

# APROXIMACIÓN 2-D A LA EFICACIA DE APANTALLAMIENTO DE CARCASAS METÁLICAS

Antonio José Lozano Guerrero  
Alejandro Díaz Morcillo

Juan V. Balbastre Tejedor  
Luis Nuño Fernández  
Jaime Pitarch Portero  
Vincent Kulak

Departamento de las Tecnologías de la  
Información y las Comunicaciones

Instituto ITACA

Universidad Politécnica de Cartagena

Universidad Politécnica de Valencia

e-mail : [antonio.lozano@upct.es](mailto:antonio.lozano@upct.es)

e-mail : [jbalbast@itaca.upv.es](mailto:jbalbast@itaca.upv.es)

**Abstract-** In this work an approximated method to obtain Shielding Effectiveness of metallic enclosures with an aperture is evaluated. The method consists of the analysis of the 2-D transversal cut of the structure through a numerical method. A Finite Element Method based CAD tool, has been used in order to obtain the results for the susceptibility analysis of the structure. To obtain the level of energy coupling between the inner and outer part of the cavity an empirical formula is used. Shielding Effectiveness of metallic enclosures with different sizes and apertures has been analysed and good agreement has been found between the 2-D approximated method and measurements. This tool can be used to study shielding properties of materials and the effects of enclosure contents, PCBs, I/O devices, etc.

Previamente se ha analizado la inmunidad 2-D en [7-8]. En el presente estudio se analiza la susceptibilidad de carcasas metálicas ranuradas a partir de su configuración 2-D mediante la herramienta PDE Toolbox de Matlab<sup>®</sup>. Se realiza una sencilla aproximación empírica para evaluar carcasas reales a partir de la información obtenida en 2-D y se evalúan las características y limitaciones de la aproximación realizada. Los resultados se comparan con estudios previos y con medidas realizadas en cámara semianecoica. Mediante la aproximación propuesta se puede analizar tanto la inmunidad como la emisión de carcasas ranuradas, así como el efecto producido por la introducción de elementos comunes en los equipos electrónicos. Al tratarse de un estudio 2-D la disminución de incógnitas y de tiempo de cálculo es notable. Por ello se pueden realizar mallados más ajustados para modelar las cavidades bajo estudio e implementar algoritmos de diseño y optimización.

## I. INTRODUCCIÓN

Los aparatos electrónicos están sometidos a múltiples interferencias electromagnéticas (EMI) que pueden afectar a su correcto funcionamiento. En el estudio de la susceptibilidad radiada el análisis de eficacia de apantallamiento que presenta una cavidad rectangular con una apertura constituye una importante fuente de información a la hora de diseñar pantallas. Este análisis se ha abordado desde diferentes perspectivas. En [1-4] se ofrecen soluciones analíticas que permiten obtener el valor de la eficacia de apantallamiento rápidamente para frecuencias por debajo de la primera resonancia que presenta la estructura. Estas soluciones, sin embargo, no permiten formas y contenidos arbitrarios. Para poder analizar cualquier tipo de estructura se recurre a los métodos numéricos, entre ellos cabe citar los estudios realizados en [5] mediante FDTD y en [6] mediante MoM. Estos métodos permiten analizar cualquier cavidad y su contenido, sin embargo el coste computacional que requieren es muy elevado y su aplicación en tareas de diseño y optimización resulta en muchos casos inabordable. El estudio de problemas electromagnéticos en 2-D ha sido una fuente constante de información para abordar problemas reales.

## II. TEORÍA

La eficacia de apantallamiento se define como la relación entre el nivel campo medido sin el equipo apantallante y el nivel obtenido con el mismo situado en la zona de medida.

$$SE(dB) = 20 \log_{10} \left| \frac{E_i}{E_t} \right| \quad (1)$$

donde  $E_i$  es el campo sin la pantalla y  $E_t$  es el campo que atraviesa el apantallamiento. Existen dos procedimientos para obtener la eficacia de apantallamiento de un equipo. El primero mide la inmunidad o susceptibilidad del equipo y consiste en incidir mediante una onda plana sobre el escudo o pantalla y obtener el nivel de campo en su interior. El segundo consiste en excitar la carcasa mediante una sonda interior a ésta y medir en su exterior el nivel de campo que la pantalla emite. Ambas definiciones proporcionan resultados recíprocos al estar definidas sobre la misma estructura.

