

Uso del HFSS en el Diseño y Simulación de una Antena Holográfica con Reflector para la Banda Ka (30GHz)

Use of HFSS in the Design and Simulation of a Holographic Antenna with reflector for the Ka Band (30GHz)

Ing. Narciso Aurelio Cruz Pérez^{1*}, MSc. Daryl Ortega González², MSc. María del Carmen Guerra Martínez³

Recibido: 04/2020 | Aceptado: 08/2020

Palabras clave

Antenas Holográficas
Hogramas
Patrón de Radiación
Directividad
Antena Alimentadora
Sustrato
HFSS

Resumen

En el mundo de las Telecomunicaciones y con la próxima llegada de la nueva generación de las tecnologías inalámbricas 5G, las antenas holográficas han ido cobrando cada vez más interés, gracias a su facilidad de integración, bajos costos, posibilidad de “adaptar” su patrón de radiación y gran ancho de banda. El presente trabajo investigativo consiste en lograr un diseño y simulación de una antena holográfica de capa simple con reflector incorporado, destinado para la banda Ka a 30 GHz, con un patrón de radiación normal a la superficie holográfica y la posibilidad de ser empleada en aplicaciones de Sistemas Multipunto de Distribución Local (LMDS). Para esto se utilizó una placa de sustrato que contiene un holograma (con líneas conductoras, las cuales se corresponden con el patrón de interferencia de dos fuentes: la fuente alimentadora y un patrón de radiación deseado), una antena bocina como antena alimentadora y una superficie reflectora. Todo este sistema fue simulado a través del *software* ANSOFT HFSS versión 15.0. Como resultado se obtiene un patrón dirigido de forma normal a la superficie holográfica, con una mayor directividad y ganancia que si no se utilizara una placa reflectora, al tiempo, que constituye un diseño pequeño, de fácil integración y construcción.

Abstract

In the Telecommunications world, and with the upcoming arrival of the new generation of 5G wireless technologies, holographic antennas have been gaining more interest, due to their ease of integration, low costs, possibility of “adapting” their radiation pattern and high bandwidth. The following research is aimed at achieving a design and simulation of a single layer holographic antenna with a built-in reflector, intended for the 30 GHz Ka band; with a radiation pattern normal to

1* Empresa de Telecomunicaciones de Cuba S.A. narciso.cruz@etecsa.cu

2 Universidad Tecnológica de La Habana “José Antonio Echeverría”, CUJAE. dortegag@tele.cujae.edu.cu

3 Universidad Tecnológica de La Habana “José Antonio Echeverría”, CUJAE. mariagm@tele.cujae.edu.cu

Keywords

Holographic Antennas
Holograms
Radiation Pattern
Directivity
Feeder Antenna
Substratum
HFSS

the holographic surface and the possibility of being used in applications of Local Multipoint Distribution Systems (LMDS). Hence, a substrate plate was used containing a hologram (with conductive lines, which match the interference pattern of two sources: the power source and a desired radiation pattern), a horn antenna as a power antenna, and a surface reflector. This entire system was simulated through ANSOFT HFSS version 15.0 software. From the results obtained, a pattern directed in a normal way to the holographic surface is achieved, with greater directivity and gain than if a reflector plate was not used, at the same time it was a small design, easy to integrate and build.

Introducción

La incesante búsqueda y desarrollo de diferentes tipos de antenas cada vez más eficientes, capaces de operar a Super Altas Frecuencias (SHF) y con baja latencia, permitiendo transmitir y enviar información de manera prácticamente instantánea, harán realidad muchas aplicaciones que hasta el momento constituyen sueños irrealizables. (Balanis, Constantine A, 2008)

Esto conllevó a que se retomase nuevamente el estudio y desarrollo de las antenas holográficas (Movahhedi, Karimipour, y Komiani, 2019) (Nicholson, Kelvin J.; Baum, Thomas C.; Patniotis, Joel E.; Ghorbani, Kamran, 2020) (Galler, Frey, Waldschmidt, y Chaloun, 2020) (Mei, Tang, y Xiao), que ya habían sido relegadas a un segundo plano desde su aparición en la década del 60 del siglo pasado. Sin embargo, su estudio ha demostrado el interés en las mismas (Peng, Jianhua, Zhengpeng, y Zhiping, 2017), sustentado en su facilidad de integración, bajos costos, posibilidad de “adaptar” su patrón de radiación y gran ancho de banda (Jia, Yongtao; Liu, Ying; Feng, Yijun; Zhou, Zhipeng) (Liu, Ying; Li, Na; Jia, Yongtao; Zhang, Wenbo; Zhou, Zhipeng, 2019).

Dentro de esta esfera, las antenas holográficas de capa simple, conformadas por una placa de dieléctrico delgada (sustrato) que contiene un holograma que simula el patrón de radiación deseado, compuesto por líneas conductoras espaciadas a una distancia determinada (Almajali, E.; Petosa, A.; McNamara, D. A.; Wight, J., 2016), constituyen una opción viable para ser empleadas en aplicaciones de Sistemas Multipunto de Distribución Local (LMDS), por su sencillez y bajo costo.

Por esta razón, se propuso incorporarle una placa reflectora que mejorara el patrón de radiación, su

directividad y ganancia, todo lo cual mejoraría su eficiencia y, por ende, sus potencialidades. (Ly, Huan-Huan; Huang, Qiu-Lin; Hou, Jian-Qiang; Shi, Xiao-Wei; Liu, Jin-Lin, 2019).

