

# Diseño de medios EBG basados en estructuras quirales

Ángel J. García-Collado<sup>(1)</sup>, José Margineda<sup>(2)</sup>, Ernesto Martín<sup>(2)</sup>, Gregorio J. Molina-Cuberos<sup>(2)</sup>

ajgarcia@ucam.edu, jmargi@um.es, ernesto@um.es, gregomc@um.es

<sup>(1)</sup> Grupo de Investigación en Telecomunicaciones Avanzadas. Universidad Católica San Antonio.  
Avda. Los Jerónimos s/n, Guadalupe, Murcia

<sup>(2)</sup> Dpto. de Electromagnetismo y Electrónica. Universidad de Murcia.  
Campus de Espinardo, Espinardo, Murcia

**Abstract- In this work, a new EBG structure with inclusions of chiral elements is presented.**

**We have studied the effect of crank type chiral inclusions on the propagation along a microstrip line and compared with the effects produced by mushroom type inclusions.**

**It has been found that the inclusion of a row of structures of high chirality on both sides of a transmission line produces a band gap of wider bandwidth, to that obtained by the inclusion of other known elements used to create EBG media such as mushroom type structures.**

**The current structure works in X-Band (8.2-12.4 GHz) but is easily applicable to other frequencies changing the size of crank inclusions.**

## I. INTRODUCCIÓN

Desde hace algunos años se están llevando a cabo importantes avances en el desarrollo de nuevos medios artificiales con interesantes aplicaciones por su interacción con las ondas electromagnéticas. Estos medios abren la puerta a nuevas aplicaciones relacionadas con la propagación de las ondas, las antenas, los dispositivos pasivos de microondas, las superficies de alta impedancia, etc.

Los medios EBG (*Electromagnetic Band Gap*) son estructuras artificiales, por lo general periódicas, que sirven para limitar la propagación de ondas electromagnéticas en una banda de frecuencias específica, para cualquier ángulo de incidencia y para cualquier estado de la polarización. Las estructuras EBG son realizadas mediante combinación de materiales dieléctricos y conductores, y de forma global, pueden ser clasificadas en tres categorías [1]: estructuras tridimensionales, estructuras planas superficiales y estructuras unidimensionales. Presentan, además, la posibilidad de impedir ondas superficiales, consiguiendo la mejora de características de propagación y de radiación en el caso de las antenas [2].

Una de las estructuras más utilizada en el diseño de este tipo de medios es la de tipo seta o *mushroom* (*mushroom-like EBG*), de tipo tridimensional, desarrollada por Sievenpiper et al. [3]. Presenta, en comparación con otras estructuras EBG convencionales, la característica de ser muy compacta, y puede ser integrada fácilmente en las placas de circuito impreso. Las principales ventajas de esta estructura son su bajo coste, la facilidad de fabricación mediante tecnologías de circuitos impresos y la flexibilidad para escalarla a cualquier frecuencia. Sin embargo, exhibe características de

banda estrecha, lo que restringe su uso en aplicaciones que requieren banda ancha [4]-[6].

En este trabajo presentamos una alternativa al diseño de medios EBG basada en la inserción de estructuras quirales tipo manivela [7]. Analizamos el efecto producido en una línea de transmisión microstrip al añadir estructuras de este tipo a ambos lados de la misma y comparamos con las de tipo *mushroom*. Llevaremos a cabo este estudio haciendo uso de la herramienta de simulación numérica *CST Microwave Studio*, que utiliza un algoritmo de integración con el que se analizarán los parámetros S de las estructuras periódicas diseñadas.

## II. PLANTEAMIENTO Y DESCRIPCIÓN DE LOS MEDIOS

Para llevar a cabo este estudio analizaremos en primer lugar la respuesta de una línea microstrip estándar. Posteriormente, sobre ella incluiremos a sendos lados de la misma una o más filas de estructuras de tipo *mushroom*, para, a continuación, obtener el comportamiento de las estructuras quirales basadas en inclusiones metálicas de tipo *crank*.

