

Caracterización Electromagnética de Materiales en Frecuencias de Microondas

S. A. Jaramillo Flórez*, J.L. Sebastián F, M. Sancho, S. Muñoz y J. M. Miranda

*Universidad del Quindío, Facultad de Ingeniería, Ingeniería Electrónica, Av. Bolívar, Armenia, Colombia
Universidad Complutense de Madrid, Departamento de Física Aplicada III - Facultad de Ciencias Físicas,

Ciudad Universitaria S/N – 28040 Madrid, España

Abstract — Based on the parameters of scattering S_{11} and S_{21} measured experimentally, an estimate of the permitividad dieléctrica of a sample is made inside a rectangular waveguide, using the modal analysis and integral relationships.

Resumen — Basado en los parámetros de scattering S_{11} y S_{21} medidos experimentalmente, se hace una estimación de la permitividad dieléctrica de una muestra dentro de una guía de ondas rectangular, utilizando el análisis modal y relaciones integrales.

Palabras-Clave — Microondas, caracterización, materiales, análisis modal, relaciones integrales, permitividad dieléctrica.

I. INTRODUCCIÓN

Cuando se hacen estudios sobre las propiedades electromagnéticas de los materiales, es necesario conocer los valores de sus parámetros representativos como son la permitividad eléctrica ϵ y la permeabilidad magnética μ . Estos se pueden medir experimentalmente a partir de los parámetros de scattering utilizando el análisis modal y relaciones integrales entre los campos electromagnéticos a la entrada y a la salida de una guía de onda rectangular con una muestra del material a caracterizar ubicada en su interior. En este trabajo se explica un método sencillo y eficiente para caracterización de materiales eléctricos y magnéticos mediante la utilización de las medidas realizadas, y se comparan los resultados con los obtenidos por otros autores en la literatura.

II. ANÁLISIS MODAL Y ECUACIONES INTEGRALES

La Fig. 1 corresponde a la sección transversal de una guía de ondas rectangular a la que se le ha introducido en su centro una muestra de material biológico. En la región I el campo eléctrico es el resultado de la superposición del modo incidente TE_{10} y los modos reflejados TE_{m0} . Las intensidades del campo eléctrico E_{yI} , E_{yII} y E_{yIII} en las regiones I, II y III pueden escribirse [1]:

Samuel Ángel Jaramillo Flórez, samuelangel@uniquindio.edu.co, Tel: (576) 7460175. J.L. Sebastián, jlsf@fis.ucm.es, M. Sancho, msancho@fis.ucm.es, S. Muñoz, smuñoz@fis.ucm.es y J. M. Miranda, miranda@fis.ucm.es.

Este trabajo ha sido parcialmente financiado por la Universidad del Quindío.

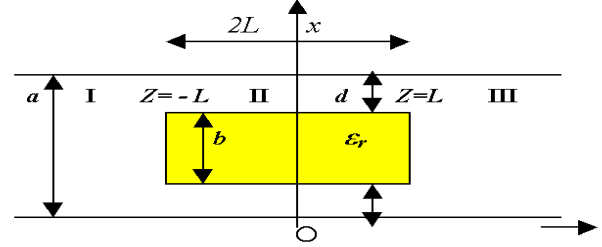


Fig.1. Dimensiones de la guía y de la muestra.

$$E_{yI} = \phi_1 \exp(-\gamma_1 z) + \sum_{m=1}^{\infty} R_m \phi_m \exp(\gamma_m z) \quad (1)$$

$$E_{yII} = \sum_{m=1}^{\infty} A_n \psi_n \exp(-\Gamma_n z) + \sum_{m=1}^{\infty} B_n \psi_n \exp(\Gamma_n z) \quad (2)$$

$$E_{yIII} = \sum_{m=1}^{\infty} T_m \phi_m \exp(-\gamma_m z) \quad (3)$$

$$\gamma_1 = j(k_o^2 - (\pi/a)^2)^{1/2} \quad (4)$$

$$\gamma_m = ((m\pi/a)^2 - k_o^2)^{1/2}, \quad m=2,3,\dots \quad (5)$$

$$\phi_m = (2/a)^{1/2} \text{sen}(m\pi x/a), \quad m=1,2,\dots \quad (6)$$

$$k_o = \alpha(\mu_o \epsilon_o)^{1/2} = 2\pi/\lambda_o \quad (7)$$

k_o , ϵ_o , μ_o y λ_o son el número de onda, la permitividad dieléctrica, la permeabilidad magnética y la longitud de onda en el espacio libre, respectivamente. ω es la frecuencia angular y ϵ_r la permitividad dieléctrica del material. a es el ancho de la base de la guía, d es la distancia desde los bordes laterales de la muestra rectangular centrada hasta las paredes laterales de la guía, y b es el espesor del material. ϕ_m es la función trigonométrica normalizada. R_m y T_m son la amplitud de la onda reflejada y transmitida del modo TE_{m0} , respectivamente. γ_m es la constante de propagación del modo m , ψ_n son las funciones modales transversales y Γ_n se encuentra resolviendo la ecuación característica:

$$(k_o^2 \epsilon_r + \Gamma_n^2) \{1 - \tan^2[(k_o^2 + \Gamma_n^2)^{1/2} d]\} + 2[(k_o^2 \epsilon_r + \Gamma_n^2)(k_o^2 + \Gamma_n^2)]^{1/2} \tan[(k_o^2 + \Gamma_n^2)^{1/2} d] / \tan[(k_o^2 \epsilon_r + \Gamma_n^2)^{1/2} b] = k_o^2 (\epsilon - 1) \quad (8)$$

