

Generación de Campo Polarizado Circularmente en Geometría Plana con Alimentación Asimétrica

Alicia E. Torres⁽¹⁾, Francisco Marante⁽¹⁾, Antonio Tazón⁽²⁾, Juan Vassal'lo⁽³⁾.

atorres@electronica.cujae.edu.cu, marante@electronica.cujae.edu.cu, antonio.tazon@unican.es, juan.v.abuelo@gmail.com.

⁽¹⁾ Dpto. de Telecomunicaciones y Telemática, Instituto Superior Politécnico "José Antonio Echeverría", La Habana, Cuba.

⁽²⁾ Dpto. de Ingeniería en Telecomunicaciones. Universidad de Cantabria. Plaza de la Ciencia S/N. 39005-Santander, España.

⁽³⁾ CSIC. Grupo de Tecnologías de Antenas (GTA) del Instituto de Tecnología Física e Información "Leonardo Torres Quevedo" (ITEFI), Serrano 144, 28006-Madrid, España.

Abstract- This paper presents a novel feeding system for obtaining circular polarized microstrip antennas, which is based on electromagnetic coupling in a single layer. The proposed circularly-polarized (CP) operation can be achieved simply by lengthening a microstrip line in the feeding system, without modifying the microstrip radiator. From the experimental results, the 3-dB axial-ratio bandwidth can reach as large as 98 MHz (3.9% relative to the center frequency of 2.44GHz) for the application as a 2.45-GHz RFID reader, or communication in ISM band.

I. INTRODUCCIÓN

El bajo perfil, geometría planar, y la facilidad de integración con circuitos MMIC son algunas de las demandas para las antenas en muchos de los sistemas de comunicaciones inalámbricas actuales, en los que las antenas de microstrip han demostrado ser las mejores candidatas [1][2][3]. La principal desventaja de estas antenas radica en su limitado ancho de banda; por lo que se han realizado numerosas investigaciones que reportan distintas soluciones para mitigar este problema [4]. Por ejemplo, ha sido ampliamente estudiado que algunas técnicas de alimentación pueden incrementar considerablemente el ancho de banda, tal es el caso de las alimentaciones por proximidad y por apertura. El problema con estas soluciones es que su implementación conlleva diseños complejos por el uso de estructuras multicapas que atentan contra su facilidad de fabricación, que es otra de las principales ventajas de estas antenas [5][6].

Una solución para mantener los beneficios de la alimentación por proximidad en una antena parche, conservando los atractivos de un diseño planar, es el acoplamiento electromagnético en una sola capa mediante un gap (apertura) entre la línea de alimentación y el parche [7][8]. Un principio similar se presenta en [9] con una alimentación por acoplamiento capacitivo para operación en banda ancha, pero es necesaria una configuración multicapa con sustrato de aire. También se han reportado diseños donde el acoplamiento capacitivo tiene lugar a lo largo de una de las caras del parche radiante, en lugar de una pequeña porción del mismo, utilizando diferentes geometrías [10]. En [11] se propone el diseño de un parche rómbico con slots en

forma de V alimentado por un gap capacitivo también en forma de V en una sola capa y con operación multibanda. Otro resultado interesante en este sentido se presenta en [12] donde se estudia un array compuesto por antenas slot con acoplamiento reactivo a la frecuencia 11.4 GHz. Todos estos diseños tienen atractivas características, pero presentan polarización lineal.

La generación de polarización circular (PC) se vuelve cada vez más importante en las comunicaciones inalámbricas por las significativas mejoras que conlleva como son: la resistencia a la degradación de la señal por la forma en que se propaga, la capacidad de recibir una transmisión lineal en cualquier ángulo y la facilidad de penetración en obstáculos.

La polarización circular en parches cuadrados o circulares puede obtenerse con dos alimentaciones de igual amplitud desfasadas 90° que exciten dos modos ortogonales [7], o mediante una sola excitación realizando una perturbación en determinado lugar del parche [13][14]. El problema es que el ancho de banda de PC obtenido con los métodos de una sola alimentación son muy bajos (generalmente alrededor de un 0.5%) [15].

Investigaciones más recientes proponen nuevas técnicas de obtención de polarización circular [16][17][18] pero persisten las limitaciones en el ancho de banda. Otros trabajos reportan mejoras en ancho de banda de la razón axial [19][20] pero se basan en diseños volumétricos y complejos.

El objetivo fundamental de este trabajo es proponer esquemas de antenas que, conservando diseños sencillos y facilidad de construcción en una sola capa, logren polarización circular en una banda más ancha. Estos diseños están basados en una variante del sistema de alimentación a través de un acoplamiento electromagnético con estructura asimétrica.

