



Antena de Microcinta Doble Banda con Supresión de Armónicos para Aplicaciones WLAN

Fidel Martínez Armas, Taimir Alain Morales Roche, Edmanuel Portuondo Martínez, Francisco Marante Rizo

RESUMEN

El presente artículo propone el diseño y simulación de una antena de microcinta con polarización circular en dos bandas de frecuencias 2.4 GHz y 5.2 GHz, supresora del segundo y tercer armónico de las frecuencias fundamentales mediante el empleo de metamateriales, a través de una línea de alimentación de microcinta y el plano tierra ranurado.

Se realizó un estudio de las principales técnicas para suprimir armónicos. Entre las más novedosas se encuentran la inserción de metamateriales, estas estructuras presentan novedosas propiedades en el área del electromagnetismo tradicional. Tales propiedades han permitido el diseño de antenas de microondas con nuevas características de radiación que han servido como principal estímulo para desarrollar esta investigación.

La polarización circular es lograda en ambas bandas de frecuencia a través de ranuras asimétricas y optimizada, introduciendo perturbaciones en la estructura radiante. Con el diseño propuesto se obtiene una miniaturización de las dimensiones de la antena, ganancias de aproximadamente 3.00 dB en las dos frecuencias de interés, anchos de banda de acoplamiento y de polarización circular de 364 MHz en 2.4 GHz y 602 MHz en 5.2 GHz, lo que representa un 15.16 % y 11.57 % respectivamente, suficientes para cubrir los requerimientos de aplicaciones WLAN. Todo el proceso de diseño, simulación y optimización se realizó en el software CST Studio Suite 2017.

Palabras claves: Multibanda; Metamateriales; Armónicos; Microcintas; WLAN (Redes Inalámbricas de Área Local)

ABSTRACT

This article proposes the design and simulation of a microstrip antenna with circular polarization in two frequency bands 2.4GHz and 5.2GHz, suppressor of the second and third harmonics of the fundamental frequencies through the use of metamaterials, using a microstrip power line and the grooved ground plane.

A study of the main techniques to suppress harmonics was carried out. Among the most innovative are the insertion of metamaterials, these structures present novel properties in the area of traditional electromagnetism. Such properties have allowed the design of microwave antennas with new radiation characteristics that have served as the main stimulus to develop this research.

Circular polarization is achieved in both frequency bands through asymmetric slots and optimized by introducing disturbances in the radiating structure. With the proposed design, a miniaturization of the dimensions of the antenna is obtained, gains of approximately 3.00dB in the two frequencies of interest, coupling bandwidths and circular polarization

Recibido: 28/03/2022

Aceptado: 30/04/2022

of 364 MHz in 5.2GHz, which represents 15%, 16 % and 11.57% respectively, enough to cover the requirements of WLAN applications. The entire design, simulation and optimization process was carried out in the CST Studio Suite 2017 software.

Keywords: *Multiband; Metamaterials; Harmonics; Microstrip; WLAN (Wireless Local Area Network)*

Dual band microstrip antenna with harmonic suppression for WLAN applications

1. -INTRODUCCIÓN

El auge vertiginoso de las telecomunicaciones hacia sistemas con velocidades, anchos de banda y calidad de servicio mayor, más robustos y que permitan la movilidad del usuario a velocidades superiores, ha traído consigo la investigación y el desarrollo de tecnologías de telecomunicación inalámbrica con elevadas exigencias. Las antenas planas en tecnología de microcinta son las más utilizadas en los sistemas de comunicaciones inalámbricos emergentes, debido a su reducido tamaño, bajo perfil, pequeño peso, bajo coste, compatibilidad con la tecnología de circuito integrado y las elevadas prestaciones que pueden ser obtenidas hoy día.

Estas antenas son ampliamente utilizadas en las redes inalámbricas, así como en los sistemas de comunicaciones móviles, satelitales y de transmisión de televisión. Sin embargo, una de sus limitaciones es su operación en una sola banda de frecuencia, por lo que surge la necesidad de buscar técnicas y métodos encaminados a superar esta deficiencia. Debido a la necesidad emergente de los sistemas de comunicaciones móviles actuales de soportar múltiples servicios inalámbricos como la conmutación hacia otros canales, mejoras de las velocidades de transmisión, calidad de voz y video, menos llamadas perdidas, transmisión de mayores volúmenes de información, etc., se ha incrementado el desarrollo de antenas que trabajen con un mayor ancho de banda y que resuenen en varias frecuencias.

Las contribuciones científicas fundamentales que se hacen en este trabajo se deben a la capacidad de las antenas de microcinta de poder proporcionar polarización circular (PC), lo cual les permite dar un mejor rendimiento contra la reflexión, absorción y penetración en comparación con antenas linealmente polarizadas, además de ser menos afectadas por los desvanecimientos debido al efecto multitrayecto debido a las diferencias de fase ϕ . Se realizó un acercamiento a las principales formas de obtención de dos bandas de frecuencia (2.4 GHz y 5 GHz) y cómo lograr PC en antenas de parche de microcinta para aplicaciones WLAN, a través de distintos aspectos como la forma de alimentación y geometría de diseño y suprimir los armónicos para mejorar factores como la potencia, donde se agregó la tecnología de metamateriales. Se analizó los parámetros obtenidos como resultado de investigaciones anteriores tales como ancho de banda de acoplamiento por impedancia, así como de PC, ganancia, directividad y eficiencia de radiación. A partir de la bibliografía consultada acerca de la obtención de antenas multibanda, se mencionarán las técnicas y métodos considerados para cumplir cada uno de los requisitos del diseño.

2.- TÉCNICAS PARA LA OBTENCIÓN DE DOS BANDAS DE FRECUENCIAS

Existen muchas aplicaciones en las comunicaciones inalámbricas que involucran dos o más bandas de frecuencia distintas. En ocasiones es posible que una antena de microcinta de banda ancha pueda cubrir las frecuencias de interés. Sin embargo, la desventaja de utilizar una antena de banda ancha es que también recibe frecuencias no deseadas a menos que algún tipo de red de filtrado se introduzca para rechazar tales frecuencias. Por otro lado, la ventaja de un diseño doble o multibanda es que se centra solamente en las frecuencias de interés y por lo tanto es más deseable.[1]

Entre las técnicas que comúnmente se utilizan para lograr antenas multibanda se pueden mencionar los parches multicapas apilados o rectangulares con dos ranuras estrechas colocadas cerca de los bordes radiantes, parche cuadrado con truncamiento rectangular, parche rectangular cargado con pines de cortocircuito y ranuras, y alimentado por una ranura de acoplamiento inclinada. Una técnica comúnmente usada para aumentar el ancho de banda de circuitos resonantes, en particular cuando se diseñan filtros pasa banda, es acoplar varios resonadores con resonancias estrechamente espaciadas.[2]

El mismo mecanismo se ha usado para incrementar el ancho de banda de parches de microcinta: uno puede excitar varios modos resonantes de un solo parche o usar varias estructuras estrechamente acopladas radiando cada una, pero resonando a frecuencias ligeramente diferentes. Usualmente solo un elemento es directamente alimentado con los otros parches siendo acoplados por efectos de proximidad. Los elementos pueden ser ubicados sobre el mismo nivel (elemento parasitario) o puesto encima (parches apilados). Algunas de las configuraciones más comunes son con parches apilados, utilización de ranuras en el parche, la inserción de elementos parasitarios y el diseño con un par de ranuras estrechas colocadas cerca de los bordes radiantes del parche.

