



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO
CARRERA DE TELECOMUNICACIONES**

**ANÁLISIS SOBRE LA TÉCNICA DE ESTRUCTURA DE TIERRA DEFECTUOSA DGS
(DEFECTED GROUND STRUCTURE) EN ANTENAS MICROSTRIP.**

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

AUTOR: Alex Alfredo Quinga Paucar.

TUTOR: Johanna Berenice Arguero Tello.

Quito-Ecuador

2024

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Alex Alfredo Quinga Paucar con documento de identificación N° 1723037782; manifiesto que:

Soy el autor 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,



Alex Alfredo Quinga Paucar

1723037782

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

Yo, Alex Alfredo Quinga Paucar con documento de identificación N° 1723037782 , 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 autor del Artículo Académico: “Análisis sobre la técnica de estructura de tierra defectuosa dgs (defected ground structure) en antenas microstrip.”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero 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,



Alex Alfredo Quinga Paucar

1723037782

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 SOBRE LA TÉCNICA DE ESTRUCTURA DE TIERRA DEFECTUOSA DGS (DEFECTED GROUND STRUCTURE) EN ANTENAS MICROSTRIP. , realizado por Alex Alfredo Quinga Paucar con documento de identificación N° 1723037782 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

Es con profundo amor y gratitud que dedico este trabajo de tesis a cada uno de ustedes. Su inquebrantable apoyo, aliento y comprensión han sido los pilares fundamentales en mi camino hacia este logro significativo.

A mis queridos padres, César y Amelia, les agradezco por ser mi inspiración constante, por su sacrificio y dedicación incondicional a lo largo de los años. Su amor y sabiduría han sido mi guía en cada paso del camino.

A mis amadas hermanas, Alexandra, Elisa y Mateo, les agradezco por su cariño incondicional, por ser mi fuente de alegría y compañía en los momentos difíciles. Su apoyo y ánimo han sido fundamentales para alcanzar este objetivo.

Este logro no solo es mío, sino también de cada uno de ustedes, quienes han estado a mi lado en este viaje. Esta tesis está dedicada a ustedes con todo mi amor y gratitud. ¡Gracias por ser mi familia!

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a cada uno de ustedes por su invaluable apoyo durante este arduo pero gratificante camino hacia la culminación de mi tesis. A mis amados padres por su inquebrantable apoyo ha sido mi mayor fortaleza, y este logro es también el suyo.

A mi respetada tutora, quiero expresar mi profundo agradecimiento por su orientación experta, paciencia infinita y dedicación incansable a lo largo de este proceso. Sus conocimientos y consejos han sido fundamentales para el desarrollo de este trabajo y mi crecimiento académico.

A todos ustedes, mi familia y mi tutora, les debo este logro. Su apoyo incondicional y su fe en mí han sido la fuerza motriz detrás de cada paso que he dado.

Con todo mi amor y gratitud,

ANÁLISIS SOBRE LA TÉCNICA DE ESTRUCTURA DE TIERRA DEFECTUOSA DGS (DEFECTED GROUND STRUCTURE) EN ANTENAS MICROSTRIP.

ANALYSIS OF THE DEFECTED GROUND STRUCTURE (DGS) TECHNIQUE IN MICROSTRIP ANTENNAS.

Quinga Paucar Alex Alfredo ¹, Arguero Tello Johanna Berenice ²

Resumen

En este artículo se modeló una antena microstrip aplicando la técnica DGS (Defected Ground Structure) basada en la geometría de la alfombra de Sierpinski con dos interacciones sintonizada a una frecuencia de trabajo de 5 [GHz] como técnica para mejorar el ancho de banda mediante simulación numérica. Se obtuvo un incremento de 19.61% de ancho de banda respecto a una antena microstrip con plano de tierra completo. Al modificar el plano de tierra, adquiriendo valores de 1.41 de VSWR, coeficiente de reflexión de -15.25 [dB] con un ancho de banda de 192 [MHz], logrando potenciar los parámetros de la antena. Por último, se verifica que las propiedades de la técnica DGS basada en la geometría de la alfombra de Sierpinski influyen en los parámetros de desempeño de la antena.

