

Antena de Parche con Polarización Circular, para Aplicaciones RFID (*Radio Frequency IDentification*)

Dayan Pérez Quintana, Yosán Morales García, Francisco Marante Rizo

RESUMEN / ABSTRACT

En este artículo, se presenta un parche circular, utilizando como técnica de alimentación el acoplamiento electromagnético en una sola capa, capaz de generar polarización circular de banda ancha. La polarización circular (PC) se obtiene con la variación en uno de los brazos de la alimentación, mientras que el aumento en el ancho de banda (AB) se logra mediante la realización de dos incisiones en el borde del círculo. Los resultados de la simulación se validan usando el sustrato FR4, obteniéndose un AB en PC por debajo de los 3 dB de 142,9 MHz (2.37 GHz-2.51 GHz) los cuales representan un 5.86% con respecto a la frecuencia central. Los datos presentados son relativos a la frecuencia central de 2.44 GHz aplicable para lectores RFID en la banda ISM (*Industrial, Scientific and Medical*), logrando un diseño barato, eficiente y aportando una solución viable para estas aplicaciones.

Palabras claves: RFID, Polarización Circular, Parche Circular, Acoplamiento Electromagnético.

This article, a circular patch is presented, using electromagnetic coupling in a single layer as a feeding technique, capable of generating wide-band circular polarization. The circular polarization (CP) is obtained with the variation in one of the feeding arms, while the increase in the bandwidth (BW) is achieved by making two incisions at the edge of the circle. The results of the simulation are validated using the substrate FR4, obtaining an BW in CP below 3 dB of 142.9 MHz (2.37 GHz-2.51 GHz) which represent 5.86% with respect to the center frequency. The presented data are relative to the central frequency of 2.44 GHz applicable to RFID readers in the Industrial, Scientific and Medical (ISM) band, achieving a cheap, efficient design and providing a viable solution for these applications.

Key words: RFID, Circular Polarization, Circular Patch, Electromagnetic Coupling.

Circular Polarization Patch Antenna for RFID Applications.

1. -INTRODUCCIÓN

La necesidad de conocer la descripción y ubicación de las pertenencias, ha llevado al hombre a clasificar todo lo que le rodea e idear diversos sistemas para su control. Con el desarrollo de la tecnología se crearon nuevas alternativas para tener acceso a la información de interés de manera más sistemática y segura. Los sistemas de identificación por radiofrecuencia o RFID, Figura 1, son en la actualidad la tecnología de mayor crecimiento en el sector, estos sistemas requieren de antenas con PC que les permitan detectar y establecer una correcta comunicación con las etiquetas independientemente del ángulo de visibilidad; además, se persigue la miniaturización para lectores portátiles, por lo que las antenas de microcintas son una alternativa ideal [1].

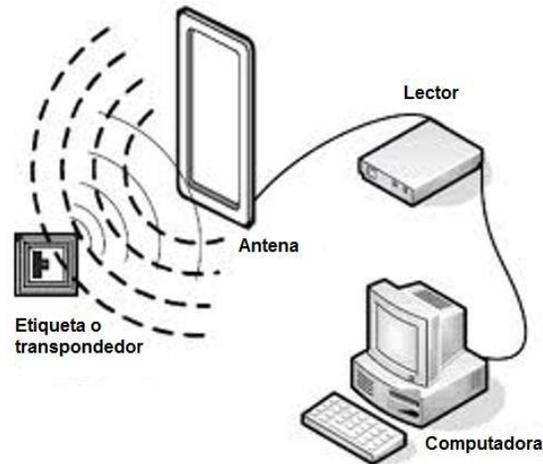


Figura 1
Componentes de un Sistema RFID.

Cada sistema RFID incluye como mínimo una antena para transmitir y recibir las señales de radio frecuencia, en otras palabras, son los dispositivos que permiten radiar las señales de los lectores y leer las ondas de radio de las tarjetas o etiquetas integradas a los objetos. Véase que se requiere por el lector la habilidad de reconocer la etiqueta en un rango de lectura prolongado, por lo que debe diseñarse (la antena del trasmisor) como una antena de alta ganancia para tener un rango de lectura extenso. Según las circunstancias de su uso, la antena de un lector debe coincidir con sus aplicaciones, particularmente debido a emisiones relacionadas con la violación de la privacidad, por esta razón estos sistemas dependen en gran medida de las propiedades que tengan las antenas utilizadas en cada aplicación.

Los sistemas RFID, debido a la variedad de aplicaciones en que son empleados, se pueden clasificar según diversos criterios:

- Tipos de etiquetas (pasivas, activas y semi-activas) [2].
- Rango de frecuencia (LF (*low frequency*) inferiores a 135 kHz; HF (*high frequency*) 13.56 MHz; UHF (*ultra high frequency*) banda de 433 MHz, 860 MHz y 928 MHz y frecuencias de microondas 2.44 GHz y 5.8 GHz) [2].
- Capacidad de programación (solo lectura; una escritura y múltiples lecturas y lectura/escritura) [2].
- Protocolo de comunicación (dúplex; medio dúplex; dúplex completo y secuencial) [2].

Las características físicas con las que se diseñen los lectores de RFID son de gran importancia y varían según la aplicación. Para esta investigación se consideran las siguientes particularidades:

- Adaptación de impedancias: La adaptación conjugada entre el chip del lector y la antena utilizada será un factor importante para el traspaso de la mayor cantidad de energía entre el chip y la antena y viceversa. Puesto que la sensibilidad del lector es generalmente mayor que la de la etiqueta y debido a que es posible utilizar elementos que amplifiquen la señal recibida sin que esto suponga un gran problema, así como redes de adaptación externas, no será un factor limitante en la construcción de un sistema RFID [3]. Generalmente los chips de los lectores tienen una impedancia de 50 Ω , siendo sólo necesario adaptar la impedancia real.
- Ganancia: Para el lector no es necesario un patrón omnidireccional como ocurre en las etiquetas, ya que debido a su emplazamiento fijo será posible apuntar la antena a la zona de paso de las mismas. Es decir, podrá adquirir forma lobular haciendo que, a menor ancho de haz se consiga mayor directividad, y por tanto, mayor ganancia. Con una alta ganancia se consigue un mayor rango de lectura, aunque se reducirá la razón de lectura del lector. Por tanto será necesario buscar un compromiso entre ambas características [4].
- Polarización: Cuando la orientación de la antena de la etiqueta varía al azar, se requiere para el lector una antena con PC, además de que logra evitar ruidos y factores ambientales de naturaleza lineal [5].

