

ARREGLO DE ANTENAS CON POLARIZACIÓN CIRCULAR Y TECNOLOGÍA RGW PARA APLICACIONES SATELITALES

Douglas Oña Valladares¹, Osmerly Hernández Martínez², Francisco R. Marante Rizo³

¹²³ Filiación: Universidad Tecnológica de La Habana “José A. Echeverría”, CUJAE, dirección: Ave. 114 e/
Rotonda y Ciclovía, La Habana, Cuba.

¹e-mail: doug950321@gmail.com

²e-mail: o5m3ry17@gmail.com

³e-mail: marante@tele.cujae.edu.cu

RESUMEN

La tecnología *Gap Waveguide* (GW) constituye una alternativa a las líneas de transmisión convencionales para su empleo en el diseño de antenas en la banda de ondas milimétricas (3 – 300 GHz). En comparación con otras líneas empleadas en sistemas de microondas, se obtienen valores de eficiencia superiores, con el consecuente aumento en la ganancia de la antena, debido a que en la mayoría de los casos las GW no utilizan sustrato. Además, por sus características físicas la tecnología GW tiene mayor resistencia a las radiaciones solares. Estas dos ventajas son muy útiles en aplicaciones satelitales porque las mismas operan en condiciones extremas de radiación solar y con baterías que limitan la vida útil del satélite. El presente trabajo está dirigido al diseño de un arreglo de antenas de ranura de 2×2 elementos para aplicaciones satelitales en la banda Ka con polarización circular, empleando la variante de *Ridge Gap Waveguide* (RGW). El elemento simple del arreglo consiste en una estructura con terminación en L y una ranura rotada en la placa metálica superior para obtener polarización circular. Se obtiene una ganancia máxima de 12.5 dB, un ancho de banda con polarización circular de aproximadamente 18.4 % y una eficiencia total del 99 % para la frecuencia de diseño (35 GHz), cayendo en los extremos de la banda hasta 85 %.

PALABRAS CLAVES: Gap Waveguide, arreglo de antenas, banda Ka, polarización circular.

ANTENNA ARRAY WITH CIRCULAR POLARIZATION AND RGW TECHNOLOGY FOR SATELLITE APPLICATIONS

ABSTRACT

The Gap Waveguide (GW) technology is an alternative to conventional transmission lines for use in the design of antennas in the millimeter-wave band (3 - 300 GHz). Compared to other lines used in microwave systems, higher efficiency values are obtained, with the consequent increase in antenna gain, because in most cases the GW does not use substrate. Besides, due to its physical characteristics, the GW technology has greater resistance to solar radiation. These two advantages are very useful in satellite applications because they operate in extreme conditions of solar radiation and with batteries that limit the life of the satellite. The present work is aimed at the design of a 2×2 element slot antenna array for satellite applications in the Ka-band with circular polarization, using the Ridge Gap Waveguide (RGW) variant. The simple element of the array consists of an L-terminated structure and a rotated slot in the top metal plate for circular polarization. A maximum gain of 12.5 dB is obtained, a circular polarization bandwidth of approximately 18.4%, and total efficiency of 99% for the design frequency (35 GHz), falling at the ends of the band up to 85%.

KEY WORDS: Gap Waveguide, antenna array, Ka-band, circular polarization.

1. INTRODUCCIÓN

El aumento de la demanda de las comunicaciones por satélite en las últimas décadas ha traído consigo la aparición de nuevos retos y problemas. Entre los principales a destacar están la elevada solicitud de servicios en áreas de mayor cobertura, la exigencia de mayores anchos de banda y velocidades superiores en la transferencia de información, y la congestión existente en las bandas C (4 - 8 GHz) y Ku (12 - 18 GHz), utilizadas hasta el momento en estos fines. Por tales motivos, y teniendo en cuenta la alta disponibilidad del espectro radioeléctrico en la banda de ondas milimétricas (30 - 300 GHz), la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) ha decidido agregar a las comunicaciones por satélite la banda Ka (26.5 - 40 GHz) y establecer la polarización circular como la más adecuada para estas aplicaciones [1].

Para esto es necesario solucionar múltiples desafíos, como el diseño de transceptores de área pequeña, alta eficiencia y capacidad de integración, para lo cual el diseño de arreglos de antenas de alta eficiencia y técnicas avanzadas de empaquetamiento constituye un factor decisivo [2]. Estos desafíos son difíciles de lograr con tecnologías como la *microstrip* y las guías de onda con sustrato integrado (SIW por sus siglas en inglés); sobretodo, debido a el empleo de sustratos que disminuyen su eficiencia. Por esta razón, este trabajo propone el uso de la tecnología *Gap Waveguide* (GW) debido a que puede solucionar los problemas de eficiencia y resistencia a las radiaciones solares de las tecnologías tradicionales en aplicaciones satelitales.

La característica fundamental de esta tecnología es el empleo de una superficie texturizada en una de las placas paralelas, llamada Conductor Magnético Artificial (AMC, por sus siglas en inglés), creando una condición de alta impedancia que no permite la propagación de las ondas en el ancho de banda requerido. Por lo tanto, el campo eléctrico es guiado solamente a lo largo de las trayectorias deseadas, mitigando las pérdidas de radiación que reducen la eficiencia de las líneas de transmisión basadas en tecnologías convencionales de alta frecuencia. La Fig. 1 muestra las tres variantes de GW existentes: *Ridge Gap Waveguide* (RGW) [3], *Groove Gap Waveguide* (GGW) [4], y *Microstrip Gap Waveguide* (MGW) [5].

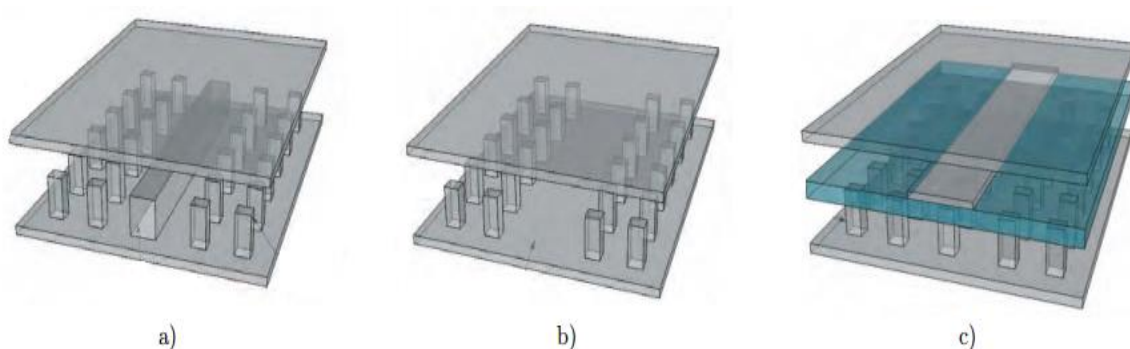


Figura 1: Variantes de GW: a) *Ridge Gap Waveguide*, b) *Groove Gap Waveguide*, c) *Microstrip Gap Waveguide*.

