

ANTENAS LENTES CON METAMATERIALES Y SU APLICACIÓN EN TECNOLOGÍA ESPACIAL

Patricio Gross ⁽¹⁾, **Juan Pablo Ciafardini** ⁽¹⁾, **Felipe Vico Bondia** ⁽²⁾, **J. Alberto Bava** ^{(1), (3)}, **Miguel Ferrando Bataller** ⁽²⁾.

(1) Departamento de Electrotecnia, Facultad de Ingeniería, UNLP, La Plata, Bs As, Argentina

(2) Instituto de Telecomunicaciones y Aplicaciones Multimedia (ITEaM), Universidad Politécnica de Valencia (UPV), España.

(3) Centro de Investigaciones Ópticas (CIOP), CONICET, La Plata, Bs As, Argentina.

patricio_gross@yahoo.com.ar, jpciafar@hotmail.com, felipe.vico@gmail.com, bava@ciop.unlp.edu.ar, mferrand@dcom.upv.es

RESUMEN

Los metamateriales son estructuras artificiales que se desarrollan para manifestar diversas propiedades electromagnéticas que no están presentes en materiales que se encuentran en la naturaleza.

En este trabajo se presentan antenas lentes biconvexa plana diseñada con metamateriales utilizando materiales no homogéneos, con la finalidad de ser aplicada a la detección de satélites de órbita baja. Se analizarán características de lentes construidas con constante dieléctrica variables y lentes binarias de zonas de Fresnel. Se describen las ecuaciones de diseño de los modelos de lentes planos, con el objetivo de obtener su mejor implementación. Un análisis físico de la estructura nos permitirá evaluar su peso y tamaño.

Haciendo una analogía con antenas reflectoras, se estudiarán los parámetros característicos de cada antena lentes, analizando su eficiencia, su ganancia y su relación frente espalda. Los resultados son analizados realizando simulaciones con software electromagnético en cada tipo de lente.

Las antenas lentes tienen la particularidad de permitir movilidad del haz o lograr haces múltiples, solo con el movimiento del alimentador principal en un plano. Se mostrarán simulaciones logrando diferentes posiciones del haz principal en función de la posición del alimentador principal.

1.- INTRODUCCION

Las lentes en microondas fueron populares décadas atrás y quedaron en desuso por ser voluminosas y costosas para construir. En estos últimos años nuevamente se convirtieron en temas de investigación y son aplicadas actualmente en antenas planas de recepción de TV vía satélite mediante Digital Broadcasting System (DBS), sistemas de comunicación personal (PCS), las comunicaciones mediante teléfono móvil (GSM, UMTS...), redes de área local inalámbricas (WLAN), enlaces de microondas entre estaciones bases de telefonía móvil o radares anticolidión en vehículos, entre otras aplicaciones. Las nuevas tecnologías de fabricación también han permitido que puedan ser implementadas en estas aplicaciones y el uso de

metamateriales con materiales no homogéneos permitió la elaboración de lentes planas, con estructuras de fácil construcción [1-5].

Los llamados metamateriales son estructuras artificiales que pueden ser diseñados para cumplir algunas propiedades electromagnéticas singulares dentro de un rango de frecuencias determinado. El prefijo meta significa después, más allá o también de una clase más alta. Por ello, estas estructuras son consideradas como un tipo de materiales con propiedades superiores a las que se pueden encontrar en la naturaleza.

Las antenas lentes planas son estructuras muy atractivas dentro de las microondas y de las ondas milimétricas debido a su robustez, su facilidad de construcción actual y a su notable

repetitividad en su fabricación. Una antena plana puede fabricarse haciendo variar su permitividad dieléctrica (épsilon relativo) para generar el cambio de fase (β) siguiendo el comportamiento de una lente biconvexa (Figura 1).

