

# Antenas de ranura con tecnología GGW para aplicaciones 6G en 94GHz

## Slot Antennas with GGW technology for 6G applications at 94GHz

Jorge Luis Blanco-Orta<sup>1</sup>, María del Carmen Guerra-Martínez<sup>2</sup>, Kenneth Marichal-Leyva<sup>3</sup>, Ariel Calzadilla-Ayuso<sup>4</sup>, Alexander Sánchez-Pompa<sup>5</sup>

Fecha de recepción: 21 de octubre, 2024

Fecha de aprobación: 7 de febrero, 2025

Blanco-Orta, J.L; Guerra-Martínez, M.C; Marichal-Leyva, K; Calzadilla-Ayuso, A; Sánchez-Pompa, A. Antenas de ranura con tecnología GGW para aplicaciones 6G en 94GHz . *Tecnología en Marcha*. Vol. 38, N° 3. Julio-Setiembre, 2025. Pág. 151-161.

 <https://doi.org/10.18845/tm.v38i3.7563>

- 1 Emisora Municipal de Radio Mariel. Cuba.  
 [jorgeluisblancoorta@gmail.com](mailto:jorgeluisblancoorta@gmail.com)  
 <https://orcid.org/0000-0001-9592-7818>
- 2 Universidad Tecnológica de la Habana "José Antonio Echeverría". Cuba.  
 [mariagm@tele.cujae.edu.cu](mailto:mariagm@tele.cujae.edu.cu)  
 <https://orcid.org/0000-0003-1989-4414>
- 3 Centro de investigación, Desarrollo y Producción "Grito de Baire". Cuba  
 [kennethmarichal@gmail.com](mailto:kennethmarichal@gmail.com)  
 <https://orcid.org/0009-0003-4518-267X>
- 4 Universidad Tecnológica de la Habana "José Antonio Echeverría". Cuba.  
 [calza96ayuso@huawei.com](mailto:calza96ayuso@huawei.com)  
 <https://orcid.org/0009-0002-8641-4951>
- 5 Universidad Tecnológica de la Habana "José Antonio Echeverría". Cuba.  
 [alexander.sanchez@huawei.com](mailto:alexander.sanchez@huawei.com)  
 <https://orcid.org/0009-0005-0558-955X>

## Palabras clave

GGW; 6G; mmWave.

## Resumen

Este artículo explora la tecnología Groove Gap Waveguide (GGW) y su aplicación en la banda de 94GHz a través de un arreglo de antena. Se realiza una revisión general de la tecnología Gap Waveguide y sus variantes, estableciendo un marco teórico para el diseño y simulación de una antena de ranura de 2x2 elementos mediante el software CST. Los resultados de la simulación muestran una ganancia máxima de 12.2dBi y un ancho de banda de operación del 17.2% en la banda de interés. Estos resultados sugieren que la tecnología GGW tiene un potencial significativo para aplicaciones en escenarios de la próxima generación de sistemas de comunicaciones inalámbricas de sexta generación (6G), donde se requieren altas velocidades de transmisión de datos y confiabilidad en redes que operan en la banda de ondas milimétricas (mmWave).

## Keywords

GGW; 6G; mmWave.

## Abstract

This article explores the Groove Gap Waveguide (GGW) technology and its application in the 94GHz band through an antenna array. An overview of the Gap Waveguide technology and its variants is given, establishing a theoretical framework for the design and simulation of a 2x2 element slot antenna using CST software. Simulation results show a maximum gain of 12.2dBi and an operating bandwidth of 17.2% in the band of interest. These results suggest that GGW technology has significant potential for applications in next generation sixth generation (6G) wireless communication system scenarios, where high data rates and reliability are required in networks operating in the millimetre wave (mmWave) band.

## Introducción

La industria de las telecomunicaciones ha experimentado una evolución constante durante las últimas décadas del siglo XXI, impulsada en gran medida por el creciente interés de los usuarios en las comunicaciones inalámbricas. En este contexto, el desarrollo de una nueva generación de telefonía móvil se presenta como una estrategia esencial para satisfacer las necesidades de una sociedad cada vez más conectada.

En este sentido, la 6G de redes móviles se encuentra en desarrollo como respuesta a las limitaciones de la quinta generación (5G). Si bien la 5G ha logrado avances significativos con escenarios como la banda ancha móvil mejorada (eMBB), las comunicaciones ultra fiables de baja latencia (URLLC) y las comunicaciones masivas de tipo de máquina (mMTC), las demandas crecientes de estos escenarios, en contraste con el limitado espectro radioeléctrico disponible, exigen un salto tecnológico. Para satisfacer las demandas de estos escenarios, es necesario incrementar las capacidades de transmisión e incursionar en las bandas milimétricas (30-300 GHz). Esto permitirá operar en entornos con múltiples usuarios, ofreciendo mayor velocidad, calidad de señal y capacidad de análisis de la información [1,2].

