

ANTENA LENTE PLANA DIELECTRICA

Patricio Gross ⁽¹⁾, Juan Pablo Ciafardini ⁽¹⁾, Julieta Vernieri ⁽¹⁾, J. Alberto Bava ^{(1), (2)}

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

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

patricio_gross@yahoo.com.ar, jpciafar@hotmail.com, julietavernieri@gmail.com, bava@ciop.unlp.edu.ar

RESUMEN

Las Antenas Lente planas dieléctricas tienen la ventaja frente a otros tipos de lentes de perfiles no planos de contar con un peso menor. Esta propiedad es deseable en muchas aplicaciones donde el peso de la antena puede ser un factor determinante, por ejemplo en aplicaciones satelitales.

Las lentes planas son necesariamente no homogéneas. Existen técnicas que permiten generar una lente no homogénea a partir de un único material dieléctrico.

En este trabajo se presenta el diseño de una lente plana y se realizan simulaciones para el conjunto antena lente. Asimismo se comparan los resultados de las simulaciones con los resultados de mediciones realizadas con un prototipo de lente no homogénea. La técnica utilizada para su construcción fue la de perforaciones en un material homogéneo.

1.- INTRODUCCIÓN

Las antenas lente son utilizadas en muchas aplicaciones a frecuencias de microondas, tales como: enlaces punto-punto y punto-multipunto, enlaces satelitales, radares en banda W, sistemas de comunicaciones en automóviles y trenes, etc. [1-9].

La directividad de las antenas-lente, al igual que otras antenas de apertura, depende de la relación de su diámetro con la longitud de onda aplicada. Para lograr una alta directividad se requiere de diámetros importantes, lo que redundaría en un aumento considerable del tamaño y por lo tanto del peso de la lente.

Las lentes homogéneas tienen un espesor variable, que define su perfil, con el fin de igualar a la salida el ángulo de fase del campo electromagnético de modo de obtener una onda plana. Una alternativa que permite obtener el mismo efecto es diseñar una lente plana cuya permitividad dieléctrica varíe reproduciendo el comportamiento del perfil. Esto tiene la ventaja de reducir el espesor y por ende el peso de la lente.

Las antenas lente planas son estructuras muy atractivas dentro de las microondas y de las ondas milimétricas, no sólo por su menor peso sino debido a su robustez, su facilidad de

construcción actual y su notable repetitividad en su fabricación.

En este trabajo se realizan simulaciones de una antena lente, a partir del diseño de una lente plana no homogénea. Se analizan sus características como antena a partir del diagrama de radiación obtenido.

Asimismo se realizaron mediciones sobre una antena lente para la cual se utilizó un prototipo de lente plana diseñado a partir de la lente simulada. La técnica de construcción utilizada para la lente plana es a partir de perforaciones en un sustrato dieléctrico de tal forma que la cantidad de orificios cambia su permitividad [1].

Este trabajo muestra los resultados de las simulaciones y de las mediciones para su comparación.

2.- LENTES PLANAS

En microondas son utilizadas lentes convergentes que permiten que un frente de onda esférico colocado en su foco genere un frente de onda plano cuando traspasa la lente, que es el caso de transmisión. En la recepción se producirá el proceso inverso (Figura 1).

La construcción de una lente plana con un perfil radial de cambio de fase continuo es de difícil concreción. Una alternativa es discretizar en pasos los valores de cambio de fase a fin de conseguir un cambio de fase radial que siga al perfil de una lente biconvexa (Figura 2).

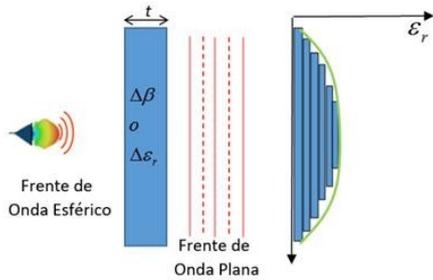


Figura 1- Antena lente plana y variación de la permitividad de la lente plana.

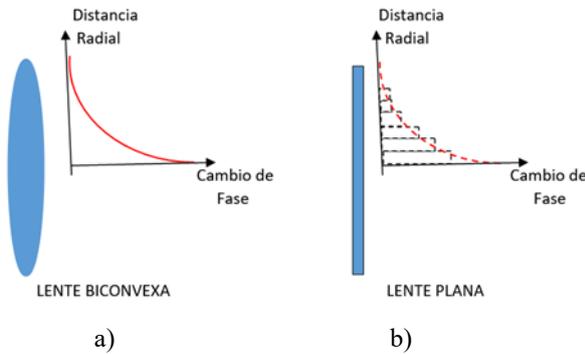


Figura 2- Cambio de fase a) Lente biconvexa y b) lente plana equivalente.

