

DISEÑO DE UN ARREGLO DE 2X2 ANTENAS DE RANURA EN TECNOLOGÍA RGW PARA LA BANDA DE 60 GHZ

Taimir Alain Morales Roche¹, Deivis Richard Arias Fernández², Francisco R. Marante Rizo³

^{1,2,3} Universidad Tecnológica de La Habana “José A. Echeverría”, CUJAE, Ave 114 #11901 e/ Ciclovía y Rotonda, Marianao, La Habana, Cuba.

¹e-mail: tamorales@tele.cujae.edu.cu

³ e-mail: marante@tele.cujae.edu.cu

RESUMEN

Este trabajo propone el diseño de una antena para la banda de 60 GHz, empleando tecnología Gap Waveguide. Para ello primeramente se analizan los aspectos fundamentales de la teoría de antenas. Además, se caracteriza brevemente la propagación en banda de ondas milimétricas y se exponen las generalidades de la tecnología Gap Waveguide, sus variantes y estado del arte. Con estas bases teóricas se diseña y simula en el software CST un arreglo de antenas de ranura de 2x2 elementos, utilizando la variante RGW. El elemento simple del arreglo consiste en una estructura RGW con terminación en T y una ranura en la placa metálica superior. Se obtiene una ganancia máxima de 12.4dBi y un ancho de banda de 8 GHz, cubriendo la totalidad de la banda deseada.

PALABRAS CLAVES: Antena, arreglo de antenas, banda de ondas milimétricas, guía de ondas de separación, Ridge Gap Waveguide.

DESIGN OF A 2X2 ARRANGEMENT OF SLOT ANTENNAS IN RGW TECHNOLOGY FOR THE 60 GHZ BAND

ABSTRACT

This work proposes the design of an antenna for the 60 GHz band, using Gap Waveguide technology. For this, the fundamental aspects of antenna theory are first analyzed. In addition, the propagation in millimeter wave band is briefly characterized and the generalities of Gap Waveguide technology, its variants and state of the art are exposed. With these theoretical bases, an array of 2x2 slot antenna antennas is designed and simulated in the CST software, using the RGW variant. The simple element of the arrangement consists of an RGW structure with T-termination and a groove in the upper metal plate. A maximum gain of 12.4dBi and a bandwidth of 8 GHz is obtained, covering the entire desired band.

INDEX TERMS: Antenna, Antenna Arrangement, Millimeter Wave Band, Waveguide Separation Guide, Ridge Gap Waveguide.

1. INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas se ha producido un alto desarrollo de la tecnología en diversos medios y, por consiguiente, en el mundo de las telecomunicaciones, con una tendencia muy marcada en busca de la miniaturización y a su vez de un alto rendimiento de los equipos diseñados para los diferentes fines. Este crecimiento está estrechamente ligado a la necesidad de tener mayores anchos de banda, que son indispensables para el adecuado funcionamiento de las nuevas aplicaciones multimedia.

El rápido incremento en la utilización de los datos móviles y el uso de teléfonos inteligentes, están creando desafíos sin precedentes para los proveedores de servicios inalámbricos. Hoy día, los investigadores se enfocan en la llamada 5ta Generación de redes móviles (5G). Con el objetivo de incrementar las capacidades de las comunicaciones en 5G y debido al congestionado espectro de radiofrecuencias global, los investigadores e industrias se han visto forzados a desplazarse hacia frecuencias más altas, la llamada banda de ondas milimétricas. Teniendo en cuenta la alta disponibilidad del espectro radioeléctrico en dicha banda (30-300GHz). No obstante, esta banda presenta grandes

atenuaciones para la propagación de las ondas electromagnéticas que deben contrarrestarse con el diseño de antenas o arreglos de ellas con elevada ganancia, lo cual es posible, pues longitudes de onda más cortas permiten la construcción de estructuras más pequeñas [1].

Las tecnologías gap waveguide han sido recientemente introducidas para dar solución a estos problemas. La idea importante detrás de estos circuitos está basada 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. Este tipo de líneas de alimentación presenta tres variantes diferentes, en función de la estructura de guiado que se emplee.

2. DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN ARREGLO DE ANTENAS CON TECNOLOGÍA RGW.

Esta tecnología genera un modo cuasi-TEM en el espacio entre las placas de metal paralelas y prohíbe la propagación de todos los demás modos, haciendo uso de conductores magnéticos artificiales (AMC). El principio de operación consiste en colocar un conductor eléctrico perfecto (PEC) y una estructura AMC a una distancia menor que un cuarto de la longitud de onda de la frecuencia de trabajo, como podemos observar en la Fig 1.

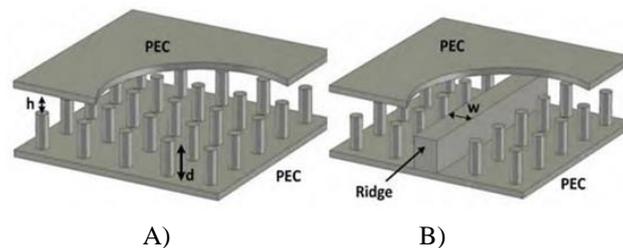


Figura 1: a) Estructura AMC. b) Ridge Gap Waveguide (RGW).

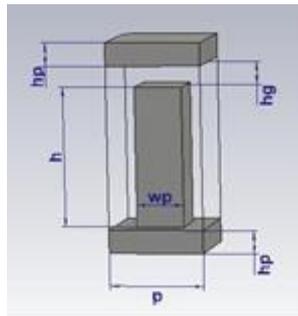
La Fig 1. muestra la estructura del RGW, donde h representa la altura del espacio de aire, d la altura de los pines y el parámetro w representa el ancho que tendrá el *Ridge*.

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 Microwave Studio 2017.

