



Diseño de un arreglo de antena con tecnología Groove Gap Waveguide para operar en la banda W

Jorge Luis Blanco Orta, María del Carmen Guerra Martínez, Miguel Eduardo Borrego Corona, Kenneth Marichal Leyva

RESUMEN / ABSTRACT

En el presente artículo se hace un estudio de la tecnología Groove Gap Waveguide (GGW) y su posible aplicación en los nuevos escenarios, que surgirán con el despliegue de la sexta generación (6G) de los sistemas de comunicaciones inalámbricas, para lograr una mayor transmisión de datos y confiabilidad de las redes de comunicación, por las ventajas que puede brindar esta tecnología en entornos donde se requiere una alta disponibilidad de las bandas milimétricas (mmWave). Esta tecnología permite la transmisión de ondas sin la necesidad de un contacto físico entre los materiales conductores, solventando el problema del contacto físico necesario en las guías de ondas tradicionales, mediante una estructura de pines metálicos con separación entre sí, que emulan la función de material conductor magnético perfecto (PMC). El presente trabajo está dirigido al diseño de un arreglo de antenas de ranura de 2×2 elementos para aplicaciones satelitales en la banda W, empleando la variante de la tecnología GGW. Se obtiene una ganancia máxima de 12.2 dBi, con un ancho de banda aproximadamente de un 18.2 %, a la frecuencia de diseño (94 GHz), que puede solucionar problemas en futuros diseños de antenas para el desarrollo de nuevas aplicaciones en la 6G, por la capacidad que brinda la tecnología GGW al lograr bajas pérdidas y una alta capacidad de manejo de la potencia a altas frecuencias.

Palabras claves: GGW, 6G, mmWave, PMC

This article studies the Groove Gap Waveguide (GGW) technology and its possible application in the new scenarios that will arise with the deployment of the sixth generation (6G) of wireless communications systems, to achieve greater data transmission and reliability of communication networks, due to the advantages that this technology can provide in environments where high availability of the millimetre bands (mmWave) is required. This technology allows the transmission of waves without the need for physical contact between the conductive materials, solving the problem of physical contact necessary in traditional waveguides, by means of a structure of metallic pins with separation between them, which emulate the function of perfect Magnetic Conductive Material (PMC). The present work is aimed at the design of a 2×2 element slot antenna array for W-band satellite applications, using the GGW technology variant. A maximum gain of 12.2 dBi is obtained, with a bandwidth of approximately 18.2 %, at the design frequency (94 GHz), which can solve problems in future antenna designs for the development of new 6G applications, due to the capability of GGW technology to achieve low losses and high power handling capacity at high frequencies.

Keywords: GGW, 6G, mmWave, PMC

DESIGN OF A GROOVE GAP WAVEGUIDE ANTENNA ARRAY FOR W-BAND OPERATION

Recibido: 09/2024 Aceptado: 12/2024

1.-INTRODUCCIÓN

La industria de las telecomunicaciones se encuentra en una constante evolución; por la creciente demanda de los usuarios, por obtener una mejor calidad en los servicios multimedia y una mayor capacidad del canal de transmisión que permita la interconexión de dispositivos, aplicaciones, datos y personas. Para poder operar en entornos donde interactúe con múltiples usuarios con una mayor velocidad, calidad y análisis de la información.

Pero estos nuevos servicios, que se esperan desarrollar para el disfrute de los usuarios, se ven limitados por el congestionado del espectro de radiofrecuencias global, lo que obliga a la investigación de nuevos medios y soportes. Por esta razón, la investigación en diferentes sectores se establece en la construcción de dispositivos que operen para las mmWave o los Terahercios (THz). Para solucionar este problema, se comienza a estandarizar la quinta generación (5G) de la telefonía móvil; no obstante, se siguen manteniendo las comunicaciones entre estaciones bases tradicionales de estándares anteriores. Esto no solo resuelve el inconveniente de la gran cantidad de estaciones bases, sino que también aborda los problemas de acceso a infraestructuras de comunicaciones en lugares físicamente aislados o donde la instalación de estas infraestructuras resultaría altamente costosa. Pero cada nuevo proyecto desarrollado con el objetivo de obtener mejoras en la capacidad del canal de transmisión, trae consigo nuevos retos, siendo uno de sus mayores problemas el que estas bandas tienen muy corto alcance, y no poder alcanzar zonas con geografía irregular [1,2].

Ante este nuevo dilema el mundo académico y la industria de las telecomunicaciones, comenzaron a dirigir su atención hacia sistemas de comunicación que vayan a una escala mayor, con el fin de satisfacer la futura demanda de tecnologías de la información y la comunicación en el 2030. Sin embargo, para llevar a cabo el desafío que representa el desarrollo de la 6G, se plantean nuevos escenarios en el uso de tecnologías móviles, mediante las comunicaciones inalámbricas, para poder manejar una gran cantidad de dispositivos y tecnologías emergentes, que no solo conectará los teléfonos móviles sino también sensores inalámbricos colocados en ropa, casas, automóviles, etc. Permitiendo para entonces que existan millones de usuarios, conectados a la red de la 6G, transformando la forma de percibir y relacionarse con el mundo que lo rodea, cambiando la realidad actual en una “realidad conectada”, en la que todos los objetos y las personas están conectados entre sí, formando un todo único [1-3]. En este contexto se requieren dispositivos de reducidas dimensiones y bajas pérdidas para poder operar en las mmWave.

Las guías de onda convencionales o líneas impresas no son adecuadas cuando se requiere el empleo de frecuencias muy altas. En el caso de las líneas impresas las pérdidas son altas y en las guías de onda es difícil conseguir un buen contacto eléctrico entre las diferentes piezas. Por ello, una solución planteada ha sido el uso de una guía de onda basada en la tecnología Gap Waveguide (GW), por favorecer una mayor facilidad de integración, escalabilidad y robustez para la transmisión de la señal, facilitando la posibilidad de tener guías más estrechas, ajustadas al modo TE_{10} de la guía rectangular. El concepto de GW se basa en el control de la propagación de las ondas electromagnéticas en direcciones deseadas a través de una región comprendida entre dos paredes metálicas situadas en paralelo, que se pueden modelar idealmente por dos Conductores Eléctricos Perfectos (PEC, por las siglas del término en inglés, *Perfect Electric Conductor*) [4-6]. Con el empleo de la tecnología GGW, se logra la transmisión de ondas sin la necesidad de un contacto físico entre los materiales conductores, solucionando el problema del contacto físico y ofrece un comportamiento muy similar al de una guía rectangular convencional.

Con la propuesta de solución mediante la utilización de la tecnología GGW, se puede lograr disminuir las pérdidas que presenta la línea microstrip y las guías de onda con sustrato integrado; sobre todo, debido a el empleo de sustratos que disminuyen su eficiencia. Como punto de partida se propone el diseño de un arreglo de antena con tecnología GGW, para su utilización en comunicaciones satelitales en la banda W (75-110 GHz) para ser empleada en el desarrollo de los sistemas inalámbricos. Esto permitirá dar solución a muchos de los problemas que puedan presentarse en el despliegue de esta nueva generación de telefonía móvil, alcanzando los niveles deseados y logrando mejorar la calidad de la señal.

