

Los blindajes y la CEM

Artículo cedido por Cemdal



www.cemdal.com



Autor: Francesc Daura Luna, Ingeniero Industrial. Director de la Consultoría CEMDAL. Representante de CFC para España y Portugal. www.cemdal.com fdaura@cemdal.com www.cfcele.com

Al diseñar un sistema, primero se debe considerar el entorno electromagnético en el que va a funcionar. Usualmente, los sistemas funcionan bien en el laboratorio pero pueden fallar cuando se usan en su entorno electromagnético si no se diseñan correctamente. Al iniciar el diseño de un nuevo producto electrónico, una de las primeras decisiones que se

toman es seleccionar el material y la configuración del recinto o caja que va a envolver los circuitos impresos, los cables, los conectores y todo el resto de los componentes que conforman cualquier producto electrónico. Esta decisión es determinante para las posteriores decisiones de cómo se deberá diseñar la parte electrónica interna del nuevo producto.

Para decidir correctamente el material de la caja, debemos pensar si la queremos diseñar como un blindaje, o no. Si decidimos que el recinto no debe comportarse como un blindaje, podemos seleccionar una caja de plástico sin ningún tipo de metalización. Si es así, deberemos ser consecuentes en el diseño del producto. Para ello, el diseño se realizará como si sus tarjetas de circuitos impresos y cables estuvieran electromagnéticamente expuestas al aire, sin ningún nivel de apantallado.

Si decidimos usar una caja metálica, deberemos diseñarla correctamente para que se comporte como un blindaje. Si no la diseñamos correctamente, aunque la caja sea metálica, será simplemente un recinto configurado con piezas metálicas unidas mecánicamente pero no unidas eléctricamente y no será un blindaje adecuado. Veamos como se debe diseñar un recinto o caja para que se comporte como un blindaje.

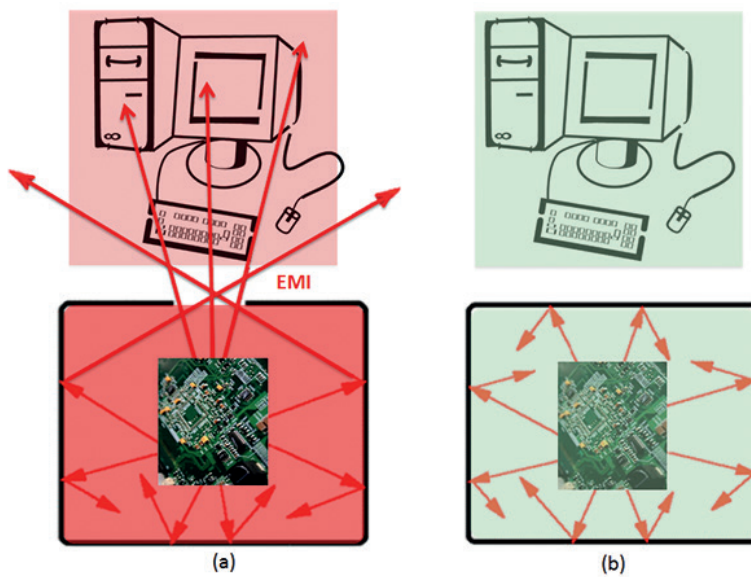


Figura 1. Blindaje para evitar emisiones radiadas. (a) La electrónica interna emite EMI hacia el exterior a través de la ranura. (b) Las EMI internas se atenúan gracias al blindaje sin ranuras y con suficiente atenuación.

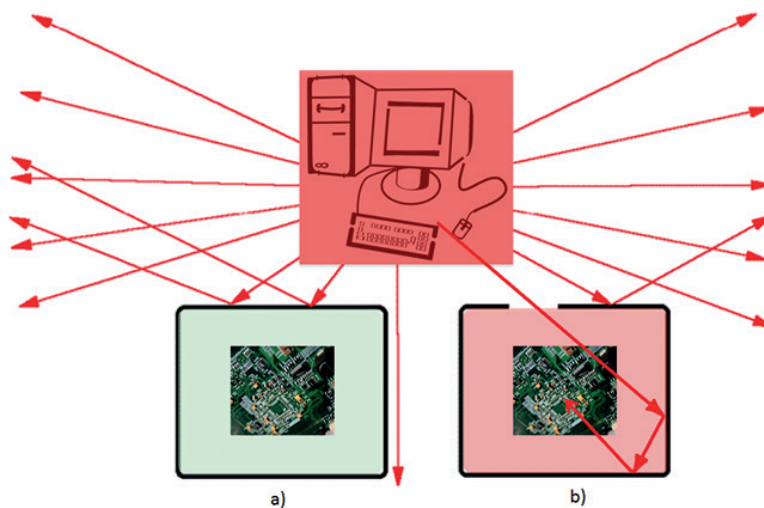


Figura 2. Blindaje para la inmunidad radiada. (a) Equipo protegido. (b) Equipo desprotegido al tener una ranura.

