

Array lineal de parches excitados por ranura con radiación mejorada mediante una cobertura quirral

O. Fernández, A. Gómez, J. Gutiérrez, A. Tazón y A. Vegas

oscar.fernandez, alvaro.gomez, jessica.gutierrez, antonio.tazon, angel.vegas@unican.es

⁽¹⁾ Dpto. de Ingeniería de Comunicaciones. Universidad de Cantabria. Edificio Ingeniería de Telecomunicación Prof. Jose Luis García García. Plaza de la Ciencia S/N. 39005 Santander.

Abstract- In this communication the design of a linear array based on three aperture coupled patch antennas in W band is presented. Moreover, the radiation features of the structure are improved with a chiral metamaterial cover. In order to characterize the influence of the cover on the radiation pattern, a single patch antenna is analyzed and its radiation pattern with and without the chiral cover is examined. After noticing the enhancement of the directivity and the narrowing of the main lobe when the cover is placed above the patch antenna, the set constituted by the linear array and the cover is analyzed. The obtained results support the effectiveness of including the cover.

I. INTRODUCCIÓN

El desarrollo de nuevas aplicaciones [1]-[2] operando en la banda de terahercios ha suscitado un gran interés en los últimos años. Este rango de frecuencias ofrece la posibilidad de obtener imágenes en el campo de la seguridad aeroportuaria, siendo capaz de penetrar en materiales no conductores con una baja atenuación (ropa, papel, cartón, plásticos).

A la hora de estudiar estas bandas de frecuencias, uno de los elementos esenciales del problema reside en la forma de generar este tipo de ondas. Por tanto, la disponibilidad de una antena que disponga de unas propiedades de radiación óptimas se convierte en algo básico. De acuerdo a esta idea, el objetivo de este trabajo se centra en la realización de una antena para aplicaciones de Imaging en la banda W.

La antena que se presenta está constituida por un array lineal de antenas planas excitadas por ranuras, el cual se caracteriza por una fabricación fácil y de bajo coste. A la hora de construir la antena, se partió del diseño de un único parche y, tras obtener unos buenos resultados de adaptación y ganancia, se pasó al diseño del array de tres parches, obteniendo un ancho de banda a -10 dB de 5 GHz, una ganancia de 12.8 dBi, unos lóbulos laterales a 15 dB por debajo del principal, con una radiación trasera de valores despreciables. Finalmente, se incluyó una transición guía de onda-microstrip necesaria para poder realizar cualquier medida de la antena.

Dado que en este tipo de estructuras la ganancia es un factor vital, se ha buscado una forma de poder mejorar la que presenta esta antena. Para ello, se ha diseñado una cobertura metamaterial con propiedades quirales que ha sido incluida en el diseño. En primer lugar se observan sus efectos sobre un único parche y, una vez validados los resultados obtenidos, se aplica a la estructura completa del array.

II. ANTENA PARCHES EXCITADA POR RANURA CON COBERTURA QUIRAL

A. Parche simple

El array lineal presentado en esta comunicación está compuesto por un conjunto de antenas microstrip de tipo parche excitadas por ranuras. Estos parches trabajan a una frecuencia central de 95 GHz y presentan un ancho de banda a -10 dB de aproximadamente 3 GHz. El diseño de la estructura de cada parche, mostrado en la Fig. 1, se ha basado en [3].

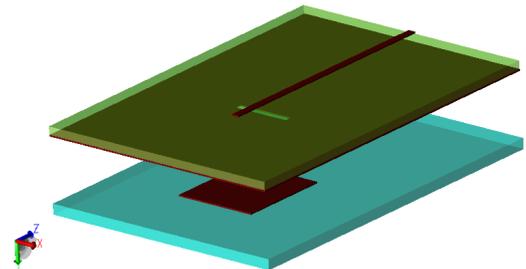


Fig. 1. Estructura de un parche simple. Para facilitar la visión de los componentes del parche, la capa intermedia se ha aumentado

Respecto a la constitución de los parches individuales, cabe mencionar que, cada uno de ellos, está compuesto por tres capas dieléctricas que contienen las correspondientes metalizaciones.

