

Sistema de radiación doble banda con polarización circular

Double band radiation system with circular polarization

Frank Seguí Camacho¹ <https://orcid.org/0000-0003-4588-421X>,
Francisco Marante Rizo¹ <https://orcid.org/0000-0003-3277-1371>

¹Universidad Tecnológica de La Habana (CUJAE), La Habana, Cuba
fseguil6@gmail.com, marante@tele.cujae.edu.cu



Esta obra está bajo una licencia internacional
Creative Commons Atribución-NoComercial 4.0.

Enviado: 2021/11/07

Aceptado: 2022/05/18

Publicado: 2022/06/30

Resumen

El progresivo desarrollo de las comunicaciones inalámbricas a nivel mundial, y la necesidad de que los dispositivos puedan ser utilizados en distintas bandas de frecuencia de forma simultánea para satisfacer los servicios que se brindan en ellas, pone en marcha investigaciones con el fin de buscar soluciones económicas, sencillas y con la calidad requerida. Ante esta situación las antenas de microcinta por sus características resultan una de las opciones más indicadas para lograr una solución. En este artículo se propone el diseño y simulación de una antena multibanda con polarización circular empleando una alimentación de microcinta en las bandas de frecuencias de 1800 MHz y 2.4 GHz. La misma, atendiendo a los resultados que arrojó la investigación puede ser empleada para telefonía celular LTE en la banda 3 de 1800 MHz y aplicaciones WLAN como Wi-Fi y Bluetooth en la banda de 2.4 GHz. Todo el proceso de diseño, simulación y optimización se realizó en el software CST Studio Suite 2017.

Palabras clave: antena, microcinta, multibanda, polarización circular.

Abstract

The progressive development of wireless communications worldwide, and the need for devices to be used simultaneously in different frequency bands to satisfy the services provided in them, has triggered research to find economical, simple solutions with the required quality. In this situation, microstrip antennas, due to their characteristics, are one of the most suitable options for achieving a solution. This paper proposes the design and simulation of a multiband antenna with circular polarization using a microstrip feed in the 1800 MHz and 2.4 GHz frequency bands. According to the research results, this antenna can be used for LTE cellular telephony

Sumario: Introducción, Metodología, Propuesta, Discusión de Resultados y Conclusiones.

Como citar: Seguí, F., & Marante, F. (2022). Sistema de radiación doble banda con polarización circular. *Revista Tecnológica - Espol*, 34(2), 64-84.
<http://www.rte.espol.edu.ec/index.php/tecnologica/article/view/876>

in the 1800 MHz band 3 and WLAN applications such as Wi-Fi and Bluetooth in the 2.4 GHz band. The entire design, simulation, and optimization process were conducted in CST Studio Suite 2017 software.

Keywords: antenna, microstrip, multiband, circular polarization.

Introducción

La necesidad 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 y transmisión de mayores volúmenes de información, ha traído consigo un gran incremento en el desarrollo de antenas que trabajen con un mayor ancho de banda y resuenen en varias frecuencias.

Este rápido crecimiento de las comunicaciones móviles demanda antenas de ligero peso, bajo costo y pequeñas dimensiones. Ante las exigencias actuales, las de microcinta son una de las opciones más recomendadas para las aplicaciones inalámbricas debido principalmente a su sencillo diseño, variedad de formas y fácil instalación como se ve en Balanis (2016).

Las antenas de microcinta típicas resuenan en una sola banda, pero el desarrollo actual de las comunicaciones requiere de dispositivos que sean capaces de brindar varios servicios de forma simultánea, es decir que puedan trabajar en varios rangos de frecuencias para satisfacer las exigencias de nuestros días; ejemplos de ellos son: 1575.42/1227.60/1175.45 MHz para los Global Positioning System (GPS) como plantea Doust (2008), 900/1800 MHz para Global System for Mobile Communication (GSM), 2.4/5.2/5.8 GHz para Wireless Local Area Networks (WLANs) y 2.5/3.5/5.5 GHz para Interoperability for Microwave Access (WiMAX) (H. Liu et al., 2014).

Múltiples antenas pueden lograr operación en multibanda, pero de esta forma también se incrementarían los costos, tamaño de los dispositivos, complejidad de los sistemas y pueden surgir problemas de acoplamiento; influyendo de forma negativa en el rendimiento de las mismas. Debido a su tamaño compacto, fácil fabricación, bajo peso y poco costo las antenas de microcinta son candidatas ideales para aplicaciones aéreas, bélicas o balísticas, radares y comunicaciones móviles entre otras, planteado en Balanis (2016); Oulhaj (2016); Kumar (2017) y Garg (2000).

Entre las soluciones para lograr doble banda de resonancia se encuentran modificar la estructura de una antena que trabaje inicialmente en una sola banda de manera asimétrica, hacer slots en el parche radiante o en el plano tierra como se recoge en Varma (2017), empleo de dos o más parches apilados entre uno o más dieléctricos planteado en Kumar (2011), utilizar más de un elemento radiante con diferentes tamaños que resuenen en diferentes frecuencias como se evidencia en Kumar (2014), cargas reactivas con stubs, ejemplificado en Heidari (2009) o realizando muescas en el parche como muestra Singh (2015).

Además, en esta investigación se presentan dos modelos de antenas doble banda que poseen polarización circular posibilitando que sean muy efectivas combatiendo las interferencias producidas por desvanecimientos y las multitrayectorias, de forma que no requieran una orientación estricta en su transmisión y recepción, lo cual es útil para las comunicaciones satelitales móviles donde se dificulta que exista una orientación constante entre las antenas.

Metodología

Durante los años recientes grandes progresos en investigación y desarrollo se han logrado gracias al empleo de antenas polarizadas circularmente, y actualmente, se están convirtiendo en piezas claves para el desarrollo de los sistemas inalámbricos, incluyendo comunicaciones satelitales, móviles, sistemas globales de navegación por satélite (GNSS), sensores inalámbricos, identificación por radiofrecuencia (RFID), redes de área local inalámbricas (WLAN), redes de área personal inalámbricas (WPAN), interoperabilidad mundial para acceso por microondas (WiMAX), entre otras aplicaciones recogidas en Gao (2014).

Generación de Campo Circular

La polarización de una antena en una dirección dada está definida por la polarización de la onda transmitida (radiada) por ella; ésta a su vez es la propiedad de la onda electromagnética que describe la dirección variable en el tiempo y la magnitud relativa del vector de campo eléctrico en su dirección de propagación.

Cuando la dirección no es conocida se asume la polarización de la onda en la dirección de máxima ganancia. En la práctica, la polarización de la energía radiada varía con la dirección del centro de la antena; así, diferentes partes del patrón pueden tener diferentes polarizaciones planteado por Carrazana (2019).

La polarización se puede clasificar como lineal, circular o elíptica. Si el vector que describe el campo eléctrico en un punto en el espacio en función del tiempo se encuentra siempre a lo largo de una línea, se dice que está linealmente polarizado. Por lo general la figura que describe el campo eléctrico es una elipse y se dice que está elípticamente polarizado. La polarización lineal y la circular son casos especiales de la elíptica, y pueden ser obtenidos cuando la elipse se convierte en una línea recta o en un círculo, respectivamente, como se afirma en Balanis (2016.).

Polarización Circular

La polarización circular puede ser obtenida solamente si el campo eléctrico posee dos componentes ortogonales con la misma magnitud y diferencia de fase de 90° entre ellas.

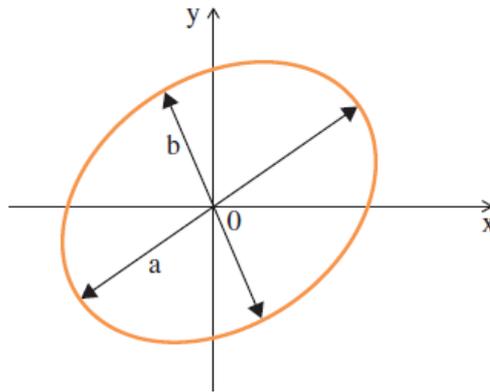
Para una onda polarizada circularmente, el vector de campo eléctrico en un punto dado en el espacio trazado en función del tiempo es un círculo. El sentido de rotación puede determinarse observando la dirección de la rotación temporal del campo como una onda que está vista a lo largo de la dirección de propagación de la onda: si el campo de rotación está en sentido horario, se dice que está con polarización circular de la mano derecha (RHCP), y si se encuentra en sentido contrario a las manecillas del reloj, la onda está con polarización circular de la mano izquierda (LHCP).

En realidad, es imposible lograr una perfecta polarización circular por lo que la curva trazada en una posición dada en función del tiempo es usualmente una elipse, como se muestra en la Figura 1. Las rectas a y b denotan el eje mayor y menor de la elipse, respectivamente. La razón del eje mayor con el menor de la elipse determina la relación axial.

La relación axial es el parámetro fundamental para medir la polarización circular. Se utiliza como convenio que sea inferior a los 3 dB para el caso de las antenas circularmente polarizadas.