La forma de incorporar la placa reflectora, su geometría, la teoría que la justifica y la sustenta, así como lograr el diseño y simulación de todo este sistema, con la utilización del *software* ANSOFT HFSS en su versión 15.0, constituyen los objetivos de esta investigación. Los resultados obtenidos fueron positivos, se corresponden con la bibliografía consultada y trazan un camino para continuar profundizando en este fascinante mundo de las Antenas Holográficas.

Materiales y métodos

Para el desarrollo de esta investigación se utilizó una placa de sustrato que contiene un holograma (con líneas conductoras, las cuales se corresponden con el patrón de interferencia de dos fuentes: la fuente alimentadora y un patrón de radiación deseado), una antena bocina como antena alimentadora y una superficie reflectora. Todo este sistema fue simulado a través del *software* ANSOFT HFSS versión 15.0.

Resultados y discusión

Programa de simulación electromagnética HFSS

HFSS es un *software* de alto rendimiento para el diseño, modelación y simulación de estructuras en tercera dimensión (3D), creado para altas frecuencias (Tapia L. y Mena M.) (Ozis, Ezgi; Osipov, Andrey V.; Eibert, Thomas F., 2015). También se puede definir

como un simulador de CEM de alto rendimiento que posibilita la modelación de dispositivos pasivos volumétricos en 3D.

Este *software* desarrollado por Ansys, integra simulación, visualización, modelado de sólidos y automatización en un ambiente de fácil aprendizaje, donde las soluciones a problemas electromagnéticos en 3D se obtienen de forma rápida y precisa. Constituye una herramienta útil para resolver sistemas de estructura compleja que son difíciles o imposibles de modelar considerando métodos puramente algebraicos. Permite el cálculo de diferentes parámetros como: frecuencia de resonancia, campo radiado, impedancia, característica de puertos y los parámetros S. Posibilita el estudio electromagnético de modelos a través de acoplamientos adaptativos y la visualización del comportamiento de las ondas electromagnéticas por medio de herramientas interactivas y dinámicas. Utiliza diferentes algoritmos matemáticos para realizar la simulación de objetos en 3D, como: El Método de los Elementos Finitos (FEM) y el Método de los Momentos (MoM), que permiten conformar un mallado adaptativo auto-máticamente al modelo.

Características de la antena holográfica a diseñar

El sistema completo se compone de una antena holográfica (que contiene un holograma), una placa reflectora y una antena alimentadora o excitadora consistente

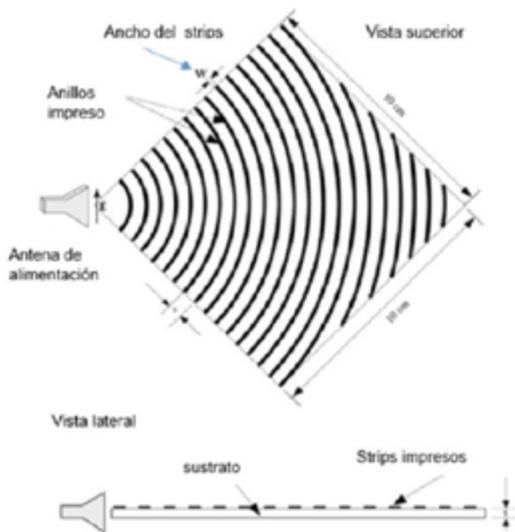


Figura 1. Geometría de la antena holográfica a diseñar y simular

en una antena de bocina piramidal (Almajali, E.; Petosa, A.; McNamara, D. A.; Wight, J., 2016). (Figura 1).

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 (L) de la antena holográfica es debidamente seleccionado para obtener una buena directividad y eficiencia de apertura. (Figura 2).

Debajo de la antena holográfica, a una distancia de $\lambda/4$, se coloca el reflector, el cual está formado por un

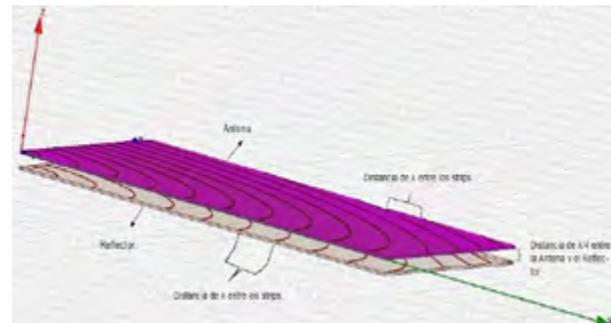


Figura 2. Vista lateral de la Antena Holográfica. Debajo el reflector

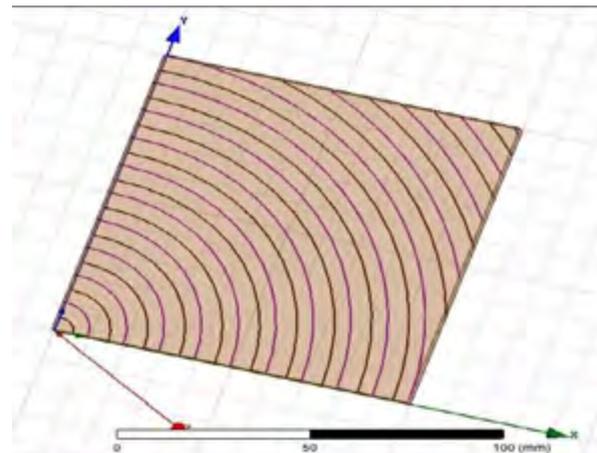


Figura 3. Vista Superior de la Antena Holográfica. Se aprecian los strip de la Antena y de su Reflector