2.1.- TÉCNICAS PARA LOGRAR POLARIZACIÓN CIRCULAR

La polarización circular en antenas de parche de microcinta se puede lograr utilizando técnicas de alimentación múltiple o alimentación simple.[3-6] [7] Para lograr polarización circular utilizando alimentación múltiple, un parche cuadrado de microcinta es alimentado por dos líneas ortogonales. Dos líneas de alimentación excitan a la antena de parche en los modos TM₀₁ y TM₁₀ de tal forma que irradia simultáneamente una onda con polarización horizontal y otra con polarización vertical. [3,8] Las antenas de parche polarizadas circularmente también pueden emplear otras estructuras de alimentación, tales como la alimentación por sonda (coaxial), por acoplamiento electromagnético, acoplamiento por abertura y por guía de onda coplanar (CPW). Además de que es posible excitar la antena usando más de dos alimentaciones.[3]

En el análisis realizado a los diseños novedosos tratados en [5-9], se tuvieron en cuenta las configuraciones y geometrías de las antenas de microcinta para lograr polarización circular en dos bandas de frecuencia, considerando ciertos parámetros para su correcta aplicación tales como ancho de banda, impedancia, la RA, ganancia, formas de alimentación y dimensiones de la antena. Permitiendo determinar que para la obtención de múltiples bandas de frecuencia los parches con ranuras simétricas muestran resultados positivos e igualmente, los parches con bordes truncados logran evidenciar buenos anchos de banda de polarización circular.

2.2.- TÉCNICAS DE SUPRESIÓN DE ARMÓNICOS

Las antenas de microcinta presentan algunos inconvenientes que han traído consigo la búsqueda de nuevas soluciones que las sigan haciendo atractivas para aplicaciones inalámbricas. Uno de estos fenómenos desfavorables es la ocurrencia de armónicos de resonancia de la frecuencia fundamental, los cuales constituyen una fuente de interferencia a otras bandas de trabajo. En las últimas dos décadas se ha desarrollado un nuevo campo de investigación en el área del electromagnetismo aplicado y de la ingeniería de microondas basado en el control de las propiedades electromagnéticas de ciertas estructuras artificiales periódicas conocidas como metamateriales. Estos, también llamados materiales zurdos, teniendo en cuenta las nuevas propiedades que presentan, están siendo explotados de manera exitosa en el campo de las Telecomunicaciones, específicamente por los beneficios que arrojan al presentar un pequeño tamaño y el control que se puede ejercer sobre sus parámetros para lograr un comportamiento deseado.[10,11]

Según algunos autores estos materiales son considerados una disposición artificial de elementos estructurales, diseñada para conseguir propiedades electromagnéticas ventajosas e inusuales. Solo se pueden obtener artificialmente en laboratorios, por medio de una serie de métodos de fabricación y se caracterizan por tener unas propiedades macroscópicas distintas a las de sus materiales constituyentes básicos, las cuales dependen de su estructura, y no de su composición. En estos metamateriales la permitividad dieléctrica y la permeabilidad magnética son simultáneamente negativas. Esta doble negatividad no está presente en ningún otro medio de la naturaleza y ha abierto la puerta a un nuevo mundo de aplicaciones.[11-13] Otra característica propia de los metamateriales es que son estructuras homogéneas, lo cual implica que el tamaño de las estructuras que los componen tendrá que ser mucho más pequeño que el de la longitud de onda guiada. Los parámetros constitutivos de un material son la permitividad eléctrica y la permeabilidad magnética (ϵ, μ) del mismo, dependiendo sus valores podemos clasificar a los materiales en cuatro grandes grupos, Materiales RH (Right-Handed) con ($\epsilon > 0, \mu > 0$), materiales LH (Left-Handed) con ($\epsilon < 0, \mu < 0$), materiales ENG (Epsilon-Negative) con ($\epsilon < 0, \mu > 0$), materiales MNG (Mu-Negative) con ($\epsilon > 0, \mu < 0$).[19-21]

Se profundizó en el estado del arte y aplicaciones de los metamateriales para suprimir armónicos en antenas de microcinta como los vistos en [10-13]. Además de caracterizar las estructuras metamateriales primitivas como el resonador de anillos divididos (SRR) y su imagen dual, los cristales electromagnéticos o fotónicos (EBG o PBG), el resonador de anillos complementarios divididos (CSRR). De estos últimos se consideró las topologías de anillos y su equivalente circuital para aplicarla en el diseño de la antena. [21]

Resonador de anillos divididos complementarios (CSRR).

Existe una variante de los SRR que pueden ser excitados por un campo eléctrico axial en lugar de uno magnético. Estos son conocidos como los Complementary Split Ring Resonators (CSRR) y fueron propuestos por Falcone en el 2004. Se trata de una estructura similar a la de los SRR, pero en lugar de estar conformado por tiras metálicas, estos se crean al retirar de un plano de metal el negativo del SRR. El SRR y el CSRR tienen aproximadamente la misma frecuencia de resonancia ya que las dimensiones son las mismas.[11,21] Los valores de inductancia y capacitancia pueden ser determinados según la geometría del CSRR como se ejemplifica en la Fig. 1.

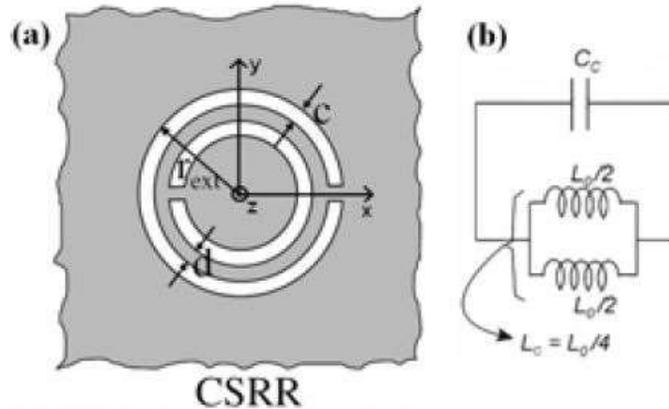


Figura 1
CSRR equivalente (a) Geometría (b) Modelo circuital.[12]

De acuerdo con el principio de Babinet, un CSRR tendrá la misma frecuencia de resonancia que un SRR con las mismas dimensiones. La principal diferencia radicará en que, mientras que un SRR es excitado por un campo magnético axial, el CSRR será excitado por un campo eléctrico axial a la estructura[3].

Las topologías vistas hasta ahora se implementan sobre una única capa de metal, esto implica que el acoplo entre las celdas formadas por cada resonador se deba a la capacidad lateral entre ellas. Este acoplamiento es denominado de tipo edge-side. Cuando los anillos no se sitúan uno en el interior del otro, sino uno sobre otro en ambas caras del sustrato, se obtiene un acoplamiento de tipo broad-side. El resonador obtenido de esta manera es conocido como el BroadSide Coupled Split Ring Resonator (BC-SRR).[15-17]

3.- DISEÑO DE LA ANTENA

En el presente apartado se muestra la construcción de un modelo de antena que cumple con los objetivos y a partir de este aplicar las técnicas necesarias para suprimir armónicos empleando metamateriales. Toda la evolución del diseño y las distintas variantes estudiadas del mismo son analizadas mediante el software CST Suite 2017, empleado para análisis electromagnético y el diseño de dispositivos en altas frecuencias. Se basa en la Técnica de Integración Finita (FIT), el cual es un método numérico que da un modelo universal de discretización el cual se aplica a problemas electromagnéticos. [18] Para cumplir con los requerimientos de recepción de la antena, se tomó como criterio que las pérdidas de retorno sean menores a -10 dB en las bandas 2.44 GHz y 5.2 GHz de igual forma se considera la existencia de polarización circular para razón axial menor a -3 dB. Por último, se muestran los resultados de la investigación.

3.1.- ESTRUCTURA DE LA ANTENA

Para el diseño y realización de la antena se escogió como sustrato el Isola FR4 con las características y dimensiones mostradas en la Tabla 1. Se diseñó una antena alimentada por una línea de microcinta con el plano tierra ranurado, con el fin de satisfacer los requerimientos de los servicios WLAN que operan en las frecuencias deseadas.

Tabla 1
Características del sustrato Isola FR4

Permitividad dieléctrica	Tangente de Pérdidas	Altura(mm)
4.4	0.02	0.8
Dimensiones	Conductividad del cobre	Altura del cobre
70 X 50 mm ²	5.8*10 ⁷ S/m	35um

3.2.- GENERACIÓN DEL DISEÑO

Teniendo en cuenta los requerimientos de diseño, el sustrato a emplear y partiendo de una serie de simulaciones previamente realizadas, se procedió a la elección de una ranura en forma de rayo en el plano tierra como se analizó en [5], debido a los resultados positivos alcanzados en sus parámetros fundamentales. Lo que permitió tomarlo como punto de partida para lograr polarización circular en una banda de frecuencia, con el objetivo de realizar los cambios pertinentes e incorporar nuevas estructuras en su geometría, para lograr nuestras especificaciones.