La eficacia de apantallamiento depende de la posición en el interior de la carcasa donde se toma la medida o se excita la cavidad. En el presente estudio se trabaja con la configuración de susceptibilidad o inmunidad radiada, con una onda polarizada linealmente que incide sobre la carcasa en dirección perpendicular a la ranura bajo estudio como muestra la Fig. 1. Para obtener una comparación directa con carcasas en 3-D se aprovecha la invarianza axial en la dimensión vertical de la estructura de al menos el primer modo que aparece. Para incluir el efecto de la anchura de la ranura se emplea la siguiente relación empírica.

$$SE(dB) = SE_{2-D}(dB) + 10 \log_{10} \left( \frac{b}{w} \right) \quad (2)$$

donde  $b$  es la altura de la cavidad y  $w$  es la anchura de la apertura. El procedimiento 2-D no está limitado al estudio de inmunidad como es el caso de [2-4], también permite el estudio en emisión radiada. Además es posible variar el ángulo de incidencia de la onda que excita la cavidad. La eficacia de apantallamiento de las carcasas metálicas presenta unos mínimos asociados a las dimensiones de la estructura. El valor en frecuencia de estos mínimos también depende de la configuración de las aperturas que presenta la carcasa y de los contenidos que se encuentran en su interior. Los distintos componentes electrónicos desplazarán en frecuencia las resonancias y, debido a las pérdidas que presenten, disminuirán el factor de calidad  $Q$  de la cavidad suavizando los mínimos de las resonancias.

### III. RESULTADOS

Los resultados se han obtenido para una configuración de susceptibilidad radiada. Se ha empleado la herramienta PDE Toolbox de Matlab® que trabaja con el Método de los Elementos Finitos y se han implementado condiciones de absorción en el contorno de la región de cálculo para satisfacer la condición de radiación de Sommerfeld. En la Fig. 2 podemos observar el montaje efectuado y su relación con la estructura de la Fig. 1 en 3-D. Se incide mediante una onda plana sobre la apertura situada en la parte frontal de la estructura y se evalúa el nivel de campo que penetra en el interior. En concreto se mide la eficacia de apantallamiento en el centro geométrico de la cavidad, ya que como se ha citado, dependiendo del lugar en el que se tome la medida, el parámetro SE tomará un valor u otro atendiendo a la distribución de campo. Debido a esto la situación de los componentes en el interior de la carcasa es de vital importancia en el diseño de apantallamientos. En la Fig. 3 se obtiene la eficacia de apantallamiento para una incidencia TM sobre una carcasa 2-D de 30 cm. x 30 cm. en la que se varía la distancia  $l$  (5 cm.-25 cm.) que presenta la ranura. Se observa cómo al aumentar el tamaño de la apertura la energía que penetra es mayor y por lo tanto la eficacia de apantallamiento disminuye, como era de esperar. El desplazamiento sufrido por las resonancias está relacionado con el tamaño de la ranura.

En la Fig. 4 se muestra la eficacia de apantallamiento para una carcasa de dimensiones 30 cm. x 12 cm. x 30 cm. y una

ranura de dimensiones 10 cm. x 0.5 cm. De la comparación entre el resultado obtenido por la aproximación 2-D realizada, los resultados obtenidos por la formulación analítica desarrollada en [3-4] y las medidas realizadas en [5] podemos concluir que la aproximación 2-D constituye un método eficiente para evaluar apantallamientos. La primera resonancia que aparece corresponde a la frecuencia  $f=689$  MHz. En cuanto a la segunda resonancia se obtiene para un valor de  $f=1070$  MHz. Tanto para la primera como para la segunda resonancia la distribución permanece invariante en la dimensión vertical por lo que podemos realizar la aproximación citada. En la Fig. 5 obtenemos los valores de SE para la misma cavidad y un tamaño de apertura de 20 cm. x 3 cm. La primera resonancia se ha desplazado hasta la frecuencia  $f=649$  MHz. Los resultados proporcionan una buena aproximación de la solución también en este caso como se puede apreciar, aunque el error cometido aumenta.