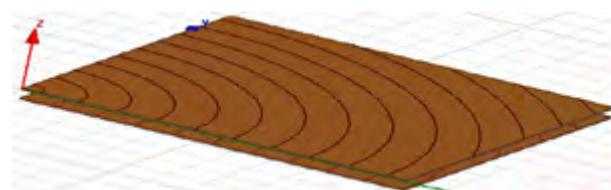


Figura 4. La distancia de los "strips" del reflector con respecto al vértice, no coinciden con los de la antena holográfica

conductor perfecto, en este caso: cobre. También posee líneas o “strips” espaciados a una distancia de λ (Figura 4), de forma tal, que los “strips” del reflector coinciden exactamente en el medio de la distancia de cada uno de los “strips” de la antena holográfica, como se puede apreciar en la figura 4.

Para lograr lo anterior, el primer “strips” de la antena holográfica deberá empezar a una distancia de $\lambda/2$ desde el vértice de la misma.

Características de la antena alimentadora

Estas bocinas son el resultado de la combinación entre el sectorial plano E y el sectorial plano H, es decir, aumenta sus dimensiones en ambos planos, lo cual es sinónimo de mejorar sus valores de directividad en ambos planos. Muy utilizada en microondas, también se usan ampliamente en la astronomía como un elemento de alimentación en los reflectores de gran tamaño para seguimiento de satélites. Además de su utilidad como alimentador para los reflectores y lentes, es un elemento común de las matrices por etapas y sirve como un estándar universal para la calibración y cálculo de la ganancia de las antenas de alta ganancia (Checcacci, P.; Russo, V.; Scheggy, A., 1970). Su aplicabilidad generalizada, se debe a su simplicidad en la construcción, la facilidad de excitación, su versatilidad y gran ganancia.

Tiene la ventaja de transmitir ondas con productos sin polarización cruzada, que junto con el hecho de que su ganancia se puede calcular exactamente a partir de sus dimensiones físicas, hacen de estas bocinas una atractiva herramienta para la medición de la ganancia (Wan, Zhang, Jia, Yin, y Cui, 2017).

Método de las imágenes

Constituye un método que ayuda a

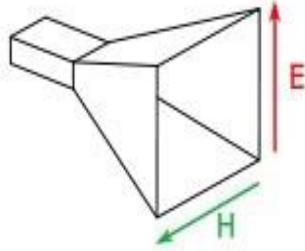


Figura 5. Bocina piramidal

simplificar los cálculos y fundamenta el fenómeno que ocurre, cuando las antenas están cercanas a una superficie plana, lisa, conductora, con una longitud grande con respecto a la longitud de onda que se está utilizando (0,1m ó 10 mm), la cual hace la función de reflector (Pérez Stincer, Enrique, 2007).

Este método plantea que: “La presencia de cualquier fuente, frente a una superficie plana de alta conductividad, provoca la inducción de cargas y corrientes, las cuales a su vez producen un campo en el medio exterior igual al que produciría una fuente imagen”.

El principio de trabajo de esta antena con el reflector es el siguiente: la antena holográfica produce una radiación al espacio poco direccional; parte de esta energía radiada incide sobre la superficie del conductor y se refleja, por lo que la radiación hacia atrás, es decir, en sentido negativo del eje Z es prácticamente nula (excepto por los efectos de difracción en los bordes del reflector). (Figura 6).

Unido a esto, tendrá lugar un efecto de interacción electromagnética entre el dipolo y el plano conductor, que provocará un cambio de impedancia de entrada de la antena. Es decir, la presencia del reflector deberá influir no sólo en el problema externo (la característica direccional de la antena), sino además en el problema interno (cambiando la impedancia de entrada de la antena).

Como se ha visto, se puede sustituir el plano conductor por una antena holográfica imagen, idéntica a la real, situada a una distancia Δ detrás del reflector. De acuerdo con el Método de las Imágenes, se debe suponer que esta antena imagen tiene aplicada la misma tensión que la antena real, pero de signo contrario. La antena debe ser considerada como un sistema discreto, formado por dos antenas holográficas paralelas idénticas separadas a una distancia 2Δ .

Parámetros utilizados para la simulación del sistema

Para la simulación de la antena holográfica con reflector incorporado se ha utilizado como tipo de diseño: HFSS-IE Dessing, que desarrolla el MoM. También se usan variables para especificar cada uno de los parámetros utilizados, resultando más flexible la modificación de los mismos.

El sistema en su conjunto se compone de: Tabla 1. En el caso de la bocina piramidal se utilizó la siguiente configuración: Tabla 2.

