**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

**SEDE QUITO**

**CARRERA DE TELECOMUNICACIONES**

# ANÁLISIS DEL COEFICIENTE DE REFLEXIÓN Y VSWR PARA DIFERENTES MATERIALES EN UNA ANTENA FRACTAL TRIÁNGULO DE SIERPINSKI EN LA MMW.

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

**AUTORES:** KAREN DANIELA FLORES QUIÑONES
JONATHAN GABRIEL COLLAGUAZO LOYA

**TUTOR:** LENIN WLADIMIR AUCATOMA GUAMÁN

Quito-Ecuador

2022

**CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

Nosotros, Karen Daniela Flores Quiñones con documento de identificación N° 1725505893 y Jonathan Gabriel Collaguazo Loya con documento de identificación N° 1751612290; manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos 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, 1 de septiembre del año 2022

Atentamente,

| | |
|---|---|
| Karen Daniela Flores Quiñones | Jonathan Gabriel Collaguazo Loya |
| 1725505893 | 1751612290 |

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

Nosotros, Karen Daniela Flores Quiñones con documento de identificación No. 1725505893 y Jonathan Gabriel Collaguazo Loya con documento de identificación No. 1751612290, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del artículo académico: **"**Análisis del coeficiente de reflexión y VSWR para diferentes materiales en una antena fractal triángulo de sierpinski en la mmW", el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingenieros en Telecomunicaciones, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

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

Quito, 1 de septiembre del año 2022

Atentamente,

| | |
|---|---|
| Karen Daniela Flores Quiñones | Jonathan Gabriel Collaguazo Loya |
| 1725505893 | 1751612290 |

**CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

Yo, Lenin Wladimir Aucatoma Guamán con documento de identificación N° 1717985830, docente de la Universidad Politécnica Salesiana declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: ANÁLISIS DEL COEFICIENTE DE REFLEXIÓN Y VSWR PARA DIFERENTES MATERIALES EN UNA ANTENA FRACTAL TRIÁNGULO DE SIERPINSKI EN LA MMW, realizado por Karen Daniel Flores Quiñones con documento de identificación N° 1725505893 y por Jonathan Gabriel Collaguazo Loya con documento de identificación Nº 1751612290 obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción artículo académico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad PolitécnicaSalesiana.

Quito, 1 de septiembre del año 2022

Atentamente,

Ing. Lenin Wladimir Aucatoma Guamán, MSc
1717985830

# Análisis del coeficiente de reflexión y VSWR para diferentes materiales en una antena fractal triángulo de sierpinski en la mmW

1st Karen Daniela Flores Quiñones
*Ingeniería en telecomunicaciones*
*Universidad Politécnica Salesiana*
Quito, Ecuador
kfloresq1@est.ups.edu.ec

2nd Jonathan Gabriel Collaguazo Loya
*Ingeniería en telecomunicaciones*
*Universidad Politécnica Salesiana*
Quito, Ecuador
jcollaguazol@est.ups.edu.ec

3td Aucatoma Guamán Lenin Wladimir
*Ingeniería en telecomunicaciones*
*Universidad Politécnica Salesiana*
Quito, Ecuador
laucatoma@ups.edu.ec

***Resumen*—En el presente artículo se ha modelado una antena fractal triángulo de sierpinski ampliando a iteraciones 1 y 2 con el fin de poder analizar su funcionamiento en frecuencias de 15.48, 24.25 y 27.50 [GHz]. Basándose en la frecuencia de operación, se procedió a cambiar los materiales que constituyen la antena, tanto para el sustrato dieléctrico (FR4 epoxy y vidrio), y para el parche en conjunto con la tierra (cobre y grafito), los modelos se simulan por medio del software Ansys HFSS, obteniendo resultados para el parámetro S11, VSWR y patrón de radiación, mismos que sufrieron variaciones por injerencia del material. Se evidencia que el grafito es el material mejor acoplado a los modelos en las 3 frecuencias, obteniendo valores de 1.03 de VSWR, coeficiente de reflexión de -35.85 [dB], y un ancho de banda de 1.26 [GHz], además con este material, al elevar la frecuencia se logra duplicar el ancho de banda de los modelos propuestos.**