¿Qué es un blindaje?

Un blindaje es una pared metálica dispuesta entre dos regiones del espacio, que atenúa la propagación de los campos eléctricos, magnéticos y electromagnéticos: sirve tanto para no dejar salir ni entrar el flujo de los campos de la zona que encierra, es decir, reducir las emisiones radiadas. La figura 1(a) muestra un equipo con emisiones radiadas que salen por una apertura en el blindaje y pueden provocar interferencias electromagnéticas (EMI) en equipos cercanos. No es un buen blindaje. La figura 1(b) muestra el mismo equipo con las emisiones radiadas atenuadas gracias a un buen blindaje sin ranuras. Un blindaje también sirve para evitar que los campos externos penetren dentro de la zona que encierra, es decir, para evitar tener problemas de inmunidad radiada. La figura 2(a) muestra un equipo bien protegido contra campos exteriores gracias a la buena atenuación del blindaje. En cambio, en la figura 2(b) el equipo puede tener problemas de inmunidad debido a la entrada de campos exteriores a través de la ranura.

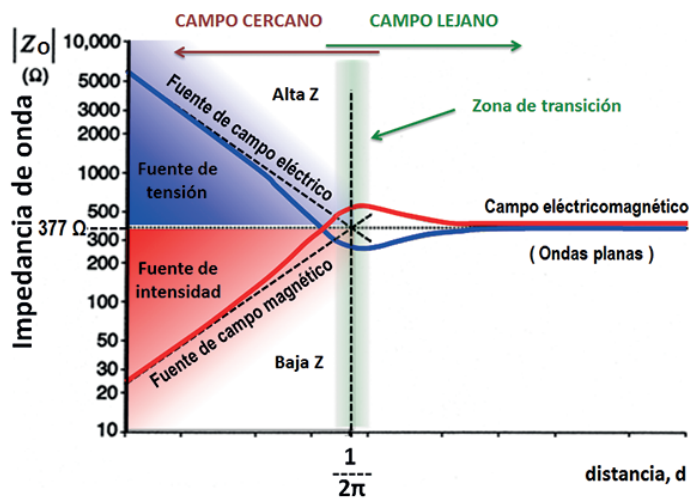


Figura 3. Campo cercano y campo lejano. La impedancia de onda depende de la distancia desde la fuente del campo al punto de observación y de si el campo es eléctrico o magnético. En el caso de los campos electromagnéticos (ondas planas), la impedancia de onda es de 377 Ω. La zona de transición está situada alrededor de $\lambda/2\pi$.

Características de los campos

Las características de un campo están determinadas por su fuente o generador, por el medio de propagación y por la distancia entre su fuente y el punto donde está situado el receptor (equipo o punto de observación). En un punto cercano a la fuente del campo, sus propiedades están determinadas principalmente por las características de la fuente. Lejos de la fuente, las propiedades están determinadas principalmente por el medio de propagación. Así, el espacio se puede dividir en dos regiones en función de la distancia entre el origen del campo y el punto

de observación (figura 3). Cerca de la fuente se sitúa el llamado campo cercano. A una distancia mayor de la longitud de onda (λ) de la frecuencia del campo dividida por 2π se sitúa el llamado campo lejano. Esta zona pertenece a las llamadas ondas planas (campo electromagnético) (figura 4). A un campo electromagnético también se le llama onda plana porque sus frentes de onda (superficie con fase constante) son planos paralelos infinitos. La zona de transición entre los dos tipos de campo se sitúa en la región cercana a $\lambda/2\pi$.

El cociente entre la intensidad de campo eléctrico E y la intensidad de campo magnético H tiene unidades de impedancia y se llama impedancia

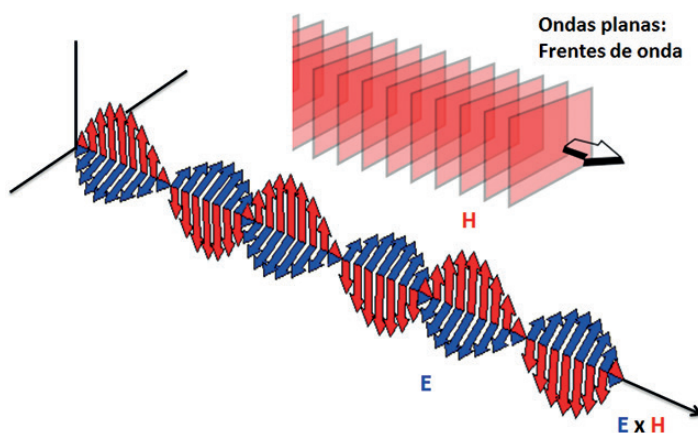


Figura 4. Campo electromagnético (ondas planas): vectores de campo E y campo H de una onda plana con E y H a 90°.