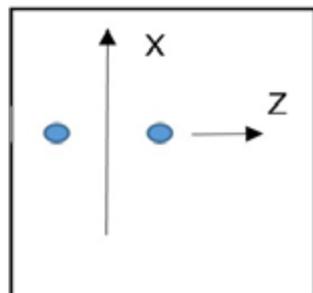


Figura 6. Resultado de la aplicación del Método de las imágenes

Parámetros/Elementos	Valor
Frecuencia de trabajo	30 GHz
Guía de onda	WR-28
Antena Alimentadora	Tipo: Bocina Piramidal
Antena Principal	Tipo: Holográfica con reflector incorporado
Separación entre placas	$\lambda/4$
Ancho del haz a -3dBi	28°
Permitividad Relativa (ϵ_r)	3,38
$\lambda_g \approx \lambda_0$	0,01m (10 mm)
θ_0 y Φ_0	0 0 (patrón normal a la superficie)

Tabla 1. Componentes del sistema

Parámetros	Valor
Solution Frequency	30 GHz
Maximum number of passes	6
Maximum Delta S per pass	0,02
Do Lambda Refinement. Lambda Target:	0,25
Maximum Refinement Per Pass	30%
Minimum Number of Passes	1
Minimum Converged Passes	1
Sweep Type	Fast
Frequency Setup	Type: Linear count, Start: 28GHz, Stop: 32GHz, Count: 41

Tabla 3. Parámetros del Análisis de la Antena Holográfica

Parámetros	Valor
Solution Frequency	30 GHz
Maximum number of passes	6
Maximum Delta S per pass	0,02
Sweep Type	Fast
Frequency Setup	Type: Linear count Start: 28GHz Stop: 32GHz

Tabla 2. Parámetros del Análisis de la Antena de Bocina Piramidal

Para la antena holográfica fueron utilizados los siguientes parámetros de la Tabla 3.

Resultados de la simulación de la Antena de Bocina Piramidal como Antena Alimentadora

Para la simulación de la antena de bocina piramidal, que es la antena alimentadora o excitadora de la antena holográfica con reflector, se emplea el Método de Elementos Finitos (FEM por sus siglas en inglés)

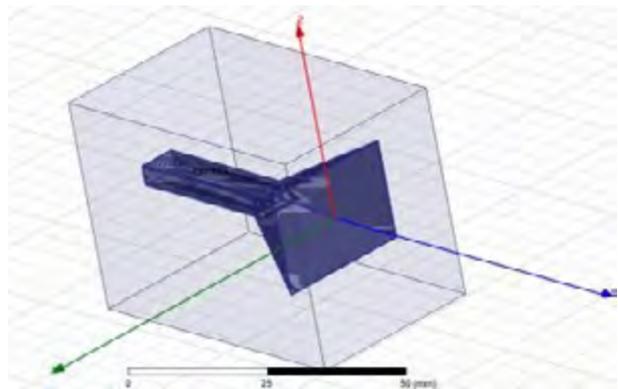


Figura 6. Modelo de la antena de bocina piramidal do en el software ANSOFT HFSS 15.0



Figura 6-1. Dimensiones de la Guía de Onda a utilizar

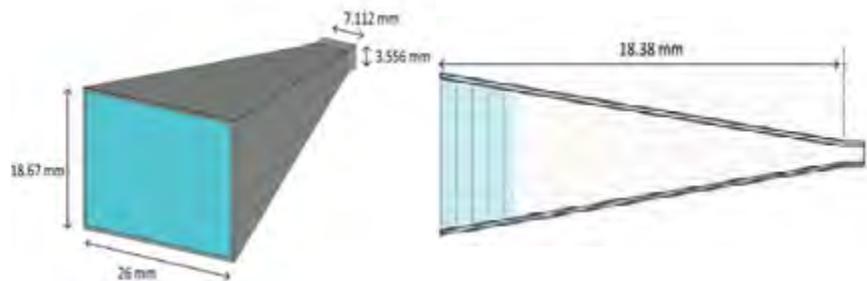


Figura 6-2. Dimensiones físicas de la Antena alimentadora

para solucionar problemas electromagnéticos en 3D (Figura 6-7) y se modelan los dispositivos pasivos volumétricos 3D.

La simulación de la antena ofrece resultados positivos, como se aprecia en la Figura 6-4. Se presenta el diagrama rectangular del patrón de radiación por el plano vertical (plano E), en el cual se cumple perfectamente con el criterio de diseño, siendo el HPBW de 28° aproximadamente.

Para el plano H se aprecia en la Figura 6-5 como el HPBW no supera los 26 dB.

Lo cual no deja de ser un resultado alentador lográndose gran simetría en el patrón de radiación.

En la Figura 6-6 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 dBi. Con este precedente se proyecta que la ganancia de la antena holográfica final es

