

ANTENA DE PARCHE PENTAGONAL CON MODIFICACIONES GEOMÉTRICAS PARA SISTEMAS RFID

Raunel García Quintana¹, Francisco Marante Rizo²

¹⁻² Universidad Tecnológica de La Habana. “José Antonio Echevarría”, CUJAE, Ave 114 #11901 e/ Ciclovía y Rotonda, Marianao, La Habana, Cuba.

¹e-mail: raunelgq@gmail.com

²e-mail: marante@tele.cujae.edu.cu

RESUMEN

El presente trabajo de investigación propone el diseño y simulación de una antena de parche pentagonal con polarización circular para la banda de 2.4 GHz mediante acoplamiento electromagnético en una sola capa. La configuración propuesta tiene como objetivo ser utilizada en sistemas RFID (Radio Frequency Identification) para lograr buenas características de radiación cuando se envían o reciben datos de las etiquetas RFID implantadas en los objetos a identificar, manteniendo la mayor sencillez posible en su diseño. La polarización circular es obtenida mediante la técnica de acoplamiento electromagnético modificando las dimensiones de la línea de alimentación de la antena y es optimizada introduciendo perturbaciones en la geometría del parche. La antena propuesta posee unas dimensiones pequeñas y aceptables para un posible uso en lectores RFID portátiles, una ganancia de aproximadamente 1.642 dB en 2.44 GHz, anchos de banda de acoplamiento de impedancia y de polarización circular de 111.6 MHz y 138 MHz, lo que representa un 4.75 % y 5.65 % respectivamente de la frecuencia central de la banda de trabajo.

PALABRAS CLAVES: RFID, polarización circular, acoplamiento electromagnético, microcinta.

CIRCULAR POLARIZED MICROSTRIP RADIANT SYSTEM FOR 2.4 GHZ RFID APPLICATIONS

ABSTRACT

The present research work proposes the design and simulation of a pentagonal patch antenna with circular polarization for the 2.4 GHz band by means of electromagnetic coupling in a single layer. The proposed configuration aims to be used in RFID (Radio Frequency Identification) systems to achieve good radiation characteristics when sending or receiving data from the RFID tags implanted in the objects to be identified, keeping the design as simple as possible. Circular polarization is obtained through the electromagnetic coupling technique by modifying the dimensions of the antenna feed line and is optimized by introducing disturbances in the geometry of the patch. The proposed antenna has small and acceptable dimensions for possible use in portable RFID readers, a gain of approximately 1.642 dB at 2.44 GHz, impedance matching and circular polarization bandwidths of 111.6 MHz and 138 MHz, which represents a 4.75% and 5.65% respectively of the center frequency of the working band.

INDEX TERMS: RFID, circular polarization, electromagnetic coupling, microstrip.

1. INTRODUCCIÓN

A partir del crecimiento del comercio electrónico, se ha acentuado la necesidad entre los empresarios del sector de conocer la descripción y ubicación de todo el inventario para tener el control sobre sus mercancías, por lo que la tecnología inalámbrica RFID (Radio Frequency Identification) es la que ha tenido la responsabilidad de resolver dichos problemas. Dicha tecnología de identificación consiste de 3 componentes fundamentales, los cuales son: el lector RFID, el cual es el encargado de procesar las señales para realizar la comunicación bidireccional con las etiquetas y la aplicación (software) que generalmente se encuentra en un ordenador, una antena para la transmisión o recepción de los datos mediante el espacio libre y por último las etiquetas RFID que son las que identifican a un objeto determinado. La lectura remota de los datos de identificación que se obtienen de las etiquetas no solo se pueden recibir

de una sola etiqueta, sino de múltiples de ellas en el mismo instante, dándole una gran ventaja tecnológica al obsoleto y antiguo código de barras [1-6]. Los lectores RFID requieren de antenas con polarización circular para establecer una comunicación eficiente con las etiquetas de los productos independientemente de su ángulo de visibilidad o su posición. Para enfrentar los desvanecimientos y multitrayectos que sufren las ondas radioeléctricas en 2.4 GHz es imprescindible que presenten buen ancho de banda de relación axial por debajo de 3 dB. Gracias al empleo de las antenas de microcinta se ha podido miniaturizar los lectores, reducir su peso, garantizar su compatibilidad con circuitos integrados de microondas y abaratar los costos de producción, dándole así un alto valor comercial [7-13].

El siguiente artículo trata acerca del diseño de una antena de parche pentagonal con modificaciones optimizadas en su geometría, alimentada mediante acoplamiento electromagnético [14, 15] en una sola capa que cumpla con los requerimientos de los sistemas RFID. Se seleccionan como criterios fundamentales que en un ancho de banda mínimo de 80 MHz, las pérdidas de retorno sean menores o iguales a -10 dB y la existencia de polarización circular para una relación axial menor o igual a 3 dB, ambos en la banda de 2.4 GHz [16-18]. Para el proceso de diseño, simulación y optimización se utiliza el software CST Suite 2017 [19].