En la Fig. 2, se puede observar el diseño geométrico tratado como punto de referencia en la investigación. En este, se introdujo una estructura en forma de rayo lográndose con esto obtener polarización circular con un ancho de banda de 386 MHz (2.2591 GHz-2.6456 GHz), lo que representa un 16%, en la frecuencia fundamental de 2.4 GHz y aunque los resultados obtenidos hasta ahora no son malos, fue necesario seguir optimizando la antena y ser capaz de generar polarización circular en la frecuencia de 5.2 GHz.



Figura 2
Antena inicial con ranura en forma de rayo

Diseño de antena con polarización circular en dos bandas

El próximo paso sería lograr el ajuste en frecuencia en la banda superior con polarización circular en 5.2 GHz. Como se muestra en la Fig. 3, para ello se incorporó en el parche cuadrado una estructura horizontal en forma de U como se analizó en [4]. La estructura en forma de U, mejoró notablemente las pérdidas de retorno para las frecuencias fundamentales 2.4 GHz (26.044 dB) y 5.2 GHz (-30.006 dB). El ancho de banda en la frecuencia inferior disminuyó a un valor de 364 MHz con respecto al diseño de Antena en la Fig.2, sin embargo, se logran valores cercanos a los 3 dB en la banda superior.

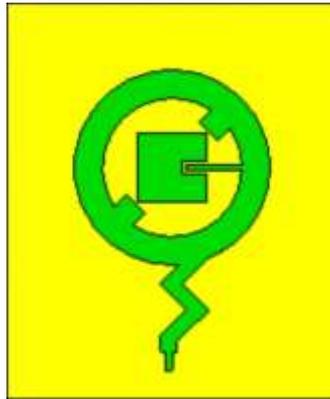
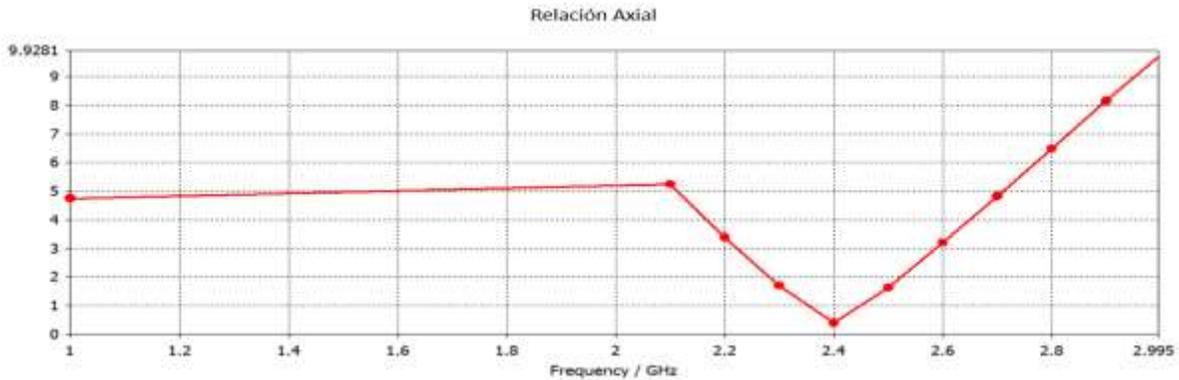
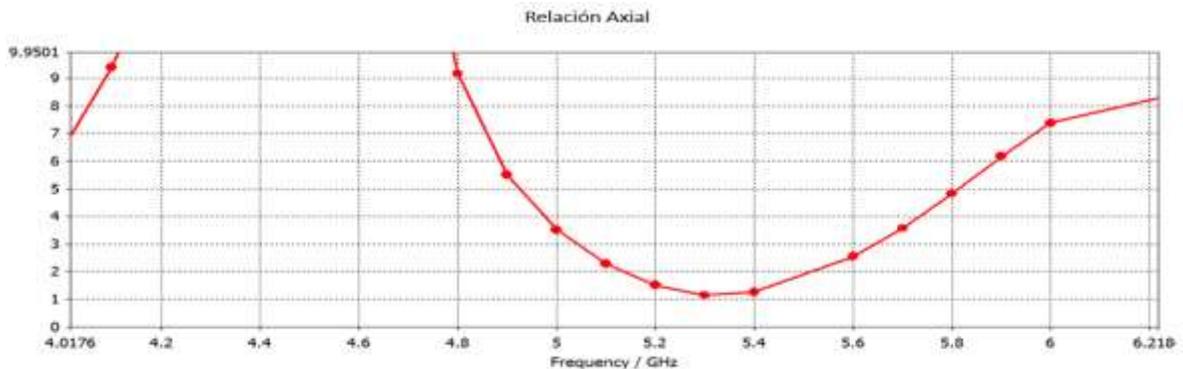


Figura 3
Antena con muescas en la ranura del anillo y estructura en forma de U

En la Fig. 4(a) expone como para la banda inferior de trabajo la relación axial es menor a 3dB en un rango de 364 MHz, lo que representa un 15.16 %, garantizando el requisito fundamental para lograr polarización circular (relación axial ≤ 3 dB). Con el objetivo de realizar los ajustes necesarios para obtener la polarización circular para la banda de 5.2 GHz (5.15 – 5.35 GHz) se incluyó al diseño dos muescas en la ranura del anillo apreciables en la Fig. 3 como se estudió en [5]. Al rotar las muescas de 0° a 120° es posible lograr polarización circular (relación axial ≤ 3 dB) y como puede apreciarse en la Fig. 4 (b), aunque no cubre totalmente la banda superior, se observan buenos resultados, obteniéndose un rango de 602 MHz por debajo de los 3 dB, lo que representa un 11.57 %.



(a)



(b)

Figura 4
Relación Axial de la Antena (a) para 2.4 GHz (b) para 5.2GHz

3.3- OPTIMIZACIÓN DE LA ANTENA

Luego de realizar un análisis de la geometría de la antena en la Fig. 3 y de las variaciones que los parámetros (radio interior y exterior del anillo, ancho y largo de la microcinta de alimentación, ancho, largo y ubicación de las muescas) realizan sobre los acoples de impedancia y de polarización circular en las bandas deseadas, se realizó una optimización con el objetivo de cumplir con los requerimientos de los servicios en las bandas deseadas.[14] En la Fig. 5 se muestran las pérdidas de retorno y de esta se puede concluir que para la frecuencia de 2.4 GHz se logra un ancho de banda de impedancia de 523 MHz (2.17 – 2.69 GHz) y para 5.2 GHz un ancho de banda de 315 MHz (5.15 – 5.46 GHz).

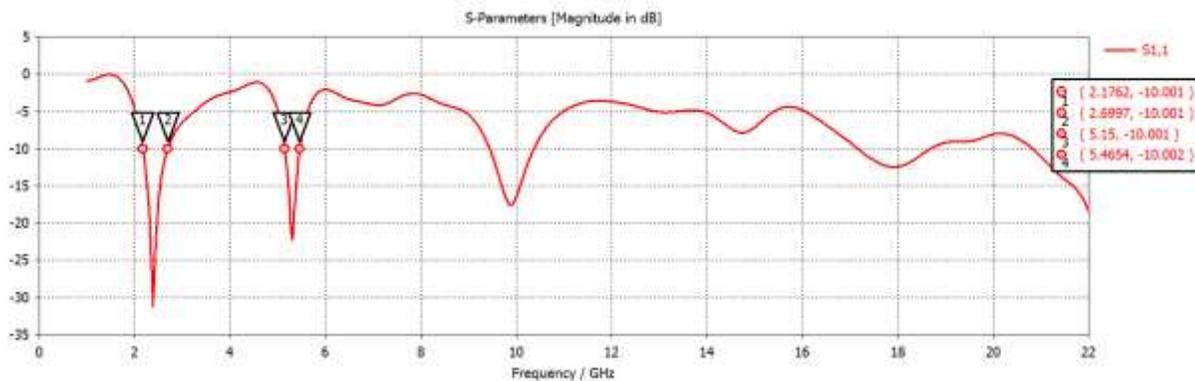


Figura 5
Pérdidas de retorno de la Antena optimizada

Con respecto a la relación axial, se logran anchos de banda de polarización circular en la frecuencia de 2.4 GHz de 364 MHz (2.22 – 2.58 GHz) y en 5.2 GHz de 602 MHz (5.04 – 5.64 GHz). En la Fig. 6 se muestra la impedancia de entrada de la antena optimizada, donde son notables los valores muy cercanos a 50Ω en las frecuencias de interés, lo que demuestra el correcto acople del sistema.