En las Fig. 6 y 7 se muestra la eficacia de apantallamiento obtenida para una posición de medida de  $p=3$  cm. y  $p=27$  cm. (distancia desde la apertura hacia el fondo de la cavidad) respectivamente. Se aprecia de nuevo la coincidencia entre los resultados obtenidos y las medidas realizadas. Debido a la aproximación realizada para evaluar el comportamiento de la ranura (2), conforme  $p$  disminuye ( $p=3$  cm.) la posición de medida está más cercana a la ranura y los resultados obtenidos por la aproximación son inferiores a las medidas. Sin embargo y a pesar de esto la aproximación muestra un buen comportamiento. En las Fig. 8 y 9 se evalúan los resultados para cavidades de diversos tamaños. Se emplea una cavidad de 22.2 cm. x 5.5 cm. x 14.6 cm. con ranura de 10 cm. x 0.5 cm. y otra de dimensiones 48.3 cm. x 12 cm. x 48.3 cm. con ranura de 10 cm. x 0.5 cm. En la cavidad de menor tamaño no llega a aparecer la primera frecuencia de resonancia. En ambas cavidades los resultados coinciden de nuevo con las medidas.

### IV. CONCLUSIONES

Los resultados del estudio 2-D realizado muestran que es posible utilizar la aproximación (2) en tareas de diseño. Se puede obtener una estima de la eficacia de apantallamiento mediante un estudio 2-D de la cavidad para la configuración de la Fig. 1 en sus modos invariantes con la dimensión vertical. Para ello se evalúa el apantallamiento proporcionado por un corte transversal como el mostrado en la Fig. 2 y se obtiene el nivel de acoplo de energía que se produce por la anchura de la ranura a través de una fórmula empírica (2). En el presente estudio se evalúan los resultados de la aproximación realizada comparándolos con la fórmula analítica proporcionada en [3-4] y con medidas proporcionadas en diferentes trabajos citados en la bibliografía. Los resultados muestran un buen comportamiento de la aproximación 2-D como mínimo hasta la primera frecuencia de resonancia, aunque el comportamiento por encima de ésta sea en muchos casos excelente. Para ranuras largas y en zonas cercanas a la ranura la precisión disminuye. Aunque la aproximación se ha evaluado en configuración de inmunidad radiada, es igualmente realizable en montaje de emisión radiada. El análisis realizado presenta las ventajas de los métodos numéricos en cuanto a versatilidad de implementación de

contenidos y materiales de la cavidad, siempre que no se altere la invarianza axial vertical, y por otra parte reduce el tiempo de cálculo significativamente respecto a los simuladores electromagnéticos 3-D. Este método puede ser aplicado en la evaluación de recubrimientos interiores en carcasas para suavizar resonancias, análisis del efecto producido por PCBs y estudio de composición y situación de absorbentes para eliminar interferencias radiadas.

### AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por la Fundación Séneca, Agencia Regional de Ciencia y Tecnología, a través del proyecto 00700/PPC/04.

