

Los blindajes en las cajas de plástico

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

Las normas de compatibilidad electromagnética (CEM), así como las diversas normas específicas de la industria y las telecomunicaciones, especifican ciertos límites para las emisiones y la inmunidad a campos electromagnéticos. Para cumplir con estos múltiples requisitos, los diseñadores necesitan técnicas eficaces para blindar sus dispositivos contra los campos electromagnéticos (EM).

El uso de un blindaje electromagnético es una medida eficaz para contrarrestar el efecto de las interferencias externas (EMI) y así proteger los componentes sensibles contra la radiación electromagnética externa o para reducir las emisiones de fuentes internas tales como los circuitos de RF y las altas frecuencias de los circuitos digitales o de conmutación de potencia. Un método común consiste en colocar una envoltura metálica diseñada como blindaje alrededor de la circuitería.

Los campos electromagnéticos atraviesan las cajas de plástico. Con el fin de resolver estos problemas, puede ser necesario aplicar al plástico una capa de blindaje para mejorar electromagnéticamente el dispositivo.

Para ello, hay varias posibilidades. Por ejemplo, se puede usar el proceso de galvanización no electrolítica para depositar cobre metálico aplicado al plástico. A continuación, se puede añadir una capa protectora de ní-

quel (figura 1). El revestimiento se puede aplicar selectivamente sobre zonas determinadas o globalmente, sobre toda la envoltura o caja. Las envolturas de plástico metalizado son capaces de proporcionar altos niveles de atenuación de blindaje, pero es necesario controlar estrictamente el espesor de la metalización, y las dimensiones de las posibles ranuras para la entrada o salida de cables o de otros elementos como los visualizadores.

Las envolturas o cajas de plástico son usuales en productos electrónicos debido a su buena estética, su alta flexibilidad en el diseño mecánico y su bajo coste. Pero cuando se decide usar una caja de plástico, se debe ser consecuente con el diseño de los circuitos internos para evitar problemas de emisiones radiadas o de inmunidad radiada. Normalmente, en los circuitos impresos se debe aumentar el número de capas, para poder así añadir planos de masa para mejorar su comportamiento electromagnético.

Aperturas

Uno de los requisitos clave para obtener una atenuación efectiva es que la superficie interna de la envoltura sea lo más continua posible para garantizar la conductividad eléctrica entre todas sus partes. En particular,

deben evitarse las ranuras largas, ya que pueden actuar como una guía de ondas y aumentar las emisiones o la susceptibilidad.

Como en el caso de los blindajes de metal sólido (envolturas o cajas metálicas), las aperturas suelen ser el factor mayor limitante en la eficacia de blindaje de alta frecuencia. La parte más difícil, y por lo tanto más costosa del uso de plásticos metalizados es a menudo el control de las fugas a través de las aperturas, en particular, las costuras o uniones. Debido a que una antena de ranura es el radiador más eficiente cuando su dimensión lineal máxima es igual a $1/2 \lambda$ (λ : longitud de onda), podemos definir que el blindaje para esta dimensión sea de 0 dB.

A medida que la apertura se acorta, la eficiencia de la radiación disminuirá con una pendiente de 20 dB por década, por lo tanto, la atenuación del blindaje aumentará con la misma pendiente. Así, para una apertura con una dimensión lineal máxima igual o menor que $1/2 \lambda$, la atenuación del blindaje se presenta en la ecuación A) de la figura 2. Esta ecuación A) puede remodelarse en la ecuación B), que resolviéndola tenemos la ecuación C) para determinar la longitud lineal máxima l de la apertura para tener una atenuación S para una frecuencia f dada. Los dos tipos de apertura más usuales son el rectángulo y el círculo. Para el rectángulo la longitud lineal máxima es su diagonal. Para el círculo la longitud lineal máxima es su diámetro.

La selección de la tecnología de metalización

Para apantallar la caja de plástico se debe hacer conductor el plástico y hay dos formas básicas para conseguirlo: mezclando carga metálica conductora con el plástico durante su inyección en el molde o revistiendo el plástico con un material conductor como un proceso posterior a la inyección.

La elección de la mejor tecnología de metalización depende de su



Figura 1. Depósito de Níquel sobre caja de plástico (65 dB con 50 micras de espesor).