Figura 1

Elipse con centro en el origen de coordenadas con sus ejes mayor y menor trazados



Ventajas de las antenas polarizadas circularmente

Braasch (1996) y Counselman (1999) muestran que las antenas polarizadas circularmente son muy efectivas combatiendo las interferencias producidas por desvanecimientos y las multitrayectorias. La señal de radio reflejada proveniente de la tierra u otros objetos posee polarización circular reversa al incidente; es decir, si la onda posee RHCP tendrá una reflexión LHCP. Una antena RHCP presentará rechazos a señales reflejadas LHCP reduciendo las interferencias por multitrayectorias.

Según Brookner (1985) y Davies (1965) la segunda ventaja es que las antenas polarizadas circularmente son capaces de reducir la rotación de Faraday, efecto producido en la ionosfera. Este efecto causa pérdidas significativas en la señal que pueden superar los 3 dB si son empleadas señales linealmente polarizadas. Las antenas polarizadas circularmente son inmunes a este problema, por tanto, son empleadas ampliamente en aplicaciones satelitales, cápsulas espaciales y misiles balísticos.

Las antenas polarizadas circularmente no requieren una orientación estricta en su transmisión y recepción; mientras que las polarizadas linealmente están sujetas a pérdidas si hay un incorrecto alineamiento entre las antenas transmisora y receptora. Esto es útil para las comunicaciones satelitales móviles donde se dificulta que exista una orientación constante entre las antenas. Con polarización circular la fuerza de la señal recibida es prácticamente la misma sin importar la orientación de la antena. Estas ventajas hacen muy atractivas el empleo de antenas polarizadas circularmente en muchos sistemas inalámbricos como afirma Gao (2014).

Desventajas de las antenas polarizadas circularmente

Por lo general las antenas con polarización circular presentan una estructura más compleja para lograr el desfase de los campos ortogonales.

En cuanto a la ganancia, la señal con polarización circular sufre pérdidas al recibir señales con polarización lineal de hasta 3 dB en potencia.

Existen dificultades para incrementar el ancho de banda de relación axial como se afirma en García (2017).

Antena Doble Banda con Polarización Circular para Aplicaciones WLAN

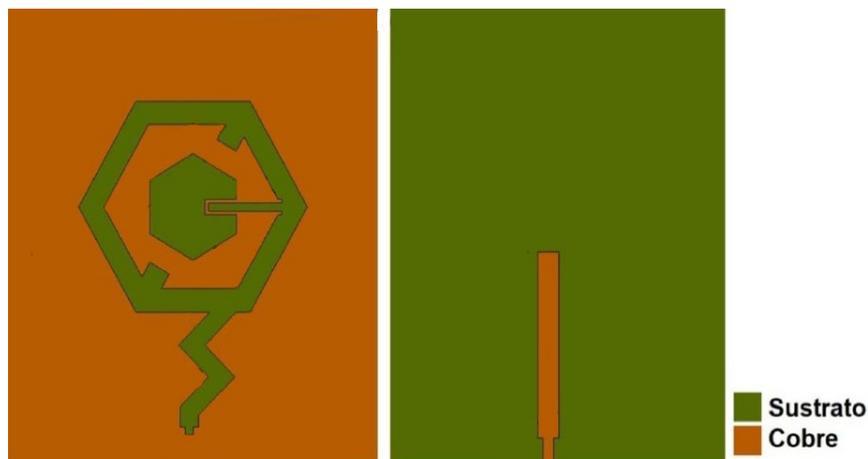
Para el desarrollo de esta investigación se analizaron un grupo de propuestas antenas de microcinta de años recientes con características similares a la que queremos desarrollar, entre ellas la de Cabrera et al (2018), que reflejaremos de forma breve para que el lector conozca los principios que tomamos como base en el diseño.

Esta antena está conformada por una línea de microcinta en la cara superior del sustrato, la cual alimenta por proximidad una serie de ranuras en el plano tierra que, al combinar correctamente sus dimensiones y geometría, facilitan el sintonizado de este elemento radiante.

En la misma, se empleó un sustrato FR4 de 0.8 mm y dimensiones $70 \times 50 \text{ mm}^2$. Al anillo hexagonal exterior de la figura se le incorporó una ranura en forma de rayo, donde su distancia total es aproximadamente $\lambda/4$ a 2.4 GHz, con el fin de proporcionar polarización circular en la banda inferior y, al incorporarle muescas en el interior fue posible lograr simultáneamente polarización circular en la banda superior. El diseño se puede observar en la Figura 2.

Figura 2

Estructura de la Antena

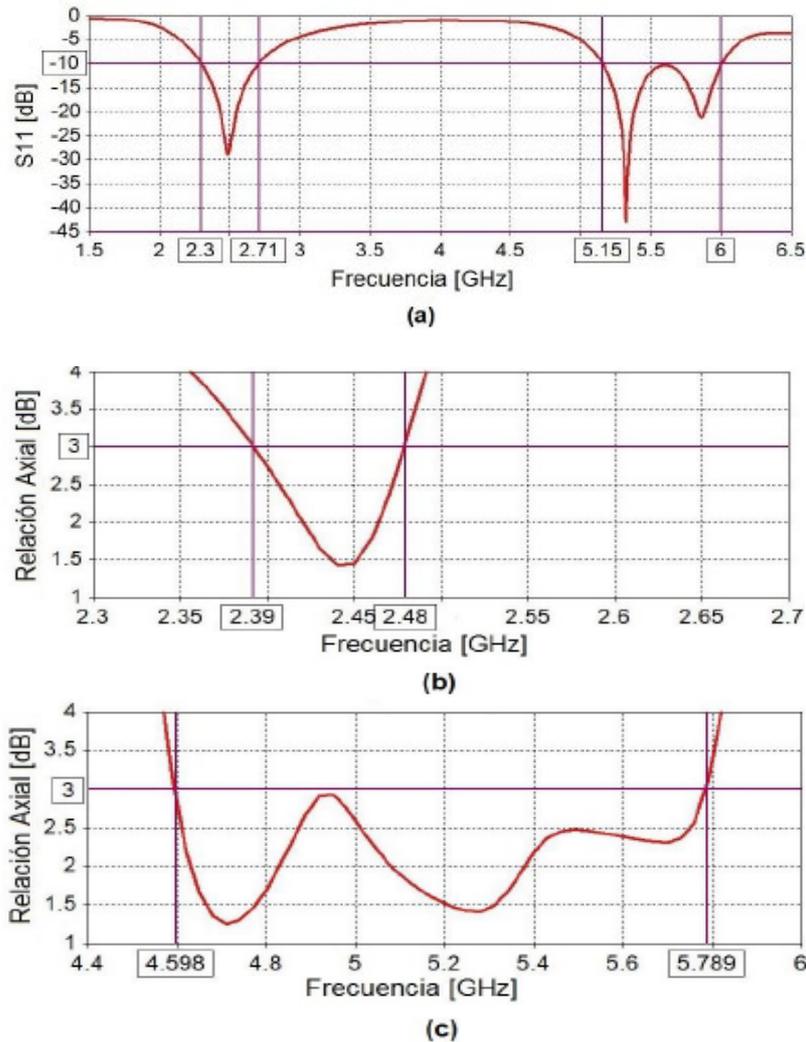


En la Figura 3 se recogen los resultados de las pérdidas de retorno y la relación axial para esta antena. En el caso de las pérdidas de retorno las mediciones que resultan por debajo de -10 dB se consideran como la banda de resonancia de la antena, y en el caso de la relación axial, ésta tiene que ser inferior a 3 dB para afirmar la existencia de polarización circular, como se planteó anteriormente.

Este diseño analizado posee patrones de radiación bidireccionales en las bandas de trabajo de 2.4 GHz y 5.2 GHz, ganancias de aproximadamente 3.45 dB en las dos frecuencias de interés, anchos de banda de acoplamiento y de polarización circular de 90 MHz en 2.4 GHz y 630 MHz en 5 GHz, lo que representa un 3.83 % y 11.5 % respectivamente, suficientes para cubrir los requerimientos de aplicaciones WLAN.

Figura 3

a) Pérdidas de retorno b) Relación axial en la banda inferior c) Relación axial en la banda superior



Breve descripción del software empleado

CST Studio Suite se utiliza en empresas líderes de tecnología e ingeniería de todo el mundo. Es un software de alto rendimiento empleado para diseñar, analizar y optimizar componentes y sistemas electromagnéticos.

Entre los objetos más comunes del análisis en este software se incluyen el rendimiento y la eficiencia de antenas y filtros, la exposición del cuerpo humano a campos electromagnéticos, los efectos electromecánicos en motores y generadores, y los efectos térmicos en dispositivos de alta potencia como describe su página oficial.

Ventajas de este software

Una interfaz gráfica atractiva y sencilla de utilizar.

CST Studio Suite emplea el método de las diferencias finitas, que converge a la simulación con mayor rapidez que el método de los elementos finitos usado en HFSS, lo cual permite un uso más económico del poder de cómputo.

El motor de optimización del software utilizado permite además una convergencia más rápida seleccionando de forma sencilla una variedad de métodos para realizar las optimizaciones en los diseños planteados en Guerra (2020).