2.- METODOLOGÍA

En este artículo se realiza un análisis de los conceptos, evolución y despliegue de la tecnología GGW, por sus numerosos beneficios, que se relacionan con los desafíos que los sistemas de la tecnología 6G pueden encontrar en su despliegue. La investigación se organizó con el siguiente orden de etapas; parámetros de

Recibido: 09/2024 Aceptado: 12/2024

la investigación, conceptos básicos, desempeño e implementación, donde cada una se divide en varias fases, como se resume en la Fig. 1.

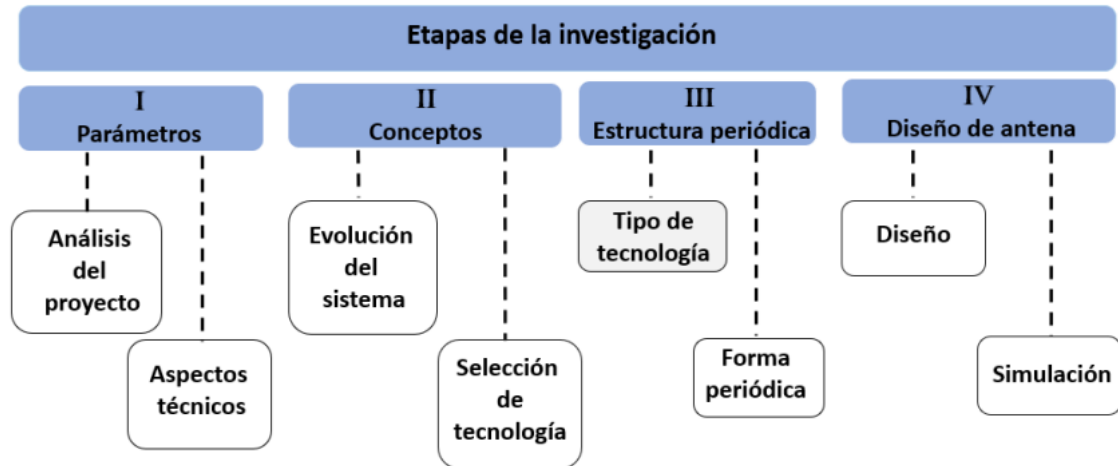


Figura 1

Procedimiento para el desarrollo de la investigación.

A continuación, se explican cada una de las etapas del procedimiento que se propone relativo al análisis de la tecnología GGW, buscando una solución sencilla, compacta y de bajo costo para antenas directivas en las mmWave y su implementación en los nuevos escenarios que surgirán con la 6G.

3.- ETAPA I: PARÁMETROS DE LA INVESTIGACIÓN

Esta primera etapa se dividió en dos fases: análisis del proyecto y análisis de aspectos técnicos. Esta parte de la investigación muestra las principales problemáticas referente a las limitantes existentes para enfrentar los nuevos desafíos en la 6G, determinando las necesidades y posibles soluciones. En la segunda fase, se investigó las diferentes tecnologías establecidas para mejorar el desempeño y la flexibilidad de la arquitectura 6G, donde se debe tener en cuenta: la movilidad, latencia y ancho de banda necesario, así como determinar el impacto que tendrá la tecnología GGW en el desarrollo de la infraestructura con la nueva generación de telefonía móvil.

Las redes inalámbricas 5G se planearon para liberarse de las limitaciones de las generaciones anteriores. Aunque la transición de la infraestructura 4G a la 5G no es inmediata, los operadores tendrán que reevaluar los sitios existentes de la 4G y asegurar que estos tengan la capacidad de manejar las etapas iniciales de implementación de la 5G para encontrar configuraciones más avanzadas y complejas, que sirvan para establecer un mejor rendimiento en los requerimientos que establece la 5G. Esto permitirá una mayor compatibilidad con dispositivos móviles con banda ancha móvil extremo (eMBB, por las siglas del término en inglés, *enhanced Mobile Broadband*), logrando velocidades máximas de datos de hasta 10Gbps. Además, la comunicación ultra confiable de baja latencia (uRLLC, por las siglas del término en inglés, *ultra-Reliable Low-Latency Communications*) minimiza los retrasos de hasta 1 ms, mientras que la comunicación masiva de todo tipo de máquinas (mMTC, por las siglas del término en inglés, *massive Machine Type Communications*) admite más de 100 dispositivos por unidad de área en comparación con la 4G [3,7].

En la actualidad, la 5G sigue desplegándose en todo el mundo; no obstante, ante los desafíos que no son fácilmente alcanzables de forma compatible y las exigencias de la sociedad actual, se ha comenzado la estandarización de la 6G. Ante la creciente demanda intrínseca de la sociedad de las comunicaciones móviles, es necesario mejorar continuamente la eficiencia de la red; es decir, la eficiencia en costos, la eficiencia energética, la eficiencia del espectro y la eficiencia operativa. La 6G tiene entre una de sus características compartir información a una velocidad mucho más alta en comparación a las tecnologías actuales que existen en relación a telefonía móvil, como se muestran en la Fig. 2.

Ante este nuevo paradigma, sin lugar a dudas, una de las primeras interrogantes que se plantea es cuáles serán las nuevas prestaciones que tendrá esta nueva infraestructura de la 6G y es aquí donde se espera obtener un salto exponencial en el

desarrollo de la telefonía móvil. Con una velocidad de transmisión de datos de entre 1 y 10 Tbps, una latencia de entre 10 y 100 μ s, una movilidad de 1000 km/h, y una densidad de $10^7/\text{km}^2$, junto con un tráfico de área de 1 Gbps/m², se logra mediante la utilización de bandas de frecuencia óptica una eficiencia espectral que puede aumentar de 5 a 10 veces. Además, la eficiencia energética de la red debe incrementarse en más de 100 veces en comparación con la 5G para compensar el aumento en la velocidad de transmisión de datos. Es importante considerar también tres escenarios adicionales: la banda ultra ancha móvil ubicua (uMUB, por sus siglas en inglés, ubiquitous Mobile Ultra-Broadband), la ultra alta velocidad con comunicaciones de baja latencia (uHSLC, por sus siglas en inglés, ultra-High-Speed with Low-Latency Communications) y los datos ultra altos de densidad (uHDD, por sus siglas en inglés, ultra-High Data Density) [7,8]. Con la llegada de tecnologías avanzadas como la inteligencia artificial (IA, por las siglas del término en inglés, *artificial intelligence*), los THz y las constelaciones de satélites a gran escala, la red de comunicaciones puede evolucionar hacia un sistema más potente y eficiente, para cumplir mejor los requisitos de los servicios actuales y abrir la posibilidad de ofrecer servicios disruptivos nunca vistos hasta ahora. Sin embargo, estas bandas presentan grandes atenuaciones para la propagación de las ondas electromagnéticas, las cuales deben contrarrestarse mediante el diseño de antenas o arreglos de antenas con elevada ganancia. Esto es posible utilizando longitudes de onda más cortas, que permiten la construcción de estructuras más pequeñas.