A)
$$S = 20 \log \left(\frac{\lambda}{2l} \right)$$

B)
$$S = 20 \log \left[\frac{150}{f_{MHz} l_{metros}} \right]$$

C)
$$l_{metros} = \frac{150}{10^{\frac{S}{20}} f_{MHz}}$$

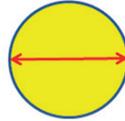


Figura 2. Fórmulas para el cálculo de la atenuación de una apertura. S : atenuación en dB, f : frecuencia en MHz, λ : longitud de onda en metros, l : longitud lineal máxima de la apertura. Por ejemplo, para un rectángulo, l es su diagonal. Para un círculo, l es su diámetro.

atenuación como blindaje a diferentes frecuencias, y de otros requisitos como la resistencia al desgaste y las características del diseño. La regla de oro es la siguiente: cuanto mayor sea la conductividad de la capa metálica aplicada, mejor será la protección electromagnética. Por ejemplo, una pintura con plata tendrá más atenuación que una pintura con níquel, ambas con el mismo espesor, gracias a la mayor conductividad de las partículas de plata frente a las de níquel. Las características del diseño de la envoltura también son importantes en el momento de decidir qué tecnología de metalización a utilizar. Si quedan aperturas en la envoltura o no se metalizan ciertas superficies críticas, se perderá atenuación como blindaje.

Si nos centramos en lo que tiene de especial cada una de las técnicas de metalización, se puede afirmar que, la técnica del vacío, se caracteriza por ser limpia, ecológica y no originar residuos. En cuanto al pintado, es el más productivo cuando se utiliza en diseños sencillos. La galvanoplastia, por su parte, es la opción ideal cuando se necesita un revestimiento completo, pero también es una solución para metalizar áreas limitadas. La electroplastia es la continuación del proceso de la galvanoplastia, pensada para aumentar la robustez.

Los recubrimientos conductores usados en plásticos son generalmente de muy poco espesor; por lo tanto, la atenuación por absorción no es significativa hasta llegar a las frecuencias. Como resultado, usualmente, la atenuación por reflexión es a menudo el mecanismo principal de protección.

Para ser efectivos como blindajes, los plásticos conductores deben tener una resistividad superficial de unos

pocos ohmios / cuadrado (Ω/\square). Por lo tanto, se deben usar materiales de alta conductividad como plata, cobre, zinc, níquel o aluminio. Por ejemplo, un revestimiento conductor con una resistividad superficial de $1 \Omega/\square$, tiene una pérdida de reflexión de onda plana de aproximadamente 39 dB. Sin embargo, para proporcionar protección solo contra ESD, se puede usar una resistividad de superficie considerablemente más alta, de hasta unos pocos cientos de Ω/\square . Por lo tanto, a menudo se pueden usar materiales de carbono o grafito si la protección contra las ESD es el único requisito.

Técnicas de metalización

Se usan varias técnicas para metalizar los plásticos. Vamos a ver las técnicas de metalización más comunes aplicadas para convertir las cajas de plástico en blindajes electromagnéticos.

Metalizado al vacío

El metal se transfiere por evaporación y deposición de vapores o por erosión por impacto y bombardeo iónico. En la metalización al vacío, un metal puro, generalmente aluminio, se evapora en una cámara de vacío y luego se condensa y se adhiere a la superficie de las piezas de plástico, formando un revestimiento bastante uniforme de aluminio puro en la superficie.

Las áreas se pueden enmascarar fácilmente para controlar dónde se deposita el metal y dónde no. Este procedimiento produce una superficie con excelente adherencia y conductividad, por lo que se puede aplicar a diseños complejos. La desventaja de esta técnica es que se requiere equipos de fabricación caros y puede ser inestable con la humedad. La figura 3 muestra un ejemplo de esta técnica.

Pinturas conductoras

Muchos productos electrónicos que se usan hoy en día están recubiertos internamente con pinturas conductoras. El recubrimiento consiste en un aglutinante (generalmente uretano o acrílico) y un pigmento conductor (plata, cobre, níquel o grafito).

Una mezcla típica puede contener hasta un 80% de relleno conductor y solo un 20% de aglutinante orgánico. El níquel y el cobre son los metales más comunes utilizados.



Figura 3. Metalizado al vacío.