Propuesta

Para los modelos que se proponen utilizar en este artículo se utiliza como sustrato dieléctrico el RT/Duroid 5880 con una altura $h = 1.575$ mm, tangente de pérdidas de 0.0009 y permitividad relativa $\epsilon_r = 2.2$ cubierto por dos capas de cobre de grosor $t = 35$ μm y conductividad $\sigma = 5.8 \times 10^7$ S/m.

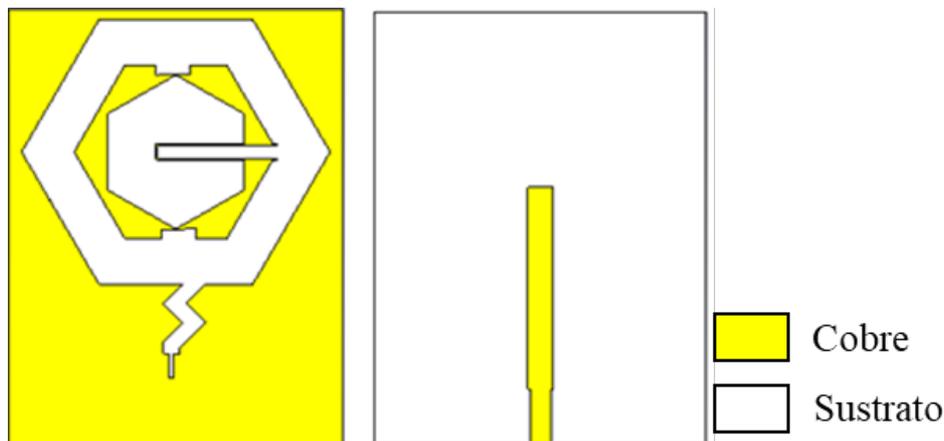
Al poseer la pérdida dieléctrica más baja de cualquier material de PTFE reforzado, pueden ser considerados como sustratos ideales para aplicaciones de alta frecuencia y banda ancha donde se requiera reducir al mínimo la dispersión y las pérdidas, logrando así que se alcance mejor radiación hacia el espacio como plantea Collazo (2020) y se recoge en la hoja de datos de este componente (2021).

Después de modelar y analizar mediante simulaciones diferentes diseños de antenas de microcinta se procedió a tomar como base el del plano tierra ranurado alimentado por proximidad mostrado en Cabrera et al (2018), con el cambio del sustrato empleado como se expresó anteriormente, porque fue de esta forma que se arrojaron los mejores resultados.

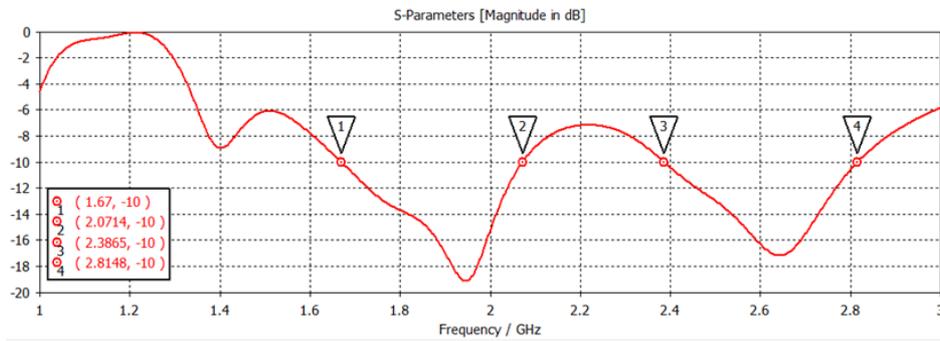
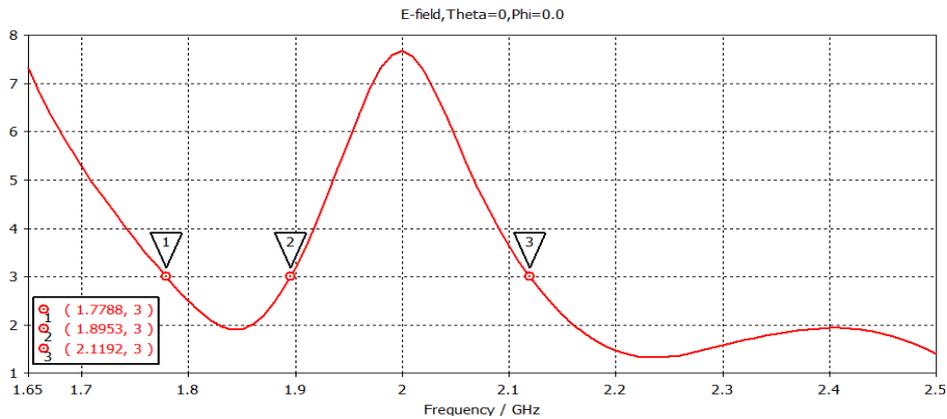
A partir de una serie de parametrizaciones y optimizaciones realizadas en la estructura del mismo, con el fin de adaptarlo a nuestros requerimientos se obtiene el diseño que se muestra en la Figura 4. Inicialmente el centro del plano ranurado se encuentra desplazado verticalmente una distancia equivalente a la mitad del radio exterior del anillo hexagonal.

Figura 4

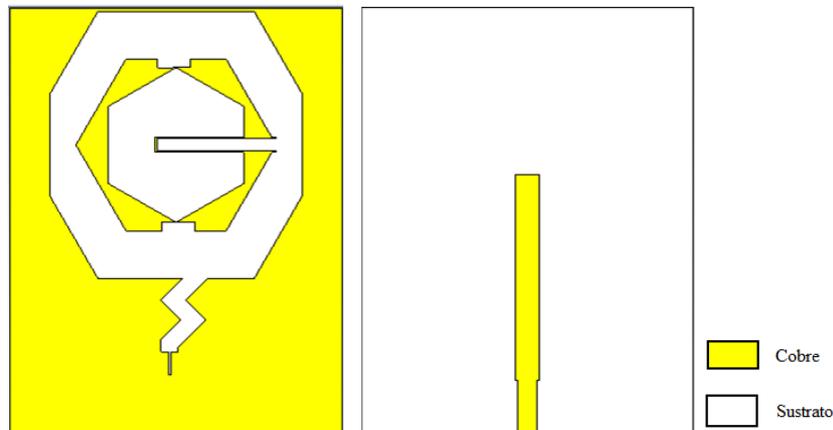
Diseño Inicial del Modelo Propuesto



Con este modelo inicial se logra una antena multibanda que satisface las especificaciones de anchos de banda requeridas en la investigación; pero es necesario seguir realizando cambios en la estructura con el fin de mejorar el ancho de banda de polarización circular en la banda de los 1800 MHz. La Figura 5 muestra las pérdidas de retorno para este diseño y la Figura 6 su relación axial.

Figura 5*Parámetro S11 para el modelo inicial***Figura 6***Relación Axial para el modelo inicial*

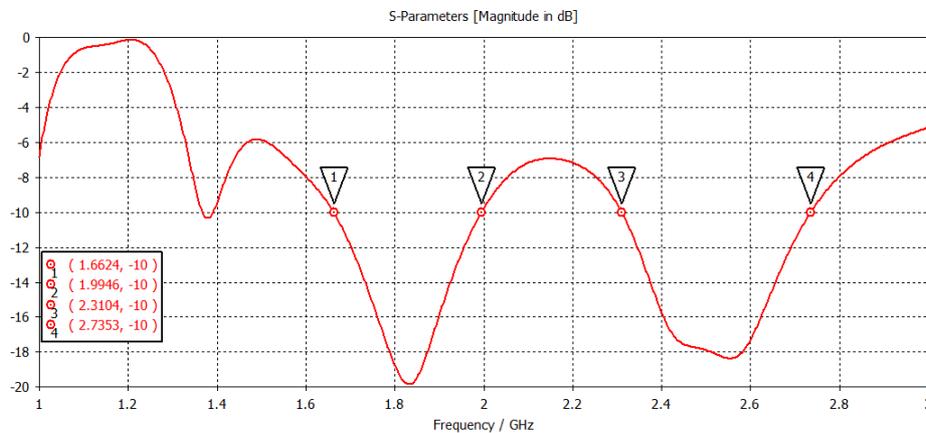
A partir del análisis del comportamiento del campo eléctrico en el software para la banda de 1800 MHz se decide modificar el borde exterior de la ranura en forma de anillo hexagonal, y se procede a optimizar la nueva estructura, quedando tal como se muestra en la Figura 7.

Figura 7*Antena optimizada después de modificar borde exterior de la ranura en forma de anillo hexagonal*

En la Figura 8 y la Figura 9 se muestran las pérdidas de retorno y la relación axial simuladas, respectivamente.