Palabras Clave: Antena Fractal, Alfombra de Sierpinski, Frecuencia, Ancho de Banda.

Abstract

In this paper, a microstrip antenna was modeled by applying the DGS (Defected Ground Structure) technique based on the Sierpinski mat geometry with two interactions tuned to a resonance frequency of 5 [GHz] as a technique to improve the bandwidth by numerical simulation. A 19.61% increase in bandwidth was obtained with respect to a microstrip antenna with full ground plane. By modifying the ground plane, acquiring values of 1.41 VSWR, reflection coefficient of -15.25 [dB] with a bandwidth of 192 [MHz], achieving the enhancement of the antenna parameters. Finally, it is verified that the properties of the DGS technique based on the Sierpinski mat geometry influence the antenna performance parameters.

Keywords: Fractal Antenna, Sierpinski Mat, Frequency, Bandwidth.

1. Introducción

Hoy en día hay una creciente demanda en las comunicaciones inalámbricas, dando lugar a procesos de miniaturización originando un interés por mejorar el rendimiento de las antenas. En este contexto, las antenas compactas, caracterizadas por su peso ligero, tamaño reducido, bajos costos se han transformado en componentes esenciales en el ámbito de las comunicaciones inalámbricas.[1] Las antenas Microstrip (MSA, Microstrip Antenna) han ganado amplias aplicaciones en sistemas de comunicaciones inalámbricas, a pesar de sus limitaciones en términos de ganancia, capacidad de manejo de potencia y ancho de banda estrecho, que suele oscilar entre el 1% y el 5% de la frecuencia de resonancia [2].

Para superar estos desafíos y potenciar el rendimiento de las antenas MSA, se ha explorado la aplicación de la técnica de Estructura de Tierra Defectuosa (DGS, Defected Ground Structure)[3]. Esta estrategia implica la introducción de un defecto singular en el plano de tierra de la placa de circuito de la antena. Esta perturbación o defecto influye en las propiedades electromagnéticas originando respuestas en frecuencia que no solo mejoran el desempeño, sino que contribuyen a la reducción del tamaño de la antena y al aumento significativo del ancho de banda [4]. En este artículo, se explora la técnica DGS con el fin de aumentar el rendimiento del ancho de banda de las antenas Microstrip. Con la finalidad de determinar cuánto es el incremento, destacando su papel crucial en la evolución y optimización de las comunicaciones inalámbricas modernas. Estos conocimientos podrían ser fundamentales para el diseño avanzado de antenas en aplicaciones de comunicación inalámbrica y tecnologías afines[5].

El presente estudio se enmarca en un estado del arte que examina las investigaciones [6], [7] donde implementan la técnica DGS en antenas microstrip para una frecuencia de trabajo de 3.5 [GHz][8], con la finalidad de comparar los parámetros: coeficiente de reflexión S11, VSWR, y ancho de banda registrado en 135.6 [MHz]. En consecuencia, se presenta la propuesta de integrar la técnica DGS, específicamente basada en la geometría fractal alfombra de Sierpinski[9], con el objetivo de introducir perturbaciones específicas que mejoren las características de rendimiento de la antena

MSA sintonizada a una frecuencia de 5 [GHz]. La elección se fundamenta en la implementación estratégica de la técnica DGS previamente identificada de la geometría fractal de la alfombra para potenciar el desempeño de la antena, destacada por estudios anteriores [8] que han resaltado sus beneficios en respuesta de la antena MSA[10].

2. Diseño del plano de tierra basado en la geometría fractal alfombra de Sierpinski

En la Figura 1 se muestra la antena microstrip convencional compuesta de 3 elementos esenciales: parche, transformador de cuarto de onda y línea de transmisión constituidos de un elemento radiante, localizado en torno a un sustrato dieléctrico y el plano de masa continua, la cual fue diseñada para una frecuencia de 5 [GHz]. Para el parche rectangular con línea de transmisión, se empleó cobre con una conductividad de $5.81 \cdot 10^7$ [S/m] y el sustrato de dieléctrico FR4 con una permeabilidad relativa $\epsilon_r = 4.4$ [F/m] y un plano de tierra donde se utilizará el material conductor de cobre[11].

