



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

**SEDE QUITO**

**CARRERA DE TELECOMUNICACIONES**

**ANÁLISIS DE LÍNEAS SERPENTEADAS SOBRE PLANOS DE TIERRA PARA  
AUMENTAR EL RENDIMIENTO EN UNA ANTENA MICROSTRIP EN LA BANDA ISM.**

Trabajo de titulación previo a la obtención del  
Título de Ingeniera en Telecomunicaciones

**AUTOR:** VALERIA MADELINE ESTRELLA MASABANDA

**TUTOR:** JOHANNA BERENICE ARGUERO TELLO

Quito-Ecuador

2024

## CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Valeria Madeline Estrella Masabanda con documento de identificación N° 1720456852;  
manifiesto que:

Soy la autora y responsable del presente trabajo; y, autorizo a que sin fines de lucro la  
Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o  
parcial el presente trabajo de titulación.

Quito, 23 de febrero del año 2024

Atentamente,



Valeria Madeline Estrella Masabanda

1720456852

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA  
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Yo, Valeria Madeline Estrella Masabanda con documento de identificación No. 1720456852, expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autora del artículo académico: “Análisis de líneas serpenteadas sobre planos de tierra para aumentar el rendimiento en una antena microstrip en la banda ISM.”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniera en Telecomunicaciones, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribo este documento en el momento que hago la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 23 de febrero del año 2024

Atentamente,

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Valeria Estrella', is written over a horizontal line. The signature is stylized and somewhat cursive.

Valeria Madeline Estrella Masabanda

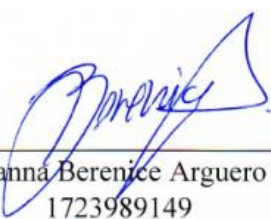
1720456852

## CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Johanna Berenice Arguero Tello con documento de identificación N° 1723989149, docente de la Universidad Politécnica Salesiana declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: ANÁLISIS DELÍNEAS SERPENTEADAS SOBRE PLANOS DE TIERRA PARA AUMENTAR EL RENDIMIENTO EN UNA ANTENA MICROSTRIP EN LA BANDA ISM, realizado por Valeria Madeline Estrella Masabanda con documento de identificación N° 1720456852, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción artículo académico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 23 de febrero del año 2024

Atentamente,



---

Ing. Johanna Berenice Arguero Tello, MSc  
1723989149

## DEDICATORIA

*A mis queridos padres, Carmen Masabanda y Nestor Estrella, quienes han sido mi inspiración, mi apoyo inquebrantable y mis guías a lo largo de este arduo viaje académico. Su amor, sacrificio y aliento constante han sido los pilares sobre los cuales he construido mis logros. También quiero expresar mi profunda gratitud a mi familia y a todas las personas especiales que han estado presentes en mi vida, brindándome su apoyo, ánimo y sabiduría en cada paso de mis estudios. Este logro no solo es mío, sino también de todos ustedes, quienes han compartido este camino conmigo. ¡Gracias por creer en mí y por ser mi motivación para alcanzar mis metas! Este trabajo está dedicado con todo mi amor y gratitud.*

*Valeria Madeline Estrella Masabanda*

## AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi profundo agradecimiento a todas las personas que han sido parte fundamental en la realización de este trabajo. En primer lugar, quiero agradecer a mis queridos padres Carmen Masabanda y Nestor Estrella por su amor incondicional, guía, aliento y ejemplo de determinación han sido mi mayor inspiración a lo largo de este viaje académico.

Agradezco también a mi familia extendida por su comprensión, paciencia y apoyo incondicional en cada paso de este camino. Su presencia y ánimo han sido un pilar fundamental en mi vida y en la culminación de este logro.

Quiero reconocer y agradecer a todas las personas especiales que han estado presentes en mi vida, brindándome su amistad, su sabiduría y su aliento en momentos clave. Su influencia positiva ha dejado una marca indeleble en mi camino hacia el éxito.

Agradezco enormemente a mis estimados profesores y mentores por su orientación experta, su dedicación y su compromiso con mi desarrollo académico y personal. Sus enseñanzas y consejos han sido fundamentales para mi crecimiento y aprendizaje durante este proceso.

Este logro no habría sido posible sin el apoyo y la contribución de cada una de estas personas. Mi más sincero agradecimiento a todos ustedes por ser parte de este viaje y por haber hecho posible la realización de este trabajo.