La generación de la PC en sistemas de comunicaciones inalámbricas ha atraído un gran interés debido a las mejoras reconocidas que trae: no requiere alineación de la polarización entre el transmisor y el receptor, es más robusto frente a los

efectos de trayectos múltiples, lo hace factible para recibir la polarización lineal en cualquier ángulo y muestra gran facilidad en la penetración de obstáculos [6].

Múltiples son las antenas diseñadas para la obtención de mayores anchos de banda y diversas son las técnicas utilizadas. El desfasaje de los brazos, así como la proximidad de estos a la estructura, hace que la antena se excite de manera electromagnética y evite la discontinuidad que pudiera ocasionar una alimentación por contacto [7]. Las formas geométricas más empleadas para la obtención de PC son el cuadrado y el círculo [8-11], ya que utilizando dos alimentaciones de igual amplitud y diferencia de fase 90° se excitan dos modos ortogonales que provocan la rotación del campo electromagnético [12]. Otras vías alternativas para la obtención de un mayor AB en PC, es el truncamiento de los elementos radiantes o la utilización de varias capas de sustratos [13-15], en definitiva estas variaciones encarecen y complejizan el sistema.

El fin que pretende alcanzar este documento, es obtener una antena que supere los 5% de AB en PC utilizando como técnica de alimentación el acoplamiento electromagnético en una sola capa, demostrando la superioridad de esta técnica con las utilizadas tradicionalmente, sin necesidad de emplear elementos activos que consuman potencia y causen pérdidas de radiación en el sistema. De esta forma se pudiera emplear como elemento transmisor en aplicaciones RFID.

2.- DISEÑO Y CONFIGURACIÓN DE LA ANTENA

Se establece como punto de partida, la utilización de un parche elíptico alimentado por acoplamiento electromagnético en una sola capa, el cual solamente logra un AB en PC de 74 MHz [16]. A este diseño se le realizan modificaciones (ver Figura 2), las cuales consisten en cambiar la elipse por un círculo, además de insertar dos aperturas en forma de sector circular, con el objetivo de provocar perturbaciones en el parche que deriven en el incremento del AB en PC. En la Tabla 1 se presentan las características del sustrato empleado.

Tabla 1
 Características del sustrato FR4.

| Substrato | Permitividad dieléctrica | Tangente del ángulo de pérdidas | Altura (mm) | Grosor del cobre (mm) |
|-----------|--------------------------|---------------------------------|-------------|-----------------------|
| FR4 | 4.4 | 0.02 | 1.6 | 0.035 |

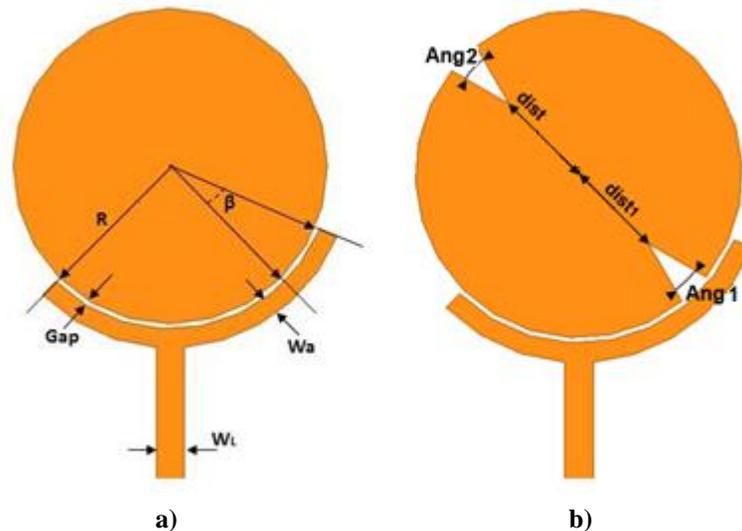


Figura 2
 a) Diseño con desfasaje en la alimentación. b) Diseño con ranuras en los bordes.

Las variables mostradas en la Figura 2 se describen de la siguiente manera: β regula la amplitud de uno de los brazos que excita al sistema, R controla el radio del círculo, Gap es la distancia que existe entre la alimentación y el elemento radiante, W_a y W_L son los anchos respectivos de los brazos y la línea de alimentación, $Ang1$ y $Ang2$ controlan independientemente la apertura de cada sector circular y finalmente $dist$ y $dist1$ regulan la profundidad de cada sector circular respectivamente.

La simulación se llevará a cabo utilizando el software HFSS v13.0 [17]. Se comienza analizando la Figura 2 a), cuyos valores principales son: $R = 16.5$ mm, $W_a = 1.4$ mm, $\text{Gap} = 0.2$ mm, $W_L = 3.06$ mm y $\beta = 20^\circ$, esta última sufrirá pequeñas variaciones buscando un mejor acoplamiento del sistema en impedancia y un mayor AB de PC.