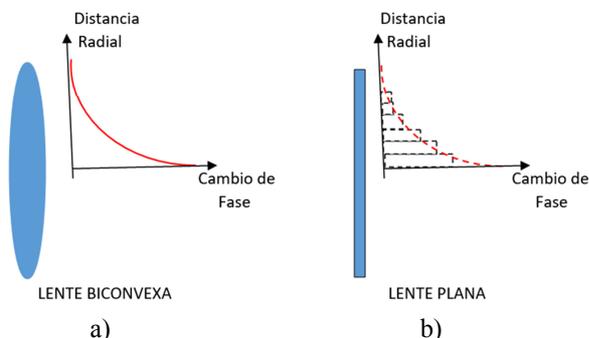


Figura 1- a) Lente biconvexa y b) lente plana equivalente.

La fase puede expresarse como:

$$\beta = \frac{2\pi}{\lambda} t = \frac{2\pi}{\lambda_0} \sqrt{\epsilon_r} t \quad (1)$$

donde β es la fase, t es el espesor de la lente plana, λ es la longitud de onda en el material, λ_0 es la longitud de onda en el aire y ϵ_r es la permitividad o constante dieléctrica relativa del material usado para construir la lente plana. Por lo tanto el cambio de fase en una lente plana se puede lograr, según lo expresado en la ecuación (1), haciendo variar la constante dieléctrica (Figura 2)

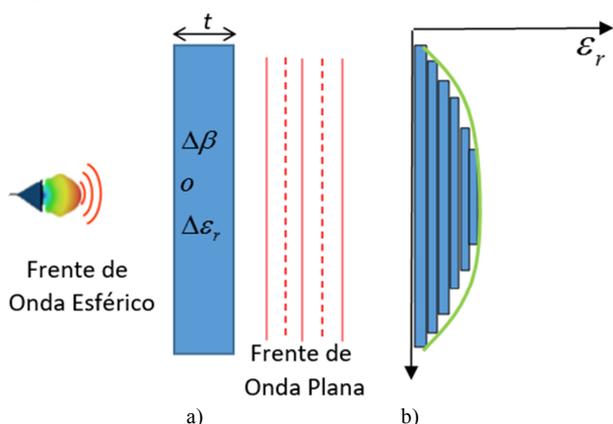


Figura 2 – a) Antena lente plana y b) perfil radial de la lente biconvexa.

En microondas son utilizadas lentes convergentes que permiten que un frente de onda esférico colocado en el foco de la lente genere un frente de onda plano cuando traspasa la lente, que

es el caso de transmisión y proceso inverso se producirá en la recepción (Figura 2 a)).

La construcción de una lente plana con un perfil radial de cambio de fase continuo es de difícil concreción, por lo tanto se realiza discretizando en pasos los valores de cambio de fase a fin de conseguir un cambio de fase radial que siga al perfil de un lente biconvexa (Figura 1 a) y 2 b)).

Actualmente existen diferentes técnicas para diseñar antenas lentes en microondas como son: lente plana con dieléctrico [1-2], lentes binarias de zonas de Fresnel [3-5], lentes planas con superficies selectivas en frecuencias (FSS) [6], etc.. En este trabajo analizaremos solo las lentes planas con dieléctrico y lentes binarias de zonas de Fresnel (FZP – Fresnel zone plate), realizando una comparación y su empleo en antenas de haces múltiples para usos espaciales. Se muestran los resultados de las simulaciones y de las medidas de una antena FZP correspondientes a un modelo fabricado.

2.- LENTES PLANAS

Una lente plana con dieléctrico se logra perforando una superficie dieléctrica de tal forma que la cantidad de orificios cambien su permitividad. Estas perforaciones se pueden implementar como una rejilla uniforme de orificios perforados a través del sustrato (Figura 3). Si el diámetro de los orificios y la separación entre ellos en este retículo se mantienen más pequeños en comparación con la longitud de onda de funcionamiento, el sustrato parecerá tener una permitividad relativa efectiva uniforme.



Figura 3- Lente plana con dieléctrico.

