

CÁLCULO DE EFICIENCIA DE BLINDAJES ELECTROMAGNÉTICOS.

Marcelo O. Cejas¹, Gustavo L. Demarco²

¹GISEC, Grupo de Investigación y Servicios en Electrónica y Control.
UTN. Facultad Regional Villa María. Córdoba.
email: (mcej@frvm.utn.edu.ar)

²Grupo Diseño Avanzado y Evaluación Económica
Centro Atómico Bariloche, Comisión Nacional de Energía Atómica. R8402AGP Bariloche, Argentina.
email: (demarco@cab.cnea.gov.ar)

Palabras claves: Compatibilidad electromagnética, eficiencia, blindajes.

Resumen: Utilizamos un método híbrido de Métodos de Momentos y Elemento Finito, que permite calcular los campos electromagnéticos que penetran en un gabinete de cuatro aberturas destinado para el blindaje de equipos electrónicos, sobre el que incide una onda plana. Analizamos los efectos de la radiación para tres frecuencias distintas, varias direcciones de incidencia y tres polarizaciones para cada una de estas. Para todos estos casos calculamos la eficiencia del blindaje para identificar las zonas del interior del gabinete más expuestas a efectos de interferencia.

INTRODUCCIÓN.

La compatibilidad electromagnética (EMC) es la aptitud de un equipo o sistema para funcionar satisfactoriamente en un ambiente electromagnético, sin introducir perturbaciones intolerables en ese ambiente o en otros equipos y soportar las producidas por otros equipos del mismo ambiente de trabajo.

Los requerimientos de compatibilidad electromagnética que se imponen sobre los blindajes de dispositivos electrónicos para aislarlos y protegerlos de la iluminación de campos electromagnéticos requieren de un conocimiento acabado de la eficiencia de los blindajes.

Cuando existen aperturas sobre la superficie de estos blindajes, la integridad de los mismos en cuanto a su eficiencia se ve reducida, debido a la penetración de campos externos al espacio interior del blindaje. La presencia de estos campos en el interior, dependiendo de su magnitud y frecuencia, pueden en ocasiones inducir corrientes y tensiones en las pistas de los circuitos impresos (PCBs), como así también en los componentes y dispositivos electrónicos, que pueden comprometer el buen desempeño del circuito o sistema.

Existen diversos métodos analíticos y numéricos para estimar la eficiencia de un blindaje electromagnético. Los métodos analíticos se limitan a cálculos sobre geometrías sencillas. Métodos numéricos basados en el método de los Momentos permiten calcular en forma rápida y eficiente el campo electromagnético en un punto arbitrario dentro de la cavidad, con lo que es posible conocer con precisión la eficiencia del blindaje en ese punto. La principal desventaja de estos métodos radica es que no se sabe a priori si el punto sobre el cual se calcula la eficiencia del blindaje se encuentra próximo a un nodo (punto de campo nulo) del campo electromagnético. De allí surge que la eficiencia del blindaje calculado en ese punto puede no ser representativa de otros puntos del entorno del mismo.

Distintos trabajos realizados presentan comparaciones entre diversos métodos analíticos y numéricos^{1,2}. A su vez la mayoría de los métodos numéricos se basan en aproximaciones o utilizan características de la geometría que simplifican la resolución del problema, pero lo hacen inaplicable a geometrías más complicadas.

En el presente trabajo utilizamos un método híbrido que combina el método de los Momentos (MOM) para calcular las corrientes inducidas en los conductores y una variante vectorial del método de Elementos Finitos (VFEM) para calcular los campos en el interior del blindaje. Los dos métodos se acoplan a través de los campos sobre la superficie del metal. Este esquema de cálculo está implementado en el software EMAP5³ de la *UNIVERSITY OF MISSOURI-ROLLA*, que se distribuye en forma gratuita. Cabe destacar que para el presente problema se efectuaron pequeñas modificaciones a las rutinas de salida de EMAP5, y se desarrollaron herramientas sencillas de software implementadas en FORTRAN 90, para adaptar los datos de salida de EMAP5 a un formato compatible con las herramientas de visualización y generación de mallas *acdp95*⁴.