Figura 4. Pinturas conductoras.

Las pinturas conductoras pueden proporcionar una buena conductividad superficial (menos de $1\Omega/\square$), aunque no es tan buena como el metal puro, ya que la conductividad eléctrica se logra únicamente a través del contacto entre las partículas conductoras de la pintura. La conductividad superficial de la pintura conductora es típicamente de uno a dos órdenes de magnitud menor que la del metal puro.

Las pinturas conductoras se pueden aplicar fácilmente con equipos de pulverización estándar, y las diversas partes de la envoltura de plástico se pueden enmascarar para que no estén recubiertas, si es necesario. Este proceso es barato; sin embargo, para obtener la máxima efectividad, la caja debe diseñarse para proporcionar la presión adecuada y la continuidad eléctrica a través de las esquinas, complicando así el molde. Si la envoltura de plástico se diseña sin considerar el posible recubrimiento conductivo, entonces el diseño de las esquinas probablemente no sea el adecuado para proporcionar una buena atenuación del blindaje.

Actualmente existen pinturas conductoras basadas en grafito, cobre, níquel y plata que superan ampliamente y con ventaja a otros tratamientos y que, aplicadas de forma convencional por aerosol con muy poca o ninguna preparación superficial del plástico, permiten conseguir niveles de apantallamiento de hasta 70 dB con espesores del orden de 50 micras.

Las pinturas se adhieren a casi cualquier tipo de plástico con gran

poder de cobertura, son duras y resistentes a la abrasión y superan las condiciones climáticas extremas, sin que la adherencia y el nivel de apantallamiento queden afectados. Las características más destacables de los distintos compuestos básicos incluidos en las pinturas utilizadas para apantallamiento son: el grafito tiene un coste muy reducido y media conductividad, usándose contra campos magnéticos y contra las ESD; la plata tiene un coste muy elevado y máxima conductividad, consiguiéndose buenos apantallamientos con sólo $25\mu\text{m}$ de espesor. Su inconveniente es que se oxida con el tiempo. El cobre es de un coste moderado y tiene casi tanta conductividad como la plata, pero es fácilmente oxidable, por lo que pierde atenuación. Actualmente, el níquel es el elemento más utilizado, ya que, sin ser tan buen conductor como el cobre o la plata, absorbe más EMI debido a su permeabilidad magnética; es muy duro, es fácil de aplicar y no se oxida con facilidad.

La principal desventaja de las pinturas conductoras es que es difícil asegurar la repetitividad del espesor en toda la superficie de la envoltura de plástico durante el proceso de producción. La variabilidad del espesor hace que la atenuación de las EMI no sea igual en toda la superficie. La figura 4 muestra un ejemplo de caja pintada internamente con pintura conductora.

Galvanoplastia electrolítica

Esta técnica se subdivide en tecnologías de revestimiento total (por las

dos caras) y de una sola cara. También se llama electrodeposición, deposición química, chapado electrolítico o electroplastia. En este proceso se ataca químicamente la superficie de plástico para crear rugosidades. Posteriormente, se sensibiliza esa misma superficie con un catalizador y se sumerge en una solución de sales metálicas que, por efecto del catalizador, inician su auto-deposición catalítica. El resultado de este proceso es un revestimiento doble y completo. Esta película se puede reforzar mediante un proceso galvánico con aplicación de corriente para conseguir una deposición de una capa más gruesa. En la técnica de una sola cara, el catalizador que inicia la deposición del metal se añade a una pintura. La deposición metálica se pondrá en marcha sólo donde se ha aplicado la pintura. De este modo, se puede metalizar selectivamente un área sí y otra no.

Los electrolitos contienen todos los metales requeridos en cada caso y no se requiere sacrificar ánodos como en el galvanizado convencional. Estos electrolitos pueden depositar varios metales o aleaciones, escogiendo selectivamente las distintas partes de la superficie a tratar. Los metales más usuales son: cobre, níquel, cobalto, cromo, plata, oro, platino, cadmio, estaño, zinc, indio y plomo. Las aleaciones son: níquel-cobalto, estaño-indio, cobalto-tungsteno, níquel-tungsteno, estaño-cadmio, estaño-plomo-níquel.