.

Valeria Madeline Estrella Masabanda

# ANÁLISIS DE LINEAS SERPENTEADAS SOBRE PLANOS DE TIERRA PARA AUMENTAR EL RENDIMIENTO DE UNA ANTENA MICROSTRIP EN LA BANDA ISM

## ANALYSIS OF SERPENTED LINES ON THE GROUND PLANES TO INCREASE THE PERFORMANCE OF A MICROSTRIP ANTENNA IN ISM BAND

Valeria Madeline Estrella Masabanda 1, Johanna Berenice Arguero Tello 2<sup>1</sup>

dept. Ingeniería en Telecomunicaciones, Universidad Politécnica Salesiana, Quito, Ecuador

Email: vestrellam@est.ups.edu.ec

dept. Ingeniería en Telecomunicaciones, Universidad Politécnica Salesiana, Quito, Ecuador

Email: jarguero@est.ups.edu.ec

### Resumen

Este artículo detalla un estudio comparativo entre una antena patch con plano de tierra estándar con una antena patch con plano de tierra de línea serpenteada operando ambas a una frecuencia de 2,4Ghz. Se modelan y calculan las dimensiones de ambas antenas mediante la utilización del software HFSS ANSYS.

Se ajustan las antenas a la frecuencia de 2.4 Ghz para la posterior evaluación y comparación de parámetros VSWR, S11, ganancia y patrones de radiación. Mediante el modelamiento de la antena con respecto al plano de tierra defectuosa, se implementó una línea serpenteada en el mismo.

Los resultados muestran que la antena patch microstrip al implementar la línea serpenteada el parámetro VSWR se comporta como una multibanda, así mismo como el incremento del ancho de banda en un 66.67%, lo que significa que emite mayor energía y minimiza las pérdidas por reflexión en VSWR.

**Palabras Clave:** 2,4GHz, antena patch, DGS, HFSS ANSYS, línea serpenteante, microstrip.

### Abstract

This article details a comparative study between a standard ground plane patch antenna and a serpentine ground plane patch antenna, both operating at a frequency of 2.4 GHz. The dimensions of both antennas are modeled and calculated using the HFSS ANSYS software.

The antennas are tuned to the frequency of 2.4 GHz for subsequent evaluation and comparison of parameters such as VSWR, S11, gain, and radiation patterns. By modeling the antenna with respect to the defective ground plane, a serpentine line was implemented on it. The results show that the microstrip patch antenna, when implementing the serpentine line, behaves as a multiband, similarly to the increase in bandwidth by 66.67%, which means it emits more energy and minimizes losses due to reflection in VSWR.

**Keywords:** 2,4 GHz, antenna patch, DGS, HSS ANSYS, meander line, microstrip.

## 1. Introducción

Actualmente, el área de las Telecomunicaciones ha tenido una creciente demanda en la integración de diferentes tecnologías en equipos de usuario de tamaño reducido, lo que conlleva a un gran crecimiento a la introducción de antenas compactas, o conocidas como las antenas microstrip. Este tipo de antenas poseen desventajas en cuanto a diseño y comportamiento con un factor de calidad alto ( $Q > 100$ ), ancho de banda reducido, baja eficiencia, baja potencia, baja pureza de polarización, pérdidas ocasionadas por ondas superficiales en el sustrato. [1]-[4].

Se han realizado estudios en los cambios de parámetros en el plano de tierra con la colocación de geometrías del sustrato que afectan a las variables de ganancia, al ancho de banda de la antena y posteriormente el bajo rendimiento de esta.

En congruencia sobre la antena microstrip, tiene susceptibilidad a presentar pérdidas cuando se encuentra en diferentes tipos de sustratos, esto conlleva a que se creen soluciones para poder evitar pérdidas y mejorar el rendimiento de la antena mediante el uso de cortes en las esquinas del sustrato, que tendrá como resultado que, el valor de ganancia incremente, pero disminuye el valor del parámetro  $S_{11}$ . Sin embargo, el uso de DGS (Defected Ground Structure) compensará este decremento. [1]

