

# DIPOLOS Y METAMATERIALES: MEJORA DE LAS CARACTERÍSTICAS DE RADIACIÓN

E. Sáenz, R. Gonzalo, I. Ederra  
Departamento de Ingeniería Eléctrica y  
Electrónica.  
Universidad Pública de Navarra, España  
e-mail:ramon@unavarra.es

P. de Maagt  
European Space Research and Technology  
Centre  
ESTEC The Netherlands  
e-mail:Peter.de.Maagt@esa.int

**Abstract:** In this work, pass band properties of Left Handed Media (LHM) are demonstrated. These properties have been used in order to make a LHM super-substrate that is put over a dipole antenna. This super-substrate is going to determine the characteristics of radiation patterns. Simulations with different types of configurations are presented in order to enhance the features of radiation patterns at bore-sight direction.

## I. INTRODUCCIÓN

Desde que Veselago predijo en 1968 [1] la existencia de los materiales Left Handed (LHM), se están llevando a cabo muchos estudios para diseñar y verificar el comportamiento de este tipo de estructuras. Por Metamateriales (MTMs) se entienden materiales construidos artificialmente que poseen propiedades electromagnéticas que no se encuentran en la naturaleza, como los materiales doblemente negativos (DNG), también llamados LHM, que poseen permitividad y permeabilidad negativas.

Ziolkowski ha presentado diferentes tipos de medios DNG basados en un sustrato con incrustaciones de guías cargadas capacitivamente (CLSs), las cuales producen fuertes respuestas dieléctricas y resonadores en anillo (SRR) que producen fuertes respuestas magnéticas [2]. La celda unidad así creada fue diseñada con el simulador ANSOFT HFSS (High Frequency Structure Simulator) y quedó demostrado su comportamiento como medio LHM en banda X. Una característica importante de este tipo de estructuras es que se pueden escalar para conseguir variar la banda de frecuencias a la cual responden como medios LHM.

Este artículo va a analizar el comportamiento en diferentes bandas de frecuencias de una de estas celdas unitarias. Como se verá posteriormente, estas celdas van a tener bandas de transmisión que se usarán para crear una estructura que se comporte como un filtro. Por tanto, la potencia sólo se transmitirá a esas bandas de paso, reflejándose fuera de ellas. Esta propiedad se usará para colocar un material DNG como super-sustrato sobre el dipolo de manera que se comporte como una antena resonante obteniendo diagramas con alta directividad y poca radiación trasera.

## II. MEDIO DNG

La celda unidad (Fig. 1) consiste en un SRR colocado entre dos pares de CLSs. En este caso, la anchura de todos los gaps y líneas es de 0.254 mm, las dimensiones de celda unidad son  $d_1=7.366$  mm,  $d_2=2.3622$  mm y  $d_3=4.318$  mm. La altura de los CLS es de  $l_1=3.81$  mm, la longitud de la mitad de la tira capacitiva de  $l_2=1.778$  mm y el total de  $l_3=3.556$  mm. La longitud del anillo exterior es de  $r_1=2.794$  mm y el interior de  $r_2=1.778$ mm. El dieléctrico utilizado tiene una constante dieléctrica de  $\epsilon_r=2.2$ .

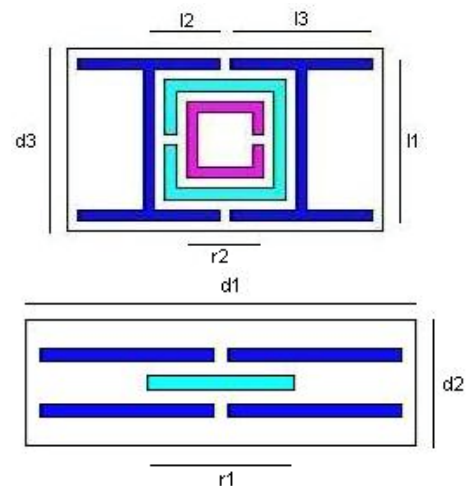


Fig. 1. Geometría no plana de la celda unidad

Esta celda unidad se usará para crear un super-sustrato que se basará en dos celdas de diferente tamaño, el cual se colocará sobre el dipolo tal y como se verá en la siguiente sección. La celda mayor tendrá una banda de paso a una cierta frecuencia y la pequeña a otra superior. Por tanto, cuando la celda mayor permita la transmisión de potencia, la pequeña la reflejará y viceversa.

