

Antena reflectarray en las bandas K y Ka con haces independientes en cada polarización

Eduardo Martínez de Rioja⁽¹⁾, José A. Encinar⁽¹⁾, Rafael Florencio Díaz⁽²⁾, Rafael Rodríguez Boix⁽²⁾

emartinez@etc.upm.es, jose.encinar@upm.es, rflorencio@us.es, boix@us.es

⁽¹⁾ Dpto. Señales, Sistemas y Radiocomunicaciones. Universidad Politécnica de Madrid. ETSI de Telecomunicación, Av. Complutense, 30, 28040 Madrid.

⁽²⁾ Dpto. de Electrónica y Electromagnetismo, Universidad de Sevilla. Facultad de Física, Av. Reina Mercedes, s/n, 41012 Sevilla.

Abstract- This contribution describes the design of a printed reflectarray antenna to operate at 19.7 and 29.5 GHz with independent beams in H and V polarizations. A dual-frequency dual-polarization reflectarray cell, made of two stacked sets of parallel dipoles for each polarization, is proposed. The dipole lengths are adjusted to produce the required phase-shift at each frequency and each polarization. A 1.6-m reflectarray has been designed to produce two closely spaced beams in H and V polarizations. The simulated radiation patterns show a gain of 48.3 dBi at 19.7 GHz and 50.7 dBi at 29.5 GHz, with side-lobe levels close to -25 dB and low cross-polar radiation.

I. INTRODUCCIÓN

El interés por las antenas de tipo reflectarray ha crecido considerablemente debido a su capacidad para proporcionar altos valores de ganancia, eficiencia de radiación y haces independientes para cada polarización, así como al reducido coste y la relativa sencillez de su fabricación. Por todo ello, cuentan con una serie de ventajas frente a las antenas de tipo reflector y los arrays, siendo su principal limitación el ancho de banda de funcionamiento [1].

En los últimos años, se han propuesto distintos tipos de antenas reflectarray para operar en modo multi-frecuencia. Algunos de estos diseños se basan en el empleo de diferentes elementos reflectarray distribuidos en una única capa [2], mientras que otros se componen de varias capas reflectarray apiladas, una para cada frecuencia [3]. Un reflectarray capaz de operar a 20 y 30 GHz en polarización ortogonal lineal fue presentado en [4], empleando una estructura de dos capas con parches apilados que permitía introducir un desfase independiente para cada frecuencia. El inconveniente de este diseño es que sólo permite trabajar con una polarización en cada banda de frecuencias. Este problema puede resolverse utilizando un elemento reflectarray con funcionamiento en doble polarización y doble banda, para lo que puede tomarse como referencia el elemento introducido en [5], basado en conjuntos ortogonales de dipolos paralelos, que además cuenta con unas buenas prestaciones de ancho de banda y baja radiación contra-polar.

En este artículo se presenta el diseño de una antena reflectarray de polarización dual para operar de forma independiente en las bandas K (19.7 GHz) y Ka (29.5 GHz), generando dos haces adyacentes en polarización Horizontal (H) y Vertical (V) con una separación de 0.5°. Su elevada ganancia y bajo nivel de lóbulos secundarios hacen que sea

adecuada para su aplicación como antena multihaz en satélites de comunicaciones cuyos enlaces ascendente y descendente operen en dichas bandas de frecuencia.

II. ELEMENTO REFLECTARRAY

El elemento periódico se compone de dos agrupaciones ortogonales de cinco dipolos paralelos, impresos sobre una lámina de material dieléctrico (a la que denominamos capa P), sobre los que se sitúan otros dos conjuntos ortogonales de tres dipolos paralelos, impresos en la cara superior de una segunda lámina de dieléctrico (capa Q). Una representación esquemática del elemento descrito puede verse en la Fig. 1. Los dipolos laterales de cada agrupación son simétricos con respecto al dipolo central, para mantener un bajo nivel de radiación contra-polar. Para evitar la aparición de lóbulos de difracción, se toma como periodo $0.67 \cdot \lambda$ a la frecuencia más alta (29.5 GHz), por lo que $P_X = P_Y = 6.5$ mm, considerando para ello un ángulo máximo de incidencia o radiación de 30°.

