

DISEÑO, SIMULACIÓN Y MEDICIÓN DE UNA ANTENA LENTE BINARIA DE ZONAS DE FRESNEL

Ciafardini, Juan Pablo; Vernieri, Julieta; Gross, Patricio.

Departamento de Electrotecnia, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata.
Calle 48 y 116. julietavernieri@gmail.com

INTRODUCCIÓN

A principios del siglo XIX Agustín Fresnel, basándose en el fenómeno de difracción de la radiación al pasar a través de una abertura, publicó un trabajo en frecuencias ópticas [1] en el que definió el concepto de zonas que alternadamente producen interferencia constructiva e interferencia destructiva en el punto de recepción, hoy conocidas como zonas de Fresnel [2]. A partir de sus enunciados fue posible diseñar antenas planas de zonas de Fresnel (Fresnel Zone Plate, FZP por sus siglas en inglés) que fueron empleados en varias aplicaciones en un amplio rango del espectro. Sin embargo, recién en los últimos años ha habido un interés renovado en este tipo de diseño para aplicaciones en las bandas de microondas y hasta los Terahertz [3], donde ofrecen atractivas ventajas sobre las antenas lentes y antenas parabólicas tradicionales, entre las que se incluyen simplicidad de construcción, espesor muy reducido, peso ligero y bajo costo.

La antena FZP más difundida es la antena lente plana de zonas de Fresnel circular binaria (Circular Fresnel Zone Plate Lens, CFZPL por sus siglas en inglés) que consiste en zonas anulares concéntricas que alternan zonas transparentes con zonas opacas (material conductor) como se muestra en la Fig. 1. La lente FZP actúa como una rejilla de difracción. El radio, el ancho y la separación entre anillos permite igualar caminos eléctricos hacia un punto focal dado. La característica distintiva es su propiedad multifocal, debido a su naturaleza difractiva.

Los anillos opacos de material conductor coinciden con las zonas alternas de fase igual a 180° en la superficie de la apertura de la antena. Éstos bloquean las ondas electromagnéticas (EM) de la fuente, colocadas en el foco de la lente, que están desfasadas 180° en relación con el centro de la apertura. Las ondas EM que iluminan las regiones transparentes se difractan y se combinan para colimar un haz en el campo lejano.

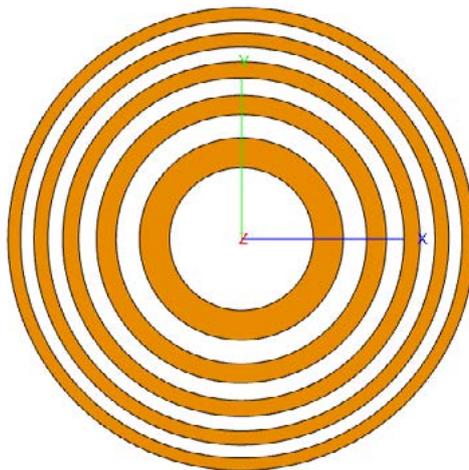


Figura 1: Esquema de una lente binaria de zonas de Fresnel (CFZPL).

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 $z = -F_s$, en múltiples ondas esféricas enfocadas en el eje axial z con múltiples focos con distancia focal $z = +F_m$, con $m=1, 3, 5, \dots$ 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 refractivas.

El primer enfoque o enfoque principal para el cual $m=1$ tiene una distancia focal F_1 . Éste recolecta la mayor parte de la energía de campo enfocada en el semiespacio delantero $z > 0$. Los demás focos son llamados focos secundarios, y se ubican en $z = F_3 = F_1/3$, $z = F_5 = F_1/5$, y así sucesivamente. La Figura 2 ilustra una lente FZP de amplitud binaria de diámetro D iluminada a lo largo del eje z por una onda plana que corresponde a $F_s = -\infty$. Con los focos secundarios ignorados, la lente tendrá un solo enfoque a una distancia focal $F = F_1$. Hemos considerado a la lente como funcionando en el modo de antena de recepción.