### REFERENCIAS

- [1] H.A.Mendez, "Shielding theory of enclosures with apertures", *IEEE Trans. Electromag. Compat.*, vol. 20, pp. 296-305, May 1978.
- [2] R. Azaro, S. Caorsi, M. Donelliand, and G. L. Gragnani, "A circuitual approach to evaluating the electromagnetic field on rectangular apertures backed by rectangular cavities", *IEEE Trans. on Microwave Theory and Tech.*, vol. 50, pp. 2259-2266, August 2001.
- [3] M.P.Robinson, J.D.Turner, D.W.P.Thomas, J.F.Dawson, M.D.Ganley, A.C.Marvin, S.J.Porter, T.M.Benson and C.Christopoulos, "Shielding effectiveness of a rectangular enclosure with a rectangular aperture", *Electron. Lett.*, vol. 32, no. 17, pp. 1559-1560, August 1996.
- [4] Martin Paul Robinson, Trevor M. Benson, Christos Christopoulos, John F. Dawson, M. D. Ganley, A. C. Marvin, S. J. Porter, and David W. P. Thomas, "Analytical formulation for the shielding effectiveness of enclosures with apertures", *IEEE Trans. Electromag. Compat.*, vol. 40, no. 3, pp. 240-248, August 1998.
- [5] Stavros V. Georgakopoulos, Craig R. Birtcher, and Constantine A. Balanis, "HIRF Penetration Through Apertures: FDTD Versus Measurements", *IEEE Trans. Electromag. Compat.*, vol. 43, no. 3, pp. 282-294, August 2001.
- [6] Frank Olyslager, Eric Laermans Daniel De Zutter, Steven Criel, Ronald De Smedt, Norbert Lietaert, and Andre De Clercq, "Numerical, and experimental study of the shielding effectiveness of a metallic enclosure", *IEEE Trans. Electromag. Compat.* vol. 41, no. 3, pp. 202-213, August 1999.
- [7] H.H. Park, and H.J. Eom, "Electromagnetic penetration into 2D multiple slotted rectangular cavity: TE wave", *Electronic letters*, vol. 3, no. 1, pp. 31-32, January 1999.
- [8] Hyun H. Park and Hyo J. Eom, "Electromagnetic Penetration into 2-D Multiple Slotted Rectangular Cavity: TM-Wave", *IEEE Trans. on antennas and propagation*, vol. 48, no. 2, pp. 331-332, February 2000.

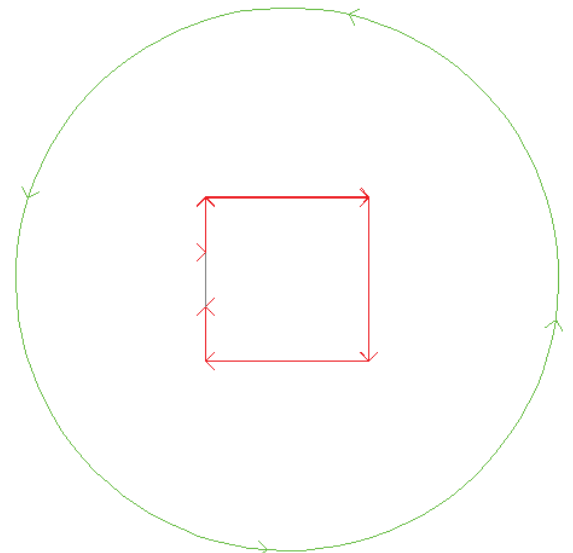


Fig. 2. Región de cálculo y carcasa con ranura frontal.

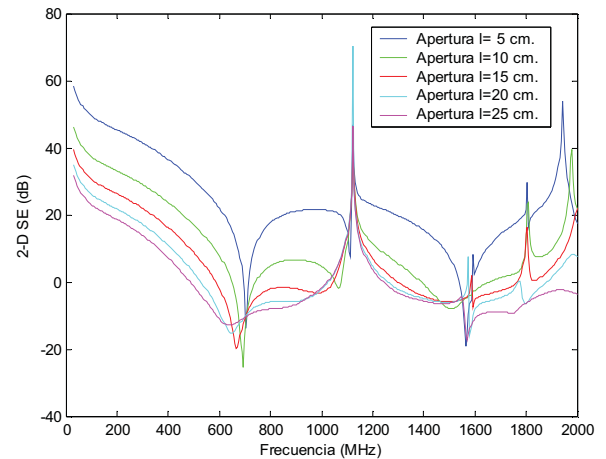


Fig. 3. Resultados de SE para una carcasa metálica de 30 cm. x 30 cm. y diversos tamaños de ranura.