De las tres variantes la MGW, que consiste en una línea de microcinta sobre la superficie AMC, es la menos empleada debido al uso de sustrato que reduce la eficiencia. En la GGW, la onda viaja por el surco rodeado de la superficie AMC, lo que permite que se propaguen modos transversal eléctrico (TE) o transversal magnético (TM), comportándose de forma similar a una guía de onda rectangular. La RGW por su parte, sustituye el surco por una cresta, permitiendo la propagación de modos transversal electromagnéticos (TEM).

Esta última variante es usualmente utilizada en las antenas de ranura empleadas en los sistemas de radar, estaciones terrestres y comunicaciones satelitales [6].

En los sistemas de comunicaciones inalámbricos la polarización circular tiene varias ventajas sobre la polarización lineal: no requiere alineación entre el transmisor y el receptor y presenta mayor robustez contra los efectos multitrayecto [7]. Existen ejemplos de antenas con polarización circular basados en la tecnología GW. En [6] y [8] se presentan antenas basadas en arreglos de ranura que operan en la banda Ka. En [6], la polarización circular es generada por un arreglo de antenas de ranura de 2x2 elementos, implementando divisores de potencia en la tecnología RGW. En cambio, en [8] se utiliza una red de alimentación corporativa combinando RGW y GGW para el diseño de un arreglo de antenas de apertura de 4 x 4 elementos con geometría cilíndrica y un par de esquinas opuestas biseladas.

Este trabajo propone el diseño de un arreglo de antenas de ranura con polarización circular, empleando RGW, para su utilización en comunicaciones satelitales en la banda Ka. La polarización circular es obtenida por la acción conjunta de un brazo en L y una ranura cuadrada rotada.

2. DISEÑO DEL ARREGLO DE ANTENAS

En esta sección se realiza un análisis de los diferentes elementos del arreglo. En primer lugar se describe el diseño de la celda unitaria que garantiza el comportamiento deseado de la estructura AMC, luego se diseña la línea de alimentación RGW y por último se detalla el elemento simple. Además, se exponen las técnicas utilizadas en el arreglo de 2×2 elementos para el reforzamiento de la polarización circular.

2.1. Diseño de la superficie AMC

Un elemento fundamental en cada una de las variantes de la tecnología GW, y en general en su principio de funcionamiento, es el empleo de la estructura periódica de pines, que dará origen a la superficie AMC. Para el diseño propuesto en el presente trabajo, se empleó la estructura AMC conocida como “*bed of nails*” [9].

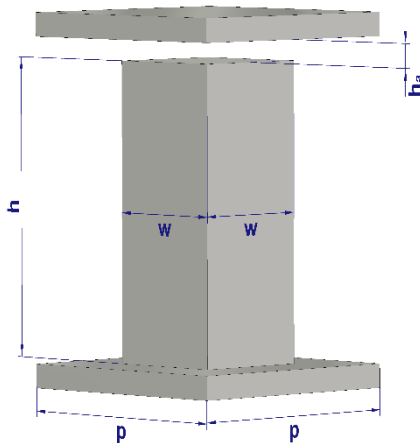


Figura 2: Dimensionamiento del pin.

La Fig. 2 muestra el dimensionamiento de la celda unitaria propuesta, donde $h + h_a$ representa la separación entre las placas paralelas. Los pines son prismas con base cuadrada de lado w y con altura h , y h_a denota la separación entre el pin y la placa superior. El parámetro p representa la periodicidad, debido a que la celda

ARREGLO DE ANTENAS CON POLARIZACIÓN CIRCULAR Y TECNOLOGÍA RGW PARA APLICACIONES SATELITALES

unitaria con dimensiones $p \times p \times (h + h_a)$ es replicada infinitamente en el plano, creando la superficie AMC. Finalmente, la Tabla 1 resume los parámetros de la celda unitaria. Estas dimensiones se escogieron teniendo en cuenta las consideraciones planteadas en [10], a partir de las cuales se realizaron parametrizaciones de las mismas hasta obtener una estructura que impidiese la propagación en la banda Ka. Las dimensiones de la altura de las placas inferior y superior no se señalan debido a que en [11], [12] se demuestra que su variación no influye en la ubicación y ancho de la banda prohibida.

Tabla 1: Valores de los parámetros de la celda unitaria.

Parámetro	Descripción	Valor (mm)
h_a	Altura del espacio (gap) de aire	0.2
h	Altura del pin	2.5
w	Ancho del pin	1.0
p	Período entre pines	2.0

Luego de modelar la estructura se procede a la obtención del diagrama de dispersión. La Fig. 3 muestra este diagrama donde se observa el comportamiento de la constante de propagación beta (β) en función de la frecuencia para cada modo de propagación.

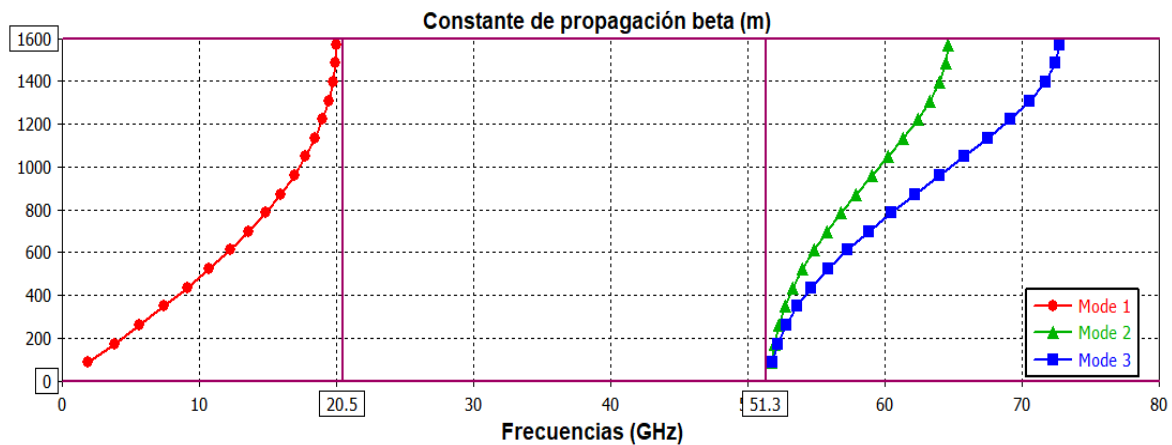


Figura 3: Diagrama de dispersión del pin diseñado.

Como se puede observar, en esta estructura solo se propagan tres modos diferentes. El primero de ellos se propaga en las frecuencias inferiores a 21 GHz y los otros dos se propagan en las frecuencias superiores a 51 GHz, lo cual deja un rango de frecuencias donde no hay propagación que se denomina banda prohibida. Esto garantiza que la estructura periódica de pines no permite la propagación del campo en la banda Ka (26.5 - 40 GHz) que, como se discutirá posteriormente, evita las fugas del campo electromagnético fuera de las direcciones deseadas en la estructura GW.