La capa inferior contiene una línea de excitación microstrip de impedancia característica 100Ω situada en su cara posterior, mientras que en la parte superior se aloja el plano de masa donde se encuentra la ranura resonante (slot) de 0.7×0.09 mm. La línea de excitación tiene unas dimensiones de 0.7 mm de longitud y 0.09 mm de anchura. El dieléctrico de esta capa es ULTRALAM 2000 de Rogers de espesor 4 mils (1mils = 0.0254 mm), caracterizado por presentar una constante dieléctrica de 2.5, una tangente de pérdidas de 0.0019 y un espesor de cobre de 17 μ m.

La capa intermedia contiene al substrato radiante del sistema. En nuestro caso se corresponde con una capa de aire de espesor 5 mils.

Finalmente, la capa superior, que contiene al parche metálico de 1×1.1 mm en su cara inferior y actúa como radomo, está compuesta por un substrato dieléctrico constituido por Rogers RT/Duroid 5880, que tiene como propiedades un espesor de 5 mils, $\epsilon_r = 2.2$ y $\text{tg } \delta = 0.0009$.

Las propiedades de radiación del parche simple de la estructura de la Fig. 1 se muestran en las Fig. 2 y Fig. 3. Para obtener esta caracterización se ha utilizado la herramienta informática Agilent EmPro 3D.

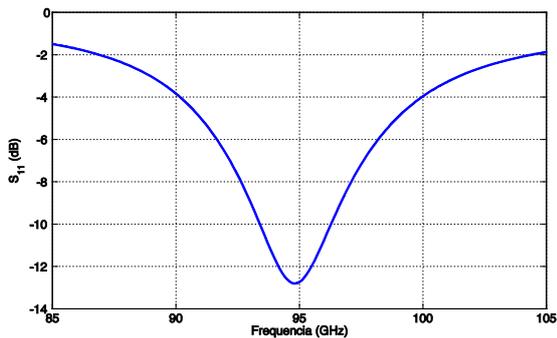


Fig. 2. Adaptación del parche simple

En primer lugar, en la Fig. 2, se muestra la adaptación del parche simple para un rango de frecuencias contenido dentro de la banda W. En dicha figura se observa que el sistema radiante presenta una frecuencia central de funcionamiento de 95 GHz y un ancho de banda a -10 dB de 3 GHz.

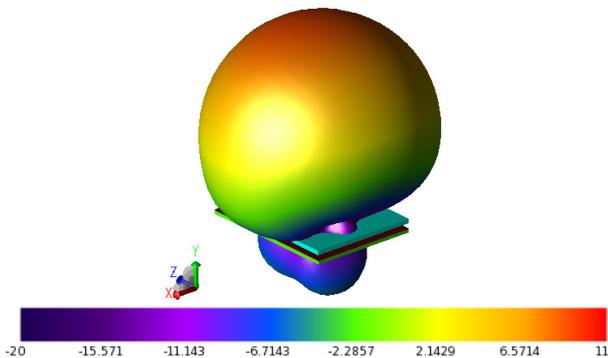


Fig. 3. Diagrama de radiación del parche simple sin cobertura

Por otro lado, en la Fig. 3 se presenta el diagrama de radiación tridimensional del parche simple. Inspeccionando la figura se ve que la ganancia de la estructura es 8.9 dBi y, además, que se produce una importante radiación trasera, con Front-to-Back Ratio (FBR) de 13.9 dB, debido a la inexistencia de un plano metálico en la parte inferior del sistema radiante.

B. Cobertura de la antena

La antena parche introducida en el apartado anterior no se puede caracterizar por presentar una directividad idónea, puesto que su valor, de aproximadamente 9 dBi, no se puede considerar alto. Con el fin de mejorar las propiedades de radiación sin la necesidad de modificar la estructura del elemento radiante, se ha optado por introducir en nuestro sistema una cobertura compuesta por metamaterial quirál. De acuerdo a esta idea, en esta sección se presenta el diseño de una cobertura metamaterial con propiedades quirales que permite mejorar las características de radiación de la antena parche analizada en el apartado anterior. La cobertura en cuestión está basada en la estructura presentada en [4] (diseñada para trabajar a frecuencias ópticas), la cual se caracteriza por una celda unitaria formada por 2 rosetas planas metálicas estampadas en ambos lados de una placa de circuito impreso (Fig. 4). Las rosetas de la celda unitaria son paralelas, están centradas y presentan un giro mutuo que proporciona a la estructura la propiedad de quiralidad 3D.