El esquema implementado en EMAP utiliza una malla de tetraedros sobre la que se especifican funciones base definidas para cada arista de un tetraedro, en lugar de definirse sobre nodos. Estas funciones base tienen la gran ventaja de no introducir soluciones parásitas

como las que aparecen cuando se intenta resolver las ecuaciones de Maxwell reduciéndolas a ecuaciones de segundo orden.

Si bien el método es computacionalmente más intensivo, permite calcular el campo electromagnético en todo el volumen interior del blindaje, siendo la única aproximación realizada la discretización de la ecuación diferencial. Detalles de definición de los Elementos Finitos Vectoriales pueden verse en la bibliografía⁵.

ESPECIFICACIÓN DEL PROBLEMA.

La eficiencia del blindaje en un punto interior del mismo se define como:

$$SE(dB) = -20 \log \left(\frac{|E_{int}|}{|E_{ext}|} \right) \quad (1)$$

Donde E_{int} es el campo eléctrico en ese punto y E_{ext} es el campo en el mismo punto en ausencia del recinto. Es decir que la eficiencia del blindaje requiere calcular los campos en la cavidad excitada por una onda plana incidente.

La Fig. 1 muestra la geometría del recinto cúbico de 10 cm de arista, con cuatro aperturas sobre su pared frontal, que utilizamos en el presente trabajo. Las dimensiones de las aperturas son de 4 cm de largo y 1 cm de ancho y están dispuestas equiespaciadamente sobre la pared frontal del recinto.

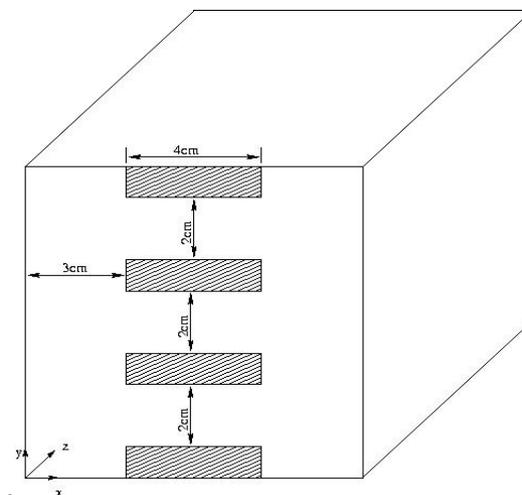


Fig. 1. Geometría del recinto cúbico y sus aperturas

A partir de la geometría mostrada se calcula la eficiencia del blindaje para distintos ángulos de incidencia, frecuencia y polarización de la onda plana que ilumina la pared donde se encuentran dispuestas las aperturas.

La onda plana incidente queda especificada por los ángulos:

$$\theta_1, \varphi_1, \theta_2, \varphi_2 \quad (2)$$

Donde: θ_1 y φ_1 son las coordenadas esféricas respecto a los ejes coordenados de la Fig.1 que definen la polarización de la onda, y θ_2 y φ_2 son las de la dirección.

En la Tabla 1. mostramos los valores de los ángulos $\theta_1, \varphi_1, \theta_2$ y φ_2 utilizados en nuestros cálculos. Utilizamos una onda plana de 10 V/m de amplitud. Las polarizaciones se eligieron de manera que una de ellas estuviese contenida en el plano que contiene a la dirección de incidencia y al eje z, otra que estuviera contenida en el plano xy, y la tercera a lo largo de la bisectriz de las dos polarizaciones anteriores

Para todas las combinaciones anteriores de incidencia y polarización se realizaron simulaciones a frecuencias de 250 Mhz, 500 Mhz y 1Ghz.