Figura 8

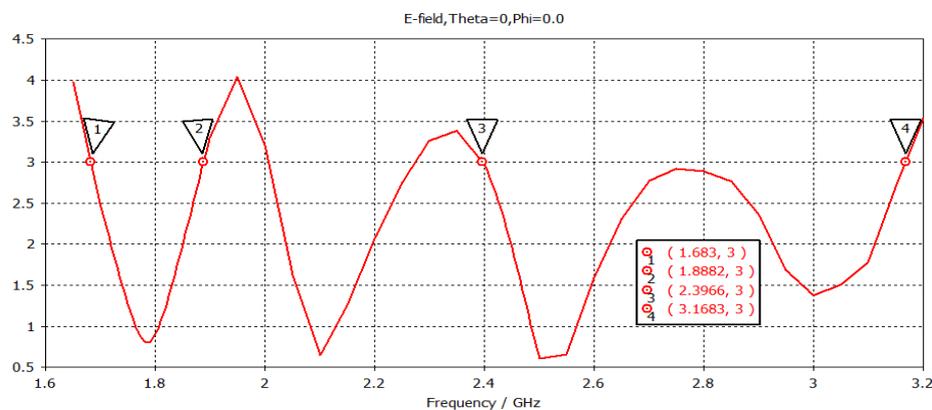
Pérdidas de retorno



De la Figura 8 se puede concluir que para la frecuencia de 1800 MHz se logra un ancho de banda de 332.2 MHz (1.6624-1.9946 GHz) y en la de 2.4 GHz se logra un ancho de banda 424.9 MHz (2.3104-2.7353 GHz).

Figura 9

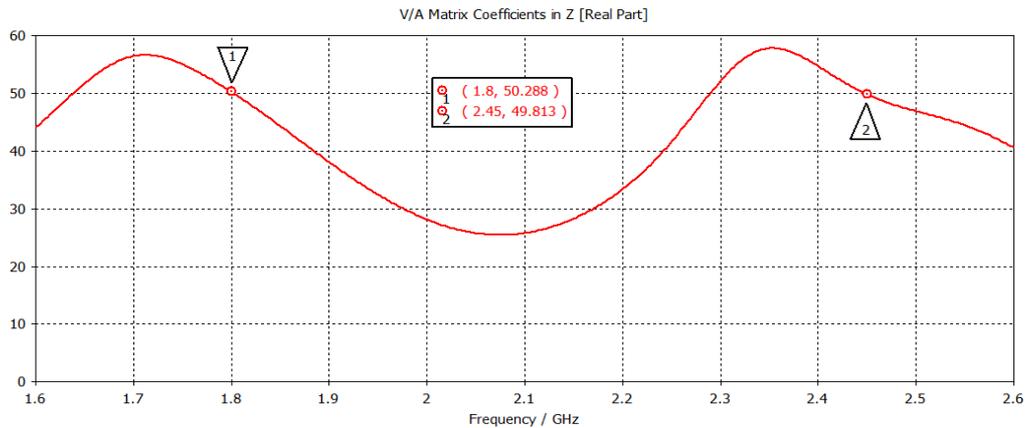
Relación Axial



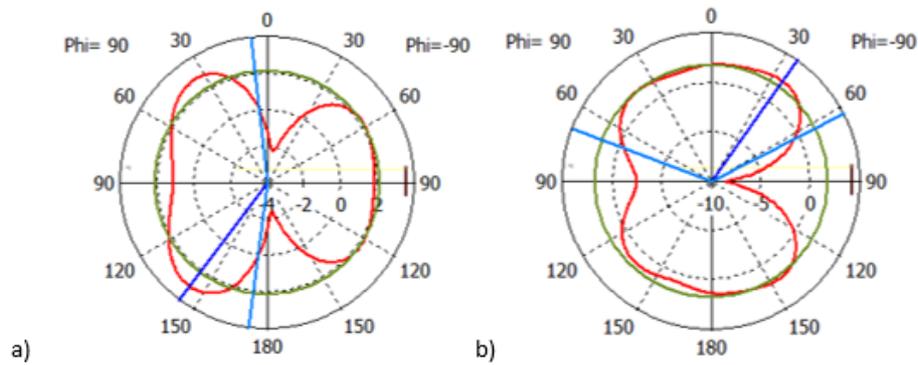
En el caso de la Figura 9 se logran anchos de banda de polarización circular en la banda inferior de 199 MHz (1.683-1.882 GHz), y 771.7 MHz (2.3966 - 3.1683 GHz) en la banda superior.

En la Figura 10 se muestra la impedancia de entrada de esta antena, donde los valores son muy cercanos a 50Ω para las frecuencias de interés, lo que demuestra el correcto acople del sistema.

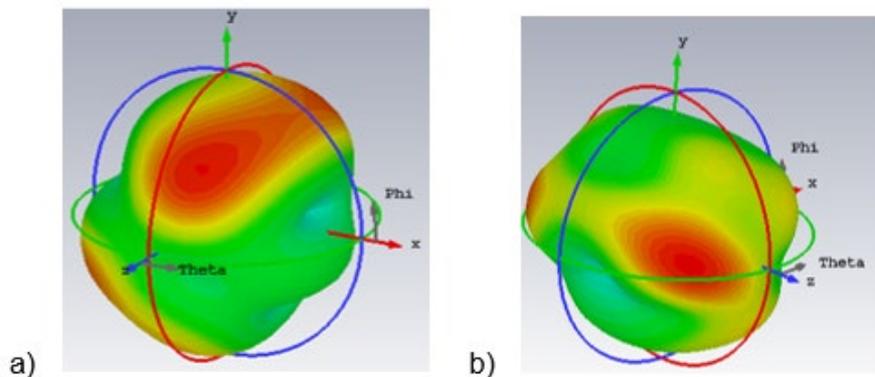
En la Figura 11 a) y b) se muestran los patrones de radiación en 2D para este diseño en las frecuencias de 1.85 GHz y 2.45 GHz, respectivamente; en la Figura 12 a) y b) se pueden apreciar dichos patrones en 3D para las mismas frecuencias antes mencionadas en igual orden. Para este diseño se obtienen ganancias de 3.39 dB en 1.85 GHz y 4.43 dB en 2.45 GHz.

Figura 10*Parte real de la impedancia de entrada***Figura 11**

a) Patrón de radiación 2D para 1.85 GHz b) Patrón de radiación 2D para 2.45 GHz

**Figura 12**

a) Patrón de radiación 3D para 1.85 GHz b) Patrón de radiación 3D para 2.45 GHz



Como se ha mostrado hasta ahora, la antena diseñada posee un patrón de radiación bidireccional. Debido a los bajos valores de ganancia alcanzados característicos de este tipo de antenas, el elevado precio del sustrato empleado, y con el objetivo principal de poseer un mayor control sobre la directividad de la misma, aprovechando de mejor forma su patrón de radiación y evitar así que se pierda potencia en radiar una señal que puede considerarse en algunos casos

como no deseada, se hace necesario buscar vías para adaptar el diseño a una antena unidireccional.

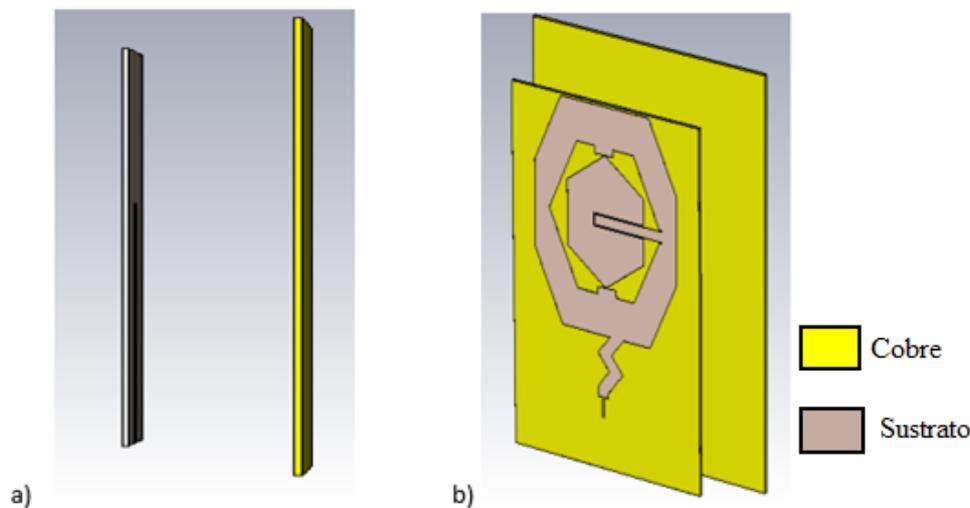
Adaptando el modelo diseñado a una antena de patrón de radiación unidireccional

A la antena que se diseñó se le añadió un plano tierra de cobre de conductividad $5.8 \cdot 10^7 S/m$, cuyo grosor es de $2 mm$. El mismo como muestra la Figura 13 se encuentra “frente a la línea de alimentación”, inicialmente a una distancia de $3.8 cm$ del sustrato y será unido a la antena por medio de tornillos de teflón.

Las dimensiones del plano tierra que se añadió, así como su distancia inicial a la antena antes diseñada, se tomaron a partir de diferentes simulaciones que se realizaron previamente.

Figura 13

a) Vista lateral derecha del nuevo modelo b) Vista en perspectiva del nuevo modelo



En la Figura 14 y Figura 15 se muestran las pérdidas de retorno y la relación axial para este nuevo modelo.