***Keywords*—5G, Antena Fractal, MMW, SHF, Triángulo de Sierpinski.**

***Abstract*—In this paper, a sierpinski triangle fractal antenna has been modeled by extending to iterations 1 and 2 in order to analyze its performance at frequencies of 15.48, 24.25 and 27.50 [GHz]. Based on the operating frequency, we proceeded to change the materials that constitute the antenna, both for the dielectric substrate (FR4 epoxy and glass), and for the patch together with the ground (copper and graphite), the models are simulated by means of Ansys HFSS software, obtaining results for the S11 parameter, VSWR and radiation pattern, which suffered variations due to material interference. It is evident that graphite is the material best coupled to the models at the 3 frequencies, obtaining values of 1.03 VSWR, reflection coefficient of -35.85 [dB], and a bandwidth of 1.26 [GHz], in addition with this material, by raising the frequency, the bandwidth of the proposed models is doubled.**

***Keywords*—5G, Fractal Antenna, MMW, SHF, Sierpinski Triangle, Sierpinski triangle.**

## I. Introducción

En la actualidad, para la aplicación de 5G se ha implementado nuevas zonas con espacio radioeléctrico, por lo que se han considerado espacios como las bandas de onda milimétrica (milimetric wabe band, mmW), por lo cual, se requiere antenas con características de tamaño compacto, sistema multibanda, entre otras; adaptándose a las especificaciones del mercado y satisfaciendo la expansión del espectro radioeléctrico [1], [2], [2]–[4].

Para [5], en el modelo de antenas, es necesario tener en cuenta características como: multibanda, forma compacta, entre otras; por lo que propone a las antenas fractales, que cumplen estas características.

En [6], el diseño de una antena triangular de sierpinski browtie con iteraciones 0, 1 y 2 es resonante en 3 bandas, en un rango de 0.1 a 12 [GHz], con coeficiente de reflexión de hasta -39.24 [dB], VSWR inferior a 2 y ganancias de 0.529 a 21.17 [dB], para todas las iteraciones, en [7] se presenta un parche triangular de sierpinski de modelamiento básico de 0, 1 y 2 iteraciones, con línea de transmisión de cable coaxial, enfocado a la IOT (Internet of things), funcionando a frecuencias desde 2.2 a 6.1 [GHz] , con coeficiente de reflexión de hasta -35 [dB], ganancias de hasta 9.58 [dB], VSWR menor a 2, en todas las iteraciones, y determinan que el RT/Duroid 5880 funciona como un adecuado sustrato a frecuencias de 3.0 a 5.4 [GHz], presentando ganancia de 5.88 a 9.58[dB], VSWR de 1.3.

Y finalmente, en [8] se diseñó una alfombra y triángulo sierpinski, con líneas de transmisión, se utiliza el material FR4 epoxy, en la banda de ISM en 5.7 [GHz], con pérdidas de retorno de -14.83[dB]; en esta investigación, se considera que la alfombra sierpinski tiene valores predominantes. Nuestra investigación busca modelar una antena triángulo sierpinski en la banda SHF, en el segundo apartado se muestra el diseño de los parches, el tercer apartado identifica los resultados de: VSWR menores a 1.5, pérdidas de retorno inferiores a -15[dB], ganancia en rango de 3.9 a 4.1 [dB], obteniendo resultados multibanda, a pesar de que no se consideró un diseño multibanda presentando resultados en frecuencias superiores a lo propuesto, finalmente, en el cuarto apartado se muestran las conclusiones.

978-1-6654-4141-4/21/$31.00 ©2021 IEEE

## II. Diseño de la antena fractal triángulo de Sierpinski

Se diseñaron tres parches básicos a frecuencias de 15.48, 24.25 y 27.50 [GHz], con las iteraciones de 0, 1 y 2 para cada frecuencia, en la figura 1 se muestra el modelo de iteración 0.

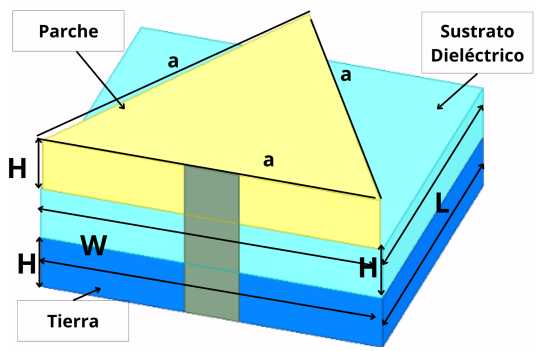


Figura 1: Antena fractal triángulo de Sierpinki con vista isométrica, iteración 0.