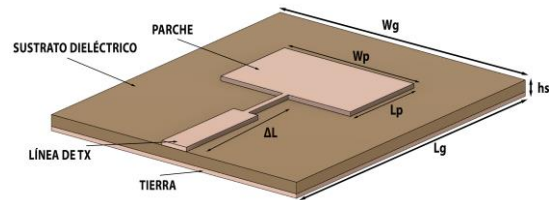


Figura 1. Antena microstrip tipo parche diseñada para una frecuencia de 5 [GHz]

Se propone incorporar un conjunto de geometrías fractales en el plano de tierra como una técnica de tierra defectuosa. El procedimiento para el diseño de la estructura fractal alfombra de Sierpinski se consigue de la iteración 0 de la cual se generan reiteraciones sucesivas siguiendo un algoritmo, que radica en dividir el rectángulo inicial en nueve rectángulos idénticos y excluir el rectángulo ubicado en la posición central [12]. Esto significa que se opta por repetir el proceso en la siguiente iteración donde se divide una vez más en nueve rectángulos y se excluye el rectángulo central.

En la Figura 2 se observa la vista del plano de tierra de la antena aplica el efecto de la tierra deformada, basada en el diseño de la alfombra de Sierpinski con dos iteraciones, consiguiendo un rectángulo central rodeado de ocho rectángulos.

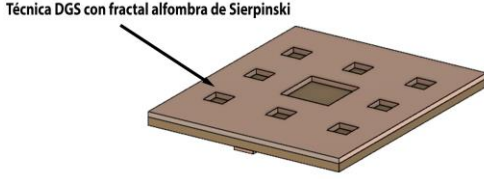


Figura 2. Antena microstrip fractal alfombra de Sierpinski con 2 iteraciones aplicado en el plano de tierra.

En la Figura 3 se detalla un proceso iterativo de la estructura fractal de Sierpinski, ilustra la división de dos áreas: el área activa, que abarca los cuadrados numerados del 1 al 8, y el área inactiva, representada por el cuadrado 9. Este cuadrado inicial se divide en nueve cuadrados idénticos, y se excluye el cuadrado central. Los lados de los nuevos cuadrados son una tercera parte de los lados del cuadrado inicial. Posteriormente, los ocho cuadrados restantes en el área activa se subdividen nuevamente en nueve cuadrados iguales[6]. Se extraen así los ocho nuevos cuadrados de la iteración 1. Este procedimiento puede prolongarse indefinidamente

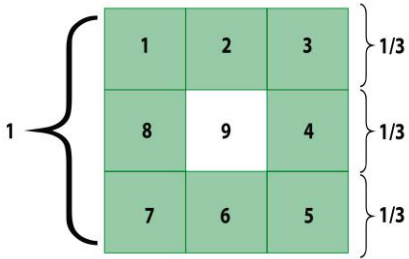


Figura 3. Áreas de la alfombra de Sierpinski.

Para modelar el diseño del fractal de alfombra de Sierpinski para ser aplicado en el plano de tierra de la antena microstrip. Parte de la ecuación 1 que expresa la dimensión de objetos fractales es la llamada Dimensión de Hausdorff (o Dimensión de Auto semejanza)[13], en la cual representa la relación de 8 copias del fractal con un factor de escala de 1/3, obteniendo el resultado de un fractal cercano a 1.897[14].

$$D_H = \frac{\log N}{\log\left(\frac{1}{y}\right)} + \frac{\log 8}{\log\left(\frac{1}{\frac{1}{3}}\right)} = 1,897 \quad (1)$$

Donde:

- N : Número de copias presentes.
- y : Factor de escala.

La estructura del fractal alfombra de Sierpinski cuenta con un perímetro (P_n) y un área (A_n) que se obtiene mediante las Ecuaciones 2,3 [4].

$$P_n = 4L_0 * \left(\frac{8}{3}\right)^n \quad (2)$$

$$A_n = L_0^n * \left(\frac{8}{9}\right)^n \quad (3)$$

Donde:

- P_n, A_n : Es el perímetro y área en la iteración n .
- L_0 : Es la longitud del lado del cuadrado inicial
- n : Número de iteraciones.

