

SCATTERING POR UN DISCO METÁLICO CIRCULAR ENTERRADO EN UN MEDIO SEMIINFINITO DISPERSIVO CON PÉRDIDAS.

Vicente Losada Torres (*), Rafael Rodríguez Boix (**), Francisco Medina Mena (**)

Grupo de Microondas. Dpto. de Física Aplicada I (*) y

Dpto. de Electrónica y Electromagnetismo (**). Universidad de Sevilla.

E-mails: losada@cica.es, boix@cica.es, medina@cica.es.

RESUMEN

In this work the authors analyze the plane wave scattering from a perfectly conducting circular disk buried inside a lossy, dispersive half-space. The method of moments in the Hankel transform domain is used for computing the radar cross section of the disk. The results obtained indicate that metallic disks buried in the earth can be reasonably detected by electromagnetic means provided both the wavelength and the depth of the disk in the soil are comparable to the size of the disk.

1. INTRODUCCIÓN

Los radares de penetración en el subsuelo (RPS) han sido utilizados durante mucho tiempo como un método de prospección geofísica destinado a detectar objetos enterrados bajo tierra. Debido al desarrollo de fuentes de banda ultra-ancha capaces de producir pulsos cortos de duración inferior a 1 ns (con un espectro que entra de lleno en las bandas de microondas), a lo largo de los noventa se ha despertado un gran interés en el estudio de RPS de banda ancha capaces de detectar objetos enterrados de reducido tamaño tales como minas antipersonales [1]. Este hecho ha motivado la reciente publicación de varios artículos relacionados con el *scattering* en el dominio del tiempo de objetos dieléctricos y metálicos enterrados en el subsuelo en condiciones de banda ancha [1,2]. Mientras que en algunos de estos artículos el cálculo de los campos de *scattering* se ha llevado a cabo directamente en el dominio del tiempo [1], en otros artículos se ha resuelto primero el problema en el dominio de la frecuencia y después se ha pasado el resultado obtenido al dominio del tiempo mediante una transformada de Fourier [2]. Esta última estrategia tiene la ventaja de que permite incluir de forma inmediata el carácter dispersivo del subsuelo pero tiene el inconveniente de que necesita de un método de análisis muy eficiente en el dominio de la frecuencia para mantener el coste computacional del cálculo en el dominio del tiempo dentro de unos límites razonables [2]. En el presente trabajo se describe un método muy

rápido y preciso para calcular en el dominio de la frecuencia los campos de *scattering* y la sección radar de un disco metálico circular enterrado en un medio dispersivo con pérdidas que es iluminado por una onda plana. Se espera que este método sirva en el futuro a los autores para determinar eficientemente los citados campos de *scattering* en el dominio del tiempo en condiciones de banda ancha.

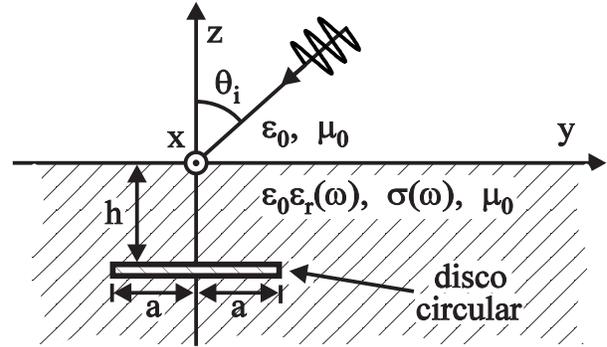


Figura 1: Vista lateral de un disco circular inmerso en un medio semiinfinito dispersivo, con pérdidas y colindante con el aire. Una onda plana incide sobre el disco procedente del aire.

2. TEORÍA

En la Fig. 1 se muestra una vista lateral de un disco metálico circular de radio a inmerso en un medio semiinfinito dispersivo con pérdidas. Se supone que el disco metálico es un conductor ideal y que su espesor es despreciable. En la Fig. 1 se muestra también una onda plana que incide sobre el disco procedente del aire con un ángulo de incidencia θ_i . En este trabajo se ha utilizado el método de momentos en el dominio de la transformada de Hankel para obtener los campos resultantes del *scattering* de la onda plana por el disco de la Fig. 1 así como la sección radar del disco (véase la referencia [3] para obtener más detalles). La utilización de funciones base adecuadas en la aproximación de la densidad de corriente sobre el disco circular por un lado [4], y la aplicación de técnicas de aceleración asintóticas en el cálculo de las integrales infinitas resultantes de aplicar el método de momentos en el dominio de Hankel por otro lado [4], han permitido que el problema del *scattering* por el disco pueda ser resuelto de forma muy rápida y muy precisa en el dominio de

la frecuencia. De hecho, el programa construido tarda sólo unos pocos segundos en un PC *Pentium II* a 300 MHz en calcular con cuatro cifras significativas correctas la sección radar del disco a cada frecuencia.