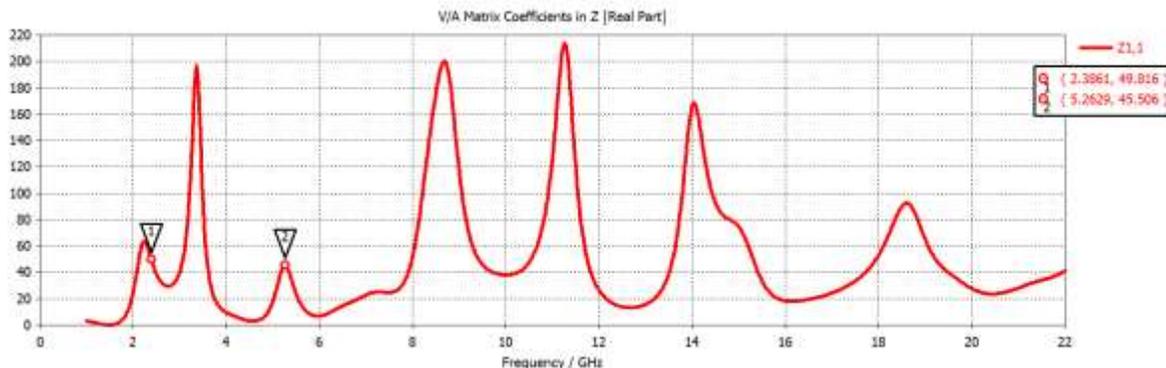


Figura 6
Impedancia de entrada de la Antena optimizada

En la Fig. 7 se muestran los patrones de radiación en 3D, donde se evidencia la característica bidireccional de estos en ambas bandas de trabajo, ventaja que se pudiera aprovechar para diversas aplicaciones como WIFI o WiMAX ya que es posible dar cobertura en ambas direcciones. Los valores de ganancia máximos para cada frecuencia son 2.83 dB para la banda inferior y 2.94 dB para la banda superior.

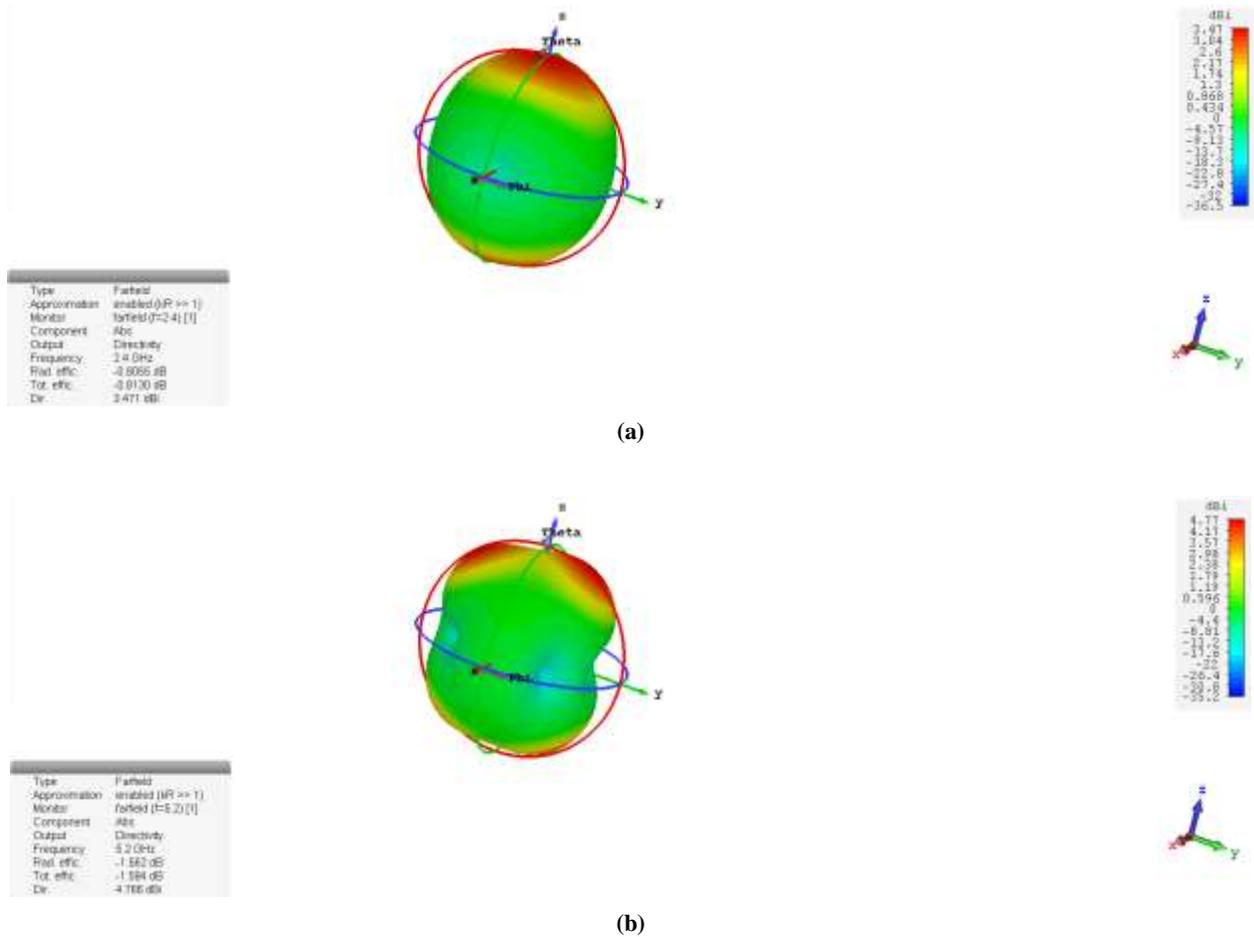


Figura 7
 Patrón de Radiación en 3D (a) Banda Inferior (b) Banda Superior

En la Fig. 8 se muestra la estructura de la Antena 3 optimizada y los principales parámetros que se tuvieron en cuenta para su diseño, mientras que la Tabla 2 presenta sus valores y la Tabla 3 algunas de las aplicaciones fundamentales.