2.2. Diseño de la línea de transmisión RGW

Para formar la guía RGW es necesario incluir una cresta metálica entre los pines de la superficie AMC, con el objetivo de guiar la señal a lo largo de un camino establecido. La introducción de esta cresta permite la propagación de un modo cuasi transversal electromagnético (cuasi-TEM) entre la misma y la placa metálica superior. Para la demostración de este comportamiento se modeló una estructura compuesta por la cresta metálica y tres hileras de pines a ambos lados [11], estableciendo una periodicidad de esta estructura en la dirección del eje y .

En la Fig. 4 se presenta la geometría de la línea RGW diseñada, así como su diagrama de dispersión en la Fig. 5. En esta última se puede verificar la aparición de modos de propagación adicionales que no estaban en la estructura infinitamente periódica de la subsección anterior, esto sucede porque la estructura no tiene periodicidad en la dirección del eje x sino que solo considera tres pines a cada lado. También se observa la existencia de un modo de propagación en el intervalo de frecuencias suprimidas por la estructura AMC.

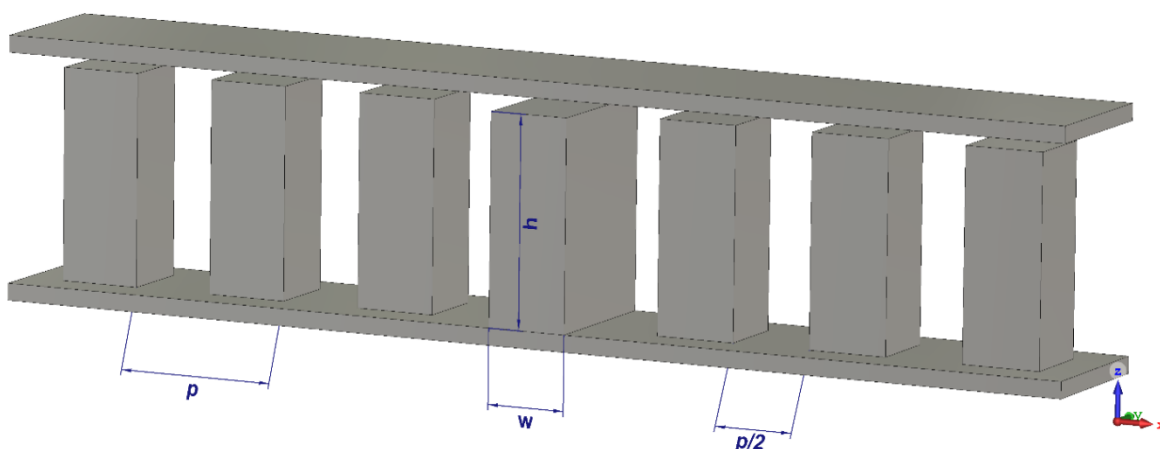


Figura 4: Sección transversal de la estructura RGW.

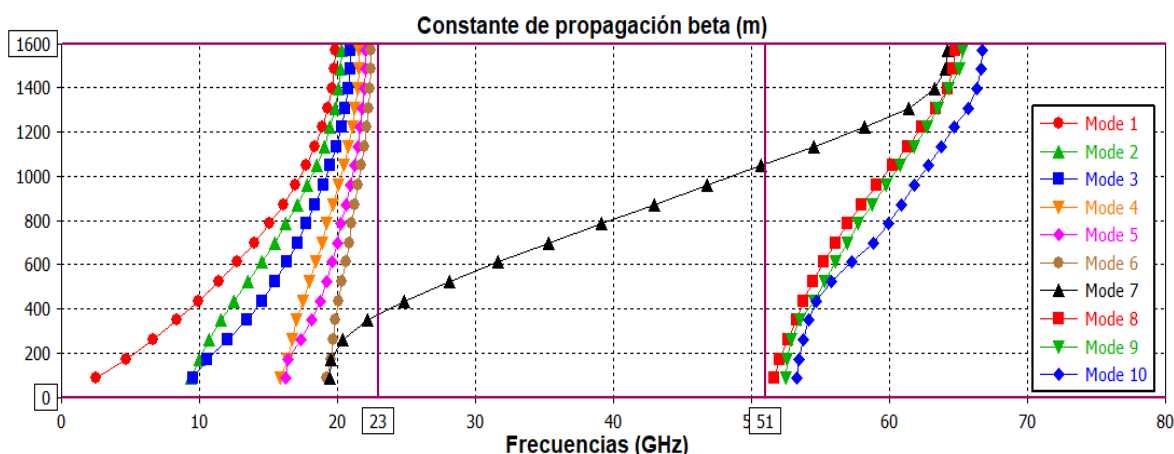


Figura 5: Diagrama de dispersión de la línea de transmisión RGW.

Posteriormente se analizó el comportamiento en el tiempo de esta estructura para determinar la distribución de campo electromagnético, así como sus características de reflexión y transmisión. Como se evidencia en la Fig. 6, la radiación de la línea de alimentación para la frecuencia de 35 GHz apenas sobrepasa la primera fila de pines, logrando el confinamiento del campo. Además, en la Fig. 7 se muestran los parámetros de dispersión resultantes de la simulación donde se aprecia que el coeficiente de reflexión (representado por la curva S_{11}) alcanza valores inferiores a -15 dB en toda la banda Ka, garantizando así un buen acoplamiento. También se observa que el coeficiente de transmisión (representado por la curva S_{21}) toma valores muy próximos a 0 dB,

ARREGLO DE ANTENAS CON POLARIZACIÓN CIRCULAR Y TECNOLOGÍA RGW PARA APLICACIONES SATELITALES

lo cual demuestra que apenas hay reflexiones en el puerto de alimentación y garantiza una alta transferencia de potencia.

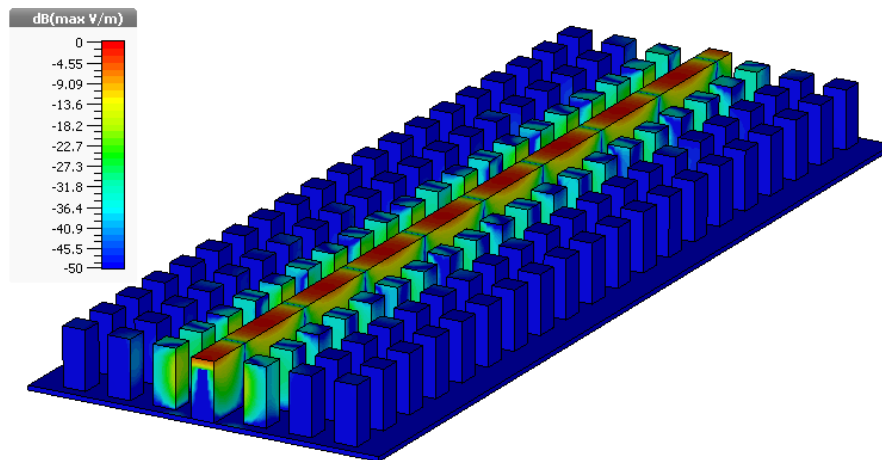


Figura 6: Distribución de campo eléctrico a lo largo de la línea RGW para 35 GHz.