La utilización de las bandas milimétricas presenta desafíos significativos debido a las altas atenuaciones en la propagación de las ondas electromagnéticas. Para superar estas limitaciones, se requiere el diseño de antenas con elevada ganancia. La naturaleza de las ondas electromagnéticas en esta banda, con longitudes de onda más cortas, permite la construcción de antenas más pequeñas. Este enfoque abre nuevas posibilidades para la innovación en el diseño de arreglos de antenas, respondiendo a la creciente demanda por sistemas de comunicaciones inalámbricas compactos y fácilmente integrables [3,4].

En este contexto, una tecnología es apropiada cuando se presenta como una alternativa viable a un fin específico, se adapta a un objetivo determinado y se acomoda a una solución particular. Sin embargo, no cualquier solución técnica es adecuada; se busca aquella que ofrezca la mejor respuesta a la problemática en cuestión. Este análisis permite realizar la investigación de la tecnología Grove Gap Waveguide, que se basa en la posibilidad de guiar el campo electromagnético a lo largo de direcciones deseadas en el espacio entre las placas metálicas. De este modo, las ondas electromagnéticas se pueden propagar a lo largo de estructuras directivas sin presentar pérdidas en otras direcciones [3]-[5].

La tecnología GGW permite la transmisión de ondas sin contacto físico entre los materiales conductores, superando la limitación de las guías de ondas tradicionales. Esto se logra mediante una estructura de pines metálicos con separación entre sí, que emulan el comportamiento de un material conductor magnético perfecto (PMC). Este estudio, que se centra en la mejora de los sistemas de comunicación, destaca la importancia de la tecnología GGW, ya que su capacidad para lograr bajas pérdidas y un alto manejo de potencia a altas frecuencias [1,6,7] la convierte en una solución clave para futuros diseños de antenas en el desarrollo de aplicaciones 6G.

La tecnología GGW se presenta como una propuesta de solución viable para mitigar los desafíos asociados al uso de las bandas milimétricas en el diseño de prototipos de antenas. La GGW tiene el potencial de satisfacer los requisitos de las redes futuras, asegurando la sostenibilidad de los servicios móviles y favoreciendo una mayor eficiencia en el desarrollo de aplicaciones para 6G.

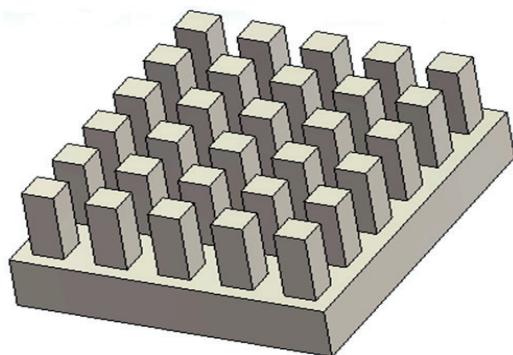
## Metodología

La creciente demanda por servicios de comunicación inalámbrica de alta velocidad y alta capacidad ha impulsado la investigación en nuevas tecnologías que permitan aprovechar las bandas de frecuencia milimétricas. Sin embargo, la propagación de las ondas electromagnéticas en estas bandas presenta desafíos significativos, como la alta atenuación y la limitada capacidad de penetración. La tecnología GGW emerge como una solución prometedora para superar estas dificultades, ofreciendo la posibilidad de guiar las ondas electromagnéticas de manera eficiente y con bajas pérdidas.

Este artículo presenta el diseño de un arreglo de antena basado en GGW. La investigación abarca un análisis exhaustivo de los conceptos, la evolución y la simulación de la antena, siguiendo un proceso estructurado que comprende las siguientes etapas: análisis de la tecnología GGW, diseño del arreglo de antena y simulación. El objetivo principal de este trabajo es desarrollar una investigación y posible implementación de esta estructura, aprovechando sus numerosos beneficios para afrontar los desafíos que presentan las nuevas generaciones de telefonía móvil. Para ello, dentro de las bandas milimétricas, el estudio se centrará en la banda W (75-110 GHz) y más en concreto la banda de 94 GHz, por ser una banda perfecta en términos de compensación con absorción. Para profundizar en cada etapa de la investigación, se llevó a cabo una revisión exhaustiva en la base de datos de la IEEE.