Para el blindaje de CEM, generalmente se utiliza un proceso de dos pasos, con una fina capa de níquel que se deposita sobre una capa más gruesa de cobre. La mayor parte del blindaje proviene de la capa de cobre, sin embargo, el níquel supera dos desventajas del cobre, (1) que el cobre es suave y puede frotarse o desgastarse fácilmente con el ensamblaje y desensamblaje múltiple de la unión, y (2) que el cobre se oxida y forma una superficie no conductora con el tiempo. El níquel al ser duro y ambientalmente estable, supera estos dos problemas y se aprovecha su permeabilidad magnética para atenuar los campos magnéticos. Aunque es más complicado, también se puede realizar un recubrimiento selectivo solo en áreas específicas de la parte plástica.



Figura 5. Láminas conductoras adhesivas de Cobre y de Aluminio en forma de rollo.

Se consiguen por este procedimiento espesores de 0,5 a 1 μm de cobre y 0,25 μm de níquel. Al final se aplica una capa neutralizadora de forma que se pueda pintar la superficie con pintura normal no conductora si así se desea. Un espesor de 5 centésimas de milímetro de níquel puede tener una efectividad de 40 a 120 dB en un margen de frecuencias de 100 kHz a 100 MHz. Con el mismo espesor y margen de frecuencias, el estaño tiene de 36 a 100 dB de atenuación. A menores frecuencias se requieren mayores espesores para obtener la misma atenuación. El material más usual en blindajes es el níquel y sus aleaciones, por ofrecer buena protección contra la oxidación y una resistividad de 0,04 Ω/cm^2 con un espesor de 0,05 mm.

El níquel, al tener permeabilidad relativa $\mu_r > 1$, absorbe el vector magnético de las ondas planas y el cobre absorbe el vector eléctrico debido a su excelente conductividad (0,0015 Ω/cm^2), sólo superado por la plata. El grafito es otro material que se suele utilizar como blinda-

je depositado sobre plástico. Tiene una resistividad de unos 0,3 Ω/cm^2 con un espesor de 0,05 mm y una atenuación de 30 o 40 dB entre 200 MHz y 1 GHz.

Láminas conductoras adhesivas

Otra alternativa para apantallar una caja de plástico puede ser la aplicación de láminas adhesivas metalizadas, especialmente recortadas a medida para encajar en el interior de la caja de plástico en la fase de producción. Pero tienen el inconveniente de que los extremos son una fuente de fugas debido al efecto de las aperturas, rebajando su atenuación. Normalmente son láminas de cobre o aluminio. Es común utilizarlas en la fase de experimentación y no son deseables para la producción, porque su adhesión es laboriosa y complicada. En la fase de prototipo se pueden hacer las pruebas con cintas metálicas adhesivas de cobre o aluminio con mayor o menor espesor adquiriéndolas en forma de rollo (figura 5).



Figura 6. Rociado con aerosol de llama o arco.

Ejemplo: un tipo de lámina en forma de malla de cobre se ha usado tradicionalmente en estructuras de fuselaje para EMI y protección contra rayos en el sector militar. Una malla de cobre se puede moldear por inyección en un recinto compuesto. Esta técnica ofrece un excelente blindaje EMI de 80 dB hasta 25 GHz. EL desafío de esta técnica es obtener una cobertura completa aplicándola a formas complejas.

Rociado con aerosol de llama o arco

En la técnica de recubrimiento por rociado con aerosol de llama o arco (Flame / Arc Spray), un alambre de metal de punto de fusión bajo, o polvo (generalmente zinc), (figura 6) se funde en una pistola de pulverización especial para rociar el metal sobre el material plástico. Esta técnica produce una capa dura y densa de metal con buena conductividad. Su desventaja es que el proceso de fabricación requiere equipo especial y habilidad. Por lo tanto, esta técnica es más costosa que la pintura en aerosol, pero proporciona buenos resultados porque se deposita metal puro sobre el plástico.

El rociado con arco de zinc se utiliza para apantallar, aunque su aspecto no es muy atractivo y el calor que resulta del proceso de aplicación deforma las finas paredes del plástico, en cambio ofrece un buen nivel de conductividad. La aplicación de una capa conductora con rociado con arco de zinc presenta ventajas como: no requiere tratamiento previo de la superficie (como el chorreado de arena), ni máscaras y tiene mejor adherencia, sin presentar escamas o grietas debidas a las diferencias de coeficiente térmico.