2.1 DISEÑO DE LA ESTRUCTURA PERIÓDICA

El primer paso y uno de los más significativos en la obtención de estructuras del tipo Gap Waveguide es el diseño del pin, cuyas dimensiones y distribución de forma periódica garantizará la existencia de una banda de frecuencias en la que no existirá propagación alguna de ondas electromagnéticas.

La Fig. 2 muestra el dimensionamiento de la celda unitaria propuesta, donde $h + hg$ representa la separación entre las placas paralelas. Los pines son prismas con base cuadrada de lado wp y con altura h , y hg denota la separación entre el pin y la placa superior y hp representa el ancho del PEC. El parámetro p representa la periodicidad, debido a que la celda unitaria con dimensiones $p \times p \times (h + hg)$ es replicada infinitamente en el plano, creando la superficie AMC. Estas dimensiones se escogieron tomando en consideración elementos planteados en [2], para obtener una estructura que impida la propagación en la banda de 60 GHz



Parámetros	Valor (mm)
h	1.25
hp	0.25
hg	0.25
wp	0.5
p	1.0

Figura 2: Parámetros de la celda unitaria.

Una vez modelado el pin, se empleó el Eigen Mode 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 muestra en la Fig. 3 , donde se aprecia que alrededor de los 40 GHz los modos de placas paralelas son forzados al corte, y vuelven a propagarse a partir de los 78 GHz aproximadamente, resultando este intervalo de frecuencias la banda prohibida de la estructura diseñada. Es válido aclarar que el diagrama de dispersión es una representación de la constante de propagación en función de la frecuencia, para cada uno de los modos de propagación de la estructura.

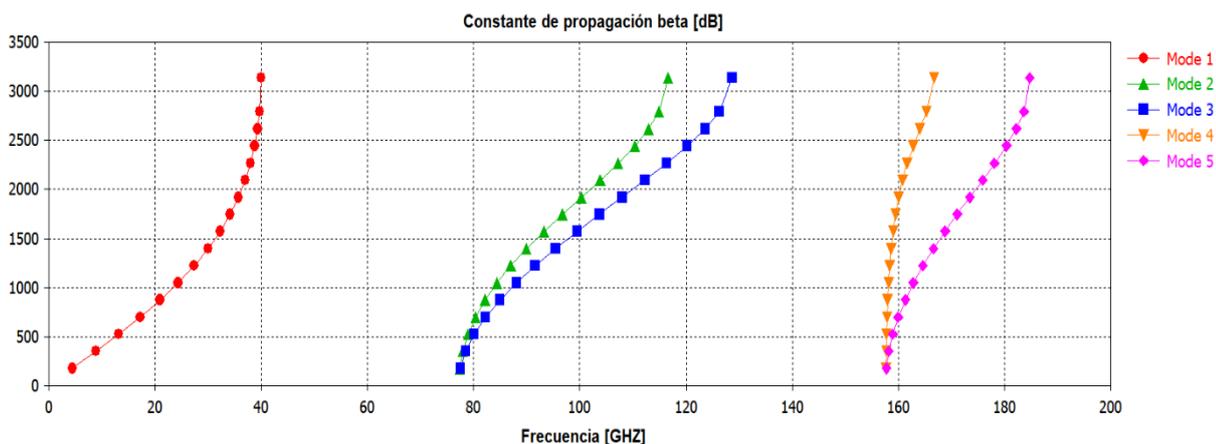
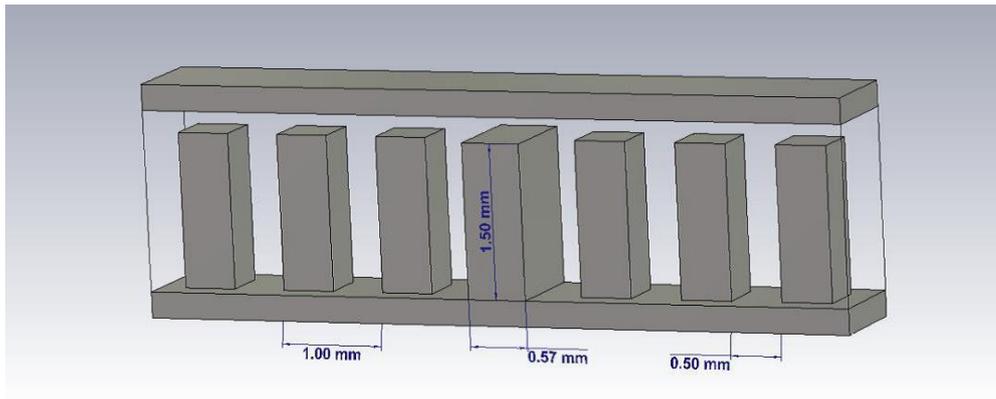


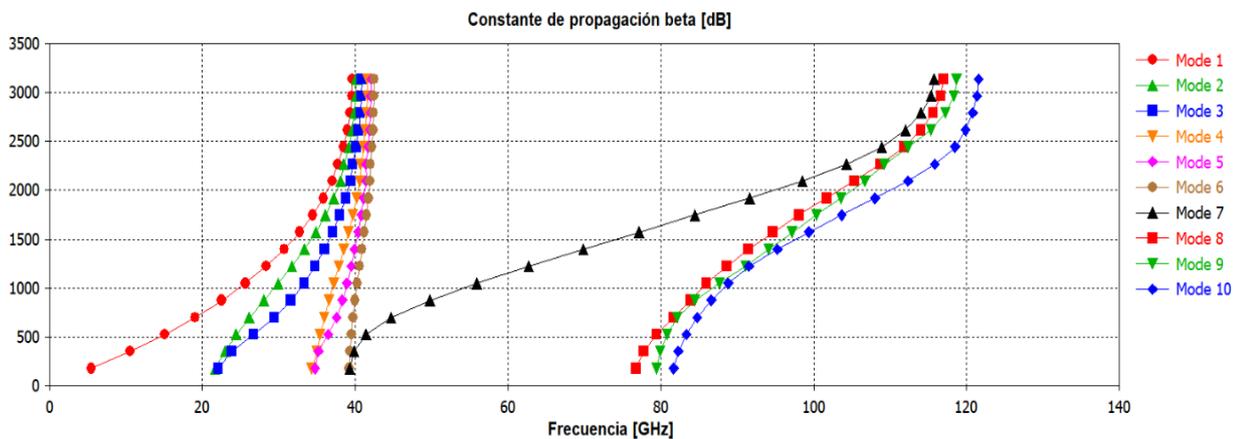
Figura 3: Diagrama de dispersión de la estructura.