2. ESTRUCTURA Y DISEÑO

Para el diseño y realización de la antena se selecciona como sustrato el FR-4. Sus características y dimensiones son mostradas en la Tabla 1.

Tabla 1: Características del sustrato FR-4.

	Valor
Permitividad dieléctrica	4.3
Tangente de pérdidas	0.02
Largo	63.85 mm
Ancho	55.27 mm
Altura	1.6 mm
Altura del cobre	35 μm

Se diseñó una antena de parche pentagonal. Es alimentada por una línea de microcinta mediante acoplamiento electromagnético de una sola capa para satisfacer los servicios de RFID en la banda de 2.4 GHz. En la Fig.1 se aprecia la estructura del Prototipo inicial de la antena, después de varias simulaciones y optimizaciones los valores de los parámetros de diseño son: $L_p = 18.40 \text{ mm}$, $L_b = 13.50 \text{ mm}$, $L_x = 21 \text{ mm}$, $Ab = 2.35 \text{ mm}$ y el espacio entre el parche y las líneas de alimentación nombrado $gap = 0.3 \text{ mm}$. En la Fig. 2 se muestran las pérdidas de retorno del Prototipo inicial, con un ancho de banda de impedancia de 65.8 MHz cuyo valor no cumple con el mínimo requerido, pero se logra centrar a la frecuencia de 2.44 GHz.

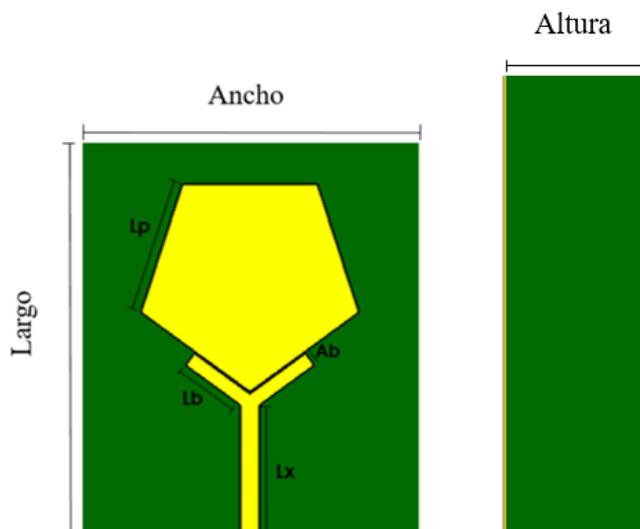


Figura 1: Prototipo Inicial.

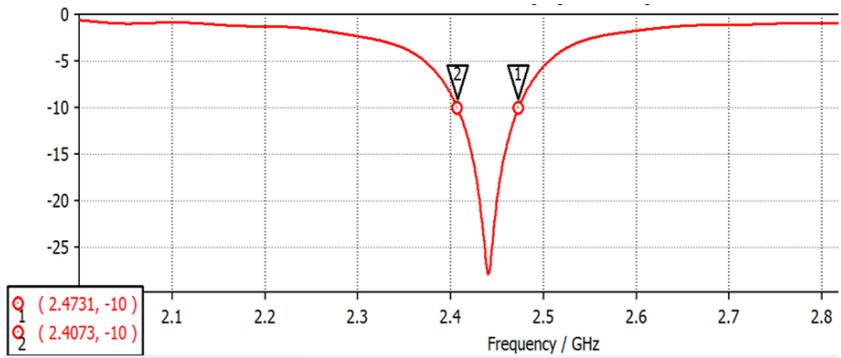


Figura 2: Pérdidas de retorno del Prototipo inicial.

Obtención de la Polarización Circular

Teniendo en cuenta los criterios de diseño y el sustrato a emplear, se procede a desfazar la longitud de uno de los brazos de alimentación como se vio en [8, 20] como punto de partida para lograr polarización circular debido a los buenos resultados que arroja esta técnica en específico. En la Fig. 3 se observa la variación de la longitud del brazo derecho en el Prototipo I hasta lograr polarización circular. En esta ocasión, $Lbd = 19.5\text{ mm}$ se selecciona como mejor resultado en cuanto al ancho de banda de relación axial, debido a que se obtienen 47.53 MHz del mismo mostrado en la Fig. 4, además de que se obtienen 112.8 MHz de ancho de banda de impedancia que se muestran en la Fig. 5.