II. GEOMETRÍA BÁSICA CON ALIMENTACIÓN SIMÉTRICA

En la Fig. 1 se muestra un diseño inicial que presenta una forma de alimentación simétrica por acoplamiento electromagnético en una sola capa. El modelo es un parche cuadrado impreso en la cara superior de un sustrato FR-4 ($\epsilon_r=4.2$, $\tan\delta=0.02$ y altura 1.5 mm). Se alimenta por

proximidad con una línea microstrip de 50 Ohms en forma de “V” con los dos brazos iguales.

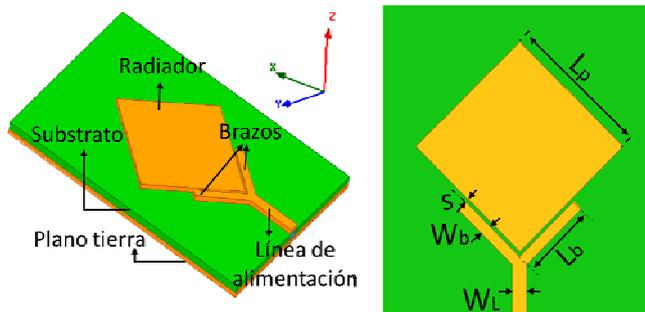


Fig. 1. Parche cuadrado alimentado por acoplamiento electromagnético en la cara radiante.

Utilizando el simulador Ansoft HFSS se diseñó un prototipo para operar a la frecuencia de 2.4 GHz, considerando su posible aplicación en la banda ISM y para aplicaciones RFID. Las dimensiones optimizadas de este primer diseño son: largo del parche (L_p) 28.6 mm, ancho de la línea de 50 ohms (W_L) 2.9 mm, largo de los brazos (L_b) 14.6 mm, ancho de los brazos de alimentación (W_b) 1.3 mm y separación entre la alimentación y el parche (s) 0.2 mm.

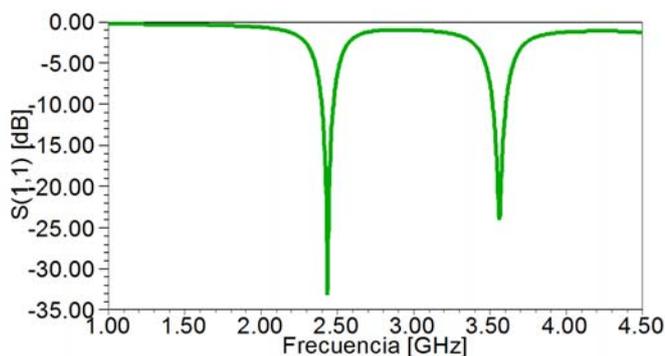


Fig. 2. Pérdidas de Retorno del modelo de la Fig. 1.

La Fig. 2 muestra las pérdidas de retorno del diseño inicial y se aprecia un buen acoplamiento a la frecuencia fundamental de resonancia 2.44 GHz con un ancho de banda de 77 MHz.

Los parámetros claves en la optimización de este diseño son los relativos a la alimentación (L_b , W_b y s), pues el parche cuadrado se diseña utilizando las fórmulas ya conocidas [21]. El largo de los brazos (L_b) se selecciona de manera que lleguen hasta la mitad de los lados del parche cuadrado, aunque es válido aclarar que pueden prolongarse y acoplar con todo el borde del parche radiante. La separación entre la alimentación y el parche (s), combinada con el ancho de los brazos (W_b), debe ser optimizada simultáneamente para obtener el mejor acoplamiento.

III. ANTENA CON ALIMENTACIÓN ASIMÉTRICA Y POLARIZACIÓN CIRCULAR.

La nueva forma de alimentación para la obtención de polarización circular parte del concepto de introducir una

asimetría o perturbación geométrica en la alimentación descrita en la Sección II, que modifique la distribución de campos dentro del parche.

La transformación consiste en cambiar el largo de los brazos y hacerlos de diferentes longitudes. Esta modificación introduce un desfase que va a controlar la polarización de la antena.

Basado en este principio se diseñó y construyó un prototipo para trabajar en la misma banda (2.4 GHz) que el modelo anterior.

A. Estudio de los parámetros fundamentales de diseño y optimización.

Respecto al diseño de la figura 1, se ha sustituido la longitud L_b de los brazos de alimentación por dos brazos de longitudes L_1 (brazo mayor) y L_2 (brazo menor), el ancho de los brazos sigue siendo W_b y la separación de la alimentación al parche “ s ”. A continuación se presenta el estudio de estos parámetros para observar su influencia en el comportamiento de la antena.