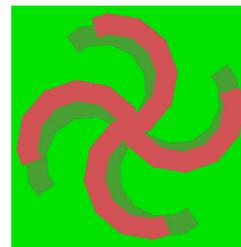


Fig. 4. Celda unitaria de la cobertura metamaterial quirál

Las dimensiones de las rosetas se han adaptado para mostrar actividad óptica en el rango de trabajo de la antena (banda W). Así, tienen un radio de 166 μm , ancho de 50 μm y espesor 18 de μm . Además, el giro relativo entre las mismas es de 15° en sentido antihorario. Por su parte, el sustrato de la celda unidad es cuadrado de lado 1 mm y con un espesor de 5 mils. La constante dieléctrica relativa del sustrato es de 2.2 y su tangente de pérdidas 0.0009.

C. Parche con cobertura

La cobertura, compuesta por una distribución de 7×5 pares de rosetas alineadas, se sitúa sobre la antena, paralela a la misma y separada del radomo, tal como se presenta en la Fig. 5.

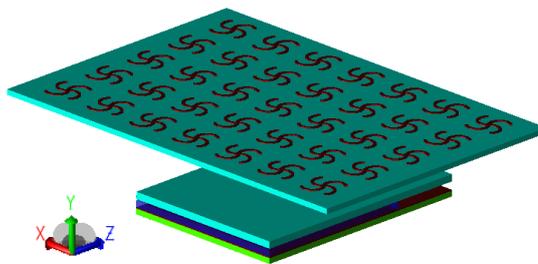


Fig. 5. Antena parche con cobertura quirál

La Fig. 6 muestra el diagrama de radiación 3D del parche con la cobertura quirál. Comparando los resultados con los de la Fig. 3 se puede comprobar cómo la inclusión de la cobertura favorece la focalización del diagrama de radiación entorno a la normal del parche. Visualizando el diagrama de radiación en el plano azimutal, Fig. 7, se observa un aumento en la ganancia de aproximadamente 2 dB y una reducción de 20° en la anchura del lóbulo principal tanto en el plano azimutal como de elevación. En el plano azimutal, el ancho de haz 3 dB pasa de 77° a 56° y en el plano de elevación, pasa de 58° a 38°.

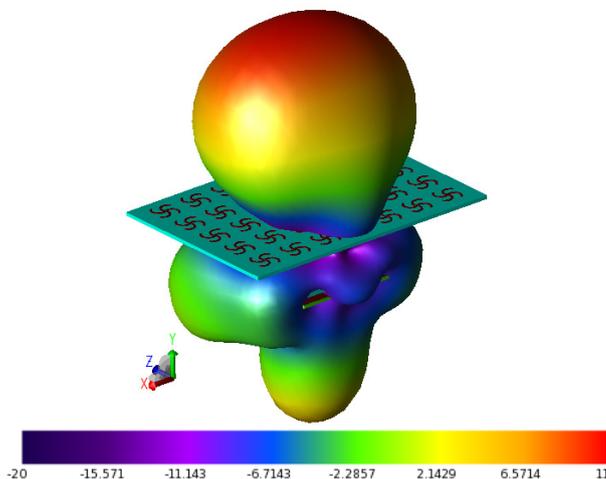


Fig. 6. Diagrama de radiación del parche simple con cobertura

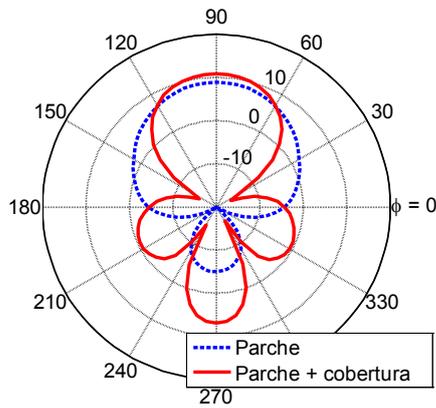


Fig. 7. Comparativa de los diagramas radiación en el plano azimutal

Como contrapartida, la estructura presenta una importante radiación trasera, con un FBR muy bajo, 3 dB. Cabe mencionar que la mejora de este último parámetro se puede conseguir ampliando el plano de masa.