Plásticos rellenos de partículas metálicas (moldeado)

El plástico conductor se puede producir mezclando un agente conductor con la resina plástica antes del moldeo por inyección. El resultado es un compuesto moldeable por inyección. El material conductor puede ser en forma de fibras, flecos o polvos. Se puede lograr un amplio rango de conductividad mediante esta técnica, sin la necesidad de una



Figura 7. Molding de cajas de plástico metalizadas con diferentes materiales usando un proceso de inyección de plástico con polvo o fibra metálica, que elimina la necesidad de una posterior metalización superficial.



Figura 8. Blindaje transparente con ITO en una caja de plástico para un visualizador.

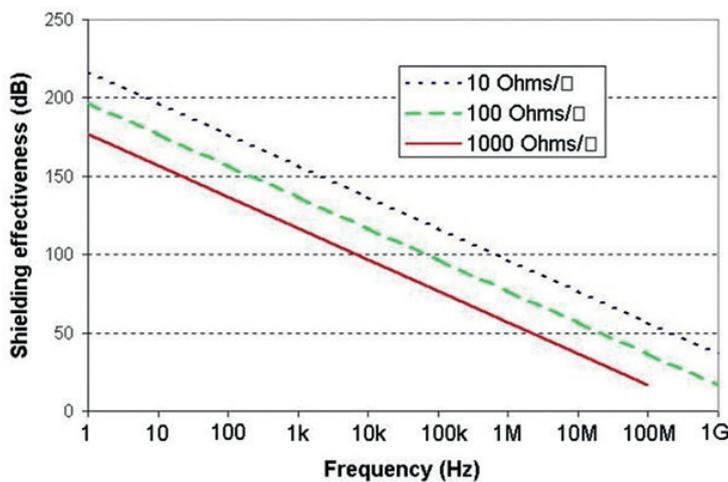


Figura 9. Atenuación calculada de campo lejano de un blindaje transparente de ITO (Indium Tin Oxide): óxido de indio y estaño en función de la frecuencia.

segunda operación de recubrimiento. Las cargas conductoras típicas son fibras de aluminio, cobre, fibras de carbono (grafito) revestidas de níquel, plata o fibras de acero inoxidable. La conductividad resultante suele ser limitada, porque la conductividad es el resultado del contacto entre las partículas conductoras en el plástico (figura 7).

La cantidad de carga conductora puede variar de 10% a un 40% para lograr las propiedades eléctricas deseadas. Los altos niveles de carga metálica, sin embargo, a menudo alteran las propiedades mecánicas, el color y la estética del material base hasta el punto en que las propiedades mecánicas alteradas pueden no ajustarse a la aplicación.

La principal ventaja de los plásticos moldeados con carga metálica es que se puede eliminar el segundo paso de recubrir el material con una capa metálica para lograr la conductividad. Sin embargo, como el material conductor está dentro del plástico, la superficie puede no ser conductora. Esto hace que el control de la conductividad a través de una costura o unión sea difícil. Puede ser necesaria una operación de mecanizado secundaria en los bordes del material para exponer las partículas conductoras en la costura, lo que elimina la ventaja de no requerir un segundo paso de proceso. Las fibras de acero alcanzan eficiencias de apantallamiento superiores a los 40 dB con cargas del 50%, mientras que las fibras de níquel requieren cargas del 10% para el mismo nivel.

No deben confundirse los plásticos conductores indicados para ser utilizados como blindajes y los que están preparados contra las descargas electrostáticas (ESD). Para tener solamente protección contra las ESD, se puede utilizar una resistencia superficial más alta que en el caso de los blindajes. Para protegerse de las ESD, el plástico debe ser suficientemente conductor para que no se induzcan tensiones de nivel suficiente en su superficie, pero no tanto como para que ocurra una descarga con chispas. Por ello, los plásticos conductores utilizados en embalajes antiestáticos no son iguales que los necesarios para apantallar. Los plásticos conductores antiestáticos tienen resistencias superficiales del orden de 10^3 a $10^{13} \Omega/\square$.