La diferencia de longitud entre los brazos (L_1 y L_2) es el parámetro fundamental para el control del desfase que da lugar a la polarización circular. La Fig. 4 muestra las curvas de razón axial vs frecuencia para diferentes valores de L_2 , manteniendo L_1 igual que en el diseño con alimentación simétrica (14.6 mm), $L_p=28.6$ mm, $W_L=2.9$ mm, $W_b=2.3$ mm y $s=0.3$ mm.

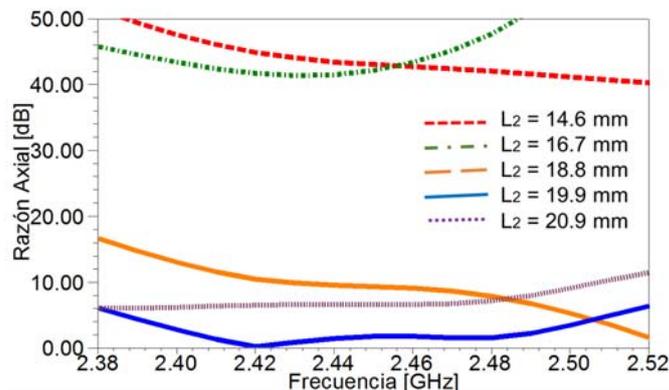


Fig. 3. Variación de la Razón Axial para diferentes valores de la longitud del brazo mayor L_2 .

En la Fig. 3 puede apreciarse que, cuando la longitud de los dos brazos es la misma ($L_1=L_2=14.6$ mm (diseño de la sección II) la polarización es lineal, pues la razón axial es mayor que 40 dB. Al aumentar L_2 la razón axial disminuye hasta obtener Polarización Circular con el mejor resultado para $L_2=19.9$ mm. Si se continúa aumentando L_2 las curvas de razón axial comienzan a deteriorarse, de manera que, el desfase óptimo se consigue para una diferencia entre los brazos de 5.3mm (aproximadamente $\lambda/11$)

La separación entre la alimentación y el parche (s) y el ancho de los brazos (W_b) son los otros parámetros claves para la obtención de polarización circular y un buen acoplamiento de la impedancia.

La Fig. 4 muestra la variación de “ s ” para $L_2=19.9$ mm, $L_1=14.6$ mm y $W_b=2.3$ mm y se aprecia que éste es un parámetro muy sensible en el diseño, pues su variación en 0.1 mm trae cambios significativos en las curvas de razón axial. El mejor resultado se obtiene para $s=0.3$ mm.

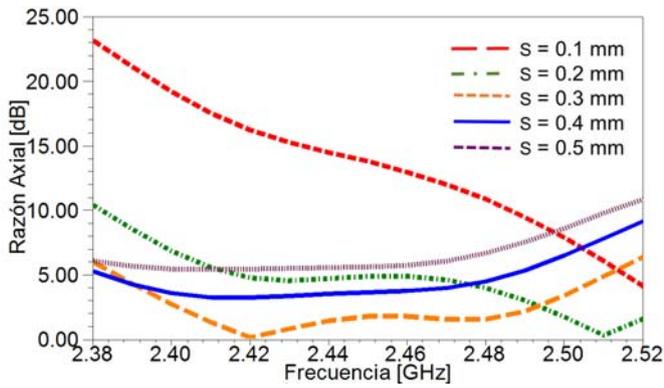


Fig. 4. Variación de la Razón Axial para diferentes valores de separación entre la alimentación y el parche (s).

Por último, en la Fig. 5 se muestra la influencia del ancho de los brazos (W_b) en las gráficas de razón axial para los mejores valores de " L_2 " y " s ".

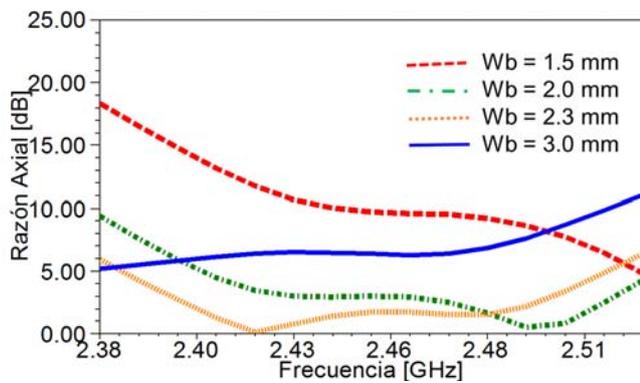


Fig. 5. Variación de la Razón Axial para diferentes valores de ancho de los brazos (W_b).