La estructura mayor (ver Fig. 1) fue simulada con incidencia normal y configuración de simetría de conductor eléctrico perfecto y conductor magnético perfecto (PEC-PMC) con el simulador HFSS. Los valores de las magnitudes y fases para los parámetros  $S_{11}$  y  $S_{21}$  predichas por HFSS se muestran en la Fig. 2 (a) y (b) respectivamente. La respuesta tiene un único pico de transmisión que ocurre a

9.5782 GHz. Puede observarse también que la fase del  $S_{21}$  tiende a cero conforme la magnitud se acerca a la unidad.

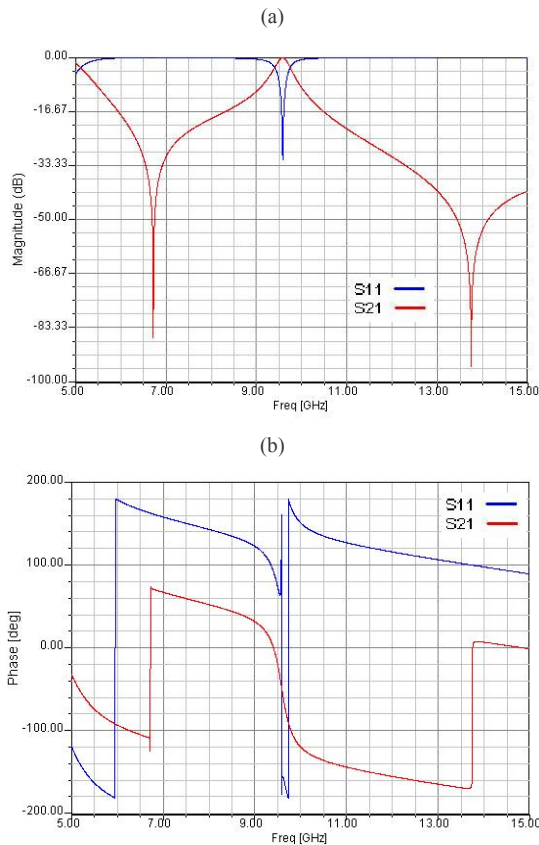


Fig. 2. Magnitud y fase de los parámetros S predichos por HFSS

Posteriormente, para mover el pico del  $S_{21}$  a frecuencias superiores, la celda unidad fue escalada, siendo esta nueva celda 0.8 veces menor que la primera. En este caso pueden observarse dos frecuencias de resonancia a 5.88 y 11.98 GHz. La frecuencia de resonancia que antes estaba a 9.5782 GHz, ahora se ha movido a 11.98 GHz., consiguiendo así el efecto deseado.

### III. DIFERENTES CONFIGURACIONES DEL SUPER-SUSTRATO DEL DIPOLO

Conocida la respuesta de la celda unidad, se analizarán diferentes configuraciones de super-sustrato, todas ellas alimentadas con una antena dipolo, para determinar las características de los distintos diagramas de radiación obtenidos. En primer lugar se diseñó un dipolo  $\lambda/2$  muy simple que, al igual que el MTM, resuena a 9.57 GHz. Dicho dipolo posee una longitud de 10.5422 mm y está situado en la mitad de un sustrato de constante dieléctrica  $\epsilon_r=2.2$  y anchura  $d=1.4478$  mm, el cual no posee plano de masa. El dipolo es alimentado mediante un gap source HFSS y su impedancia ( $25.78 \Omega$ ) ha sido optimizada para conseguir alta resonancia ( $-20$  dB @ 9.57 GHz).