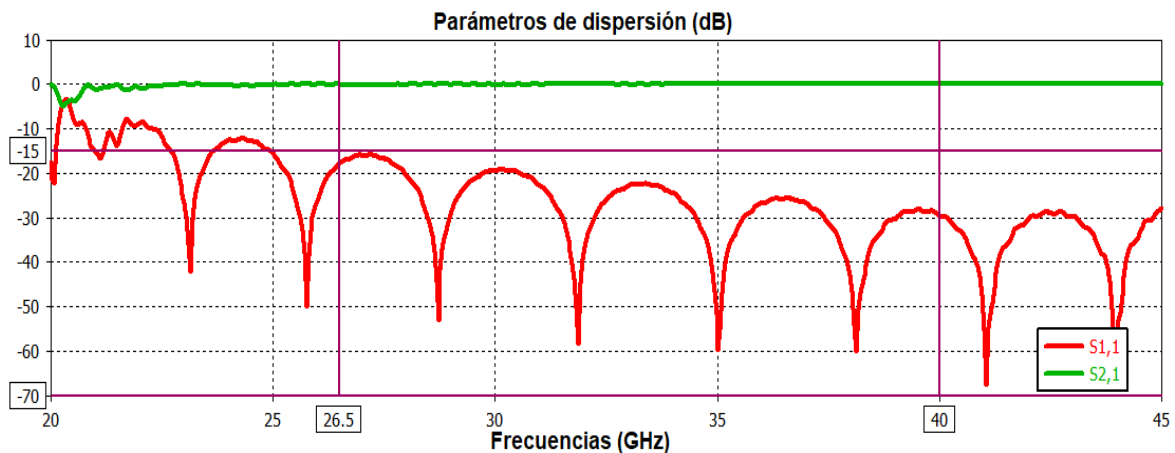


Figura 7: Coeficientes de reflexión y transmisión de la línea RGW para 35 GHz.

2.3. Elemento simple del arreglo

Como uno de los requerimientos de la antena para la aplicación propuesta es la existencia de polarización circular, se empleó como punto de partida una geometría similar a la utilizada en [13], con la diferencia de que la ranura utilizada es un cuadrado rotado para la obtención de polarización circular izquierda (LHCP, por sus siglas en inglés). En la Fig. 8 se observa dicha estructura, la cual consiste en un ridge terminado en forma de L sobre la placa inferior y una ranura rotada en la placa superior.

El primer paso a seguir fue el escalamiento de las dimensiones con respecto a las frecuencias de trabajo previstas para el diseño a realizar, tomando como valor de referencia el de 35 GHz. Para el diseño se asumió que el brazo en forma de L tendría el mismo ancho que el ridge. Además, con respecto a la ranura en la placa superior se decidió que su posición inicial estaría centrada con respecto al brazo en L.

A partir de estas dimensiones se realizaron parametrizaciones de las distintas variables del diseño, para determinar su influencia en el mismo. Además de las variables representadas en la Fig. 8, también fue necesario

parametrizar la posición de la ranura con respecto al brazo en L , mostrada en la Fig. 9, donde $P1$ es el centro del brazo en L , $P2$ el centro de la ranura cuadrada y d indica la distancia entre ellos.

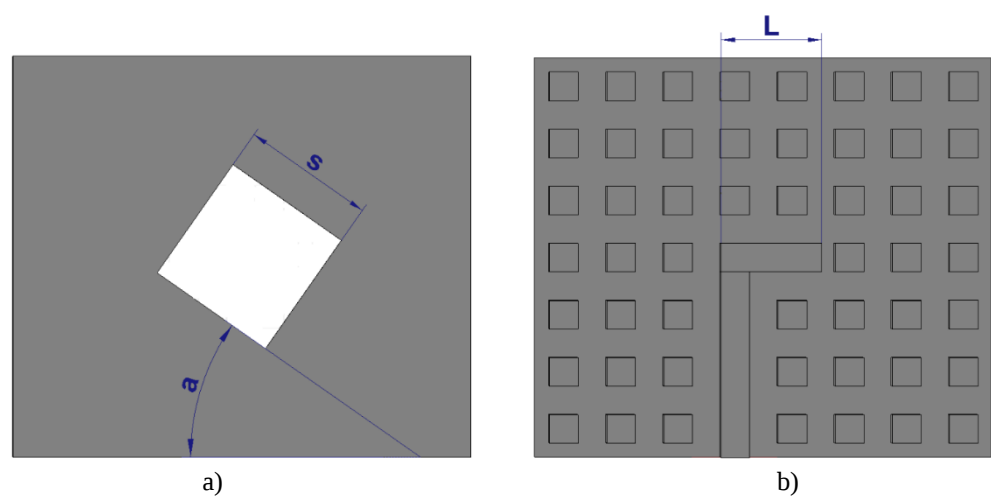


Figura 8: a) Placa superior del elemento simple, b) Placa inferior del elemento simple.

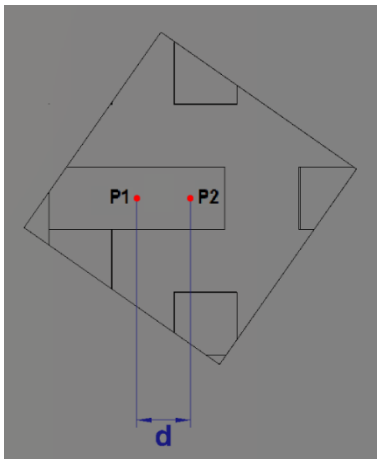


Figura 9: Posición de la ranura con respecto al brazo en L .

De las pruebas realizadas se llegó a la conclusión que las dimensiones de s y L tienen una mayor influencia en la frecuencia de resonancia, mientras que las dimensiones de a y d tienen una mayor influencia en la relación axial. En la Tabla 2 se pueden observar los valores del elemento simple resultante de dichas parametrizaciones.

En la Fig. 10 se muestra el coeficiente de reflexión del elemento simple obtenido. La gráfica muestra que el mejor acoplamiento se obtuvo alrededor de la frecuencia de diseño (35 GHz) con un ancho de banda de 7.3 GHz desde 32.7 GHz hasta 40 GHz, teniendo en cuenta el criterio de -10 dB como valor mínimo de acoplamiento.