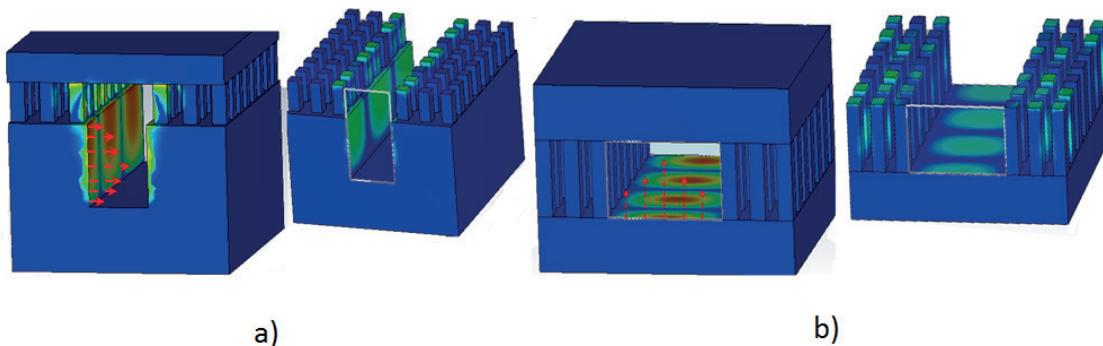
## Resultados

Las estructuras periódicas de pines constituyen un enfoque ampliamente utilizado en la actualidad para emular el comportamiento de una superficie de impedancia magnética perfecta (PMC). Estas estructuras pueden adoptar diversas formas geométricas, incluyendo cuadradas, rectangulares y cilíndricas. La altura de los pines, inferior a la del techo metálico, genera un espacio de aire que, a su vez, produce una banda de bloqueo [3,8]. Esta banda de bloqueo se define como el rango de frecuencias donde no se propaga ningún modo a través de la estructura de pines, imitando así el comportamiento de una pared metálica en una guía rectangular convencional, como se ilustra en la (figura 1).



**Figura 1.** Estructura de pines.

La tecnología GGW presenta un comportamiento similar a una guía rectangular clásica, con la capacidad de propagar en los modos transversal eléctrico y magnético (TE/TM) según su ancho y altura. Por debajo de la frecuencia de corte, la propagación se limita a modos evanescentes no deseados, con una alta atenuación axial que imposibilita la transmisión [8,9]. Sin embargo, por encima de la frecuencia de corte, el modo fundamental se propaga, y al diseñar los pines para bloquear la propagación lateral dentro de la banda de bloqueo (stopband), se obtiene una estructura con una guía de onda adecuada para aplicaciones en mmWave, como se observa en la (figura 2). En la (figura 2a), se muestra un diseño de GGW para el plano E (polarización horizontal) que, aunque es más compacto, presenta un giro de fase de 180° en las salidas de los divisores de potencia. Por otro lado, las guías en el plano H (polarización vertical), ilustradas en la (figura 2b), no experimentan cambios de fase, pero su tamaño mayor las limita a diseños donde el espacio disponible no es un factor crucial [6,8,9,10].



**Figura 2.** Diferentes tipos de guía GGW dependiendo de la polarización.

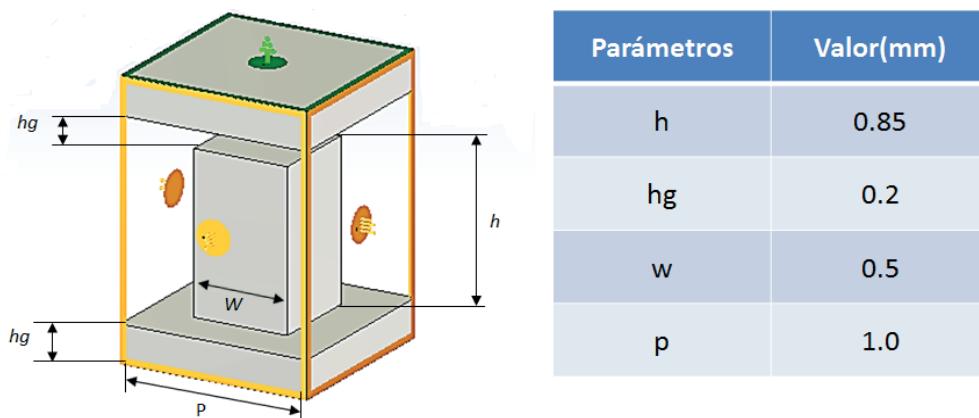
La estructura periódica de pines mostrada en la (figura 2), en combinación con el plato metálico superior, evita la propagación de los modos al generar una banda de bloqueo. Este efecto se produce debido a la capacidad de los pines para crear una banda de bloqueo con bajas pérdidas y dimensiones compactas, gracias a su diseño específico. Los parámetros clave que determinan el comportamiento de esta banda de bloqueo son el diámetro (o lado para pines cuadrados) de los pines, la separación entre ellos, la altura y el gap de aire entre el plato superior y los pines. Un gap menor incrementa el ancho de banda de bloqueo debido al efecto capacitivo que se produce entre las dos estructuras.

Para la banda de transmisión y recepción, se definen los parámetros de la guía rectangular, seleccionando el modo  $TE_{10}$  como modo fundamental debido a su baja atenuación en comparación con otros modos. El objetivo es garantizar la propagación monomodo dentro del ancho de banda de trabajo, asegurando que sólo el modo  $TE_{10}$  se propague en la banda de operación.