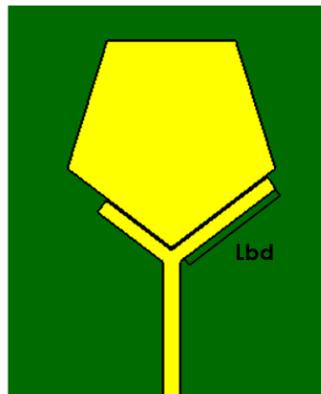


Figura 3: Prototipo I con brazos de alimentación desfazados.

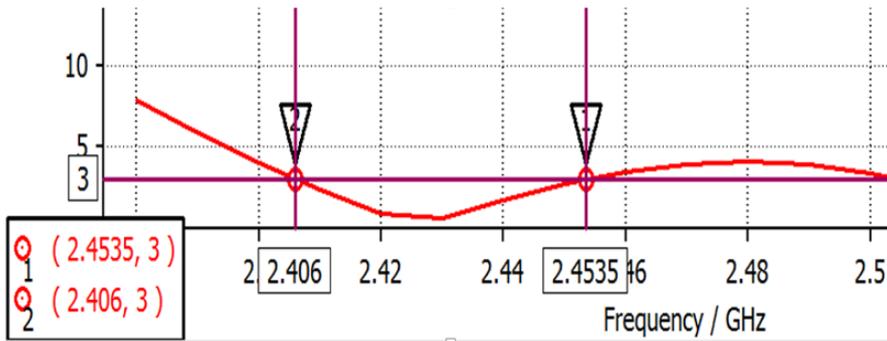


Figura 4: Relación Axial de Prototipo I.

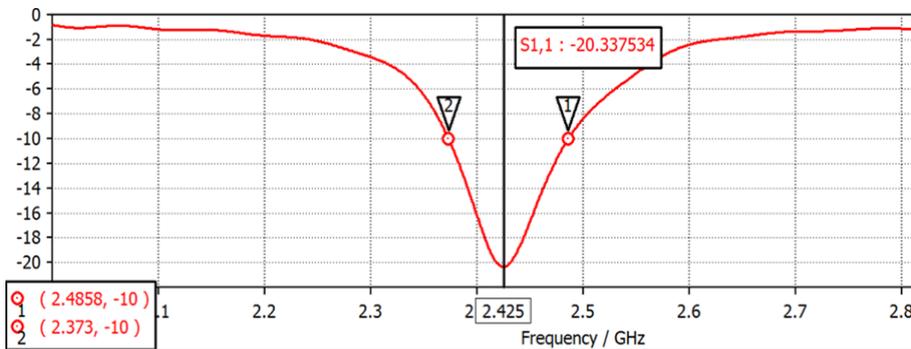


Figura 5: Pérdidas de retorno de Prototipo I.

Los resultados del Prototipo I son insuficientes para ser empleados en lectores RFID. No se ha logrado un ancho de banda de relación axial que pueda cumplir con las exigencias de 80 MHz de ancho de banda. Por ello, se proceden a realizar otras modificaciones a la geometría del parche pentagonal. En este caso, se creará un slot rectangular mediante un recorte del parche ubicado en el centro con 5 grados de rotación en sentido horario del Prototipo II como se evidencia en la Fig. 6, donde $w=2$ mm y $h=5$ mm.

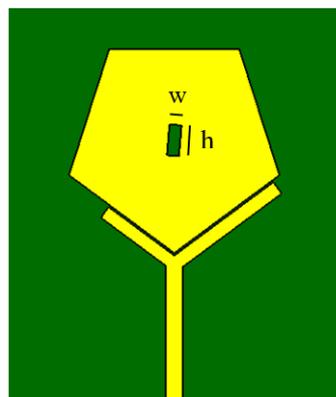


Figura 6: Prototipo II con slot rectangular rotado hacia la derecha.

Con la solución presentada en la Fig. 7 se logra un ancho de banda de 133.7 MHz con una relación axial de polarización en el entorno de los 3 dB, que aún es insuficiente porque se precisa que sea inferior a los 3 dB y esto no se cumple en la mitad de la banda de trabajo. Por tanto, no satisface los requisitos de polarización circular para aplicaciones RFID en 2.4 GHz. Sin embargo, cumple con los requisitos de ancho de banda de impedancia con un valor de 112.34 MHz, donde se obtiene en la frecuencia central de 2.44 GHz un mínimo de -16 dB mostrado en la Fig. 8.

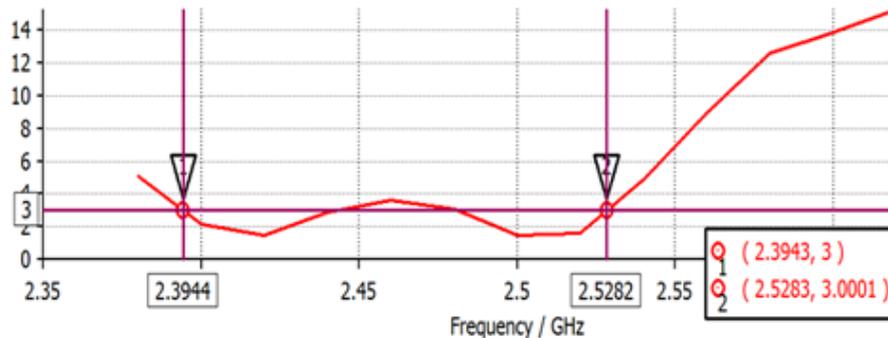


Figura 7: Relación Axial de Prototipo II.