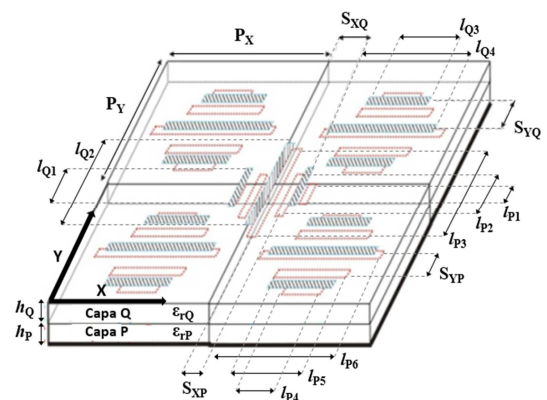


Fig. 1. Vista de la estructura periódica del reflectarray, incluyendo cuatro celdas para polarización H y una celda para polarización V.

Las propiedades eléctricas de ambas capas son: constante dieléctrica relativa $\epsilon_{rP} = \epsilon_{rQ} = 2.17$, tangente de pérdidas $\tan(\delta_P) = \tan(\delta_Q) = 0.002$; y los espesores, $h_P = 1.5$ mm, $h_Q = 1$ mm. La anchura de los dipolos es $w = 0.25$ mm, la separación lateral entre dipolos acoplados en la capa inferior es $S_{XP} = S_{YP} = 0.5$ mm, y en la superior $S_{XQ} = S_{YQ} = 1$ mm. Las longitudes relativas de los dipolos laterales respecto al dipolo central de cada agrupación son: $l_{P1} = 0.65 \cdot l_{P3}$, $l_{P2} =$

$0.8 \cdot l_{p3}$, $l_{p4} = 0.65 \cdot l_{p6}$, $l_{p5} = 0.8 \cdot l_{p6}$ en la capa inferior (donde l_{p6} y l_{p3} representan las longitudes de los dipolos centrales en dirección X e Y, respectivamente) y $l_{Q1} = 0.8 \cdot l_{Q2}$, $l_{Q3} = 0.8 \cdot l_{Q4}$ en la capa superior (donde l_{Q4} y l_{Q2} se corresponden con las longitudes de los dipolos centrales en dirección X e Y, respectivamente). Todos estos parámetros han sido escogidos para lograr una variación suave de la respuesta en fase en un rango mayor de 360° , tanto a 19.7 GHz como a 29.5 GHz, por lo que son específicos de este diseño.

Los dipolos de la capa inferior presentarán una longitud mayor que la de los dipolos superiores, de forma que estos no perturbarán la respuesta en fase del reflectarray a 19.7 GHz, mientras que los dipolos inferiores se comportarán como un plano de masa para los dipolos de la capa superior a 29.5 GHz. Esta propiedad permite lograr un control de fase prácticamente independiente en cada una de las bandas de frecuencia basado en las longitudes de los dipolos superiores e inferiores, como puede observarse en la Fig. 2, que muestra la variación de la fase del coeficiente de reflexión co-polar a 19.7 y 29.5 GHz para polarización H e incidencia normal, en función de la longitud del dipolo central de cada capa en dirección X (nótese que la misma respuesta se obtiene para polarización V con los dipolos en dirección Y). Las gráficas de la Fig. 2, con incidencia normal, se emplean únicamente como herramienta para la caracterización del elemento periódico, ya que en el proceso de diseño posterior se tiene en cuenta el ángulo real de incidencia en cada elemento.