A través de la obtención de los parámetros S, y en concreto del análisis del parámetro de transmisión, se estimará la banda prohibida de las dos estructuras analizadas. Por comodidad, trabajaremos en banda X (8.2 a 12.4 GHz), aunque los resultados son fácilmente extensible a otras bandas modificando el tamaño de los elementos que componen la estructura. El intervalo de banda de la estructura de EBG se define como la región de frecuencia en la que el parámetro  $S_{21}$  es menor de -10 dB.

### A. Línea de transmisión

Es una línea microstrip sobre sustrato FR-4 estándar ( $\epsilon_r = 4.3$ , a 10 GHz), de dimensiones 105 x 150 mm, con 2.4 mm de grosor ( $h$ ) y anchura de pista  $W = 4.75$  mm para tener una impedancia característica  $Z_0$  de 50  $\Omega$  [8].

El grosor de la línea es de 35  $\mu\text{m}$  y está realizada sobre cobre (Fig. 1).

### B. Línea de transmisión con *mushroom*

A la línea microstrip anteriormente descrita se añade una fila de *mushroom* a cada lado de la misma (Fig. 2). La estructura y dimensiones de un *mushroom*, ver detalle en Figura 2, quedan descritos mediante el tamaño de parche cuadrado ( $D \times D$ ), con  $D = 6.5$  mm y la distancia de separación entre parches  $g$  (0.5 mm).

El diámetro de las vías metalizadas que conectan el parche con el plano de tierra es de 0.25 mm y su altura coincide con la del substrato dieléctrico sobre el que se implementan ( $h = 2.4$  mm). Por su parte, el grosor del parche metalizado coincide con el de la línea de transmisión.

La distancia entre el borde de la línea de transmisión y los parches es de 1.60 mm. Las dimensiones descritas han sido calculadas para obtener efectos en la banda de estudio [1], [3].

### C. Línea de transmisión con cranks

Partiendo de la misma línea microstrip descrita, se han insertado a ambos lados de la misma una fila de celdas constituidas por *crank*, Figura 3. Estas estructuras han sido documentadas previamente [7], y presentan un comportamiento claramente quirral, [9] - [11].

Los *cranks*, ver detalle en Figura 3, son estructuras tridimensionales de naturaleza quirral, con dimensiones  $D = 5$  mm,  $D' = 8$  mm,  $l_1 = l_3 = 3.5$  mm,  $l_2 = 2.4$  mm, y con una anchura de segmento de 0.6 mm. La vía (de diámetro 0.25 mm) comunica a través del substrato los dos segmentos, superior e inferior. Han sido agrupados cuatro de estas estructuras en forma de cubo para configurar una celda que maximiza la quiralidad. Al igual que en caso anterior, las dimensiones de diseño de las inclusiones y las distancias entre las mismas han sido calculadas para observar efectos dentro de la banda de estudio.

## III. RESULTADOS

En la Figura 4 se representan los resultados obtenidos tras el análisis realizado a la línea de transmisión sin presencia de elementos externos y con presencia de los *mushroom*. Se ha estudiado la inserción de una fila (por cada lado de la línea) de *mushroom* y con dos filas constituidas por elementos idénticos. La separación entre filas es  $g$ .

Como puede comprobarse en dicha figura, en el caso de la línea sin inclusiones, el parámetro de transmisión  $S_{21}$  presenta una respuesta prácticamente lineal, afectada tan sólo por las pérdidas debidas al substrato dieléctrico, y no alcanzando en ningún momento valores inferiores a -10 dB dentro de la banda de estudio. Sin embargo, la presencia de las filas de *mushroom* provoca la aparición de una banda prohibida (*band gap*) que va desde los 9.38 GHz hasta los 10.71 GHz.