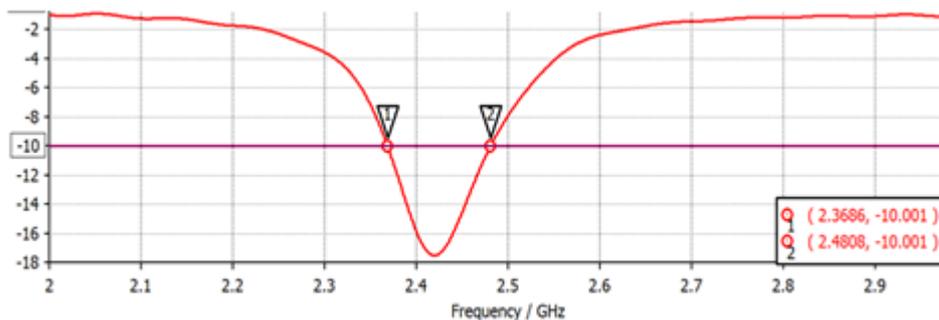


Figura 8: Pérdidas de retorno de Prototipo II.

Para seguir optimizando el ancho de banda de polarización circular del Prototipo II, se inicia un nuevo procedimiento de diseño. Este procedimiento se realiza mediante un corte en forma de sector circular en el extremo derecho superior del parche [18] y se gira el slot ubicado en el centro visto anteriormente 5 grados, pero esta vez en sentido antihorario. El Prototipo III contiene todos los cambios mencionados anteriormente y se muestran en la Fig. 9. En este diseño se mejora la relación axial respecto a los Prototipos I y II. En la Fig. 10 se observa un ancho de banda de relación axial de 128.3 MHz el cual es superior a los resultados vistos en [8]. Sin embargo, el ancho de banda de impedancia no satisface los requerimientos mínimos para su correcto acoplamiento, En este caso se obtiene un valor de 105.46 MHz mostrados en la Fig. 11, donde quedan fuera 12 MHz situados al final de la banda de trabajo que no satisfacen los requerimientos de -10 dB para obtener un buen acoplamiento.

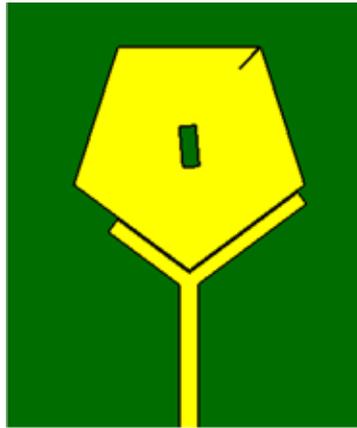


Figura 9: Prototipo III con slot rotado a la izquierda y apertura en forma de sector circular.

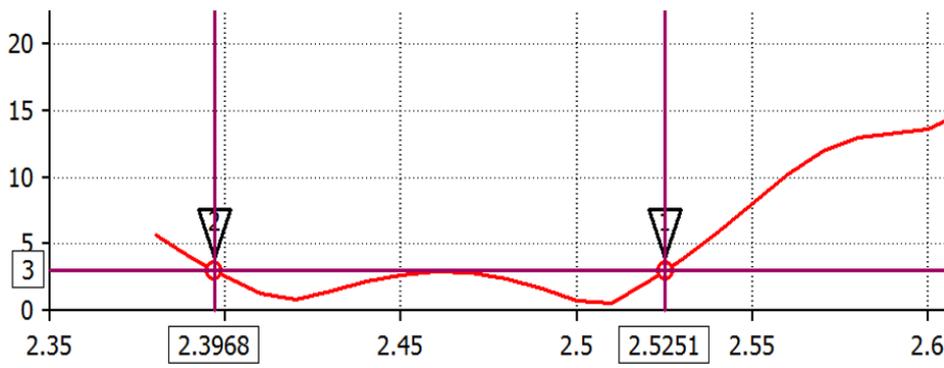


Figura 10: Relación Axial de Prototipo III.