III. ANTENA ARRAY DE TRES PARCHES

A. Array de tres parches

Tomando como referencia el parche presentado en el apartado anterior, se diseñó una antena basada en un array de tres elementos confinada en una caja metálica y excitada por una línea microstrip de 50Ω (ver Fig. 8). La línea de alimentación se encuentra encerrada en una guía de onda en corte en la banda de trabajo. Las líneas de 100Ω exteriores al parche tienen una longitud de 3.7 mm y convergen en la línea principal de alimentación de 50Ω la cual, a una distancia de 0.5 mm del punto de unión de las líneas de 100Ω , se encierra en una guía en corte cuya sección es de 1.14×0.55 mm.

La Fig. 8 muestra el detalle de la estructura metálica, así como de la situación de parches y slots. Los parches tienen una separación entre centros de fases de 2.2 mm, aproximadamente 0.7λ ; la línea microstrip de excitación se encuentra a 0.5 mm del fondo de la caja, cuyas dimensiones internas son 6.6×4.5 mm. Asimismo, cabe mencionar que, con el fin de poder realizar las medidas pertinentes de la antena física, a la estructura del sistema radiante se le ha añadido una transición guía de onda-microstrip [5]. De esta forma, se podrá conectar sin problema nuestra antena a los aparatos de medida del sistema experimental.

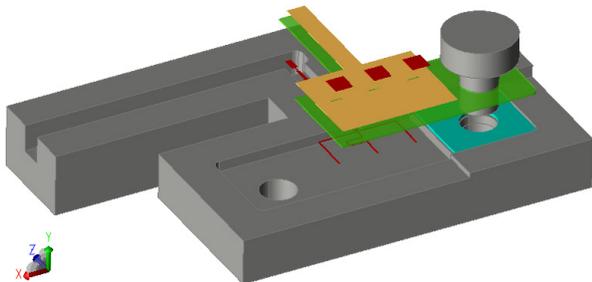


Fig. 8. Array de tres parches: Vista esquemática recortada

Los resultados de adaptación de la antena diseñada, Fig. 9, presentan un ancho de banda a -10 dB de 5.5 GHz aproximadamente. Además, las resonancias que se aprecian están fuera de la banda de interés y no se desplazan apreciablemente cuando se varían las dimensiones críticas de la caja 0.05 mm. Por tanto, podemos asumir que la fase tiene un comportamiento correcto dentro de la banda.

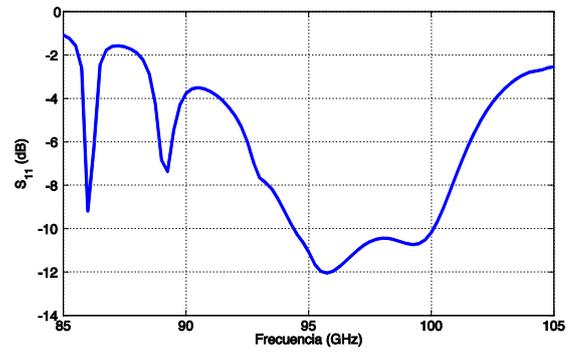


Fig. 9. Adaptación de la antena, parámetro S_{11}

Para finalizar con este apartado, en la Fig. 10 se muestra el diagrama de radiación en campo lejano del array a la frecuencia de 96 GHz, para cuyo valor la antena presenta una ganancia de 12.8 dBi. Dado que se ha partido de un parche de ganancia de aproximadamente 9 dBi y se han tenido en cuenta las pérdidas dieléctricas y resistivas de la estructura, la ganancia obtenida se puede considerar como un buen resultado. Los lóbulos secundarios (Side Lobe Level SLL) se encuentran 15 dB por debajo del principal (valor típico en este tipo de estructuras [6]) y la radiación trasera ha disminuido hasta valores despreciables.