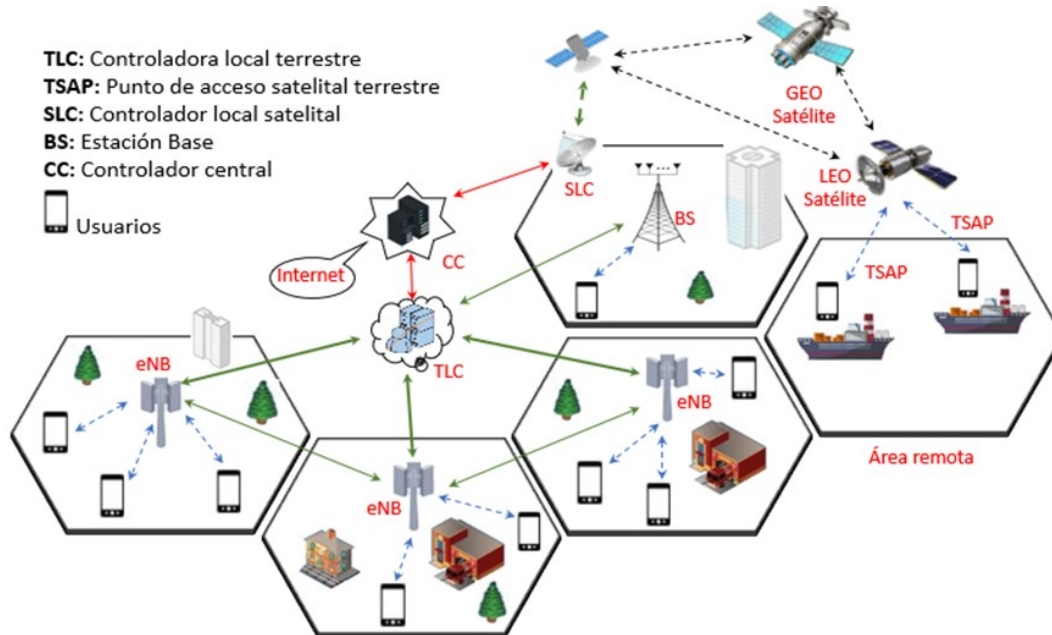


Figura 2

Arquitectura de control de la comunicación de una red integrada para un área urbana y un área remota.

La arquitectura se basa en el concepto de Network Slicing, que posibilita la creación de múltiples redes virtuales sobre una infraestructura física compartida. Esto permite personalizar las redes virtuales para satisfacer las necesidades específicas de aplicaciones, servicios, dispositivos, clientes u operadores. Esta arquitectura se compone de tres capas: capa de slicing de nube inteligente, capa de slicing para red de acceso radio (RAN, por las siglas del término en inglés, Radio Access Network) y capa de slicing de aplicaciones. La arquitectura se basa únicamente en la red slicing, que proporciona flexibilidad a la red, una de las soluciones optimizadas que puede aumentar la eficiencia del sistema y ayuda a habilitar los servicios necesarios, proporcionar vastas aplicaciones y aprovechar las capacidades de la red de forma eficaz.

4.- ETAPA II: CONCEPTOS

Una vez analizada la primera etapa de la investigación, en la que se definieron los principales parámetros que determinaron el desarrollo de la nueva generación de telefonía móvil mediante una comparación de las prestaciones que caracterizan a las tecnologías 5G y 6G, se precisaron las principales limitaciones que presenta este tipo de red de comunicación, así como sus posibles aspiraciones por parte de la industria de las telecomunicaciones. En búsqueda de nuevas soluciones, se desarrolla esta segunda etapa del estudio, la cual se dividió en dos fases: el análisis de las condiciones y la evaluación del sistema para

la tecnología GW, mediante un análisis de los conceptos y el desarrollo de esta tecnología. Para ello, es necesario solucionar múltiples desafíos, como el diseño de transceptores de área pequeña, alta eficiencia y capacidad de integración. En este contexto, el diseño de arreglos de antenas de alta eficiencia y las técnicas avanzadas de empaquetamiento constituyen un factor decisivo.

La tecnología GW se basa en controlar la propagación de ondas electromagnéticas en direcciones deseadas a través de una región comprendida entre dos paredes metálicas situadas en paralelo. Si estas placas son modeladas con PEC siempre podrá hallar propagación independientemente de la distancia de separación entre las dos placas debido a que existe una solución para las ecuaciones de Maxwell, bajo estas condiciones de contorno. En cambio, si una de las dos placas es reemplazada por un PMC y tienen una separación menor a $\lambda/4$ no podrá encontrar propagación electromagnética. Sabiendo esto, es fácil imaginar que se podría dirigir la propagación de una onda si se combinan estas dos ideas. En la Fig. 3 se puede ver las tres situaciones que recogen de manera exacta la fundamentación de la tecnología GW. Para el primer ejemplo, que está marcado con la Fig. 3a), se forman dos platos metálicos, para un campo que se propaga a través de él en todas las direcciones y por tanto ocurren fugas a través de los laterales de la guía. La Fig. 3b), se ha sustituido el conductor eléctrico inferior por un conductor magnético, ocurriendo una anulación de la propagación del campo a través de la guía. En la parte que aparece la Fig. 3c), donde en el plato inferior se sitúa un tramo estrecho de conductor eléctrico y dos conductores magnéticos, uno a cada lado, se permite la propagación exclusivamente por el tramo de conductor eléctrico, y los conductores magnéticos evitan la propagación, consiguiendo un comportamiento similar a una guía de onda [5,6,9].

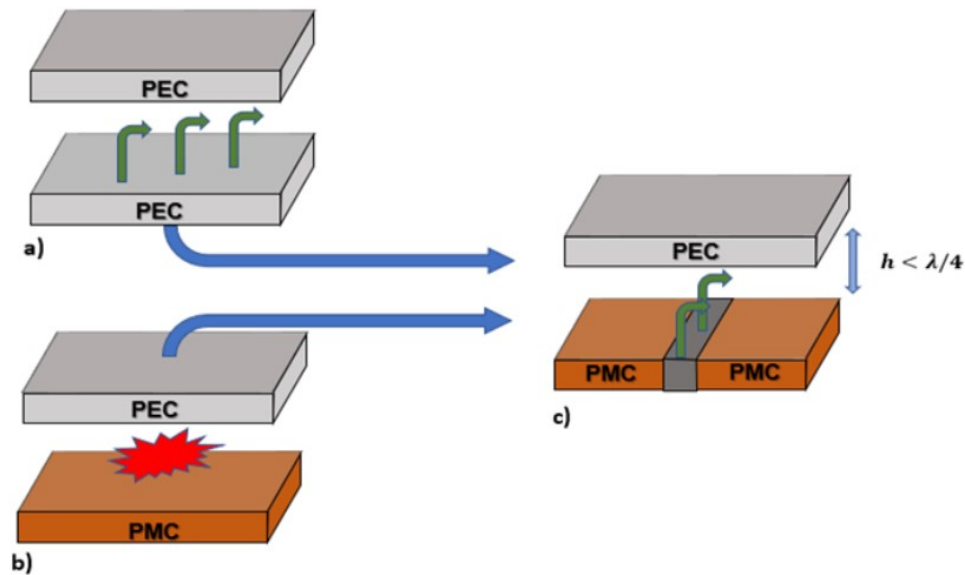


Figura 3

Fundamentos de la tecnología gap waveguide.

