

## DISEÑO DE UNA ANTENA HOLOGRÁFICA SIMPLE CAPA EN LA BANDA KA 30 GHZ

Ing. Eduardo Marrero Fernández<sup>1</sup>, Ing. Daryl Ortega González<sup>2</sup>,  
MSc. María del Carmen Guerra Martínez<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universidad de la Habana, San Lázaro y L, Plaza, <sup>2,3</sup>Universidad Tecnológica de la Habana  
“José Antonio Echeverría”, CUJAE, 114 e/ Ciclovía y Rotonda, Marianao.

<sup>1</sup>e-mail:edumarreferz@gmail.com, <sup>2</sup>e-mail:dortegag@tele.cujae.edu.cu, <sup>3</sup>mariagm@tele.cujae.edu.cu

### RESUMEN

El estudio de las antenas holográficas data de la década del 60 del siglo pasado; a pesar de que las mismas fueron inicialmente relegadas a un segundo plano, el interés por éstas ha ido en aumento a partir del desarrollo de los nuevos sistemas de comunicaciones inalámbricas gracias a su facilidad de integración y bajos costos. En el presente artículo se realiza el diseño y simulación de una antena holográfica de capa simple en la banda Ka a 30 GHz con un patrón de radiación normal a la superficie holográfica para ser empleadas en aplicaciones de LMDS (Sistema de Distribución Local Multipunto) con un patrón de radiación normal a la superficie holográfica. Se propuso un diseño con una antena de bocina como antena alimentadora y se simuló el sistema alimentador-placa de sustrato en el software ANSOFT HFSS 13.0. De los resultados obtenidos se extrae como conclusión la obtención de un patrón dirigido de forma normal a la superficie holográfica, un diseño pequeño de fácil integración y construcción.

**PALABRAS CLAVES:** Antena holográfica, línea conductora, sustrato.

## DESIGN OF A SIMPLE HOLOGRAPHIC ANTENNA LAYER IN THE KA BAND 30 GHZ

### ABSTRACT

The study of holographic antennas dates from the 60s; although they were initially relegated to the background, interest in them has been increasing since the development of new wireless communication systems thanks to their ease of integration and low costs. The present article aims at the design and simulation of a single-layer holographic antenna in the Ka-band at 30GHz with a normal radiation pattern to the holographic surface to be used in LMDS applications. For this, a study of the state of the art of this technology was carried out, a design with a horn antenna as feeding antenna was proposed and the substrate plate feeder system in the HFSS software was simulated. From the obtained results, the conclusion is obtained from obtaining a pattern directed in a normal way to the holographic surface, small design of easy integration, and construction.

**KEY WORDS:** Holographic Antenna, stripline, substrate.

### 1. INTRODUCCIÓN

En aplicaciones de alta frecuencia se ha extendido el uso de antenas reflectoras, guías de onda ranurada o antenas similares como guías de onda integradas en el sustrato (SIW)[1-6]; todo esto gracias a las ventajas que traen consigo en cuanto al desempeño de parámetros como la ganancia, la directividad, la forma del patrón de radiación, la eficiencia[7-9], etc. Sin embargo, la fabricación de guías de onda ranurada y de reflectores es costosa y compleja. Aunque la tecnología SIW es fácil de fabricar también a bajas frecuencias de ondas milimétricas, en el rango inferior a los THz la distancia necesaria para guiar el modo de guía de ondas con una baja fuga a través de las paredes laterales no debe ser más que unos pocos micrómetros, recomendación esta que no puede ser alcanzada por procesos comerciales de placa de circuito impreso que están disponibles en la actualidad [10].

Una alternativa creciente y que se alza como una opción atractiva en las bandas de ondas superiores a la banda Ku (mayores de 12 GHz) son las antenas holográficas [11]. Dichas antenas se pueden realizar con diferentes tipos de tecnologías como procesos de grabado o con procesos de película delgada [12, 13]. La idea de la antena holográfica ya fue publicada en 1968 por P. Checcacci [14, 15]. Existen varias variantes, siendo las más comunes las que emplean como antena alimentadora una antena de bocina o alguna antena u arreglo con elevado ancho de banda integrado en

# DISEÑO DE UNA ANTENA HOLOGRÁFICA SIMPLE CAPA EN LA BANDA KA 30 GHZ

el sustrato [16-18]. En las antenas holográficas se emplea la teoría de la holografía óptica como analogía para la determinación de las características de radiación y el diseño en contraste con otros tipos de antenas.

El interés creciente por los diseños basados en la teoría holográfica está justificado fundamentalmente por la baja complejidad, la flexibilidad que se logra en el patrón de radiación y las buenas habilidades de integración a pesar de la baja eficiencia de apertura, y la baja ganancia [19]. En el mismo sentido en la banda Ka (26-40 GHz) han emergido múltiples aplicaciones incluidas: Local Multi-point Communication/Distribution Systems (LMCS/LMDS por sus siglas en inglés) y los Sistemas de Comunicaciones por Satélite (SATCOM). Estos sistemas traen consigo elevados anchos de banda para transmitir el volumen de datos que requiere una comunicación de alta demanda a la vez que la tendencia de los fabricantes de Telecomunicaciones es disminuir costos en los terminales, integrar los sistemas y simplificar la complejidad de los mismos; para lo cual las antenas holográficas se muestran como una opción viable.