#### A. Antena dipolo con super-sustrato uniforme

Como punto de partida se analizaron las propiedades de radiación del dipolo alimentando un super-sustrato uniforme (ver Fig. 3) formado por 18 celdas unitarias como las

descritas en la sección anterior. El tamaño de la estructura en  $\lambda$  es de  $l_x=0.708 \lambda$ ,  $l_y=0.576 \lambda$  y  $l_z=0.245 \lambda$ . Dada la simetría de la estructura, se ha analizado teniendo en cuenta dichas propiedades electromagnéticas, lo que permite reducir el tiempo de computación requerido por el simulador Ansoft-HFSS.

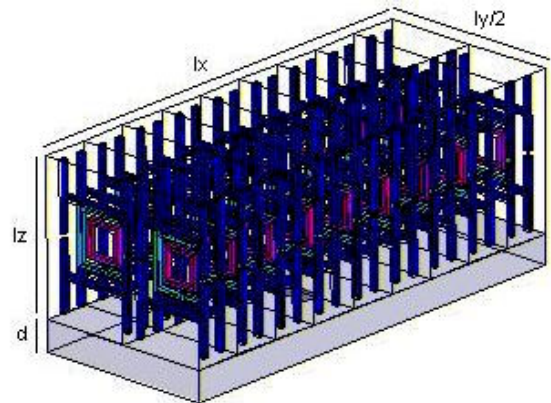


Fig. 3. Antena dipolo con super-sustrato uniforme

Si se analiza la frecuencia de resonancia de la estructura completa, puede observarse que ha variado respecto a la frecuencia de resonancia del dipolo y de la celda unidad. La causa de esta variación es que la celda unidad fue analizada bajo condiciones de incidencia normal y ahora se ha utilizado un dipolo como alimentador. El metamaterial junto con la antena dipolo forman una nueva estructura con propiedades diferentes, las cuales serán presentadas a continuación. Los valores del parámetro  $S_{11}$  junto con la directividad de dicha estructura en función de la frecuencia pueden observarse en la Fig. 4. La mejor adaptación conseguida es de  $-9.76$  dB a la frecuencia de 9.8 GHz y la máxima directividad de 7.6 dB a 9.92 GHz.

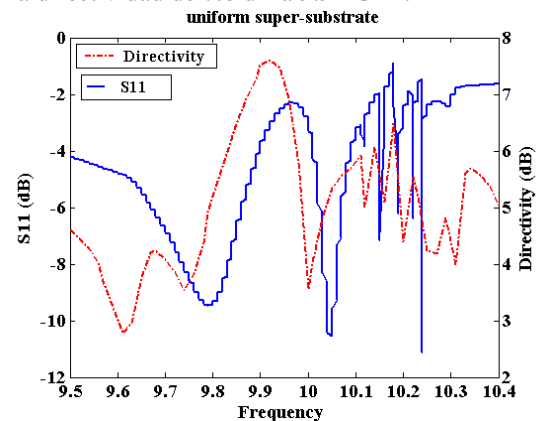


Fig. 4. Directividad y  $S_{11}$  frente a la frecuencia

A continuación se muestran diagramas de radiación de dicha estructura a diferentes frecuencias (ver Fig. 5). Únicamente se ha representado el diagrama de radiación del plano H puesto que es el más restrictivo. Aunque la directividad conseguida es muy buena, se verá que dichos diagramas son peores que los obtenidos en las secciones siguientes. En este caso obtenemos mucha radiación trasera para todas las frecuencias mostradas en la Fig. 6, con valores menores donde la directividad es mayor. Puede observarse que la frecuencia a la cual el parámetro  $S_{11}$  es mínimo, no coincide con la que es máxima la directividad, por lo que se deberán llevarán a cabo más investigaciones en esta línea.