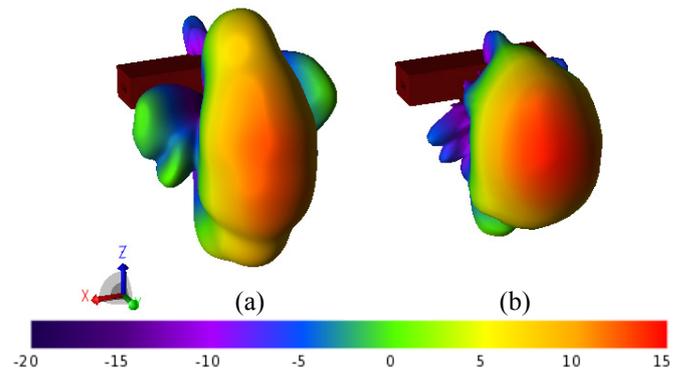


Fig. 10. Diagrama de radiación del array (a) sin cobertura y (b) con cobertura

B. Antena completa con cobertura quirral

De acuerdo a como se procedió con el parche individual, para mejorar el diagrama de radiación de la antena se ha situado una cobertura quirral entre los dos tornillos de fijación laterales y paralela al radomo de la antena, tal y como se muestra en la Fig. 11. La estructura de la cobertura es la misma que en el apartado anterior, una array de 7×5 aspas iguales a las descritas en el apartado II.B.

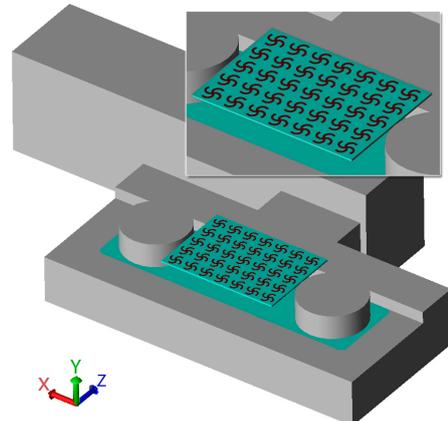


Fig. 11. Antena con cobertura quirral y vista ampliada de la misma.

La Fig. 12 muestra el diagrama de radiación de la antena (planos azimuth y elevación) con y sin la cobertura quirál. La comparación de los diagramas de radiación muestra cómo la colocación de esta cubierta aporta una mejora de la ganancia de la antena de aproximadamente 2 dB, pasando de 13 a 15 dBi. Asimismo, su inclusión mejora 5 dB el nivel de lóbulos secundarios (SLL) pasando de -15 dB a -20 dB.

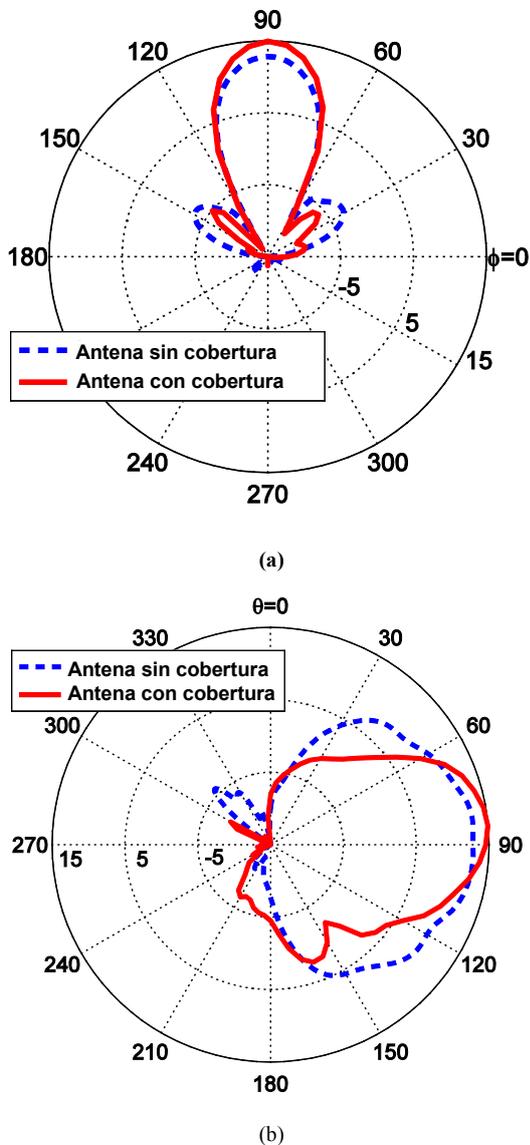


Fig. 12. Diagrama de radiación con y sin cobertura (a) plano azimuth, (b) plano elevación