La solución parcial que se acaba de explicar en el párrafo anterior, conlleva otro desafío, la fabricación de conductores magnéticos perfectos, por no encontrarse este tipo de material en la naturaleza. Ante esta interrogante, se inició el uso de metamateriales, que son materiales sintetizados artificialmente y poseen características inusuales que les confieren propiedades electromagnéticas singulares. Por esta razón, no se encuentran en la naturaleza.

La ventaja principal de dicha tecnología es que la propagación del campo es por el aire, es decir, en el gap, lo que propicia unas pérdidas prácticamente nulas. Todo el proceso de análisis, diseño y optimización de esta tecnología fue realizado a través del software de simulación CST Studio Suite 2024.

5.- ETAPA III: ESTRUCTURA PERIÓDICA

Para esta etapa se determinan dos fases: condiciones de este tipo de tecnología y distribución de forma periódica, que garantizará la existencia de una banda de frecuencias en la que no existirá propagación alguna de ondas electromagnéticas, teniendo en cuenta lo analizado en la segunda etapa de la investigación. En la Tabla 1 se muestran las dimensiones finales de la estructura del arreglo de antena con la tecnología GW, que serán utilizadas en el diseño.

Tabla 1
Valores de los parámetros del diseño de arreglo de antena.

Parámetro	Descripción	Valor (mm)	Parámetro	Descripción	Valor (mm)
h_g	Espacio de aire (gap)	0.2	b	Ancho de la ranura	0.76
h	Altura del pin	0.85	L_g	Largo de las placas	14.30
w	Ancho del pin	0.5	A_g	Ancho de las placas	17.60
p	Período entre pines	1.0	S_1	Separación del pin en la bifurcación	0.80
w_c	Largo de la guía de onda	2.48	S_2	Separación del pin teniendo en cuenta el pin central del divisor T	0.65
h_c	Altura de la guía de onda	1.05	S_3	Ancho del pin reducido	0.22
a	Largo de la ranura	1.31	S_4	Largo del pin reducido	0.50

Además de las dimensiones del pin, como parámetros a la hora del diseño se debe considerar el gap de aire que queda entre la parte superior del pin y la placa metálica superior. En este trabajo como en los casos anteriores se tomará la referencia de [10], teniendo siempre presente que este gap debe ser inferior a $\lambda/4$. El diseño de un único pin que se repite periódicamente, es un elemento fundamental en cada una de las variantes de la tecnología GW, que dará origen a la superficie, llamada Conductor Magnético Artificial (AMC, por las siglas del término en inglés, *Artificial Magnetic Conductors*). Las características de dicho pin se ven más claramente en su diagrama de dispersión, al representar las características de propagación de distintos modos en esta retícula de pin. En este se define la celda unidad como la sección o estructura periódica para el cálculo de la banda prohibida [10,11]. Los pines son prismas con base cuadrada de lado w y con altura h , y h_g que denota la separación entre el pin y la placa superior, donde $h + h_g$ representa la separación entre las placas paralelas. El parámetro p representa la periodicidad, debido a que la celda unitaria con dimensiones $p \times p \times (h + h_g)$ es replicada infinitamente en el plano, creando la superficie AMC, como aparece en la Fig. 4.

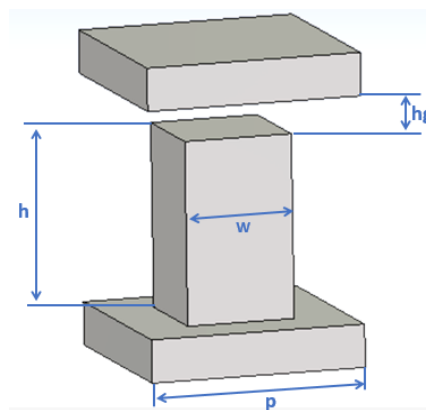


Figura 4
La celda unidad.

Una vez elaborado el pin, se empleó el EigenMode Solver, del software CST, estableciendo las condiciones de contorno apropiadas para simular una estructura periódica en el plano horizontal. De este modo, se obtuvo el diagrama de dispersión que se presenta en la Fig. 5, donde se observa que alrededor de los 59 GHz los modos son forzados al corte, y comienzan a propagarse nuevamente a partir de aproximadamente 125 GHz. Para lograr generar estas superficies de manera artificial, estas estructuras exhiben una alta impedancia que impide la propagación de ondas en un rango específico de frecuencias, debido a sus características isotópicas. El intervalo de frecuencias en el que no se permite la propagación de ondas se conoce como banda prohibida.

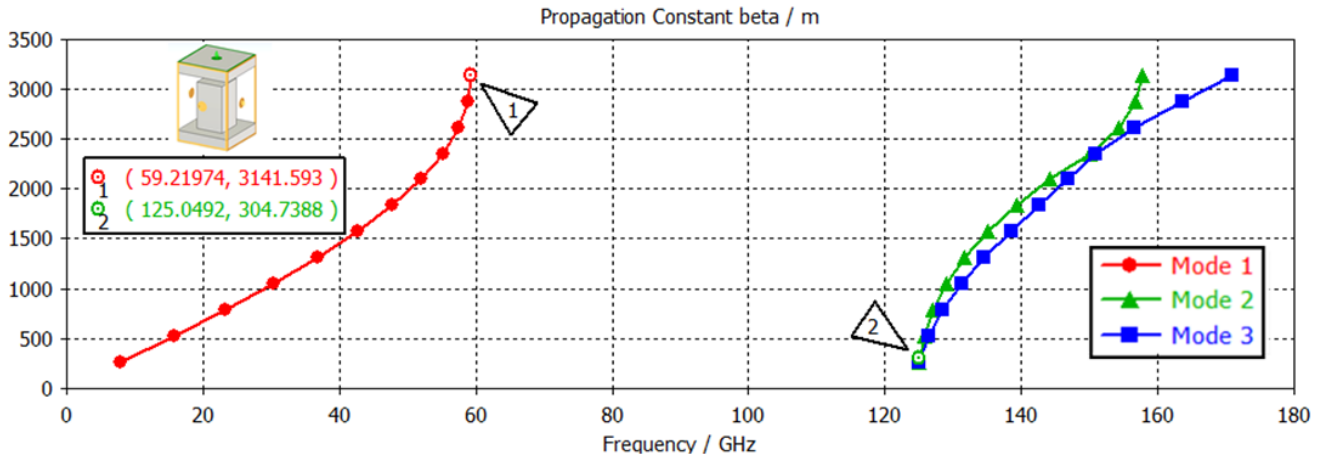


Figura 5

Diagrama de dispersión del pin diseñado.