En la Figura 3 se observa una lente discretizada en seis regiones.

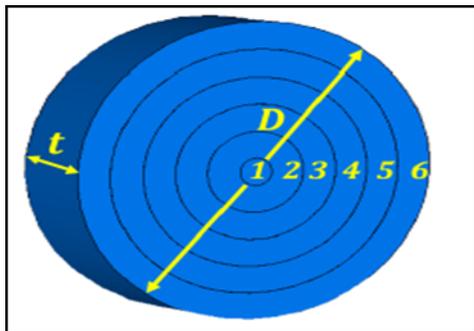


Figura 3- Lente plana discretizada.

Debido a que la construcción de una lente no homogénea discretizada (diferentes constantes dieléctricas) implicaría diferentes materiales y métodos de fabricación complejos, su concreción también presenta dificultades. Una alternativa

posible resulta de modificar la constante dieléctrica de un material homogéneo a partir de generar pequeños orificios en el sustrato, de modo que la composición del material con el aire modifique su constante dieléctrica efectiva. En la Figura 4 se observa una lente plana discretizada, donde en cada región se logra una diferente permitividad a partir de una dada distribución de las perforaciones.

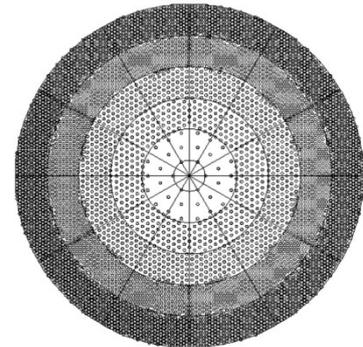


Figura 4- Lente plana con orificios.

La permitividad efectiva de cada región puede ser controlada por el diámetro de los orificios y su separación: cuanto mayor sea el diámetro y menor su separación, menor será la permitividad efectiva para un material de sustrato dado.

Si el diámetro de los orificios y la separación entre ellos se mantienen pequeños en comparación con la longitud de onda de funcionamiento, la permitividad relativa efectiva del sustrato perforado puede asumirse como uniforme, en cada región discretizada de la lente.

Para diseñar la lente perforada el primer paso es discretizar la lente deseada tal como se observa en la Figura 5.

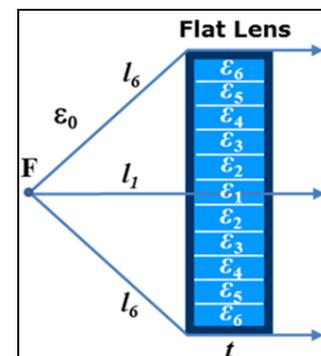


Figura 5 - Diseño lente discretizada

El cambio de fase de la onda que atraviesa la lente en cada región discretizada de la misma puede expresarse como:

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

donde k es el número de onda, 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.

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)

Igualando la fase a la salida de la lente se debe cumplir que el cambio de fase en la parte superior de la lente sea igual al cambio de fase en el centro de la lente tal como se observa de la Figura 5.

$$k_0 l_1 + k_1 t = k_0 l_6 + k_6 t \quad (2)$$

De (2) se puede obtener la constante dieléctrica en el centro de la lente.

$$\epsilon_{r_1} = \left(\frac{l_6 - l_1 + \sqrt{\epsilon_{r_6} t}}{t} \right)^2 \quad (3)$$

Y de la misma forma se puede obtener la permitividad en cada región de la lente discretizada.

Una vez obtenido la permitividad dieléctrica de cada región se puede lograr dicha permitividad mediante perforaciones en el material.

Estas perforaciones se pueden implementar como una rejilla uniforme de orificios en el sustrato mediante un enrejado cuadrado o un enrejado triangular (Figura 6 a y b) [1,2].

La permitividad relativa efectiva de cada región puede determinarse por:

$$\epsilon_{eff} = \epsilon_r (1 - \alpha) + \alpha \quad (4)$$

donde α es el factor de llenado dado por:

$$\alpha = \frac{A_0}{2A}, \text{ enrejado triangular} \quad (5)$$

$$\alpha = \frac{A_0}{A}, \text{ enrejado cuadrado} \quad (6)$$

donde A_0 es el área del orificio perforado, y A es el área correspondiente a la célula unitaria (Figura 6).