Esta banda se ve ampliada al considerar nuevas filas de *mushroom*, de forma que el ancho de banda pasa de 1.33 GHz hasta los 1.66 GHz (9.29 GHz – 10.95 GHz) en el caso de disponer de dos filas (a cada lado de la línea microstrip). Así mismo, puede comprobarse como se pasa de un único mínimo en el parámetro de transmisión, en torno a los 10.10 GHz, a la aparición de dos, en 9.70 GHz y 10.60 GHz. La inclusión de más filas de elementos produce un mayor rizado de la banda y un leve crecimiento de su tamaño. En concreto, si se insertan tres filas a cada lado de la línea microstrip se alcanza un ancho de banda de 1.76 GHz (9.28 – 11.04 GHz), con tres mínimos relativos de  $S_{21}$  en las frecuencias 9.52, 10.15 y 10.70 GHz.

A la luz de estos datos, resulta evidente observar que la presencia de una mayor distribución de elementos EBG en torno a la línea de transmisión incrementa la banda de frecuencias que dejan de propagarse eficientemente sobre el substrato.

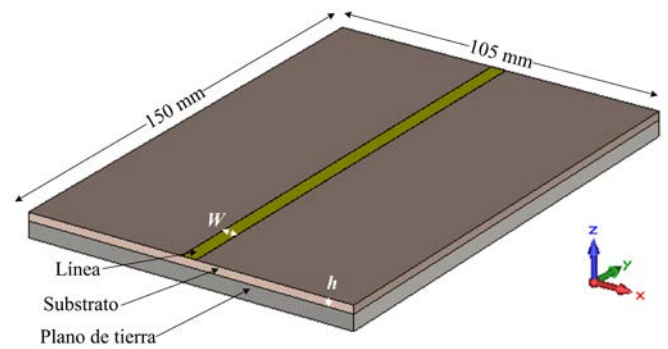


Fig. 1. Línea microstrip de 50 Ω.

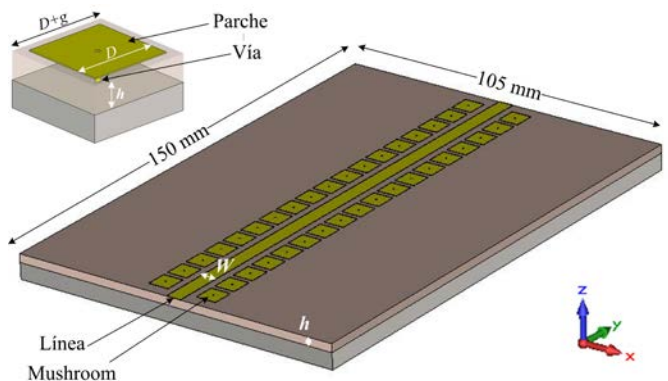


Fig. 2. Línea microstrip con una fila de *mushroom* a cada lado. Arriba, detalle de la celda básica de tipo *mushroom*.

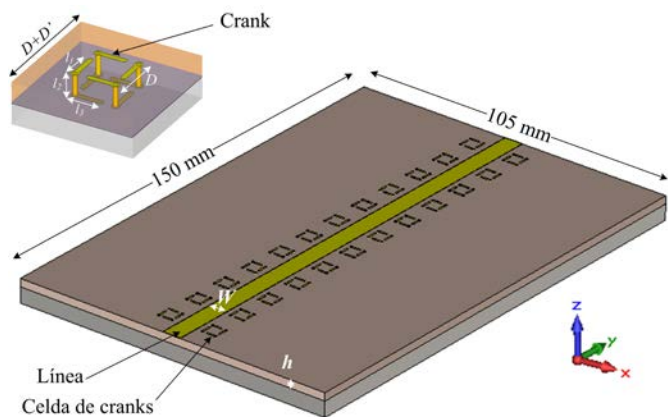


Fig. 3. Línea microstrip con una fila de celdas de cuatro *cranks* a cada lado. Arriba, detalle de la celda básica de *cranks*.

Los resultados para la estructura con elementos *crank* son presentados en la Figura 5. En ella puede observarse el efecto de estas estructuras en comparación con el caso de la línea sin inclusiones.

Cuando se inserta una fila a cada lado de la línea se origina una banda prohibida que va desde los 8.11 GHz hasta los 11.18 GHz. Esta banda, de 3.07 GHz, es mucho mayor que la obtenida en el caso de la inclusión de una o dos filas de *mushroom* a ambos lados de la línea.