5.1.- DISEÑO DE LA LÍNEA DE ALIMENTACIÓN GGW

Este tipo de configuración de alta impedancia impone un modo de propagación TE_{10} , similar al de una guía de onda rectangular estándar. En este caso, las estructuras periódicas teóricamente deben poseer una extensión infinita para impedir la fuga de energía en su totalidad, de este modo se colocan un conjunto de pines con los mismos parámetros que el diseñado en el epígrafe anterior (ver Fig. 4). En la Fig. 6 se muestra la sección transversal de la estructura GGW, que consiste en un conjunto de pines con los mismos parámetros que los diseñados en la etapa anterior [11]. El diagrama de dispersión resultante se muestra en la Fig. 7, donde es posible observar la propagación del modo cuasi-TEM en el intervalo de frecuencias prohibidas por la estructura AMC.

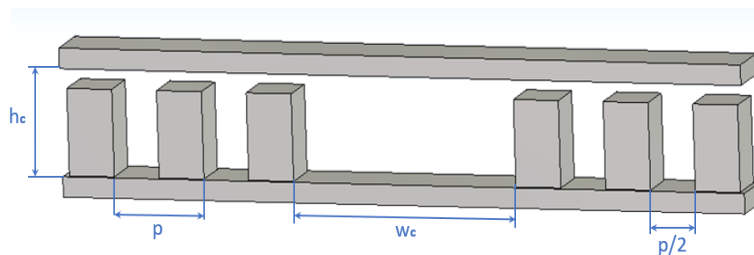


Figura 6

Sección transversal de la estructura GGW.

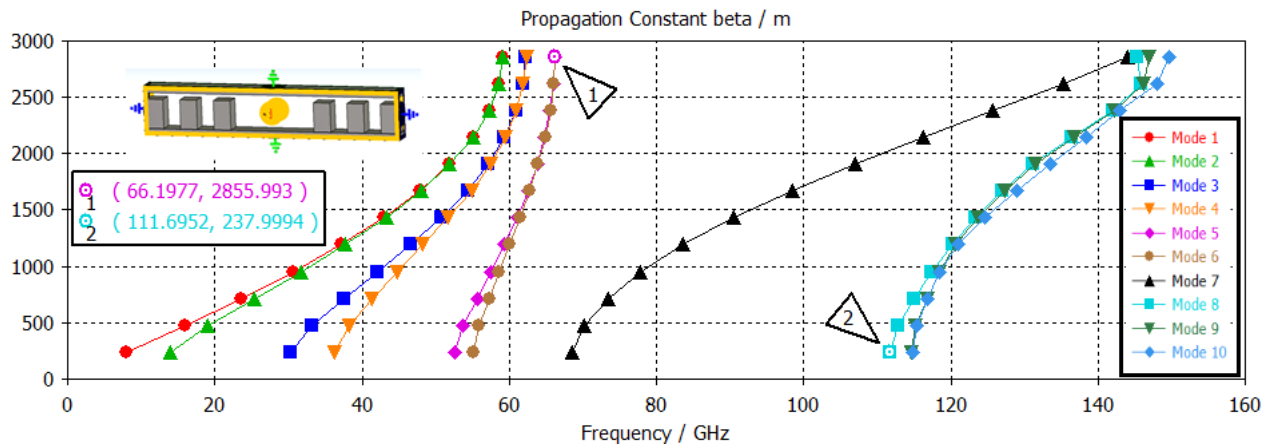


Figura 7

Diagrama de dispersión de la línea de transmisión GGW.

6.- ETAPA IV: DISEÑO DE ANTENA

Esta constituye la última etapa del procedimiento y se encuentra dividida en dos fases: diseño y simulación. En la primera fase, como uno de los requerimientos de la antena para la aplicación propuesta, se utilizó como punto de partida una geometría similar a la empleada en [9-12]. Esta elección tiene como objetivo comprobar la futura estructura, ya que se espera montarla en tiempo real. Además, se busca describir en detalle las condiciones que llevaron a la selección de esta tecnología, considerada la más adecuada para la 6G, teniendo en cuenta las etapas anteriores de la investigación.

En la Fig. 8 se observa la estructura del elemento simple para la tecnología GGW, que consiste en una ranura S acoplada a niveles altos de potencia. Esto se debe a que las líneas de corriente en estas zonas circulan perpendiculares a la dimensión mayor de la ranura, en la dirección de propagación. Para el diseño se asumió que los valores iniciales que se han escogido han sido seleccionados con la única condición a cumplir de que la distancia entre el puerto de entrada y la ranura en el eje X, fuese de al menos $\lambda/4$, y con una separación pequeña respecto al comienzo de la pared de pines laterales.

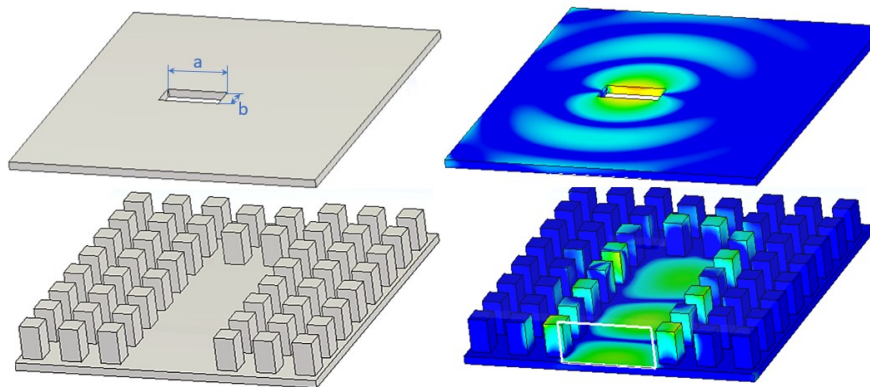


Figura 8

Vista superior del elemento simple y las dimensiones de la ranura.

En la Fig. 9 se muestra el parámetro S11 de la estructura y la gráfica muestra como la resonancia de la apertura radiante está próxima a la frecuencia central de la banda de trabajo, que es 94 GHz, y se encuentra por debajo de los -10 dB en toda la banda garantizando un buen acoplamiento.

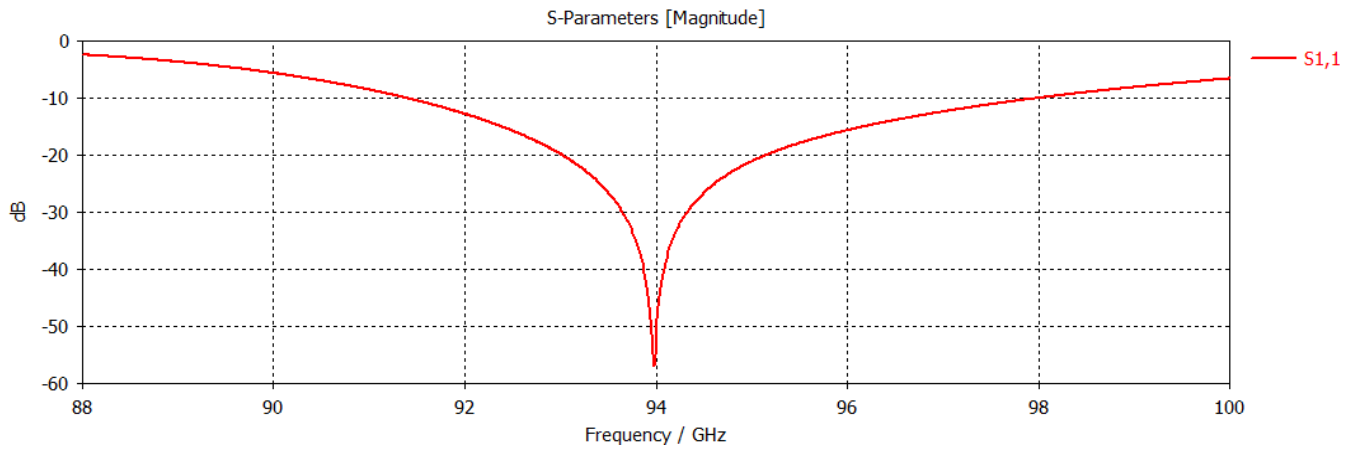


Figura 9

Parámetro S_{11} de la estructura.