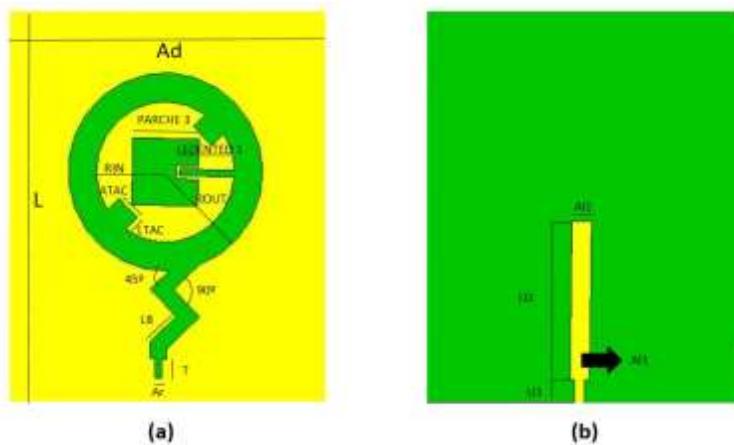


Figura 8
 Estructura de la Antena optimizada (a) Vista frontal (b) Vista trasera

Tabla 2
Parámetros de la Antena optimizada

Parámetro	Valor (mm)	Parámetro	Valor (mm)
A	50	Parche3	10
L	70	t	1
Al1	1.5	Ar	0.5
Al2	3	Atac	3
Ll1	3.5	Ltac	2.1
Ll2	24	Ld	1
Rout	14.8	Ldented1	8.85
Rin	10.5	Lb	5.5

Table 3
Aplicaciones de Antena optimizada

Banda de Frecuencia	Rango (GHz)	Aplicación	AB obtenido(GHz)
IEEE 802.15.1	2.40-2.48	Bluetooth	2.17-2.69
IEEE 802.11 b/g/n	2.40-2.48	WLAN	2.17-2.69
IEEE 802.11 a/n	5.15-5.35	WLAN	5.15-5.46
IEEE 802.11 a/n	5.72-5.82	WLAN	5.15-5.46

3.4- SUPRESIÓN DE ARMÓNICOS PARA LAS BANDAS DE 2.4 Y 5.2 GHZ

En este apartado se tiene como meta la supresión de los armónicos de las frecuencias fundamentales, centrándose el trabajo específicamente en la sintonización de los 2do y 3er armónicos, siendo estos los que perjudican de manera más grave el funcionamiento de las antenas ya que los de orden superior presentan una cantidad insignificante de potencia.[15,19] En la siguiente gráfica (Fig. 9) se observa el comportamiento de los armónicos de las frecuencias fundamentales en los parámetros de S11 en dB antes de realizar cualquier método de supresión.

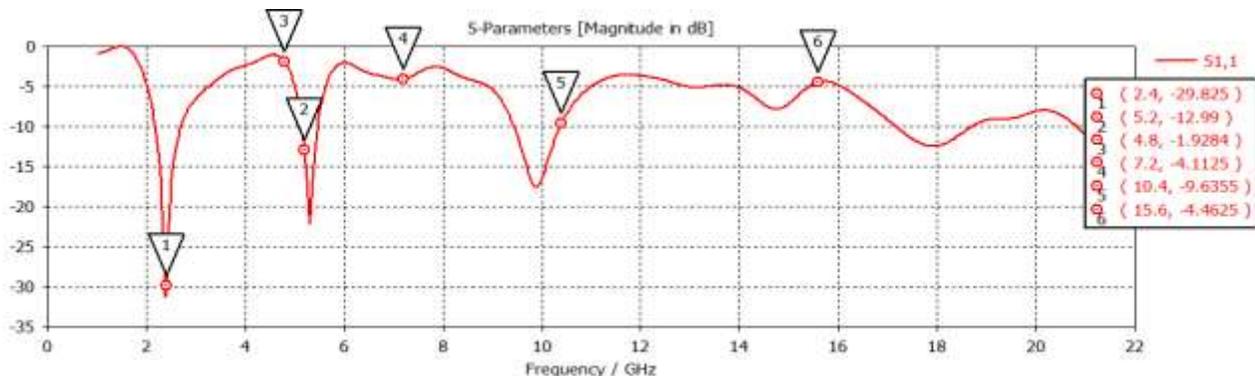


Figura 9
Parámetros S11 en dB de las frecuencias y sus respectivos armónicos.

Como se puede ver en la gráfica anterior los armónicos no presentan un gran nivel de excitación, el segundo y tercer armónico de la frecuencia de trabajo de 5.2 GHz, 10.4 GHz con pérdidas de -9.63 y 15.66 GHz con pérdidas de -4.46 dB son los que mayor nivel de excitación presentan. Estos presentan una mayor dificultad ya que mientras las pérdidas de las frecuencias fundamentales deben ser lo más grandes posibles en el caso de sus armónicos es totalmente lo contrario, estas deben ser lo más pequeñas posibles para reducir su resonancia.[16] También debe ser analizada la impedancia de entrada pues el comportamiento de este parámetro desempeña un rol determinante en la sintonización de los armónicos, donde su comportamiento para la antena de la Fig. 8 es el expuesto en las Fig. 10 y 11.[17]

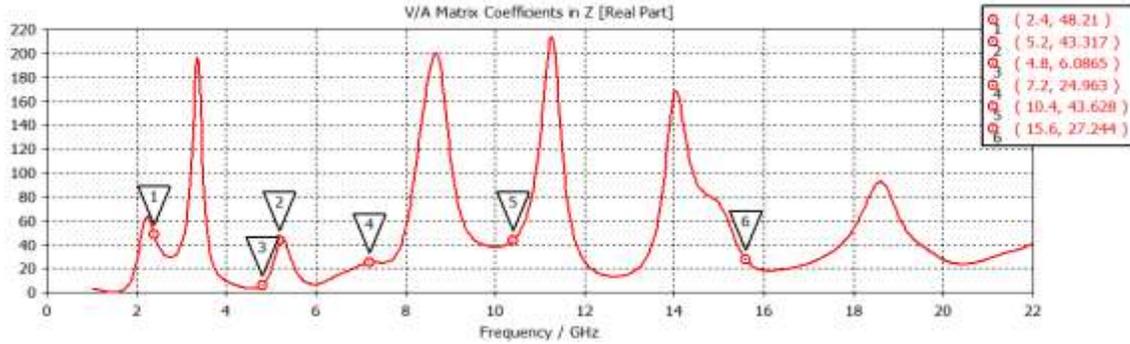


Figura 10
 Parte real de la impedancia de entrada para $f=2.4$ y $f=5.2$ GHz y sus respectivos armónicos.

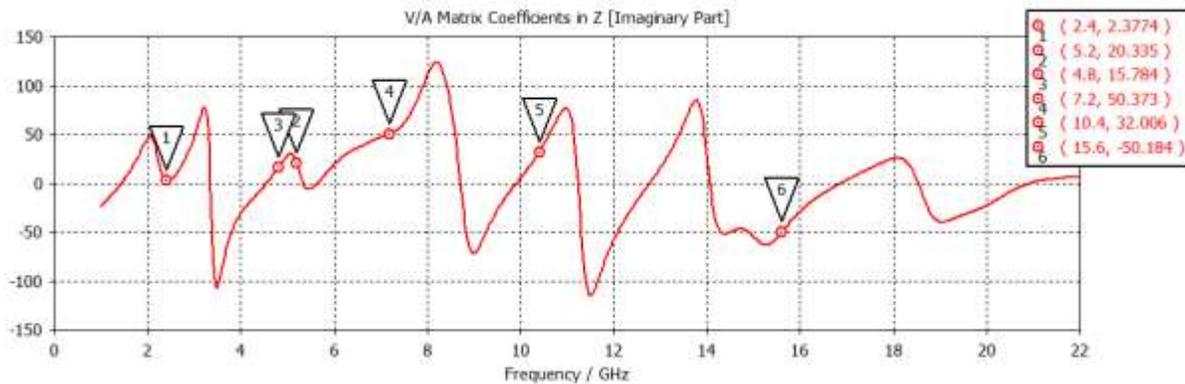


Figura 11
 Parte imaginaria de la impedancia de entrada para $f=2.4$ y $f=5.2$ GHz y sus respectivos armónicos

Como puede observarse en las figuras previas estos valores no cumplen con las especificaciones necesarias para considerarse inofensivos debido a que la parte real de la impedancia de entrada de los armónicos debe ser lo más cercana a cero posible, mientras que la parte imaginaria debe alcanzar altos valores. Al no cumplirse estas consideraciones se procede al empleo de metamateriales para lograr la supresión. Teniendo en cuenta que la naturaleza de la impedancia está determinada por el comportamiento del campo eléctrico entre el parche y el plano tierra en el espacio que ocupa el sustrato, y que este campo eléctrico tiene una estructura que varía con la frecuencia y la geometría del diseño, se hace necesario, antes de implementar las técnicas de inserción de metamateriales, realizar un análisis de la distribución de campo eléctrico para los modos fundamentales y sus armónicos superiores, con el objetivo de determinar en cuáles es necesario la supresión.[13] Con la herramienta CST Microwave Studio se logra obtener las distribuciones de campo eléctrico a través de simulaciones, las cuales permiten realizar un estudio para implementar las técnicas previamente tratadas de manera tal que no sean excitados los armónicos.