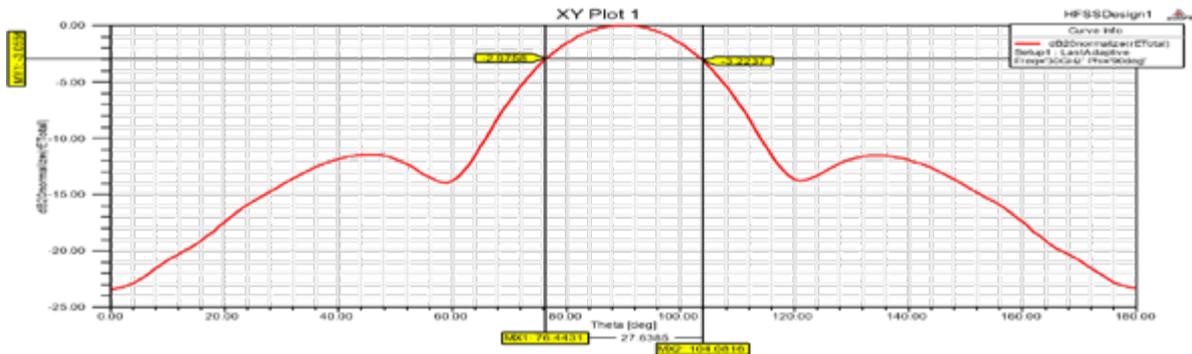


Figura 6-4. Patrón de radiación de la antena bocina piramidal en el plano E

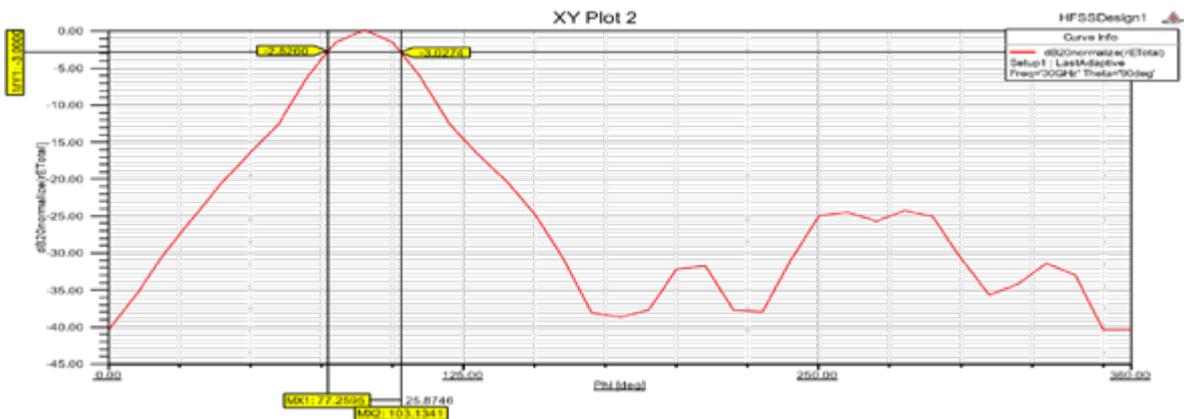


Figura 6-5. Patrón de radiación de la antena bocina piramidal en el plano H

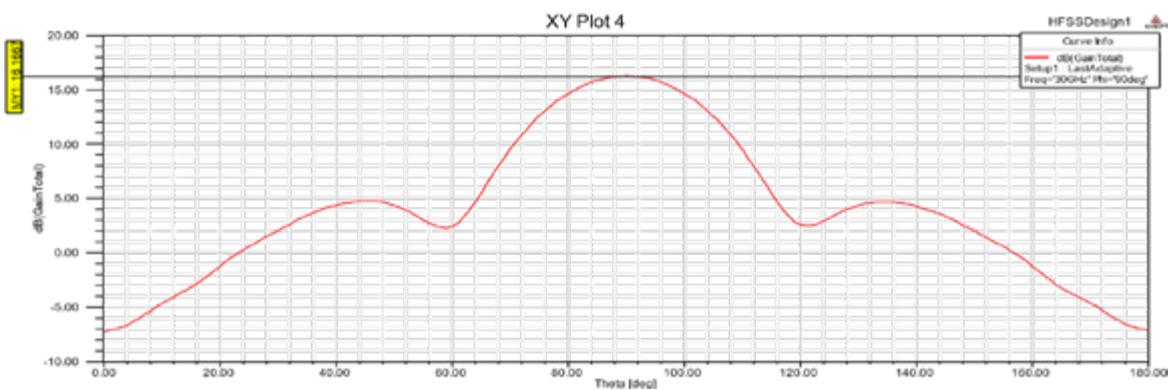


Figura 6-6. Ganancia de la antena

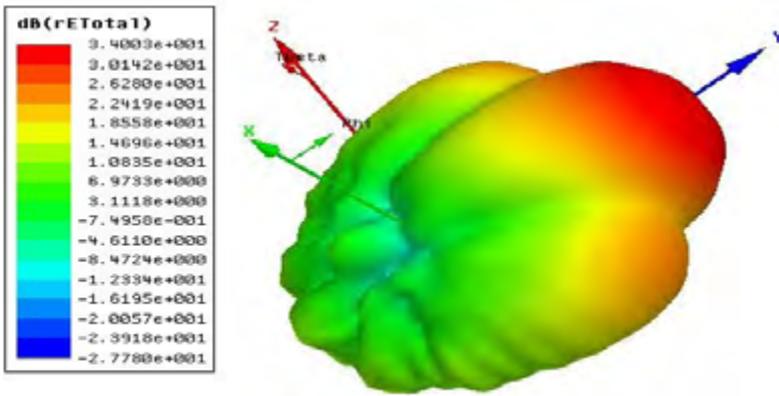


Figura 6-7. Patrón de radiación en 3D de la antena de bocina piramidal

Resultados de la Simulación del Sistema en su conjunto

A través de las operaciones con el *software* empleado se obtiene el Patrón de Radiación, como se muestra en las figuras 7-1 y 7-2 respectivamente. Se puede observar que la antena holográfica con reflector incorporado posee un patrón de Radiación mejor definido y con más directividad que el patrón obtenido de ésta misma antena, pero sin reflector.