La figura 2 equivale a las iteraciones 1 y 2 de una antena fractal triángulo de sierpinski.

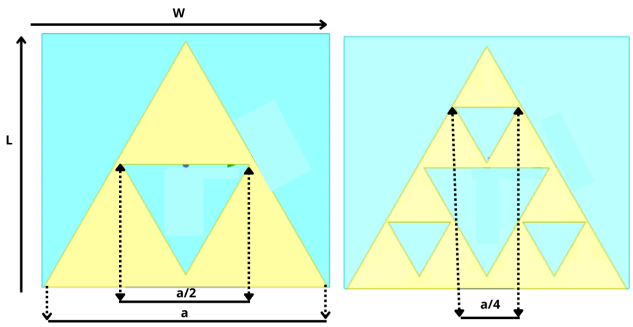


Figura 2: a) Iteración 1 y b) iteración 2, de un parche triángulo de sierpinski, con reducción del 90 % en las ranuras.

Para modelar el parche sierpinski se aplica la ecuación 1 [8],En el caso de la permitividad relativa es necesario utilizar el valor correspondiente al material del sustrato, equivalente a 4.4 por el FR4 epoxy, según [8]–[11].

$$a = \frac{2 * c}{3 * f_0 * \sqrt{\xi_r}} \tag{1}$$

Donde:

- a: Dimensionamiento de los lados del triángulo equilátero.
- c: Velocidad de la luz ($3x10^8$ m/s).
- fo: Frecuencia de diseño [GHz].
- $\xi_r$: Permitividad Relativa.

Según [8] el valor del grosor (H) tiene un valor de 1.6 [mm] originalmente.

Para el cálculo del ancho (W) del sustrato dieléctrico y parche se aplica la ecuación 2 [8].

$$W = (\frac{c}{2 * f_0}) \times \sqrt{\frac{2}{\xi_r + 1}} \tag{2}$$

Para el cálculo del largo (L) del sustrato dieléctrico y tierra, se aplica la ecuación 3 [8].

$$L = L_{eff} - 2\Delta L \tag{3}$$

Donde:

- L: Longitud del sustrato.
- $L_{eff}$: Longitud efectiva.
- $\Delta L$: Variación de la longitud.

Los primeros resultados corresponden a modelos de antena basándonos en el modelamiento matemático, donde no se obtuvieron los valores objetivos de la investigación, por lo cual, se procedió a ajustar las dimensiones del sustrato, tierra y parche conductor, hasta lograr los objetivos propuestos: S11 inferior a -15 [dB], VSWR de máximo 1.5, entre otros valores. En la tabla II se muestran las dimensiones ajustadas al utilizar distintos materiales. Cabe mencionar que en las iteraciones 1 y 2, se realiza un porcentaje de reducción al 90 % aproximadamente (para las dimensiones de los triángulos internos del parche).

En la tabla II las siglas *FM* corresponde a la dimensión obtenida con la fórmula matemática, *D* corresponde al desfase, *F al FR4 Epoxy, *V al vidrio, *Cu al cobre y *G al grafito, también se puede apreciar que L y W del sustrato son las mismas de la tierra, solamente varían H. Además, las dimensiones de la iteración 0 para la antena son las mismas para las demás, respectivamente, desde la iteración 1 los valores cambian, porque corresponden a las ranuras.

En la tabla I se observan las propiedades de los materiales.

Cuadro I: Características de los materiales analizados.

| | **Material** | ***Permitivad Relaiva*** | ***Permeabilidad*** | ***Conductividad siemes/cm*** | **Resistividad Ω *m** |
|---|---|---|---|---|---|
| Sustrado | FR4 epoxy | 4.4 | 1 | 0 | |
| Dieléctrico | Vidrio | 5.5 | 1 | 0 | $10^{10} - 10^{14}$ |
| Parche | Cobre | 1 | 0.999991 | $58x10^6$ | 60.00 x $10^{-8}$ |
| Tierra | Grafito | 1 | 1 | $70x10^3$ | 1.71 x $10^{-8}$ |

Cuadro II: Dimensiones para las iteraciones 0, 1 y 2 en la frecuencia de 15.48, 24.25 y 27.50 [GHz] con el material FR4 Epoxy y vidrio para el sustrato dieléctrico y cobre y grafito para el parche y tierra.