Otra ventaja del uso de la cobertura es el estrechamiento del lóbulo principal del diagrama de radiación. En el plano de elevación, la cobertura enfoca el diagrama de radiación, tal como se plantea en [7], en la dirección broadside ($\theta = 90^\circ$, $\phi = 90^\circ$), reduciendo 24° el ancho de haz 3 dB , el cual pasa de 59° a 35° . El lóbulo principal en el plano de elevación (Fig. 12b) se desvía 5 grados de la dirección broadside debido a un desalineamiento entre la cobertura y los tres parches.

IV. CONCLUSIONES

En esta comunicación se presenta el diseño de una antena de alta directividad que trabaja en el régimen de terahercios (banda W) en aplicaciones de Imaging. Inicialmente se ha presentado un único parche microstrip excitado por ranura, al cual se le ha añadido una cobertura basada en metamaterial

quiral. El parche por sí solo presenta una ganancia de aproximadamente 9 dBi con un ancho de haz 3 dB de 62° . Al incorporar la cobertura, la ganancia se mejora 2 dB y el haz se estrecha en 20° . El hándicap de esta antena es el reducido FBR, únicamente 3 dB .

En segundo lugar, se presenta una antena formada por un array de tres parches microstrip integrada dentro de una estructura metálica con sus correspondientes líneas exteriores de alimentación y una transición guía de onda-microstrip. La antena presenta alta ganancia (13 dBi), SLL bajo (-15 dB) y ancho de haz estrecho en plano azimutal. La colocación de una cobertura como la usada en el caso anterior permite mantener las mejoras obtenidas por la cubierta en el parche individual (ganancia y anchura de haz en plano elevación), así como reducir 5 dB más el SLL y mejorar el FBR, pasando a -28 dB .

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido parcialmente financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad del Gobierno de España a través de los proyectos de investigación CONSOLIDER CSD2008-00066 EMET y CSD2008-00068 TERASENSE, y los proyectos TEC2010-21496-C03-01 y TEC2011-29126-C03-01 cofinanciado con fondos FEDER.

REFERENCIAS

- [1] S. Oka, H. Togo, N. Kukutsu and T. Nagatsuma, "Latest trends in millimeter-wave imaging technology", Progress In Electromagnetics Research Letters, vol. 1, pp. 197-204, 2008.
- [2] R. Appleby and H. B. Wallace, "Standoff detection of weapons and contraband in the 100GHz to 1THz region", IEEE Trans. Antennas Propag., vol. 55, no. 11, pp.2944-2956, Nov. 2007.
- [3] N. Amar, J. Gutiérrez, A. Tazón, F. Cátedra, A. Mediavilla. "Array Lineal de Antenas planas Excitadas por Ranuras en la Banda W". XXVII Simposium Nacional de la Unión Científica Internacional de Radio (URSI 2012). 12-14 Septiembre. Elche.
- [4] E. Plum, J. Zhou J. Dong, V. A. Fedotov, T. Koschny, C. M. Soukoulis and N. I. Zheludev, "Metamaterial with negative index due to chirality", Physical Review B, vol. 79, no. 3, pp. 035407-0355413, Jan. 2009.
- [5] J. Gutiérrez, K. Zeljami, J. P. Pascual, T. Fernández, A. Tazón, A. Mediavilla and E. S. Pana, "Yield-oriented design protocol and equivalent circuit model for W-band E-plane waveguide-to-microstrip transitions," International Journal of RF and Microwave Computer-Aided Engineering.
- [6] N. Amar, L. Cabria, J. A. Garcia, A. Tazon, A. Mediavilla and F. Marante, "A transmitting active array with spatially selective linealization," The Second European Conference on Antennas and Propagation, EuCAP 2007, pp.1-5, 11-16, Nov. 2007.
- [7] V.V. Gozhenko, J. Wigle, J. Vedral, B. Hendrix and A.O. Pinchuk, "Focusing effect of a metamaterial slab on the radiation pattern produced by a patch antenna", Metamaterials, 2012.