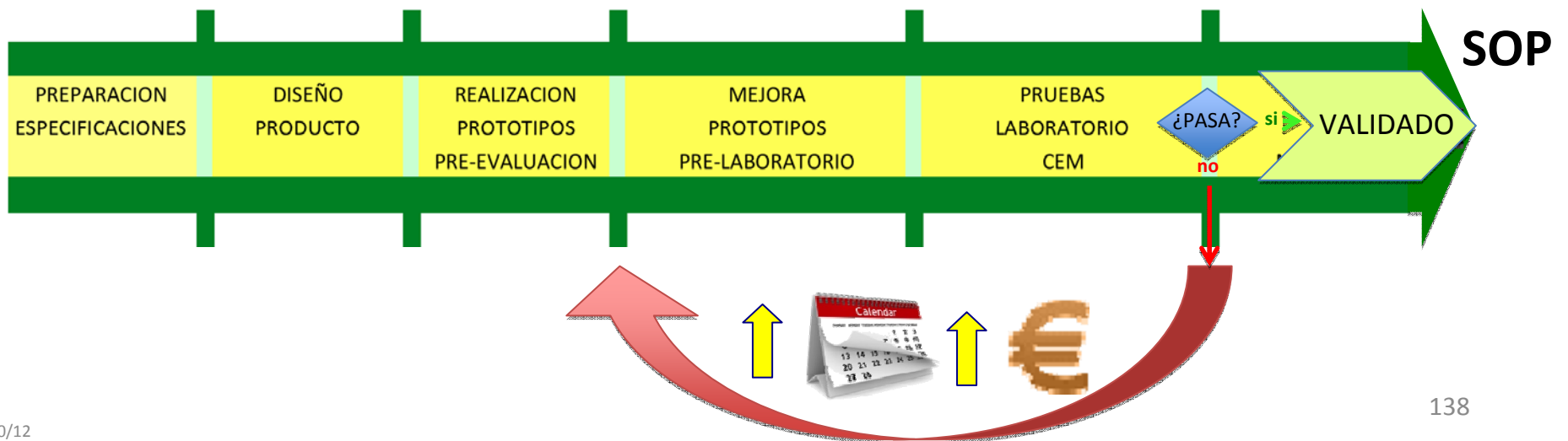
## 15. Conclusiones / servicios

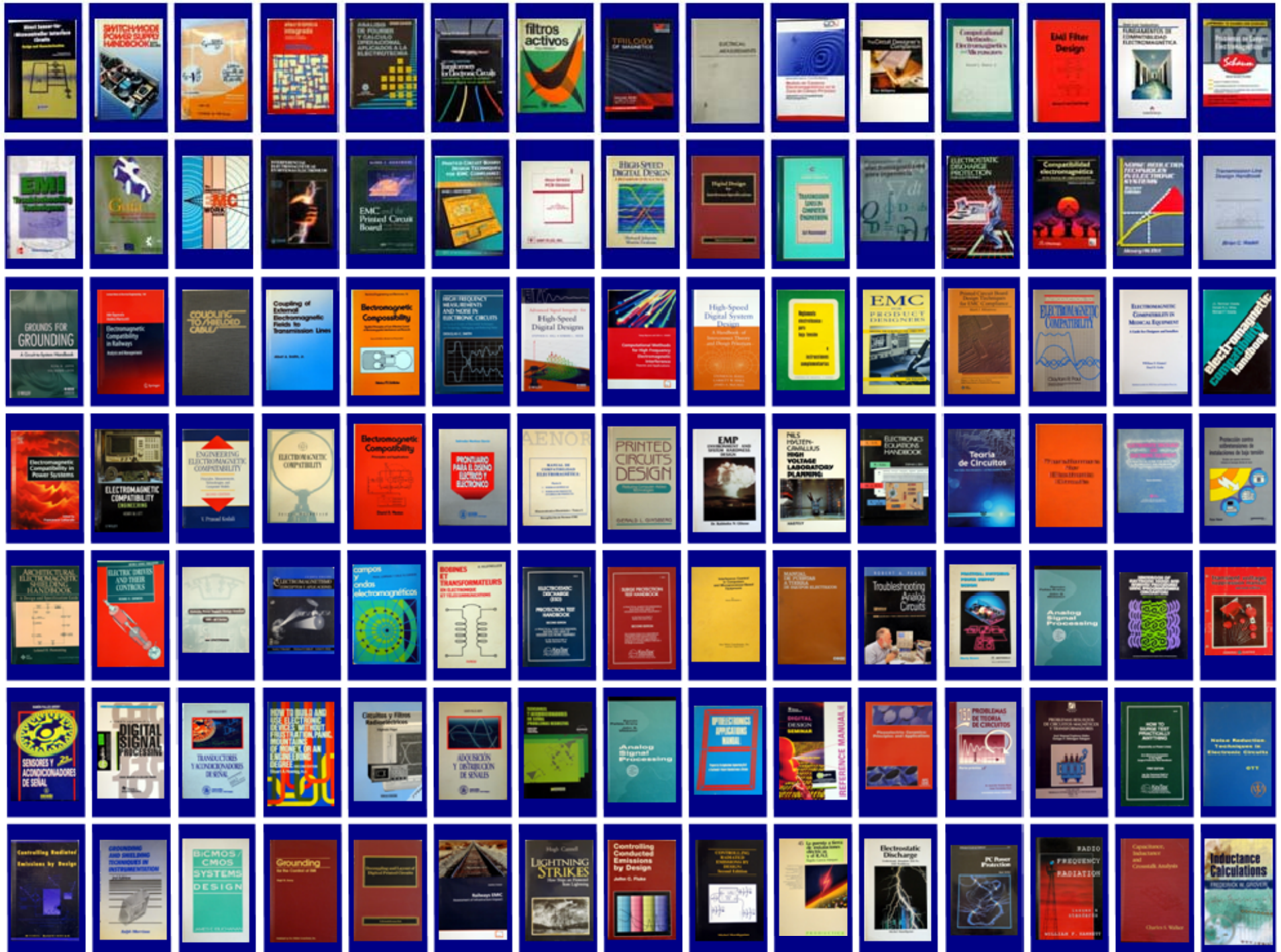
# Diseño preventivo

## METODOLOGIA DE DISEÑO PREVENTIVO



## SIN DISEÑO PREVENTIVO PUEDEN APARECER PROBLEMAS DE CEM





Switch-Mode Power Supply Handbook

Switch-Mode Power Supply Handbook

Switch-Mode Power Supply Handbook

Switch-Mode Power Supply Handbook

Switch-Mode Power Supply Handbook

Switch-Mode Power Supply Handbook

Switch-Mode Power Supply Handbook

Switch-Mode Power Supply Handbook

Switch-Mode Power Supply Handbook

Switch-Mode Power Supply Handbook

Switch-Mode Power Supply Handbook

Switch-Mode Power Supply Handbook

Switch-Mode Power Supply Handbook

Switch-Mode Power Supply Handbook

Switch-Mode Power Supply Handbook

Switch-Mode Power Supply Handbook

EMC

EMC

EMC

EMC

EMC

EMC

EMC

EMC

EMC

EMC

EMC

EMC

EMC

EMC

EMC

EMC

Grounds for Grounding

Grounds for Grounding

Grounds for Grounding

Grounds for Grounding

Grounds for Grounding

Grounds for Grounding

Grounds for Grounding

Grounds for Grounding

Grounds for Grounding

Grounds for Grounding

Grounds for Grounding

Grounds for Grounding

Grounds for Grounding

Grounds for Grounding

Grounds for Grounding

Grounds for Grounding

Electromagnetic Compatibility in Power Systems

Electromagnetic Compatibility in Power Systems

Electromagnetic Compatibility in Power Systems

Electromagnetic Compatibility in Power Systems

Electromagnetic Compatibility in Power Systems

Electromagnetic Compatibility in Power Systems

Electromagnetic Compatibility in Power Systems

Electromagnetic Compatibility in Power Systems

Electromagnetic Compatibility in Power Systems

Electromagnetic Compatibility in Power Systems

Electromagnetic Compatibility in Power Systems

Electromagnetic Compatibility in Power Systems

Electromagnetic Compatibility in Power Systems