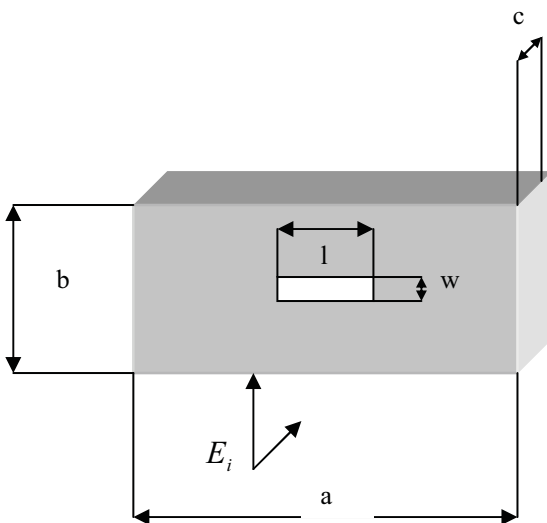


Fig. 1. Cavidad a cm. x b cm. x c cm. con ranura l cm. x w cm.

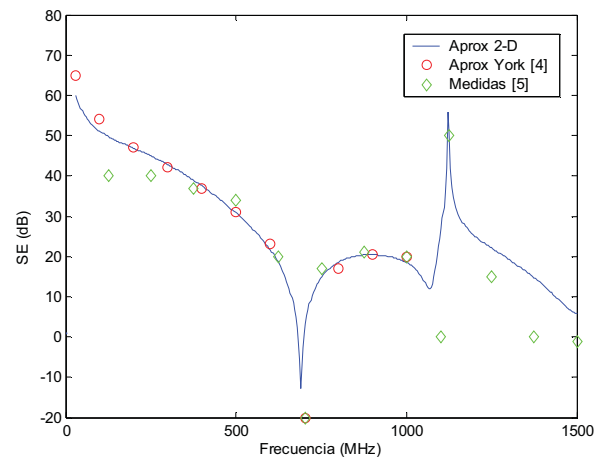


Fig. 4. Cavidad 30 cm. x 12 cm. x 30 cm. con ranura 10 cm. x 0.5 cm.

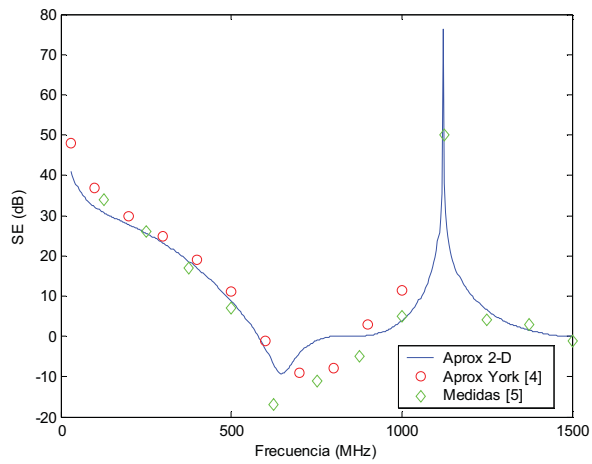


Fig. 5. Cavity 30 cm. x 12 cm. x 30 cm. con ranura 20 cm. x 3 cm.