En la actualidad se están consolidando múltiples aplicaciones en las frecuencias de la banda Ka en donde se incluyen los LMDS y los SATCOM, los que requieren altos anchos de banda para la transmisión de servicios simultáneos como voz, internet de banda ancha y videoconferencias. Esto unido a la disminución de costos y a la complejidad de instalación de los sistemas requiere de antenas de bajo perfil y bajo costo, pero que cumplan con las exigencias de la aplicación. De ahí que el objetivo del presente artículo sea diseñar y simular una antena holográfica de una capa en la banda Ka a 30 GHz, para aplicaciones de comunicaciones inalámbricas.

## 2. CONSIDERACIONES DEL DISEÑO

### Geometría de la antena holográfica

La configuración de la antena holográfica considerada en este trabajo, consiste en una placa de dieléctrico delgada (sustrato) en donde se dibujan líneas conductoras. El contorno y espaciamiento de los anillos conductores dependen en general de la localización de la antena alimentadora y del patrón de radiación deseado. Estas líneas conductoras se corresponden con el patrón de interferencia de dos fuentes, que en nuestro caso es la fuente alimentadora y el patrón de radiación deseado.

En el caso particular del diseño que nos ocupa, la antena alimentadora está localizada en el plano del dieléctrico y se asume que irradia una onda esférica. Se requiere que el patrón de radiación sea normal a dicha superficie por lo que el dibujo de las líneas en la superficie del sustrato (superficie holográfica) debe ser un número de anillos concéntricos circulares espaciados a  $\lambda g$  (lambda en la guía).

El ancho de las líneas metálicas ( $w$ ) se asume lo suficientemente pequeño para simular lo mejor posible la situación del patrón interferente de una línea infinitesimal. El ancho del sustrato dieléctrico ( $t$ ) es también muy estrecho para reducir los efectos de la onda de superficie. El largo de la apertura ( $L$ ) de la antena holográfica es seleccionado para obtener una buena directividad y eficiencia de apertura. En la Fig. 1 se muestra la geometría de la antena holográfica a diseñar y simular.

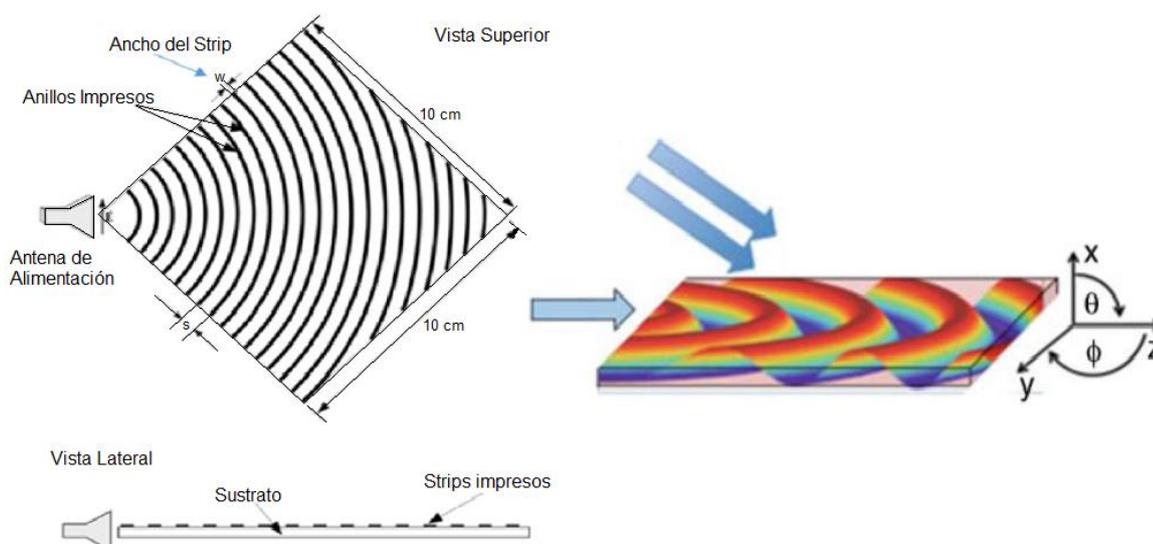


Figura 1: Geometría de la antena holográfica a diseñar y simular.

### Especificaciones del diseño

La banda Ka va des de los 26 – 40 GHz. La eficiencia de abertura se corresponde con [13, 20]. Se considera como sustrato el Duroid de baja pérdida [20]. Los datos iniciales del diseño se muestran en la Tabla 1 y las dimensiones físicas de la antena se ilustran en la Tabla 2.

Tabla 1: Datos iniciales del diseño.

Parámetros	Valor
Frecuencia de trabajo(f)	30GHz
Permitividad relativa( $\epsilon_r$ )	3.38
$\lambda_g \approx \lambda_0$	0.01m(10mm)

Tabla 2: Dimensiones físicas de la antena.