Electromagnetic Compatibility in Power Systems

Electromagnetic Compatibility in Power Systems

Electromagnetic Compatibility in Power Systems

Architectural Electronic System Handbook

Architectural Electronic System Handbook

Architectural Electronic System Handbook

Architectural Electronic System Handbook

Architectural Electronic System Handbook

Architectural Electronic System Handbook

Architectural Electronic System Handbook

Architectural Electronic System Handbook

Architectural Electronic System Handbook

Architectural Electronic System Handbook

Architectural Electronic System Handbook

Architectural Electronic System Handbook

Architectural Electronic System Handbook

Architectural Electronic System Handbook

Architectural Electronic System Handbook

Architectural Electronic System Handbook

Sensors and Conditioning of Signal

Digital Signal Processing

Transducers and Transducers of Noise

How to Build and Use Electronic Devices

Optics and Fibers

Advisión y Distribución de Señal

Analogue Signal Processing

Applying Signal Processing

Digital Signal Processing

Reference Manuals

Problems in Theory of Circuits

How to Use Your Multimeter

Modern Production Techniques in Electronics

How to Use Your Multimeter

Modern Production Techniques in Electronics

Modern Production Techniques in Electronics

Controlling Radiated Emissions by Design

Grounding and Shielding Techniques in Instrumentation

BiCMOS/CMOS Systems Design

Grounding in the Practice of EMC

Lightning Strikes

Controlling Conducted Emissions by Design

Lightning Strikes

Controlling Conducted Emissions by Design

Lightning Strikes

Controlling Conducted Emissions by Design

Lightning Strikes

Controlling Conducted Emissions by Design

Lightning Strikes

Controlling Conducted Emissions by Design

Lightning Strikes

Controlling Conducted Emissions by Design





**CEMDAL**



**MOLTES GRÀCIES**