Específicamente en la figura

7-1 se muestra el patrón de radiación en 3D del diseño final de la antena 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 (Levis, K.; Ittipiboon, A.; Petosa, A.; Roy, L.; Berini, P., 2001) y se puede apreciar cómo gran parte de la potencia radiada por la antena alimentadora, gracias a la disposición geométrica de los anillos en la placa de sustrato (superficie holográfica), es re radiada 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. Aunque angosto en ambos planos, el patrón presenta un haz de media potencia de 30° aproximadamente, lo

mucho menor en tanto que en este último diseño se pierde mucha potencia dada la disposición geométrica de la placa de sustrato.

La Figura 6-7 muestra el diagrama polar del patrón de radiación en 3D donde se aprecia de forma más clara el nivel de lóbulos traseros característicos de las antenas de bocina.

El parámetro S_{11} , se muestra en la figura 6-8 y se evidencia cómo a lo largo del barrido de frecuencias establecido en el setup de la simulación, se aprecia que se mantiene por debajo de -20 dBi, característico de antenas de gran ancho de banda como las antenas de bocina. Particularmente a la frecuencia del diseño 30 GHz como se ve en marcadores en la misma figura el parámetro $S_{11} = -20,8$ dBi aproximadamente.

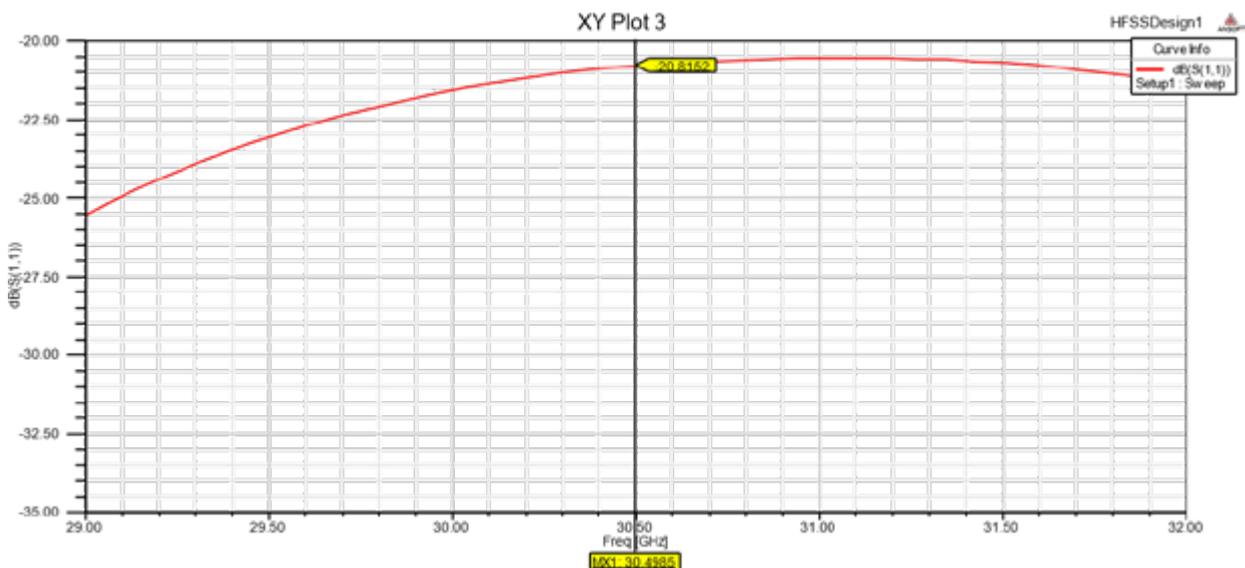


Figura 6-8. Parámetro S_{11}

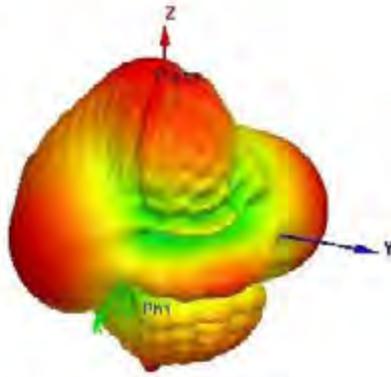
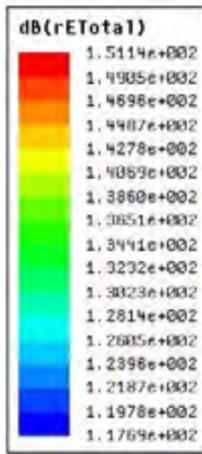


Figura 7-1. Patrón Radiación 3D

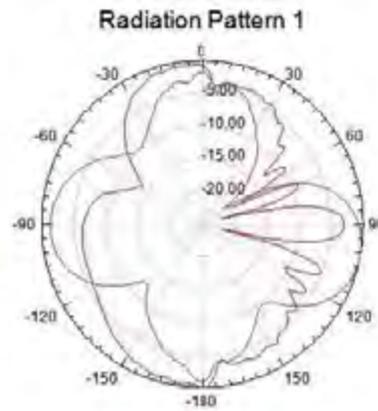


Figura 7-2. Patrón Radiación coordenadas polares. Planos E y H

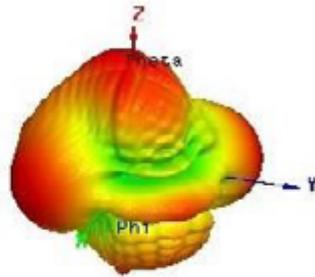
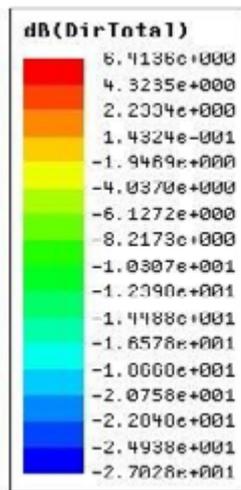
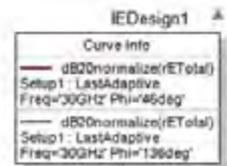