Para cada valor de ϵ_r se tendrá como solución Γ_n , las n raíces de (8), que son las constantes de propagación de los

modos TE_{no} en la región II. Los coeficientes de reflexión R_m y de transmisión T_m se obtienen con las siguientes expresiones:

$$R_m = \sum_{m=1}^{\infty} A_n [1 - (\Gamma_n / \gamma_m) \exp(\gamma_m L)] P_{mn} \exp(\Gamma_n L) + \sum_{m=1}^{\infty} B_n [1 + (\Gamma_n / \gamma_m) \exp(\gamma_m L)] P_{mn} \exp(-\Gamma_n L) + (1/2) \delta_{1m} (1 - \gamma_l / \gamma_m) \exp[(\gamma_l + \gamma_m) L]; \quad m \geq n \quad (9)$$

$$T_m = \sum_{m=1}^{\infty} A_n [1 + (\Gamma_n / \gamma_m) \exp(\gamma_m L)] P_{mn} \exp(-\Gamma_n L) + \sum_{m=1}^{\infty} B_n [1 - (\Gamma_n / \gamma_m) \exp(\gamma_m L)] P_{mn} \exp(\Gamma_n L) \quad (10)$$

donde δ_{1m} es la función delta de Kronecker, $2L$ es la longitud total de la muestra y P_{mn} se encuentra con:

$$P_{mn} = \int_0^a \phi_m(x) \psi_n(x) dx \quad (11)$$

Las ecuaciones (9) y (10) se obtienen al aplicar las condiciones de frontera para las intensidades de los campos eléctricos E_y y magnéticos H_x tangenciales entre las regiones I y II y entre II y III, utilizando el análisis modal para discontinuidades en guías de onda [2]. A_n y B_n se encuentran con (12) y (13):

$$\sum_{m=1}^{\infty} A_n (1 + \Gamma_n / \gamma_m) P_{mn} \exp(\Gamma_n L) + \sum_{m=1}^{\infty} B_n (1 - \Gamma_n / \gamma_m) P_{mn} \exp(-\Gamma_n L) = 2 \delta_{1m} \exp(\gamma_l L) \quad (12)$$

$$\sum_{m=1}^{\infty} A_n (1 - \Gamma_n / \gamma_m) P_{mn} \exp(-\Gamma_n L) + \sum_{m=1}^{\infty} B_n (1 + \Gamma_n / \gamma_m) P_{mn} \exp(\Gamma_n L) = 0 \quad (13)$$

III. CÁLCULO DE LA PERMITIVIDAD DIELECTRICA

Combinando (12) y (13) se llega a:

$$[M_{mn}] \cdot [C_n] = 2 \delta_{1m} \exp(\gamma_l L) \quad (14)$$

donde $C_n = A_n + B_n$. $[M_{mn}]$ es una matriz de m por n elementos dados por:

$$M_{mn} = P_{mn} [(1 + \Gamma_n / \gamma_m) \exp(\Gamma_n L) + (1 - \Gamma_n / \gamma_m) \exp(-\Gamma_n L)] \quad (15)$$

Los valores de A_n , B_n y C_n obtenidos corresponden a un valor de la permitividad dieléctrica relativa compleja del material, ϵ_r :

$$\epsilon_r = \epsilon / \epsilon_0 = (\epsilon' - j\epsilon'') / \epsilon_0 = \epsilon_r' - j\epsilon_r'' = \epsilon_r' - j\sigma_m / \epsilon_0 \omega \quad (16)$$

donde ϵ_r' y $\epsilon_r'' = \sigma_m / \epsilon_0 \omega$ son sus componentes real e imaginaria, respectivamente, siendo σ_m la conductividad eléctrica del material biológico introducido dentro de la guía de onda. Las soluciones complejas de (8), Γ_n , conjuntamente con los vectores A_n , B_n y con (11), permiten calcular los coeficientes de reflexión R_m y de transmisión T_m con (9) y (10) respectivamente y, haciendo $m=1$, a $R_I = S_{11}$ y a $T_I = S_{21}$ del modo TE_{10} , para un valor de ϵ_r . Los resultados mostrados en las Figs. 2 y 3, dados para una frecuencia de 9,375 GHz en una guía de ondas WR90, con $2L=0,2a$ y $b=0,8a$, se aproximan apreciablemente a los obtenidos en la literatura.

