

# ESTUDIO EXPERIMENTAL DE INSERCIONES METÁLICAS QUIRALES EN MEDIOS GUIADOS

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

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

<sup>(1)</sup> Dpto. de C. Politécnicas, Univ. Católica San Antonio, Avda. de los Jerónimos s/n, Guadalupe, Murcia

<sup>(2)</sup> Dpto. de Física, Universidad de Murcia, Facultad de Químicas, Campus de Espinardo, Murcia

**Abstract-** A new manufacturing technique of chiral material and first measurements of the rotation of the polarisation angle are presented. We have developed a flexible and low cost method to produce chiral media based on the inclusion of three segment wire hook (crank) in lossless dielectric medium. Cylindrical samples are placed into a section of circular waveguide propagating an initial single TE plane-polarised mode in the X band. The  $S_{21}$  parameter is measured with a rotation of the output waveguide. We have found rotations of the polarised wave produced by the samples. The effect of chirality is analyzed by chiral crank versus non-chiral staples comparison.

## INTRODUCCIÓN

La quiralidad es la propiedad que presentan algunas estructuras según la cual su imagen especular no puede ser superpuesta mediante movimientos de rotación y/o traslación con ella misma. Tradicionalmente los medios quirales han presentado un gran interés debido a las particulares propiedades electromagnéticas que muestran, como por ejemplo, la rotación del plano de polarización de una onda electromagnética que se propaga en su interior [1]. En la naturaleza y a frecuencias ópticas pueden encontrarse compuestos que presentan esta propiedad. A frecuencias de microondas y de ondas milimétricas han de ser fabricados artificialmente.

En trabajos anteriores se ha analizado el comportamiento mediante la técnica de onda libre de muestras quirales construidas mediante la inserción de hélices metálicas en una matriz constituida por resina epoxy EPOFIX [2]. Aquí se presenta una técnica de fabricación de medios quirales que consiste en incluir elementos con simetría quiral en forma de manivelas [3] en un sustrato dieléctrico con bajas pérdidas. Se analizarán los primeros resultados experimentales que estos materiales presentan en el giro de la polarización de una onda electromagnética incidente. Para ello se empleará guía circular apropiada para trabajar en banda X (8.2 – 12.4 GHz).

## TÉCNICA EXPERIMENTAL

### Descripción de muestras y del dispositivo de medida

Las muestras experimentales han sido construidas sobre láminas dieléctricas (foam) a la que se han incorporado inserciones metálicas fabricadas con alambre de cobre. Estas inserciones, que denominamos manivelas, son estructuras formadas por tres segmentos iguales, unidos uno tras otro en ángulos de 90° que forman, en su conjunto, elementos con simetría quiral. Éste es un método de fabricación manual, sencillo de elaborar, de bajo coste y con el que se pueden comprobar fácilmente las distintas hipótesis que van surgiendo, sin necesidad de utilizar los tradicionales sistemas de fabricación, demasiado costosos en tiempo. Por contra la técnica presenta el inconveniente de la anisotropía axial y la dificultad para la reproducción de muestras idénticas. El método de fabricación es una simplificación del proceso desarrollado por este equipo de investigación basado en tecnología de circuito impreso (CI) de doble cara [4].

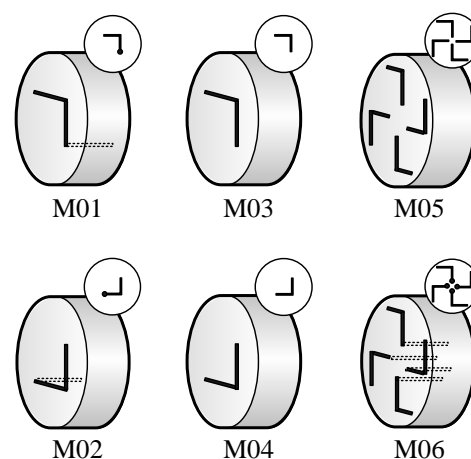


Fig. 1. Esquema de las muestras analizadas en este trabajo.

Las muestras de material fabricadas para este trabajo son expuestas de forma esquemática en la figura 1. En ella, las líneas continuas indican la parte de la inserción metálica que queda enfrentada al campo electromagnético incidente, mientras que las líneas discontinuas simbolizan las partes metálicas que quedan dentro del material dieléctrico.