### Diseño de la estructura periódica

El diseño del pin es crucial en la fabricación de estructuras de tipo Gap Waveguide, ya que determina la banda de frecuencias en la que se bloquea la propagación de ondas electromagnéticas. La elección precisa de sus dimensiones y su distribución periódica son claves para este proceso. La repetición periódica de un pin único constituye la base de las diferentes variantes de la tecnología GGW. Este diseño genera una superficie conocida como Conducto Magnético Artificial (AMC).

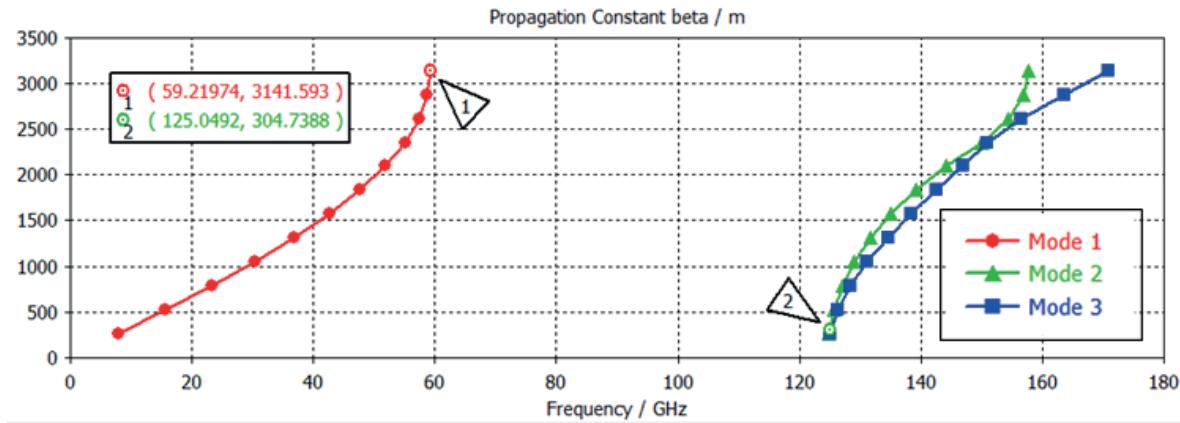
Las características del pin se evidencian en su diagrama de dispersión que aparece en la (figura 3), que representa la propagación de distintos modos en la retícula de pines. En este diagrama, la celda unidad, que corresponde a la sección periódica de la estructura, se utiliza para calcular la banda prohibida [8,11,12,13].



**Figura 3.** Parámetros de la celda unitaria.

Para caracterizar la estructura periódica de pines, se utilizó el módulo Eigen Mode Solver del software CST, estableciendo condiciones de contorno apropiadas para simular una estructura periódica en el plano horizontal. El análisis de modos reveló un diagrama de dispersión, mostrado en la (figura 4). Este diagrama revela que la estructura solo permite la propagación de tres modos distintos. El primer modo se propaga a frecuencias inferiores a 60 GHz, mientras

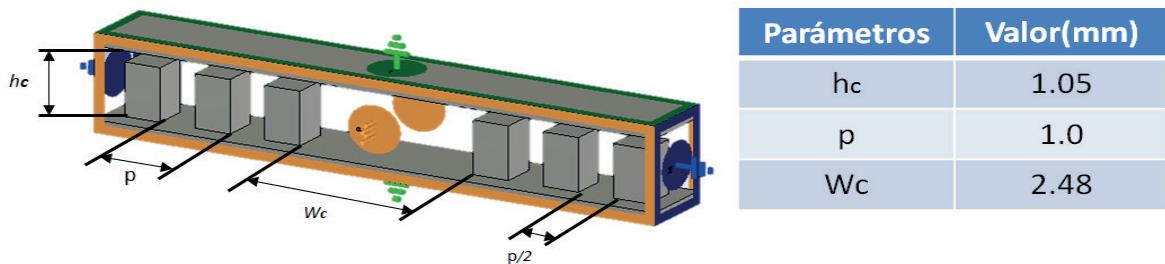
que los otros dos modos lo hacen a frecuencias superiores a 125 GHz. Esto define un rango de frecuencias entre 60 GHz y 125 GHz donde no se propaga ninguna onda, conocido como banda prohibida.