Las antenas que utilizan tecnología microstrip son ampliamente usadas por las ventajas que presentan como: su fácil implementación, el tamaño reducido, su peso ligero y su sencilla integración en superficies planas y no planas. Una antena microstrip, está formada por un parche radiador hecho de un material conductor montado sobre un sustrato dieléctrico y por debajo de este un plano conductor definido como plano de tierra; La antena Microstrip con DGS suprime el cruce del nivel de polarización en buena medida. [9]

La estructura de la antena microstrip con el defecto y sin defecto son similares en naturaleza, el único la diferencia es que la antena con DGS tiene un defecto en el plano de tierra, el cual será un corte en forma de línea serpenteada que en el transcurso del estudio cambiará de medidas para lograr que la antena trabaje a la frecuencia de 2,4 Ghz y posterior comparación

de parámetros. [1]

Se utilizará antenas patch Microstrip ya que son más beneficiosas que otras antenas de ondas milimétricas en términos de su bajo perfil y bajo costo y pueden ser utilizadas en micro satélites. Sin embargo, para la simulación de líneas serpenteadas en antena microstrip requerirá una mayor sincronización de voltaje. Además, la antena patch se caracteriza por tener un peso ligero y más pequeño en comparación con otros tipos de antenas de uso común en satélites. Sin embargo, poseen una desventaja, el inconveniente de causar corrientes superficiales las cuales provocan una disminución en la eficiencia de la antena, ganancia y banda ancha. [6]-[8]- [10]

La investigación se enfocará en determinar el impacto sobre el rendimiento de las antenas microstrip en la banda ISM (Industrial Scientific and Medical) mediante técnica de línea serpenteada como método de tierra defectuosa para incremento o decremento del ancho de banda, dependiendo de los objetivos específicos de la optimización y de cómo este afecta el rendimiento y la funcionalidad del sistema, de la misma forma que se han realizado en muchos estudios como los realizados en [1]-[3]-[8]

Los diferentes planos de tierra en los que se puede implementar el defecto en el plano de la tierra de diferentes formas. La estructura de DGS se conoce como el uniforme o ranuras geométricas no uniformes que se fijan en el plano de tierra de los circuitos de microondas. La estructura de suelo defectuosa es un método para mejorar la ganancia y ancho de banda de la antena sin tener que aumentar la dimensión de la antena sino modificando la estructura del plano de tierra de esta, para poder conseguir optimizaciones en los parámetros  $S_{11}$ , VSWR. [4]-[5]-[7]

La aplicación de la técnica DGS suele hacerse con un enfoque inductivo que requiere altos recursos computacionales y consume mucho tiempo para el diseño. Por eso, el efecto de la incorporación de DGS y la variación de los parámetros se realizará mediante estudio paramétrico mediante software de simulación 3D. Para observar de mejor manera los cambios existentes en el rendimiento de la antena microstrip. [8]

Este trabajo permitirá mostrar las variaciones que ocurren en los parámetros de la antena microstrip cuando las líneas serpenteadas actúan como tierra defectuosa. El



sistema de tierra defectuoso en forma de anillo hexagonal (DGS) la técnica se utiliza para aumentar la impedancia del ancho de banda. Las técnicas de alimentación de línea microstrip y de talón único se utilizan para lograr la adaptación de la impedancia de la antena. [11]

Además, ofrecerá una visión de la variación en el ancho de banda.

## 2. Materiales y Métodos

El diseño de la una antena patch microstrip poseen el diseño descrito en la figura 1, que servirá como base para el desarrollo en este estudio

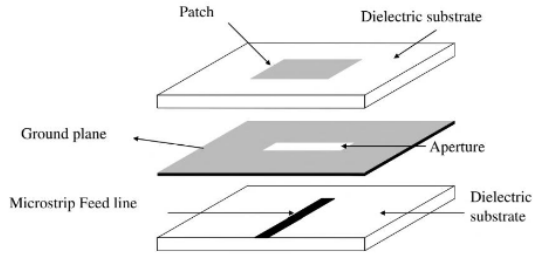


Figura 1. Estructura antena patch microstrip. [2]

El ancho de la antena patch viene dado por:

$$W = \frac{c}{2fr\sqrt{\frac{\epsilon_r + 1}{2}}} \quad (1)$$

Donde:

- $c$ : velocidad de la luz
- $f$ : frecuencia de operación de la antena
- $\epsilon_r$ : constante dieléctrica relativa

Se utilizará la altura del dieléctrico de 1.6mm ya que proporciona un equilibrio entre la velocidad de propagación y comportamiento a frecuencias bajas, el valor de la constante dieléctrica a utilizar será de 4.4 perteneciente a el material Epoxy FR4.