Figura 14

Pérdidas de retorno

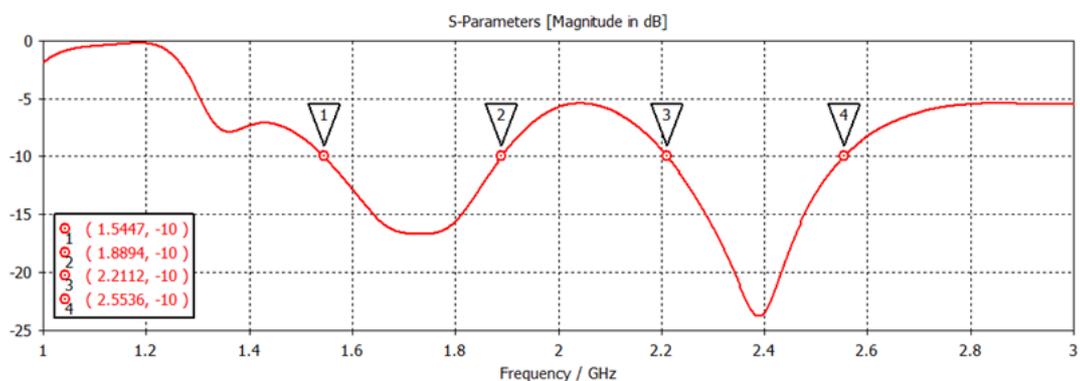
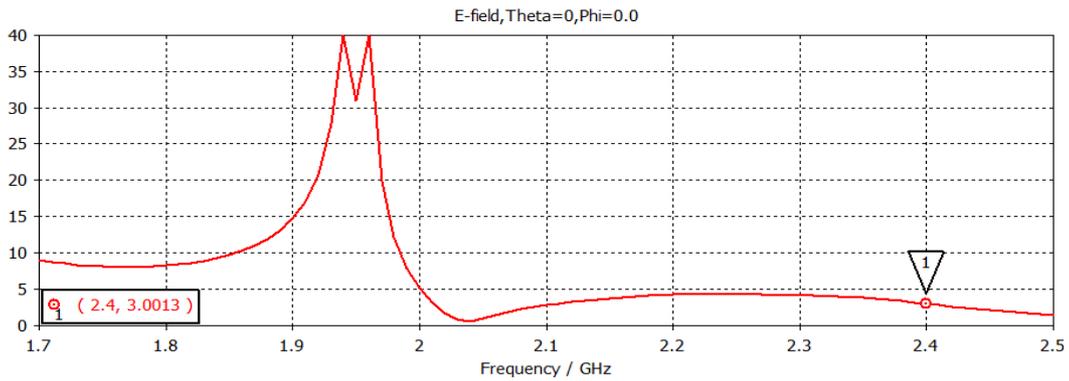


Figura 15*Relación axial*

En las gráficas anteriores se puede observar que al agregar el plano tierra se obtiene un ancho de banda que cubre las frecuencias de interés, pero carece de polarización circular la banda inferior, mientras que en la superior todavía es necesario seguir haciendo ajustes para lograrla completamente.

Siguiendo la lógica de la investigación que se tuvo en cuenta para la construcción del modelo de antena de radiación bidireccional expuesto anteriormente, se decidió modificar nuevamente el exterior de la ranura en forma de anillo octogonal que se tenía; pero además se apreció que mover horizontalmente la línea de microcinta en la zona inferior del sustrato, la separación de la antena al plano tierra que se añadió, así como el desplazamiento vertical del “dibujo” ranurado influían significativamente en el ancho de banda de polarización circular. Finalmente se obtiene el diseño de la Figura 16, con sus correspondientes gráficas de pérdidas de retorno y relación axial en la Figura 17 y la Figura 18, respectivamente.

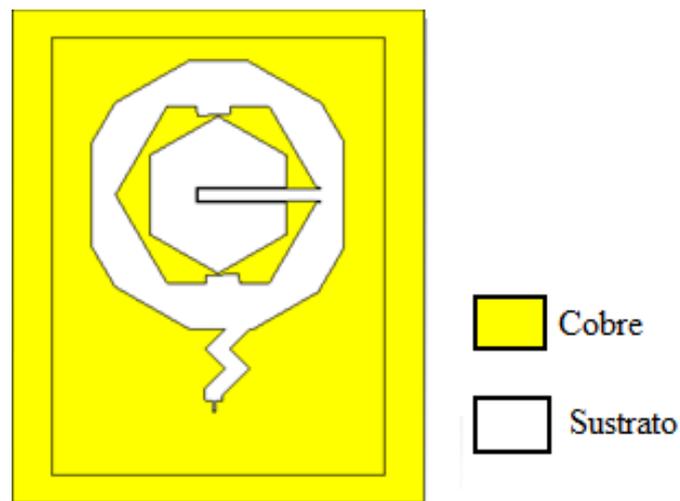
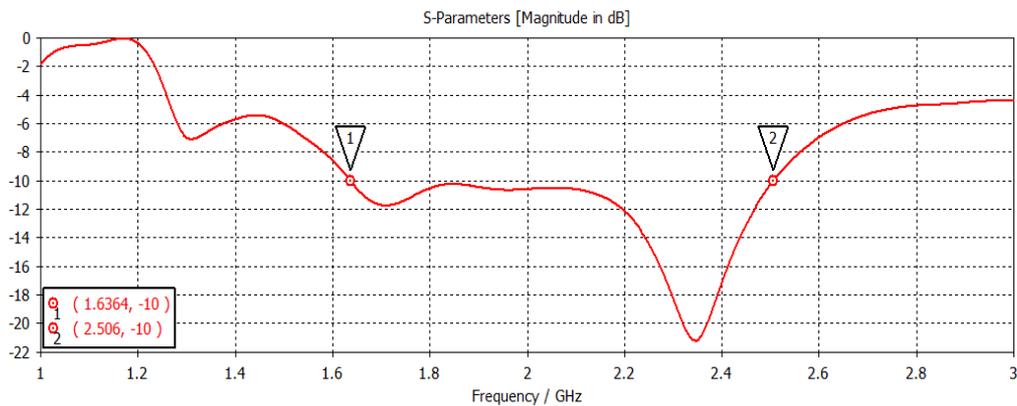
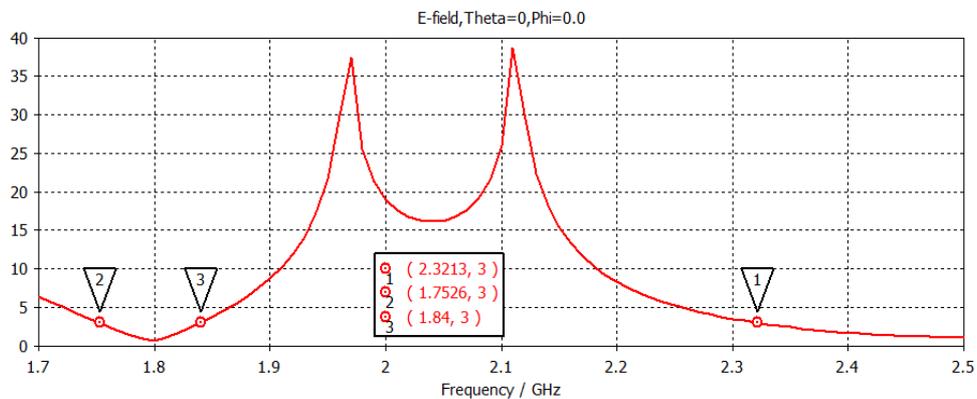
Figura 16*Antena con modificaciones en las ranuras*

Figura 17*Pérdidas de retorno***Figura 18***Gráfica de la relación axial*

Las pérdidas de retorno anteriormente mostradas cubren el ancho de banda que se requiere para los servicios, y ya la banda superior posee la polarización circular completamente, mientras que en la banda de los 1800 MHz se ha logrado este objetivo de forma parcial. Realizando una optimización de las variables antes mencionadas se mejoran los resultados, quedando como se aprecia en el nuevo modelo de la Figura 19 con sus correspondientes resultados en Figura 20 y la Figura 21.