2.2 DISEÑO DE LA LÍNEA DE ALIMENTACIÓN RGW

Una vez obtenida la estructura AMC debe simularse una celda unitaria, esta vez de lo que será propiamente la línea RGW, de este modo se colocan alrededor de una cresta metálica, un conjunto de pines con los mismos parámetros que el diseñado en el epígrafe anterior (ver Fig. 4a) .La introducción de dicha cresta en la estructura periódica de pines permite la propagación de un modo cuasi-TEM entre la misma y la placa metálica superior. Para la demostración de dicho comportamiento, se empleó también el Eigenmode Solver, esta vez asumiendo una estructura infinitamente larga en la dirección de propagación, es decir, en el eje definido por la cresta metálica. El diagrama de dispersión resultante se muestra en la Fig. 4b, donde es posible observar la propagación del modo cuasi-TEM en el intervalo de frecuencias prohibidas por la estructura AMC.



A)

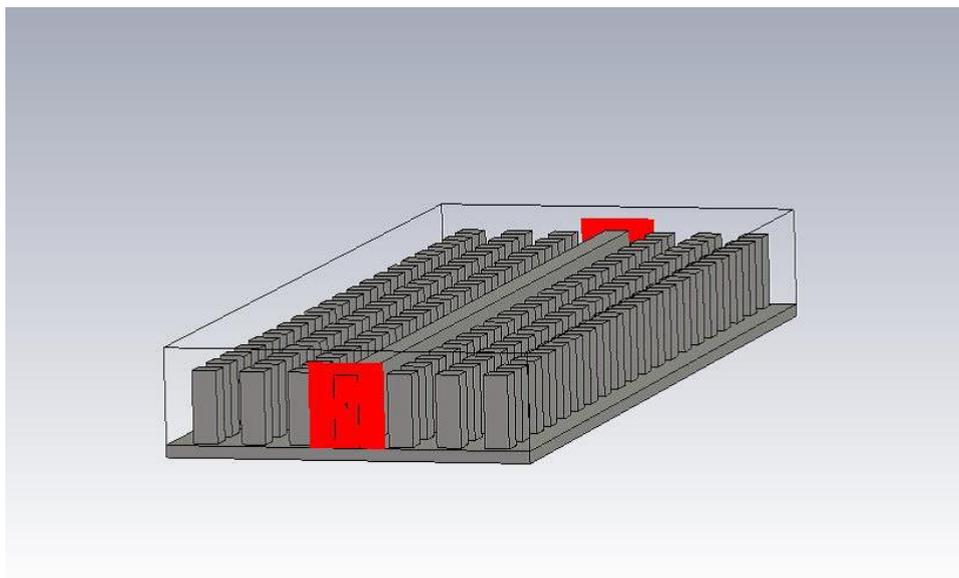


B)

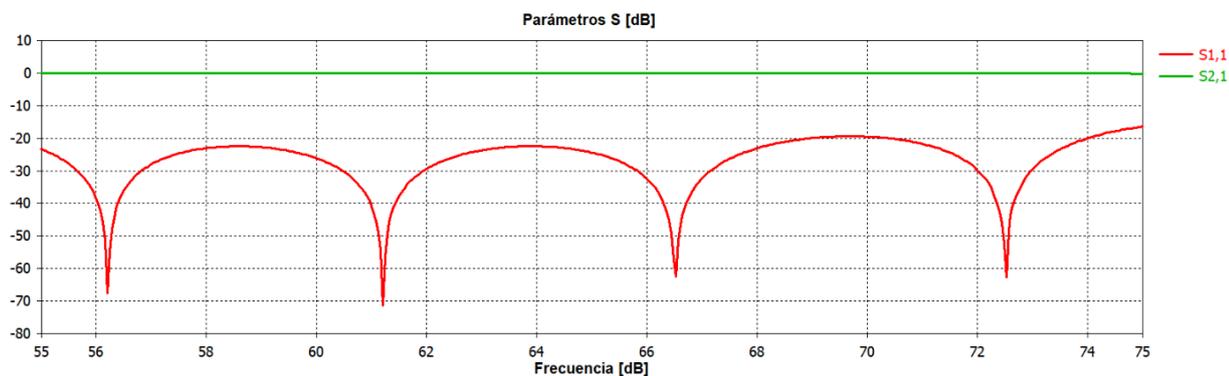
Figura 4: Celda unidad de RGW. a) Dimensiones de la estructura. b) Diagrama de dispersión.

El número de hileras de pines alrededor del ridge es muy importante en el diseño de antenas con tecnología GW, ya que garantiza que no exista fuga de campo sobre direcciones no deseadas, confinándolo solamente sobre la línea de alimentación. En [3] se realizó un análisis de la cantidad de columnas que deben existir a ambos lados del RGW y se demostró que con tres columnas era suficiente, ya que la intensidad del campo decrece abruptamente después de la primera hilera de pines, de ahí el número de ellos colocados en la sección transversal de la estructura RGW mostrada. Una vez comprobada la existencia del modo de propagación previsto, es fundamental el análisis de los parámetros de dispersión de la estructura, para lo cual es necesaria la simulación de una estructura finita con los mismos valores de la celda unidad propuesta para el RGW, lo cual se logra extendiendo la cresta metálica en la dirección de propagación y replicando en esta misma dirección las hileras de pines a ambos lados de la guía. En esta ocasión debe emplearse el Time Domain Solver e introducirse dos puertos de guía de onda en ambos extremos de la cresta metálica, estableciendo además las condiciones de contorno apropiadas. La posición y dimensiones de los puertos se tomaron de acuerdo a lo reflejado en [4].