Luego de haber realizado un análisis a los resultados obtenidos, en la simulación del comportamiento de las distribuciones de campo eléctrico en el CST, se cuenta con la información necesaria para proceder a la técnica de inserción de metamateriales, destacando que solo sería necesario la supresión del segundo armónico de 5.2GHz. Esto se debe a que las pérdidas por retorno del segundo armónico de esta frecuencia fundamental poseen un alto nivel de excitación como muestra la Fig. 12, respecto a las otras simulaciones desarrolladas.

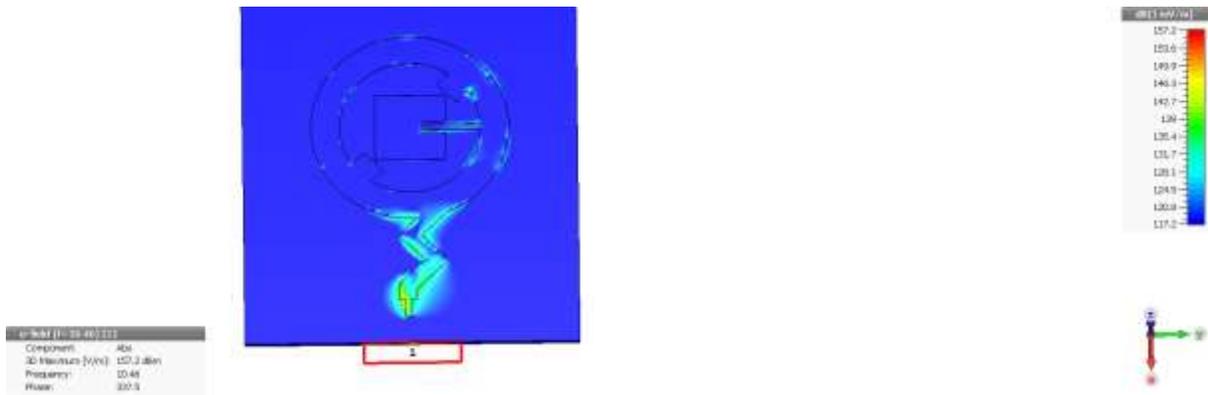


Figura 12
Distribución del campo eléctrico del segundo armónico de 5.2 GHz

Inserción de CSRRs para la supresión del segundo armónico de 5.2 GHz.

Los CSRRs son el tipo de metamaterial utilizado en este diseño, serán insertados en el plano tierra, de modo tal que queden ubicados al lado de la línea de alimentación, ya que en esta zona se encuentra la mayor intensidad del campo eléctrico de los armónicos superiores como se observó en la Fig. 12. El hecho de cargar la estructura con CSRRs no afecta al modo dominante pues en esta misma región su campo eléctrico va a ser mínimo. En la Fig. 13 se muestra la geometría de los CSRRs y sus dimensiones.

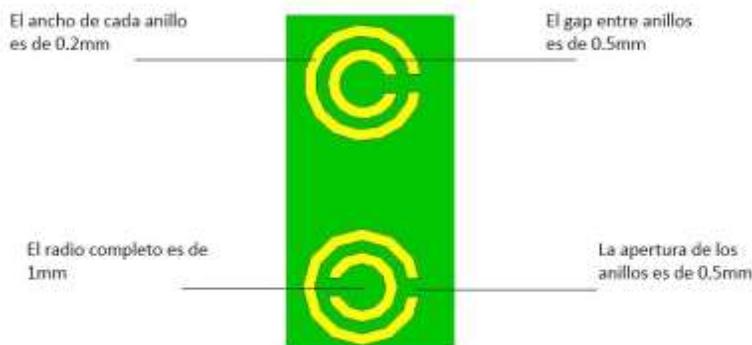


Figura 13
Geometría y medidas de las estructuras CSRR circulares.

En la Fig. 14 se puede observar el funcionamiento de los CSRRs, como resultado podemos ver que las pérdidas por retorno del segundo armónico de la frecuencia fundamental de 5.2 GHz disminuyeron su valor, en $f=10.4$ GHz de -9.63 a -7.94 , mientras que los demás armónicos mantuvieron su baja excitación, lo cual significa gran mejoría en el tratamiento de los armónicos. También podemos destacar que las pérdidas de retorno en la frecuencia fundamental de 5.2 GHz mejoraron notablemente, de -12.99 dB a -23.38 dB, resultado que era de esperar gracias a la supresión del segundo armónico que era el que más excitado se encontraba. La relación axial no sufrió ninguna afectación.

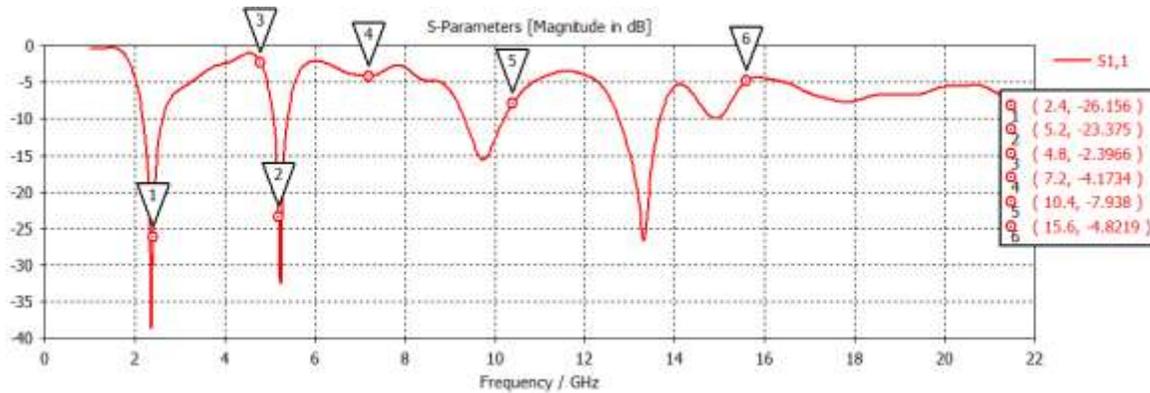


Figura 14
 Parámetros S11 en dB para Antena con plano tierra cargado con CSRRs

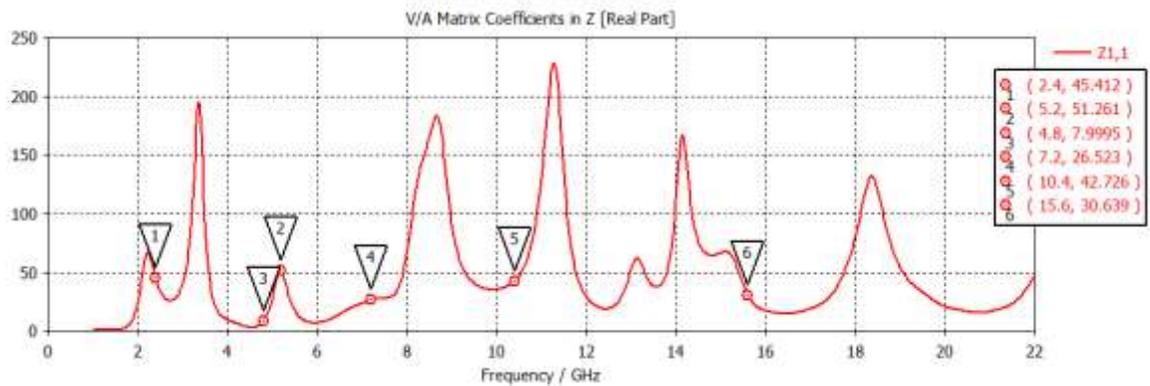


Figura 15
 Parte real de la impedancia de entrada de la Antena con CSRRs.