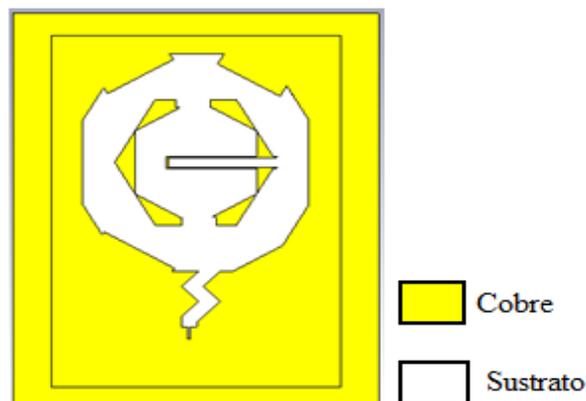
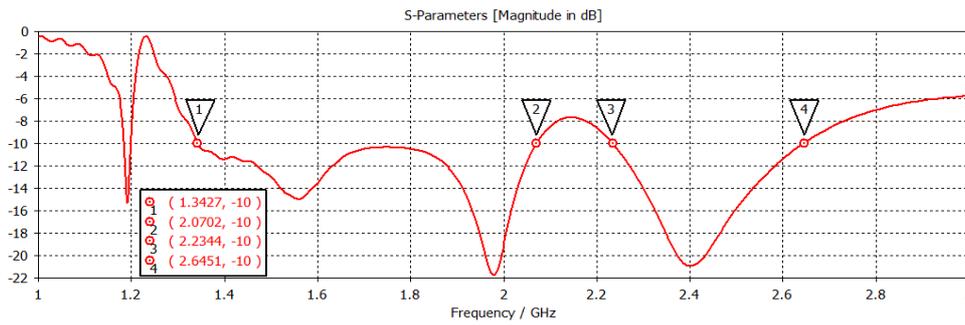
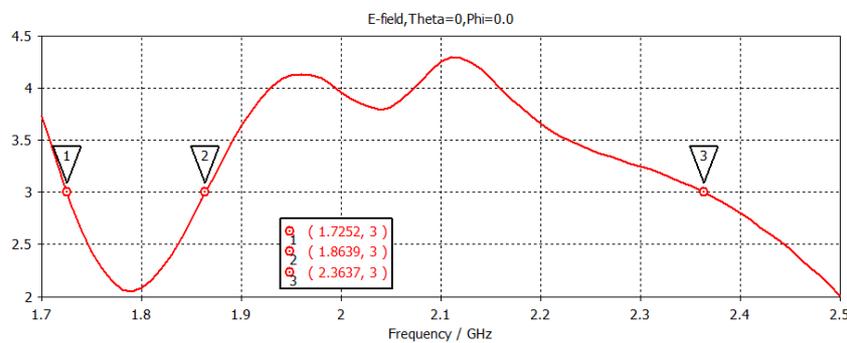
Figura 19*Modelo optimizado de la antena*

Figura 20

Gráfica de los parámetros S11 para el modelo optimizado de la antenna

**Figura 21**

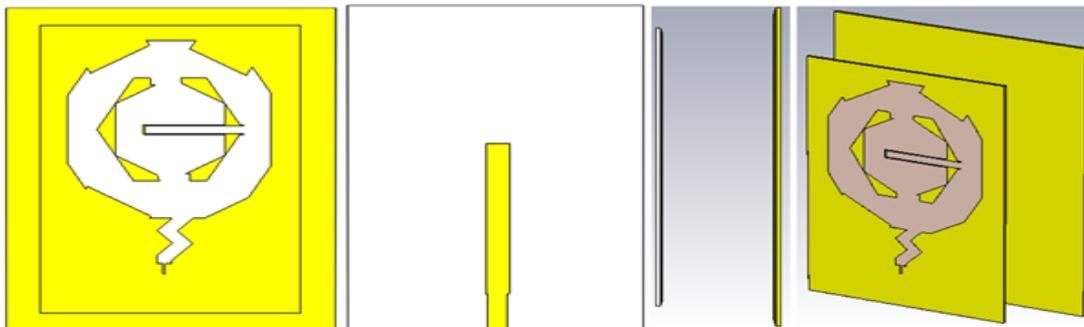
Gráfica de la relación axial para el modelo optimizado de la antenna



Después de haber cumplido prácticamente los objetivos de anchos de bandas requeridos y relación axial con el modelo propuesto, se siguen realizando simulaciones en la antenna hasta encontrar una forma sencilla de ampliar el ancho de banda de relación axial que incluya las frecuencias faltantes de la banda inferior. A partir del análisis del campo eléctrico y de las gráficas de relación axial de las simulaciones realizadas se decide combinar dos parámetros que de cierta forma se complementaban entre sí para lograr el cumplimiento de la totalidad de los objetivos. Los mismos fueron: la distancia de separación entre la antenna y el plano tierra y el desplazamiento de la línea de alimentación. El diseño final se muestra en la Figura 22.

Figura 22

De Izquierda a Derecha Vista Frontal, Vista Trasera del Sustrato, Vista Lateral y en Perspectiva

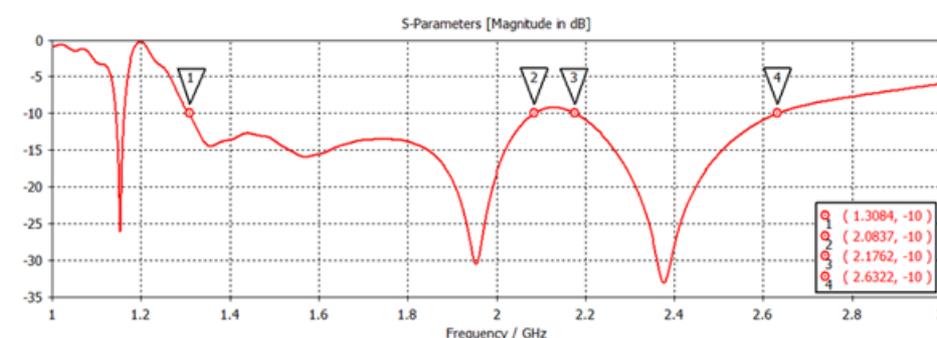


De la Figura 23 se puede observar que la antenna diseñada posee un ancho de banda en la banda de 1800 MHz de 775.3 MHz (1.3084-2.0837 GHz) y en la de 2.4 GHz de 456 MHz

(2.1762-2.6322 GHz), lo que hace posible su uso para las aplicaciones que se perseguían con su diseño.

Figura 23

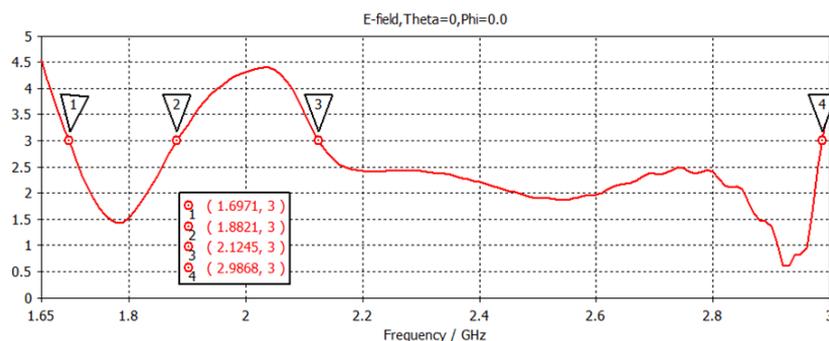
Pérdidas de Retorno



La Figura 24 muestra la relación axial, donde se logra un ancho de banda en la banda inferior de 185 MHz (1.6971-1.8821 GHz), mientras que en la banda superior es de 862.3 MHz (2.1245-2.9868 GHz), abarcando completamente las frecuencias necesarias de los servicios para los que fue diseñada la antena.

Figura 24

Relación Axial



En las Figura 25 y Figura 26 se puede apreciar que este modelo presenta un buen acoplamiento de impedancia, al tener valores cercanos a los 50Ω en el caso de la parte real, y a cero en el caso de la parte imaginaria para las bandas de frecuencia de interés.

Figura 25

Parte Real de la Impedancia de Entrada

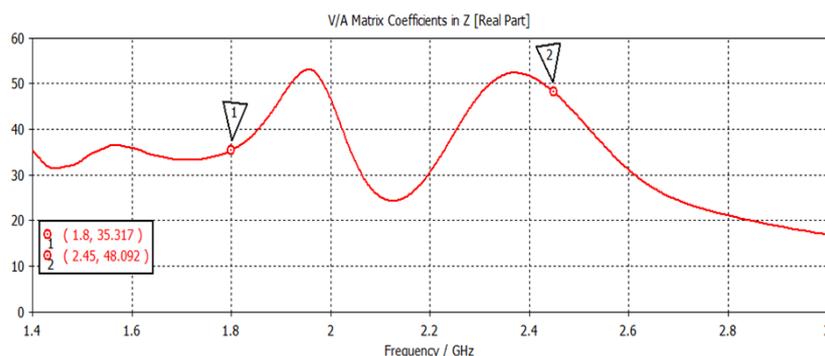
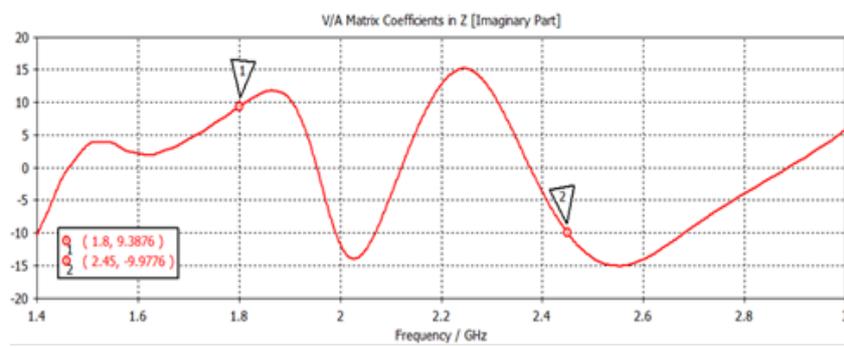
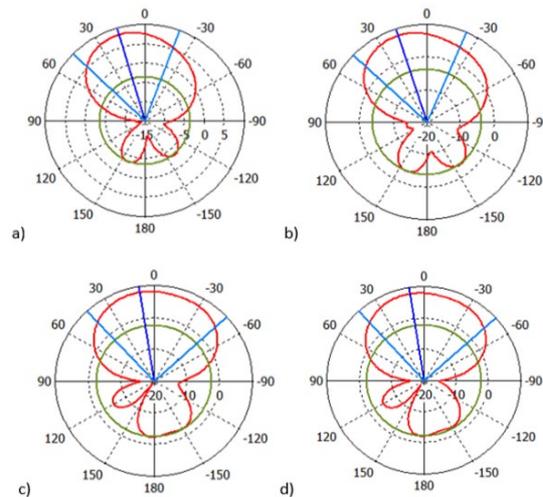
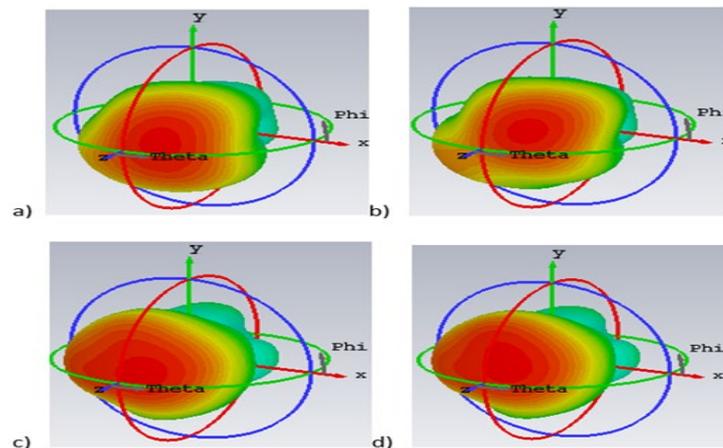