Parámetros	Valor
Espesor del sustrato(t)	0.508mm
Altura del cobre del sustrato	0.1mm
Largo(L)	10cm
Ancho(A)	10cm
Espacio entre elemento( $s= \lambda_0$ )	10mm
Ancho de la línea (w)	0.254mm
$\Theta_0$ y $\phi_0$	$0^0$ (patrón normal a la superficie)
Guia de onda	WR-28
a(ancho)	7.112mm
b(altura)	3.556mm

En la Fig. 2 se pueden apreciar las dimensiones reales de la guía de onda WR-28 a utilizar en nuestro diseño. Como el área lateral de la guía no supera 1 cm<sup>2</sup>, las soluciones en la banda Ka son pequeñas y de fácil integración con diseños existentes.



Figura 2: Dimensiones de la guía de onda WR-28.

### Selección y simulación del alimentador

En la bibliografía consultada se vieron varias propuestas de antena alimentadoras para el diseño final de la antena holográfica en banda Ka. En la presente sección se emplea, para la simulación y el diseño final, la antena de bocina piramidal por las facilidades que brinda en la simulación.

Se escoge el criterio de antena de bocina piramidal óptima. Se plantea un requerimiento inicial de ancho del haz a -3dB de 28° en ambos planos. Los datos iniciales se muestran en la Tabla 3.

# DISEÑO DE UNA ANTENA HOLOGRÁFICA SIMPLE CAPA EN LA BANDA KA 30 GHZ

Tabla 3: Datos iniciales de diseño de la antena bocina piramidal.

Parámetros	Valor
f	30 GHz
Guía de onda	WR-28
a	7.112 mm
b	3.556 mm
Ancho del haz a -3dB	28°

Aplicando el criterio de diseño de la antena de bocina piramidal óptima [21] e implementando dicho criterio en un programa en Mathcad se obtienen los resultados finales del diseño que se muestran en la Fig. 3.

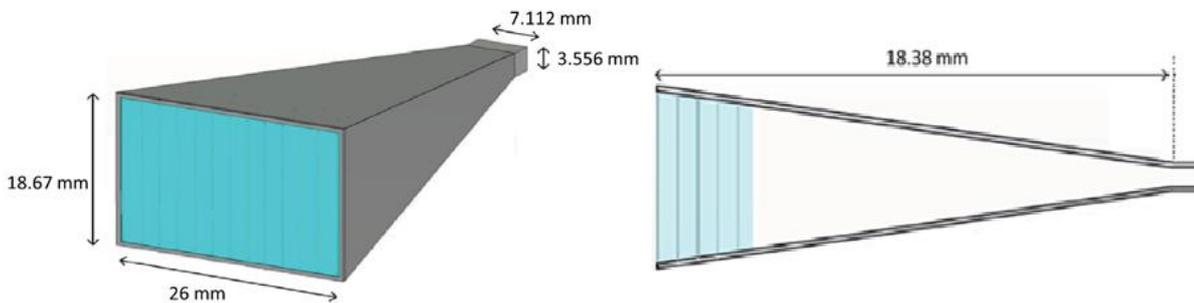


Figura 3: Dimensiones de diseño de la antena bocina Piramidal.

### 3. SIMULACIÓN DE LA ANTENA DE BOCINA PIRAMIDAL EN LA BANDA KA

Se procede a simular la antena alimentadora de la superficie holográfica. La simulación se lleva a cabo en el programa ANSOFT HFSS versión de software 13.0, el cual emplea el Método de Elementos Finitos (FEM por sus siglas en inglés) para solucionar problemas electromagnéticos en 3D (Fig. 4) y modelar dispositivos pasivos volumétricos.

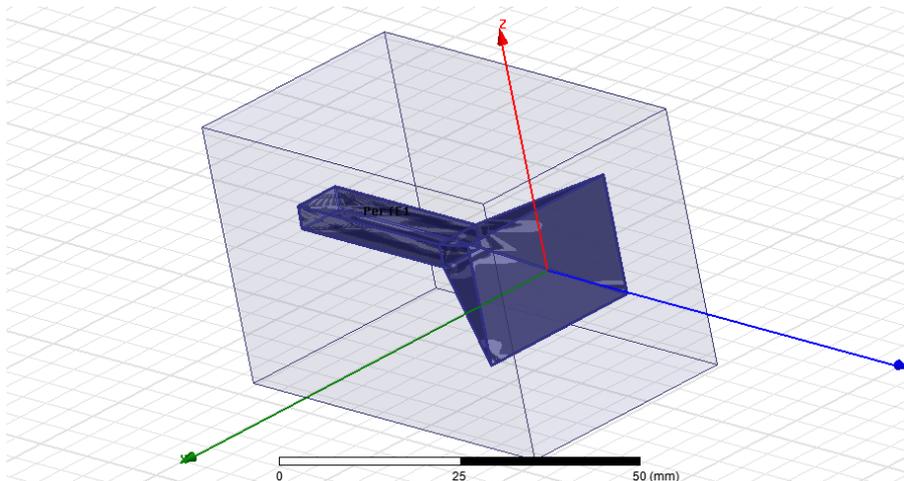


Figura 4: Modelo de la antena de bocina piramidal implementado en el software ANSOFT HFSS 13.0.