| | | *Parche* *a x H* *[mm]* | *Sustrato* *L x W x H* *[mm]* | *Tierra Dieléctrico* *L x W x H* *[mm]* | *Parche Conductor* *L x W* *[mm]* |
|---|---|---|---|---|---|
| Frecuencia 1 - 15.48 GHz | | | | | |
| IT0 | *FM* | 6.16 x 1.6 | 13.14 x 15.48x 1.6 | 13.14 x 15.48x 1.6 | 4.8x6.16 |
| | Cu | | 5.53 x 6.29x 2.3 | 5.53 x 6.29 x 0.39 | 4.59 x0.78 |
| **D** | | | | | **4.57x689.74 %** |
| F | G | 6.16 x 1.9 | | | 4.59 x0.77 |
| **D** | | **0x 18.75 %** | **137.61 x 146.10x 43.75 %** | **137.61 x 146.10x 310.25 %** | **4.57x700 %** |
| IT0 | Cu | 6.16 x 1.9 | 5.50 x 6.23x 4.5 | 5.50 x 6.23x 0.39 | 8.78x 2.6 |
| V | G | | | | |
| **D** | | **0x 18.75 %** | **138.90 x 148.47x 181.25 %** | **138.90 x 148.47x 310.25 %** | **4.79x136.92 %** |
| IT1 | *FM* | 3.08 x 1.6 | | | |
| | Cu | 2.77 x2.1 | 5.41 x 6.20x 2.4 | 5.41 x 6.20x 0.39 | 4.89x 0.89 |
| F | G | | | | |
| **D** | | **11.19x 31.25 %** | **142.88x 148.67x 50 %** | **142.88x 148.67x 310.25 %** | **1.875x592.13 %** |
| IT1 | Cu | 2.77 x3.89 | 5.51 x 6.21x 4.5 | 5.51 x 6.21x 0.4 | 8.79x 2.6 |
| **D** | | **11.19x 143.12 %** | **138.47x 149.27x 181.25 %** | **138.47x 149.27x300 %** | **83.12x136.92 %** |
| V | G | 2.77 x3.89 | 5.50 x 6.22x4.5 | 5.50 x 6.22x0.39 | 8.78x 2.6 |
| **D** | | **11.19x 143.12 %** | **138.90x 148.7x181.25 %** | **138.90x 148.7x310.25 %** | **1.875x136.92 %** |
| IT2 | *FM* | 1.54x 1.6 | | | |
| | Cu | 1.39 x2.1 | 5.41 x 6.21x2.4 | 5.41 x 6.21x0.39 | 4.89x 0.889 |
| | | | **142.88x 149.27x50 %** | **142.88x 149.27x310.25 %** | |
| F | G | | 5.41 x 6.20x2.4 | 5.41 x 6.20x0.39 | |
| **D** | | **10.79x 31.25 %** | **142.88x 149.67x50 %** | **142.88x 149.27x310.25 %** | **1.87x592.91 %** |
| IT2 | Cu | 1.39 x3.89 | 5.50 x 6.22x4.5 | 5.50 x 6.22x0.4 | 8.79x 2.6 |
| | | | | **138.90x 148.87x300 %** | **83.12x62.5 %** |
| V | G | | | 5.50 x 6.22x0.41 | 8.8x 2.6 |
| **D** | | **10.79x 143.12 %** | **138.90x 148.87x181.25 %** | **138.90x 148.87x290.24 %** | **83.33x62.51 %** |
| Frecuencia 1 - 24.25 GHz | | | | | |
| IT0 | *FM* | 3.93 x 1.6 | 11.69 x 13.36x 1.6 | 11.69 x 13.36x 1.6 | 4.8x 3.93 |
| | Cu | 3.93 x 1.7 | 3.90 x 4.18 x2.2 | 3.90 x 4.18 x1.2 | 5.1x 1.65 |
| | | | **199.74x 269.61x37.5 %** | **199.74x 269.61x33.3 %** | |
| F | G | | 3.88 x 4.18 x2.2 | 3.88 x 4.18 x1.2 | |
| **D** | | **0x 6.25 %** | **201.28x 219.61x37.5 %** | **201.28x 219.61x33.3 %** | **6.25x138.18 %** |
| IT0 | Cu | 3.93 x2.5 | 3.95 x 4.25x 3.6 | 3.95 x 4.25x 2 | 8.1x 2.95 |
| **D** | | | | | **68.75x33.22 %** |
| V | G | | | | 8.1x 2.97 |
| **D** | | **0x 56.25 %** | **195.94x 214.35x125 %** | **195.94x 214.35x25 %** | **68.75x32.32 %** |