En la Fig. 5 se muestra el diseño previamente descrito, mientras que en la Fig.5b se muestran los parámetros S resultantes. Se observa que el parámetro S11 o coeficiente de reflexión es inferior incluso a -20 dB en una porción espectral aun superior a la de la banda de 60 GHz, mientras que el parámetro S21 se mantiene muy próximo a 0 dB. Debe recordarse que la exigencia en este tipo de diseños es: $S_{11} \leq -10$ dB y $S_{21} \approx 0$ dB, de modo que apenas existan reflexiones en los puertos y que la energía insertada por uno se transmita con las menores pérdidas posibles hacia el puerto opuesto.



A)



B)

Figura 5: Sección de una línea RGW. a) Estructura con los puertos de alimentación. b) Coeficientes de reflexión y transmisión.

2.3 DISEÑO DEL ELEMENTO SIMPLE DEL ARREGLO

Una vez creada la línea RGW, se procede a su utilización para el diseño de una antena de ranura, aprovechando la placa metálica superior de la estructura; dicho radiador servirá posteriormente como elemento simple del arreglo a diseñar. Para excitar la ranura se realizará una terminación en T en la línea RGW, centrada en la ranura. Se empleó como punto de partida una geometría similar a la utilizada en [5], donde se utiliza como sistema de alimentación de una estructura multicapa. En la Fig. 6 se muestra el diseño propuesto, conjuntamente con sus dimensiones.

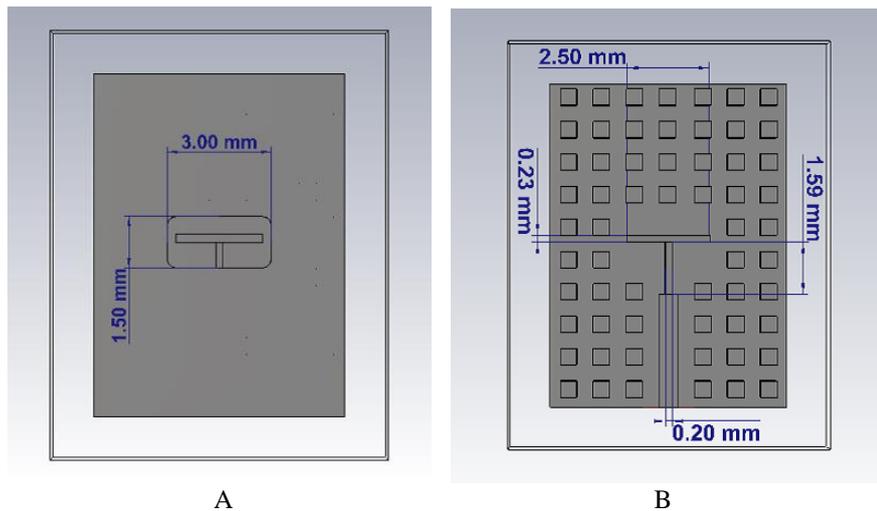


Figura 6: Vista superior del elemento simple. a) Dimensiones de la ranura. b) Dimensiones de la terminación en T y del transformador de $\lambda/4$.

La configuración propuesta (terminación en T) permite el aumento del ancho de banda cuando se logra que la sección T y la ranura presenten resonancias cercanas [6]. Por su parte, la ranura actúa en el sistema como filtro de banda estrecha de forma que, al incidir potencia sobre ella, su resonancia provoca que la antena esté adaptada una λ determinada, en concreto aquella λ que coincida con las dimensiones de la ranura. En la Fig. 7 se observa la distribución del campo electromagnético en la línea de alimentación, así como en la placa superior donde se ubica la ranura [7].

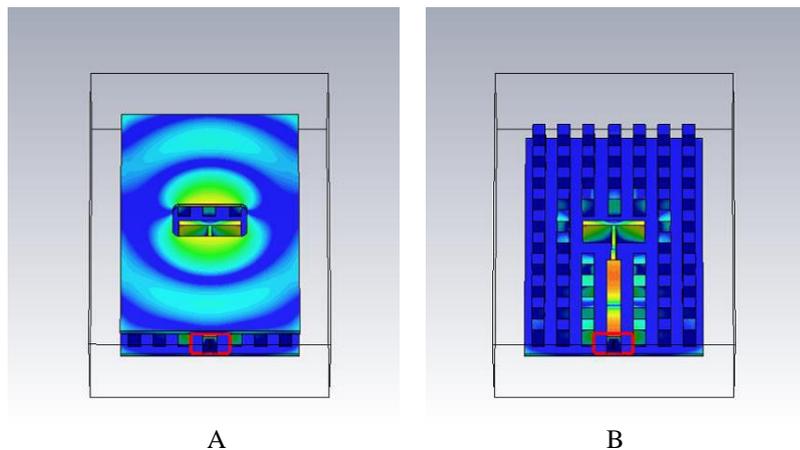


Figura 7: Campo eléctrico en el elemento simple. a) Ranura radiante. b) Estructura Ridge en terminación T.

En la Fig. 8 se muestra el parámetro S11 de la estructura. La gráfica muestra como la resonancia de la apertura radiante está próxima a la frecuencia central de la banda de trabajo, que es 61.5 GHz, y se encuentra por debajo de los -10 dB en toda la banda garantizando un buen acoplamiento. El ancho de banda obtenido es de aproximadamente 16 GHz.