La Fig. 6 muestra los patrones de radiación para la combinación óptima de valores: $L_2=19.9$ mm, $W_b=2.3$ mm y $s=0.3$ mm a la frecuencia central de la banda (2.44 GHz). Se puede apreciar que el campo RHCP es más de 20 dB mayor que el cros-polarizado LHCP. Como es de esperar el sentido de la polarización circular de este diseño es a la derecha, pues el campo rota en el sentido del brazo más atrasado en fase (L_2). Para cambiar el sentido de la polarización y obtener LHCP basta con alargar el brazo contrario (L_1).

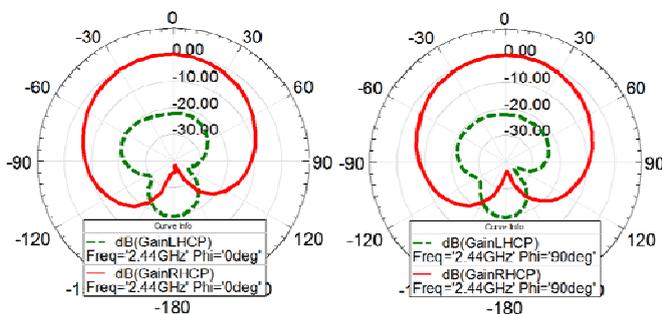


Fig. 6. Patrón de Radiación para $\Phi=0^\circ$ y $\Phi=90^\circ$ a 2.44 GHz

B. Medición y validación.

Para validar los resultados de simulación se construyó y midió un prototipo con las siguientes dimensiones: largo del parche (L_p) 28.4 mm, largo del brazo mayor (L_2) 19.7 mm, largo del brazo menor (L_1) 14.4 mm, ancho de los brazos

de alimentación (W_b) 2.26 mm, separación entre la alimentación y el parche (s) 0.4 mm y ancho de la línea de 50 ohms (W_L) 2.78 mm.

La Fig. 7 muestra las pérdidas de retorno simuladas y medidas exhibiendo muy buena similitud entre los gráficos y un ancho de banda de impedancia de aproximadamente 4.9%.

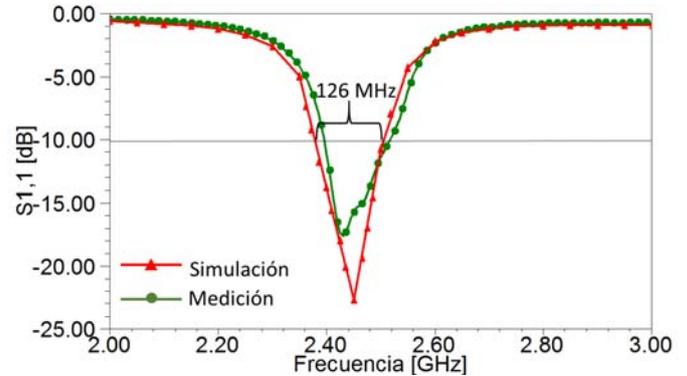


Fig. 7. Pérdidas de Retorno de la antena con alimentación asimétrica.

A continuación se midió la razón axial de forma discreta en varios puntos y se observó un buen acuerdo con la curva obtenida por simulación. Se obtuvo un ancho de banda de razón axial según el criterio de 3 dB de 3.9%.

IV. CONCLUSIONES

Este trabajo analiza la alimentación por acoplamiento electromagnético en la cara radiante de dos antenas de microcinta de parche cuadrado polarizadas lineal y circularmente. Luego de presentar la estructura básica con polarización lineal, se expone una nueva forma de obtención de polarización circular con una sola alimentación, introduciendo una perturbación en el diseño inicial, sin modificar el parche radiante. Es importante destacar que el método propuesto puede ser utilizado en la generación de campo polarizado circularmente en cualquier polígono regular, incluyendo geometrías circulares. Se presenta además, un análisis del efecto de los parámetros fundamentales para la obtención de un diseño óptimo. Finalmente, se han validado los resultados con la construcción de un prototipo para la banda de 2.4 GHz, que exhibe valores significativos de ancho de banda de razón axial de aproximadamente 4%.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo está apoyado por la Acción Integrada D/018607/08 "Laboratorio de Comunicaciones RF-Microondas para Aplicaciones Móviles-Satélite" patrocinado por la Agencia Internacional para la Cooperación y el Desarrollo (AECID). El trabajo del profesor Antonio Tazón está apoyado por MINECO a través de proyectos Consolider CSD2008-00068 y TEC2014-58341-C4-1-R. En el caso del CSIC este trabajo está internamente patrocinado por el Grupo de Tecnologías de Antenas del Instituto de Tecnología Física e Información "Leonardo Torres Quevedo" (ITEFI). Los autores agradecen también la asesoría y apoyo del profesor José Ángel García García de la Universidad de Cantabria.