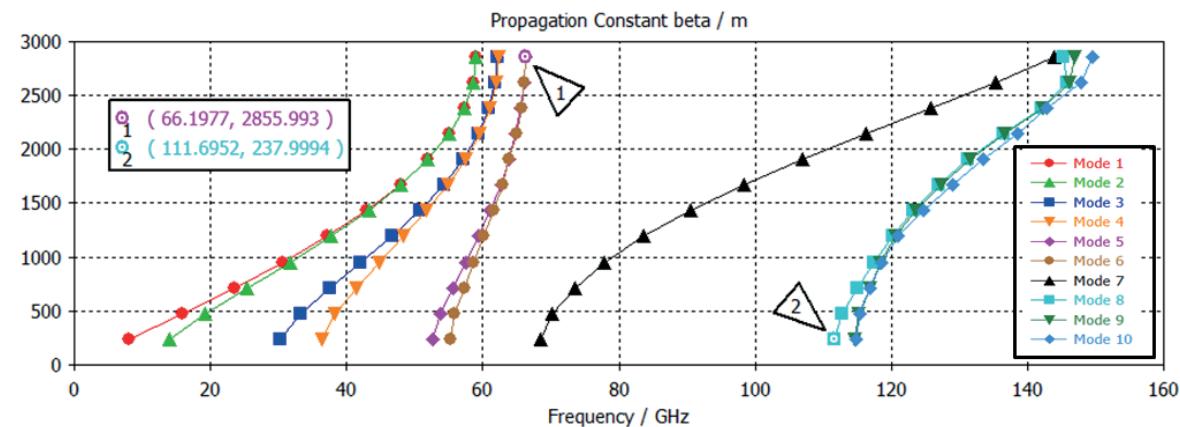
**Figura 4.** Diagrama de dispersión.

### Diseño de la superficie AMC

Esta configuración de alta impedancia induce un modo de propagación  $TE_{10}$ , similar al de una guía de onda rectangular estándar. Idealmente, las estructuras periódicas deberían tener una extensión infinita para evitar por completo la fuga de energía. La (figura 5) ilustra la sección transversal de la estructura GGW, donde se observa que se pueden lograr valores de pérdidas muy bajos con la implementación de tres filas de pines. Este diseño limita la propagación de potencia en las regiones laterales, logrando el efecto deseado de imponer una prohibición de propagación [14,15]. El diagrama de dispersión resultante, mostrado en la figura 6, evidencia la propagación del modo cuasi-TEM en el rango de frecuencias prohibido por la estructura AMC.



**Figura 5.** Sección transversal de la estructura GGW.



**Figura 6.** Diagrama de dispersión de la superficie AMC.

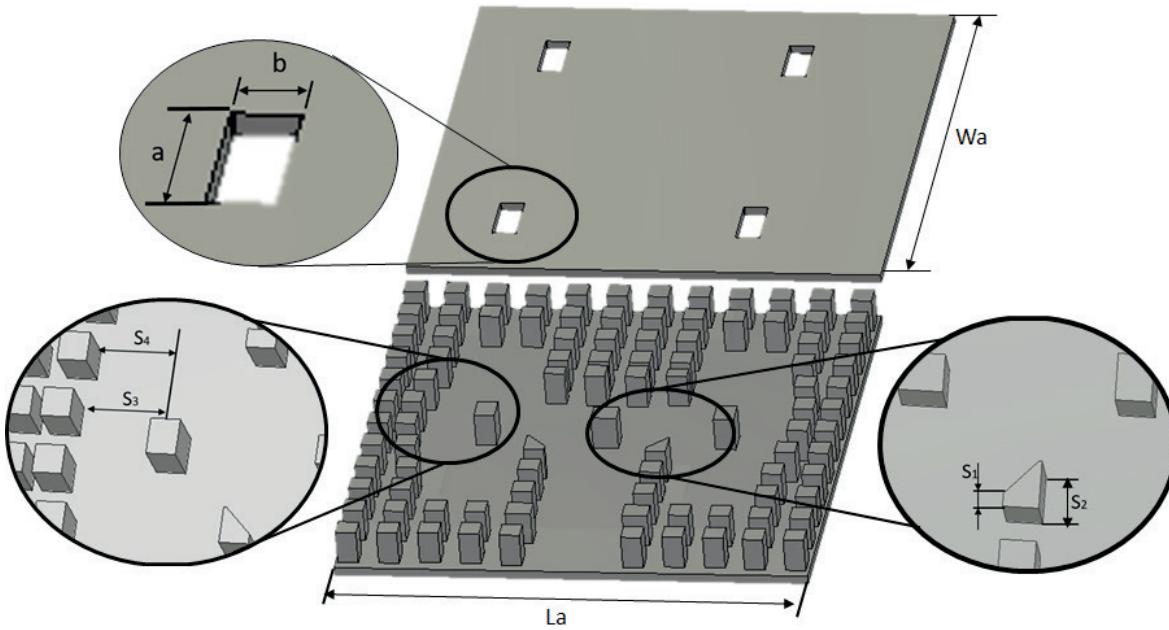
#### Diseño del arreglo del 2x2 con tecnología Groove Gap Waveguide

Este apartado se centra en presentar el diseño de un arreglo de antena basado en tecnología GGW. El objetivo es establecer principios que guíen un desarrollo más profundo que permitan alcanzar una mayor eficiencia en la banda W, con una frecuencia central de 94GHz. Los parámetros del arreglo de antena, que se utilizarán para su diseño, se resumen en la (cuadro 1).