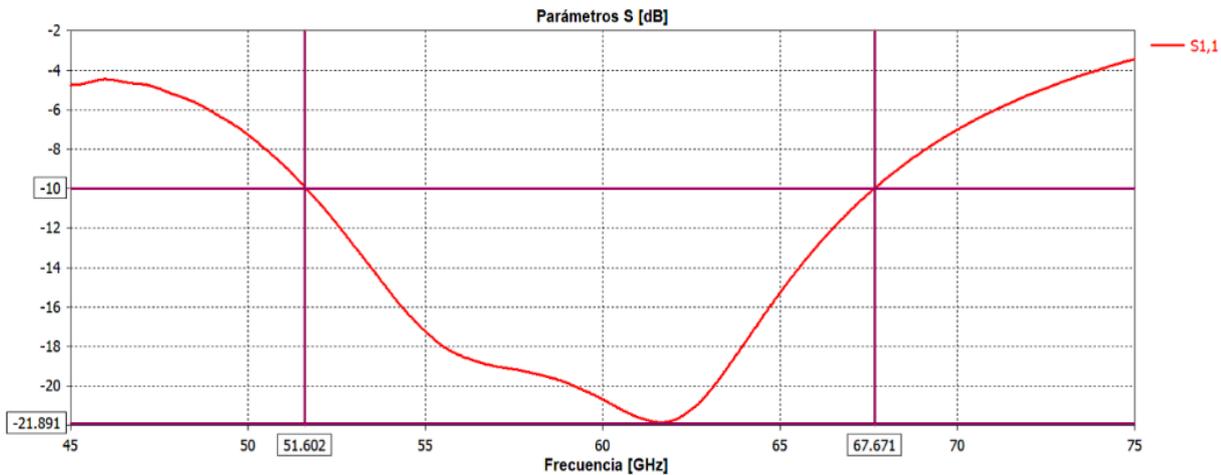


Figura 8: Parámetro S_{1,1} de la estructura.

El diagrama de radiación se muestra en la Fig. 9 , tanto en 3D como en 2D, observándose que se obtiene una ganancia máxima de 6.98 dBi, y que existen dos lóbulos de radiación aproximadamente simétricos, característica que será útil en función de la aplicación en que se utilice la antena.

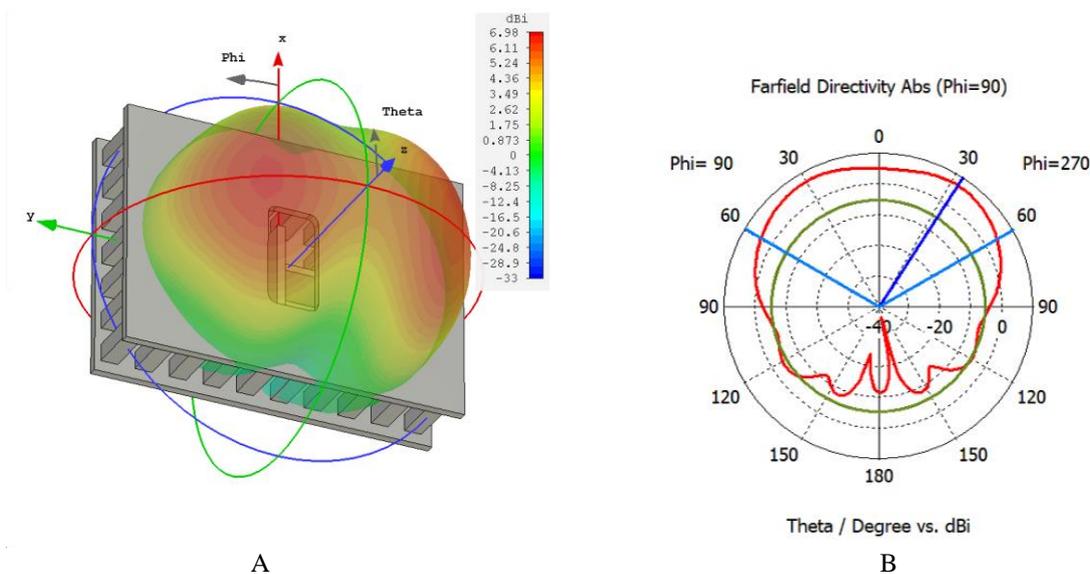


Figura 9: Patrón de radiación. a) En 3D. b) En coordenadas polares.

2.4 DISEÑO DEL ARREGLO DE 2X2

En este apartado se diseñará un arreglo de 2x2 ranuras 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. Para ello se emplearon divisores de potencia en forma de T, mientras que para el acoplamiento de impedancias de dicha red se utilizaron transformadores de un cuarto de longitud de onda, capaces de acoplar la impedancia característica de la (75 Ω , calculada a través de la analogía demostrada entre las líneas RGW y las líneas de microcinta) con los 37.5 Ω resultado del paralelo de las líneas de la unión T; la impedancia característica de la línea RGW en función del ancho del ridge, utilizando la analogía con las líneas de transmisión stripline propuesta en [8] , se emplean esta técnica principalmente

para alimentar con cierta distribución de potencia a los elementos del arreglo. La geometría de la red de alimentación propuesta se observa en la Fig. 10.

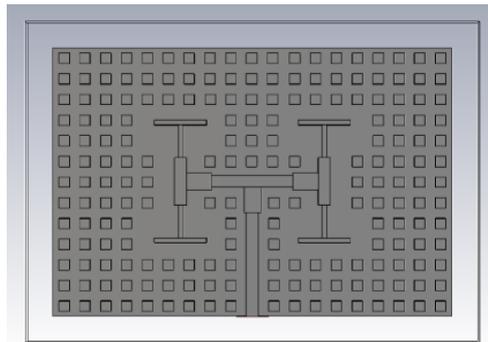


Figura 10: Estructura de la alimentación del arreglo 2x2.

En la placa superior se observan las ranuras radiantes, las cuales se encuentran a una distancia aproximadamente de 0.8λ [9], entre los extremos de las ranuras, como se muestra en la Fig.11 , donde λ es la frecuencia central de la banda, como se ha planteado en varias ocasiones es de 61.5 GHz.

