

## INTRODUCCIÓN

Las antenas llamadas fractales, constituidas sobre la base de la repetición de un patrón geométrico, tienen un comportamiento multibanda gracias a su propiedad de autoescalabilidad. Contendida dentro de la forma externa de la estructura fractal se encuentra la misma forma, o similar, repetida en varias escalas menores. La primera antena fractal multibanda construida fue el monopolo de Sierpinski. El desarrollo de las tecnologías en telefonía móvil y comunicaciones por microondas ha encontrado en este tipo de antenas características ventajosas para su diseño y aplicación, como por ejemplo su reducido tamaño. Se aplica la Teoría de los Modos Característicos (TMC) para analizar el diseño de una antena monopolo de Sierpinski, en su desarrollo más elemental (dos iteraciones), pues este enfoque arroja un mejor entendimiento físico del comportamiento radiante de estos dispositivos.

## MARCO TEÓRICO

### Antena Fractal: Triángulo de Sierpinski



Fig. 1. Generación del triángulo de Sierpinski

- Principio de escalabilidad
- Comportamiento multibanda
- frecuencia  $f$
- factor  $k$ , la antena resultante a una frecuencia  $k f$ .

### Teoría de Modos Característicos

- El análisis modal es independiente de la excitación, es propio de la estructura y su comportamiento natural a diferentes frecuencias.
- Todo cuerpo conductor con una superficie  $S$  está asociado, para una dada frecuencia, a un conjunto infinito de corrientes reales características ( $J_n$ ), o modos característicos, que constituyen un conjunto particular de funciones ortogonales.
- Los campos lejanos irradiados asociados a estas corrientes características ortogonales o modos característicos ( $J_n$ ), también poseen propiedades de ortogonalidad en la esfera infinita de radiación.
- Los modos irradian en forma independiente unos de otros.
- Asociado a cada modo característico  $J_n$  existe un autovalor  $\lambda_n$  (valor real), que cambia con la frecuencia.
- Estos modos se corresponden con las **resonancias naturales de la estructura**
- Asociado a cada modo característico, existe un ángulo llamado ángulo característico  $\alpha_n$ , definido como:  $\alpha_n = 180^\circ - \tan^{-1} \lambda_n$
- Un **modo es resonante** cuando el autovalor asociado es nulo ( $\lambda_n = 0$ ), o cuando su Significancia modal es igual a uno ( $MS=1$ )

$$MS_n = \left| \frac{1}{1+j\lambda_n} \right| = 1 \quad \text{ó} \quad \alpha_n = 180^\circ$$

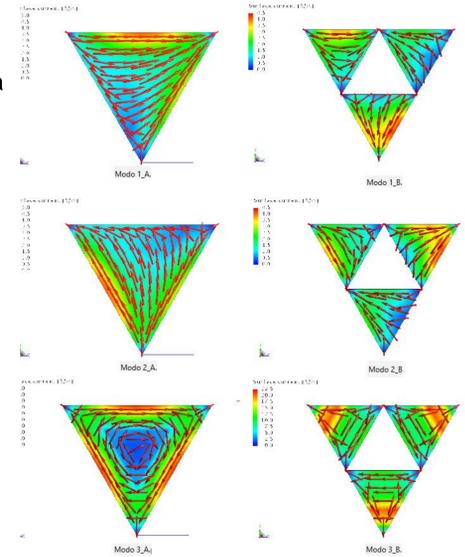


Fig. 2. Corrientes características modos 1, 2 y 3, para Monopolo de Sierpinski ( $n=0$ ,  $n=1$ )