**Cuadro 1.** Parámetros del diseño de arreglo de antena.

Parámetro	Valor (mm)	Parámetro	Valor (mm)
a	1.20	$S_3$	1.37
b	0.56	$S_4$	1.29
$S_1$	0.17	Wa	11.90
$S_2$	0.63	La	11.60

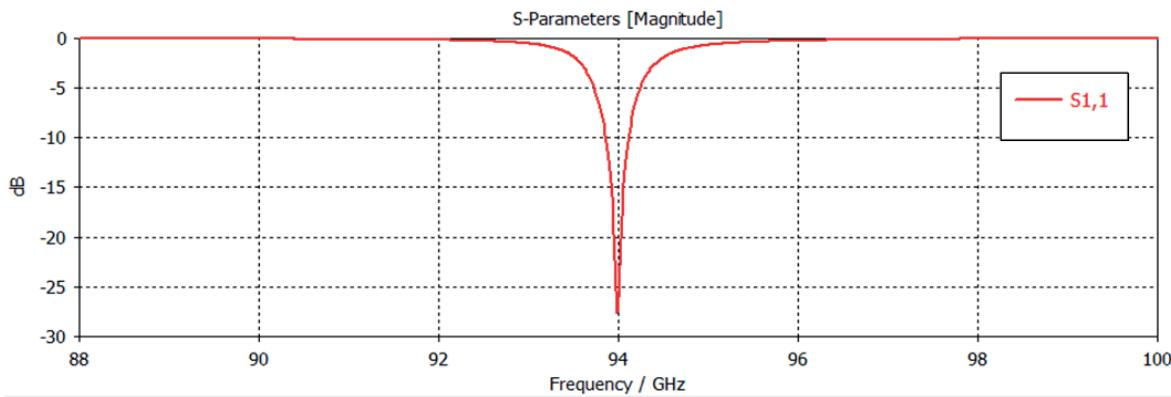
Para un arreglo de antenas de 2x2, que consta de 4 elementos radiantes, se requiere una red de alimentación que distribuya la potencia hacia cada uno de ellos. En este caso, se optó por una red de alimentación corporativa mediante uniones en T, debido a su capacidad para distribuir la potencia con una distribución específica. La geometría de la red de alimentación propuesta se muestra en la (figura 7).



**Figura 7.** Divisor de potencia en T.

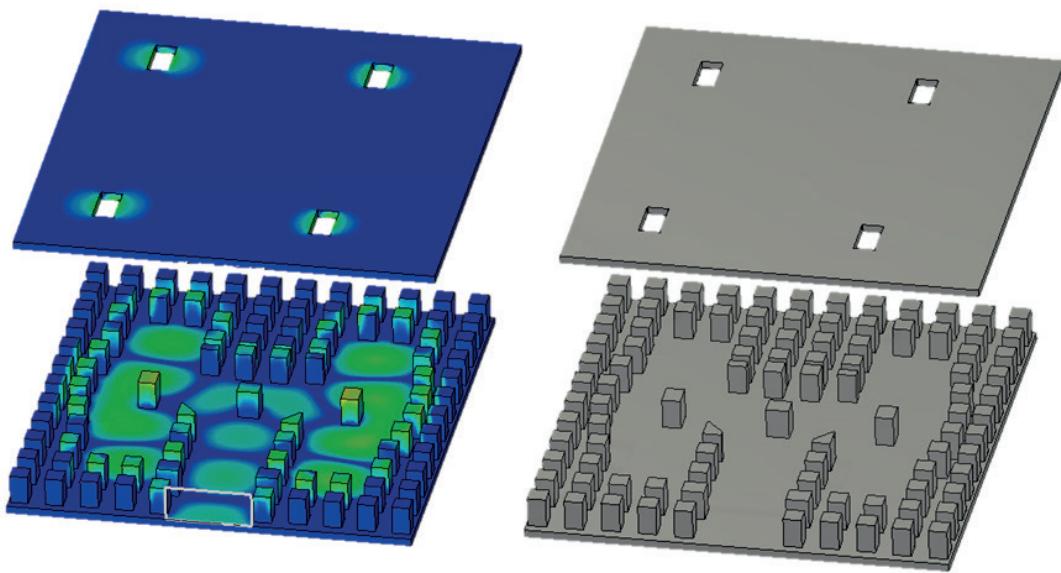
La (Figura 7) ilustra el diseño final del arreglo de antenas, incluyendo el ajuste de las dimensiones de los pines. Con el objetivo de optimizar la adaptación en el diseño de antenas GGW, se redujo el tamaño de la estructura. Esta modificación facilita una distribución más eficiente de la señal, debido a las dimensiones de los pines seleccionados.