Ángulo incidencia		Incid. I		Incid. II		Incid. III		Incid. IV		Incid. V		Incid.VI	
Polarización Incidente		θ_2	φ_2										
		225°	0°	180°	0°	90°	0°	90°	90°	135°	-90°	225°	45°
Pol 1	θ_1	90°		90°		0°		0°		90°		90°	
	φ_1	90°		0°		0°		0°		0°		135°	
Pol2	θ_1	45°		90°		90°		90°		45°		45°	
	φ_1	180°		90°		0°		0°		-90°		225°	
Pol 3	θ_1	60°		90°		45°		45°		60°		60°	
	φ_1	125°		45°		90		0°		35°		170°	

Tabla 1. Ángulos y direcciones de polarización utilizados.

La malla utilizada por EMAP5 es de tetraedros obtenidos a partir de una malla de prismas rectangulares (cada prisma convenientemente seccionado da origen a cuatro tetraedros) pudiendo utilizarse refinamientos variables en el volumen de interés.

En nuestro caso utilizamos una malla regular con celdas de 1 cm de lado en las direcciones x y z y de 0,5 cm en la dirección y (ver Fig. 1). La característica de presentación de los datos de salida de EMAP5 hace que solo se puedan obtener las soluciones en el interior del blindaje en un volumen que no llega a las paredes del mismo y que no está centrado. En la Fig. 2 mostramos la proyección de la malla en el plano xy sobre la que sí es posible obtener las soluciones. En la misma se muestran las posiciones de las ranuras respecto a la malla.

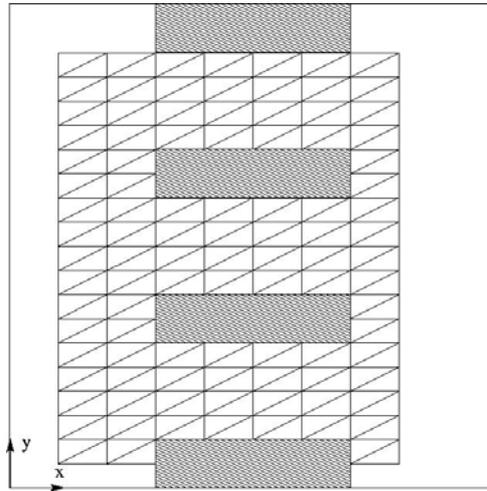


Fig. 2. Malla sobre la que especifican las soluciones relativa a la tapa superior de la caja.

RESULTADOS.

Realizamos simulaciones para todas las combinaciones posibles de polarización e incidencia dadas en la Tabla 1, para las tres frecuencias mencionadas anteriormente.

En la Tabla 2 mostramos la información brindada por EMAP5 antes de efectuar el cálculo.

FEM Volume:	MoM Region:
segments along the x axis: 10	total triangle elements: 2240
segments along the y axis: 20	total boundary edges: 3334
segments along the z axis: 10	total metallic boundary edges: 2887
total inner edges: 10540	total junction edges: 0
total tetrahedron elements: 10000	
Memory Required: 203.55 M Bytes	

Tabla 2: Requerimientos computacionales de los métodos

En la Fig. 3 mostramos curvas de nivel de la eficiencia (SE) del blindaje, para el peor de los casos observados a 1 GHz, incidencia I, y Polarización 2 (ver Tabla 1). Estas curvas se obtienen en un plano dentro de la caja ubicado a 40 mm de la tapa con las aperturas. Los valores de SE están dados en dB. de acuerdo a la ecuación (1).

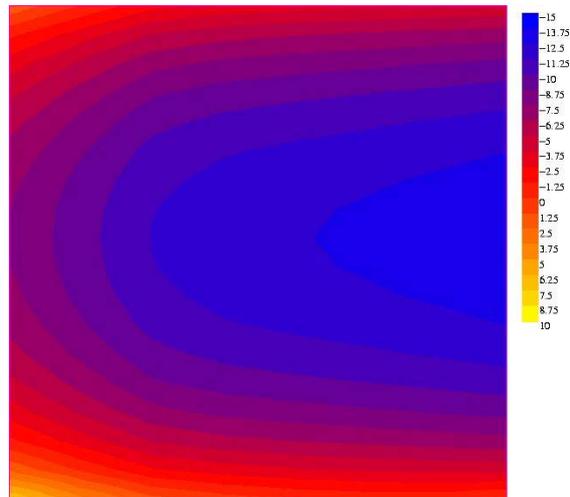


Fig. 3. SE en (dB) para 1Ghz., en el plano $z=40$ mm, incidenciaI, polarización2.