## CASO DE ESTUDIO

### Simulaciones electromagnéticas Software FEKO

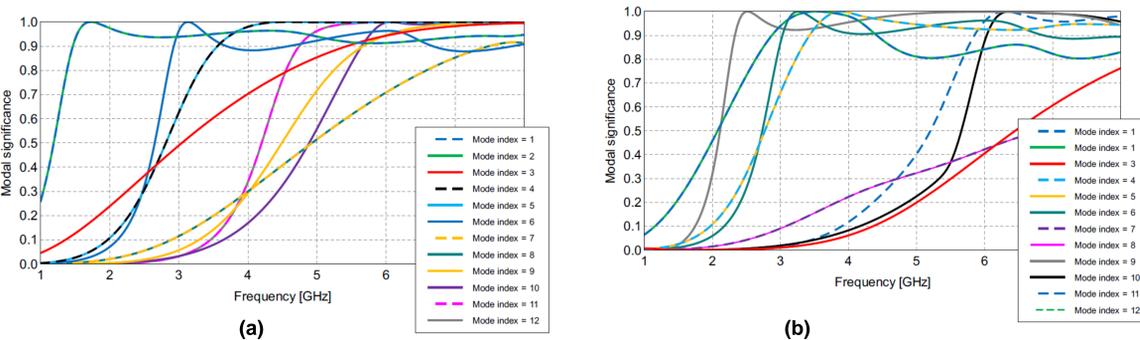


Fig. 4. Significancia modal (MS) a) iteración  $n=0$ , b) iteración  $n=1$ .

a) frecuencia de resonancia de los modos 1 y 2 (1,7 GHz).

b) frecuencia de resonancia de los modos 1 y 2 (3,5 GHz).

### Antena simulada:

#### Monopolo de Sierpinski para $n=0$ y $n=1$

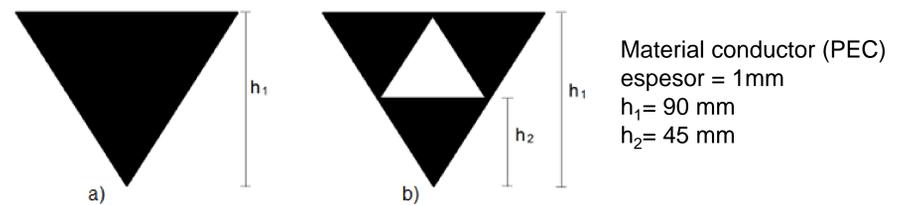


Fig. 3. Antena monopolo de Sierpinski. a) iteración  $n=0$ , b) iteración  $n=1$

## CONCLUSIONES

- El estudio de los modos característicos permite, analizando la significancia modal MS y los ángulos característicos  $\alpha_n$ , obtenidos en la simulación, detectar las frecuencias de resonancia propias de la configuración estudiada, es decir las frecuencias para las cuales la radiación es máxima. Por lo tanto, en forma independiente de la excitación es posible predecir las frecuencias de resonancia.
- Esto trae como ventaja una reducción significativa de los tiempos de simulación respecto del análisis tradicional, para el que es necesario excitar la antena con un barrido en frecuencia.
- Una vez conocidas las frecuencias de resonancia y realizando sólo un número acotado de simulaciones es posible, a partir del campo lejano y del diagrama de radiación obtenidos caracterizar el comportamiento de la antena en el entorno de dichas frecuencias de interés

## REFERENCIAS

- [1] R. J. Garbacz and R. H. Turpin, "A Generalized Expansion for Radiated and Scattered Fields," IEEE Transactions on Antennas and Propagation, AP-19, May 1971, pp. 348-358.
- [2] R. F. Harrington and J. R. Mautz, "Theory of Characteristic Modes for Conducting Bodies," IEEE Transactions on Antennas and Propagation, AP-19, 5, September 1971, pp. 622-628.
- [3] R. F. Harrington and J. R. Mautz, "Computation of Characteristic Modes for Conducting Bodies," IEEE Transactions on Antennas and Propagation, AP-19, 5, September 1971, pp. 629-639.
- [4] M. Cabedo-Fabres, E. Antonino-Daviu, A. Valero-Nogueira and M. F. Bataller "The Theory of Characteristic Modes Revisited: A Contribution to the Design of Antennas for Modern Applications" IEEE Antennas and Propagation Magazine, Vol. 49, No. 5, October 2007.
- [5] Feko Webinar Series 2013. "Get an insight into the radiation from your antennas through Characteristic Mode Analysis".
- [6] Montesdeoca Perez, P. (2005) "Longitud y Área de Curvas Fractales. Dimensión Fractal". Disponible on line: <https://personales.ulpgc.es/angelplaza.dma/ficheros/resolver/ficheros/fractales.pdf>
- [7] Chahuilco Gálvez, V.H. (2012) 2012. "Diseño de antenas fractales para televisión digital para interiores y exteriores". Pontificia Universidad Católica de Perú. Disponible on line: <http://hdl.handle.net/20.500.12404/1523>
- [8] M. Cabedo Fabrés, "Systematic design of antennas using the theory of Characteristic Modes", Phd Dissertation, Universidad politécnica de valencia. February 2007. FEKO EM Simulation Software 7.0. www.feko.info
- [9] Gross, P. (2019) *Diseño óptimo de antenas lente en microondas mediante métodos de simulación* (Tesis de doctorado). Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata, La Plata, Argentina. Disponible on line: <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/89305>
- [10] Gross, P. & Vernieri, J. (2016) "Aplicación de la teoría de modos característicos al estudio de absorbentes," 2016 IEEE Biennial Congress of Argentina (ARGENCON), Buenos Aires, Argentina, 2016, pp. 1-5, doi: 10.1109/ARGENCON.2016.7585321.