La (Figura 8) muestra el parámetro S11, evidenciando que la configuración de la antena logra un coeficiente de reflexión inferior a -10 dB, con un pico de resonancia a 94 GHz. Este resultado indica una excelente adaptación, con un coeficiente de reflexión de aproximadamente -26 dB. La respuesta se encuentra bien centrada en la frecuencia esperada y presenta un ancho de banda del 17.2%.



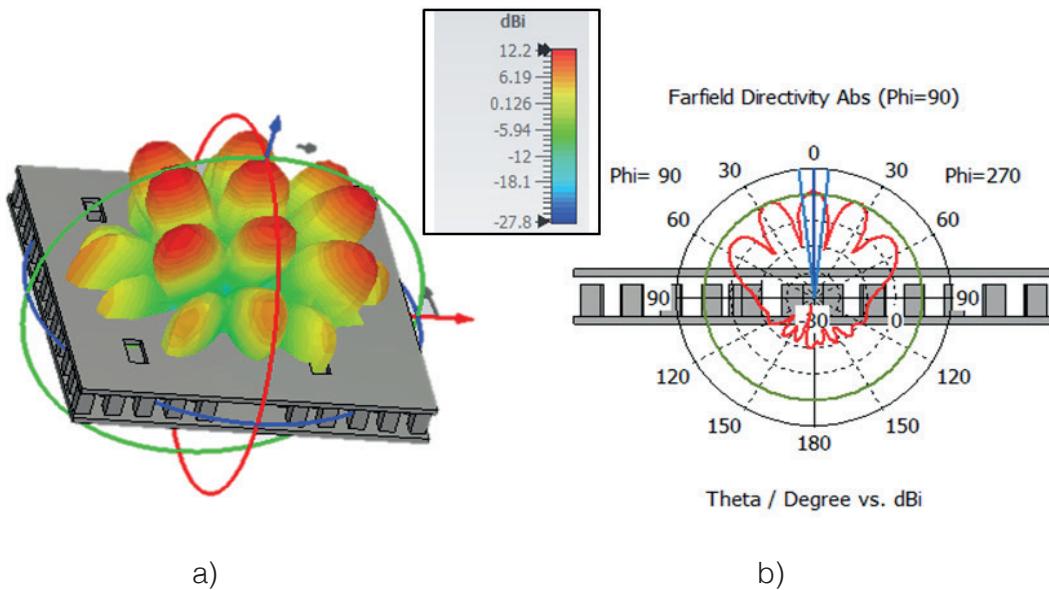
**Figura 8.** Parámetros S11.

Esta configuración genera una estructura más compacta, con redes de distribución diseñadas para tolerar imprecisiones de fabricación que podrían afectar negativamente el rendimiento de la antena. La tecnología GW se aprovecha en este diseño, y como se observa en la (figura 9), la distribución de potencia y la diferencia de fase se mantienen óptimas en la simulación, asegurando un desempeño eficiente de la antena.



**Figura 9.** Comportamiento del campo eléctrico dentro de la estructura.

La (Figura 10) muestra la estructura completa del arreglo de antena, la cual presenta una ganancia de 12.2 dBi. Esta configuración exhibe un patrón de radiación multilobular, lo que la hace ideal para aplicaciones específicas. En consecuencia, esta tecnología se posiciona como una alternativa viable para superar las limitaciones de fabricación en el diseño de antenas para la banda de ondas milimétricas (mmWave).



**Figura 10.** a) Ganancia, b) Patrón de radiación en coordenadas polares.

## Conclusiones

Este trabajo presenta un arreglo de antena de 2x2 con tecnología GGW que cumple con los requisitos para operar en la banda de 94 GHz. La configuración muestra un patrón de radiación multilobular, lo que la hace ideal para aplicaciones específicas. Se logró una ganancia de 12.2 dBi y un ancho de banda de trabajo del 17.2%, valores aceptables para un funcionamiento óptimo en la banda de interés.

La tecnología GGW permite la creación de estructuras más compactas y ligeras en comparación con las guías de ondas tradicionales, lo cual es crucial para la miniaturización de los dispositivos de comunicación en la mmWave. Esta tecnología se presenta como una solución viable para superar las limitaciones de fabricación en el diseño de antenas hacia las nuevas generaciones de telefonía móvil, como la 6G, y para la integración de sistemas de transmisión y recepción con escenarios multienlace.