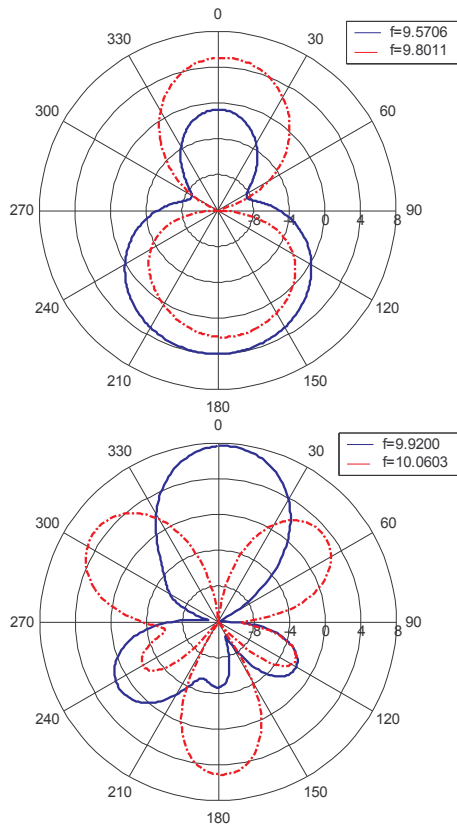


Fig. 5. Diagramas de radiación para diferentes frecuencias

Para tener control sobre las propiedades de radiación de esta configuración, podemos variar el tamaño de las celdas que colocamos sobre el dipolo. Según esto, podríamos controlar cuánta potencia se transmite así como la directividad del diagrama de radiación. En este estudio se ha analizado la variación de dichos parámetros para dos configuraciones diferentes del metamaterial.

### B. Antena dipolo con super-sustrato con celdas grandes en el centro

En primer lugar, poniendo celdas grandes justo encima del dipolo y pequeñas a ambos lados del mismo (ver Fig. 6), se pueden obtener diagramas de radiación con mejores características, es decir, con menor radiación trasera. Esto es debido a que, para la misma directividad, el parámetro  $S_{11}$  es mejor que en el caso anterior. El número de celdas centrales se ha variado desde uno hasta cinco y se han rodeado de celdas pequeñas que reflejan la potencia. Los mejores resultados se han obtenido para el caso mostrado en la Fig. 6, formada por cuatro celdas centrales rodeadas de seis pequeñas.

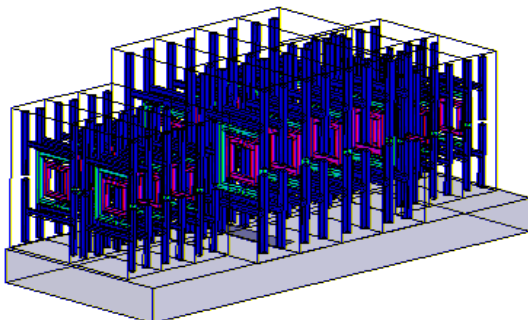


Fig. 6. Antena dipolo con super-sustrato formado por cuatro celdas grandes centrales rodeadas por tres pequeñas a cada lado

En la Fig. 7 se representa la dependencia con la frecuencia tanto del parámetro  $S_{11}$  como de la directividad de la estructura completa. Puede observarse que existe una nueva frecuencia de resonancia que ocurre a 10.02 GHz. Cuando la frecuencia de resonancia del dipolo y de la estructura conciden, la potencia transmitida es máxima y la directividad tiende también a ser máxima. Los valores máximos de directividad obtenidos están entorno a 7.3 dB a 10.1 GHz. Si dichos valores se comparan con los 2.14 dB de directividad de un dipolo de media longitud de onda convencional, puede observarse una mejor de 5.16 dB.

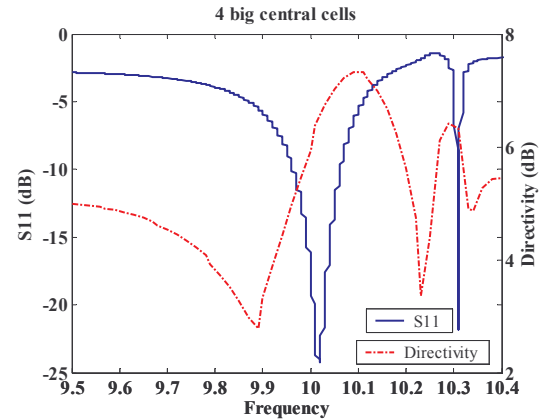


Fig. 7. Directividad y  $S_{11}$  frente a la frecuencia

Analizando los diagramas de radiación para diferentes frecuencias, se puede observar que cuando la frecuencia está lejos de la resonancia, la potencia se refleja obteniendo gran radiación trasera. Sin embargo, cuando nos acercamos a la frecuencia de resonancia, la mayor parte de la potencia es radiada (efecto de estructura resonante). Dichos diagramas de radiación se muestran en la Fig. 8.