El cálculo del dieléctrico efectivo viene dado por la siguiente formula:

$$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left(1 + 12 \frac{h}{w}\right)^{-1/2} \quad (2)$$

La longitud efectiva estar expresada de la siguiente forma:

$$L_{ef} = \frac{c}{2fr\sqrt{\epsilon_{eff}}} \quad (3)$$

La siguiente tabla presenta valores para una antena patch microstrip sin cortes en DGS.

Tabla 1: VALORES DE DISEÑO TEORICO PARA ANTENA PATCH MICROSTRIP PARA 2.4 GHz

Elemento	Valor
<i>Constante Dieléctrica</i>	4.4
<i>Altura dieléctrico [mm]</i>	1.6
<i>Frecuencia de operación [Ghz]</i>	2.4
<i>Altura [mm]</i>	29.4
<i>Ancho [mm]</i>	38
<i>Impedancia [Ohm]</i>	243

Debido a la optimización de dimensiones de la antena patch el valor de la longitud de la línea serpenteada cambiará para que trabaje a la frecuencia deseada.

La antena patch microstrip, como se muestra en la figura 2, se implementó utilizando el software HFSS Ansys, donde se puede observar el diseño de antena patch utilizando los valores obtenidos.

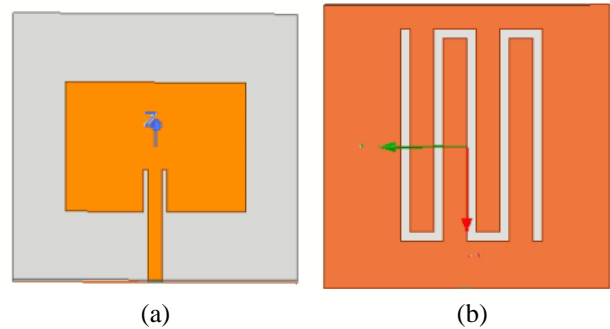


Figura 2. Estructura antena patch microstrip (a) Vista Frontal (b) Vista Posterior

La estructura de figura 2 (a) está formada por un plano de tierra de cobre y un sustrato de material FR4-epoxy de espesor 1.6 mm, con una permitividad relativa de 4.4. A continuación, en la figura 2 (b) se observa la vista posterior de la antena la cual presenta un corte en forma de línea serpenteada, esto para representar la técnica de DGS para el estudio.

### 3. Resultados y Discusión

#### 3.1. Comparación de modelo sin DGS y modelo con DGS

En esta sección, se realiza una comparación entre el diseño y valores obtenidos mediante la interpretación de graficas obtenidas en el estudio.

En la optimización de la antena patch microstrip sin DGS y con DGS no se obtuvo una sintonización precisa a la frecuencia de trabajo deseada. Por lo cual se realizó un ajuste manual que implicó la manipulación de parámetros del software HFSS Ansys. Mediante herramienta Optimetrics, se logró la variación de valores e intervalos de prueba.

Las variaciones de parámetros más significativos en el funcionamiento de la antena patch sin DGS fueron: Variación de altura del patch, ya que antes de su optimización el rango de frecuencia de trabajo se encontraba cerca del 1.26 GHz.

En la figura 3, se observa la variación de los parámetros S11, después de la respectiva optimización.

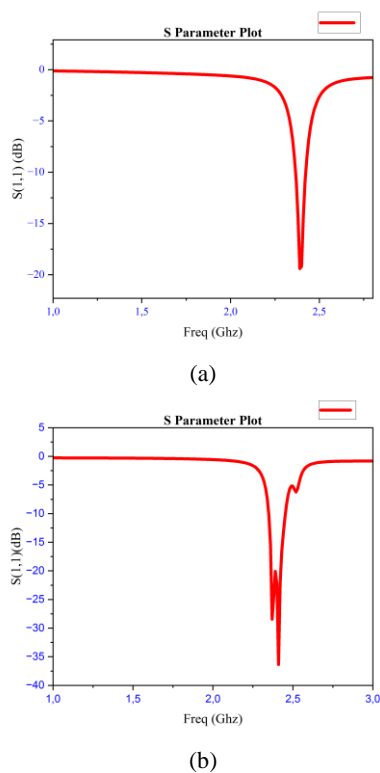


Figura 3. Grafica parámetro S11 (a) Antena sin DGS (b) Antena con DGS

El parámetro S11 de la antena (a) después de la optimización, está correctamente sintonizada en la frecuencia 2,4 GHz. Sin embargo en la antena (b) se puede observar como la gráfica adquiere un comportamiento de onda multibanda de la misma forma se tomó como referencia el valor de -10dB con el objetivo de aplicar la fórmula 4, que permitirá calcular si existió incremento o decremento del ancho de banda de estudio.