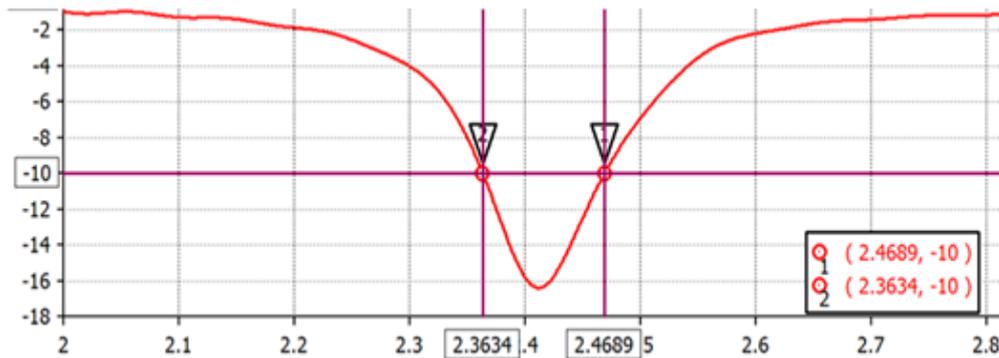


Figura 11: Pérdidas de retorno de Prototipo III.

3. ANTENA FINAL

Hasta este momento se han propuesto variantes de diseño para obtener un buen ancho de banda de polarización circular en una antena de parche pentagonal. Analizando la geometría de las antenas anteriores, se decide como alternativa hacer una variante de diseño que ha sido probada y optimizada. Se procede a seguir los métodos propuestos en [21] removiendo el slot localizado en el centro del parche. En cambio, se introducen dos aperturas en forma de sector circular aproximadamente iguales y opuestas en las esquinas del elemento radiante mediante recortes en las mismas, además de variar el ancho del brazo de alimentación derecho. La geometría de la nueva antena se visualiza en la Fig. 12. Existe un sobrecumplimiento del ancho de banda de relación axial, el cual es mostrado en la Fig. 13,

con respecto a las exigencias de los sistemas RFID en cuanto a polarización circular. En este caso se obtiene un valor de 138 MHz por debajo de los 3 dB, sobrepasando en 12.5 MHz al obtenido en el parche pentagonal diseñado en [8].

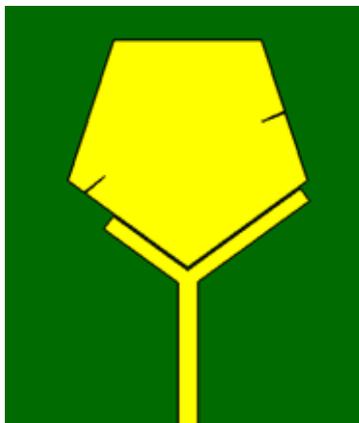


Figura 12: Antena Final.

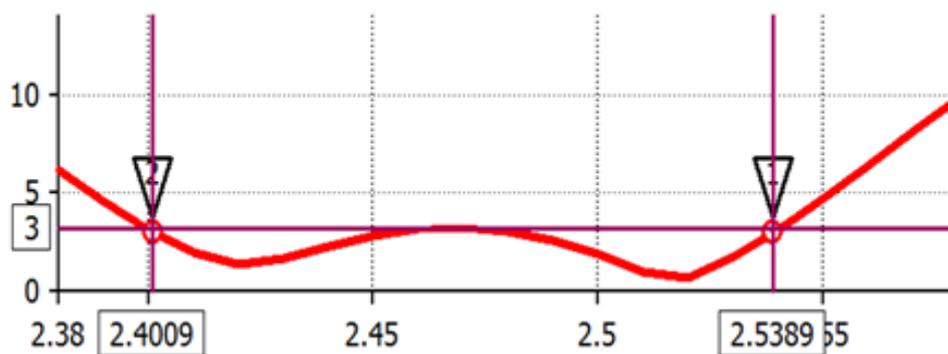


Figura 13: Relación Axial de la Antena Final.

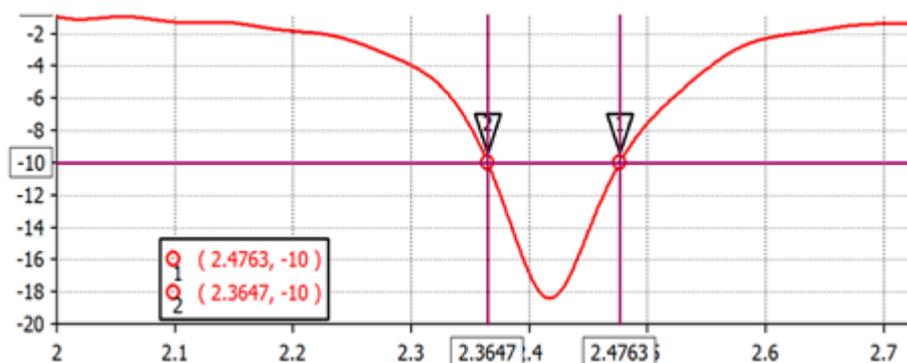


Figura 14: Pérdidas de retorno de la Antena Final.