El círculo situado en la parte superior de cada muestra indica la simbología empleada en posteriores referencias. Como se puede observar, el punto grueso señala que el metal atraviesa la lámina de dieléctrico. Cada segmento de las inserciones tiene una longitud de 6 mm.

La muestra M01 es una estructura quiral en forma de manivela (crank) con uno de sus segmentos insertado en el sustrato dieléctrico. La muestra M02 es la misma estructura girada 90° en sentido horario. Las inserciones metálicas están centradas en el sustrato dieléctrico. M03 y M04 se componen de dos segmentos en forma de ángulo recto, sin simetría quiral, que serán empleadas para analizar las diferencias que presentan frente a las muestras quirales M01 y M02.

Por último, M05 y M06 han sido construidas, respectivamente, mediante la inserción de cuatro manivelas (estructura quiral) y cuatro ángulos (estructura aquiral) cuyos elementos individuales son idénticos al del resto de las muestras presentadas.

Las muestras se realizan en forma cilíndrica para poder ser ubicadas dentro de una guía de sección circular (de diámetro 2.383 cm) por la que se hace propagar su modo fundamental (TE<sub>11</sub>) [5]. La muestra de material con inserciones metálicas queda dispuesta en la zona central de la guía circular.

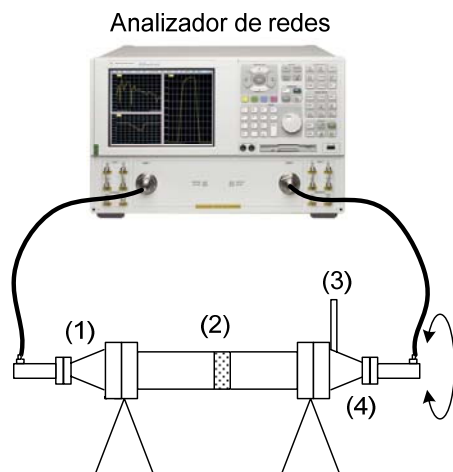


Fig. 2. Dispositivo de medida. (1) y (4) Transición de guía rectangular a guía circular; (2) Célula de medida; (3) Indicador de giro.

El dispositivo de medida está conformado por un analizador de redes Agilent N5230A de dos puertos conectados a dos tramos de guía rectangular que a su vez se unen a transiciones rectangular-cilíndrica. Las muestras se ubican dentro de la célula de medida, diseñada a partir de un tramo de guía circular adaptado para permitir el giro en su eje longitudinal. El sistema permite la libre rotación en uno de sus extremos, donde se registra el ángulo girado respecto de una situación sin muestra en la que se registra el máximo

en el parámetro de transmisión  $S_{21}$ . Esta situación se corresponde con los dos tramos de guía rectangular alineados. La figura 2 presenta un esquema del sistema de medida.

### Proceso de obtención de medidas

Una vez dispuesto y calibrado adecuadamente todo el dispositivo de medida, se gira de forma manual en incrementos de 5° la guía que permite el giro midiendo y almacenando el parámetro  $S_{21}$ , para todas las frecuencias de la banda de estudio, para su posterior análisis. Se barre un rango de 90° en ambos sentidos de giro. Por convenio aceptamos que el giro de la estructura a la derecha tenga valores positivos de ángulo de giro y se asignan valores negativos al giro a la izquierda. Se determina para cada frecuencia el valor del ángulo que hace máximo el parámetro de transmisión  $S_{21}$ . La limitación experimental de 5° restringe la resolución con la que se determina el ángulo girado por la onda electromagnética al atravesar la estructura con inserciones metálicas.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Inserciones manivela vs. inserciones angulares

En primer lugar se determina el ángulo con el que las muestras M01 y M02 (estructura quiral tipo manivela) giran la señal incidente y se compara con el ángulo girado por las muestras M03 y M04 (estructuras no quirales en forma de ángulo recto). Las figuras 3 y 4 muestran los resultados obtenidos.