$$\text{Ancho de banda} = f_{max} - f_{min} \quad (4)$$

Donde:

- $f_{max}$ : frecuencia alta presente en la señal
  - $f_{min}$ : frecuencia minima presente en la señal
- Posteriormente, se aplica la fórmula 5, que indicara el valor porcentual de incremento del ancho de banda.

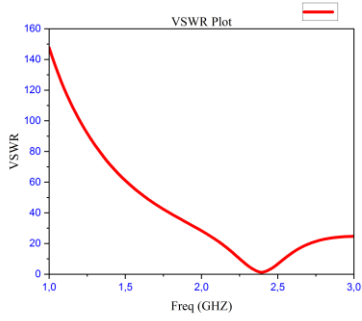
$$\text{Incre} = \frac{\text{Nuevo a.banda} - \text{a.banda orig}}{\text{ancho de banda original}} \times 100 \quad (5)$$

Tabla 2: VALORES OBTENIDOS DE ANCHO DE BANDA ADIMENSIONALES Y PORCENTUALES

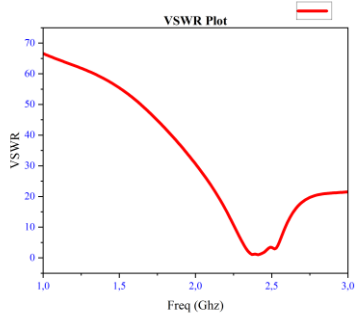
Elemento	Valor
<i>Frecuencia original min (Ghz)</i>	2,37
<i>Frecuencia original max (Ghz)</i>	2,42
<i>Frecuencia nueva min (Ghz)</i>	2.35
<i>Frecuencia nueva max (Ghz)</i>	2,45
<i>Ancho de banda original (Ghz)</i>	0.06
<i>Ancho de banda nuevo (Ghz)</i>	0.10
<i>Incremento (%)</i>	66,67

El incremento del ancho de banda representa un factor importante en la antena de estudio porque esta podrá operar un rango más amplio de frecuencias, lo cual mejora la cobertura de la misma. Por esta razón, tiene la capacidad de trabajar en múltiples bandas como se observa en la figura 3.

En la figura 5, se observa las gráficas del parámetro VSWR, los cuales se encuentran sintonizados y optimizados a la frecuencia de 2,4 GHz.



(a)



(b)

**Figura 4.** Grafica parámetro VSWR (a) Antena sin DGS (b) Antena con DGS

Se obtuvo puntos bajos en el parámetro VSWR que coinciden con la frecuencia de operación, es decir estos valores indican que la antena de estudio se encuentra correctamente sintonizada, permitiendo que la transferencia de potencia crezca mientras que las pérdidas por reflexión sean insignificantes lo que garantiza una transmisión óptima.

La relación entre VSWR y el desfase que se presenta en la figura 4, pueden expresarse a través de la siguiente fórmula:

$$VSWR = \frac{1 + |\gamma|}{1 - |\gamma|} \quad (6)$$

Donde:

- $\gamma$ : Gamma-coeficiente de reflexión complejo

Mientras que el desfase en radianes está dado por:

$$\varphi = \arccos(\tau) \quad (7)$$

En consecuencia la diferencia del desfase entre los dos escenarios de antena con DGS y sin DGS es la resta de los valores calculados, mediante la fórmula 8 y 9:

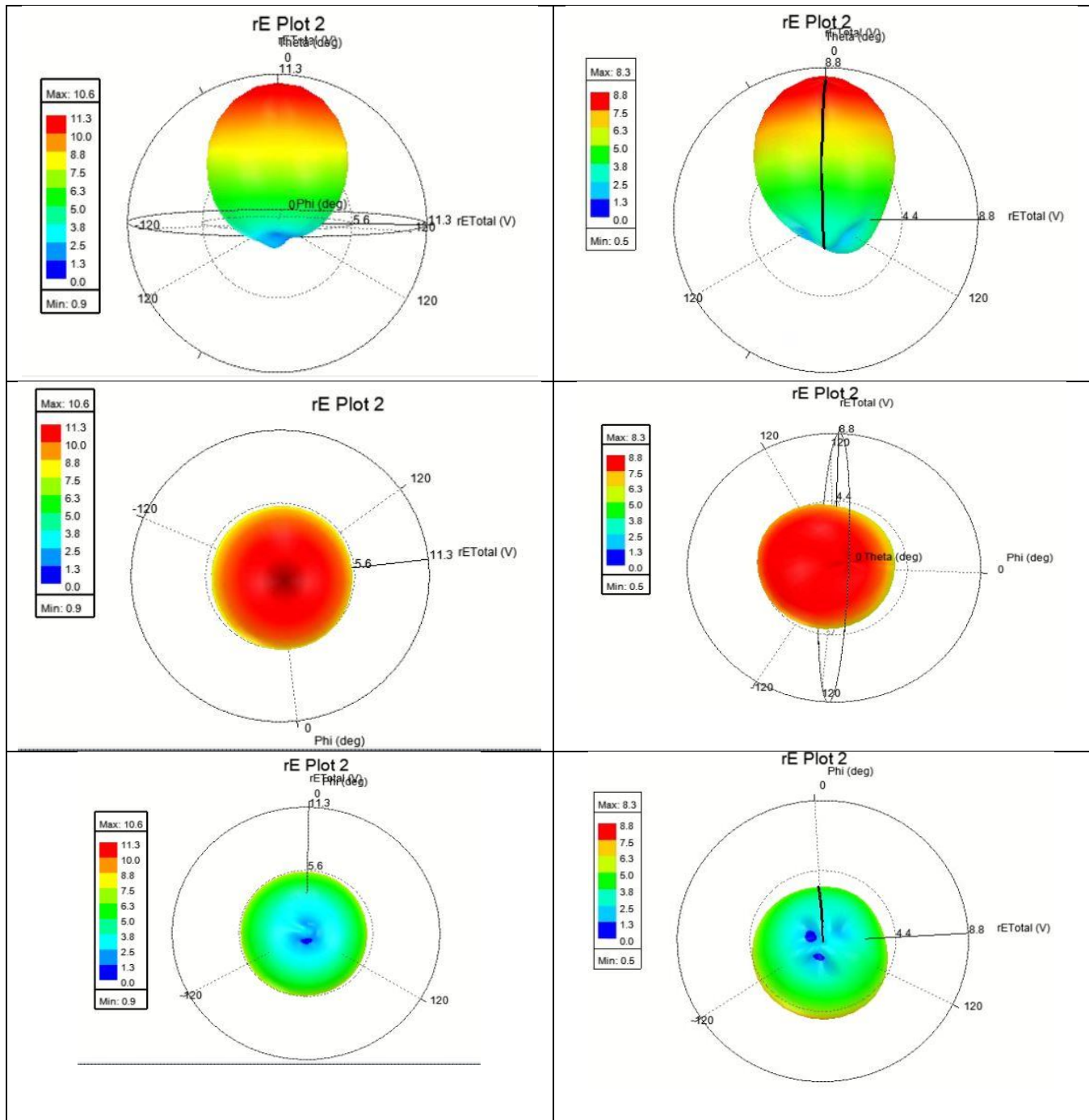
$$Desfase (rad) = \varphi_{con DGS} - \varphi_{sin DGS} \quad (8)$$

$$Desfase (\%) = \left( \frac{desfase(rad)}{\varphi_{sin DGS}} \right) \times 100 \quad (9)$$