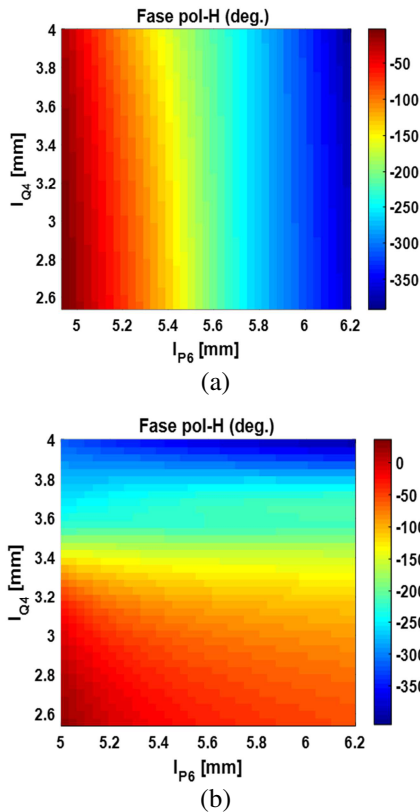


Fig. 2. Variación de la fase del coeficiente de reflexión, para polarización H e incidencia normal, en función de las longitudes de los dipolos en la dirección del eje X: (a) a 19.7 GHz, (b) a 29.5 GHz.

Como consecuencia de todo lo anterior, las longitudes de los dipolos pueden calcularse por separado para cada una de las bandas de funcionamiento: primero se ajustarán los dipolos inferiores para producir el desfase requerido a 19.7

GHz, y después, se ajustarán los dipolos superiores para hacer lo propio con la respuesta en fase a 29.5 GHz. Esta característica conduce a que el diseño de la antenna resulte más sencillo y conlleve una menor carga computacional.

III. DISEÑO A DOS FRECUENCIAS

Se ha diseñado un reflectarray circular de 162.5 cm de diámetro, formado por 49080 elementos dispuestos en una malla de tamaño 250×250 , para generar un haz colimado en la dirección $\theta_b = 10^\circ$, $\phi_b = 0^\circ$ en polarización H, y otro haz contiguo en la dirección $\theta_b = 10.5^\circ$, $\phi_b = 0^\circ$ en polarización V, en ambas bandas de frecuencia. Estas bandas coinciden con las frecuencias de transmisión (20 GHz) y recepción (30 GHz) de las antenas multihaz embarcadas en los sistemas de satélites en banda Ka.

La antenna se ilumina con una bocina alimentadora cuyo centro de fases se sitúa en las coordenadas (-30, 0, 100) cm respecto al centro del reflectarray (ver Fig. 3). El campo radiado por el alimentador se modela mediante una función $\cos^q(\theta)$, empleando un factor $q = 6$ para la banda de 20 GHz y $q = 8$ para la banda de 30 GHz. Con esto se consigue un nivel de iluminación en bordes del reflectarray de -16 dB a 19.7 GHz y -18 dB a 29.5 GHz.

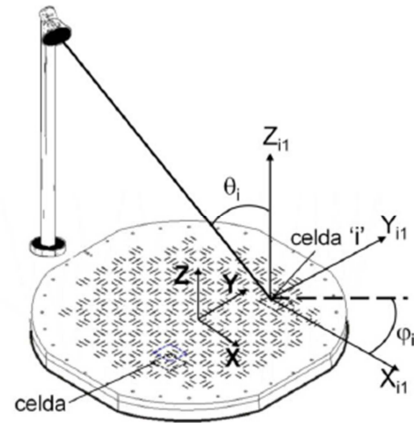


Fig. 3. Antena reflectarray con la posición de la bocina alimentadora y sistema de coordenadas de referencia.

Las longitudes de los dipolos se ajustan mediante un procedimiento iterativo que llama a una rutina de análisis basada en la utilización del Método de los Momentos en el Dominio Espectral (MoM-SD) y en la aproximación de periodicidad local [5]. Esta rutina tiene en cuenta el ángulo real de incidencia sobre cada elemento del reflectarray para calcular el módulo y la fase del coeficiente de reflexión, considerando el elemento en un entorno periódico.