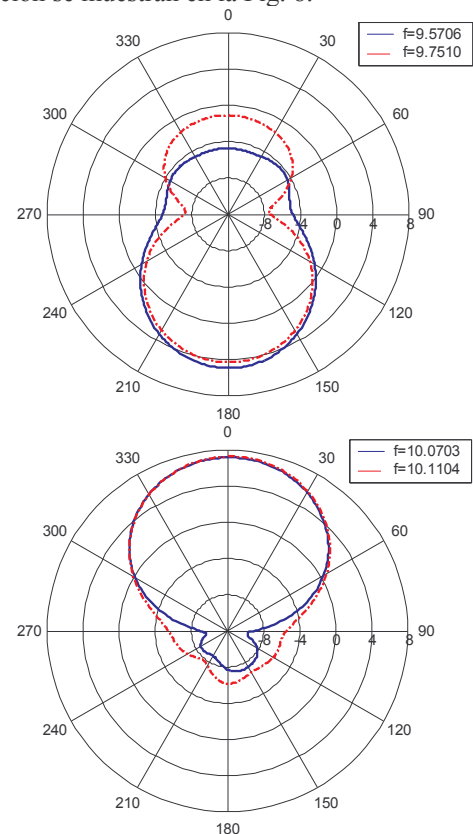


Fig. 8. Diagramas de radiación para diferentes frecuencias

### C. Antena dipolo con super-sustrato con celdas pequeñas en el centro

Posteriormente se analizará la estructura inversa, es decir, celdas pequeñas centrales rodeadas por celdas grandes. Al igual que en el caso anterior, el número de celdas pequeñas se varía entre una y cinco. En la Fig. 9 puede verse la estructura formada por cuatro celdas centrales pequeñas y por seis grandes.

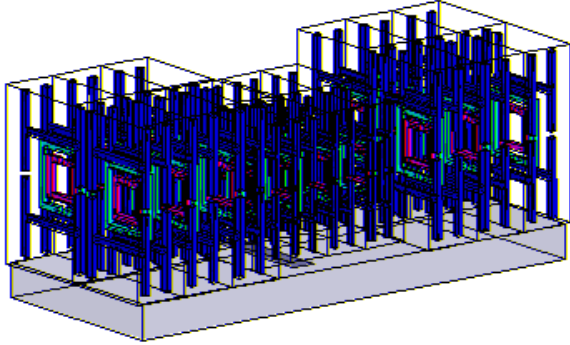


Fig. 9. Antena dipolo con super-sustrato formado por cuatro celdas pequeñas centrales rodeadas por tres grandes a cada lado

Al igual que en el caso anterior puede observarse que cuanto más pequeña es la potencia reflejada ( $S_{11}$ ), mayor es la directividad. En este caso existe una buena adaptación entre ambas magnitudes (ver Fig. 10) que ocurre a 9.88 GHz, obteniéndose una directividad máxima de 8 dB. Dada la reflexión de las celdas colocadas justo encima del dipolo, el parámetro  $S_{11}$  obtenido es peor que el de la estructura analizada en la sección anterior.