La Fig. 4 muestra el peor de los casos para 500 Mhz. Aquí la peor eficiencia del blindaje en $z=20$ mm, se da para $\theta_2 = 90^\circ$, $\varphi_2 = 0^\circ$, $\theta_1 = 45^\circ$ y $\varphi_1 = 90^\circ$.

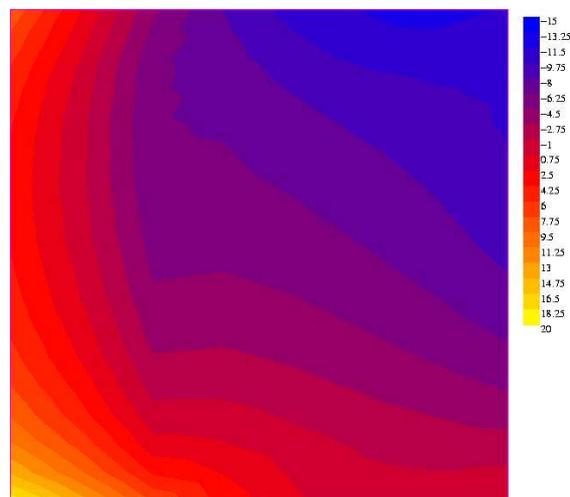


Fig. 4. SE en (dB) para 500 Mhz., en el plano $z=20$ mm, incidenciaIII, polarización3.

La figura 5 muestra las curvas de nivel de menor eficiencia para 250 Mhz. para una profundidad de $z=10$ mm. Se observa aquí que el peor rendimiento electromagnético del blindaje se da para incidencia y polarización iguales que para el caso de 500 Mhz. Utilizamos esta profundidad debido a que a esta frecuencia el campo se atenúa mas rápido con la distancia a la abertura.

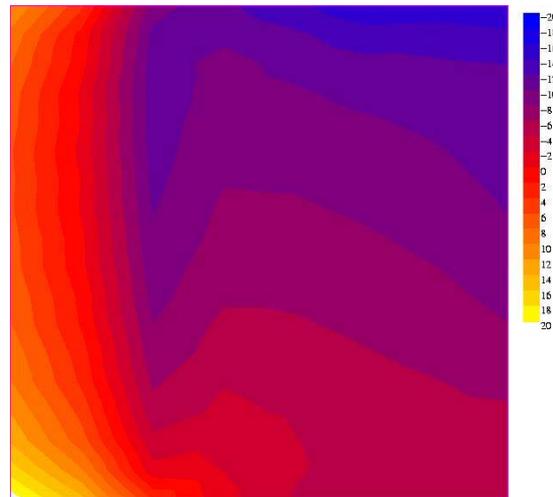


Fig. 5 SE en (dB) para 250 Mhz., en plano $z=10\text{mm}$, incidenciaIII, polarización3.

La SE [dB] en función de la profundidad [mm], tomada para un nodo en la esquina superior derecha de la malla (Fig. 2), se muestra en la Fig. 6. Estas curvas se han realizado para una incidencia de $\theta_2 = 90^\circ$, $\varphi_2 = 0^\circ$ y una polarización de $\theta_1 = 45^\circ$, $\varphi_1 = 90^\circ$, que son los que determinan el peor de los casos para una frecuencia de 500 Mhz a 20 mm.