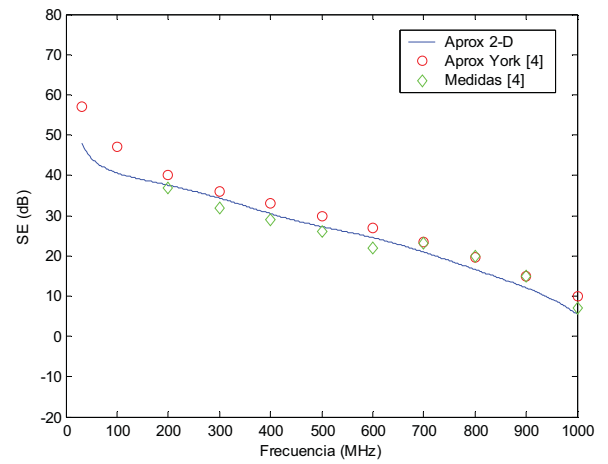


Fig. 8. Cavity 22.2 cm. x 5.5 cm. x 14.6 cm. con ranura 10 cm. x 0.5 cm.

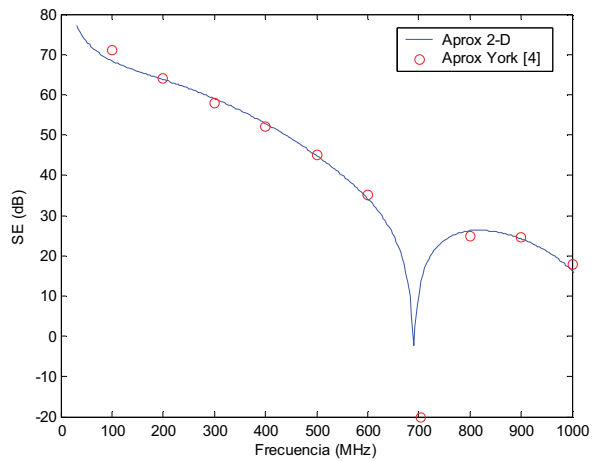


Fig. 6. Cavity 30 cm. x 12 cm. x 30 cm. con ranura 10 cm. x 0.5 cm. Posición de medida  $p=27$  cm.

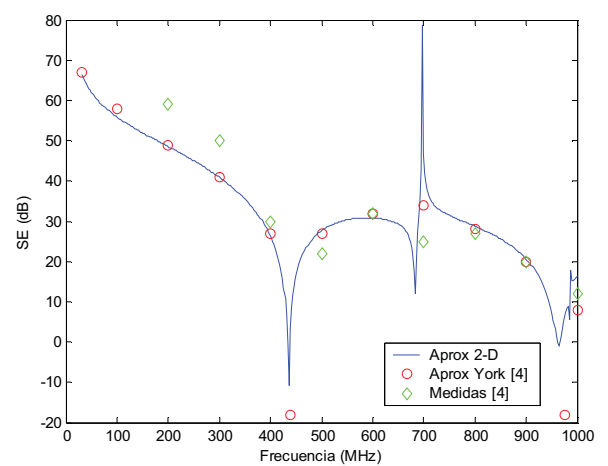


Fig. 9. Cavity 48.3 cm. x 12 cm. x 48.3 cm. con ranura 10 cm. x 0.5 cm.

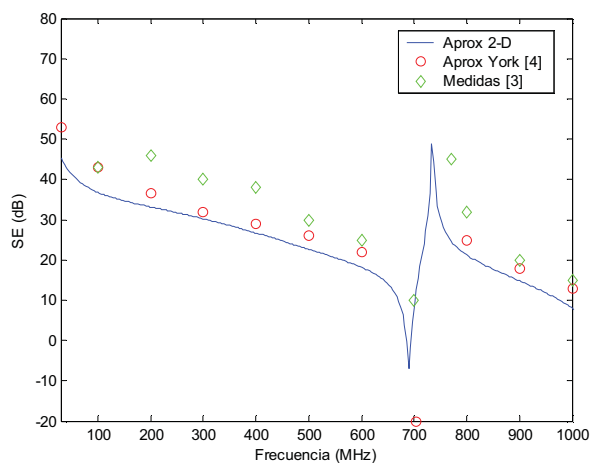


Fig. 7. Cavity 30 cm. x 12 cm. x 30 cm. con ranura 10 cm. x 0.5 cm. Posición de medida  $p=3$  cm.