La simulación de la antena ofrece resultados alentadores como se ve en la Fig. 5. En ella se ve el diagrama rectangular del patrón de radiación por el plano vertical (plano E). En este plano se cumple perfectamente con el criterio de diseño donde se aprecia en la gráfica en marcadores que el HPBW es de 28° aproximadamente.

Para el plano H se aprecia en la Fig. 6 como el HPBW no supera los 26°. A pesar de no lograrse exactamente los 28°, el resultado es alentador, lográndose gran simetría en el patrón de radiación.

En la Fig. 7 se muestra la gráfica de la ganancia de la antena en donde se aprecia una característica típica de las antenas de bocina y un valor máximo de ganancia de 16,16 dB. Con este precedente se proyecta que la ganancia de la antena holográfica final es mucho menor en tanto que en este último diseño se pierde mucha potencia dada la disposición geométrica de la placa de sustrato.

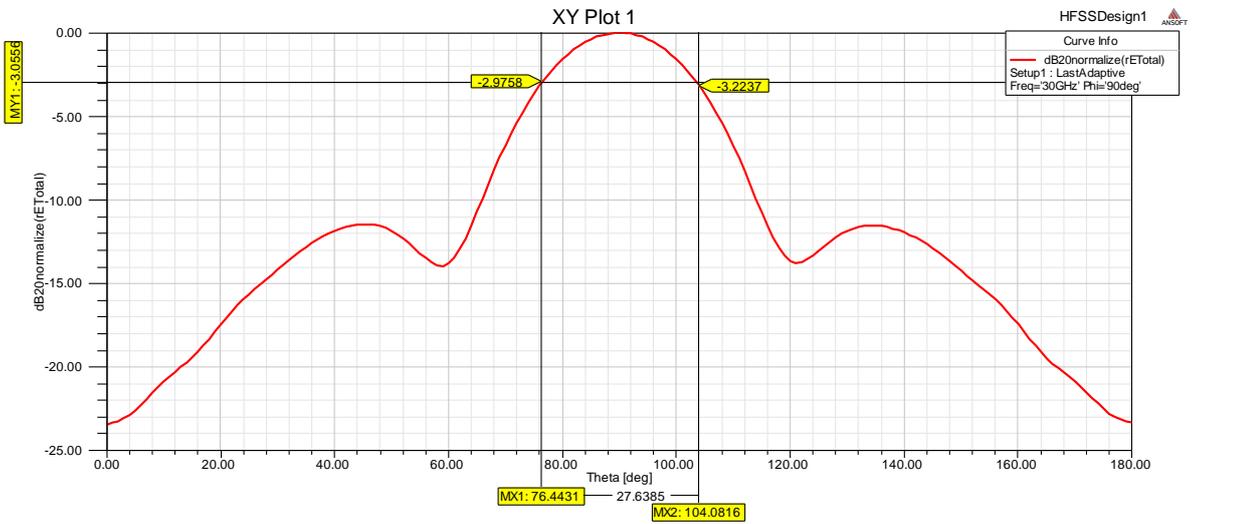


Figura 5: Patrón de radiación de la antena bocina piramidal en el plano E

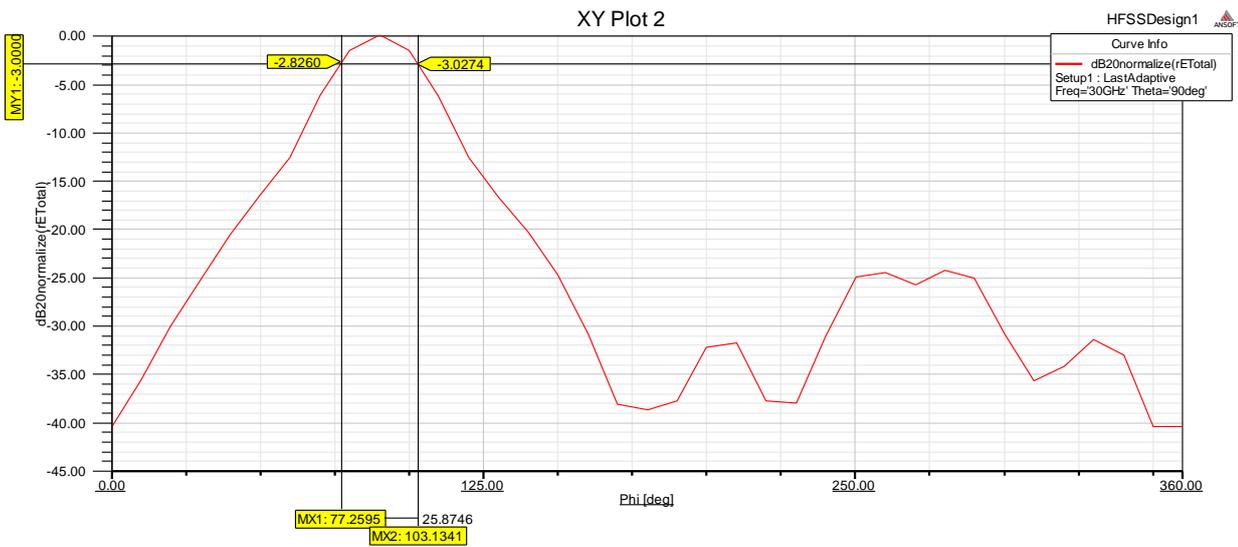


Figura 6: Patrón de radiación de la antena bocina piramidal en el plano H.