Figura 26*Parte Imaginaria de la Impedancia de Entrada*

En la Figura 27 y la Figura 28 se muestran los patrones de radiación de la antena optimizada para un grupo de frecuencias en 2D y 3D, respectivamente. A partir de su análisis se puede afirmar que este modelo logra un patrón de radiación de forma unidireccional, con ganancias de 8.19 dB en 1.75 GHz y 8.22 dB en 2.45 GHz. En el caso de la directividad para todas las frecuencias que se muestrearon, la misma fue siempre superior a 8.1 dBi.

Figura 27*Patrones de radiación en 2D a) 1750 MHz, b) 1850 MHz, c) 2400 MHz y d) 2450 MHz***Figura 28***Patrones de radiación en 3D a) 1750 MHz, b) 1850 MHz, c) 2400 MHz y d) 2450 MHz*

Con el fin de facilitar la construcción de la antena propuesta, a continuación se exponen las dimensiones del diseño optimizado en mm. Para ello el análisis se apoyará en la Figura 29 y en la Tabla 1 para el caso de las variables utilizadas en el plano ranurado y en el añadido, y en la Figura 30 y la Tabla 2 donde se recogen las medidas empleadas en la vista trasera del sustrato.

Dimensiones de la antena en el plano ranurado y del plano tierra añadido

Figura 29

Distribución de las Variables Utilizadas en el Plano Tierra Ranurado para el Modelo de Antena Final

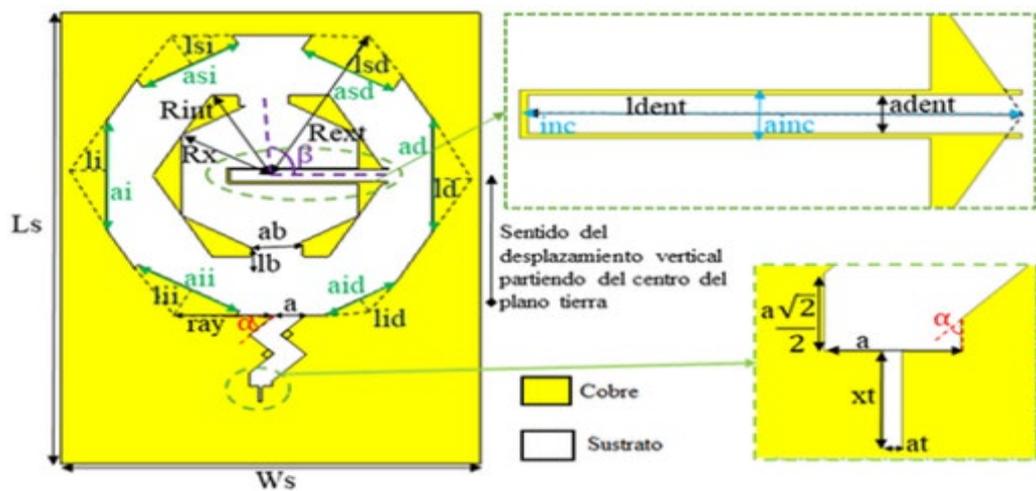


Tabla 1

Dimensiones de la Antena en el Plano Ranurado y del Plano Tierra Añadido

PARÁMETROS	VALOR (mm)	PARÁMETROS	VALOR (mm)
Largo plano tierra añadida	162.802	ai	33.60
Ancho plano tierra añadido	134.749	ad	35.441
Ls	142.748	ldent	39.616
Ws	105.089	adent	3.912
Desplazamiento vertical	19.907	inc	40.275
Rext	51.023	ainc	4.838
Rint	29.497	li	9.7
at	0.802	ld	10.231
xt	5.042	lid	6.022
ab	12.59	lii	9.923
lb	7.085	lsd	12.452
Rx	25.589	lsi	10.732
aid	24.299	ray	26.409
aii	29.531	a	5.685
asd	26.246	asi	27.569

La rotación de las muescas es de $\beta = 91.39^\circ$. El vértice de dicho ángulo lo constituye

el centro que fue desplazado como se explicó anteriormente, mientras que uno de sus lados es utilizado como referencia para medir la amplitud de la rotación. Tomando como centro de una circunferencia dicho punto de la figura, la otra muesca es diametralmente opuesta a la antes mencionada. En el caso del ángulo α su valor es de 45° . La longitud total de la estructura en forma de rayo es de aproximadamente $\lambda/4$ para una frecuencia de 1.8 GHz.

Dimensiones de la cara inferior del sustrato

Figura 30

Distribución de las Variables Utilizadas en la Cara Inferior del Sustrato

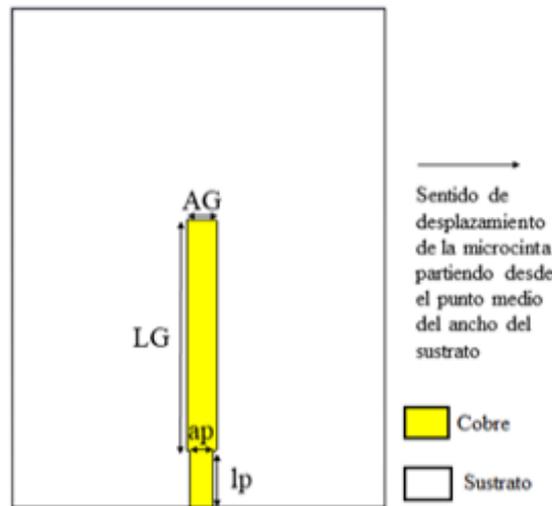


Tabla 2

Dimensiones de la Cara Inferior del Sustrato

PARÁMETROS	VALOR (mm)
AG	8.455
LG	65.931
ap	6.826
lp	16.221
Desplazamiento de la alimentación	0.75

Discusión de Resultados

Las antenas de microcinta convencionales con formas de parches rectangulares y circulares tienen estrecho ancho de banda y pobre eficiencia de radiación, lo que impide que sean capaces de satisfacer los principales requerimientos de los sistemas de comunicaciones modernos. El perfeccionamiento de los equipos de telecomunicaciones, y en este caso particular de las antenas de microcinta, es un proceso en constante evolución; por ello día a día grandes empresas, universidades, y profesionales vinculados directamente a estas áreas realizan contribuciones con técnicas modernas que toman como base, tanto los antiguos como los más novedosos conocimientos alcanzados en estas esferas y los adaptan a las condiciones futuras. En este apartado de la investigación se resumen los resultados obtenidos durante el desarrollo de los modelos propuestos anteriormente.

Algunos de los ejemplos de las técnicas utilizadas para la realización de las propuestas fueron la introducción de ranuras en el plano tierra de la antena; una de ellas en forma de rayo que fue la de mayor influencia en lo relacionado con la generación de polarización circular en la banda inferior junto a la del borde exterior; la generación de la polarización circular en la banda superior se logró gracias a la contribución que ejerció la correcta orientación de las muescas en la zona central del ranurado realizado, y el plano tierra añadido posteriormente proporcionó que el patrón de radiación de la estructura diseñada fuera unidireccional.

Partiendo de los resultados obtenidos mediante la simulación en el software CST Studio 2017 se puede afirmar que se ha logrado el diseño de dos antenas de microcinta multibanda que incorporan polarización circular en las bandas de frecuencia de interés. En la Tabla 3 se reflejan los rangos de frecuencia de los servicios de telefonía celular en la banda 3 de la LTE en 1800 MHz, Bluetooth y WiFi en 2.4 GHz, y a continuación cómo los mismos son cubiertos en su totalidad por cada uno de los modelos propuestos.