ARREGLO DE ANTENAS CON POLARIZACIÓN CIRCULAR Y TECNOLOGÍA RGW PARA APLICACIONES SATELITALES

Tabla 2: Dimensiones del elemento simple.

Parámetro	Valor
s	3.8 mm
a	35°
l	2.8 mm
d	0.85 mm

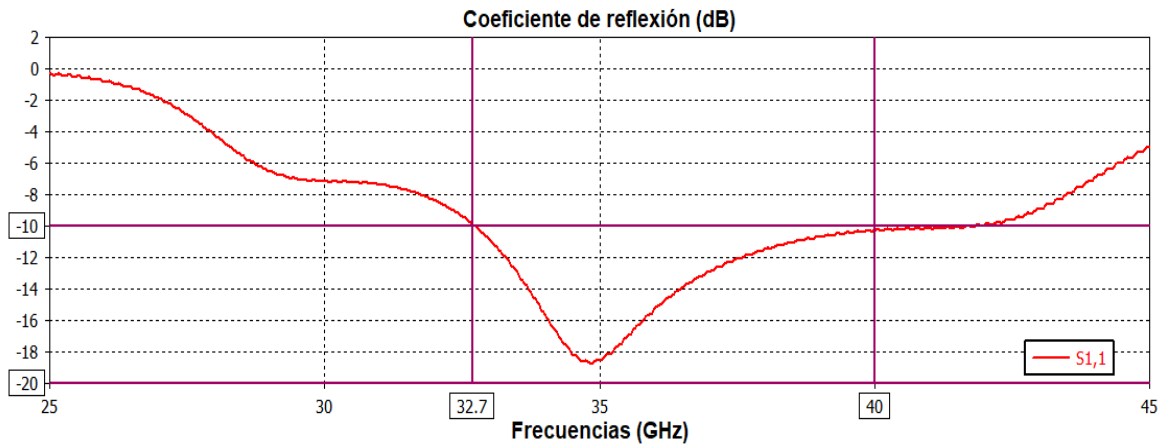


Figura 10: Coeficiente de reflexión del elemento simple.

La relación axial se muestra en la Fig. 11, en la misma se observa que el ancho de banda de polarización circular es de 2.1 GHz, desde 34.25 GHz hasta 36.35 GHz, rango donde este parámetro toma valores inferiores a 3 dB y las pérdidas de retorno son inferiores a -10 dB.

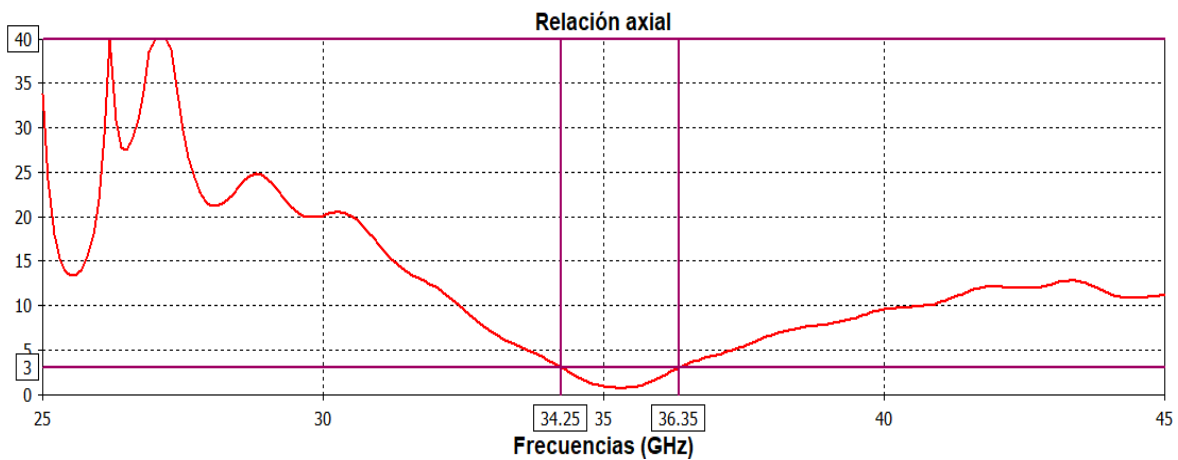


Figura 11: Relación axial del elemento simple.

El diagrama de radiación de LHCP se muestra en la Fig. 12 a), donde se aprecia un lóbulo principal con un ancho de haz de media potencia de aproximadamente 100°. En la Fig. 12 b), además del patrón de radiación tridimensional, se puede observar que el valor de ganancia máxima para esta polarización es de 6.73 dB.

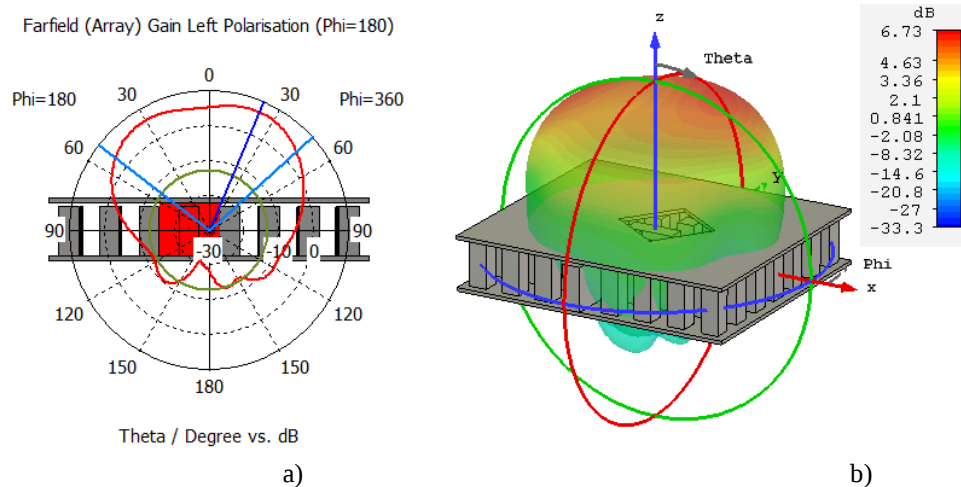


Figura 12: a) Patrón de radiación del elemento simple en coordenadas polares, b) Ganancia.

2.4. Diseño del arreglo de 2x2

En este apartado se propone el diseño de un arreglo de antenas de ranuras de 2×2 , el mismo consiste en 4 elementos simples excitados con diferentes fases y rotados 90° secuencialmente para garantizar polarización circular en la banda Ka, principalmente en las frecuencias cercanas a 35 GHz.

En consecuencia, es necesario emplear una red de alimentación divisora que distribuya la potencia de la señal incidente en el puerto hacia cada uno de los elementos que conforman el arreglo, por lo que se decidió utilizar alimentación corporativa formada por transformadores de impedancia y uniones T. En el caso del acoplamiento de impedancia se utilizó un transformador de un cuarto de longitud de onda capaz de acoplar la impedancia característica de la línea con el resultado del paralelo de las líneas de la unión T [14]. Para determinar la impedancia y el ancho del transformador se calculó previamente la impedancia característica de la línea RGW en función del ancho del ridge, utilizando la analogía con las líneas de transmisión stripline propuesta en [15].