de onda. En el campo lejano, E/H es igual a la impedancia característica del medio ($E/H=Z_0=377 \Omega$) en el aire o en el vacío. En el campo cercano, esta impedancia está determinada por las características de la fuente y la distancia de la fuente al punto desde donde se observan los efectos del campo. Si la fuente tiene una fuente fr intensidad y baja tensión eléctrica ($E/H < 377 \Omega$), el campo cercano es predominantemente magnético. Contrariamente, si la fuente tiene relativa alta tensión y baja intensidad eléctricas ($E/H > 377 \Omega$), el campo cercano será principalmente eléctrico. La fuente típica de un campo eléctrico es un monopolo y la fuente típica de un campo magnético es un bucle de corriente.

En la zona de campo cercano, si el campo eléctrico es más intenso que el campo magnético, el primero se atenúa, conforme nos alejamos de la fuente proporcionalmente a $(1/d^3)$ (d =distancia entre la fuente y el receptor), mientras que el campo magnético se atenúa proporcionalmente a $(1/d^2)$ (figura 3). Contrariamente, en esta misma zona, si la intensidad del campo magnético H es mayor que la del campo eléctrico E, el campo magnético se atenúa proporcionalmente a $(1/d^3)$, mientras que el eléctrico lo hace proporcionalmente a $(1/d^2)$. En el campo lejano, ambos campos se atenúan proporcionalmente a $(1/d)$.

La figura 5 muestra una tabla de distancias en función de la frecuencia en la que se sitúa el campo lejano (zona verde), el campo cercano (zona calabaza) y las zonas de transición (zonas amarillas). La tabla de frecuencias coincide con el margen de frecuencias que usualmente requiere la normativa de emisiones radiadas. Según las normas, las emisiones usualmente se miden a 3 metros de distancia, donde se ve que el campo es lejano. Si esta distancia de medida se redujera, entraríamos en la zona de transición hacia el campo cercano a frecuencias por debajo de los 60 MHz a 1 metro de distancia y por debajo de los 500 MHz a 30 cm de distancia. En las zonas de transición y de campo cercano, los campos eléctrico y magnético se deben medir por separado para analizar sus efectos también separadamente. En la zona de campo lejano, la intensidad de campo medida no se puede saber

FRECUENCIA (MHz)	λ (m)	$\lambda/2\pi$ (m)	CAMPO			
			a 10 metros	a 3 metros	a 1 metro	a 0,30 metros
30	10,0	1,592				
40	7,50	1,194				
50	6,00	0,955			transición	Campo cercano
60	5,00	0,796				
70	4,29	0,682				
80	3,75	0,597				
90	3,33	0,531				
100	3,00	0,477		Campo lejano		
200	1,50	0,239				
300	1,00	0,159				transición
400	0,75	0,119				
500	0,60	0,095				
600	0,50	0,080				
700	0,43	0,068				
800	0,38	0,060				
900	0,33	0,053				
1000	0,30	0,048				

Figura 5. Distancia a las que se sitúa el campo lejano (verde), el campo cercano (calabaza) y las zonas de transición (amarillo), en función de la frecuencia.

si es a consecuencia de un campo eléctrico o de un campo magnético en la fuente del campo.

Efectividad de los blindajes

La efectividad de un blindaje puede especificarse en términos de atenuación de la intensidad de campo en dB. Así, la efectividad S está definida para:

- el campo eléctrico como: $S = 20 \log(E_o/E_i)$ (dB) con E_o , campo saliente y E_i , campo incidente
- y para el magnético como: $S = 20 \log(H_o/H_i)$ (dB) con H_o , campo saliente y H_i , campo incidente

El campo incidente es el campo que llega al blindaje y el campo saliente es el campo que traspasa el blindaje.

La efectividad de un blindaje varía con la frecuencia, la geometría del campo, la posición desde donde el

campo es medido, con el tipo de campo que está siendo atenuado y con la dirección de incidencia y de la polarización del campo. Los resultados de la medida o el cálculo de la efectividad sirven para comparar varios materiales en función de su atenuación.