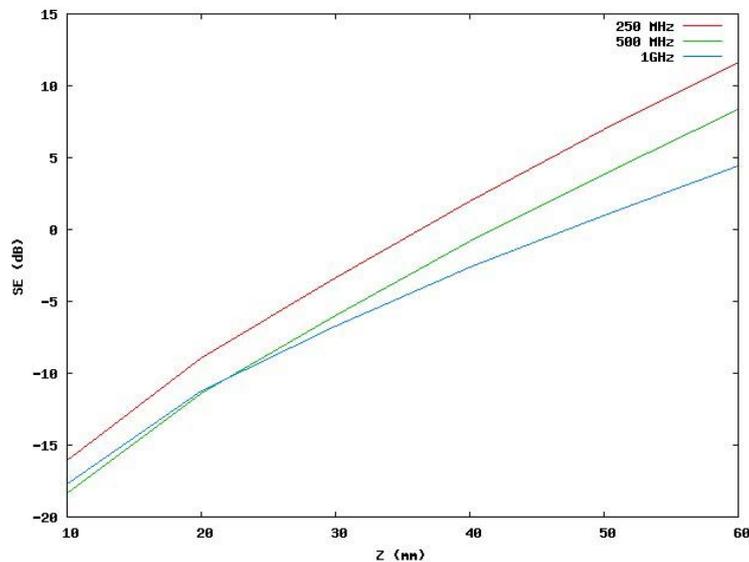


Fig. 6 SE vs. Profundidad para un nodo de la malla.

En la figura 6 se observa como la eficiencia del blindaje aumenta a medida que aumenta la profundidad, para las tres frecuencias estudiadas. Se observa además que para una profundidad de hasta 20 mm, para esta incidencia y polarización y tomando el nodo testigo,

el blindaje es menos eficiente en 500 Mhz. Por otra parte el blindaje es mas efectivo para 250 Mhz a cualquier profundidad.

CONCLUSIONES.

En este trabajo utilizamos un método de calculo de eficiencias de blindajes electromagnéticos que a pesar de ser computacionalmente intensivo, nos permite calcular el campo electromagnético en todo el volumen interior del blindaje, utilizando incidencia oblicua y polarizaciones arbitrarias de las ondas planas incidentes, siendo la única aproximación realizada la discretización de la ecuación diferencial.

De esta manera podemos estimar la eficiencia en todo el volumen interior de un blindaje metálico con aberturas

Comprobamos, contrariamente a la presunción de que la máxima penetración de campo se da en incidencia normal, que esta ocurre a una incidencia oblicua. Observamos que la orientación del campo eléctrico a los largo de un eje determinado resulta en algunos casos en una excitación mayor que la de la onda plana incidente (interferencia constructiva).

Así conociendo de antemano los parámetros de la onda electromagnética que incidirá sobre el blindaje, es posible apelando a este método de calculo, determinar, las posiciones espaciales dentro del recinto más expuestos a la penetración de campos. Lo que se traduce en una optimización geométrica de la estructura del blindaje dado que es posible salvaguardar de esas zonas potencialmente peligrosas a los componentes electrónicos y/o circuitos impresos sensibles a estas radiaciones.

REFERENCIAS.

- 1- P. Sewell et.al., “Comparison of Analytic, Numerical and Approximate Model for Shielding Effectiveness whit Measurement”. IEE Proc. Sci. Meas. TechNol., Vol. 145, n°2, pp. 61-66, 1998.
- 2- Z. Ali Khan, C. F. Bunting, and M. Deshpande. “Shielding Effectiveness of Metallic Enclosures at Oblique and Arbitrary Polarizations”. IEEE Trans. Electromag. Compat., Vol. 47, n° 1, pp 112-122, 2005.
- 3- <http://www.emclab.umr.edu/emap5/>
- 4- División Mecánica Computacional, Centro Atómico Bariloche. <http://cabmecl.cnea.gov.ar>
- 5- M. L. Barton, Z. J. Cendes. “New vector finite elements for three-dimensional magnetic field computation”. J. Appl. Phys., Vol. 61, n° 8, pp 3919-3921. 1987.