Tabla 3

Aplicaciones inalámbricas que se perseguían en el diseño

SERVICIOS	BANDAS DE FRECUENCIAS QUE REQUIEREN (MHz)	ANCHO DE BANDA ANTENA DE PATRÓN BIDIRECCIONAL (MHz)	ANCHO DE BANDA ANTENA DE PATRÓN UNIRECCIONAL (MHz)
Telefonía LTE Banda 3	1710-1785; 1805-1880	1683-1888.2	1697.1-1882.1
WiFi en 2.4 GHz	2400-2483.5	2396.6-2735.3	2176.2-2632.2
Bluetooth	2400-2483.5	2396.6-2735.3	2176.2-2632.2

Conclusiones

El estudio del contexto internacional y nacional sobre el diseño de antenas de microcinta, y el análisis de las técnicas más recientes, posibilitaron identificar aquellos métodos más viables para generar múltiples resonancias y polarización circular en las mismas, seleccionando la alimentación por proximidad al parche, así como la inserción de ranuras en el plano tierra.

Una vez analizados los resultados de la simulación mediante el software CST Studio 2017 para las dos antenas de microcinta diseñadas, se decidió optar por la que presenta un patrón de radiación unidireccional al brindar mayor control en la directividad de la misma.

Estas simulaciones demostraron que se alcanzan ganancias de aproximadamente 8.2 dB en las frecuencias de interés, anchos de banda de acoplamiento y de polarización circular de 185 MHz en la banda de 1800 MHz y 456 MHz en la de 2.4 GHz, y cubre totalmente los requerimientos de frecuencias de las aplicaciones WLAN en la banda de 2.4 GHz y telefonía LTE en la banda 3 para los que fue diseñada.

El diseño de estas antenas de ligero peso, bajo costo y pequeñas dimensiones, garantizará que los servicios de WiFi en 2.4 GHz y LTE en la banda de 1800 MHz sean utilizados simultáneamente sin necesidad de emplear un dispositivo de este tipo para cada prestación por separado.

La forma de describir los pasos del diseño de ambos modelos sugeridos facilitará a todos los interesados su futura construcción, teniendo en cuenta que se recogieron de forma detallada los modelos elaborados mediante imágenes tomadas del software, con sus

correspondientes gráficas, en un orden lógico de trabajo proporcionándole a éstos las medidas exactas del modelo final.

Reconocimientos

Los autores desean expresar su agradecimiento al Departamento de Comunicaciones Inalámbricas de la Universidad Tecnológica de La Habana (CUJAE) por brindarles bibliografía de los años recientes relacionada con el tema de investigación que se ha plasmado en este artículo, sin las cuales no hubiera sido posible el desarrollo del mismo.

Referencias

- Braasch, M. (1996). *Multipath effects, in Global Positioning System: Theory and Applications*.
- Brookner, E., Hall W., and Westlake R. (1985). *Faraday loss for L-band radar and communications systems*. IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, Vol 21, No 4, pp. 459–469, <https://doi.org/10.1109/TAES.1985.310634>
- Collazo, C. (2020). *Diseño de antena reconfigurable en frecuencia para aplicaciones Wifi, Bluetooth y localización de dispositivos en la banda civil* [Tesis de Grado, Universidad Tecnológica de La Habana. Facultad de Telecomunicaciones y Electrónica, Departamento de Comunicaciones Inalámbricas].
- Balanis, C (2016), *Antenna Theory Analysis And Design*, Fourth Edition. John Wiley & Sons. <https://www.wiley.com/en-us/Antenna+Theory%3A+Analysis+and+Design%2C+4th+Edition-p9781118642061>
- Counselman, C. (1999). *Multipath rejecting GPS antennas*. Proceedings of the IEEE, Vol 87, No 1, pp. 86-91, <https://doi.org/10.1109/5.736343>
- CST STUDIO SUITE® (2021). <https://www.3ds.com>.
- Cabrera, A y Paz, N. (2018). *Antena de Microcinta Doble Banda con Polarización Circular para Aplicaciones WLAN*. [Tesis de Grado, Universidad Tecnológica de La Habana. Facultad de Telecomunicaciones y Electrónica, Departamento de Comunicaciones Inalámbricas].
- Davies, K. (1965). *Ionospheric Radio Propagation*, NBS Monograph 80, 181, US Government Printing Office, Washington DC. <https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/Legacy/MONO/nbsmonograph80.pdf>
- Doust, E., Hemmati, V. and Wight, J. (2008). *An aperture-coupled circularly polarized stacked microstrip antenna for GPS frequency bands L1, L2, and L5*. IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium, pp: 1-4, <https://doi.org/10.1109/APS.2008.461944020>
- Carrazana, G. (2019). *Diseño de una antena reconfigurable en frecuencia para operar en las bandas de servicios WiFi de 2.4GHz y 5GHz*. [Tesis de Grado, Universidad Tecnológica de La Habana. Facultad de Telecomunicaciones y Electrónica, Departamento de Comunicaciones Inalámbricas].
- Liu H., et al. (2014). *A multiband planar antenna for GSM/UMTS/LTE and WLAN/WiMAX handsets*, IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol 62, No 5, pp 2856–2860, <https://doi.org/10.1109/TAP.2014.2308525>
- Heidari, A., Heyrani, M., y Nakhkash, M. (2009). *A dual-band circularly polarized stub loaded microstrip patch antenna for GPS applications*, Progress In Electromagnetics Research, Vol. 92, pp. 195–208, <https://doi.org/10.2528/PIER09032401>
- High Frequency Circuit Materials (2021). RT/duroid® 5880 Glass Microfiber Reinforced Polytetrafluoroethylene Composite Rogers Corporation Microwave Materials Division. ISO 9002 CERTIFIED <http://www.rogerscorp.com/media/project/rogerscorp/documents/advanced-electronics-solutions/english/data-sheets/rt-duroid-5870-5880-data-sheet.pdf>.

- García, H. y Núñez, J. (2017). *Arreglo de antenas de microcinta con polarización circular para la banda de 60 GHz*. [Tesis de Grado, Universidad Tecnológica de La Habana. Facultad de Telecomunicaciones y Electrónica, Departamento de Comunicaciones Inalámbricas].
- Guerra, M. (2020). *Sistemas de Alimentación para 5G*. [Tesis de Grado, Universidad Tecnológica de La Habana. Facultad de Telecomunicaciones y Electrónica, Departamento de Comunicaciones Inalámbricas].
- Oulhaj, O., Touhami, N., Aghoutane, M. y Tazon, A. (2016). *A miniature microstrip patch antenna array with defected ground structure*. International Journal of Microwave and Optical Technology, Vol. 11, No. 1, pp. 32-39.
https://www.researchgate.net/publication/298045954_A_miniature_microstrip_patch_antenna_array_with_defected_ground_structure
- Kumar, P. and Masa-Campos, J. (2017). *A novel dual polarized waveguide fed circular patch antenna for Ku band applications*. Microwave and Optical Technology Letters, Vol. 59, pp. 1743-1750,
<https://doi.org/10.1002/mop.30622>
- Kumar, P. and Bisht, N. (2011). *Stacked coupled circular microstrip patch antenna for dual band. Applications*. Proceeding of Progress in Electromagnetics Research Symposium, pp. 629-632.
https://www.researchgate.net/publication/266346102_Stacked_Coupled_Circular_Microstrip_Patch_Antenna_for_Dual_Band_Applications_PIERS_Proceedings_pp_629-632_Sept_2011
- Kumar, P. (2014). *Computation of resonant frequency of gap-coupled ring microstrip antennas*. International Journal of Automation and Computing, Vol. 11, No. 6, pp. 671-675.
<https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s11633-014-0814-5.pdf>
- Kumar, P. (2017). *Design of low cross-polarized patch antenna for ultra-wideband applications*. International Journal on Antenna Communications and Propagation, Vol. 7, No.4, pp. 265-270.
<https://doi.org/10.15866/irecap.v7i4.10435>
- Garg, R., Bhartia, P., Bahl, I. y Ittipiboon, A. (2000). *Microstrip Antenna Design Handbook*. Artech House Publishers. https://books.google.fr/books?id=_er1LO5pEnUC
- Varma, R., Ghosh, J. y Bhattacharya, R. (2017). *A compact dual frequency double U-slot rectangular microstrip patch antenna for WiFi/WiMAX*. Microwave and Optical Technology Letters, Vol. 59, pp. 2174-2179.
<https://doi.org/10.1002/mop.30705>
- Singh, A., Aneesh, M., Ansari, J. (2015) *Slots and notches loaded microstrip patch antenna for wireless communication*. TELKOMNIKA Indonesian Journal of Electrical Engineering, Vol. 13, No. 3, pp. 584-594. <https://doi.org/10.11591/telkomnika.v13i3.7282>
- Steven (Shichang) Gao, Q. L., Fuguo Zhu. (2014). *Circularly Polarized Antennas*. John Wiley & Sons.
<https://ieeexplore.ieee.org/book/6670809>
- Toh, B., Cahill, R. y Fusco V.(2003). *Understanding and measuring circular polarization*, IEEE Transactions on Education, Vol. 46, No. 3 pp. 313–318. <https://doi.org/10.1109/TE.2003.813519>