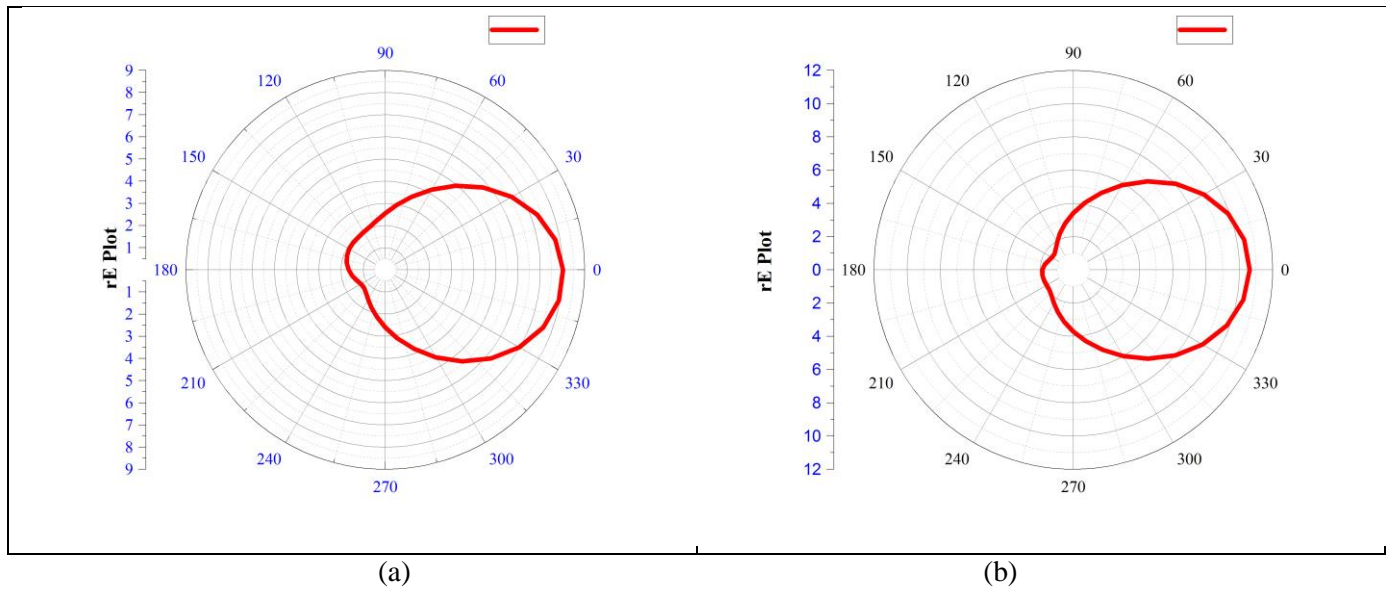
Tabla 2: VALORES OBTENIDOS EN LA VARIACION DEL PARAMETRO VSWR

Elemento	Valor
<i>Gamma sin DGS</i>	0,387
<i>Phi sin DGS (rad)</i>	1,167
<i>Gamma con DGS</i>	0,304
<i>Phi con DGS (rad)</i>	1,245
<i>Desfase (rad)</i>	0,069
<i>Desfase (%)</i>	5,86

El valor de la variación del parámetro VSWR en las dos antenas influye en la directividad de esta, y esta puede afectar a que la energía radiada se concentre o disperse a diferentes direcciones. También, al tener este cambio puede también afectar el patrón de radiación con se muestra a continuación:



(a) (b)  
**Figura 5.** Patrón de radiación 3D (a) Antena sin DGS (b) Antena con DGS



**Figura 5.** Patrón de radiación 2D (a) Antena sin DGS (b) Antena con DGS

El valor del lóbulo principal de la antena con DGS es menor con respecto a la antena sin DGS, como anteriormente mencionado se debe al desfase de los parámetros VSWR, el cual da como resultado que en la figura 5 (b), se observe que la máxima intensidad del lóbulo principal es de 8.8dB, en comparación con el lóbulo principal de la figura 5 (a) que su intensidad máxima es de 11.3dB. Cabe mencionar que los parámetros S11 Y VSWR tienen valores aceptables, es decir que tienen una excelente sintonización y mínima pérdida de energía.

esto no representa un impacto, sí esta antena no se utiliza para aplicaciones donde se requiera una máxima intensidad, más aun dependerá de la aplicación específica a la cual se dirige.