Analizando los datos obtenidos de las gráficas (Figuras 3 y 4), se observa que al aumentar gradualmente la variable β se percibe un desplazamiento hacia la frecuencia central de 2.44 GHz, logrando además un mejor acoplamiento en $\beta=22^\circ$; hay que destacar que en las tres parametrizaciones presentadas en la figura 3 aparecen dos muescas las cuales se van acercando mientras mejor se acopla el sistema. Estas muescas validan la ortogonalidad de los modos de resonancia (TM_{11} y TM_{22}), condición indispensable para la obtención de polarización circular [16]. Analizando la relación axial obtenida, figura 4, el criterio utilizado explica que para una correcta obtención de PC es necesario que todo el AB requerido esté por debajo de los 3 dB, es decir la relación del semieje mayor sobre el semieje menor de la elipse de polarización, la cual permite evaluar la circularidad, siempre es mayor que 0 dB (siendo los 0 dB valor ideal de relación axial a alcanzar y como valor crítico los 3 dB antes mencionados) [12]. El AB en PC será el área bajo la curva que cumpla esta condición, en este caso no cumple con las especificaciones para las aplicaciones RFID, estas necesitan un mínimo de 70 MHz para un correcto funcionamiento [1].

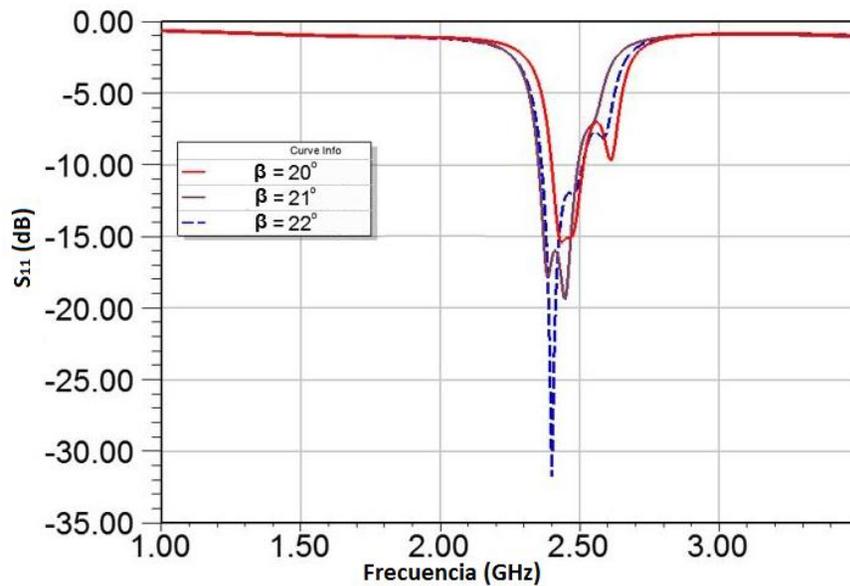


Figura 3
Parámetro S_{11} con las variables β optimizadas.

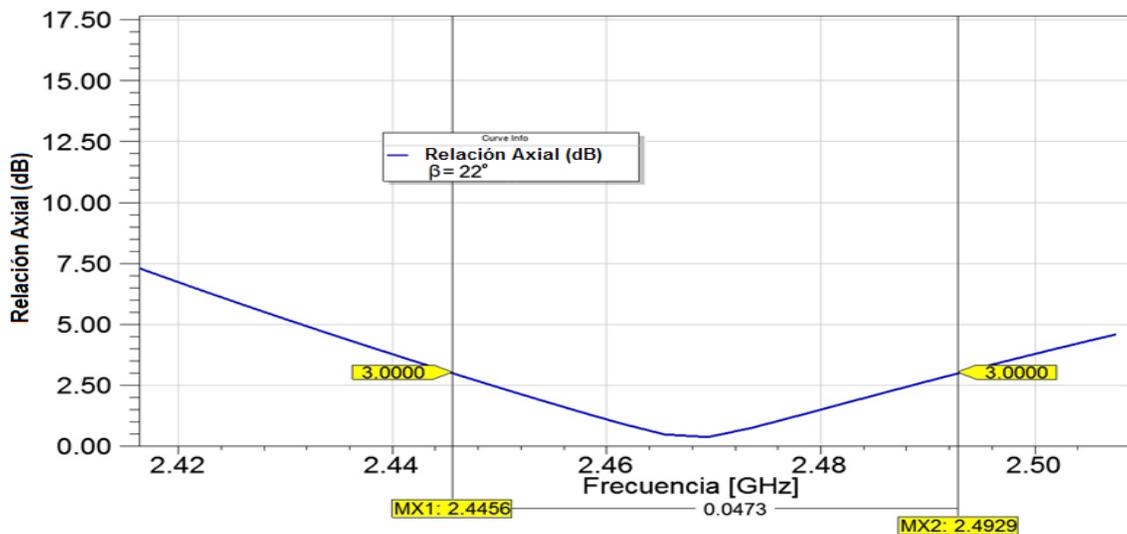


Figura 4
Gráfica de relación axial (RA).

2.1.- ANTENA CON RANURAS

Realizando un estudio del campo eléctrico que se distribuye en la cara superior de la antena si ranuras (ver Figura 2a) en la frecuencia central 2.44 GHz, se comprueba que existe un mínimo de corriente que atraviesa el parche, (ver Figura 5a), por lo que se decide realizar dos aperturas en la misma dirección del mínimo localizado, con el objetivo de aumentar el AB del sistema (figura 5b) [18]. Las primeras aperturas se realizaron con figuras geométricas clásicas, dígame rectángulos y círculos, no obteniendo los resultados esperados. Se decide trabajar con la inserción de sectores circulares; la perturbación que se le aplica al parche circular varía suavemente hacia el centro de la circunferencia, causando un aumento considerable en las propiedades de AB en PC, véase que las ranuras realizadas, Figura 5b, coinciden con la ubicación del mínimo de corriente, Figura 5a.