Al incidir una onda electromagnética en una superficie metálica, la onda es parcialmente reflejada por la superficie (como si fuera un espejo), y la parte transmitida (no reflejada) es atenuada al pasar a través del blindaje por absorción (figura 6). Las pérdidas por reflexión dependen de la impedancia de onda y no son iguales en los campos cercano y lejano. En cambio, las pérdidas por absorción son las mismas tanto en campo lejano como en campo cercano.

La efectividad total de un blindaje es igual a la suma de las pérdidas por reflexión (R) más las pérdidas por absorción (A), más un factor (B) que contabiliza las múltiples reflexiones en los blindajes. Así, se puede escribir:

$$S = A + R + B \text{ (dB)}$$

El factor B es despreciable si las pérdidas por absorción $A > 10$ dB. Desde un punto de vista práctico B se puede despreciar en el caso de campos eléctricos y electromagnéticos y sólo se debe considerar en los campos magnéticos.

Pérdidas por reflexión

Las pérdidas por reflexión en la frontera entre dos medios (aire y blindaje) están relacionadas con las

impedancias características de cada uno de los dos medios. Cuando una onda atraviesa un blindaje encuentra dos cambios de medio, y si el blindaje es delgado en comparación con la profundidad de penetración, al tener pocas pérdidas de absorción se producirán múltiples reflexiones. Si el área que rodea el blindaje es aire ($Z_1 \gg Z_2$), la mayor reflexión ocurre cuando la onda incidente penetra la pared exterior del blindaje, en el caso de campos eléctricos y cuando la onda deja la cara interna del blindaje, en el caso de campos magnéticos; por ello, para los campos eléctricos, los blindajes delgados también son efectivos (figura 6).

Sin embargo, si se trata de campos magnéticos, al producirse la reflexión principal en la segunda superficie, se tienen múltiples reflexiones y, por lo tanto, la efectividad del blindaje queda reducida. Las pérdidas por reflexión crecen al disminuir la frecuencia y aumentar la conductividad del material. En el caso de campos electromagnéticos (campo lejano), antes de penetrar en el blindaje, la impedancia es igual a la impedancia característica del vacío Z_0 (377 ohmios) y cuanto menor es la impedancia del material del blindaje, mayores son las pérdidas por reflexión.

En el campo cercano, la impedancia E/H depende de la fuente del campo (antena transmisora) y no del medio de propagación, al contrario de lo que ocurre en el campo lejano. Un campo eléctrico con alta impedancia tiene una mayor reflexión que una onda plana, y un campo magnético de baja impedancia tiene menor reflexión que una onda plana, debido a que las pérdidas por reflexión son una función del cociente entre la impedancia de onda y la impedancia del blindaje. Las pérdidas por reflexión constituyen el principal mecanismo de apantallamiento en el caso de campos eléctricos.

El mejor blindaje contra campos eléctricos es una jaula de Faraday. Una jaula de Faraday es una envolvente metálica completamente cerrada que protege de los campos. Debe su nombre al físico Michael Faraday que construyó una en 1836. La jaula de Faraday se emplea para proteger los equipos de los campos externos, ya que en su interior el campo eléctrico es nulo.

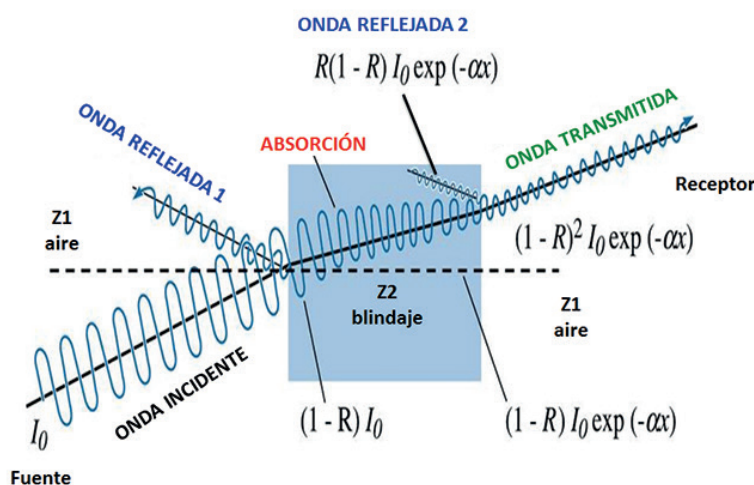


Figura 6. Pérdidas por reflexión y pérdidas por absorción.