Para reforzar la polarización circular se utiliza la técnica de rotación secuencial de los parches, esta exige que exista una diferencia de fase de 90° en la excitación de cada parche en relación con el anterior [16]. Este desfase se logra con una diferencia de camino recorrido por la onda de $\left(n + \frac{1}{4}\right)\lambda$ con $n \in \mathbb{N} = \{0, 1, 2, \dots\}$. La Fig. 13 muestra la estructura del arreglo propuesto con un espaciamiento entre ranuras (e) de 0.8λ .

ARREGLO DE ANTENAS CON POLARIZACIÓN CIRCULAR Y TECNOLOGÍA RGW PARA APLICACIONES SATELITALES

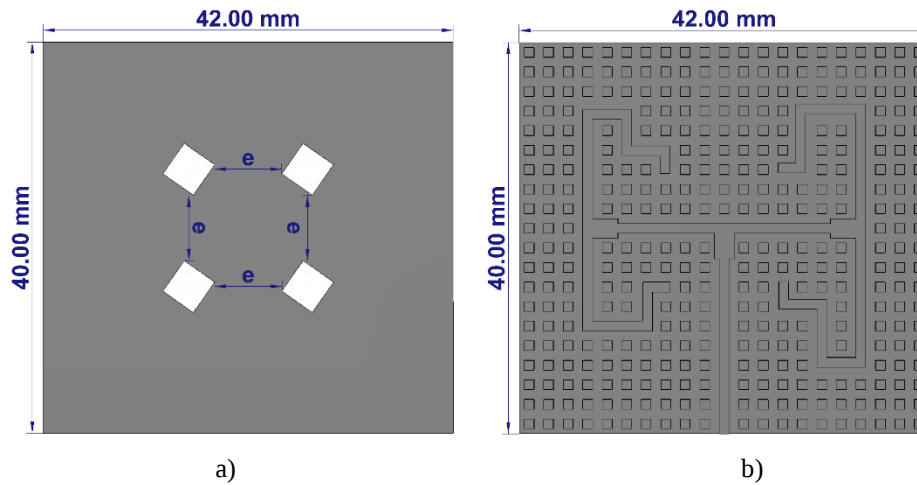


Figura 13: a) Placa superior del arreglo propuesto b) Placa inferior del arreglo propuesto.

A partir de esta primera variante del arreglo se reajustaron los valores para obtener el mejor acoplamiento posible. En la Fig. 14 se muestra el diseño final del arreglo donde se ve el corte en las esquinas de los bordes de las líneas de alimentación para reducir las pérdidas.

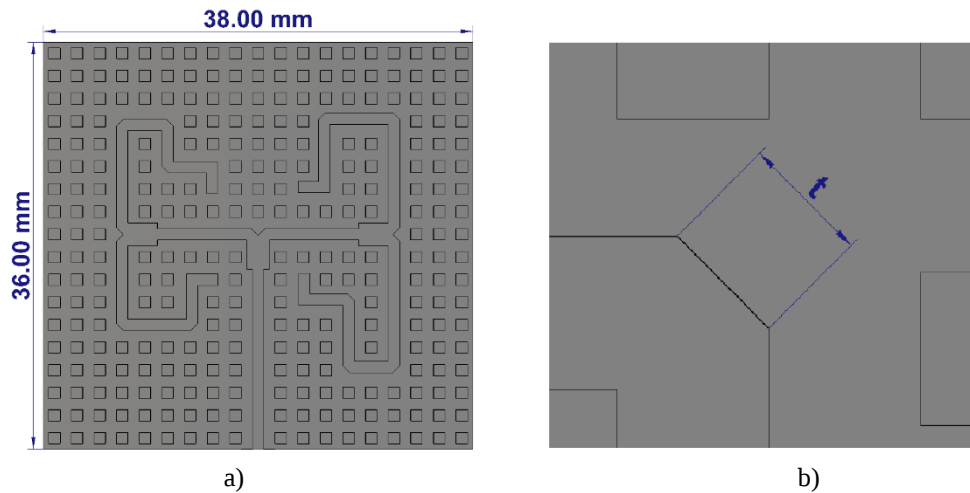


Figura 14: a) Placa inferior del arreglo final, b) Corte en las esquinas.

En las Figs. 15 y 16 se observa que el mayor ancho de banda con polarización circular se obtiene con cortes (t) de 0.7 mm. Para cortes de 0.8 mm se aprecia un ligero aumento en el ancho de banda con coeficiente de reflexión inferior a -10 dB, sin embargo en las frecuencias superiores se pierde la polarización circular.

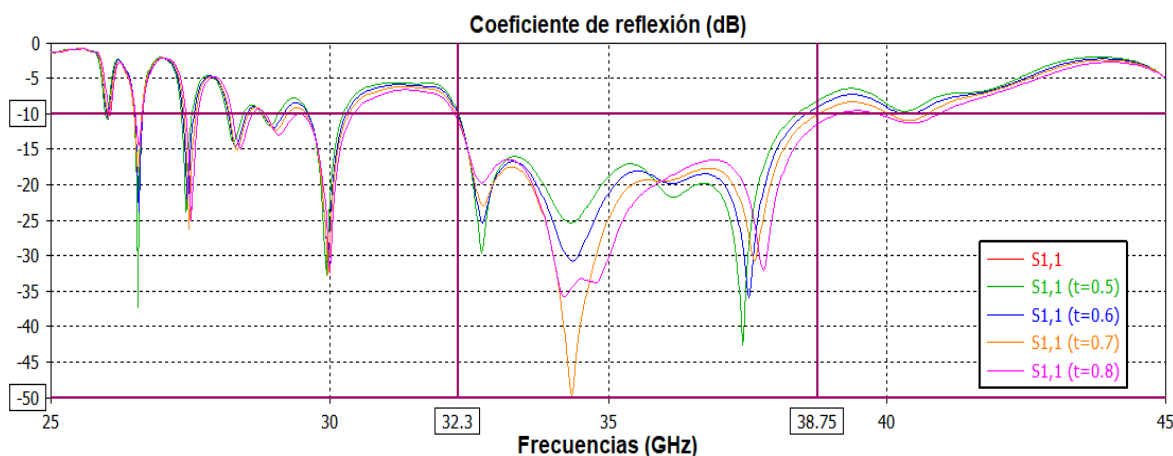


Figura 15: Coeficiente de reflexión del arreglo.