El diagrama de radiación se muestra en la Fig. 10 , tanto en 3D como en 2D, observándose que se obtiene una ganancia máxima de 6.89 dBi, y que existe un lóbulo de radiación aproximadamente simétrico, característica útil en función de la aplicación en que se utilice la antenna.

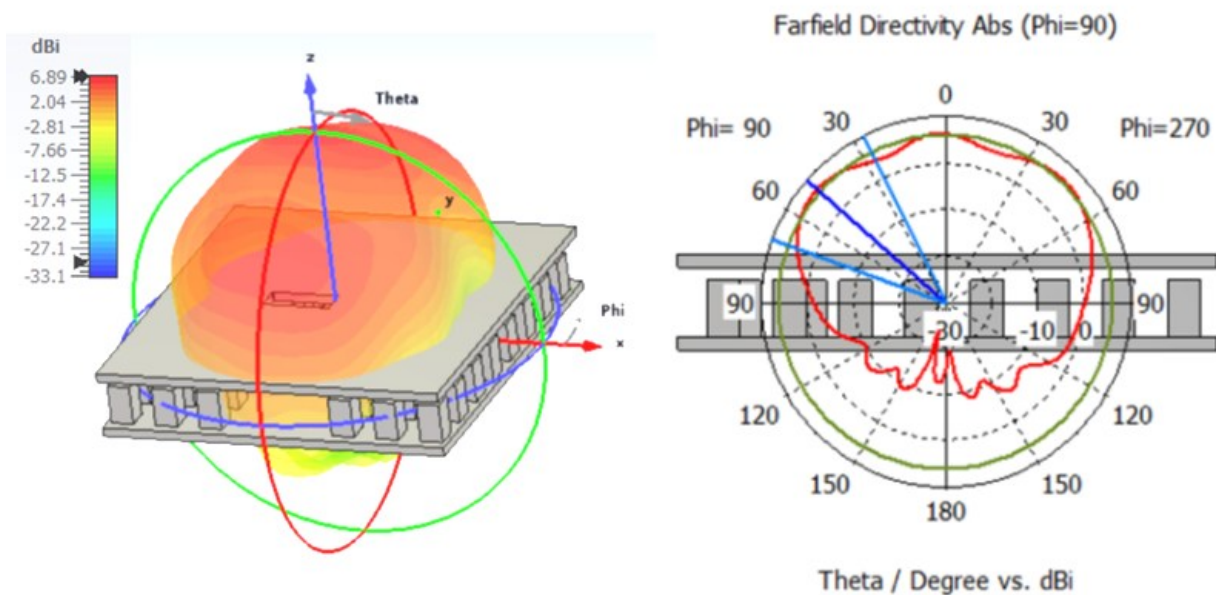


Figura 10

a) Diagrama en 3D. b) Sistema coordenadas polares.

6.1.- DISEÑO DEL ARREGLO DE 2X2 CON TECNOLOGÍA GGW

En esta sección se diseñará un arreglo de 2x2 ranuras, compuesto por los niveles citados anteriormente y luego se van uniendo a través de divisores T, para lo cual es necesario el diseño de una red de distribución de potencia capaz de excitar con igual amplitud y fase las cuatro ranuras radiantes. Se procede a poner un pin en la bifurcación con el objetivo de mejorar la adaptación. Como se desea distribuir la potencia por igual entre los dos puertos de salida del divisor en T, el pin se coloca en el centro de la bifurcación. Por lo tanto, la variable de diseño de esta discontinuidad es la separación entre el pin y la pared del fondo del divisor, S_1 y S_2 . Con este diseño, se comprueba que se realiza una reducción de los pines que corresponde a las salidas del primer divisor en T, que corresponden con S_3 y S_4 , con el fin de obtener el mayor ancho posible y una mejor adaptación en el diseño de arreglo de antenna con tecnología GGW, se reduce el

tamaño de la estructura, para lograr una distribución más eficiente de propagar la señal con las dimensiones de pines que se seleccionó, como se puede observar en la Fig. 11.

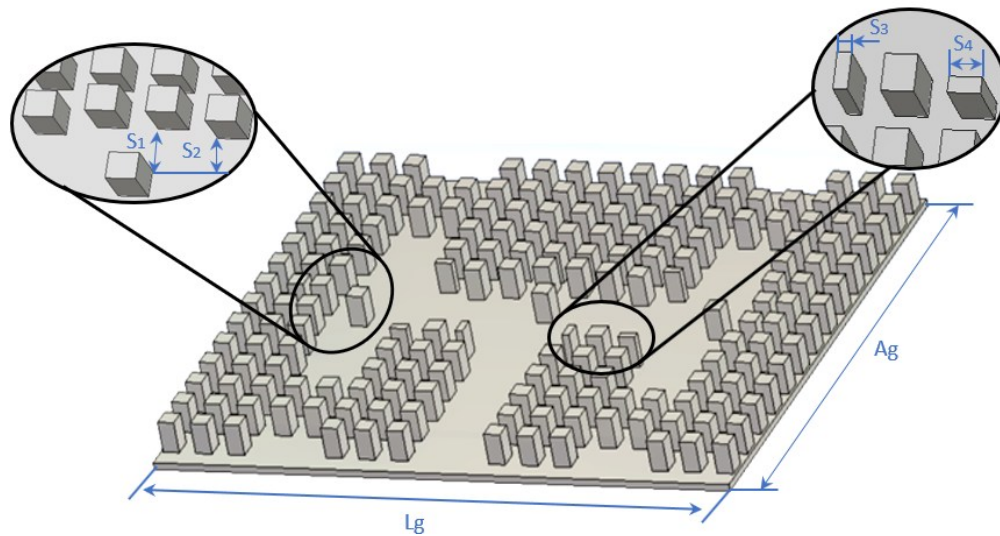


Figura 11

Divisor de potencia en T con un pin en la bifurcación como discontinuidad.

Con estos valores se simula la red, obteniendo la adaptación que se muestra en la Fig. 12. Se comprueba que la distribución de potencia y la diferencia de fase se siguen manteniendo de manera óptima en el desempeño de la antenna en la simulación. El objetivo que busca es establecer la relación que hay entre estas dos estructuras, teniendo en cuenta la Fig.11. Es decir, cómo actúa esta nueva estructura con los valores optimizados en la cual se basa este diseño.