La alfombra de Sierpinski, no es reconocida como una estructura bidimensional o plana, sin embargo [10], al tener un valor dimensional fractal aproximado al valor de dos, esto asigna a que este fractal tenga propiedades: áspera y rugosa, proporcionándole una textura visualmente característica.

Por lo tanto, el modelo la antena de fractal alfombra de Sierpinski, se observa en la primera iteración de la antena fractal de Sierpinski, se elimina un cuadrado de tamaño $W = W/3$ Figura 4b, del centro de la superficie radiante. eliminado. Las coordenadas de este cuadrado eliminado son $W(x, y) = (1/3, 1/3)$ [9]. De manera similar, para llevar a cabo la segunda iteración de la antena fractal de Sierpinski, se eliminan del parche los 8 cuadrados pequeños, cada uno con una dimensión lateral de $W = W/3$ [7] Figura 4c.

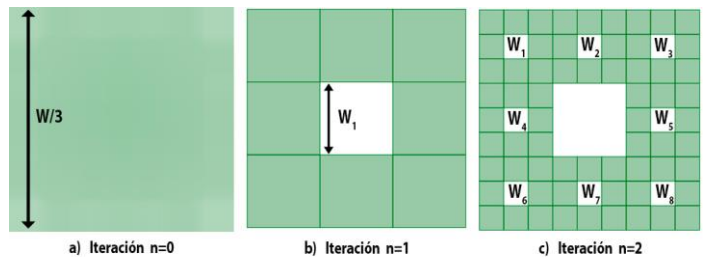


Figura 4. Construcción de la geometría fractal alfombra de Sierpinski a partir de la iteración 0, 1 y 2

Las medidas de la antena se muestran en la Tabla 1 para el diseño en la frecuencia resonante de 5 [GHz] ver referencia en la figura 1.

Tabla 1. Dimensiones del diseño de la antena microstrip fractal con iteración 1 y 2

Componente	Parámetro	5 GHz [mm]
Línea TX	ΔL	14.8
Parche	L_p	13.22
	W_p	20.15
	h_p	0.035
Tierra	L_g	45.7
	W_g	40.2
	h_g	0.035
Sustrato	L_g	45.7
	W_g	40.2
	h_s	1.6
Iteración n=1	$L_{n=1}$	11.84
	$W_{n=1}$	11.84
Iteración n=2	$L_{n=2}$	4.26
	$W_{n=1}$	4.26

3. Resultados y Discusión

Se analiza el efecto en los diferentes parámetros técnicos de las antenas microstrip, empleando la técnica de estructura de tierra defectuosa en el plano de tierra usando la geometría de la Alfombra de Sierpinski como elementos DGS. Para observar los efectos o modificaciones en las propiedades electromagnéticas de la antena, ya que así permite estudiar los parámetros de rendimiento en relación a la antena base.

En la Figura 5 se observa la familia de curvas de S11 vs la frecuencia de la antena microstrip. La línea de color negro es la curva de la antena base que trabaja en la frecuencia de 5[GHz] con un valor de S11 de -14.93 [dB]. Por otro lado, cuando se aplica la técnica DGS basada en la geometría fractal la alfombra de Sierpinski, sufre un desplazamiento de frecuencia de resonancia disminuyendo a 4.46 [GHz] con un valor de -17.05 [dB] en S11, la línea de color azul. Uno de los inconvenientes de usar DGS es el desplazamiento de la frecuencia, por lo que se realizó una optimización de las medidas del parche y de las ranuras DGS de la antena para ajustar a la frecuencia inicial. Alcanzando un resultado favorable, línea de color rojo, consiguiendo un S11 de -15.25 [dB] evidenciándose valores de S11 inferiores a -10 [dB] obteniendo así una adaptación eficaz en términos de energía transmitida vs reflejada a pesar de tener un traslado en el eje de frecuencia de 4.94 [GHz].