La Fig. 8 se muestra el diagrama polar del patrón de radiación en 3D donde se aprecian de forma más clara el nivel de lóbulos traseros característicos de las antenas de bocina y la alta directividad de la misma. En la escala de colores se resalta en rojo la dirección de mayor intensidad del campo eléctrico.

El parámetro  $S_{11}$  se muestra en la Fig. 9 y se evidencia como a lo largo del barrido de frecuencias establecido en el setup de la simulación, se mantiene por debajo de -20 dB, característico en este tipo de antenas. Particularmente a la frecuencia del diseño: 30 GHz, como se ve en marcadores en la misma figura el parámetro  $S_{11} = -20,8$  dB aproximadamente.

# DISEÑO DE UNA ANTENA HOLOGRÁFICA SIMPLE CAPA EN LA BANDA KA 30 GHZ

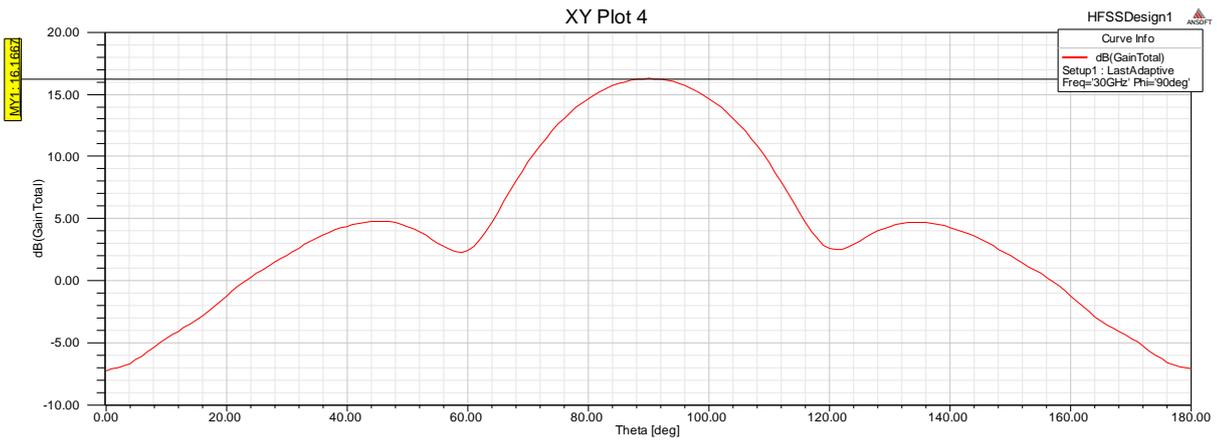


Figura 7: Ganancia de la antena.

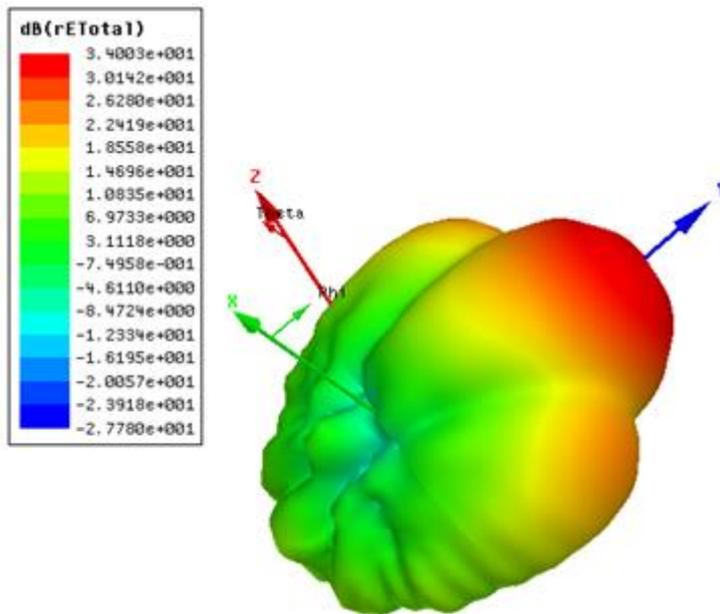


Figura 8: Patrón de radiación en 3D de la antena de bocina piramidal.