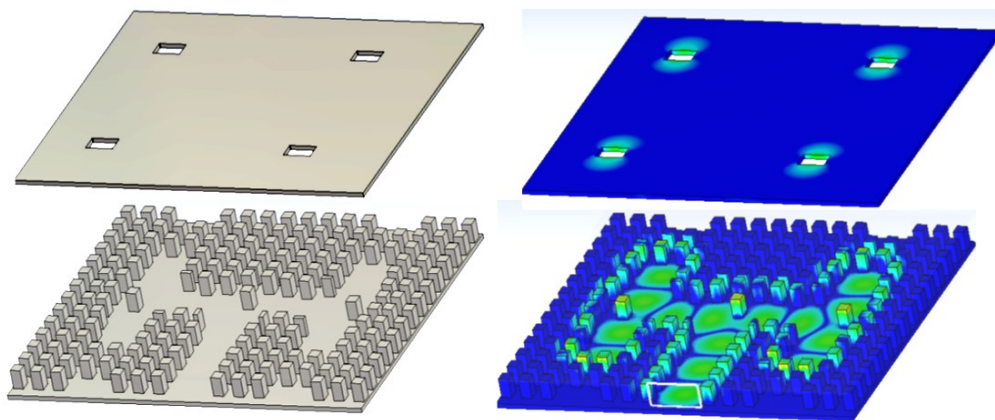


Figura 12

Comportamiento del campo eléctrico dentro de la estructura de la antenna.

Con los resultados obtenidos en el parámetro S_{11} , en la Fig. 13 se puede observar que esta configuración de arreglo, asegura un coeficiente de reflexión por debajo de -10dB , acentuándose claramente sobre el pico de resonancia en la frecuencia de 94 GHz , con una adaptación muy buena, dando como resultado una respuesta perfectamente centrada en la frecuencia deseada, representando un 18.2% del ancho de banda.

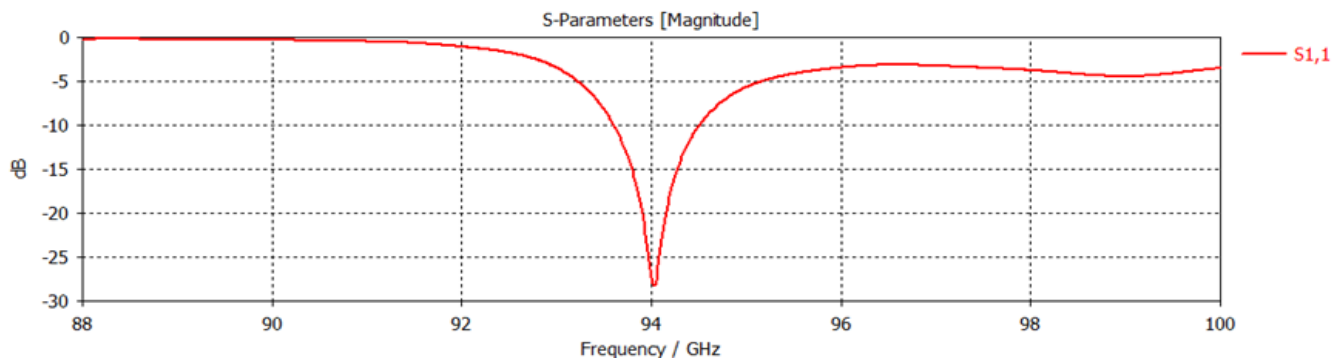


Figura 13

Parámetro S11 del arreglo de antena con tecnología GGW.

Este arreglo posee una ganancia realizable de 12.2 dBi, presentando una característica direccional multilobular, que puede ser aprovechada en determinadas aplicaciones. Esta tecnología puede verse, como una alternativa en el diseño de antenas para trabajar en mmWave a la hora de la fabricación de los componentes de guía de onda con muy bajas pérdidas. Ampliando los límites de la tecnología en muchos frentes: capacidad, cobertura, latencia, potencia y la movilidad, entre otros. Estos resultados se muestran en la Fig. 14.

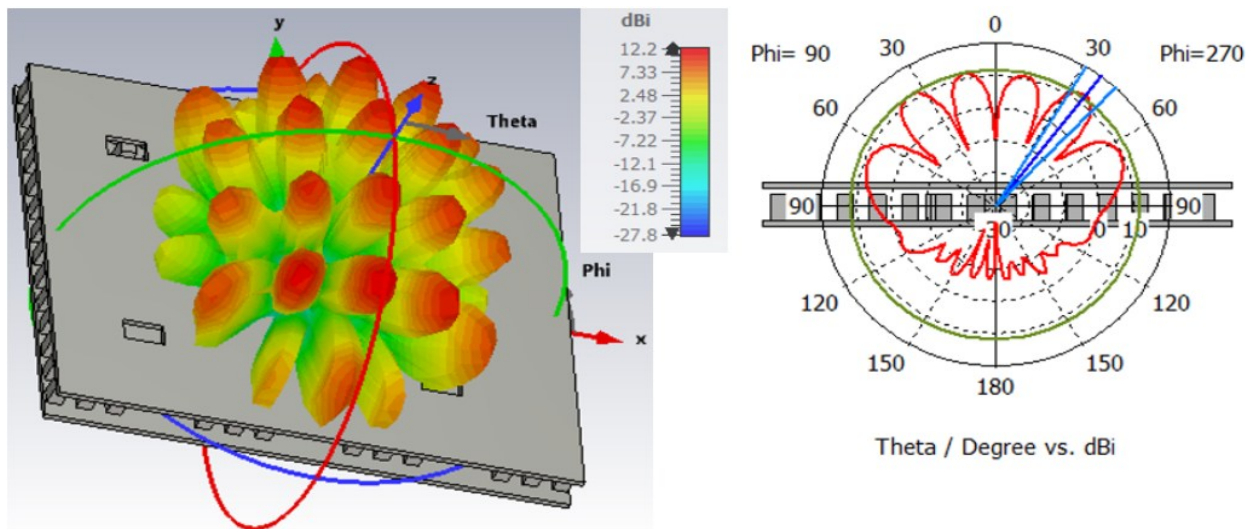


Figura 14

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

CONCLUSIONES

La principal contribución de esta investigación es el estudio de la tecnología GGW, mediante el diseño de un arreglo de antena con tecnología GGW para aplicaciones satelitales en la banda W. El uso combinado de esta tecnología, integrándola con otros sistemas de comunicación, podría abrir la puerta a innovadoras aplicaciones que surgirán con la 6G. En este nuevo entorno de red, las mmWave se perfilan como una posible solución idónea para cumplir con los requisitos de los nuevos escenarios que surgirán con la nueva generación de telefonía móvil. Se propone una estructura simple, basada en la tecnología GGW, para un diseño desarrollado en el plano H, con una ganancia de 6.89 dBi. Con el fin de mejorar la ganancia se consiguió con la misma tecnología, un arreglo de antenas de 2×2 garantizando la posibilidad de su empleo en la frecuencia de diseño a 94 GHz, con un ancho de banda de trabajo del 18.2% de la banda de interés y una ganancia realizable de 12.2 dBi. El diseño propuesto de un arreglo de antena, basado en la tecnología GGW y caracterizado por su estructura compacta, bajo perfil y peso ligero, ofrece al mismo tiempo características de radiación adecuadas. Esto permite su integración con una antena de comunicaciones, creando un sistema

completo para la transmisión y recepción de múltiples tipos de datos en enlaces satelitales. Esta tecnología es clave para abordar los problemas que puedan surgir en la estructura de la 6G, facilitando así la evolución de las comunicaciones inalámbricas hacia nuevas tecnologías y satisfaciendo la creciente demanda de los usuarios. Por otra parte, este diseño de arreglo de antena con tecnología GGW, por los resultados obtenidos en la simulación se podría implementar en una zona urbana o suburbana, para sistemas de detección y seguimiento de objetos en tiempo real, como en aplicaciones de vehículos autónomos y sistemas de seguridad.