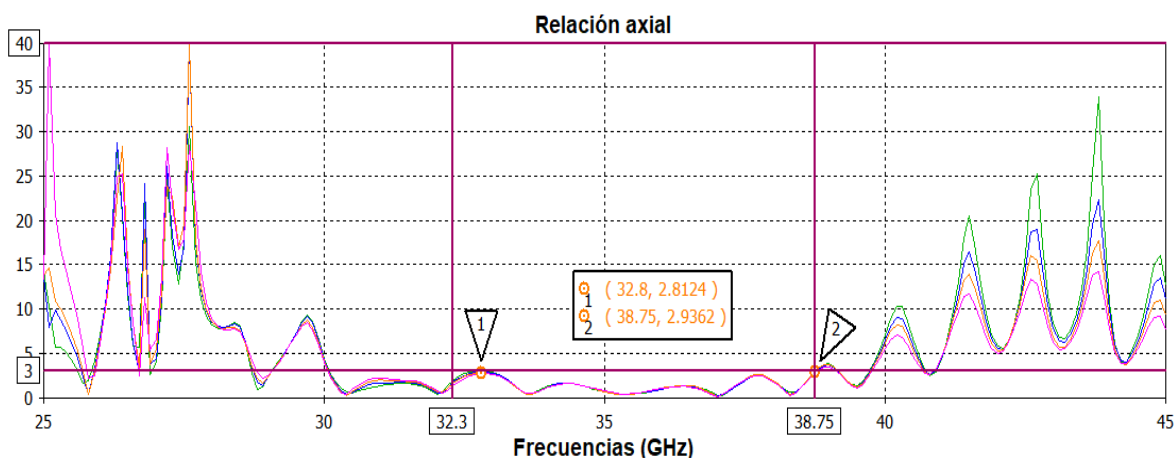


Figura 16: Relación axial del arreglo.

El diagrama de radiación de LHCP del arreglo propuesto se muestra en la Fig. 17 a), donde se aprecia un lóbulo principal con un ancho de haz de media potencia de aproximadamente 29°, representando una mejora de la directividad con respecto al elemento simple. De igual manera, en la Fig. 17 b) puede observarse que el patrón de radiación tridimensional presenta una ganancia para esta polarización de 12.5 dB.

Por último, en la Fig. 18 se puede ver la eficiencia total del arreglo. La misma muestra como este parámetro alcanza un valor del 99 % para la frecuencia de diseño (35 GHz), cayendo en los extremos de la banda a 85 %, lo que constituye uno de los principales resultados del diseño. En la Tabla 3 se muestran las dimensiones finales del arreglo.

ARREGLO DE ANTENAS CON POLARIZACIÓN CIRCULAR Y TECNOLOGÍA RGW PARA APLICACIONES SATELITALES

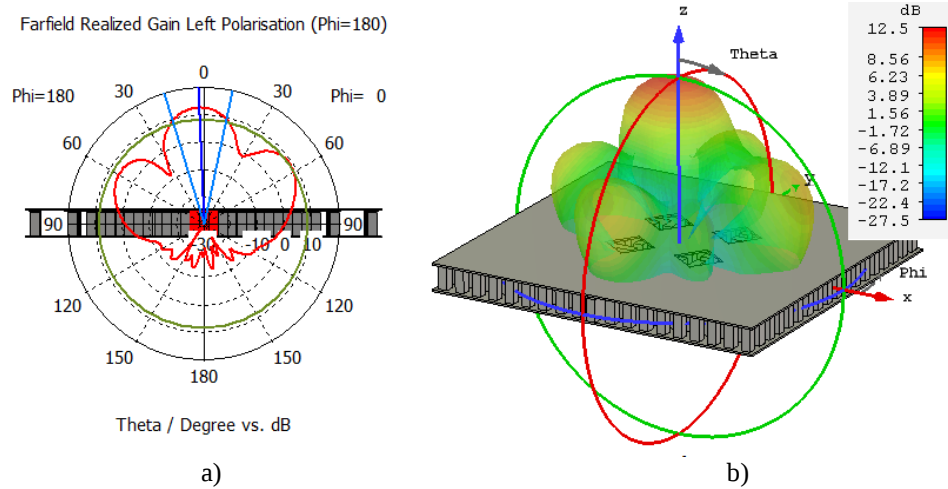


Figura 17: a) Patrón de radiación del arreglo final en coordenadas polares, b) Ganancia.

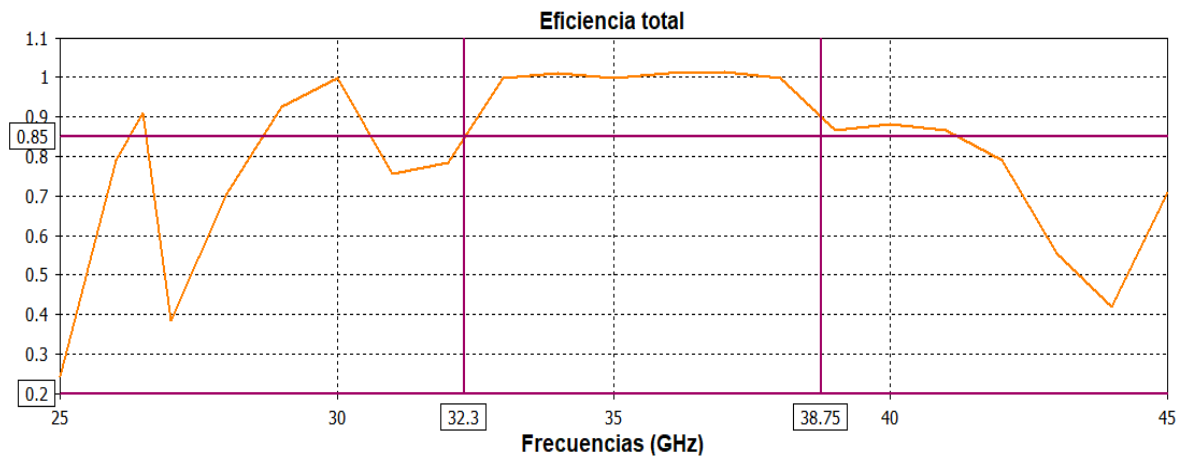


Figura 18: Eficiencia total del arreglo final.

Tabla 3: Valores finales del arreglo de antena.

Descripción	Valor	Descripción	Valor
Ancho del pin	1.0 mm	Ancho de los brazos en forma de L	1.0 mm
Altura del pin	2.5 mm	Altura de los brazos en forma de L	2.5 mm
Período entre pines	2.0 mm	Altura de las placas	0.2 mm
Altura del gap	0.2 mm	Largo de las placas	36.0 mm
Altura del ridge	2.5 mm	Ancho de las placas	38.0 mm
Ancho del ridge	1.0 mm	Cortes en las esquinas de las líneas	0.6 mm
Largo de los transformadores	2.6 mm	Ancho de las ranuras	3.8 mm
Ancho de los transformadores	2.0 mm	Separación entre ranuras	2.89 mm
Largo de los brazos en forma de L	2.8 mm	Ángulo de rotación de las ranuras	35°

3. CONCLUSIONES

En este trabajo se propone un arreglo de antenas basado en la tecnología GW para aplicaciones satelitales en la banda Ka. Se propone una estructura simple conformada por una ranura rectangular rotada y excitada mediante una línea RGW terminada en L . Este elemento simple presenta una ganancia de 6.73 dB.