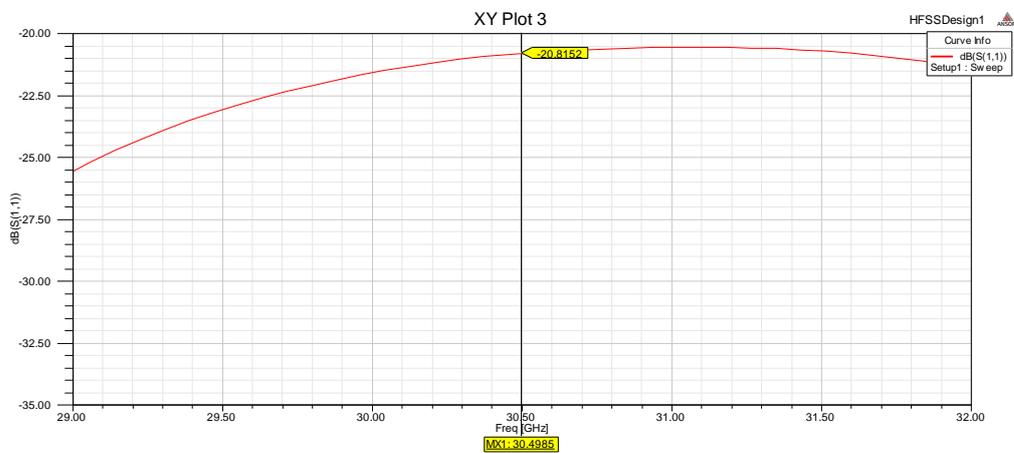


Figura 9: Parámetro S11.

## Simulación del sistema bocina-placa de sustrato (antena holográfica) en la banda Ka

El modelo de la antenna holográfica de una capa en banda Ka a 30 GHz empleando una antenna de bocina como antenna alimentadora implementado en el EMS (Electro Magnetic Software) HFSS 13.0 queda como se muestra en la Fig. 10.

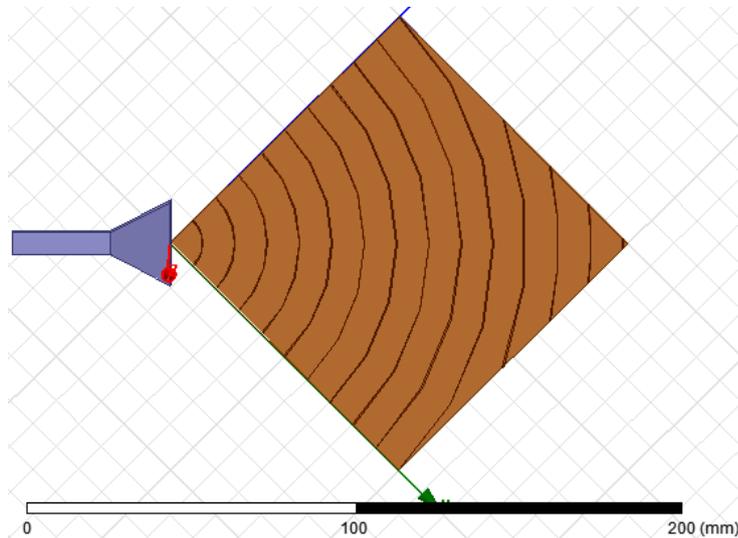


Figura 10: Implementación de la antenna holográfica en HFSS.

En la Fig. 11 se muestra el patrón de radiación en 3D del diseño final de la antenna holográfica, a la izquierda de la figura se visualiza una escala de colores que indica la intensidad del Campo Eléctrico. Este patrón de radiación coincide con los consultados en la bibliografía y se ve como gran parte de la potencia radiada por la antenna alimentadora, gracias a la disposición geométrica de los anillos en la placa de sustrato (superficie holográfica), es reradiada a través del patrón interferente en una dirección normal a la superficie holográfica que fue el parámetro inicial del diseño. El patrón de radiación obtenido es el esperado en la dirección normal a la superficie holográfica, superando por ambos planos los  $74^\circ$  de ancho del haz de media potencia (Fig. 12), corroborando la poca directividad de la solución que emplea como antenna alimentadora una antenna de bocina externa a la placa de material [20]. Lo anterior es debido a que se usa una sola placa de sustrato (simple capa); con la adición de una segunda placa separada  $\lambda_g/2$  de la primera, aumenta la directividad de la antenna como se ve en [20] pero se incrementa el tamaño de la misma. En la presente solución, las pérdidas de retorno no sufren cambios significativos con la introducción de la placa de sustrato, manteniéndose en el entorno de los -20.8 dB (Fig. 9).

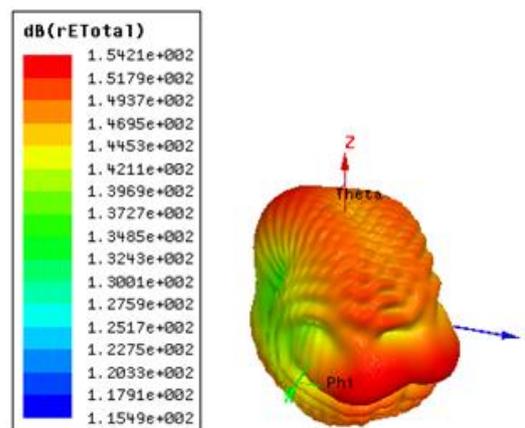


Figura 11: Patrón de radiación en 3D.