IV. RESULTADOS

Los diagramas de radiación en ganancia (dBi) obtenidos mediante las simulaciones se muestran en la Fig. 4. Estos diagramas han sido calculados a partir de las componentes tangenciales del campo electromagnético reflejado en cada celda del reflectarray, utilizando el mismo *software* citado anteriormente. En ellos se representan las componentes co-polar y contra-polar para ambas polarizaciones en los planos de elevación (plano XZ) y azimuth (plano ortogonal al XZ en la dirección de radiación del haz), a las frecuencias de 19.7 GHz y 29.5 GHz.

Como se puede observar en la Fig. 4, a 19.7 GHz se logra una ganancia de 48.3 dBi con un nivel de lóbulos secundarios cercano a -30 dB, mientras que a 29.5 GHz se alcanzan 50.7 dBi de ganancia con los lóbulos secundarios en torno a -25 dB. Los niveles de radiación contra-polar también son bajos, encontrándose al menos 27 dB por debajo del máximo de radiación co-polar. La anchura de haz medida a -3dB es de 0.7° a 19.7 GHz, y de 0.55° a 29.5 GHz. La separación en el plano de elevación entre los haces generados en cada polarización es de 0.5°.

La eficiencia de radiación de la antena puede estimarse en torno a un 66% en la banda K y un 48% en la banda Ka, que son valores típicos para antenas de reflector convencionales. Estos valores pueden calcularse dado que las simulaciones consideran las pérdidas debidas al *spillover*, la iluminación y los dieléctricos.

V. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos muestran el potencial de las antenas de tipo reflectarray para trabajar en distintas bandas de frecuencia, con un conformado de haz independiente en cada banda y polarización. El elemento reflectarray de dos capas con agrupaciones ortogonales de dipolos paralelos permite el ajuste simultáneo de la fase en ambas frecuencias de diseño. Los diagramas de radiación calculados mediante las simulaciones resultan muy prometedores para su empleo como antenas multihaz en satélites de comunicaciones que

operen en las bandas K y Ka, permitiendo generar haces adyacentes en polarización ortogonal, lo que haría posible reducir el número de antenas embarcadas. Estos resultados deberán ser corroborados mediante la fabricación y medida de un prototipo.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad de España mediante el proyecto TEC2013-43345-P.

REFERENCIAS

- [1] J. Huang and J. A. Encinar, "Reflectarray Antennas", IEEE Press/Wiley, Piscataway, New Jersey, 2008.
- [2] H. Hasani, C. Peixeiro, A. Skrivervik, J. Perruisseau-Carrier, "Single-Layer Quad-Band Printed Reflectarray Antenna with Dual Linear Polarization," *IEEE Trans. on Antennas and Propag.*, vol. 63, no. 12, pp. 5522-5528, Dec. 2015.
- [3] M. R. Chaharmir, J. Shaker, H. Legay, "Dual-band Ka/X reflectarray with broadband loop elements", *IET Microwaves, Antennas & Propagation*, vol. 4, no. 2, pp. 225-231, Feb. 2010.
- [4] J. A. Encinar, M. Barba, "Design manufacture and test of Ka-band reflectarray antenna for transmitting and receiving in orthogonal polarization", in *Proceedings of 14th International Symposium on ANTEM-AMEREM*, 2010, Ottawa, Canada, 5-8 July 2010.
- [5] R. Florencio, J. A. Encinar, R. R. Boix, V. Losada, G. Toso, "Reflectarray Antennas for Dual Polarization and Broadband Telecom Satellite Applications," *IEEE Trans. on Antennas and Propag.*, vol. 63, no. 4, pp. 1234-1246, April 2015.