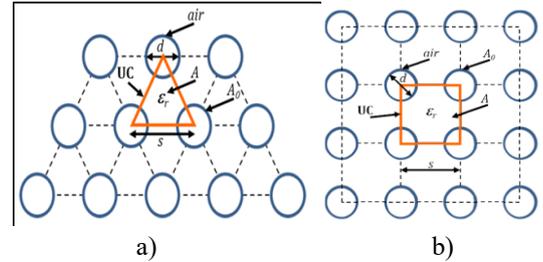


Figura 6 – Enrejado a) triangular, b) cuadrado

Por lo tanto, para el enrejado triangular, esto se traduce en:

$$\alpha = \frac{\pi d^2 / 4}{2(\sqrt{3}/4)s^2} = \frac{\pi}{2\sqrt{3}} \left(\frac{d}{s} \right)^2 \quad (7)$$

Para el enrejado cuadrado:

$$\alpha = \frac{\pi d^2 / 4}{s^2} = \frac{\pi}{4} \left(\frac{d}{s} \right)^2 \quad (8)$$

3.- SIMULACIONES Y MEDICIONES

Se simuló una antena lente plana dieléctrica en la frecuencia de 23 GHz, con una bocina corrugada como alimentador primario.

La lente se diseñó a partir de un sustrato de teflón ($\epsilon_r=2,2$), con un diámetro $D = 10 \text{ cm}$; un espesor $t = 1 \text{ cm}$, y una distancia focal de $f = 40 \text{ cm}$.

Aplicando las ecuaciones (1), (2) y (3) y considerando la lente discretizada en seis regiones se pueden calcular las permitividades dieléctricas para cada región. En la Tabla 1 se muestran los valores para cada región.

La Figura 7 muestra un diagrama 3D del campo lejano de la antena lente simulada mediante el software de simulación FEKO. No fueron simuladas las pérdidas del material dieléctrico.

Se realizaron simulaciones para la bocina sola por un lado, y por otro para la antena lente, es decir la bocina junto con la lente.

Tabla 1. Constante dieléctrica por zonas

Región	Épsilon relativo (ϵ_r)
1	2,2
2	2,17
3	2,08
4	1,93
5	1,74
6	1,5

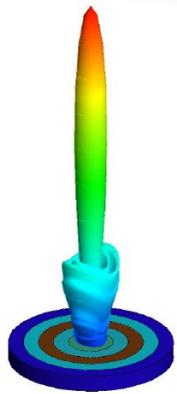


Figura 7 – Modelo simulado 3D

En la Figura 8 se observa el resultado de la ganancia obtenido de las simulaciones, considerando la bocina sola, y el conjunto antena lente (bocina + lente).

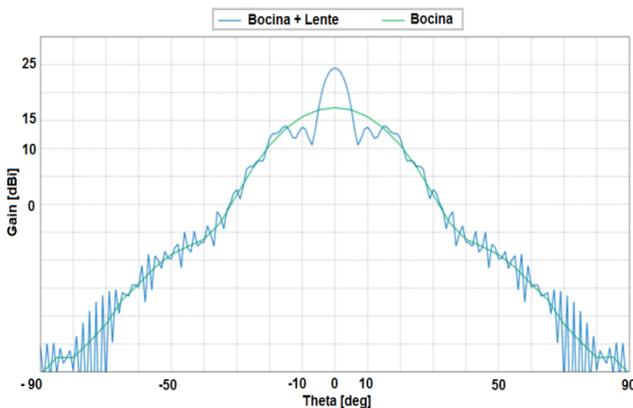


Figura 8 – Ganancia de la antena lente simulada en 23GHz

Como se observa el ancho del haz efectivo donde tiene efecto la lente (aumento de la ganancia) es aproximadamente de $\pm 5^\circ$.

Por otro lado se realizaron mediciones a partir del prototipo construido. La lente se fabricó sobre teflón, con los mismos parámetros de diseño de la lente simulada ($D = 10 \text{ cm}$; $t = 1 \text{ cm}$, y $f = 40 \text{ cm}$).

La lente se construyó discretizando el sustrato en seis regiones, tal como el diseño simulado (Tabla 1), utilizando el método de perforaciones descrito en el inciso anterior.

El diámetro de los orificios resultó de $d = 1,5 \text{ mm}$. La distribución de los orificios para cada zona se obtiene aplicando las ecuaciones (4-8).

En la figura 9 se observa el prototipo de lente construido.

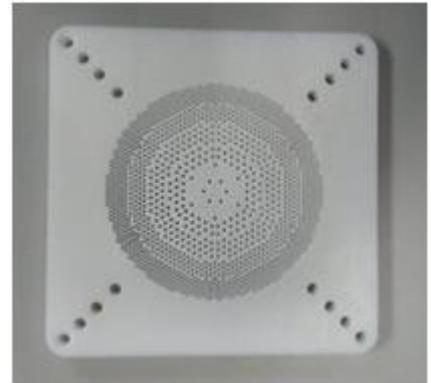


Figura 9- Prototipo de Lente plana con orificios.