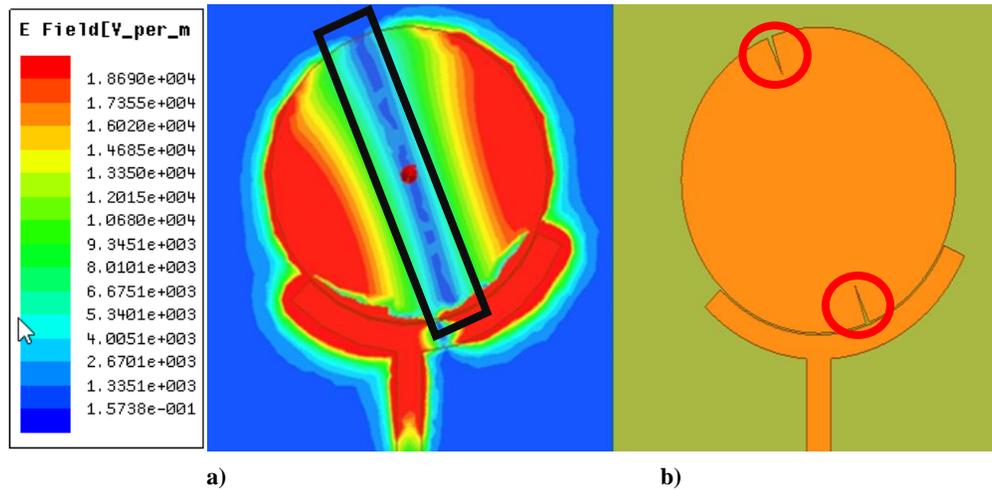


Figura 5
 a) Distribución del campo eléctrico sobre el parche. b) Colocación de las ranuras.

En la Figura 6 se verifica el aumento del AB en PC con respecto al diseño sin perturbaciones en el parche, Figura 2a, el cual varió de 47.3 MHz a 142.9 MHz, demostrando la veracidad de la hipótesis seguida anteriormente. El parámetro S_{11} mejoró sustancialmente, incrementando su AB hasta 192.4 MHz, situación que revela el correcto acoplamiento, alimentación-elemento radiante, además de cubrir sin ninguna dificultad el AB obtenido para la PC, Figura 7.

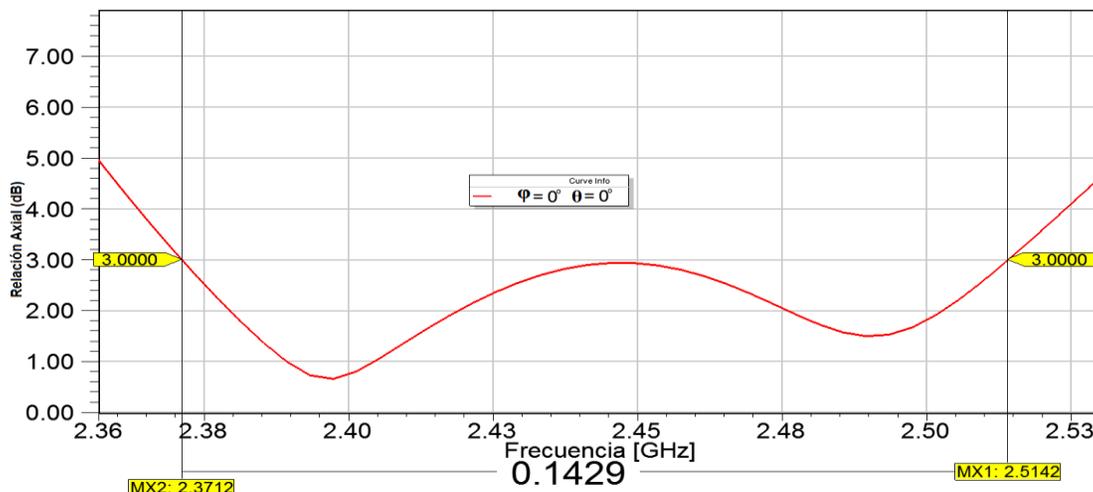


Figura 6
 Gráfica de relación axial.

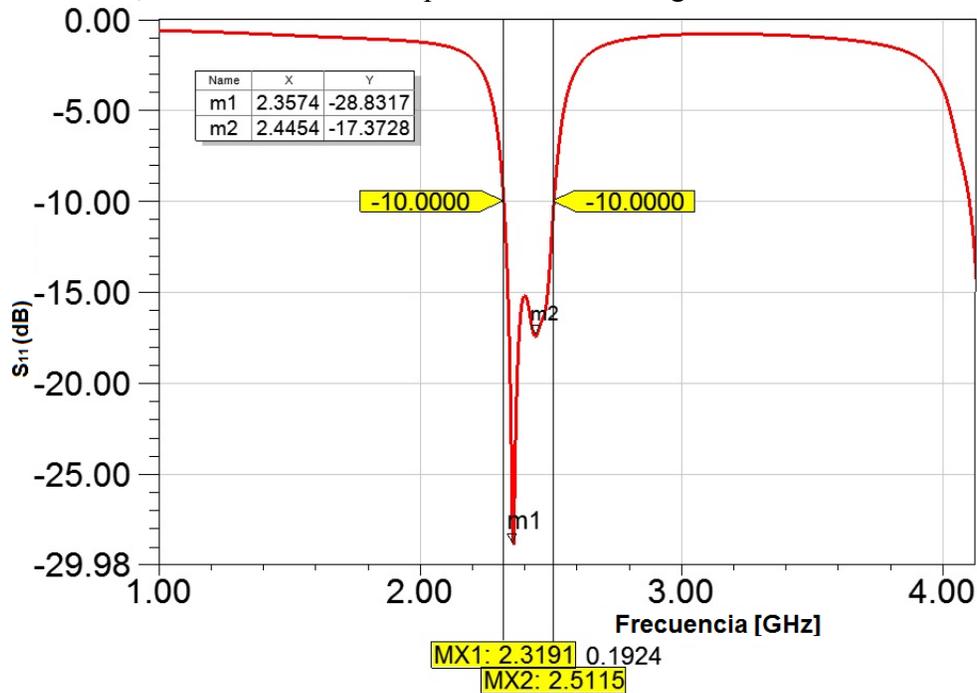


Figura 7
 Parámetro S₁₁.