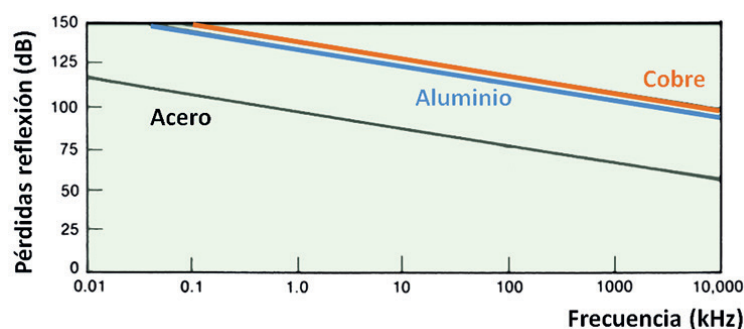


Figura 7. Pérdidas por reflexión (R) para campo cercano en cobre, aluminio y acero. Las pérdidas son mayores a bajas frecuencias y para materiales de alta conductividad.

Pérdidas por absorción

Cuando una onda electromagnética pasa a través de un blindaje, su amplitud decrece exponencialmente debido a las corrientes inducidas en el mismo. Estas corrientes provocan pérdidas por efecto Joule y por ello disipan calor en el material del blindaje. La distancia requerida para que la onda sea atenuada 1/e veces (37,7% de su valor inicial) está definida como la profundidad de penetración debida al efecto pelicular.

Las pérdidas por absorción para la profundidad de penetración por el efecto pelicular son de unos 9 dB. Doblando el espesor del blindaje se doblan las pérdidas de absorción. Este efecto constituye el principal mecanismo de apantallamiento o blindaje en el caso de campos magnéticos de baja frecuencia.

Comparación de materiales

Si en un blindaje se usa un material magnético en lugar de un material buen conductor, se tendrá un incremento de permeabilidad y un decremento de la conductividad. Esto implicará un aumento de las pérdidas de absorción y una disminución de las pérdidas de reflexión. Si en la fuente se tiene un campo magnético de baja frecuencia, este hecho significa una ventaja, debido a que los campos magnéticos no tienen casi pérdidas por reflexión. En cambio, en el caso de un campo lejano o un campo eléctrico, se tendrá un decremento de la efectividad del blindaje al ser más importante la atenuación por reflexión.

Los materiales magnéticos, al aumentar la frecuencia, disminuyen su permeabilidad y ésta también de-

pende de la intensidad de campo. Al mecanizar el material cambia sus propiedades magnéticas. Los materiales de alta permeabilidad son adecuados para frecuencias menores a 10 kHz. Es necesario no llegar a la saturación magnética del material y, para ello, se deben consultar las curvas de imantación (curva de histéresis), $B=f(H)$, de cada material, para asegurar que la intensidad de campo H no sea tan alta que sature el material. B es el flujo de inducción magnética y H es la intensidad de campo magnético. La máxima permeabilidad y, por ello, la efectividad máxima del blindaje se tendrá a un nivel medio de la intensidad de campo. Tanto a baja, como a alta intensidad de campo, la permeabilidad es baja y, en consecuencia, la efectividad del blindaje también es baja. Para evitar la saturación se pueden utilizar materiales distintos superpuestos, combinando adecuadamente sus permeabilidades, es decir, disponiendo el material de baja permeabilidad de cara a la fuente y el de alta permeabilidad en el interior del blindaje, donde habrá menor intensidad de campo H.

En el caso de campos magnéticos de 1 kHz es mejor el acero que el cobre, y éste mejor que el aluminio, pero a 100 kHz, aunque el acero sigue siendo mejor, la diferencia es muy pequeña. Entre 100 kHz y 1 MHz es claramente mejor el cobre que el acero. A 1 kHz el mumental es más efectivo que el acero, pero a 10 kHz el acero es más efectivo que el mumental. A 100 kHz tanto el acero, como el cobre y el aluminio son mejores que el mumental. En todo el espectro de frecuencias dicho, el cobre es mejor que el aluminio. Estas comparaciones están hechas teniendo en cuenta que en todos los casos se trata de un cam-

po cercano y el espesor del blindaje varía entre 0,08 y 1,5 mm, de modo que en esta gama de espesores las características antedichas son válidas. En resumen, un material magnético (permeabilidad alta) tiene una mayor efectividad de apantallado magnético a bajas frecuencias en comparación con los buenos conductores como el cobre. A altas frecuencias, los buenos conductores tienen mayor efectividad de apantallado magnético, aumentando su efectividad al aumentar la frecuencia.