Figura 7-3. Directividad en dBi

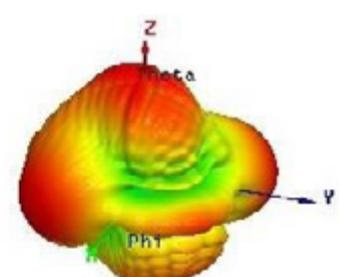
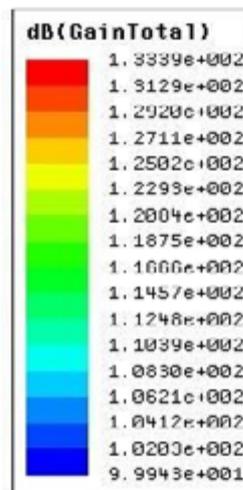


Figura 7-4. Ganancia en dBi

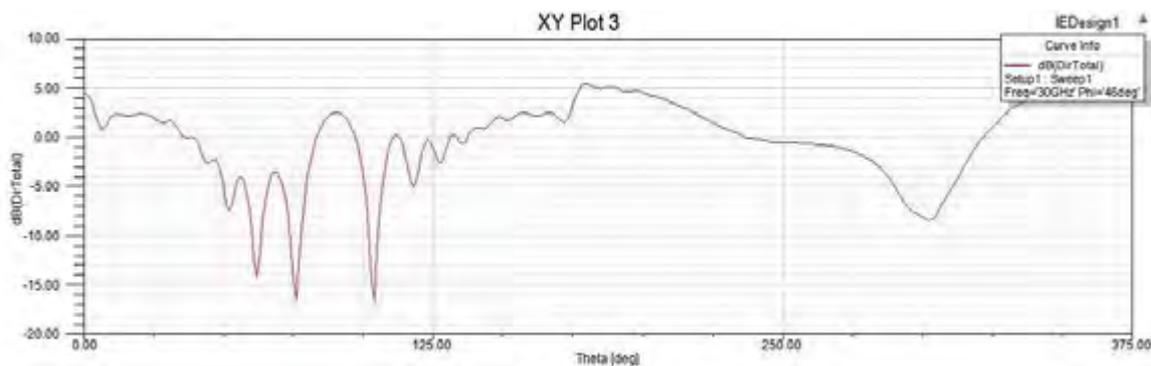


Figura 7-5. Directividad en el Plano XY

que representa un aumento de la directividad respecto a los 74° de ancho del haz de media potencia logrado por la antena de capa simple con la misma bocina alimentadora. Aunque aumenta la directividad, las soluciones que emplean como antena alimentadora una antena de bocina externa a la placa de material sigue siendo pobre en ganancia. Si bien con la introducción de una segunda placa aumentan las dimensiones fisi-

cas de la antena, esto no debe significar un contratiempo. En la presente solución, las pérdidas de retorno no sufren cambios significativos con la introducción del segundo sustrato, manteniéndose en el entorno de los -20.8 dBi.

Se mejoran los parámetros de directividad con 6.4 dBi y la ganancia con 1.33 dBi, como se muestra en las figuras 7-3 y 7-4, respectivamente.

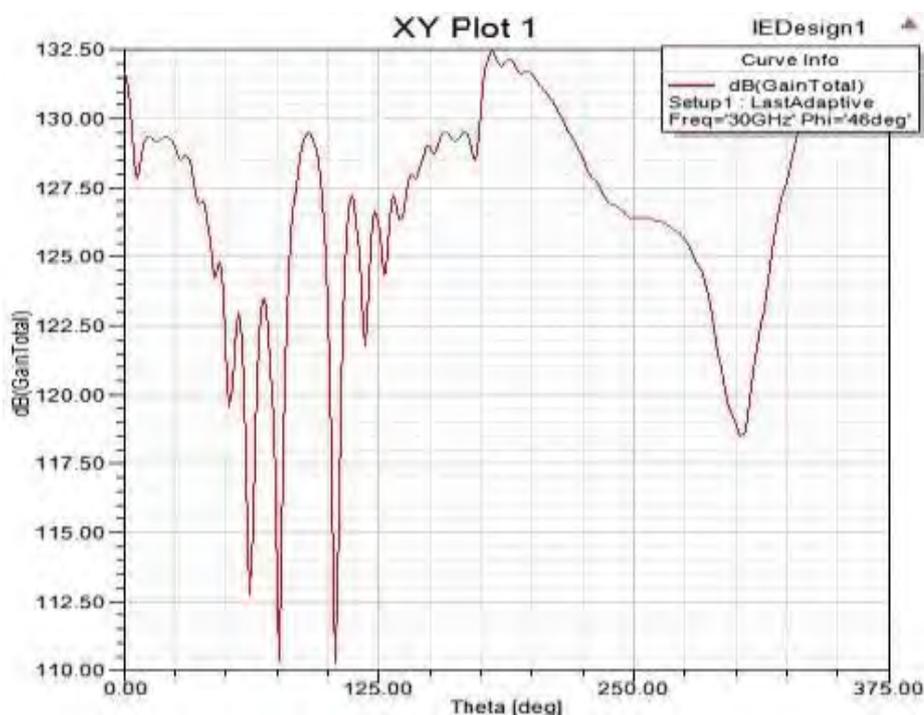


Figura 7-6. La Ganancia en el Plano XY

El comportamiento de la directividad en dBi observada desde el plano XY puede apreciarse en la figura 7-5.