La inserción de más filas de este tipo de estructuras quirales, siguiendo el patrón indicado en la Fig. 3 en la dirección  $\pm X$ , tiene por efecto el mantenimiento del ancho de banda de *band gap* puesto que apenas hay variaciones en la respuesta del parámetro de transmisión para dos o más filas de celdas de *cranks* (Fig. 5). El rizado observado en la banda es similar para los diferentes casos analizados y siempre por

debajo de los -15 dB de amplitud, circunstancia que no tenía lugar en el caso de las inserciones de *mushroom*. Esto viene a indicar que los efectos observados en la banda de estudio son debidos básicamente a la primera fila de estructuras quirales, no siendo necesario la inclusión de más de ellas para modificar su comportamiento.

Este dato, unido al hecho de que el ancho de banda obtenido mediante la inclusión de una única fila (a cada lado de la línea de transmisión) de estructuras quirales es muy superior al logrado mediante la inclusión de dos o más filas de elementos de tipo *mushroom* permite concluir que el medio construido mediante elementos quirales es más eficiente para el fin perseguido en este trabajo que el construido mediante elementos no quirales.

La modificación de las dimensiones constructivas de los elementos quirales, la distancia relativa entre dichos elementos y su posición respecto de la línea de transmisión influyen de forma notable en la respuesta del parámetro  $S_{21}$ , por lo que es posible ajustar el band gap a otras regiones de interés.

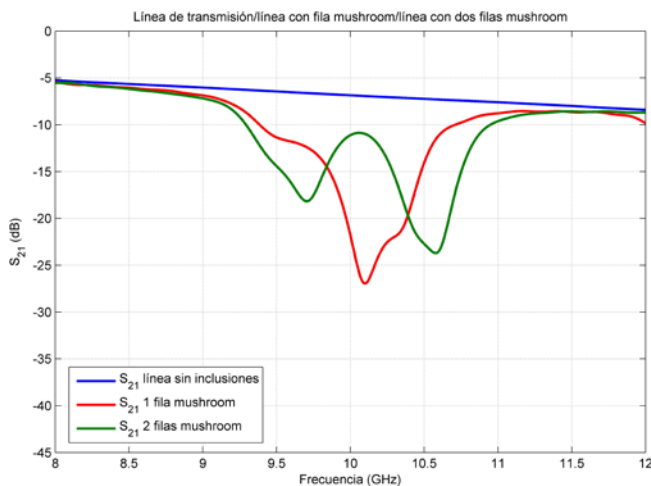


Fig. 4. Parámetro de transmisión de la línea microstrip (azul), de la línea microstrip con una fila de inclusiones *mushroom* (rojo) y de la línea con dos filas de inclusiones *mushroom* (verde).

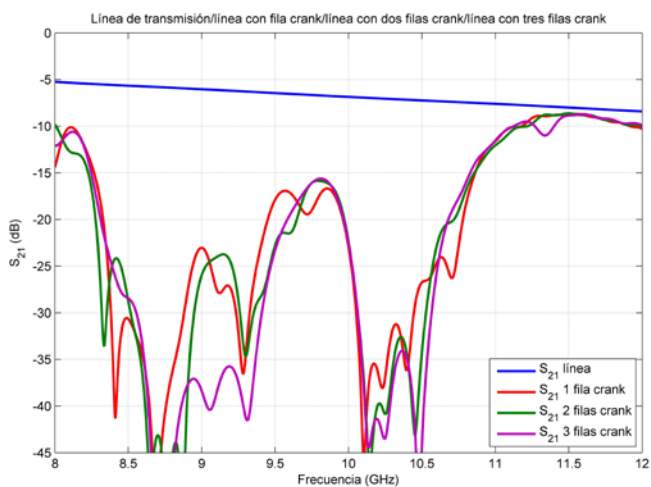


Fig. 5. Parámetro de transmisión de la línea microstrip (azul), de la línea con una fila de inclusiones de tipo *crank* (rojo), de la línea con dos filas de inclusiones de tipo *crank* (verde) y de la línea con tres filas de inclusiones de tipo *crank* (magenta).