## 4. Conclusiones

Como resultado de la experimentación, se hace evidente que la implementación de línea serpenteada en plano de tierra, muestra buenos resultados en parámetros importantes de transmisión. Se consiguió esto al optimizar, sintonizar y verificar mediante reiteraciones de las variables de dimensión para aumentar el rendimiento de la antena, es por esto que en el parámetro S11 se logró apreciar un incremento del ancho de banda del 66,67% , lo cual representa una capacidad de trabajo en múltiples bandas. De la misma forma en el parámetro VSWR se apreció un valor igual a la frecuencia de trabajo, a pesar de que la variación entre antenas de este parámetro tuvo un valor de 0.069 radianes de diferencia, el que marcó un cambio en el comportamiento del patrón de radiación de las antenas. Este decremento fue notable ya que el valor de los lóbulos correspondientes tenían un porcentaje de decremento del 22.12%. Sin embargo

## Referencias

- [1] TECPOYOTL-TORRES, M. et al. "Structures defects of two shapes on rectangular and circular ground planes." *Nova scientia*, León, v. 8, n. 16, p. 1-16, 2016. Disponible en [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S200707052016000100001&lng=es&nrm=iso](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S200707052016000100001&lng=es&nrm=iso).
- [2] E. H. Miller, "A note on reflector arrays" [online] *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 53, pp. 475, 2005. Disponible en: [http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs\\_all.jsp?arnumber=1549967&tag=1](http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=1549967&tag=1)
- [3] S. A. Gupta, S. K. Dargar, B. Raghavaiah and A. V. N. Rao, "Comparison between Rectangular Microstrip Patch Antenna with and without Defected Ground Structure at 1.85 GHz," 2022 International Conference for Advancement in Technology (ICONAT), Goa, India, 2022, pp. 1-4, doi: 10.1109/ICONAT53423.2022.9726044
- [4] P. Patil, S. Goilkar and N. Deotale, "Microstrip Antenna Using the Defected Ground Structure for Bandwidth Enhancement," 2019 4th International Conference on Recent Trends on Electronics, Information, Communication & Technology (RTEICT), Bangalore, India, 2019, pp. 1384-1388, doi: 10.1109/RTEICT46194.2019.9016853.
- [5] F. A. L. B. Konkyana and B. A. Sudhakar, "A Review on Microstrip Antennas with Defected Ground Structure Techniques for Ultra-Wideband Applications," 2019 International Conference on Communication and Signal Processing (ICCSP), Chennai, India, 2019, pp. 0930-0934, doi: 10.1109/ICCSP.2019.8697941.
- [6] S. D. Joseph and E. Ball, "A Novel Millimeter-Wave Series-Fed Microstrip Line Antenna Array," 2022 16th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP), Madrid, Spain, 2022, pp. 1-4, doi: 10.23919/EuCAP53622.2022.9769079.
- [7] S. F. Nurjihan and A. Munir, "Effect of DGS incorporation for bandwidth enhancement of UWB microstrip BPF," 2017 3rd International Conference on Wireless and Telematics (ICWT), Palembang, Indonesia, 2017, pp. 39-42, doi: 10.1109/ICWT.2017.8284135.
- [8] A. Akbar, E. T. Rahardjo, F. Y. Zulkifli and Z. Rainaldy, "Design Of Microstrip Antenna With DGS Slot For Satellite Applications," 2021 IEEE International Conference on Aerospace Electronics and Remote Sensing Technology (ICARES), Bali, Indonesia, 2021, pp. 1-5, doi: 10.1109/ICARES53960.2021.9665176.
- [9] M. K. Khandelwal, B. K. Kanaujia, S. Dwari and S. Kumar, "Design and analysis of microstrip DGS patch antenna with enhanced bandwidth for Ku Band applications," 2013 International Conference on Microwave and Photonics (ICMAP), Dhanbad, India, 2013, pp. 1- 4, doi: 10.1109/ICMAP.2013.6733467
- [10] S. Xin, J. Xu, H. Yin, Y. Wei, L. Yue and W. Wang, "Research on a 3-D Microstrip Meanderline Slow-wave Structure Traveling Wave Tube," 2021 22nd International Vacuum Electronics Conference (IVEC), Rotterdam, Netherlands, 2021, pp. 1-2, doi: 10.1109/IVEC51707.2021.9722436
- [11] T. Islam, T. Nusrat and S. Roy, "On the Use of a Microstrip Meander Line to Reduce Mutual Coupling between a Patch Antenna and a Transmission Line on Printed Circuit Boards," 2022 IEEE USNC-URSI Radio Science Meeting (Joint with AP-S Symposium), Denver, CO, USA, 2022, pp. 52-53, doi: 10.23919/USNC-URSI52669.2022.9887425