De igual forma la ganancia en dBi observada en el Plano XY, se presenta a través de la figura 7-6.

Conclusiones

En el artículo se aborda la fundamentación teórica del diseño tanto de las antenas de bocina piramidal como de las holográficas. Se realiza un análisis previo, a través del método de las imágenes, del patrón de radiación resultante de la antena doble capa; lo que fundamenta la solución de proponer un plano reflector para estrechar el patrón de radiación normal a la superficie.

Se diseña y simula la antena de bocina piramidal que sirve como alimentador del sistema, dando como

resultado un patrón de radiación con 25° de haz de media potencia, aproximadamente por ambos planos, y unas pérdidas de retorno a la frecuencia de diseño de -20 dBi, lo cual la hace ideal para las exigencias de la antena holográfica doble capa.

Posteriormente, se diseñó y simuló la antena holográfica con reflector incorporado o doble capa. Los resultados obtenidos fueron los esperados según la bibliografía consultada, obteniéndose un patrón de radiación en la dirección normal a la superficie holográfica, que posee un ancho de haz de media potencia de 30° por ambos planos y por lo tanto la antena, por sus pequeñas dimensiones, sencillez y bajo costo, se presenta como una opción viable para aplicaciones del sistema LMDS.

Referencias bibliográficas

- Almajali, E.; Petosa, A.; McNamara, D. A.; Wight, J. (2016). A Low Profile Planar Holographic Antenna with Two-Layer Hologram & Integrated Feed. *17th International Symposium on Antenna Technology and Applied Electromagnetics (ANTEM)* (págs. 1-2). Montreal, QC, Canada: IEEE.
- Balanis, Constantine A. (2008). *Modern Antenna Handbook*. London, Reino Unido: John Wiley & Sons.
- Checcacci, P.; Russo, V.; Scheggy, A. (1970). Holographic Antennas. *IEEE Transactions on Antenna and Propagation*, 811-813.

- Galler, T.; Frey, T.; Waldschmidt, C. y Chaloun, T. (2020). High-Gain Millimeter-Wave Holographic Antenna in Package Using Glass Technology. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*.
- Jia, Yongtao; Liu, Ying; Feng, Yijun; Zhou, Zhipeng. (s.f.). Low-RCS Holographic Antenna With Enhanced Gain Based on Frequency-Selective Absorber. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 2020.
- Levis, K.; Ittipiboon, A.; Petosa, A.; Roy, L.; Berini, P. (2001). Ka-band dipole holographic antennas. *IET Journal and Magazine*, 129-132.
- Liu, Ying; Li, Na; Jia, Yongtao; Zhang, Wenbo; Zhou, Zhipeng. (2019). Low RCS and High-Gain Patch Antenna Based on a Holographic Metasurface. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*.
- Ly, Huan-Huan; Huang, Qiu-Lin; Hou, Jian-Qiang; Shi, Xiao-Wei; Liu, Jin-Lin. (2019). Holographic Design of Beam-Switchable Leaky-Wave Antenna. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*.
- Mei, L., Tang, M.-C., & Xiao, S. (s.f.). Design of a LP, RHCP and LHCP Polarization-Reconfigurable Holographic Antenna. *IEEE Access*, 2019.
- Movahhedi, M., Karimipour, M., & Komiani, N. (2019). Multibeam Bidirectional Wideband/Wide-Scanning-Angle Holographic Leaky-Wave Antenna. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, Vol 18.
- Nicholson, Kelvin J.; Baum, Thomas C.; Patriotis, Joel E.; Ghorbani, Kamran;. (2020). Discrete Holographic Antenna Embedded in a Structural Composite Laminate. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*.
- Ozis, Ezgi; Osipov, Andrey V.; Eibert, Thomas F. (12 de Nov de 2015). HFSS for Electrically Large Antenna System Design: Hybrid Simulation Technology. Obtenido de : <https://ars.copernicus.org/articles/15/29/2017>
- Peng, H.; Jianhua, W.; Zhengpeng, W.; y Zhiping, L. (2017). Digital Holographic Reconstruction and Filtering Method for Antenna Planar Near-Field Phase-Less Measurement. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*.
- Pérez Stincer, Enrique;. (2007). *Técnicas de Antenas*.
- Tapia L. V. y Mena M. P. (s.f.). *P1 Introducción HFSS*. Obtenido de: <https://es.scribd.com/document/482866346/P1-Introduccion-HFSS-1>
- Wan, X.; Zhang, L.; Jia, S.; Yin, J. y Cui, T. (2017). Horn Antenna with Reconfigurable BeamRefraction and Polarization Based on Anisotropic Huyens Metasurface. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 4427-4434.