REFERENCIAS

- [1] P. P. S. K. Mandal, "A compact High Gain Microstrip Antenna for Wireless Applications," *International Journal of Electronics and Communications (AEÜ)*, vol. 67, pp. 1010–1014., 2013.
- [2] T. Aballo, L. Cabria, J. A. Garcia, and F. R. Marante, "A dual-gate phase conjugating antenna with ASK modulation capability for retrodirective communication links " presented at the First European Conference of Antennas and Propagation, 2006.
- [3] N. Amar, L. Cabria, J. A. Garcia, A. Tazon, A. Mediavilla, and F. Marante, "A Transmitting Active Array with Spatially Selective Linealization " presented at the The Second European Conference on Antennas and Propagation, 2007.
- [4] X. B. H. a. D. G. F. H. Wang, "A Single Layer Wideband U-Slot Microstrip Patch Antenna Array," *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 7, pp. 9-12, 2008.
- [5] C. M. Barbero and J. Vassal'lo, "Circular patch with feeding through a circular slot," in *JINA 88, Nice (France), 1988*.
- [6] H. Palacios and J. Vassal'lo, "Microstrip feeding system without critical manufacturing tolerances," *JINA 2004, Nice (France) 2004*.
- [7] J. J. R and P. S. Hall, *Handbook of Microstrip Antennas*: Peter Peregrinus, London UK 1989.
- [8] R. Garg, P. Bhartia, and I. Bahl, "Microstrip Radiators," in *Microstrip Antenna Design Handbook*, 2001.
- [9] V. G. Kasabegoudar, D. S. Upadhyay, and K. J. Vinoy, "Design Studies of Ultra-Wideband Microstrip Antennas with a Small Capacitive Feed " *International Journal of Antennas and Propagation*, vol. 2007, pp. 1-8, 2007.
- [10] V. G. Kasabegoudar, "Dual frequency ring antennas with coplanar capacitive feed," *Progress In Electromagnetics Research C*, vol. 23, pp. 27-39, 2011.
- [11] Y. Shinohe, R. Chayono, M. Haneishi, and Y. Kimura, "Radiation Properties of Single-Layer Multiband Rhombic MSA with Slots," in *37th European Microwave Conference*, Munich Germany, October 2007, pp. 1026-1029.
- [12] J.-C. S. Chieh and A.-V. Pham, "A Bidirectional Microstrip X-Band Antenna Array on Liquid Crystal Polymer for Beamforming Applications," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 61, pp. 3364-3368, June 2013.
- [13] M. Haneishi and S. Yoshida, "A design method of circularly polarized rectangular microstrip antenna by one-point feed," *Electron. Commun. In Japan*, vol. 54, pp. 46–54, 1981.
- [14] Y. T. Lo and W. F. Richards, "A perturbation approach to the design of circularly polarized microstrip antennas," in *IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium*, Los Angeles, 1981, pp. 339-342.
- [15] C. A. Balanis, *Moder Antenna Handbook*: JOHN WILEY & SONS, INC., 2008.
- [16] X. Y. Huo, J. H. Wang, M. E. Chen, "Circularly Polarized Microstrip Antenna with Two Asymmetric Circular Slots for RFID Application," 2013 *IEEE International Conference on Microave Technology & Computational Electromagnetics*. pp. 184-187, 2013.
- [17] E. Ugarte-Muñoz, F. J. Herraiz-Martínez, V. González-Posadas, L. E. García-Muñoz, and D. Segovia-Vargas, "Técnicas de Diseño de Antenas de Polarización Circular empleando Metamateriales," in *URSI*, 2009.
- [18] A. G. G. Alicia E. Torres, Francisco Marante Rizo. (2013, Diseños de antenas de microcinta empleando anillos resonadores complementarios. www.semanatecnologica.fordes.co.cu.
- [19] H. Oraizi and R. Pazoki, "Wideband Circularly Polarized Aperture-Fed Rotated Stacked Patch Antenna," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 61, Marzo 2013.
- [20] Z. Deng, W. Jiang, S. Gong, Y. Xu, and Y. Zhang, "A New Method for Broadening Bandwidths of Circular Polarized Microstrip Antennas by Using DGS & Parasitic SRR," *Progress In Electromagnetics Research*, vol. 136, pp. 739-751, 2013.
- [21] T. A. Milligan, "Microstrip Antennas," in *Modern Antenna Design*, 2nd Ed ed. USA: J. Wiley & Sons Inc, 2005.