En la Tabla 2 se muestran las dimensiones con las que se obtuvieron los mejores resultados, posterior al proceso de simulación y optimización del sistema radiante.

Tabla 2: Dimensiones del diseño.

| Variables | Dimensiones |
|----------------|-------------|
| R | 16.2 mm |
| W _L | 3.06 mm |
| Gap | 0.2 mm |
| β | 22° |
| Wa | 3 mm |
| Ang1 | 5° |
| Ang2 | 8° |

3.- CONSTRUCCIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

La construcción de esta antena fue realizada según la técnica de foto-impresión por revelado químico, esta no es la técnica más precisa, aunque cabe resaltar que para las dimensiones con que se trabajó, la utilización de la misma no influirá de manera negativa en la veracidad, ni en la calidad de la fabricación. En este proceso se emplearon múltiples software, entre los que se encuentran el HFSS v13.0 (*High Frequency Structure Simulator*) [17], el cual se empleó para simular las principales propiedades de la antena y el CAM-350 [19], programa que realiza el dibujo computarizado de la antena para su posterior impresión en las caras del sustrato.

El proceso de construcción consiste:

1. Exportar el fichero .dxf al software CAM-350.
2. Obtención del fichero PCB, el cual es la representación mecánica y dimensional de la futura antena.
3. Foto-impresión.
4. Revelado mediante sustancias químicas.
5. Limpiado y secado de la estructura, así como la identificación de posibles errores de impresión.

El proceso comienza exportando del software HFSS v13.0 el fichero .dxf de la antena al software CAM-350, en este se crea el fichero PCB, el cual es una representación mecánica y dimensional de una tarjeta de circuito impreso; en el mismo se detallan las dimensiones de la antena, el diámetro de los agujeros, se indican los agujeros metalizados y no metalizados y las distintas capas, en caso de requerirse. También se realiza una verificación y optimización, donde se analizan errores de diseño, distancia y tamaño entre las calles o espacios entre elementos. En la construcción de esta antena el proceso a utilizar es el de exposición ultravioleta, también conocido como foto-impresión.

Realizada la impresión de la estructura, la Figura 8 muestra la antena físicamente construida.



Figura 8

Antena construida según las dimensiones obtenidas en la simulación.

Analizando de manera detallada el parche circular (ver Figuras 9a, 9b y 9c), se observa que los errores de construcción son mínimos. La antena presenta una longitud máxima de 8.2 cm, propiedad que la hace adaptable a cualquier entorno y superficie; logrando la miniaturización del sistema se garantiza la utilidad en aplicaciones que necesiten ser instaladas para uso portátil, dígame en almacenes, tiendas entre otras [1].

Las mediciones se realizaron en dos ambientes distintos, en el Laboratorio de Comunicaciones Inalámbricas de la Universidad Tecnológica de La Habana (Cujae) y al aire libre, con el ánimo de lograr los resultados más certeros posibles.

Primeramente se mide el parámetro S_{11} , el cual determina el acoplamiento de impedancia de la antena, hay que aclarar que este sistema es alimentado por un conductor SMA de 50 Ω . Los resultados simulados y medidos se presentan en la Figura 10.

Para esta medición se utilizó un Analizador Vectorial de Redes ZVB 20 (VNA, siglas en inglés), dispositivo que permite realizar barridos de frecuencia de 10 MHz a 20 GHz y cuenta con un ordenador integrado con Windows Xp para procedimientos automatizados (ver Figura 11a y 11b) [20].