Se realizaron mediciones con el conjunto antena lente (bocina + lente prototipo) y de la bocina sin la lente con el fin de obtener los diagramas de radiación para comparar con los diagramas simulados. Las mediciones se realizaron para ángulos de $\pm 5^\circ$ para comparar el haz efectivo. Los resultados se muestran en la Figura 10.

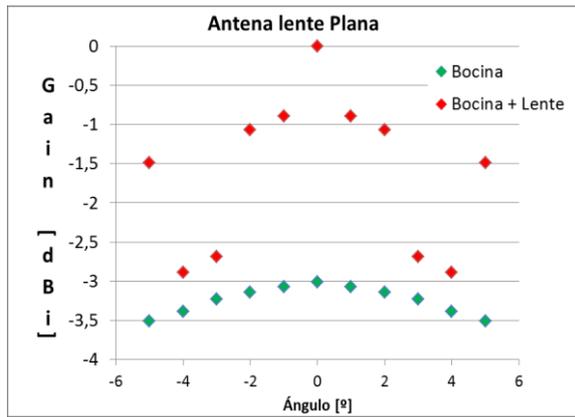


Figura 10 – Mediciones normalizadas de la antena lente en 23GHz.

En la Figura 11 se superponen los resultados de las simulaciones y las mediciones, tanto para el conjunto antena lente (bocina + lente prototipo) como para la bocina sin la lente.

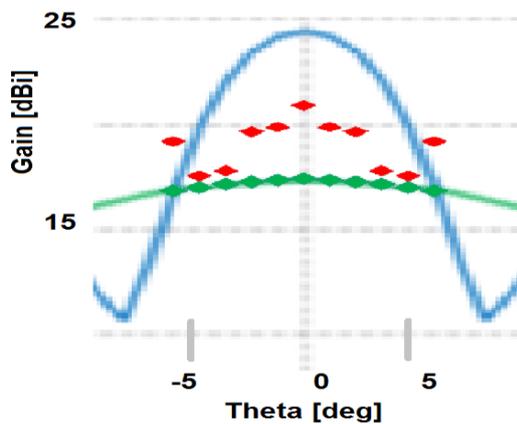


Figura 11– Ganancia simulada y medida para bocina y para antena lente (bocina+prototipo) en 23GHz.

De las simulaciones se deduce que la ganancia de la antena lente es aproximadamente 6 dB superior a la de la bocina, en su dirección de máxima radiación (Theta= 0 deg). En el caso de las mediciones la diferencia es algo menor, aproximadamente 3 dB.

5.- CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos de las mediciones del prototipo con respecto a las simulaciones, la antena lente presenta un comportamiento conforme a las simulaciones. La diferencia observada (aproximadamente 3dB) se debe a las pérdidas de transmisión en la antena

lente medida, como así también por aspectos constructivos en el prototipo.

Del presente trabajo se concluye que es posible construir una lente plana, a partir de la técnica de perforaciones y lograr resultados afines al modelo simulado.

Esta técnica de construcción, junto a los cada vez más potentes software de simulación electromagnética, permiten experimentar diferentes diseños de forma rápida y a un bajo costo.

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] 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.
- [4] S.M. AMIN MOMENI HASAN ABADI, AND NADER BEHDAD. **Design of Wideband, FSS-Based MultiBeam Antennas Using the Effective Medium Approach**. IEEE Transactions On Antennas And Propagation, vol. 62, no. 11, November 2014.
- [5] T. MCMANUS, R. MITTRA, AND C. PELLETTI. **A comparative study of flat and profiled lenses**. Antennas and Propagation Society International Symposium (APSURSI), 2012 IEEE, pp.1-2, July 2012.
- [6] A. ARTEMENKO, A. MALTSEV, A. MOZHAROVSKIY, A. SEVASTYANOV, V.

SSORIN, AND R. MASLENNIKOV. **Millimeter-wave electronically steerable integrated lens antennas for wlan/wpan applications.** IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 61, no. 4, pp.1665-1671, April 2013.

[7] GROSS P. VERNIERI J., VICO F., BAVA A., FERRANDO BATALLER M.. **Lens Antennas Focus Determination Using Full-Wave Simulation.** 12th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP 2018), Londres, 9-13 abril 2018.

[8] P. GROSS, J. VERNIERI, F. VICO BONDIA, J. ALBERTO BAVA, M.F. BATALLER. **Study of Optical Vortexes in Lens Antennas.** XVII Workshop on Information Processing and Control, Mar del Plata, Argentina, 20-22 September, 2017.

[9] P. GROSS, J. VERNIERI, F. VICO BONDIA, J. ALBERTO BAVA, M.F. BATALLER. **Análisis de las características de Antenas-lente en microondas mediante método full-wave.** Argencon. S. M. de Tucumán, Argentina, 6-8 Junio, 2018.