REFERENCIAS

Ejemplo de artículo de revista con menos de 6 autores:

1. Pivoto S. D., Rezende T. T., Facina P. M., Moreira R., Silva F., Cardoso V. K., et al. A Detailed Relevance Analysis of Enabling Technologies for 6G Architectures. *IEEE Access*. 2023;11:89644-89684.
2. Alraih S., Nordin R., Abu-Samah A., Shayea I., Fadzilah A. N. A Survey on Handover Optimization in Beyond 5G Mobile Networks: Challenges and Solutions. *IEEE Access*. 2023;11:59317-59345.
3. Chukhno N., Chukhno O., Moltchanov D., Pizzi S., Gaydamaka A., Samuylov A. et al. Models, Methods, and Solutions for Multicasting in 5G/6G mmWave and Sub-THz Systems. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*. 2024;26(1):119-159.
4. Rabbanifard M., Zarifi Z., Farahbakhsh A., Mrozowski M. Design of Compact and Wideband Groove Gap Waveguide-Based Directional Couplers. *IEEE Access*. 2024;12:86346-86354.
5. Morales H. A., Fadzilah A., Miguel., Ferrando R. M., Marini S., Boria E. V. In-Depth Study of the Corona Discharge Breakdown Thresholds in Groove Gap Waveguides and Enhancement Strategies for Inductive Bandpass Filters. *IEEE Access*. 2022;10:129149-129162.
6. Masri A. Z., Jabri A., Tawk Y., Costantine J. A Groove Gap Waveguide Feeding Network for Dual-Circularly Polarized Antenna Arrays. *IEEE Journal of Microwaves*. 2024;4(3):512-520.
7. Kim M., Oh I., Yim K., Sahlabadi M., Shukur Z. Security of 6G-Enabled Vehicle-to-Everything Communication in Emerging Federated Learning and Blockchain Technologie. *IEEE Access*. 2024;12:33972-34001.
8. Orta B. J., Martínez G. M., Rizo M. F. Análisis del desempeño de la OTFS para mejorar la flexibilidad de la arquitectura para la 6G. *Revista de Ingeniería Electrónica, Automática y Comunicaciones RIELAC*. 2021; 42(3):18-30.
9. Ali M. M. M., Haraz M. O., Afifi I., Sebak R. A., Denidni A. T. Ultra-Wideband Compact Millimeter-Wave Printed Ridge Gap Waveguide Directional Couplers for 5G Applications. *IEEE Access*. 2022;10:90706-90714.
10. Wang C., Yao Y., Cheng X., Li S., Zhu Z., Li X. Groove Gap Waveguide Wideband Circularly Polarized Endfire Antenna for W-band Application. 2020 Cross Strait Radio Science & Wireless Technology Conference (CSRSWTC).2020:1-3.
11. Hamedani M., Oraizi H., Amini A., Zarifi D., Zaman U. A. Planar H-Plane Horn Antenna Based on Groove Gap Waveguide Technology. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*. 2020;19(2):302-306.
12. Rocher F. M., Herruzo H. J., Nogueira V. A., Clemente B. B. Single-Layer Sequential Rotation Network in Gap Waveguide for a Wideband Low-Profile Circularly Polarized Array Antenna. *IEEE Access*. 2022;10:62157-62163.

CONFLICTO DE INTERESES

No existe conflicto de intereses entre los autores, ni con ninguna institución a la que cada uno está afiliado, ni con ninguna otra institución.

Las opiniones expresadas aquí son únicamente responsabilidad de los autores y no representan la posición de la institución o las instituciones a las que están afiliados.

CONTRIBUCIONES DE LOS AUTORES

1. **Jorge Luis Blanco Orta:** Conceptualización, Curación de Datos, Análisis formal, Investigación, Metodología, Validación-Verificación, Visualización, Administración de proyecto, Redacción-borrador original, Redacción-revisión y edición.
2. **María del Carmen Guerra Martínez:** Conceptualización, Curación de datos, Análisis formal, Investigación, Metodología, Validación-Verificación.

3. **Kenneth Marichal Leyva:** Conceptualización, Curación de datos, Análisis formal, Investigación, Metodología, Supervisión, Validación-Verificación.
4. **Miguel Eduardo Borrego Corona:** Conceptualización, Curación de datos, Análisis formal, Investigación, Metodología, Supervisión, Validación-Verificación.

AUTORES

Jorge Luis Blanco Orta, Ingeniero en Telecomunicaciones y Electrónica, Emisora Municipal de Radio Mariel, Artemisa, Cuba, E-mail: jorgeluisblancoorta@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9592-7818>. Sus intereses de investigación incluyen: identificación de sistemas de comunicación inalámbricas, estudio de la tecnología GW para solucionar las limitaciones en la infraestructura de la 6G, análisis de los retrasos localizados y degradaciones Doppler.

María del Carmen Guerra Martínez, Ingeniero en Telecomunicaciones, Master en Ciencia, Universidad Tecnológica de la Habana “José Antonio Echeverría”, Habana, Cuba, E-mail: mariagm@tele.cujae.edu.cu, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1989-4414>. Intereses de investigación: identificación de sistemas de comunicación inalámbrica y estudio de las limitaciones para la infraestructura en la 6G, modelación de sistemas físicos MIMO.

Kenneth Marichal Leyva, Ingeniero en Telecomunicaciones y Electrónica, Universidad Tecnológica de la Habana “José Antonio Echeverría”, Habana, Cuba, E-mail: kennethmarichal@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4518-267X>. Intereses de investigación: sistema de radiación, metamateriales, radioenlaces y telemática.

Miguel Eduardo Borrego Corona, Ingeniero en Telecomunicaciones y Electrónica, Master en Ciencia, Doctor en Ciencias Técnicas, Universidad Tecnológica de la Habana “José Antonio Echeverría”, Habana, Cuba, E-mail: borrego@tele.cujae.edu.cu, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8381-8320>. Intereses de investigación: identificación robusta de sistemas dinámicos con grandes incertidumbres, control de procesos y análisis de uso de redes heterogéneas



Esta revista se publica bajo una [Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Sin Derivar 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)