Con el fin de elevar la ganancia obtenida con el elemento simple y aumentar el ancho de banda de polarización circular de la antena, se diseña un arreglo de 2×2 elementos rotados secuencialmente y con desfase de 90° en la excitación de cada uno de ellos. Con la nueva estructura la ganancia aumenta en 5.77 dB, siendo el valor final de 12.5 dB. También se obtienen valores de pérdidas de retorno y relación axial capaces de garantizar un funcionamiento con polarización circular en la región comprendida entre 32.3 GHz y 38.75 GHz, lo que representa un ancho de banda de aproximadamente 18.4 %. Además, en todo este rango de frecuencias, se garantiza una eficiencia total por encima al 85 %.

De este modo se obtienen resultados superiores de ancho de banda con polarización circular respecto a los logrados en la antena cuyo elemento simple se toma como referencia. También se logran mejores valores de eficiencia a los obtenidos con las tecnologías convencionales, lo que demuestra la factibilidad de las técnicas aplicadas para la realización del arreglo.

REFERENCIAS

- [1] Y. Rahmat-Samii y A. C. Densmore, «Technology trends and challenges of antennas for satellite communication systems», *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 63, n.º 4, pp. 1191-1204, abr. 2015.
- [2] P. Miller, «Ka-Band – the future of satellite communication?», *TELE-Satell. Broadband*, 09 2007.
- [3] Zaman, Ashraf Uz y Kildal, P.-S., «Wide-Band Slot Antenna Arrays With Single-Layer Corporate-Feed Network in Ridge Gap Waveguide Technology», *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 62, n.º 4, pp. 2992-3001, jun. 2014.
- [4] A. Farahbakhsh, D. Zarifi, y A. U. Zaman, «60-GHz Groove Gap Waveguide Based Wideband SHS - Plane Power Dividers and Transitions: For Use in High-Gain Slot Array Antenna», *IEEE Trans. Microw. Theory Tech.*, vol. 65, n.º 11, pp. 4111-4121, nov. 2017.
- [5] J. Liu, A. Vosoogh, A. U. Zaman, y J. Yang, «Design and Fabrication of a High-Gain 60-GHz Cavity-Backed Slot Antenna Array Fed by Inverted Microstrip Gap Waveguide», *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 65, n.º 4, pp. 2117-2122, abr. 2017.
- [6] T. Li y F. Fan, «Design of ka-band 2×2 circular polarization slot antenna array fed by ridge gap waveguide», 2017, pp. 1-3.
- [7] D. Pérez-Quintana, A. Torres-García, I. Ederra, y M. Beruete, «Compact Groove Diamond Antenna in Gap Waveguide Technology with Broadband Circular Polarization at Millimeter Waves», *IEEE Trans. Antennas Propag.*
- [8] M. Ferrando-Rocher, J. I. Herranz-Herruzo, A. Valero-Nogueira, y A. Vila-Jiménez, «Single-Layer Circularly-Polarized Ka-Band Antenna Using Gap Waveguide Technology», *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 66, n.º 8, pp. 3837-3845, ago. 2018.
- [9] P.-S. Kildal, «Three metamaterial-based gap waveguides between parallel metal plates for mm/submm waves», presentado en 3rd Eur. Conf. Antennas Propag. (EuCAP 2009), 2009, vol. 8, pp. 28-32.
- [10] E. Pucci, «Gap Waveguide Technology for Millimeter Wave Applications and Integration with Antennas», Thesis, Chalmers University of Technology, 2013.
- [11] Raza, Hasan, Jian Yang, Kindal, Per-Simon, y Alfonso, Esperanza, «Resemblance between gap waveguides and hollow waveguides», *IET Microw. Antennas Propag.*, vol. 7, n.º 15, pp. 1221-1227, dic. 2013.

ARREGLO DE ANTENAS CON POLARIZACIÓN CIRCULAR Y TECNOLOGÍA RGW PARA APLICACIONES SATELITALES

- [12] J. A. Liranza Rives y L. R. Solano Ochoa, «Diseño de un arreglo de antenas en tecnología RGW para la banda de 60 GHz», Thesis, Instituto Superior Politécnico: José Antonio Echeverría, 2018.
- [13] J. Xi, B. Cao, H. Wang, y Y. Huang, «A novel 77 GHz circular polarization slot antenna using ridge gap waveguide technology», en *2015 Asia-Pacific Microwave Conference (APMC)*, 2015, vol. 3, pp. 1-3.
- [14] Constantine A. Balanis, *Modern Antenna Handbook*, John Wiley & Sons, Inc. John Wiley & Sons, Inc.
- [15] Alfonso, Esperanza, Kindal, Per-Simon, Valero-Nogueira, Alejandro, y Baquero, Mariano, «Study of the characteristic impedance of a ridge gap waveguide.», *2009 IEEE Antennas Propag. Soc. Int. Symp.*
- [16] M. Rodríguez Toranzo, «Diseño de un arreglo de antenas de microcinta con polarización circular en la banda de 60 GHz», Thesis, Instituto Superior Politécnico: José Antonio Echeverría, 2017.

AUTORES

Douglas Oña Valladares: Ingeniero en Telecomunicaciones y Electrónica, Profesor Adiestrado e Investigador, Departamento de Telecomunicaciones y Telemática, Facultad de Telecomunicaciones y Electrónica, Universidad Tecnológica de La Habana “José Antonio Echeverría” (CUJAE), La Habana, Cuba. Actualmente trabaja y se interesa, entre otros temas, en antenas basadas en metasuperficies y tecnologías wave-guide.

Osmery Hernández Martínez: Ingeniera en Telecomunicaciones y Electrónica, Profesora Instructora e Investigadora, Departamento de Telecomunicaciones y Telemática, Facultad de Telecomunicaciones y Electrónica, Universidad Tecnológica de La Habana “José Antonio Echeverría” (CUJAE), La Habana, Cuba.

Francisco Marante Rizo: Dr. C.T en La Universidad Técnica de Praga, Ingeniero en Telecomunicaciones, Profesor Titular e Investigador, Grupo de Investigación de Comunicaciones Inalámbricas, Departamento de Telecomunicaciones y Telemática, Facultad de Telecomunicaciones y Electrónica, Universidad Tecnológica de La Habana “José Antonio Echeverría” (CUJAE), La Habana, Cuba. Actualmente es Profesor Consultante del Departamento de Telecomunicaciones y Telemática y Jefe del Grupo de Investigación de Comunicaciones Inalámbricas de la Universidad Tecnológica de La Habana “José Antonio Echeverría”.