La permitividad efectiva de esta superficie puede ser controlada con el diámetro de los orificios y su separación. Cuanto mayor sea el

diámetro del orificio y menor sea su separación, menor será la permitividad efectiva para un material de sustrato dado. Esta técnica es conocida hace muchos años y se basa rejillas uniformes cuadradas y triangulares, conformada por perforaciones de un cierto diámetro [1-2].

En la figura 3 se observa un prototipo de antena lente en 23 GHz fabricada sobre teflón, de 100 mm de diámetro con un espesor de 10 mm, a fin evaluar y analizar sus características. Los problemas obtenidos con esta lente es que para bajos valores distancia focal a diámetro (f/D) o diámetros de antenas grandes, la antena aumenta su espesor aumentando considerablemente su peso (Figura 4).

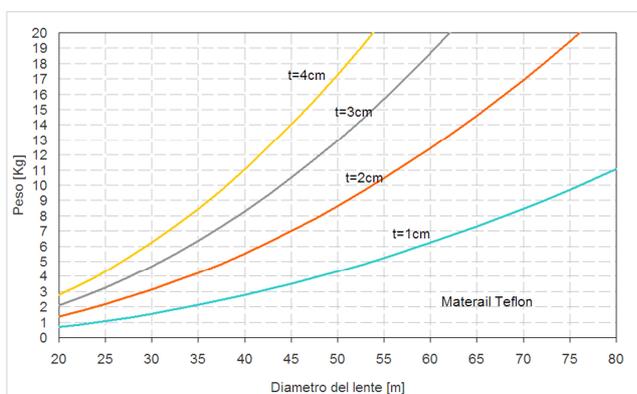


Figura 4 – Peso de la lente con dieléctrico en función al diámetro y su espesor.

Otra tipo de lente plana es la llamada comúnmente lente de zonas de Fresnel, siendo la más clásica la que se obtiene de colocar anillos metálicos concéntricos sobre una superficie dieléctrica a fin de lograr los desfases radiales deseados (Figura 5). La lente FZP actúa como una rejilla de difracción de elementos anulares [3-5].

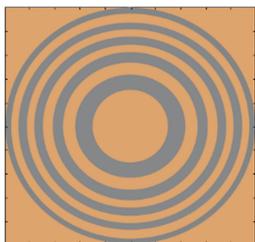


Figura 5- Esquema de una lente binaria de zonas de Fresnel (FZP).

Las lentes de Fresnel son más económicas y fáciles de fabricar debido a su configuración y de un peso total mucho menor comparadas con otros tipos de antenas lentes.

3.- MARCO TEÓRICO

En general, una lente FZP centrada en el origen de un sistema de coordenadas Cartesiano transforma un frente de onda esférica incidente con radio $z = -Fs$, en múltiples ondas esféricas enfocadas en el eje axial z con múltiples focos con distancia focal $z = +Fn$, con $n=1, 3, 5, \dots$ impares. La característica inusual de la lente FZP es su propiedad multifocal, la cual se debe a su naturaleza difractiva, y ésta es la mayor diferencia con las lentes típicas.

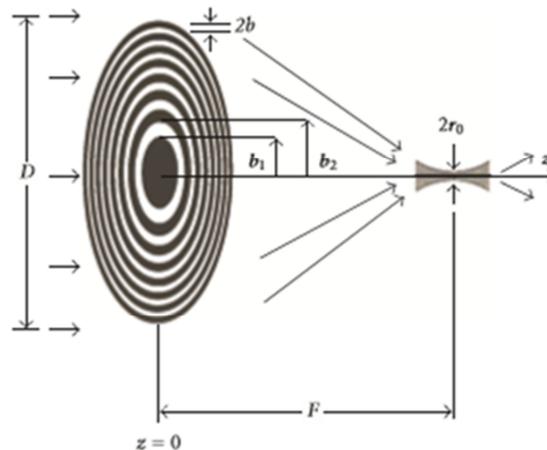


Figura 6 – Diagrama de diseño de la lente FZP [3].