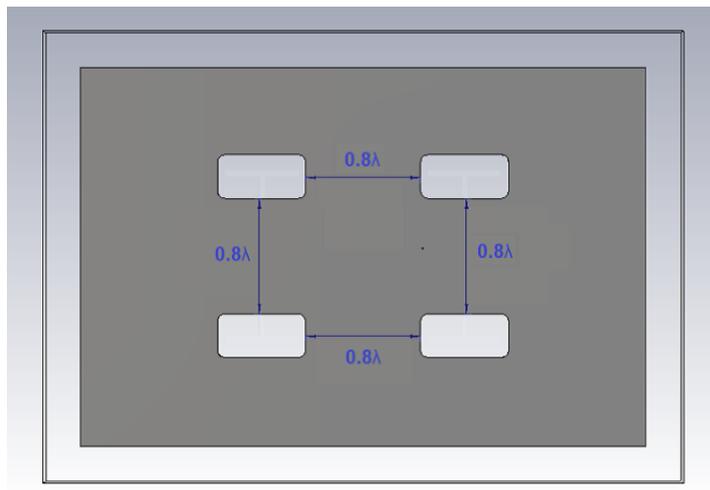


Figura 11: Placa superior con las ranuras radiantes.

En la Fig. 12 se observa que el parámetro S_{11} no presenta valores inferiores a -10 dB en la banda de 57 GHz hasta los 64 GHz. Por lo tanto, se decidió realizar el proceso de optimización de algunos parámetros determinantes a través del optimizador del simulador CST.

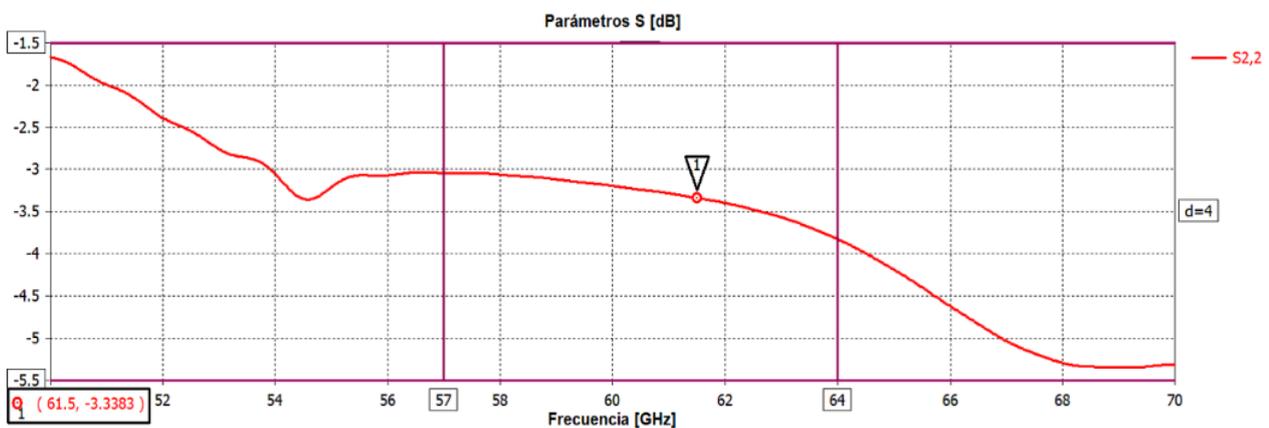


Figura 12: Parámetro S11 del arreglo inicialmente.

El algoritmo utilizado fue Trust Region Framework. Este es un potente optimizador local, que construye un modelo lineal en los datos primarios en una región "confianza" en torno al punto de partida. Por lo tanto, es necesario seleccionar los parámetros que pueden variarse durante el proceso de optimización. El optimizador intenta minimizar una función: la función objetivo. Esta función depende de los parámetros seleccionados para la variación por el optimizador. Por lo tanto, se debe definir al menos un objetivo que se evalúa mientras se ejecuta el optimizador.[10] Se escogieron algunos parámetros determinantes de la estructura para realizar el proceso de optimización. Es válido señalar que los procesos de optimización en el software CST son extensos en cuanto a su tiempo de duración, sobre todo si son numerosas las variables de diseño a optimizar, si el intervalo de variación de las mismas es muy extenso, y sobre todo si no se disponen de computadores con elevadas prestaciones. Además, si no se establecen adecuadamente los objetivos de la optimización puede resultar que el algoritmo de optimización nunca converja.

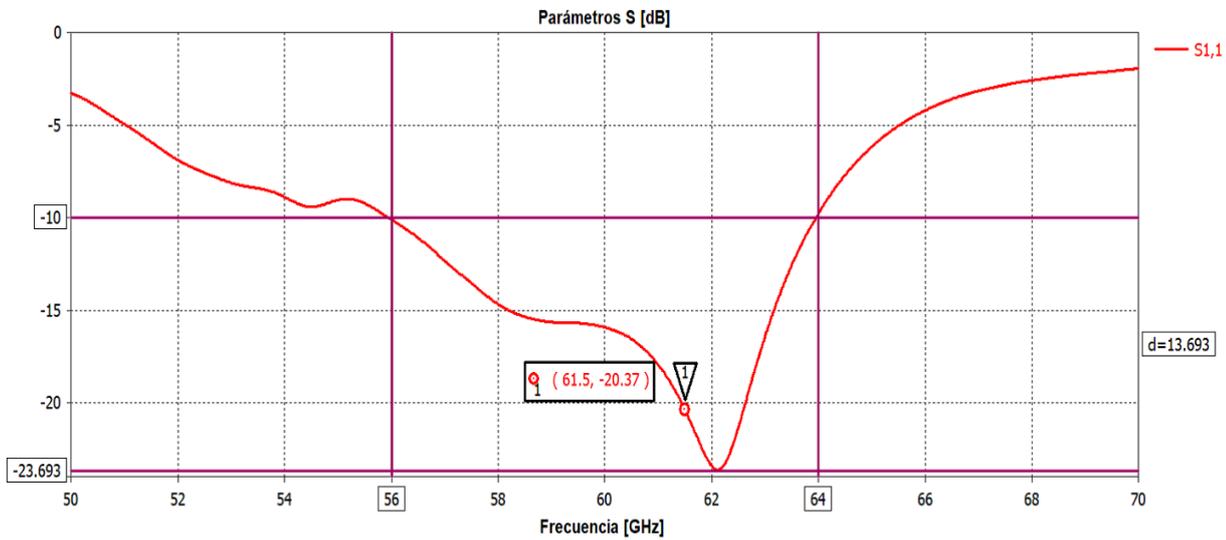


Figura 13: Parámetro S11 del arreglo optimizado.