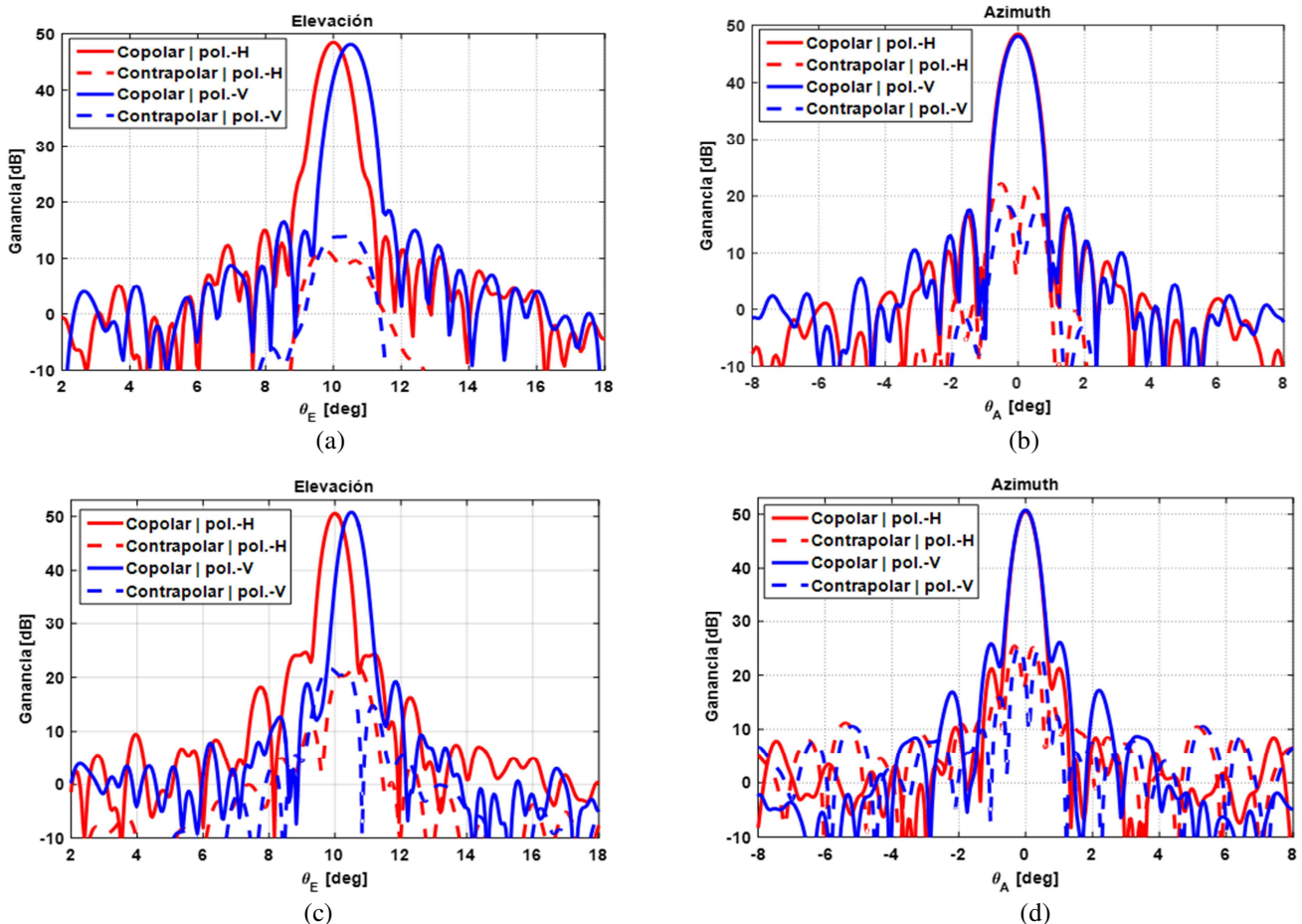


Fig. 4. Diagramas de radiación simulados: (a) plano XZ a 19.7 GHz, (b) superposición de cortes en los planos que forman 10° (H) y 10.5° (V) respecto al eje Z a 19.7 GHz, (c) plano XZ a 29.5 GHz, (d) superposición de cortes en los planos que forman 10° (H) y 10.5° (V) respecto al eje Z a 29.5 GHz.