La lente responde a la siguiente ecuación [3]:

$$b(m) = \sqrt{m\lambda F + \left(\frac{m\lambda}{2}\right)^2} \quad (2)$$

donde $b(m)$ es el radio de las zonas de Fresnel, λ es la longitud de onda y m es 1, 2, 3, ..., el número de zona de Fresnel y F es la distancia focal. La Figura 6 muestra un diagrama esquemático del diseño de la lente.

4.- RESULTADOS

Teniendo en cuenta las consideraciones de diseño de la ecuación (2) se simuló y construyó una antena binaria de zonas de Fresnel en la frecuencia de 23 GHz.

La antena lente se construyó montando anillos metálicos sobre una placa de material dieléctrico (Rohacel HF foam) que posee una constante dieléctrica muy próxima a la unidad y con una tangente de pérdida muy baja. La distancia f/D es de 0,46, con 3 anillos concéntricos y un diámetro de la lente de 172 mm (Figura 7 a) y b)), siendo su peso total de 100 gramos.

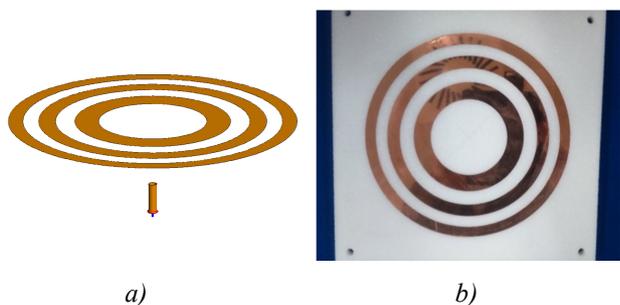


Figura 7 – a) Modelo simulado y b) modelo construido

Esta antena ofrece una interesante alternativa como antena de haces múltiples, logrando mover el haz principal solo con un simple desplazamiento en el plano xy del alimentador principal (Figura 8).

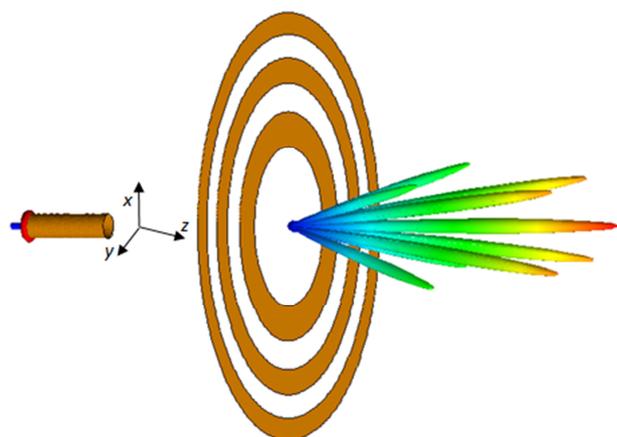


Figura 8 – Simulación en 3D del diagrama de irradiación de una lente FZP para distintas posiciones del iluminador sobre el plano xy .

En la Figura 9 se observa el resultado obtenido de la simulación de la antena lente diseñada para diferentes posiciones discretas del elemento radiante a lo largo de la dirección del eje x .

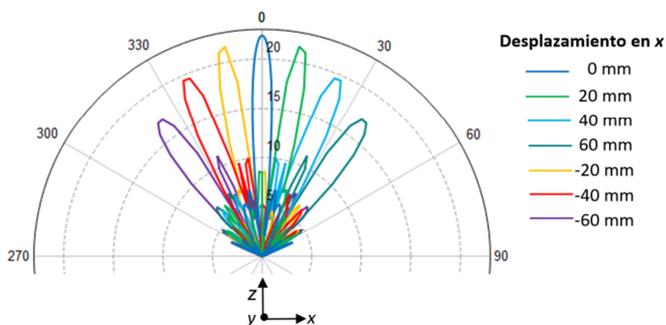


Figura 9 - Simulación de la lente FZF para desplazamientos del alimentador principal sobre el eje x .