El diseño final brinda un resultado aceptable en cuanto a ancho de banda de impedancia, donde en la Fig. 14 tiene un valor de 111.6 MHz. Al final de la banda, quedan 4 MHz por encima de -10 dB y en 2.48 GHz específicamente tiene

SISTEMA RADIANTE DE MICROCINTA CON POLARIZACIÓN CIRCULAR PARA APLICACIONES RFID EN 2.4 GHZ

un valor de -9.54 dB. Para verificar si existe un buen acoplamiento, se muestran los resultados en la Fig. 15 de la Razón de Onda Estacionaria (ROE) de esta antena. Como se puede observar, la ROE es menor o igual a 2 en toda la banda de trabajo, cumpliendo con el requerimiento de 80 MHz mencionado anteriormente. Debido a esta razón, se puede afirmar que existe un acoplamiento aceptable y aplicable a sistemas RFID.

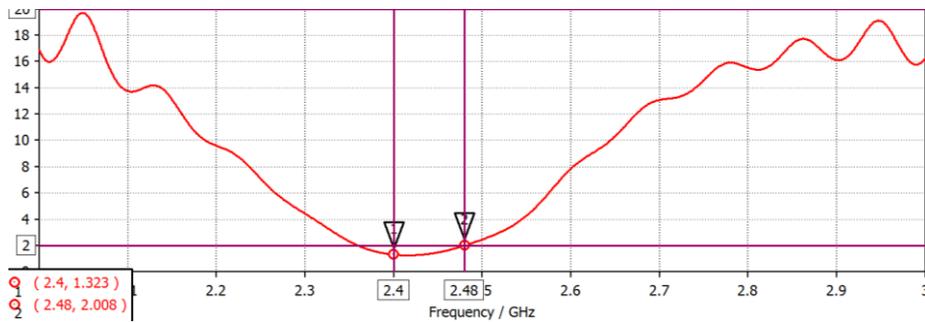


Figura 15: ROE de la Antena Final.

El patrón de radiación 2D y 3D de la directividad se muestra en la Fig. 16 para la frecuencia central de 2.44 GHz, con un valor máximo de 6.393 dBi. El haz de media potencia es de 90°, siendo factible para obtener mayores ángulos de lectura en los sistemas RFID.

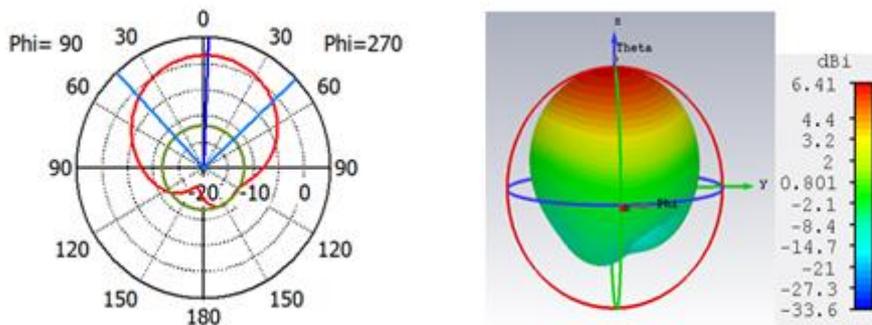


Figura 16: Patrón de radiación 2D y 3D de la directividad de la Antena Final.

En la Fig. 17 se visualiza el patrón de radiación 3D a la frecuencia de 2.44 GHz de la ganancia, con un valor máximo de 1.626 dB donde se evidencia la característica unidireccional que posee el mismo.

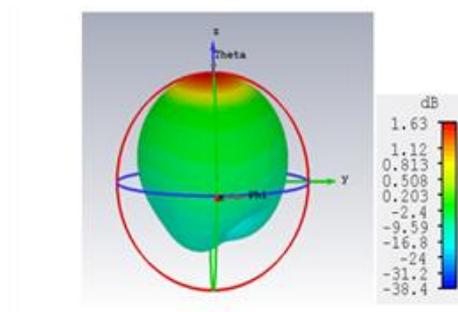


Figura 17: Patrón de radiación 3D de la ganancia de la Antena Final.

La eficiencia total de la antena es de 32.28 % causado por las pérdidas dieléctricas introducidas por el FR-4 que es bastante pobre en sus propiedades. Por tanto, posee la ventaja económica que es un material de bajo costo comparado



con otros materiales dieléctricos empleados en el diseño de antenas de parche. En la Fig. 18 se observa la estructura de la Antena Final señalando sus principales variables de diseño, mientras que en la Tabla 2 se muestra un resumen de los valores finales de las mismas.