| IT1 | *FM* | 1.96 x 1.6 | | | |
| | Cu | 1.77 x1.7 | 3.90 x 4.21 x2.2 | 3.90 x 4.21 x1.2 | 5.1x 1.7 |
| F | G | | | | |
| **D** | | **10.73x6.25 %** | **199.74x 217.35x37.5 %** | **199.74x 217.35x33.3 %** | **6.25x131.17 %** |
| IT1 | Cu | 1.77 x2.5 | 4x 4.23 x3.6 | 4x 4.23 x2 | 8.1x 3 |
| **D** | | | **192.25x215.83x125 %** | **192.25x215.83x33.3 %** | |
| V | G | | 4x 4.25 x3.6 | 4x 4.25 x2 | |
| **D** | | **10.73x56.25 %** | **199.25x 214.35x125 %** | **199.25x 214.35x33.3 %** | **68.75x31 %** |
| IT2 | *FM* | 0.98 x 1.6 | | | |
| | Cu | 0.89 x1.6 | 3.87x 4.19x 2.1 | 3.87x 4.19x 1 | 4.7x 1.65 |
| **D** | | | **202.06x218.85x31.25 %** | **202.06x218.85x60 %** | |
| F | G | | 3.88x 4.20 x2.1 | 3.88x 4.20 x1 | |
| **D** | | **10.11x0 %** | **139.54x218.09x31.25 %** | **139.54x218.09x60 %** | **2.12x138.18 %** |
| IT2 | Cu | 0.89 x2.5 | 3.99x 4.23 x3.6 | 3.99x 4.23 x2 | 8.1x 3.125 |
| V | G | | | | |
| **D** | | **10.11x0 %** | **192.98x215.83x125 %** | **139.54x218.09x60 %** | **68.75x25.76 %** |
| Frecuencia 1 - 27.50 GHz | | | | | |
| IT0 | *FM* | 3.46 x 1.6 | 11.31 x 12.91x 1.6 | 11.31 x 12.91x 1.6 | 4.8x3.46 |
| | Cu | 3.46 x1.9 | 3.25 x 3.82x 1.8 | 3.25 x 3.82x0.28 | 3.98 x1.16 |
| F | G | | | | |
| **D** | | **0x18.75 %** | **248x237.95x12.5 %** | **248x237.95x471.42 %** | **20.60x116.25 %** |
| IT0 | Cu | 3.46 x1.5 | 3.27 x 3.62x2.4 | 3.27 x 3.62x1.9 | 5.8 x1.84 |
| **D** | | | | | **20.83x 8.04 %** |
| V | G | | | | 5.8x1.861 |
| **D** | | **0x6.67 %** | **245.87x 256.62x50 %** | **245.87x 256.62x18.75 %** | **20.83x85.92 %** |
| IT1 | *FM* | 1.73 x 1.6 | | | |
| | Cu | 1.56x1.9 | 3.25 x3.82x1.8 | 3.25 x3.82x0.28 | 3.98 x1.18 |
| **D** | | | | | **20.60x193.22 %** |
| F | G | | | | 3.98 x1.21 |
| **D** | | **10.89x18.75 %** | **248x237.95x12.5 %** | **248x237.95x471.42 %** | **20.60x185.95 %** |
| IT1 | Cu | 1.56x1.5 | 3.16 x3.73 x2.4 | 3.16 x3.73 x1.9 | 5.8 x1.87 |
| **D** | | | | **257.91x 246.11x18.75 %** | **20.83x85.02 %** |
| V | G | | | 3.16 x3.73 x1.8 | 5.8 x1.90 |
| **D** | | **10.89x6.67 %** | **257.91x 246.11x50 %** | **257.91x 246.11x12.5 %** | **20.83x82.10 %** |
| IT2 | *FM* | 0.86 x 1.6 | | | |
| | Cu | 0.78 x1.9 | 3.25 x3.82 x1.8 | 3.25 x3.82 x0.27 | 3.97 x1.19 |
| F | G | | | | |
| **D** | | **9.30x18.75 %** | **248x237.95x12.5 %** | **248x237.95x492.59 %** | **20.90x6.67 %** |
| IT2 | Cu | 0.78 x1.5 | 3.16 x3.72 x2.4 | 3.16 x3.72 x2.2 | 6.1 x1.87 |
| **D** | | | | **257.91x 247.04x37.5 %** | **27.08x85.02 %** |
| V | G | | | 3.16 x3.72 x 2 | 6.1 x1.91 |
| **D** | | **9.30x6.67 %** | **257.91x247.04x50 %** | **257.91x247.04x25 %** | **27.08x19.37 %** |