# DISEÑO DE UNA ANTENA HOLOGRÁFICA SIMPLE CAPA EN LA BANDA KA 30 GHZ

La Fig. 12 muestra la característica direccional en coordenadas polares normalizada en dB, donde se aprecia una relación más clara delante atrás del patrón de radiación. En la misma se observan los dos planos principales (E y H). El patrón de radiación resultante cumple con los requisitos del diseño.

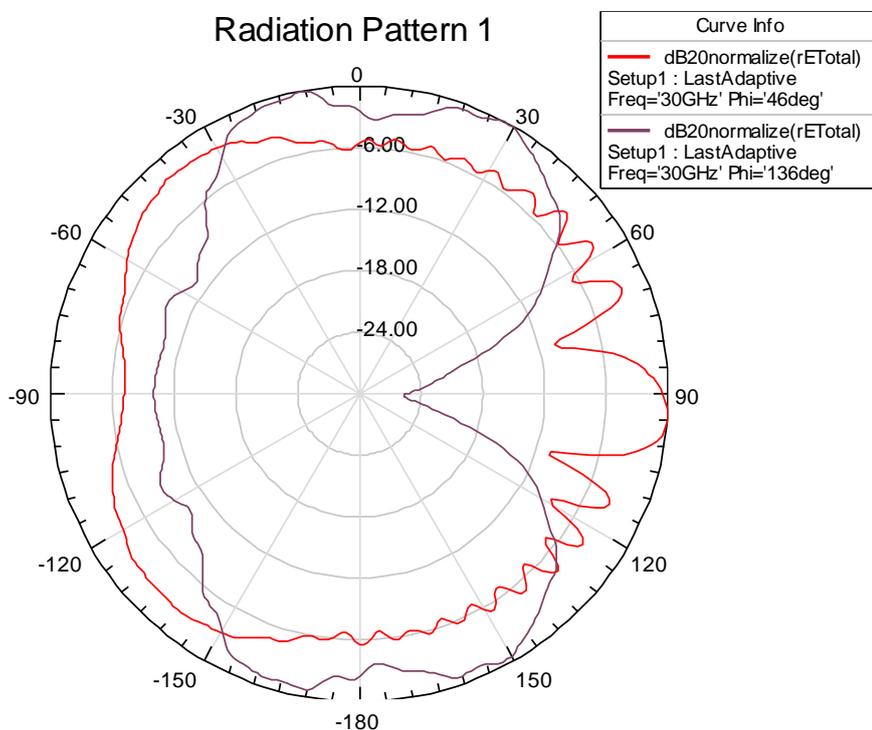


Figura 12: Patrón de radiación en coordenadas polares. Plano E y plano H.

## 4. CONCLUSIONES

En el presente artículo se abordaron los aspectos básicos del diseño de antenas holográficas en la banda Ka. Se procede al diseño y simulación de la antena de bocina piramidal óptima como antena alimentadora y posteriormente se procede a la simulación de la antena holográfica. De los resultados obtenidos se deja como constancia que el parámetro S11 a la frecuencia de diseño es de -20.8dB, el patrón de radiación queda en dirección normal a la superficie holográfica y la antena se presenta como una opción viable para el sistema LMDS.

## REFERENCIAS

- [1] ORTEGA GONZÁLEZ Daryl, and ARZOLA MORRIS Pedro."Diseño de antena de bocina con corrugaciones variables para aplicaciones de Radar". Proc. Convencion Internacional Informática 2018,VIII Simposio de Telecomunicaciones, La Habana,Cuba 2018
- [2] Gan, L., Jiang, W., Gong, S., Chen, Q., and Li, X."A Low-profile and High-gain Circularly Polarized Antenna Based on Holographic Principle". Proc. Asia-Pacific Microwave Conference 2018
- [3] Fonseca, N.J.G., Girard, E., and Legay, H."Doubly Curved Reflector Design for Hybrid Array Fed Reflector Antennas". IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2018, vol 1, num. 99, pp. 1-1.
- [4] Wan, X., Zhang, L., Jia, S.L., Yin, J.Y., and Cui, T.J."Horn Antenna with Reconfigurable Beam-Refraction and Polarization Based on Anisotropic Huygens Metasurface". IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2017, vol 65, num. 9, pp. 4427-4434.
- [5] Hosseini, A., Kabiri, S., and Flaviis, F.D. "V-band High-gain Printed Quasi-Parabolic Reflector Antenna with Beam-Steering". IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2016, vol 65, num. 4, pp. 1589-1598.
- [6] Fauzi, N.F., Ali, M.T., Rahman, N.H.A., and Y.Yamada. "Optimized Parabolic Reflector Antenna for Malaysia Beam Coverage". Proc. IEEE Asia-Pacific Conference on Applied Electromagnetics (APACE), Langkawi, Kedah, Malaysia2016.