Los resultados obtenidos de la simulación muestran la posibilidad de mover el haz principal en ángulos mayores de 30° con solo un desplazamiento de 60 mm sobre el eje x para las características de esta lente. Valores mayores a los 20 dB de ganancia se obtienen en los ángulos centrales, mientras decae en 3 dB cuando el haz se desvía en los 30° .

Se realizaron medidas del modelo diseñado iluminando la antena lente con una boca de guía de onda, obteniéndose los resultados que se muestran en la Figura 10.

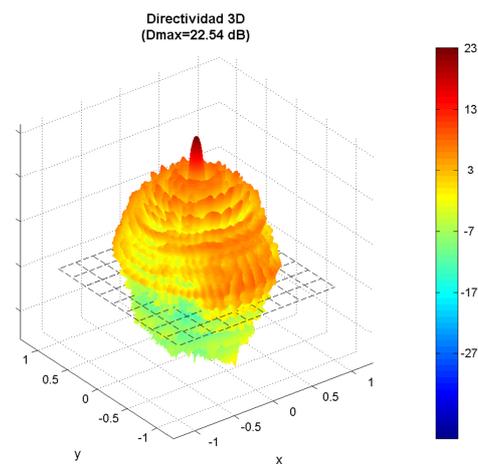


Figura 10 – Medida de la antena lente FDP en 23GHz.

Los valores obtenidos de las medidas muestran que la antena lente FZP posee una ganancia máxima de 22,6 dB y un ancho de haz de 4° a la frecuencia central de diseño (23 GHz).

5.- CONCLUSIONES

Como se observa en la descripción de este trabajo, ha sido posible la simulación y construcción de diferentes lentes mediante el empleo de metamateriales. Estas novedosas técnicas, junto a los cada vez más potentes Software de simulación electromagnética, permiten hacer diseños de forma rápida y a un bajo costo.

Un resultado importante arrojado de las simulaciones es la aplicación de antenas lentes como antenas de haces múltiples, permitiendo lograr haces en todas las direcciones variando solo la posición del alimentador principal en un plano, ya sea en sistemas terrestres como aeroespaciales.

Asimismo, las lentes con FZP tienen la ventaja de tener menores dimensiones comparadas con las lentes clásicas o lentes planas. Esto conduce a una reducción en el peso, característica altamente deseable en muchos campos, principalmente en la industria aeroespacial.

6.- REFERENCIAS

- [1] MARC IMBERT VILLA. (2016). **Design and Performance Evaluation of Millimeter-Wave Flat Lens Antennas for Communications, Radar and Imaging Applications**. Ph.D. program on Signal Theory and Communications.
- [2] DAVID A ROPER, BRANDON L GOOD, RAYMOND MCCAULEY, SHRIDHAR YARLAGADDA, JARED SMITH, AUSTIN GOOD, PETER PA and MARK S MIROTZNIK **-Additive manufacturing of graded dielectrics**, IOP Publishing, Smart Mater. Struct. 23 (2014) 045029 (9pp).
- [3] HRISTO D. HRISTOV. (2011). **Terahertz Harmonic Operation of Microwave Fresnel Zone Plate Lens and Antenna: Frequency Filtering and Space Resolution Properties**. International Journal of Antennas and Propagation. Volume 2011, Article ID 541734.
- [4] M. A. GOUKER and G. S. SMITH, **A millimeter-wave integrated circuit antenna based on the Fresnel zone plate**, IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, vol. 40, no. 5, pp. 968–977, 1992.
- [5] H. D. HRISTOV and M. H. A. J. HERBEN, **Millimeter-wave Fresnel-zone plate lens and antenna**, IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, vol. 43, no. 12, pp. 2779–2785, 1995.
- [6] MUDAR A. AL-JOUMAYLY AND NADER BEHDA, **Wideband Planar Microwave Lenses Using Sub-Wavelength Spatial Phase Shifters**, IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 59, no. 12, December 2011.