FRECUENCIA (MHz)		30	100	300	1000
TIPO DE CAPA	ESPESOR (mm)				
Electrodepósito Cobre-Níquel	$660 \cdot 10^{-6}$ (dos caras) *	84	75	>94	>74
Electrodepósito Cobre-Níquel	$1.320 \cdot 10^{-6}$ (una cara) *	65	53	55	64
Pintura de Níquel	$38 \cdot 10^3$	61	49	53	33
Pintura de Cobre	$50 \cdot 10^3$	62	51	55	57
Depósito en aerosol por arco de Zinc	$63 \cdot 10^3$	66	53	54	58
* más $380 \cdot 10^{-6}$ mm de Níquel		ATENUACIÓN (dB)			

Figura 10. Atenuación de varios tipos de blindaje para envolturas de plástico para campo cercano.

FRECUENCIA (MHz)		30	100	300	1000
TIPO DE CAPA	ESPESOR (mm)				
Electrodepósito Cobre-Níquel	$660 \cdot 10^{-6}$ (dos caras) *	>99	88	>92	>91
Electrodepósito Cobre-Níquel	$1.320 \cdot 10^{-6}$ (una cara) *	83	83	80	91
Pintura de Níquel	$38 \cdot 10^3$	43	43	39	40
Pintura de Cobre	$50 \cdot 10^3$	57	56	50	53
Depósito en aerosol por arco de Zinc	$63 \cdot 10^3$	63	60	52	64
* más $380 \cdot 10^{-6}$ mm de Níquel		ATENUACIÓN (dB)			

Figura 11. Atenuación de varios tipos de blindaje para envolturas de plástico para campo lejano.

cm², mientras que los plásticos para apantallamiento tienen resistencias superficiales menores de $10^3 \Omega/\text{cm}^2$.

Los plásticos conductores presentan la ventaja sobre las pinturas y metalizados conductores de una mayor resistencia al desgaste y que no pueden ser arañados. Un arañazo sobre la pintura puede actuar como una antena radiante.

Ejemplo de relleno conductor: la fibra de carbono o otras fibras metalizadas pueden ofrecer un blindaje modesto de 20 a 40 dB en un amplio rango de frecuencias. La atenuación del blindaje puede aumentarse utilizando una gran carga de nano materiales conductores.

Blindaje Transparente

Muchas aplicaciones requieren que se incorpore un blindaje transparente en un visualizador, por ejemplo

(figura 8). Hay dos alternativas principales disponibles para preservar la integridad del revestimiento conductor interno cuando se requiere una ventana transparente. En la primera, una malla de alambre muy fino proporciona continuidad eléctrica a costa de disminuir el nivel de transparencia. La mejor opción, desarrollada originalmente para su uso en helicópteros militares, es un recubrimiento conductor transparente que proporciona la conductividad eléctrica requerida sin oscurecer la pantalla. La figura 9 muestra la atenuación de un blindaje transparente en función de la frecuencia con tres diferentes resistencias superficiales usando ITO (Indium Tin Oxide). Se trata de una estimación obtenida por cálculo. En la realidad, su atenuación real depende mucho de las conexiones perimétricas del blindaje transparente a la envoltura metálica.

Conclusiones

La metalización de las envolturas de plástico es la solución para convertirlas en blindajes para atenuar los campos electromagnéticos en los equipos con problemas de emisión o inmunidad radiada.

Las tablas de las figuras 10, 11 y 12 muestran varios niveles de atenuación a distintas frecuencias y espesores de algunas técnicas de metalización para varios tipos de campos. Como se observa, la pintura de níquel es la que tiene menor atenuación en todas las frecuencias. La mayor atenuación se tiene con dos capas de cobre y níquel. La tabla de la figura 13 compara el aluminio y el cobre con diversos valores de resistencia en función de la frecuencia. Por último, la tabla de la figura 14 muestra una comparación cualitativa de varias técnicas de metalización. □