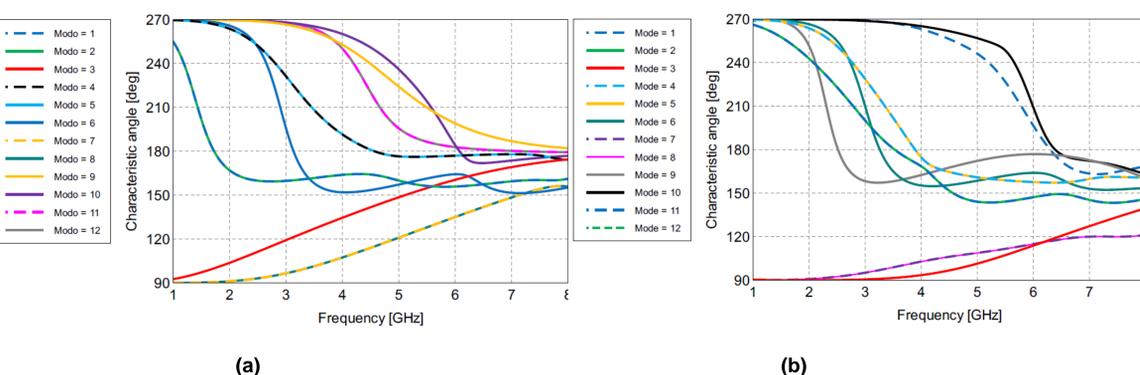


Fig. 5. Angulo característico ( $\alpha_n$ ). a) iteración  $n=0$ , b) iteración  $n=1$ .

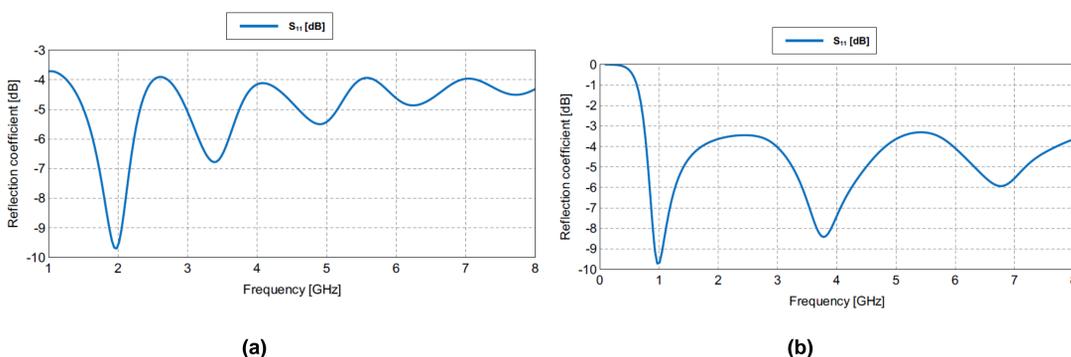


Fig. 6. Coeficiente de reflexión. a) iteración  $n=0$ , b) iteración  $n=1$ .