## III. Análisis y discusión de resultados

Para este artículo se tiene como objetivos llegar a los parámetros propuestos, estos deben considerar lo que se menciona en [12], [13] teniendo pérdidas de retorno o S11 por debajo de -15 [dB], con un VSWR que esté en un rango de 1 a 1.5 máximos, y finalmente que tenga valores en el rango de 4 [dB] con respecto a la ganancia.

### A. Coeficiente de reflexión

En la figura 3 se observan los coeficientes de reflexión para las antenas con sustrato FR4 Epoxy, en comparación con la figura 4 con sustrato de vidrio, en donde las curvas tienden a cambiar entre iteraciones en relación con los materiales de cobre (parche y tierra) y grafito (parche y tierra).

En la figura 3a para la frecuencia de 15.48[GHz], se destaca que el material de cobre en la iteración 0 tiene el resultado más significativo en el coeficiente de reflexión, en cambio, en la figura 3b para la frecuencia de 24.25 [GHz], en la iteración 0 el grafito tiene el resultado más destacado y en la figura 3c con un mínimo en la curva de 27.48 [GHz], se puede notar que la iteración 0 con el material de cobre tiene el resultado más relevante , así como se observa en la tabla III, teniendo desfases entre LxWxH para cada caso como se observa en la tabla II.En la figura 3a, cuando se realiza el cambio de material en la antena y tierra, al usar el grafito, se obtiene resultados favorables en comparación al cobre en la iteración 1 y 2, sin embargo, en la figura 3b con el material de grafito se obtiene resultados más destacados en comparación al cobre en la iteración 0 y 2, y en consecuencia en la figura 3c con el material de cobre se obtiene resultados convenientes en comparación al grafito en las iteraciones 0, 1 y 2, así como se observa en la tabla III.

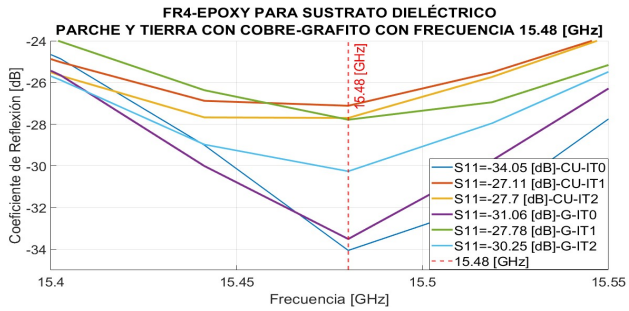


Figura 3a: Parámetros S11 en frecuencias de 15.48 [GHz], con cobre y grafito (parche y tierra), y sustrato de FR4 Epoxy.

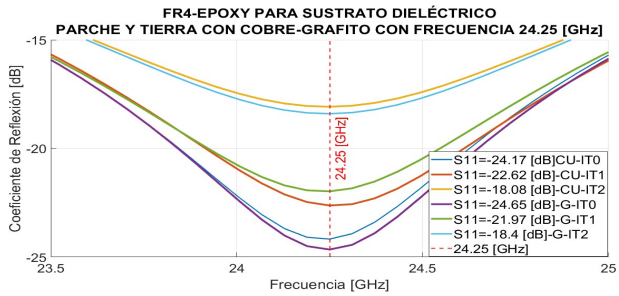


Figura 3b: Parámetros S11 en frecuencias de 24.25 [GHz], con cobre y grafito (parche y tierra), y sustrato de FR4 Epoxy.