En la lente FZP dibujada en la Figura 2, las zonas opacas (franjas en negro) corresponden a valores impares de m .

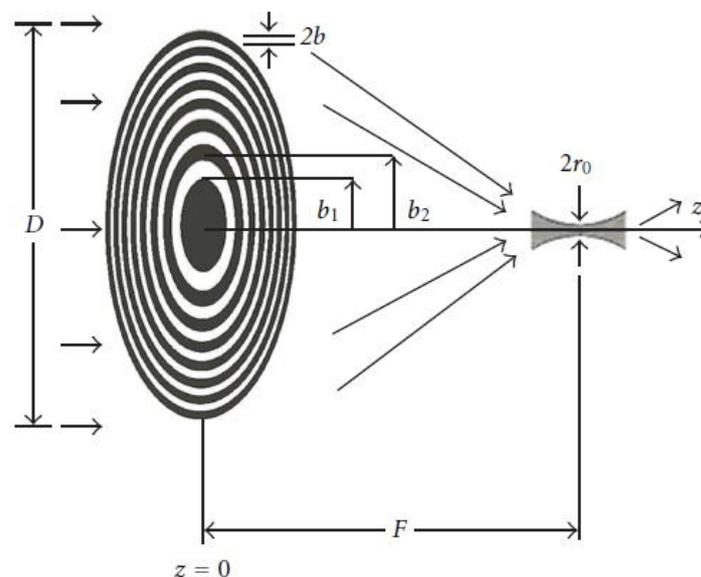


Figura 2: Diagrama de diseño de la lente CFZPL [3].

La lente responde a la ecuación (1), donde $b(m)$ es el radio de las zonas de Fresnel, λ es la longitud de onda, F es la distancia focal, $m = 1, 2, 3, \dots, M$ es el número de zona de Fresnel, siendo M el número de zona final [3].

$$b(m) = \sqrt{m\lambda F + \left(\frac{m\lambda}{2}\right)^2} \quad (1)$$

CASO DE ESTUDIO

Diseño

Teniendo en cuenta estas consideraciones, y en base a la ecuación (1), se diseñó una antena binaria de zonas de Fresnel experimental, para trabajar en la frecuencia de 23,8

GHz. En la Tabla I se muestran los principales parámetros de diseño de la lente. Se consideró una distancia focal de 79 mm y se tomó hasta la sexta zona de Fresnel ($M=6$). En la última columna de la tabla se muestran los radios obtenidos con la ecuación (1) para cada una de las zonas de Fresnel.

TABLA I: Parámetros de diseño de la antena lente CFZPL.

Frecuencia [MHz]	Longitud de Onda [mm]	Distancia Focal [mm]	m	$b(m)$ [mm]
23800	12,6	79	1	32,18
			2	46,37
			3	57,84
			4	67,96
			5	77,28
			6	86,05

Simulaciones

Una vez realizado el diseño de la lente se implementó un modelo de la antena en el software para simulaciones electromagnéticas FEKO [4]. Para alimentar la antena se la iluminó con la boca de una guía de ondas ubicada en el foco de la lente. En las Figuras 3 y 4 se observa el diagrama de radiación de la antena obtenido de las simulaciones para distintas posiciones del iluminador. 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.