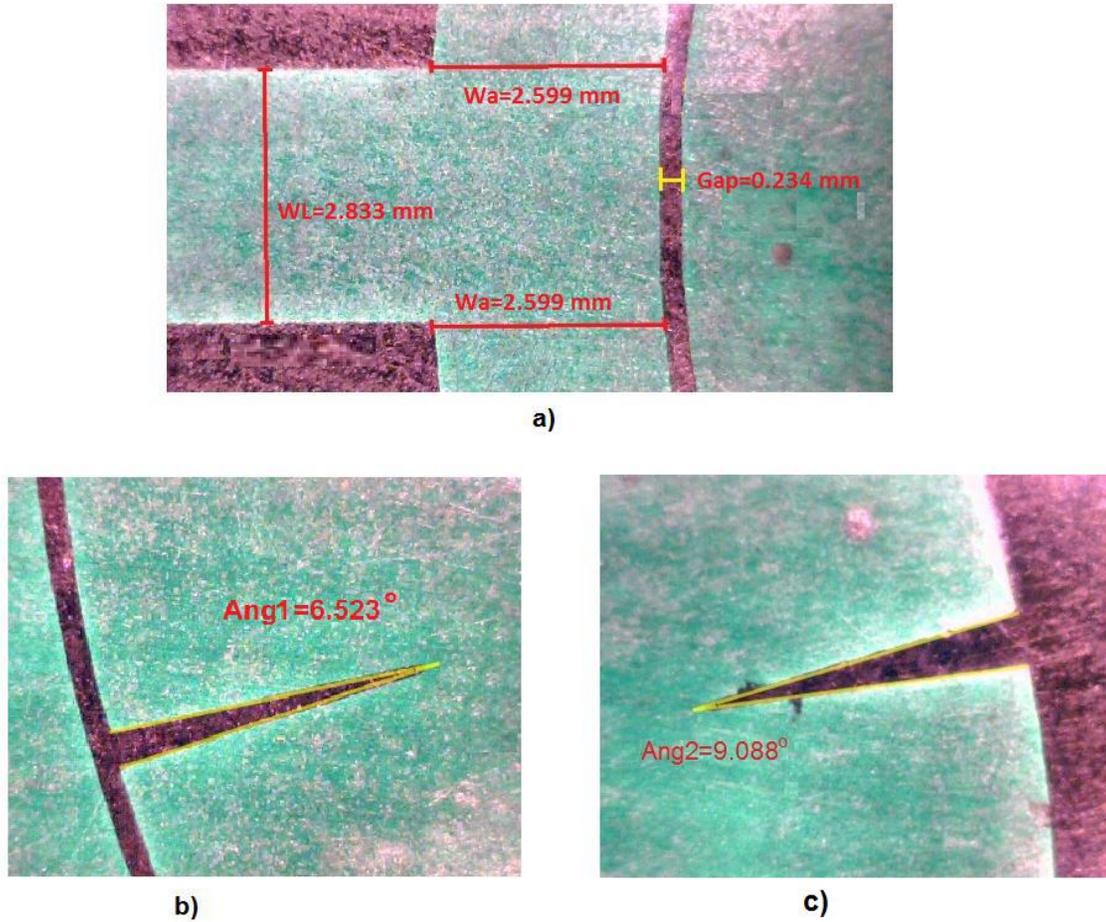


Figura 9
 Dimensiones de la antena construida a) Alimentación b) Ang1 c) Ang2.

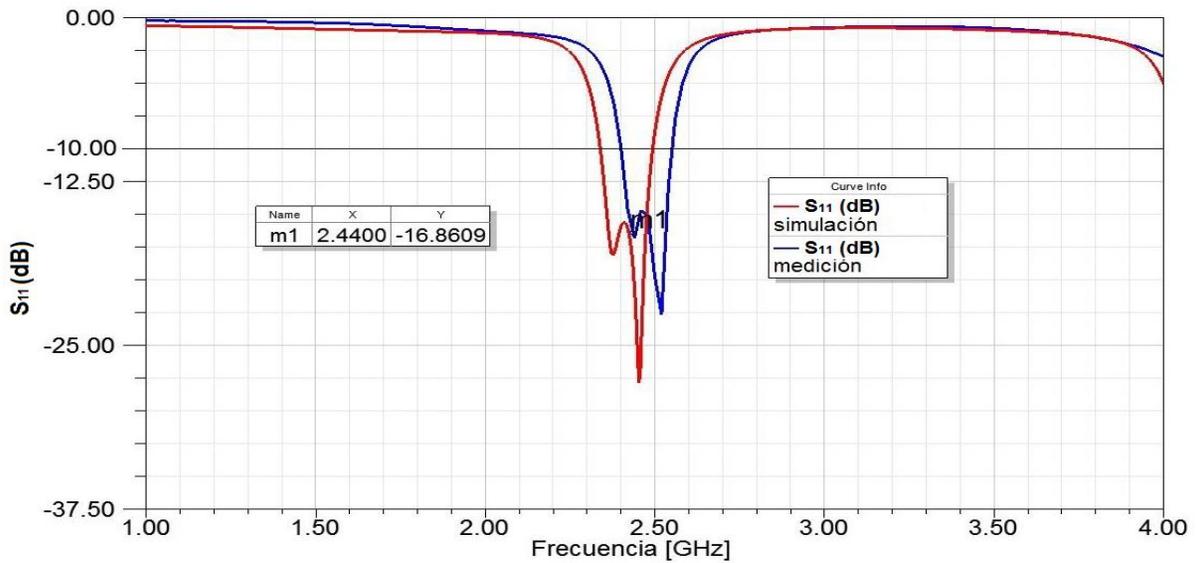


Figura 10
 Parámetro S_{11} , simulado y medido.



Figura 11
Configuración experimental implementada para estimación del parámetro S_{11} . a) Analizador Vectorial de Redes ZVB 20 b) Conexión con la antena.

Nótese un ligero desplazamiento hacia las altas frecuencias, del parámetro S_{11} , producto de alguna anomalía en el proceso de foto-impresión (Figura 10). Esta característica no afecta en ningún sentido el óptimo acoplamiento de la antena, ni el AB logrado por la misma. Véase que el marcador fijado en la Figura 10 ($m1 = -16,86$ dB) está en la frecuencia central de resonancia del sistema, es decir 2.44 GHz, el cual cumple el criterio de acoplamiento seguido: todo el AB del parámetro S_{11} por debajo de -10 dB, lo cual representa una Razón de Onda Estacionaria (ROE) por debajo de 2, asegura el acoplamiento en impedancia de la antena [12].

Con el ánimo de estimar el diagrama de radiación, se recreó el set de mediciones presentado en la Figura 12; hay que destacar que aunque estas mediciones deben realizarse dentro de una cámara al menos semi-anecoica, los resultados arrojados por la misma no le restan mérito alguno y cumple el objetivo trazado por los autores para esta investigación.



Figura 12
Configuración experimental implementada para estimación del diagrama de radiación

Las mediciones se realizan con el objetivo de conformar el patrón de radiación de la antena y así comparar, con los resultados obtenidos de la simulación, el sentido de propagación de la misma (ver Figura 13). Se destaca que estas mediciones se ejecutaron en un ambiente exterior en un piso elevado, intentando simular espacio libre, y utilizándose como

Generador de Señales (R&S SMF) conectado a una antena de bocina de banda ancha que opera en el rango de frecuencias analizadas, la antena diseñada se acopla a un Analizador de Espectro (R&S FSL) [20].