3. RESULTADOS NUMÉRICOS

Con el fin de chequear la validez del algoritmo construido para el análisis del *scattering* por el disco de la Fig. 1, los resultados obtenidos con dicho algoritmo para la sección radar de un disco suspendido en el aire han sido comparados con resultados analíticos válidos a baja frecuencia [5], obteniéndose una buena concordancia entre unos y otros resultados. En la Fig. 2 se muestran resultados numéricos obtenidos para la sección radar de un disco enterrado en tierra mojada a distintas profundidades bajo la suposición de que la tierra que alberga al disco no es dispersiva (los parámetros de permitividad y conductividad han sido tomados de la Fig. 2 de [1] en el límite de baja frecuencia). Se observa que excepto en el caso en que $h = 50$ cm, la sección radar del disco situado bajo tierra ($h \neq 0$) no difiere apreciablemente de la que presenta el disco sobre la superficie ($h = 0$ cm), lo cual nos indica que la detección de un disco metálico circular bajo tierra por parte de un RPS no debería albergar problemas si la profundidad a la que se encuentra el disco no es mayor que su diámetro. Asimismo, se observa que al subir la frecuencia desde 0.05 GHz, la sección radar sólo alcanza valores apreciables a partir de que se produce la primera resonancia del disco a unos 0.2 GHz (esto es, cuando la longitud de onda medida dentro de la tierra empieza a ser del orden del perímetro del disco). Por otro lado, en la Fig. 2 también se observa que los valores de sección radar del disco bajo tierra presentan oscilaciones cuando varía la frecuencia. Estas oscilaciones son debidas a resonancias en la región existente entre el disco y la superficie (de hecho, el patrón de las oscilaciones se repite cada vez que la distancia entre el disco y la superficie aumenta en media longitud de onda medida dentro la tierra). En la Fig. 3 se repite el estudio de la Fig. 2 para el caso en que la tierra mojada que alberga al disco está hecha de un material arcilloso dispersivo para el que la dependencia con la frecuencia de las partes real e imaginaria de la permitividad vienen dadas en la Fig. 6 de [2]. La principal diferencia entre las Figs. 2 y 3 es que la tendencia que tiene la sección radar a subir con la frecuencia en la Fig. 2 a partir de la primera resonancia es menos acusada en la Fig. 3, y lo es tanto menos cuanto mayor es la profundidad a la que se encuentra el disco de la superficie.

Agradecimientos

Este trabajo forma parte del proyecto TIC98-0630 subvencionado por la CICYT.

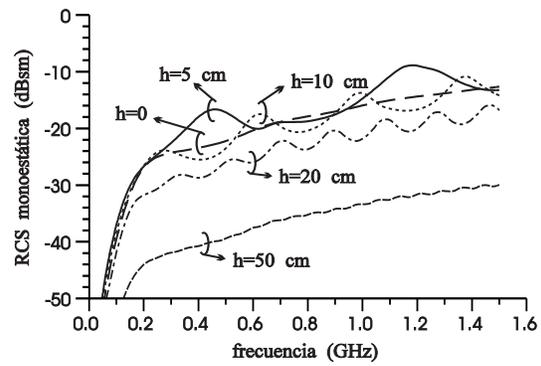


Figura 2: Sección radar monoestática de un disco circular enterrado en tierra mojada a distintas profundidades bajo incidencia normal ($\epsilon_r = 15$, $\sigma = 0.05$ S/m, $a = 10$ cm, $\theta_i = 0^\circ$)

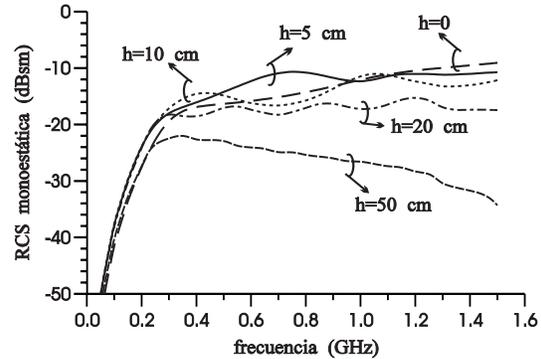


Figura 3: Sección radar monoestática de un disco circular enterrado en un terreno arcilloso dispersivo (véase la Fig. 6 de [3]) a distintas profundidades bajo incidencia normal ($a = 10$ cm, $\theta_i = 0^\circ$).

4. REFERENCIAS

- [1] T. P. Montoya, G. S. Smith, "Land mine detection using a ground-penetrating radar based on resistively loaded vee dipoles", *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. AP-47, pp. 1795-1806, Dec. 1999.
- [2] S. Vitebskiy, K. Sturgess, L. Carin, "Short-pulse plane-wave scattering from buried perfectly conducting bodies of revolution", *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. AP-44, pp. 143-151, Feb. 1996.
- [3] V. Losada, R. R. Boix, F. Medina, "Evaluation of the radar cross section of circular microstrip patches on anisotropic and chiral substrates", *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. AP-49, Sept. 2001.
- [4] V. Losada, R. R. Boix, M. Horno, "Resonant modes of circular microstrip patches in multilayered substrates", *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. MTT-47, pp. 488-498, April 1999.
- [5] W. H. Eggimann, "Higher-order evaluation of electromagnetic diffraction by circular disks", *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. MTT-9, pp. 408-418, Sept. 1961.