Para los diseños de las antenas fractal en la Figura 6 se visualiza el conjunto de graficas del parámetro VSWR de los tres modelos propuestos. Se evidencia valores en el rango de 1 a 1.5, esto indica una adecuada adaptación de impedancias en la línea de transmisión, estableciendo un punto ideal de rendimiento en el parámetro VSWR, lo cual es crucial para el funcionamiento eficiente de la antena.

Tabla 2. Resultados conseguidos de S11 y VSWR para el diseño de la antena fractal alfombra de Sierpinski

	Frecuencia 5 [GHz]	
	S11 [dB]	VSWR
Antena diseñada a 5 [GHz]	-14,932	1,434
Antena Fractal a 5 [GHz] aplicado DGS	-17,053	1,328
Antena Fractal a 5 [GHz] DGS Optimizada	-15,252	1,415

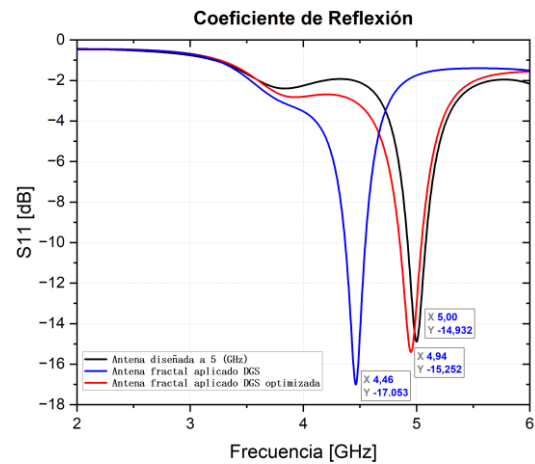


Figura 5. Parámetros S11 de una antena microstrip a una frecuencia 5 [GHz], aplicada la técnica DGS y una optimización de la antena.

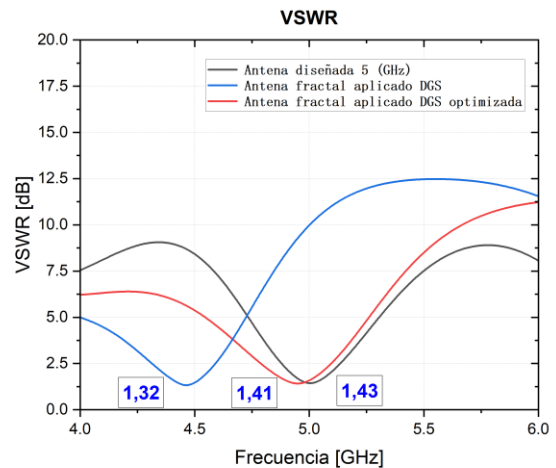


Figura 6. VSWR de una antena microstrip a una frecuencia 5 [GHz], aplicada la técnica DGS y una optimización de la antena.

En el análisis de la técnica DGS se explora la conexión entre el ancho de banda y el diseño de la antena fractal. La Figura 7 muestra los valores acordes con los hallazgos de la investigación. En donde la aplicación de la técnica DGS demuestra un notorio incremento en el ancho de banda, registrando 178,5 [MHz] a una frecuencia de 4.46 [GHz] es decir un incremento del 11,15 % en relación a la antena microstrip original. Sin embargo, se consigue un ancho de banda más extenso una vez realizada la optimización del diseño DGS, registrando 192,1 [MHz] a una frecuencia de 4.94 [GHz] dando lugar a un aumento del 19,61 %.