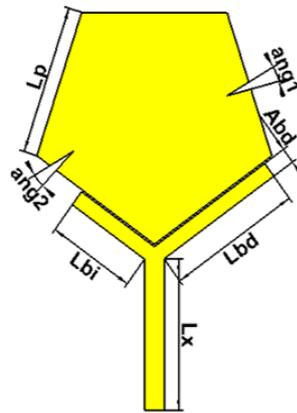


Figura 18: Geometría y variables de diseño de la Antena Final.

Tabla 2: Valores finales de las variables del diseño de la Antena Final.

Parámetro	Valor
Lp	18.23 mm
Lbi	13.19 mm
Lbd	20 mm
Abd	2.25 mm
Lx	21.57 mm
gap	0.32 mm
Ang2	2.8°
Ang1	2.8°

4. COMPARACIÓN CON DISEÑOS ANTERIORES

Para analizar y comprobar los excelentes resultados de la antena de parche pentagonal con modificaciones geométricas optimizada, se establecen comparaciones en la Tabla 3 con algunos diseños de antenas para RFID realizadas anteriormente, haciendo énfasis en el ancho de banda de la relación axial, considerado como el parámetro primordial a obtener y optimizar en esta investigación.

Tabla 3: Comparación con diseños anteriores de antenas para RFID.

Parámetro	Parche cuadrado con anillos resonadores	Parche elíptico con quillas y metamateriales	Parche elíptico alimentado por proximidad	Parche pentagonal alimentado por proximidad	Parche pentagonal con modificaciones geométricas

SISTEMA RADIANTE DE MICROCINTA CON POLARIZACIÓN CIRCULAR PARA APLICACIONES RFID EN 2.4 GHZ

Ancho de banda de relación axial	102.1 MHz (4.18 %)	123.8 MHz (5.07 %)	113 MHz (4.63 %)	125.5 MHz (5.14 %)	138 MHz (5.65 %)
----------------------------------	-----------------------	-----------------------	---------------------	-----------------------	---------------------

Haciendo un análisis de la Tabla 3, se puede demostrar la eficacia que presenta la inserción de aperturas en forma de sector circular en las esquinas de un parche en el desempeño de la polarización circular, sobre todo si se colocan donde el campo eléctrico es mínimo. Además, se comprueban las ventajas que ofrece la alimentación por acoplamiento electromagnético en una sola capa comparada a la de dos capas, la facilidad de construcción que presenta y la obtención de la polarización circular es simple.

5. CONCLUSIONES

Se logra el diseño de una antena de parche pentagonal con modificaciones geométricas utilizando la herramienta de simulación CST Suite 2017. Se obtienen resultados satisfactorios con un ancho de banda amplio donde se cumple que la relación axial de polarización es inferior a los 3 dB, teniendo en cuenta la elevada tangente de pérdida y alta permitividad relativa del sustrato FR-4. Se parte de un diseño inicial y luego de varias modificaciones y prototipos, se selecciona el que mejor desempeño tuvo dentro del rango necesario para aplicaciones RFID atendiendo también a ganancia y acoplamiento de impedancias.

RECONOCIMIENTOS

Los autores agradecemos a todo el colectivo del Laboratorio de Comunicaciones Inalámbricas de la CUJAE por su ayuda y apoyo incondicional.