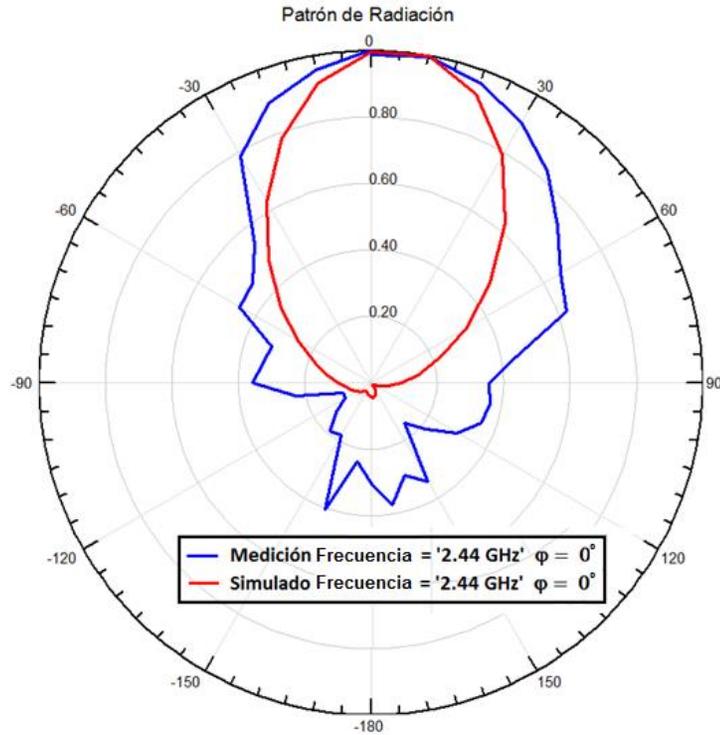


Figura 13
Patrón de radiación.

Para la realización de la medición referida a la relación axial, parámetro que avala el AB alcanzado por el sistema y objetivo principal de este documento; se escogen 5 frecuencias que estén en el rango definido en la simulación: 2.39 GHz, 2.42 GHz, 2.44 GHz, 2.46 GHz y 2.48 GHz, 2.50 GHz. Posteriormente se transmite con un dipolo, de polarización lineal y se recibe con la antena construida, rotándola secuencialmente 10° hasta que cubra los 360° completos; si recibió con la misma potencia aproximada en todos estos ángulos, se verifica que existe PC en ese rango de frecuencia [18]. Esta acción se repite con todas las frecuencias propuestas, mostrando en la Figura 14 los resultados obtenidos, los cuales certifican la existencia de polarización cruzada en todo el AB, dado que para 2.39 GHz se recibió con una relación señal a ruido (S/N) aproximada de -25.26 dBm, para 2.42 GHz -27.25 dBm, 2.44 GHz -26.10 dBm, 2.46 GHz -25.48 dBm, 2.48 GHz -26.20 dBm y para 2.50 GHz -25.50 dBm certificando así la existencia de PC en todo el AB obtenido con el simulador, Figura 14.

Al realizar un análisis detallado de los resultados obtenidos en la medición de la antena se puede afirmar que la misma puede ser utilizada como parte de un sistema de RFID, ya que cumple a cabalidad todas las características requeridas. Presenta un patrón de radiación lobular, con un único máximo en la dirección de radiación, el cual puede ser bien dirigido hacia las tarjetas o la región a la que se le requiera realizar la lectura, Figura 13. La adaptación de impedancia está debidamente ajustada en los 50Ω , dato que se comprueba interpretando la Figura 10, lo que permitirá una mayor transferencia de energía entre el chip o etiqueta y la antena y viceversa, siendo este un factor vital en los sistemas RFID. La PC es lograda sin mayor contratiempo, además de alcanzar un AB considerable, esto le aporta mayor solidez y confiabilidad al sistema, ya que no se producirán pérdida de la información por lecturas erróneas o en el trayecto, Figura 14. Verificado estos aspectos se puede decir con total seguridad que la antena construida puede ser utilizada para formar parte de un sistema RFID.

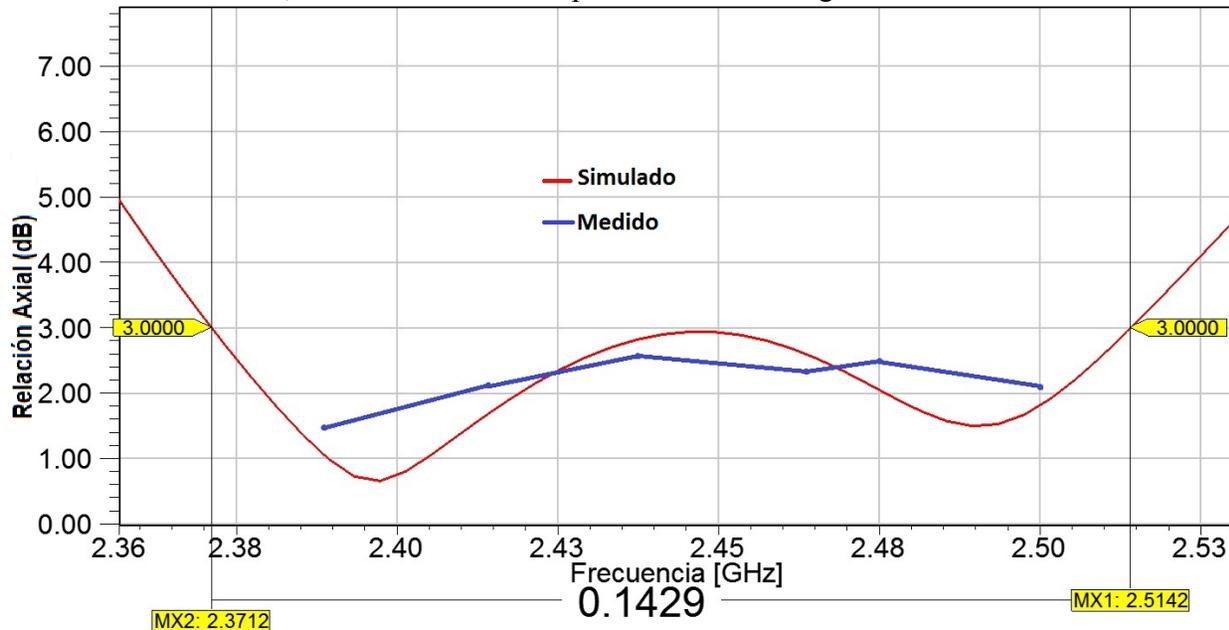


Figura 14
Relación axial simulada y medida.