Relación de una antena Microstrip vs ajuste Antena Fractal con DGS

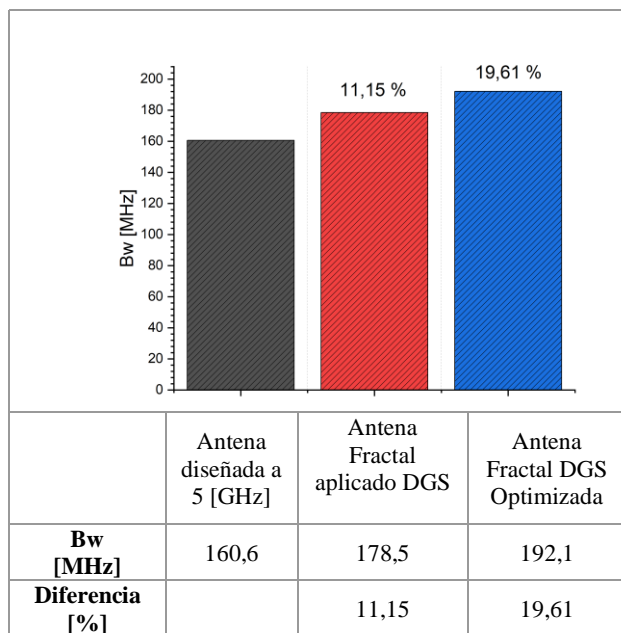


Figura 7. Relación comparativa del ancho de banda de los diseños obtenidos de las antenas microstrip al utilizar la técnica DGS visualizando un incremento progresivo.

Los patrones de radiación se presentan en la Figura 8 y 9 donde se visualiza los patrones de radiación en 2D (corte de $\phi=0^\circ$), en el plano H donde se clasifica el lóbulo de cada una de las antenas. Se observa en el diseño para 5[GHz] la energía se centra en el lóbulo principal sin embargo al aplicar la técnica DGS el lóbulo posterior se divide en dos lóbulos. en consecuencia, incrementa la energía radiada, como se muestra en la Tabla 3 además se registra un incremento de ganancia del 10.92 % en relación a la antena microstrip original.

Tabla 3. Resultados de Ganancia

Frecuencia 5 [GHz]	Ganancia [dB]	Diferencia [%]	Directividad [dB]
Antena diseñada a 5 [GHz]	2.38	-	4.48
Antena Fractal a 5 [GHz] aplicado DGS	1.23	48.32	4.77
Antena Fractal a 5 [GHz] DGS Optimizada	2,64	10.92	4.21

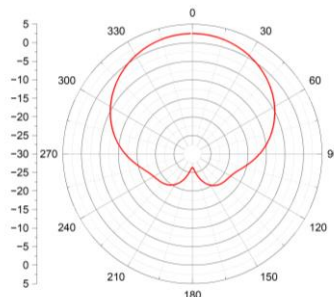


Figura 8. Patrón de radiación en 2D obtenidos en frecuencia de 5 [GHZ] en iteración 0.

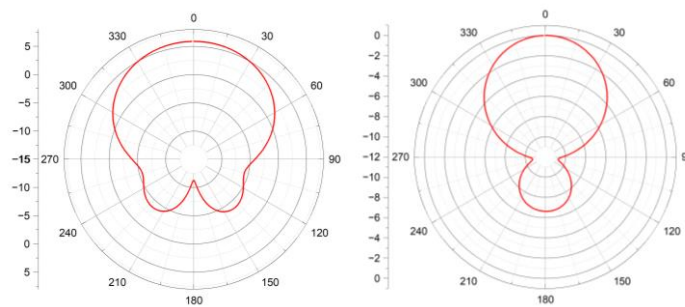


Figura 9. Patrón de radiación en 2D obtenidos en frecuencia de 5 [GHZ] aplicada la técnica DGS con alfombra de Sierpinski, en iteración 2: a) modelo inicial y b) modelo optimizado.

4. Conclusiones

Se modeló una antena microstrip de parche rectangular en la banda de 5GHz, empleando la técnica DGS basada en la alfombra de Sierpinski en el plano de tierra, donde se consiguió una mejora del 19.61 %, con un valor de 192.1 [MHz] de ancho de banda respecto a una antena microstrip tipo parche convencional mediante simulación numérica, es decir. Presentado buen resultado para aplicaciones en la banda de 5GHz como Wifi, sistemas de posicionamiento, comunicaciones satelitales.