En la Fig. 13 se muestra el parámetro S₁₁ de la estructura optimizada, donde se observa como mejoró el coeficiente de reflexión del arreglo en comparación con la propuesta inicial. Como podemos observar esta configuración de arreglo asegura un coeficiente de reflexión por debajo de -10 dB en las frecuencias entre 56 GHz hasta los 64 GHz aproximadamente, representando un 13 % del ancho de banda. La gráfica muestra cómo en la frecuencia central de la banda de 60 GHz, el valor de S₁₁ es de -20.37 dB aproximadamente.

Este arreglo posee una ganancia realizable de 12.4 dBi, presentando una característica direccional multilobular, que puede ser aprovechada en determinadas aplicaciones. Estos resultados se muestran en la Fig. 14. En la Fig. 15 se muestra la estructura completa que conforma el arreglo.

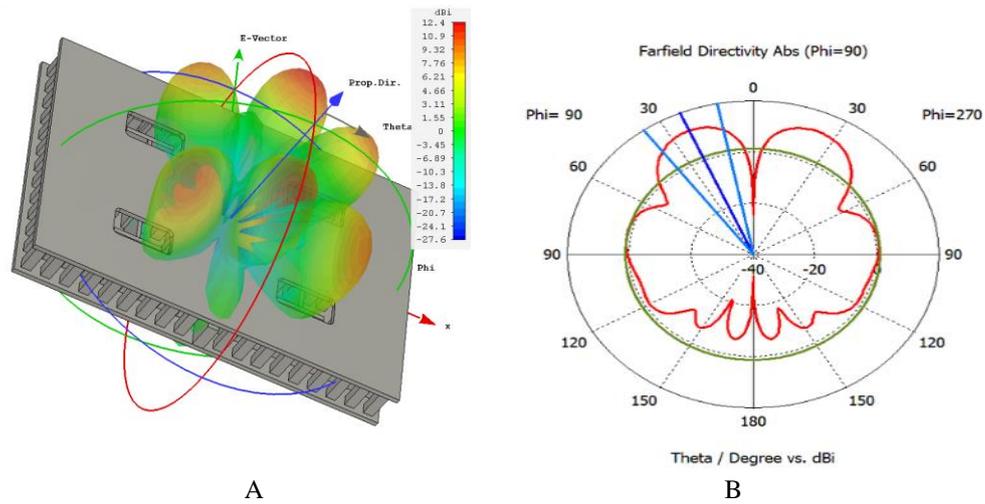


Figura 14: Patrón de radiación del arreglo de antenas. a) En 3D. b) En coordenadas polares.

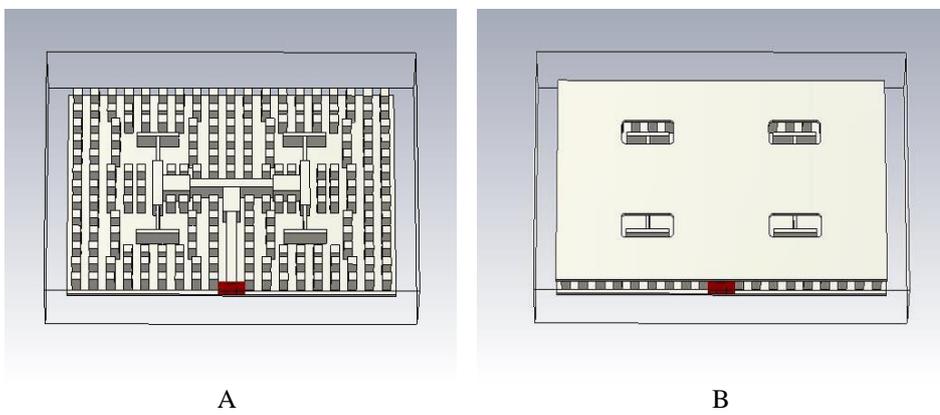


Figura 15: Estructura final del arreglo.

Tabla 1 Valores optimizados de las dimensiones del arreglo

Parámetros del diseño	Dimensiones (mm)
Altura del pin	1.5
Separación entre los pines y la capa superior	0.25
Altura de las placas	0.25
Altura del ridge	1.5
Largo del ridge	6.25
Largo de la ranura radiante	3.04
Largo de la terminación en T	2.5
Largo de la primera unión T	8.04
Largo de la segunda unión T	2.9
Largo del transformador de la terminación en T	1.59
Largo de los transformadores de las uniones T	1.58
Período entre los pines	1
Ancho del pin	0.5
Ancho del ridge	0.57
Ancho del transformador de las uniones T	1.03
Ancho de la ranura radiante	1.55
Ancho de la terminación en T	0.23
Ancho del transformador de la terminación en T	0.2

3. CONCLUSIONES

Los resultados de la simulación del elemento simple del arreglo de ranuras en tecnología RGW, así como del arreglo en sí mismo, permitieron apreciar que, aunque en el primero se logra aproximadamente el doble del ancho de banda, se obtiene cerca de la mitad de la ganancia. Aunque ambas estructuras satisfacen los requerimientos necesarios para su empleo en la banda de ondas milimétricas, la utilización de uno u otro estará en dependencia de la aplicación en cuestión y su exigencia fundamental. En ambos casos la característica direccional obtenida es multilobular, lo cual puede ser beneficioso en determinadas aplicaciones. Se comprobó además la utilidad de los algoritmos de optimización en el diseño de este tipo de estructuras.