## Referencias

- [1] Z. Liwen, F. Qamar, M. Liaqat, M. Nour Hindia and K. Akram Zainol Ariffin, "Toward Efficient 6G IoT Networks: A Perspective on Resource Optimization Strategies, Challenges, and Future Directions," in *IEEE Access*, vol. 12, pp. 76606-76633, 2024, doi: 10.1109/ACCESS.2024.3405487.
- [2] A. Blika et al., "Federated Learning For Enhanced Cybersecurity And Trustworthiness In 5G and 6G Networks: A Comprehensive Survey," *IEEE Open Journal of the Communications Society*, doi: 10.1109/OJCOMS.2024.3449563.
- [3] M. Rabbanifard, D. Zarifi, A. Farahbakhsh and M. Mrozowski, "Design of Compact and Wideband Groove Gap Waveguide-Based Directional Couplers," *IEEE Access*, vol. 12, pp. 86346-86354, 2024, doi: 10.1109/ACCESS.2024.3416290.
- [4] A. Kalantari Khandani, A. Farahbakhsh, D. Zarifi and A. Uz Zaman, "Millimeter Wave Wideband and Low-Loss Compact Power Divider Based on Gap Waveguide: For Use in Wideband Antenna Array System," in *IEEE Access*, vol. 12, pp. 116478-116488, 2024, doi: 10.1109/ACCESS.2024.3441316.
- [5] Z. A. Masri, A. Jabri, Y. Tawk and J. Costantine, "A Groove Gap Waveguide Feeding Network for Dual-Circularly Polarized Antenna Arrays," in *IEEE Journal of Microwaves*, vol. 4, no. 3, pp. 512-520, July 2024, doi: 10.1109/JMW.2024.3404832.
- [6] D. Santiago, M. Fang, A. U. Zaman, M. A. G. Laso, T. Lopetegi and I. Arregui, "W-Band Filtering Antenna Based on a Slot Array and Stacked Coupled Resonators Using Gap Waveguide Technology," in *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 23, no. 8, pp. 2546-2550, Aug. 2024, doi: 10.1109/LAWP.2024.3399269.
- [7] P. Petroutsos and S. Koulouridis, "A Metallo-Dielectric Groove Gap Waveguide Slotted Array Antenna With Hybrid Glide-Symmetric Holes & "Mushroom"-Type Metasurfaces," in *IEEE Open Journal of Antennas and Propagation*, doi: 10.1109/OJAP.2024.3466472.
- [8] A. Morales-Hernández, M. Á. Sánchez-Soriano, M. Ferrando-Rocher, S. Marini and V. E. Boria, "In-Depth Study of the Corona Discharge Breakdown Thresholds in Groove Gap Waveguides and Enhancement Strategies for Inductive Bandpass Filters," in *IEEE Access*, vol. 10, pp. 129149-129162, 2022, doi: 10.1109/ACCESS.2022.3228111.
- [9] A. Karami Horestani, Z. Shaterian and M. Mrozowski, "Low-Loss Mechanically Tunable Resonator and Phase Shifters in Groove Gap Waveguide Technology," in *IEEE Access*, vol. 10, pp. 70964-70970, 2022, doi: 10.1109/ACCESS.2022.3186988.
- [10] D. Santiago, M. A. G. Laso, T. Lopetegi and I. Arregui, "Novel Design Method for Millimeter-Wave Gap Waveguide Low-Pass Filters Using Advanced Manufacturing Techniques," in *IEEE Access*, vol. 11, pp. 89711-89719, 2023, doi: 10.1109/ACCESS.2023.3305956.
- [11] A. Morales-Hernández, M. Á. Sánchez-Soriano, M. Ferrando-Rocher, S. Marini and V. E. Boria, "In-Depth Study of the Corona Discharge Breakdown Thresholds in Groove Gap Waveguides and Enhancement Strategies for Inductive Bandpass Filters," in *IEEE Access*, vol. 10, pp. 129149-129162, 2022, doi: 10.1109/ACCESS.2022.3228111.
- [12] M. Ferrando-Rocher, J. I. Herranz-Herruzo, A. Valero-Nogueira and B. Bernardo-Clemente, "Single-Layer Sequential Rotation Network in Gap Waveguide for a Wideband Low-Profile Circularly Polarized Array Antenna," in *IEEE Access*, vol. 10, pp. 62157-62163, 2022, doi: 10.1109/ACCESS.2022.3182336.

- [13] A. H. Haghparast and P. Rezaei, "Miniaturized, broadband, circular polarized horn antenna with Groove gap waveguide technology," in *Radio Science*, vol. 59, no. 8, pp. 1-10, Aug. 2024, doi: 10.1029/2024RS007965.
- [14] X. Cheng *et al.*, "W-Band Binary Phase-Controlled Multibeam Antenna Array Based on Gap Waveguide Magic-Tee," in *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 70, no. 9, pp. 7565-7577, Sept. 2022, doi: 10.1109/TAP.2022.3162031.
- [15] J. Yue, C. Zhou, K. Xiao, L. Ding and S. Chai, "W-Band Low-Sidelobe Series-Fed Slot Array Antenna Based on Groove Gap Waveguide," in *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 22, no. 4, pp. 908-912, April 2023, doi: 10.1109/LAWP.2022.3228115.

### Declaración sobre uso de Inteligencia Artificial (IA)

Los autores aquí firmantes declaramos que no se utilizó ninguna herramienta de IA para la conceptualización, traducción o redacción de este artículo.