De los modelos desarrollados, se describe el modelado, simulación y evaluación de una antena parche fractal basada en la alfombra de Sierpinski en la segunda iteración. Al llevar a cabo un análisis comparativo, se observó que existen variaciones en los parámetros de la antena microstrip original en comparación al modelo aplicado DGS después de la optimización. Los resultados muestran que las pérdidas de retorno son inferiores a -15 [dB] en los modelos de las antenas fractal de Sierpinski con interacción 2 donde se observa una mejora del 14.20%, con valores de VSWR por debajo de 1.5. Se evidenció que al modificar el plano de tierra con la técnica DGS basada en la alfombra de Sierpinski se generó efectos de borde, afectando principalmente la fluctuación en la frecuencia de trabajo con un traslado del 12,10% en el modelo, justificación por la cual se llevó a cabo una optimización del diseño mostrando mejores resultados como un desplazamiento mínimo de frecuencia del 1.21% ,es esencial considerar el modelado a una frecuencia específica, debido que conforme se incrementa el número de iteraciones, se evidencia un desplazamiento en las frecuencias de resonancia en comparación a la antena originalmente propuesta.

Referencias

- [1] C. A. Balanis, "Fundamental Parameters and Definitions for Antennas," in *Modern Antenna Handbook*, 2008, pp. 1–56. doi: <https://doi.org/10.1002/9780470294154.ch1>.
- [2] G. Kumar and K. P. Ray, "An Introduction to Microstrip Antenna," *Broadband Microstrip Antennas Handbook*, no. November, pp. 1–20, 2003, Accessed: May 07, 2023. [Online]. Available: <http://books.google.com.my/books?id=wfl84429CsEC>
- [3] M. M. Rahman, M. S. Islam, H. Y. Wong, T. Alam, and M. T. Islam, "Performance analysis of a defected ground-structured antenna loaded with stub-slot for 5g communication," *Sensors (Switzerland)*, vol. 19, no. 11, Jun. 2019, doi: 10.3390/s19112634.
- [4] M. A. Sulaiman, M. T. Ali, I. Pasya, N. Ramli, and H. Alias, "UWB microstrip antenna based on circular patch with wing stub loaded and Defect Ground Structure," in *2013 10th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology*, 2013, pp. 1–6. doi: 10.1109/ECTICon.2013.6559526.
- [5] Jorge Emilio Aguiar Matías, "Diseño y simulación de antenas de microcintas de parche triangular cargadas con estructuras metamateriales para comunicaciones inalámbricas.," Guayaquil, 2017.
- [6] P. A. L. M. Amanda Michelle Montaluisa and Facultad De Ingeniería Electrónica Y Eléctrica, "Diseño y construcción de una antena fractal monopolo alfombra de Sierpinski para la banda UHF," 2019.
- [7] W. J. K. Thanh Nghia Cao and Institute of Electrical and Electronics Engineers, *Design of Multiband Sierpinski Fractal Carpet Antenna Array for C-Band*. Poland: 22nd International Microwave and Radar Conference, 2018.
- [8] M. Jena, B. Mangaraj, and D. Mishra, "Bandwidth and gain enhancement of multi-band fractal antenna based on the sierpinski carpet geometry," *ICTACT Journal on Communication Technology*, vol. 04, pp. 669–674, Mar. 2013, doi: 10.21917/ijct.2013.0095.
- [9] R. S. B. P. L. Z. Dipika S. Sagne, *Design of Modified Geometry Sierpinski Carpet Fractal Antenna Array for Wireless Communication*. 2015.
- [10] U. Chakraborty, S. K. Chowdhury, and A. K. Bhattacharjee, "Frequency tuning and miniaturization of square microstrip antenna embedded with 't'-shaped defected ground structure," *Microw Opt Technol Lett*, vol. 55, no. 4, pp. 869–872, Apr. 2013, doi: 10.1002/MOP.27417.
- [11] E. J. S. N. , L. W. A. G. Katherine Mishelle Contero Román, "Comparación de los parámetros de dispersión de una antena microstrip para la banda de 18 a 28 GHz," 2021.
- [12] B. B. Mandelbrot, "Benoit Mandelbrot," 2010.
- [13] B. B. , M. B. Mandelbrot, "La geometría fractal de la naturaleza," 2006.
- [14] H. Suarez and F. Chillán, "Introducción a la geometría fractal."