- [7] Zhu, J., Liao, S., Li, S., and Xue, Q. "60 GHz Dual-Circularly Polarized Planar Aperture Antenna and Array". IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2018, vol 66, num. 2, pp. 1014-1019.
- [8] Zhang, S., Du, J., and Li, P. "Design of shaped offset cable mesh reflector antennas considering structural flexible property". IET Microwaves, Antennas & Propagation, 2017, vol 11, num. 7, pp. 1024-1030.
- [9] González, D.O., Valdés, L.F., Sosa, A.M.-M., and Morris, P.A. "Diseño de antena de bocina corrugada a 3 GHz para uso en cámaras anecoicas". Telemática, 2017, vol 16, num. 3, pp. 1-14.
- [10] Chen, Z.N., Liu, D., Nakano, H., Qing, X., and Editors, T.Z. "Handbook of Antenna Technologies" : Springer Nature, 2015.
- [11] Liu, Y., Li, N., Jia, Y., Zhang, W., and Zhou, Z. "A Low RCS and High Gain Patch Antenna Based on holographic Metasurface". IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, 2019, vol 18, num. 3, pp. 492-496.
- [12] Liu, X., Zhang, Y., Chen, K., and Zhu, G. "Planar Integrated Holographic Antenna with Substrate Integrated Waveguide". Revista de la Facultad de Ingeniería U.C.V, 2017, vol 32, num. 1, pp. 779-787.
- [13] E.Almajali, A.Petosa, McNamara, D.A., and, J.W. "A Low Profile Planar Holographic Antenna with Two-Layer Hologram & Integrated Feed". Proc. 17th International Symposium on Antenna Technology and Applied Electromagnetics (ANTEM), USA2016.
- [14] P.Checcacci, V.Russo, and A.Scheggy: "Holographic Antennas". IEEE Transactions on Antenna and Propagation, 1970, vol 18, num. 6, pp. 811-813.
- [15] Checcacci, P. "Holographic Antennas". Proceedings of the IEEE, 1968, vol 56, num. 12, pp. 2165-2167.
- [16] Rusch, C., Sch, J., Gulan, H., Pahl, P., and Zwick, T. "Holographic mmW-Antennas with TE<sub>0</sub> and TM<sub>0</sub> Surface Wave Launchers for Frequency-Scanning FMCW-Radars". IEEE Transactions on Antenna and Propagation, 2015, vol 63, num. 4, pp. 1603-1613.
- [17] Rusch, C., Sch, J., Gulan, H., and Zwick, T. "2D-Scanning Holographic Antenna System with Rotman-Lens at 60 GHz". Proc. The 8th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP 2014)2014.
- [18] Sutinjo, A., Okoniewski, M., and Johnston, R.H. "A Holographic Antenna Approach for Surface Wave Control in Microstrip Antenna Applications". IEEE TRANSACTIONS ON ANTENNAS AND PROPAGATION, 2010, vol 58, num. 3, pp. 675-682.
- [19] Yu, E.L.-Y. "A Numerical Modelling Study of a Planar Holographic Antenna", University of Ottawa, 2011.
- [20] K.Levis, A.Itipiboon, A.Petosa, L.Roy, and P.Berini. "Ka-band dipole holographic antennas". IET Journal and Magazine, 2001, vol 148, num. 2, pp. 129-132.
- [21] Stincer, E.P. "Técnicas de Antena". Imprenta ITM José Martí, La Habana, Cuba, 2007.

## SOBRE LOS AUTORES

**Eduardo Marrero Fernández**, Ing. en Telecomunicaciones y Electrónica, investigador de la Universidad de la Habana, ORCID: 0000-0001-6996-6397, colaborador con el Grupo de Investigación de Radares.

**Daryl Ortega González**, Ing. en Telecomunicaciones y Electrónica, Profesor instructor e investigador, Grupo de Investigación de Radares, Departamento de Telecomunicaciones y Telemática, Facultad de Telecomunicaciones y Electrónica, Universidad Tecnológica de la Habana José Antonio Echeverría (CUJAE), ORCID: 0000-0002-9272-4553, actualmente trabaja en temas relacionados con las antenas.

**María del Carmen Guerra Martínez**, MSc. Profesora Asistente del Grupo de investigación de comunicaciones inalámbricas de la Universidad Tecnológica de la Habana José Antonio Echeverría (CUJAE), ORCID: 0000-0003-1989-4414, actualmente trabaja en temas relacionados con las antenas.

## CONFLICTO DE INTERESES

Ninguno de los autores manifestó la existencia de posibles conflictos de intereses que debieran ser declarados en relación con este artículo.

## CONTRIBUCIONES DE LOS AUTORES

**Eduardo Marrero Fernández**: Conceptualización, curación de datos, análisis formal, investigación, metodología, software, validación-verificación, visualización, redacción-borrador original.

# DISEÑO DE UNA ANTENA HOLOGRÁFICA SIMPLE CAPA EN LA BANDA KA 30 GHZ

**Daryl Ortega González:** Conceptualización, curación de datos, análisis formal, investigación, metodología, validación-verificación, visualización, redacción-borrador original, redacción-revisión y edición, supervisión.

**María del Carmen Guerra Martínez:** Conceptualización, curación de datos, análisis formal, investigación, metodología, visualización, redacción-borrador original, supervisión.

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.