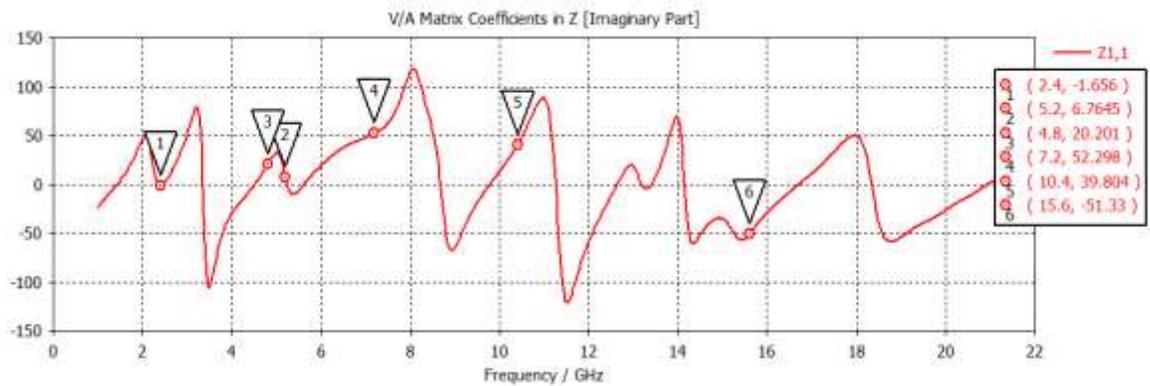


Figura 16
 Parte imaginaria de la impedancia de entrada de la Antena con CSRRs.

En las gráficas de las Fig. 15 y 16, se evidencia que los resultados mejoraron luego de la inserción de los CSRRs. Aunque se pone de manifiesto la necesidad de seguir optimizando esta antena para mejorar la parte real y la parte imaginaria de la impedancia de entrada de los 2do y 3er armónicos de cada modo dominante. El efecto causado por el uso de los CSRRs varía si se modifica su radio, ancho de los anillos y la separación entre ellos. La estructura resultante del diseño se puede observar en la Fig. 17 con una vista frontal y trasera de cómo quedaría impresa la antena.

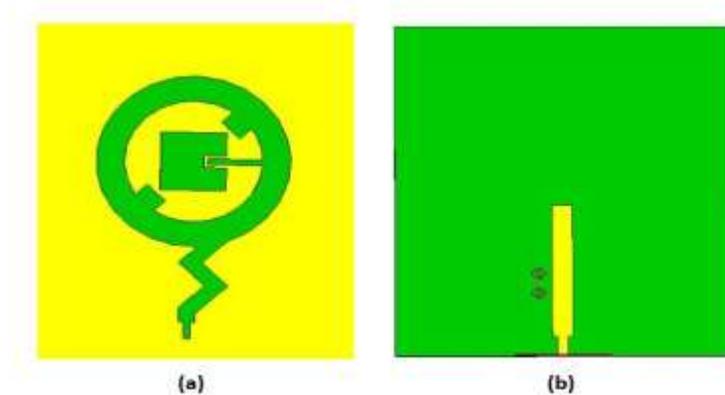


Figura 17

Diseño final con CSRRs (a) Vista frontal (b) Vista trasera

Haciendo un análisis de las imágenes anteriores se puede decir que con respecto a las pérdidas de retorno se obtuvieron valores satisfactorios para la supresión de armónicos y anchos de banda muy buenos para las frecuencias fundamentales capaces de brindar los servicios de WiFi para las respectivas frecuencias de 2.4 y 5.2 GHz.

4. CONCLUSIONES

Debido al acelerado desarrollo tecnológico en las comunicaciones inalámbricas, este artículo reviste gran importancia ya que los diseños presentados permiten dar solución a fenómenos desfavorables en las antenas de microcinta, tal como la ocurrencia de armónicos de resonancia en la frecuencia fundamental, los cuales constituyen una fuente de interferencia a otras bandas de trabajo. Se investigó sobre los metamateriales y las ventajas que ofrecen por las características que presentan. Se demostró el amplio espectro de posibilidades que ofrecen los metamateriales a las antenas de microcintas para mejorar el desempeño de las mismas. Se comprobó que dichas estructuras son capaces de suprimir los armónicos de resonancia con la inclusión de CSRRs en el plano tierra de la antena, las cuales mejoran la capacidad de controlar, de manera eficaz, algunas de sus características.

Luego de una extensa revisión bibliográfica, donde se analizaron los métodos para la obtención de polarización circular en dos bandas de frecuencias, se evidenció que el uso de ranuras asimétricas y la alimentación por microcinta arrojan los mejores resultados para cumplir estos dos requisitos. Las simulaciones para la comprobación de lo estudiado están realizadas en el software de simulación CST Suite 2017.

El diseño propuesto posee patrones de radiación bidireccionales en sus dos bandas de trabajo (2.4 y 5.2 GHz), ganancias de aproximadamente 3dB en las dos frecuencias de interés, anchos de banda de acoplamiento y de polarización circular de 364 MHz en 2.4 GHz y 602 MHz en 5.2 GHz, lo que representa un 15.16 % y 11.57 % respectivamente, suficientes para cubrir los requerimientos de aplicaciones WLAN. Por último y no menos importante la supresión se obtuvo con la introducción de CSRRs en el eje y desplazados 0.5y 4 mm, respectivamente, en sentido positivo logrando la supresión del armónico más excitado y aumentando las pérdidas de retorno en la banda superior y manteniendo la baja excitación de los armónicos restantes.

En aras de continuar con la investigación sobre este tema y para lograr la obtención de una antena con resultados más óptimos recomendamos, hacer modificaciones en los CSRRs o insertar otros para continuar disminuyendo los armónicos para lograr mejor funcionamiento. Estudiar la influencia de sustratos con diferentes características en las propiedades de radiación de la antena, también es considerada una propuesta con el fin de mejorar aún más los resultados de la misma, a pesar de que se encarezca la construcción del dispositivo. Realizar la construcción del diseño propuesto para validar de manera práctica los resultados obtenidos.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer a la Universidad Tecnológica de La Habana “José Antonio Echeverría”, que permitió el uso de sus instalaciones e instrumentos necesarios para el desarrollo de esta investigación. En especial al equipo de docentes que componen el departamento de Comunicaciones Inalámbricas.

REFERENCIAS

- [1] Chen Z.N., Liu D., Nakano H., Qing X. Handbook of Antenna Technologies. Zwick T. editor, Springer, Singapore; 2016 Disponible en: https://link.springer.com/referenceworkentry/10.1007/978-981-4560-44-3_130
- [2] Suarez F.C.A., Ariza P.J.J., Mejía S.S.E., Puerto L.G.A. Suspended plate antenna with circular polarization and configurable sense of rotation. Revista de Ingenieria de la Universidad de la Costa Colombia [ISSN: 2382-4700]. 2020[citado 2022 Apr 18]; 16(1): [70-156]. Disponible en: <https://revistascientificas.cuc.edu.co/ingecuc/article/view/1959>
- [3] Balanis A.C. Antenna theory: analysis and design. 3rd ed. Vol. 1. New Jersey: John Wiley & Sons; 2016.
- [4] Raad H.T., Zainab S.J. Design of Dual Band Microstrip Antenna for Wi-Fi and WiMax Applications [ISSN: 2302-9293]. Telkomnika Telecommunication Computing, Electronics and Control. 2018 [citado 2022 Apr 18]; 16(6):[2864-2870]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/329864947_Design_of_Dual_Band_Microstrip_Antenna_for_WI-FI_and_WiMax_Applications
- [5] Lei G., Chow Y., Desmond S., Hsin L.S., Jun Y.L., Chin K., et al. Single-layer dual-broadband circularly polarised annular-slot antenna for WLAN applications. IET Microwave, Antennas & Propagation [ISSN: 1751-8733]. 2018 [citado 2022 Apr 18]; 12(1):[99–107]. Disponible en: <https://digital-library.theiet.org/content/journals/10.1049/iet-map.2017.0203>
- [6] Yujie Zhang., Shanpu Shen Chi-Yuk Chiu., Ross D. Murch. A Dual-band Transparent Coplanar Patch Antenna for WLAN Systems. 2018 IEEE International Symposium on Antennas and Propagation & USNC/URSI National Radio Science Meeting. Kowloon; Hon Kong; 2018. p. 465-466.
- [7] Hasan N., Gupta S. C. A Dual Band Microstrip Patch Antenna with Circular Polarization. Conference on Advances in Communication and Control Systems. Dehradun; India; 2013. p. 314-319.
- [8] Pérez Q.D., Morales G.Y., Marante R.F. Antena de Parche con Polarización Circular, para Aplicaciones RFID (Radio Frequency IDentification). Revista Ingeniería Electrónica, Automática y Comunicaciones [ISSN: 1815-5928]. 2018 [citado 2022 Apr 18]; 39(2): [92–103]. Disponible en: <https://riela.cujae.edu.cu/index.php/riela/article/view/596>
- [9] Tiwari P. K., Verma S. Circularly Polarized Wide-slot Printed Antenna for WiMAX and WLAN Applications. 2018 Second International Conference on Electronics, Communication and Aerospace Technology (ICECA). Coimbatore; India; 2018. p. 1224–1229.
- [10] Saha C., Siddiqui J. Y., Antar Y. M. M. Multilayered stacked square SRR coupled UWB monopole antenna with dual notch function. 2014 IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium (APSURSI). Tennessee; USA; 2014. p. 787-788.
- [11] González R.D., Carlos M.G.R., García P.C., Ángel B.S.M. Diseño de antenas de microcinta con empleo de estructuras metamateriales resonantes. Revista Tono [ISSN: 2224-6274]. 2017 [citado 2022 Apr 18]; 14(2):[16-23]. Disponible en: <http://www.revistatonoetecsa.cu/index.php/tono/article/view/163>
- [12] Aznar B.F. Caracterización de nuevos resonadores metamaterial, líneas de transmisión artificiales y aplicaciones en el diseño de circuitos de comunicaciones. PhD Thesis. [Barcelona, España]: Universidad Autónoma de Barcelona; 2009. Disponible en: <https://core.ac.uk/download/pdf/13288572.pdf>