IV. CONCLUSIONES

Se ha presentado un método para caracterización dieléctrica de materiales a frecuencias de microondas. Este puede extenderse para diseñar tejidos biológicos fantasma con estructura multicapa, para diagnosticar valores de ϵ_r de materiales y tejidos, para diseñar filtros a frecuencias de microondas y para determinar la permeabilidad de muestras cuando estas tienen propiedades magnéticas ($\mu_r \neq 1$).

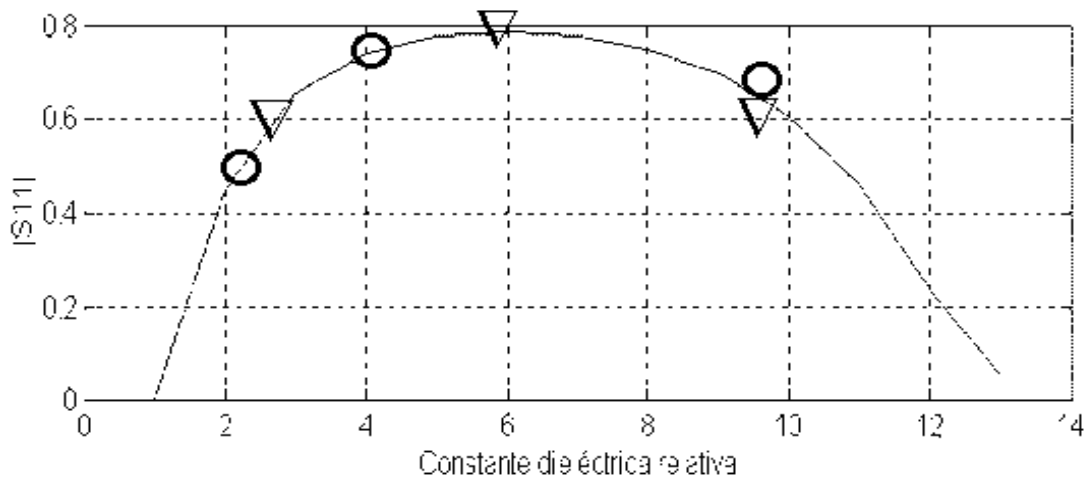
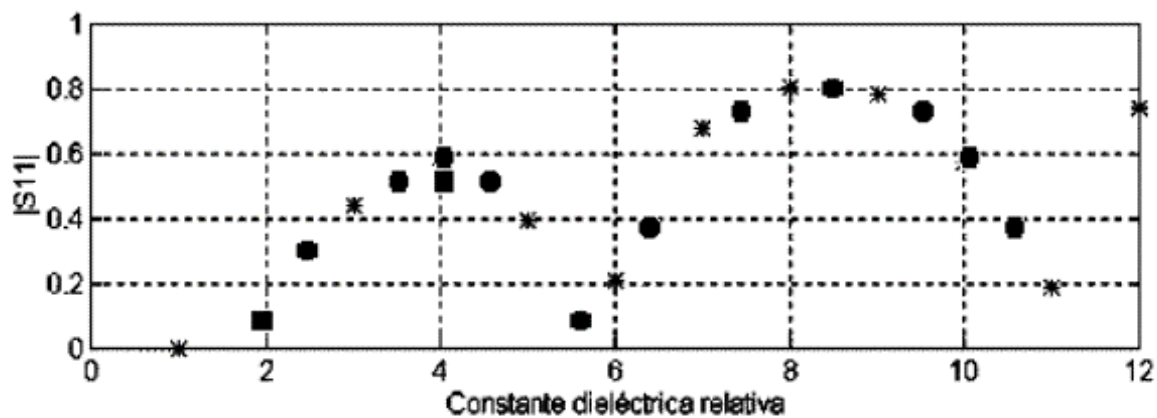


Fig. 2. $|S_{11}| \rightarrow \triangle$, $[3] \rightarrow \circ$ y $[4] \rightarrow \nabla$.



REFERENCIAS

[1] J. Abdalnour y L. Marchildon., " Scattering by a dielectric obstacle in a rectangular waveguide," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 41, pp.1988-1994, 1993.

[2] A. Wexler, "Solution of waveguide discontinuities by modal analysis," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 15, pp. 508-517, 1967.

[3] K. Ise y M. Koshiba, "Numerical analysis of H-plane waveguide junction with dielectric posts by combination of finite and boundary elements," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 34, pp. 103-109, 1986.

[4] K. Siakavara y J.N. Sahalos, " The Discontinuity Problem of Rectangular Dielectric Post in a Rectangular Waveguide," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 39, pp. 1617-1622, 1991.

Fig. 3. $|S_{11}| \rightarrow *$, [3] $\rightarrow \blacksquare$ y [4] $\rightarrow \bullet$