4.- CONCLUSIONES

En este trabajo se construyó una antena de microcinta con PC en la banda de 2.44 GHz, con el fin de aplicarla a los lectores de RFID. Se comprobó que la técnica de obtención de PC mediante la alimentación por acoplamiento electromagnético y la inserción de ranuras en los mínimos de corriente presentes en la estructura, arroja excelentes resultados de AB de razón axial logrando hasta 5.86% con respecto a la frecuencia central del sistema. Los valores obtenidos superan el estado actual de estas antenas y establece una línea de trabajo a tener en cuenta para futuros diseños. La antena construida se sometió a mediciones reales, en las cuales se pudo comprobar y comparar la veracidad de los resultados obtenidos con el simulador de antenas utilizado, demostrando así la calidad del producto terminado. Las dimensiones del diseño no superan los 5 cm de ancho y los 9 cm de largo, por tanto, resulta propicia para lectores RFID móviles.

REFERENCIAS

1. Arredondo-Pacheco J. and Hirsch-Vergara D., *Los identificadores por radiofrecuencia (RFID) y su uso como un "novedoso" mecanismo de control empresarial*. Revista Chilena de Derecho del Trabajo y de la Seguridad Social, 2013. **4**(8): p. 22-59.
2. Portillo J.I., Bermejo A.B., Bernardos A. M. and Martínez I., *Tecnología de identificación por radiofrecuencia (RFID): aplicaciones en el ámbito de la salud*. 2008, Madrid. 178.
3. Nistal-González I., *Sistemas RFID en UHF y Microondas*. 2011, Universidad Carlos III De Madrid: Madrid. p. 169.
4. Cardama A., Jofre Ll., Rius J.M., Romeu J., Blanch S. and Ferrando M., *Antenas*. 2da ed. ed. 2002, Barcelona. 460.
5. Finkenzeller K., *RFID Handbook*. 3 ed. 2010, United Kingdom: John Wiley & Sons.
6. Manabe T., Sato K., Masuzawa H., Taira K., Ihara T., Kasashima Y., Yamaki K., *Polarization dependence of multipath propagation and high-speed transmission characteristics of indoor millimeter-wave channel at 60 GHz*. Veh. Technol. IEEE Trans, 1995. **44**(2): p. 268-264.
7. Rodríguez-Ávila D., González-Gutiérrez E., Coto-Mederos M. y Marante-Rizo F., *Consideraciones de diseño de antenas de microcinta multibandas*. Revista Telem@tica., 2014. **13**(2): p. 1-12.
8. Zaker R. and Abdipour A., *Dual-wideband circularly-polarised slot antenna using folded L-shaped stub*. Electronics Letters, 2011. **47**(6): p. 361-363.
9. Pyo S. and Sung Y., *Asymmetrical coupling feed of circularly polarized microstrip antenna for bandwidth enhancement*. Microwave and Optical Technology Letters, 2016. **58**(7): p. 1672-1675.
10. Woo Lee S. and Sung Y., *A Polarization Diversity Patch Antenna with a Reconfigurable Feeding Network*. Journal of Electromagnetic Engineering And Science, 2015. **15**(2): p. 115-119.

11. Sung Y.J., *Circularly polarised square patch antenna with asymmetrical Y-shaped feed structure*. Electronics Letters, 2010. **46**(19): p. 1860-1861.
12. Balanis C. A., *Modern Antenna Handbook*. 2008, United States of America: John Wiley & Sons. 1700.
13. Rodríguez-Ávila D., González-Gutiérrez E., Coto-Mederos M. y Marante-Rizo F., *Antena doble banda alimentada por proximidad para aplicaciones de WLAN en 2.4 y 5.2 GHz*. Revista de Ingeniería Electrónica, Automática y Comunicaciones (RIELAC), 2014. **35**(2): p. 11-24.
14. Ma J., Kouki A.B., Landry R. Jr, *Wideband circularly polarized single probe-fed patch antenna*. Microwave and Optical Technology Letters, 2012. **54**(8): p. 1803-1808.
15. Li X., Ren X., Yin Y., Wu J. and Li Z., *CPW-FED circularly polarized asymmetric square-ring patch antenna for rfid applications*. Microwave and Optical Technology Letters, 2014. **56**(5): p. 1232-1235.
16. Torres-García A., Marante F., Tazón A., Vassallo J., Teniente J. and Beruete M., *Broadband circular polarized field generation in single layer microstrip patch antennas*, in *2016 10th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP)*. 2016, IEEE: Davos, Switzerland.
17. Ansoft Corporation, *User's guide - High Frequency Structure Simulator(HFSS)*. 2005, Ansoft Corporation: Pittsburgh, PA.
18. Gao S., Luo Q. and Zhu F., *Circularly Polarized Antennas*. 2014, India: John Wiley & Sons. 307.
19. DownStream Technologies, *CAM350 v8.0*. 2003: Massachusetts.
20. Vázquez A., *Analizador Vectorial de Redes ZVB20. Análisis de sus potencialidades y desempeño*, CUJAE, Editor. 2012.

AUTORES

Dayan Pérez Quintana, Ing. en Telecomunicaciones y Electrónica por la Universidad Tecnológica de la Habana José Antonio Echeverría (CUJAE). Graduado en el año 2015. dayan.pq@tele.cujae.edu.cu

Yosan Morales García, Ing. en Telecomunicaciones y Electrónica por la Universidad Tecnológica de la Habana José Antonio Echeverría (CUJAE). Graduado en el año 2016. yosanm@nauta.cu

Francisco R. Marante Rizo, Ing. en Telecomunicaciones en el año 1974 en La Universidad de La Habana y Dr. C.T en La Universidad Técnica de Praga en 1986. marante@tele.cujae.edu.cu



Los contenidos de la revista se distribuyen bajo una licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial 3.0 Unported License