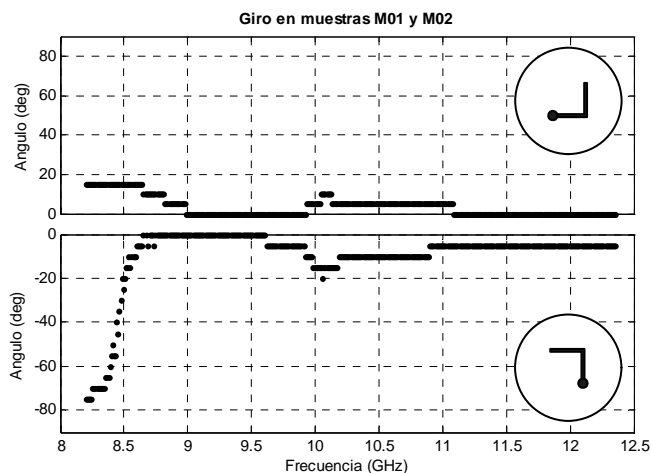


Fig. 3. Giro medido en muestras M01 (abajo) y M02 (arriba).

Puede observarse que la muestra M01 produce un giro entorno a 10° – 15° (positivo) para frecuencias inferiores a 9 GHz y en torno a ~10.1 GHz, mientras que la muestra M02 gira aproximadamente en los mismos rangos de frecuencias, pero en sentido contrario y en una magnitud muy superior, de hasta -80°.

Se puede interpretar el giro como una suma de los efectos producidos por el ángulo metálico de las muestras (efecto no quiral) más el debido a la inclusión metálica en su conjunto (efecto quiral). La primera contribución depende de la posición del ángulo, mientras que la segunda no. Así, en el

caso de la muestra M01 ambos efectos se contrarrestan y en la muestra M02 se suman.

Las muestras M03 y M04 también presentan rotaciones de signo contrario, pero esta vez en la banda de frecuencias comprendida entre 11.5 GHz y 12.5 GHz. El máximo en el ángulo de rotación es de  $-45^\circ$  y  $+30^\circ$ , respectivamente, y en ambos casos esto ocurre en las mismas frecuencias ( $\sim 12.1$  GHz).

Corroborando lo anterior, se observa un giro que obviamente no es debido a la quiralidad, y que cambia de sentido al rotar la muestra  $90^\circ$ . Por lo tanto, es previsible que una muestra con una distribución simétrica de inserciones metálicas en forma de ángulos produzca un giro del plano de polarización nulo en la propagación de la onda que las atraviese.

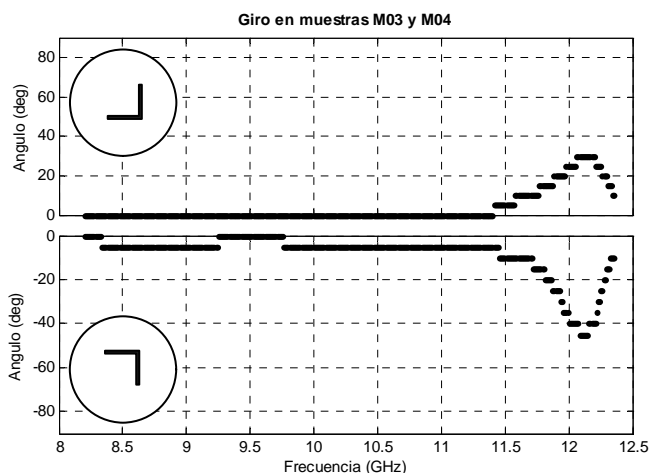


Fig. 4. Giro medido en muestras M03 (abajo) y M04 (arriba).

Se comprueba que las estructuras M01 y M03 presentan el mismo tipo de giro a la izquierda, mientras que las estructuras M02 y M04 muestran el mismo giro a la derecha, lo que indica que una rotación de  $90^\circ$  en las estructuras individuales analizadas implica un cambio en el sentido de giro del plano de polarización. Las diferencias existentes en las gráficas (Fig. 3 y la Fig. 4) pueden ser motivadas por la naturaleza quiral/no quiral de las estructuras analizadas.

#### *Inserciones manivela múltiples vs. inserciones angulares múltiples*

La figura 5 muestra los resultados obtenidos para las muestras M05 y M06, conformadas por cuatro elementos individuales. Al insertar la muestra M05 en el dispositivo de medida se observa un pronunciado giro a izquierdas para frecuencias inferiores a 9 GHz, hecho similar al encontrado cuando únicamente existe la estructura en forma de manivela de la muestra M01. Además la zona de giro intermedia observada en M01 y M02 ha desaparecido, probablemente compensada por el efecto de las cuatro manivelas en su conjunto.