El arreglo de antenas de ranura diseñado, de 2x2 elementos, y simulado empleando el software CST, presenta un ancho de banda aproximado de 8 GHz y ganancia máxima de 12.4 dBi, garantizando la posibilidad de su empleo en la banda de 60 GHz. Se comprobaron además las potencialidades de la herramienta de optimización disponible en el simulador utilizado.

4. RECONOCIMIENTOS

A la compañera Ing. Osmery Hernández Martínez por sus acertadas contribuciones a la realización de este artículo , toda su experiencia en el campo de las Comunicaciones Inalambricas.

5. REFERENCIAS

- [1] A. Bleicher, «Millimeter Waves May Be the Future of 5G Phones», IEEE Spectrum: Technology, Engineering, and Science News, 13-jun-2013. [En línea]. Disponible en: <https://spectrum.ieee.org/telecom/wireless/millimeter-waves-may-be-the-future-of-5g-phones>.
- [2] E. Rajo-Iglesias y P. S. Kildal, «Numerical studies of bandwidth of parallelplate cutoff realised by a bed of nails, corrugations and mushroomtype electromagnetic bandgap for use in gap waveguides», Antennas Propag. IET Microw., vol. 5, n.o 3, pp. 282-289, feb. 2011.
- [3] «CST MICROWAVE STUDIO 3D EM Simulation Software». [En línea]. Disponible en: <https://www.cst.com/products/cstmws>. [Ac-cedido: 23-may-2019].
- [4] H. Raza, J. Yang, P. S. Kildal, y E. Alfonso, «Resemblance between gap waveguides and hollow waveguides», Antennas Propag. IET Microw., vol. 7, n.o 15, pp. 1221-1227, dic. 2013.
- [5] J. A. Liranza Rives y L. R. Solano Ochoa, «Diseño de un arreglo de antenas en tecnología RGW para la banda de 60 GHz.», Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, La Habana, Cuba, 2018.
- [6] J. Liu, A. U. Zaman, y J. Yang, «Design of Wideband Slot Array Antenna by Groove Gap Waveguide in Millimeter Waves», (:unav), sep. 2018.
- [7] D. Santiago Arriazu y I. Ederra Urzainqui, «Diseño de antena slot alimentada por “gap waveguide” utilizando metasuperficie», Pam-plona, 2017.
- [8] D. Pimienta del Valle, M. E. Borrego Corona, y G. Rodríguez Trujillo, «REDUCCIÓN DEL NIVEL DE LÓBULO SECUNDARIO EN ARREGLOS LINEALES DE ANTENAS DE MICROCINTAS ALIMENTADAS POR ABERTURA», November 2014.
- [9] M. Rodríguez Toranzo, «Diseño de un arreglo de antenas de microcinta con polarización circular en la banda de 60 GHz», Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, La Habana, Cuba, 2017.
- [10] A. U. Zaman y P.-S. Kildal, «GAP Wave-guides», en Handbook of Antenna Technologies, Springer, Singapore, 2016, pp. 3273-3347.

SOBRE LOS AUTORES AUTORES

Taimir Alain Morales Roche, Profesor ATD de Telecomunicaciones y Electrónica en la Universidad Tecnológica de la Habana José Antonio Echeverría, CUJAE, actualmente estoy en el 5to año de la carrera de Telecomunicaciones y Electronica . ORCID: 0000-0002-8365-3183.

Deivis Richard Arias Fernández: Ingeniero en Telecomunicaciones y Electrónica, graduado en la Universidad Tecnológica de La Habana “José Antonio Echeverría”, CUJAE, en julio de 2019, donde actualmente esta realizando su servicio social. ORCID: 0000-0001-8321-225X

Francisco Marante Rizo: Graduado de Ingeniero en Telecomunicaciones en el año 1974 en La Universidad de La Habana y Dr. C.T en La Universidad Técnica de Praga en 1986. Actualmente es Profesor Consultante del Dpto. de

Telecomunicaciones y Telemática de la Universidad Tecnológica de La Habana “José Antonio Echeverría”,
CUJAE. ORCID: 0000-0003-3277-1371.

CONFLICTO DE INTERESES

Este trabajo no presenta ningún conflicto de interés.

CONTRIBUCIONES DE LOS AUTORES

Taimir Alain Morales Roche : conceptualización: 100% , preparación:100%, creación:90% y desarrollo del artículo :100% , revisión crítica de cada una de las versiones del borrador del artículo :80% y aprobación de la versión final a publicar :100%, contribución a la idea: 95% y organización del artículo: 100%, sugerencias acertadas para la conformación de la versión final:100%.

Deivis Richard Arias Fernández: conceptualización: 100% , preparación:90%, creación:100% y desarrollo del artículo :80% , revisión crítica de cada una de las versiones del borrador del artículo :60% y aprobación de la versión final a publicar :100%, contribución a la idea: 100% y organización del artículo: 80%, sugerencias acertadas para la conformación de la versión final:100%.

Francisco Marante Rizo: conceptualización: 100% , preparación:100%, creación:100% y desarrollo del artículo :100% , revisión crítica de cada una de las versiones del borrador del artículo :90% y aprobación de la versión final a publicar :100%, contribución a la idea: 100% y organización del artículo: 80%, sugerencias acertadas para la conformación de la versión final:100%.

Esta revista provee acceso libre inmediato a su contenido bajo el principio de hacer disponible gratuitamente investigación al público. Los contenidos de la revista se distribuyen bajo una licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 Unported License. Se permite la copia y distribución de sus manuscritos por cualquier medio, siempre que mantenga el reconocimiento de sus autores y no se haga uso comercial de las obras.