Como hoy en día el material metálico más utilizado en envolventes o cajas de equipos electrónicos es el aluminio, la figura 8 presenta en detalle las curvas de efectividad para una amplia gama de frecuencias, varios espesores y para campo eléctrico y campo magnético. La figura 7 muestra gráficamente las pérdidas por reflexión en el acero, el aluminio y el cobre. La figura 8 muestra gráficamente las pérdidas por absorción en el acero y el cobre para espesores de 0,5 y 3 mm.

Ranuras

Toda la precisión posible para calcular la efectividad de un blindaje mediante fórmulas o gráficas pierde importancia cuando en un blindaje existen ranuras. La efectividad de un blindaje disminuye con la frecuencia si se tienen ranuras y juntas entre sus partes metálicas debido al paso de las ondas a través de las mismas.

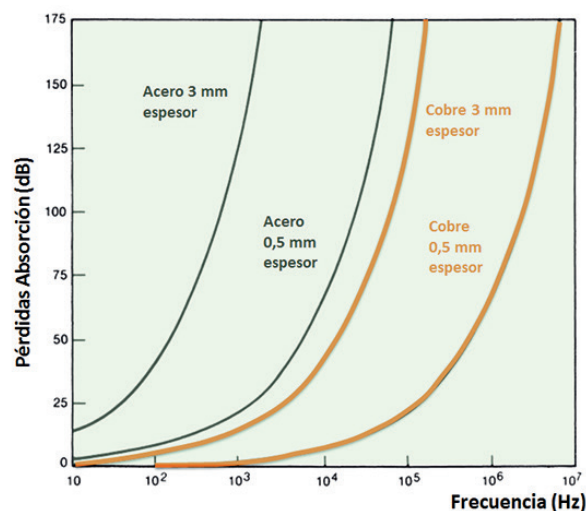


Figura 8. Las pérdidas por absorción (A) son proporcionales al espesor del blindaje.

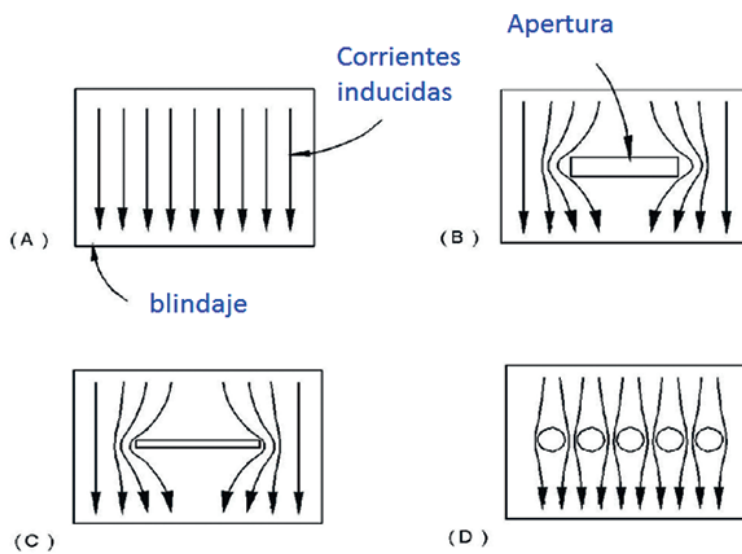


Figura 9. Una ranura se comporta como un dipolo equivalente con polarización. Eficiencia de la apertura = función de la longitud máxima. La pérdida de eficiencia de la ranura (B) es similar a la ranura (C) al tener similar longitud lineal máxima (la diagonal). La superficie de la ranura (B) o (C) es casi igual a la superficie suma de todos los agujeros en (D). Pero la pérdida de eficiencia es mucho menor en (D).

Este descenso de efectividad depende principalmente de la máxima dimensión lineal de la ranura (no de su superficie), de la impedancia de onda incidente y de la frecuencia de la fuente del campo. La ranura se comporta como una antena que re-radía el campo que le llega: desde el exterior hacia dentro o desde el interior hacia fuera.

Un número elevado de pequeñas ranuras provocan un descenso menor de efectividad que una gran ranura con la misma superficie total, al provocar una menor distorsión en las líneas de campo. La importancia de la pérdida de efectividad tiene menos que ver con el área del agujero que con la geometría del mismo. Una jun-

ta estrecha y larga puede causar más fugas de RF que una fila de agujeros con un área total mayor. Una ranura se comporta como un dipolo equivalente con polarización. La figura 9 compara la eficiencia de un blindaje sin ranura (sin distorsión de las líneas de campo, 9(A)) y tres posibles ranuras. La pérdida de eficiencia de la ranura 9(B) es similar a la ranura 9(C), al tener similar longitud lineal máxima (su diagonal).