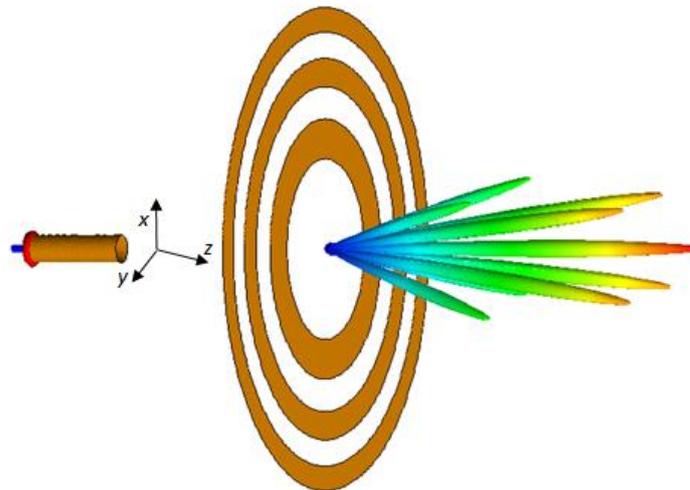


Figura 3: Simulación en 3D del diagrama de irradiación de la lente CFZPL para distintas posiciones del iluminador sobre el plano xy.

En la Figura 3 se observa el resultado obtenido de la simulación de la antena lente para diferentes posiciones discretas del elemento radiante en el plano xy, mientras que en la Figura 4 los desplazamientos ensayados se realizaron a lo largo de la dirección del eje x. Con respecto a esta última figura los resultados obtenidos 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°. Para el haz en la posición central se obtiene una ganancia máxima de 22,5 dBi y un ancho de haz de 4°.

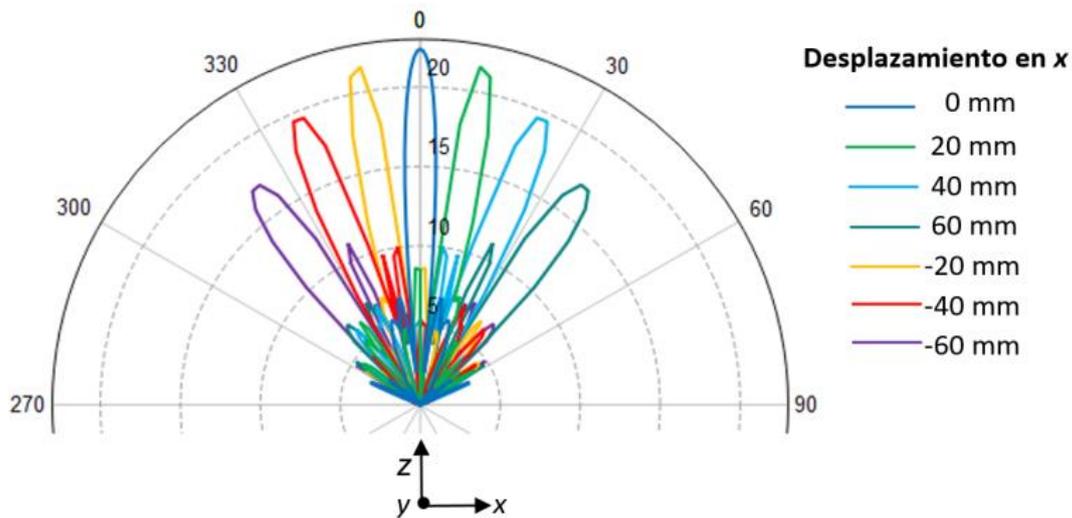


Figura 4: Simulación de la lente CFZFP para desplazamientos del alimentador principal sobre el eje x.

Mediciones sobre antena experimental

Para validar los resultados obtenidos en las simulaciones por software se construyó un modelo de la lente 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 5), siendo su peso total de 100 gramos.



Figura 5: Modelo construido de la lente binaria de zonas de Fresnel (CFZPL).

Se realizaron mediciones sobre el modelo construido en cámara anecoica, iluminando la antena lente con una boca de guía de ondas, obteniéndose los resultados que se muestran en la Figura 6. Los valores obtenidos de las mediciones muestran que la antena posee una ganancia máxima de 22,5 dB y un ancho de haz de 4° a la frecuencia central de diseño (23.8 GHz).