Por otra parte, las inserciones de tipo *crank* son estructuras complejas que presentan, frente a los *mushroom*, una mayor dificultad de fabricación, y un mayor número de parámetros de diseño. Sin embargo, este inconveniente se ve compensado en parte por su mejor comportamiento en frecuencia y requerir de menos elementos insertados.

#### IV. CONCLUSIONES

Se ha llevado a cabo un estudio de las bandas de frecuencia prohibidas que se generan en torno a una línea de transmisión de tipo microstrip mediante la inclusión de elementos metálicos tridimensionales con diferentes geometrías.

La inclusión de estructuras con simetría quiral da lugar a un medio de tipo EBG que produce un *band gap* de mayor ancho de banda que el obtenido para el caso de emplear otras estructuras, más ampliamente utilizadas, como son las de tipo *mushroom*.

Se ha observado que la existencia de más de una fila de elementos de tipo *crank* no mejora significativamente la respuesta en frecuencia. Las nuevas estructuras propuestas basadas en inclusiones de elementos quirales constituyen medios EBG, y cobran un especial interés por ser estructuras periódicas que muestran amplias bandas de rechazo en las frecuencias de microondas en las que se centra este trabajo (banda X).

#### AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido subvencionado por el Ministerio de Ciencia e Innovación (TEC2010-21496-C03-02) y Fondos FEDER.

#### REFERENCIAS

- [1] Yang, F., & Rahmat-Samii, Y. (2009). *Electromagnetic band gap structures in antenna engineering*. Cambridge: Cambridge University Press.
- [2] Gardiol, F. E., & Zürcher, J. F. (1995). *Broadband patch antennas* (No. LEMA-BOOK-1995-001). Artech House.
- [3] Sievenpiper, D., Zhang, L., Broas, R. F., Alexopolous, N. G., & Yablonovitch, E. (1999). High-impedance electromagnetic surfaces with a forbidden frequency band. *Microwave Theory and Techniques, IEEE Transactions on*, 47(11), 2059-2074.
- [4] Yang, L., Fan, M., Chen, F., She, J., & Feng, Z. (2005). A novel compact electromagnetic-bandgap (EBG) structure and its applications for microwave circuits. *Microwave Theory and Techniques, IEEE Transactions on*, 53(1), 183-190.
- [5] Remski, R. (2000). Analysis of photonic bandgap surfaces using Ansoft HFSS. *Microwave J.*, vol. 43(9), 190-198.
- [6] Hampel, S. K., Schmitz, O., Klemp, O., & Eul, H. (2007). Design of Sievenpiper HIS for use in planar broadband antennas by means of effective medium theory. *Advances in Radio Science*, 5, 87-94.
- [7] García-Collado, A. J., Molina-Cuberos, G. J., Nuñez, M. J., Martín, E., & Margineda, J. (2012). Negative refraction of Chiral Metamaterial Based on Four Crank Resonators. *Journal of Electromagnetic Waves and Applications*, 26(7), 986-995.
- [8] Pozar, D. M. (2009). *Microwave engineering*. John Wiley & Sons.
- [9] García-Collado, A. J., Molina-Cuberos, G. J., Margineda, J., Nuñez, M. J., & Martín, E. (2010). Isotropic and homogeneous behavior of chiral media based on periodical inclusions of cranks. *Microwave and Wireless Components Letters, IEEE*, 20(3), 175-177.
- [10] Barba, I., Cabeceira, A. C. L., García-Collado, A. J., Molina-Cuberos, G. J., Margineda, J., & Represa, J. (2011). *Quasi-planar Chiral Materials for Microwave Frequencies*. in *Electromagnetic Waves / Book 2*, A. Kishk Ed. InTech-Open Access Publisher, 97-116.
- [11] Molina-Cuberos, G. J., García-Collado, A. J., Margineda, J., Nuñez, M. J., & Martín, E. (2009). Electromagnetic activity of chiral media based on crank inclusions. *Microwave and Wireless Components Letters, IEEE*, 19(5), 278-280.