La superficie de la ranura (B) o (C) es casi igual a la superficie suma de todos los agujeros en (D). Pero la pérdida de eficiencia es mucho menor en (D) al tener distancias lineales más pequeñas (el diámetro de sus agujeros).

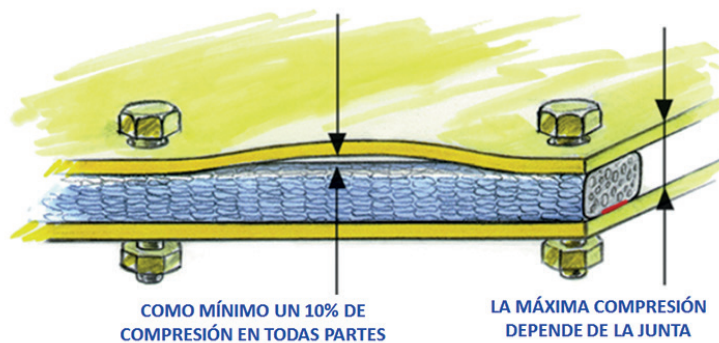


Figura 10. Para asegurar una buena conexión eléctrica y evitar fugas de RF es bueno usar juntas de RF.

Uniones en los blindajes

En la selección de envolventes y cajas para circuitos sometidos a interferencias debe tenerse en cuenta la continuidad eléctrica de las uniones de las piezas metálicas que conforman el blindaje. Estas uniones están unidas mecánicamente, pero muchas veces esta unión no es eléctricamente correcta y pueden tener fugas de RF. Para evitar estas fugas se usan juntas electromagnéticas que mejoran la unión eléctrica entre las piezas (figura 10).

Cuando se configura un blindaje a partir de piezas metálicas a medida, la unión entre ellas debe realizarse con tornillos y arandelas bloqueantes antes de pintarlas, asegurando tener una buena superficie de contacto. Luego, una vez unidas, se pueden pintar.

Blindajes contra el acoplo capacitivo (contra campos eléctricos)

En los apartados anteriores se ha tratado la problemática de los blindajes desde el punto de vista de los campos. Aquí, de forma más práctica, sin dejar de lado la teoría de campos, se enfoca desde el punto de vista de la teoría de circuitos en la que, por ejemplo, la captación de un campo eléctrico (o magnético) es tratada como un acoplo capacitivo (o inductivo).

Un blindaje de tipo electrostático contra campos eléctricos debe incluir todos los componentes a proteger, debe conectarse a un potencial constante que puede ser la masa del sistema y debe tener alta conductividad (Cu, Al). Se debe tener en cuenta que un blindaje no conectado a la masa de la fuente de alimentación puede asimismo actuar como antena radiante hacia el interior re-emitiendo las radiaciones recibidas, lo que puede empeorar la inmunidad radiada con respecto a no disponer el blindaje.

El acoplo capacitivo es debido al paso de señales de interferencia a través de capacidades parásitas. Este es el caso de la inestabilidad en frecuencia de un oscilador debida al acercamiento de la mano al mismo. En los sistemas digitales, este acoplo provoca intermodulaciones en los cables múltiples.

El modo de bloquear el acoplo capacitivo consiste en encerrar el circuito o el conductor que se quiere proteger dentro de un blindaje metálico. Éste es el llamado blindaje electrostático o de Faraday. Usualmente se conecta a masa para asegurar que las capacidades blindaje-circuito lleven las señales a masa y no actúen como elementos de realimentación o de intermodulación.

En los circuitos digitales de alta velocidad, es conveniente utilizar este tipo de blindaje en forma de planos de masa insertados entre circuitos impresos para eliminar las capacidades parásitas entre ellos. Otra aplicación común es la de los transformadores blindados electrostáticamente. Un plano de masa es una superficie conductora que sirve como conductor de retorno para todos los bucles de corriente del circuito. Normalmente es una o más capas de un circuito impreso multicapa.

Blindajes contra el acoplo inductivo (contra campos magnéticos)

Un blindaje magnético efectivo debe encerrar totalmente a los componentes que se quiere proteger y debe tener, como se ha dicho anteriormente, alta permeabilidad. Con este tipo de blindaje es a veces más difícil obtener una buena efectividad en comparación al blindaje electrostático, porque es más fácil tener alta conductividad en un blindaje eléctrico que alta permeabilidad y alta conductividad a la vez en un blindaje magnético. En el acoplo inductivo, el mecanismo físico es el flujo magnético, proveniente de cualquier interferencia externa, que induce una tensión parásita en un bucle de corriente en el circuito víctima.