Por su parte, la muestra M06, estructura no quiral, prácticamente no presenta rotación superior a la precisión de la medida ( $5^\circ$ ), tan sólo en una zona de frecuencias  $\sim 11$  GHz la rotación es de  $10^\circ$ . Se puede interpretar que los efectos de

giro observados en las muestras M03 y M04 se anulan entre sí cuando se colocan cuatro ángulos simétricamente distribuidos.

Es de esperar que una distribución de inclusiones metálicas en forma de ángulos distribuidas al azar presente el mismo efecto y, por lo tanto, una distribución aleatoria de manivelas presentará únicamente la contribución debida a la quiralidad.

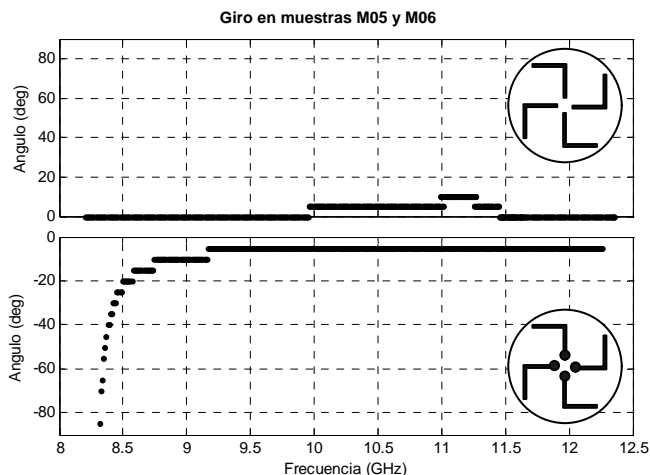


Fig. 5. Giro medido en muestras M05 (abajo) y M06 (arriba).

#### CONCLUSIONES

Se ha presentado en este trabajo una nueva técnica de fabricación de muestras quirales y estudiado la transmisión de un campo electromagnético en guía circular en términos de su rotación respecto de la señal incidente.

Se ha demostrado la existencia de una rotación del plano de polarización en medios con inserciones metálicas tanto de naturaleza quiral (manivelas) como no quiral (ángulos). Esta rotación puede ser debida a la eliminación del campo eléctrico tangencial al conductor y, también, a la propia quiralidad. El primer efecto sería el responsable de la rotación observada en las muestras aquirales, mientras que es de esperar una acción conjunta en el caso de las quirales.

En cualquier caso, se ha demostrado que las manivelas tienen efectos no quirales que pueden enmascarar el efecto quiral si se emplean muestras con baja densidad de inserciones metálicas. Este efecto desaparece si se aumenta el número de inclusiones con distribución aleatoria, ya que al aumentar la densidad de las inserciones se consigue mayor simetría axial que evita los efectos de no quiralidad.

En la actualidad nuestro grupo de trabajo está diseñando nuevos montajes experimentales, usando nuevas conjugaciones de inserciones metálicas tanto para medio libre como para medios guiado, que nos permitan evaluar con mayor exactitud el efecto de la quiralidad de manivelas, ángulos y otras estructuras.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por la Dirección General de Investigación del MEC a través del proyecto CYCIT TEC 2006-13268-C03-02.

## REFERENCIAS

- [1] A. Lakhtakia, V.K. Varadan y V.V. Varadan, "Time-Harmonic Electromagnetic Fields in Chiral Media", Lect. Notes Phys., vol. 335, Springer-Verlag, New-York, 1989.
- [2] G. J. Molina-Cuberos, J. Margineda y M. J. Nuñez, "Caracterización Electromagnética de Medios Quirales Artificiales Mediante Técnica de Onda Libre", CD de actas, XX Simposium Nacional URSI, Gandía, 2005.
- [3] J. H. Cloete, M. Bingle y D. B. Davidson, "Scattering and Absorption by Thin Metal Wires in Rectangular Waveguide Chiral Cranks versus Non Chiral Staples", 8th International Conference on Electromagnetics of Complex Media, Lisbon, Portugal, 2000.
- [4] J. Margineda et al., "Avances en el Diseño, Caracterización y Modelado de Medios Quirales para Frecuencias de Microondas", V EIEC, Aiguablava, 2007.
- [5] G. J. Molina-Cuberos, M. J. Nuñez y J. Margineda, "Medios Bi-isótropos: Propagación en Guía Circular", CD de actas, XVII Simposium Nacional URSI, Alcalá de Henares 2002.