REFERENCIAS

- [1] R. G. G. Rachel García Carmona, "Diseño de un arreglo faseado en la banda de 2.4 GHz para aplicaciones de RFID," Comunicaciones Inalámbricas, CUJAE, La Habana, 2015.
- [2] F. F. Pablo Garde Paniagua, Jose Javier Astráin, "Estudio de implantación de sistema de trazabilidad RFID en el proceso productivo de Tasubinsa," E.T.S. de Ingeniería Industrial, Informática y de Telecomunicación, Universidad Pública de Navarra, Pamplona, 2016.
- [3] B. M. Sedghy, "Evolution of Radio Frequency Identification (RFID) in Agricultural Cold Chain Monitoring: A Literature Review," Dhillon School of Busines, University of Lethbridge, Canadá, 2019.
- [4] B. D. T.K. Das, D. Behera, S.K. Behera, N.C. Karmakar, "Design and Modelling of a Compact Circularly Polarized Antenna for RFID Applications," *International Journal of Electronics and Communications* 2020.
- [5] F. M. R. Nelson Paz García, Steven Jesús Paz Barrera, "Antena de microcinta con Polarización Circular para aplicaciones RFID en 2.4 GHz," *Revista Telemática*, vol. vol 19, 2020.
- [6] H. U. Pérez, "Antena de parche cuadrado para aplicaciones RFID en 2.4 GHz con supresión de armónicos," Comunicaciones Inalámbricas, CUJAE, La Habana, 2017.
- [7] D. N. R. Laura Alina Cejas Martín, "Supresión de armónicos en antenas de parche circular para aplicaciones RFID en 2.4 GHz," Comunicaciones Inalámbricas, CUJAE, La Habana, 2017.
- [8] I. M. d. O. Andro Prieto Duarte, "Diseño de una antena de Parche Pentagonal para Sistemas RFID," Comunicaciones Inalámbricas, CUJAE, La Habana, 2017.
- [9] C. A. Balanis, *Antenna Theory Analysis and Design*, 4th ed. New Jersey, 2016.
- [10] C. C. Palmero, "Diseño de antena reconfigurable en frecuencia para aplicaciones Wifi, Bluetooth y localización de dispositivos en la banda civil," Comunicaciones Inalámbricas, CUJAE, La Habana, 2020.
- [11] D. A. F. Leyva, "Diseño y Análisis de un Arreglo de Antenas de Microcinta con Polarización Circular que Opere en las Bandas de 2.4 GHz y 5GHz para Aplicaciones WLAN," Comunicaciones Inalámbricas, CUJAE, La Habana, 2020.
- [12] O. H. M. Douglas Oña Valladares, Francisco R. Marante Rizo, "Arreglo de antenas con Polarización Circular y tecnología RGW para aplicaciones satelitales," *Revista Telemática*, vol. vol 19, 2020.
- [13] D. M. Pozar, *Microwave Engineering*, 4th ed. Unites States of America, 2012.
- [14] A. Ledesma, "Antena con polarización circular alimentada por acoplamiento electromagnetico para aplicaciones RFID," Comunicaciones Inalámbricas CUJAE, La Habana, 2015.
- [15] J. L. Li, Hui; Zhang, Shuai; Luo, Miaohui; Zhang, Yuan; He, Sailing, "A Wideband Single-Fed, Circularly-Polarized Patch Antenna with Enhanced Axial Ratio Bandwidth for UHF RFID Reader Applications," *IEEE*, 2018.

- [16] A. D. C. V. Nelson Paz García, Dayan Pérez Quintana, Rolando Guerra Gómez, Francisco Marante Rizo "Antena de microcinta doble banda con polarización circular para aplicaciones WLAN," presented at the 19 Convención Científica de Ingeniería y Arquitectura Palacio de Convenciones de la Habana, 2018.
- [17] S. M. S. C. Suarez Fajardo, J. Ariza Pulido, G. Puerto Leguizamón, "Suspended plate antenna with circular polarization and configurable sense of rotation," *INGE CUC*, vol. 16, 2020.
- [18] C.-H. W. J-S. Sun, "A Broadband circularly polarized antenna of square-ring patch for UHF RFID reader applications," *International Journal of Electronics and Communications*, 2017.
- [19] *CST STUDIO SUITE 2017*. Available: <https://www.cst.com/2017>
- [20] A. T. F. M. A. Torres, J. Vassal'lo, M. Beruete, "Broadband circular polarized field generation in single layer microstrip patch antennas," Antenna Group, Electrical and Electronic Engineering Department, Public University of Navarra, Pamplona, Spain, 2015.
- [21] A. S. Yosán Morales García, "Antena de microcinta con polarización circular para aplicaciones RFID en 2.4 GHz," *Comunicaciones Inalámbricas*, CUJAE, La Habana, 2016.

SOBRE LOS AUTORES

Raunel García Quintana, Ingeniero en Telecomunicaciones y Electrónica en la Universidad Tecnológica de la Habana José Antonio Echeverría (CUJAE). Graduado en el año 2021. Integrante del grupo de investigación de Comunicaciones Inalámbricas en la Facultad de Telecomunicaciones de la CUJAE. ORCID: 0000-0003-1339-3993.

Francisco Marante Rizo, Graduado de Ingeniero en Telecomunicaciones en el año 1974 en la Universidad de La Habana y Dr.C en la Universidad Técnica de Praga en 1986. Profesor titular y Jefe del grupo de investigación de Comunicaciones Inalámbricas en la Facultad de Telecomunicaciones de la CUJAE. ORCID: 0000-0003-3277-1371.

CONFLICTO DE INTERESES

No existe ningún conflicto de intereses de los autores o de las instituciones a las cuales pertenecen en relación al contenido del artículo aquí reflejado.

CONTRIBUCIONES DE LOS AUTORES

- **Raunel García Quintana**: 60 % Conceptualización, preparación, creación y desarrollo del artículo.
- **Francisco Marante Rizo**: 40 % Revisión crítica de cada una de las versiones del borrador del artículo y aprobación de la versión final a publicar.

Esta revista provee acceso libre inmediato a su contenido bajo el principio de hacer disponible gratuitamente investigación al público. Los contenidos de la revista se distribuyen bajo una licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 Unported License. Se permite la copia y distribución de sus manuscritos por cualquier medio, siempre que mantenga el reconocimiento de sus autores y no se haga uso comercial de las obras.