Es necesario tener en cuenta dos aspectos para defender a un circuito del acoplo magnético. Uno es el de intentar minimizar los campos molestos en la misma fuente que los genera. Esto se consigue reduciendo el área de los bucles de corriente en la fuente, para provocar la anulación del campo magnético. El otro es reducir la captación inductiva en el circuito víctima, minimizando el área de sus bucles de corriente, la tensión inducida en un bucle es proporcional a su área. Así, los dos aspectos implican

la reducción de las áreas. La mejor forma de minimizar las áreas de los bucles cuando hay muchos, como en los circuitos impresos, es utilizar planos de masa. Todos los puntos de masa en el circuito van directamente conectados al plano de masa y no a una pista de masa. Esto deja libre a cada bucle de corriente para tener cualquier configuración, teniendo mínima su área (para frecuencias donde el camino de masa tiene una impedancia prácticamente inductiva).

Por ello, si la pista que transporta una señal dada zigzaguea a través del circuito impreso. La línea de retorno de esta señal es libre de zigzaguear por debajo en el plano de masa, y ello minimizará la energía almacenada en el campo magnético producido en este bucle de corriente. Un flujo magnético mínimo significa un área efectiva mínima y una susceptibilidad mínima al acoplo inductivo.

Blindajes contra la radiofrecuencia

No existe el blindaje perfecto contra campos de alta frecuencia. Como ya se ha dicho, al chocar con la superficie de blindaje, una parte de la onda incidente es reflejada y el resto atraviesa el blindaje, siendo atenuada por éste. Un material con alta conductividad es un buen reflector y un material con alta permeabilidad es un buen absorbedor. El blindaje múltiple da buenos resultados en bastantes casos con una considerable efectividad, sin embargo, no es práctico. Este problema se soluciona utilizando un blindaje compuesto de dos metales diferentes dispuestos el uno junto al otro gracias a un baño galvánico.

Es usual blindar con un material ferromagnético galvanizado con cobre dirigido hacia la fuente del campo para provocar una pérdida sustancial por reflexión. La presencia del material ferromagnético provoca luego altas pérdidas por absorción.

Un campo cercano se extiende hasta alrededor de $1/6$ ($1/2\pi$) de la longitud de onda del generador. A 1 MHz esto ocurre a unos 47 metros y a 10 MHz a unos 4,7 metros. Esto significa que si un generador de EMI está en la misma sala que el circuito víctima, es fácil tener un problema de campo cercano. En el campo cercano

de una antena vertical, el cociente E/H es mayor que 377 óhmios, lo que significa que es principalmente un generador de campo eléctrico. Los métodos para proteger al circuito del acoplo capacitivo (blindaje de Faraday), son efectivos contra las interferencias de RF provenientes de una antena.

En el campo cercano a un bucle-antena, el cociente E/H es menor de 377 óhmios lo que significa que es principalmente un generador de campo magnético. Las interferencias ocasionadas por un bucle lo son por un acoplo inductivo. Los métodos de protección contra éste, tales como el plano de masa, pueden ser efectivos contra las interferencias de RF provenientes de un bucle-antena. En el campo cercano, las EMI podrían tener un 90 % de campo H, en cuyo caso, las pérdidas por reflexión son irrelevantes. Sería aconsejable entonces reforzar las pérdidas de absorción a expensas de las pérdidas de reflexión, escogiendo acero. Un mejor conductor que el acero podría ser menos caro pero completamente inefectivo.

Conclusiones

La aplicación de los blindajes en los sistemas electrónicos es necesaria siempre que no se desee que éstos interfieran cualquier otro sistema, debido a que ellos mismos son una posible fuente de EMI. También es necesaria la aplicación de un blindaje para proteger a los sistemas digitales de las radiaciones externas. En los dos casos, un buen blindaje ayuda a pasar las normas de emisiones radiadas y de inmunidad. □

REFERENCIAS

- Francesc Daura "El ruido en sistemas digitales (IV) : los blindajes", *Mundo Electrónico*/1987 nº 175.
- J. Balcells / F. Daura / R. Pallàs / R. Esparza, *Interferencias Electromagnéticas En Sistemas Electrónicos*, 1992, Boixareu Editores
- Leland H. Hemming, "Architectural Electromagnetic Shielding Handbook", IEEE PRESS, 1991
- David, A. Weston, "Electromagnetic Compatibility: Methods, Analysis, Circuits, and Measurement", CRC Press, 2017
- Henry W. Ott, *Electromagnetic Compatibility engineering*, 2009, John Wiley & Sons
- Clayton R. Paul, "Introduction to Electromagnetic Compatibility", 2nd edition, Wiley, 2006