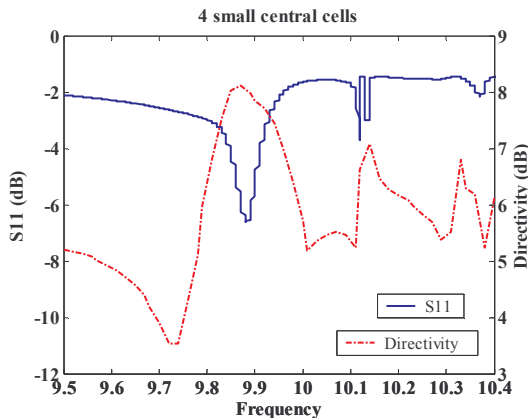


Fig. 10. Directividad y  $S_{11}$  frente a la frecuencia

A 10.1 GHz, existe una directividad entorno a 7 dB. Sin embargo, puesto que dicha frecuencia está fuera de la frecuencia de resonancia de la estructura, el parámetro  $S_{11}$  es elevado (-2 dB aprox) por lo que se obtiene gran radiación trasera. En la Fig. 10 puede observarse la dependencia con la frecuencia de la directividad y el  $S_{11}$ .

En este caso, el super-sustrato se comporta como un sistema radiante (configuración array) formado por dos antenas (los dos bloques de celdas grandes). Dependiendo de la frecuencia, la contribución de ambas antenas puede sumarse en fase o en contrafase. Cuando la suma se realiza en fase, a pesar de estar en la banda de rechazo de las celdas centrales, puede observarse un lóbulo principal en la dirección superior además de lóbulos laterales.

Si las contribuciones se suman en oposición de fase, entorno a 10.115 GHz, puede observarse un zero en el diagrama de radiación en  $0^\circ$ . En este caso, debido a la banda de paso de las celdas grandes, sólo se obtienen los dos lóbulos laterales. Sin embargo, dado que el  $S_{11}$  no es muy bajo a esta frecuencia ( $\approx -2$  dB), se refleja mucha potencia por lo que existe gran radiación trasera. Los diagramas de radiación obtenidos para diferentes se muestran en la Fig. 11.

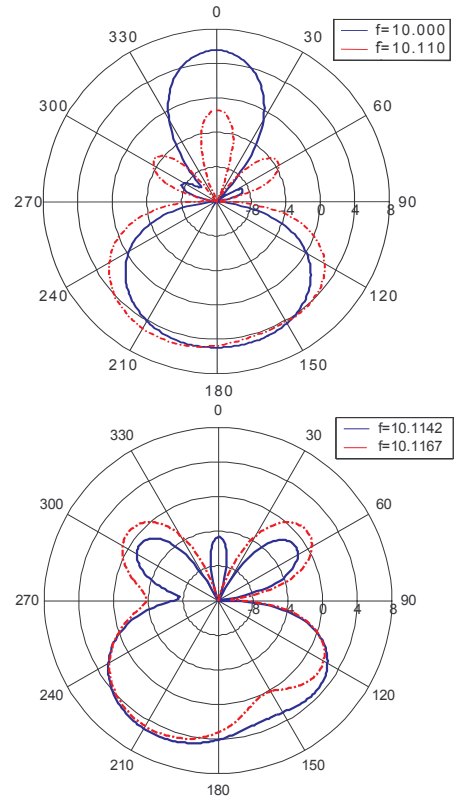


Fig. 11. Diagramas de radiación para diferentes frecuencias

## IV. CONCLUSIONES

En este trabajo se han analizado las propiedades paso banda de los materiales LHM utilizándose para conseguir diagramas de radiación con determinadas características. Ha quedado demostrado que, colocando diferentes tipos de celdas con banda de paso o de rechazo sobre el dipolo, se pueden obtener diagramas de radiación con mejores propiedades en la dirección superior.

Las estructuras propuestas pueden abrir nuevas posibilidades en la implementación de antenas. Puesto que esto es sólo el comienzo, se tienen que llevar a cabo más estudios para conseguir la mejor combinación de celdas así como otras posibles estructuras. Para realizar este estudio se ha seleccionado una celda unidad, sin embargo existen otros tipos de celdas LHM que serán analizadas para conseguir mejores anchos de banda y diagramas de radiación.

## REFERENCIAS

- [1] V.G. Veselago, "The electrodynamics of substances with simultaneously negative values of  $\epsilon$  and  $\mu$ ", Sov. Phys. Usp. 10, 509 (1968).
- [2] R. W. Ziolkowski, "Design, Fabrication, and Testing of Double Negative Metamaterials", IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol. 51, No. 7, July 2003.