- [13] Estévez H.A., Marante R.F. Antena de microcinta con estructura híbrida metamaterial para 2.4 GHz. *Ingeniare* [ISSN: 2390-0504]. 2018[citado 2022 Apr 18]; 27(1); [25-32]. Disponible en: https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-33052019000100022#B19
- [14] Li J., Liu H., Zhang S., Luo M., Zhang Y., He S. A Wideband Single-Fed, Circularly-Polarized Patch Antenna With Enhanced Axial Ratio Bandwidth for UHF RFID Reader Applications. *IEEE Access* [ISSN: 2169-3536]. 2018[citado 2022 Apr 18]; 6(1); [55883-55892]. Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=8478196>
- [15] Jangampally R. G., Nalam V. K. R., Avala M. P. Corner cut Inset-fed Dual-Band Slot Antenna for PCS and Bluetooth/WLAN Applications. 2018 IEEE Indian Conference on Antennas and Propagation (InCAP). Hyderabad;India; 2018. p. 1-4.
- [16] Pérez Q.D., Paz G.N., Guerra G.R, Marante R.F. Antena de microcinta doble banda con polarización circular para aplicaciones WLAN. 19 Convención Científica de Ingeniería y Arquitectura. La Habana; Cuba; 2018.p. 340-346
- [17] Torres G.A., Marante R.F., Tazón A., Vassal'lo J., Teniente J., Beruete M. Broadband circular polarized field generation in single layer microstrip patch antennas. 2016 10th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP). Davos;Switzerland; 2016. p. 1-4.
- [18] Kingsuwannaphong T., Sittakul V. Compact circularly polarized inset-fed circular microstrip antenna for 5 GHz band. *Computers & Electrical Engineering* [ISSN: 457-906]. 2018 [citado 2022 Apr 18]; 65(2); [0554-5630]. Disponible en: <https://daneshyari.com/article/preview/6883603.pdf>
- [19] Benayad A.; Tellache M. A compact energy harvesting multiband rectenna based on metamaterial complementary split ring resonator antenna and modified hybrid junction ring rectifier. *International Journal of RF and Microwave Computer-Aided Engineering* [ISSN: 1096-4290]. 2020 [citado 2022 Apr 18]; 30(2); [1-11]. Disponible en: <https://doi.org/10.1002/mmce.22031>
- [20] Zhang j., Yuan X., Wang C., He Y. Comparative Analysis of Two Coil and Three Coil Structures for Wireless Power Transfer. *IEEE Transactions on Power Electronics* [ISSN: 1941-0107]. 2016 [citado 2022 Apr 18]; 32(1); [341-352]. Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7401100>
- [21] Pon L. L.; Rahim S. K. A.; Yen L. C.; Himdi M.; Khalily M. Displacement tolerant printed spiral resonator with capacitive compensated-plates for non-radiative wireless energy transfer. *IEEE Access* [ISSN: 2169-3536]. 2019 [citado 2022 Apr 18]; 7(1); [10037-10044]. Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8603737>

CONFLICTO DE INTERESES

Ninguno de los autores manifestó la existencia de posibles conflictos de intereses que debieran ser declarados en relación con este artículo.

CONTRIBUCIONES DE LOS AUTORES

- **Fidel Martínez Armas:** conceptualización: 90%, preparación: 75%, creación: 100% y desarrollo del artículo: 100%, revisión crítica de cada una de las versiones del borrador del artículo: 100% y aprobación de la versión final a publicar: 100%, contribución a la idea: 100% y organización del artículo: 100%, sugerencias acertadas para la conformación de la versión final: 100%.
- **Taimir Alain Morales Roche:** conceptualización: 100%, preparación: 100%, creación: 90% y desarrollo del artículo: 100%, revisión crítica de cada una de las versiones del borrador del artículo: 100% y aprobación de la versión final a publicar: 100%, contribución a la idea: 95% y organización del artículo: 100%, sugerencias acertadas para la conformación de la versión final: 100%.
- **Edmanuel Portuondo Martínez:** conceptualización: 100%, preparación: 100%, creación: 100% y desarrollo del artículo: 100%, revisión crítica de cada una de las versiones del borrador del artículo: 90% y aprobación de la versión final a publicar: 100%, contribución a la idea: 100% y organización del artículo: 80%, sugerencias acertadas para la conformación de la versión final: 100%.

- **Francisco Marante Rizo:** conceptualización: 100%, preparación: 80%, creación: 80% y desarrollo del artículo: 70%, revisión crítica de cada una de las versiones del borrador del artículo: 90% y aprobación de la versión final a publicar: 100%, contribución a la idea: 100% y organización del artículo: 80%, sugerencias acertadas para la conformación de la versión final: 100%.

AUTORES

Fidel Martínez Armas: Ingeniero en Telecomunicaciones y Electrónica, graduado en la Universidad Tecnológica de La Habana “José Antonio Echeverría”, CUJAE, La Habana, Cuba, fidelma@tele.cujae.edu.cu, ORCID: 0000-0001-8989-946X.

Taimir Alain Morales Roche: Actualmente cursando en el 6to año de la carrera de Telecomunicaciones y Electrónica, Profesor ATD de Telecomunicaciones y Electrónica en la Universidad Tecnológica de la Habana José Antonio Echeverría, CUJAE, La Habana, Cuba, tamorales@tele.cujae.edu.cu, ORCID: 0000-0002-8365-3183.

Edmanuel Portuondo Martínez: Ingeniero en Telecomunicaciones y Electrónica, graduado en la Universidad Tecnológica de La Habana “José Antonio Echeverría”, CUJAE, La Habana, Cuba, Epmartinez1234@gmail.com, ORCID: 0000-0001-8296-1865.

Francisco Marante Rizo: Graduado de Ingeniero en Telecomunicaciones en el año 1974 en La Universidad de La Habana y Dr. C.T en La Universidad Técnica de Praga en 1986. Actualmente es Profesor Consultante del Dpto. de Telecomunicaciones y Telemática de la Universidad Tecnológica de La Habana “José Antonio Echeverría”, CUJAE, La Habana, Cuba, marante@tele.cujae.edu.cu ORCID: 0000-0003-3277-1371.



Esta revista se publica bajo una [Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Sin Derivar 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)