MATERIAL	ESPESOR (mm)	CAMPO			
		MAGNÉTICO		ELÉCTRICO	
Plástico conductor (carga metálica)	$120 \cdot 10^{-3}$	19	25	71	70
Pintura conductora	$1 \cdot 10^{-3}$	11	5	*	*
Aluminio depositado al vacío	$12 \cdot 10^{-6}$	*	*	45	45
Níquel electrodepositado	$254 \cdot 10^{-6}$	*	*	38	43
Zinc pulverizado por arco	$13 \cdot 10^{-3}$	*	*	68	68
Aluminio en lámina	$508 \cdot 10^{-6}$	62	73	*	*
Acero inoxidable en lámina	$127 \cdot 10^{-6}$	42	48	75	85
Hierro en lámina	$635 \cdot 10^{-6}$	87	85	95	98
Cobre en lámina	$889 \cdot 10^{-6}$	82	85	75	85
* No se han hecho medidas		ATENUACIÓN (dB)			

Figura 12. Atenuación de varios tipos de blindaje para envolturas de plástico para campos eléctrico y magnético.

Material	Espesor μm	Resistencia $\text{m}\Omega$	Atenuación	
			dB	Frecuencia
Cu	1	17	75	100 MHz
			78	500 MHz
			81	1 GHz
Cu	2	8.5	82	100 MHz
			85	500 MHz
			87	1 GHz
Al	2	27	77	100 MHz
			80	500 MHz
			83	1 GHz
Al	3.5	13.5	82	100 MHz
			85	500 MHz
			88	1 GHz

Figura 13. Comparativa de materiales, atenuación, espesor y resistencia usando el proceso de vaporización.

TÉCNICA	VENTAJAS	DESVENTAJAS
METALIZADO AL VACÍO	Buena adhesión. Buena conductividad. Aplicable a plásticos con formas complejas.	El espesor de la capa es muy fino. Requiere equipo especial caro. Requiere tratamiento previo de la superficie. Inestable con la humedad.
PINTURA DE PLATA	Excelente conductividad.	Alto coste. Se oxida y pierde propiedades si no se protege.
PINTURA DE COBRE	Buena conductividad.	Se oxida y pierde propiedades si no se protege. Alto costo.
PINTURA DE NÍQUEL	Buena conductividad, resiste la generación de escamas. Absorbe campo magnético. Es muy dura. No se oxida.	Requiere varias capas.
PINTURA DE GRAFITO	Coste reducido.	media conductividad.
GALVANOPLASTIA	Permite varias capas de diversos metales (típico Cu + Ni)	Puede ser frágil, especialmente con el Cromo
LÁMINAS METÁLICAS	Buena conductividad. Útil en prototipos y pruebas iniciales.	Trabajo intensivo. No viable para cajas con formas complejas.
ROCIADO POR ARCO DE ZINC	Buena conductividad, buena adhesión, resistente a rasguños. Capa dura y densa.	Requiere mano de obra cualificada. Se requiere equipo especial. Puede distorsionar el sustrato de plástico. Alto costo. Aspecto poco atractivo.
INYECCIÓN CON RELLENO METÁLICO (MOLDEADO)	No se requiere metalización adicional. Resistencia al desgaste. No pueden ser arañados.	Las propiedades del plástico base pueden quedar alteradas. Baja atenuación como blindaje. La unión de las costuras requiere el rectificado de la superficie para llegar a los conductores. Baja conductividad.

Figura 14. Comparativa cualitativa de varias técnicas de metalizado.

REFERENCIAS

- J.Balcells / F.Daura / R.Pallàs / R.Esparza, "Interferencias Electromagnéticas en Sistemas Electrónicos", Boixareu Editores, 1992
- Henry W. Ott, " Electromagnetic Compatibility Engineering", Wiley, 2009
- Salvatore Celozzi, Rodolfo Araneo, Giampiero Lovat, "Electromagnetic Shielding", IEEE Press, 2008
- Paul Hoath, "Coating Finishes for Moulded Enclosures", Vero Technologies
- Cómo proteger la carcasa de plástico, Holland Shielding Systems
- Tim Fornes, "New Techniques in Shielding for EMI", Interference Technology, Nov. 2013
- Mark Carter, "Ahorros a partir de la compatibilidad; los termoplásticos conductores simplifican el diseño de blindajes EMI y abaratan su adquisición", Revista Española de Electrónica, Mayo 2010
- Xingcun Colin Tong, "Advanced Materials and Design for Electromagnetic Interference Shielding", CRC Press, 2009
- ITEM "1986 Interference Technology Engineers's Master", R&B Enterprises
- Varios catálogos de fabricantes de materiales para las diferentes técnicas