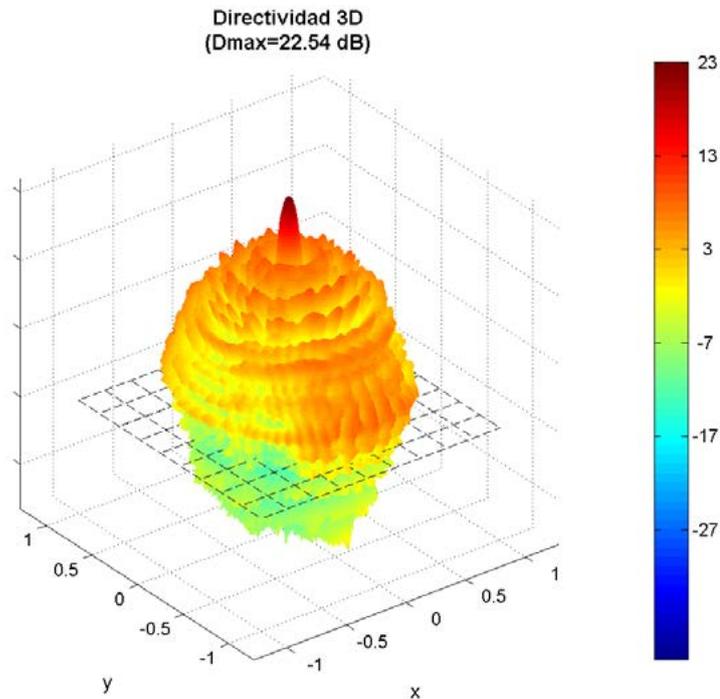


Figura 6: Mediciones de la antena lente CFZPL en 23.8GHz - Diagrama de radiación.

CONCLUSIONES

Se simuló una antena lente binaria de zonas de Fresnel obteniéndose interesantes resultados como lo es la aplicación de antenas lentes CFZPL como antenas de haces múltiples, permitiendo lograr haces en todas las direcciones variando solo la posición del alimentador principal en un plano. Asimismo, las lentes CFZPL tienen la ventaja de tener menores dimensiones comparadas con las antenas lentes o reflectoras clásicas. Esto conduce a una reducción en el peso, característica altamente deseable en muchos campos, principalmente en la industria aeroespacial.

Para validar las simulaciones, se diseñó y construyó una antena lente binaria de zonas de Fresnel, con fines experimentales. Los resultados de las mediciones realizadas sobre el modelo construido son satisfactorios ya que se ajustan a los obtenidos mediante las simulaciones realizadas durante las etapas de diseño y cumplen con los requerimientos impuestos al mismo. De esta manera podemos afirmar que los cada vez más potentes software de simulación electromagnética constituyen una herramienta de diseño que permite evaluar, previo a su construcción, diferentes alternativas de forma rápida y a un bajo costo.

BIBLIOGRAFÍA

[1] A. Fresnel, "Calcul de l'intensite de la lumiere au centre de l'ombre d'un ecran et d'une ouverture circulaires eclairee par une point radieux," in Oeuvres d'Augustin Fresnel, 1866, vol. 1, pp. 365–372, Note 1.

- [2] J. C. Wiltse, "History and evolution of Fresnel zone plate antennas for microwaves and millimeter waves," *IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium. 1999 Digest. Held in conjunction with: USNC/URSI National Radio Science Meeting (Cat. No.99CH37010)*, Orlando, FL, USA, 1999, pp. 722-725 vol.2, doi: 10.1109/APS.1999.789416.
- [3] H. D. Hristov. "Terahertz Harmonic Operation of Microwave Fresnel ZonePlate Lens and Antenna: Frequency Filtering and Space Resolution Properties".*International Journal of Antennas and Propagation* Volume 2011, Article ID 541734, 8pages. 2011.
- [4] "Electromagnetic Simulation Software | Altair Feko."
<https://altairhyperworks.com/product/FEKO> (accessed March. 1, 2023).