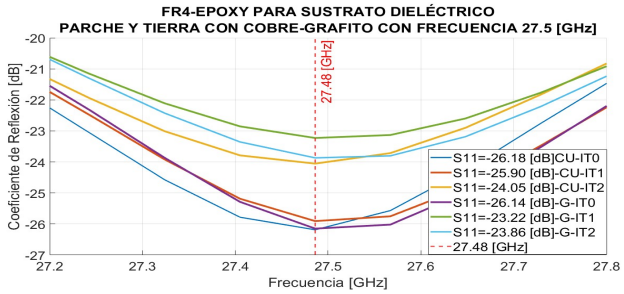


Figura 3c: Parámetros S11 en frecuencias de 27.50 [GHz], con cobre y grafito (parche y tierra), y sustrato de FR4 Epoxy.

En la figura 4a a frecuencia de 15.48 [GHz], con sustrato de vidrio, se puede observar que en la iteración 1 el grafito tiene el mejor resultado para el coeficiente de reflexión, mientras en la figura 4b a frecuencia de 24.25 [GHz] en la iteración 0 el material más relevante es el grafito, por último para el mínimo en la curva de 27.48 [GHz], de la figura 4c, la iteración 2 con el material de cobre tiene un resultado adecuado, así como se aprecia en la tabla III, donde se tiene en cuenta los desfases entre LXWXH para cada caso como se observa en la tabla II. En la figura 4a cuando se usa grafito, se obtiene resultados favorables en comparación al cobre en la iteración 1 y 2, en la figura 4b con el material de grafito se obtiene resultados significativos en comparación al cobre en la iteración 0 y 1, y finalmente en la figura 4c con el material de cobre se obtiene resultados más altos en comparación al grafito en las iteraciones 0, 1 y 2, como se ve en la tabla III.

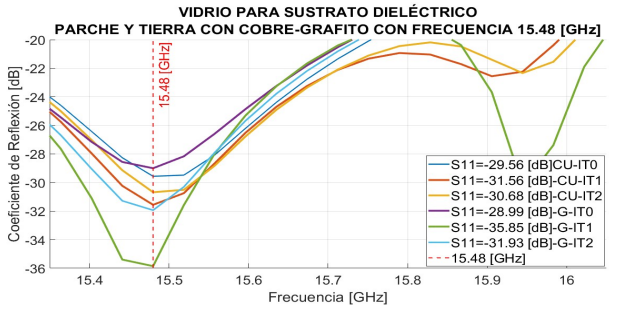


Figura 4a: Parámetros S11 en frecuencia de 15.48 [GHz], con cobre y grafito (parche y tierra), y sustrato de vidrio.

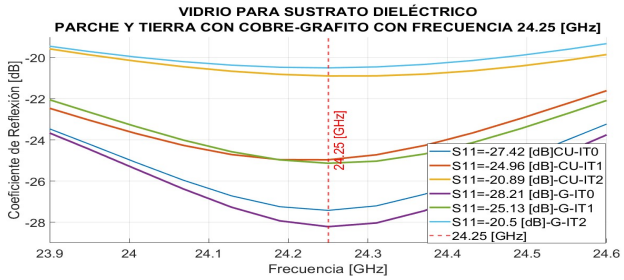


Figura 4b: Parámetros S11 en frecuencia de 24.25[GHz], con cobre y grafito (parche y tierra), y sustrato de vidrio.

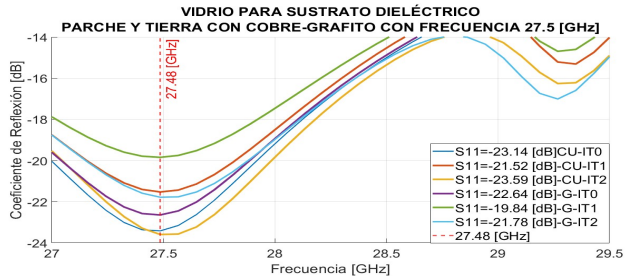


Figura 4c: Parámetros S11 en frecuencia de 27.50[GHz], con cobre y grafito (parche y tierra), y sustrato de vidrio.

### B. VSWR y Ancho de banda

En la figura 5 se observan el VSWR para las antenas con sustrato FR4 Epoxy, en comparación con la figura 6 con sustrato de vidrio, en donde las curvas tienden a cambiar entre iteraciones en relación con los materiales de cobre (parche y tierra) y grafito (parche y tierra).

En la figura 5a en la frecuencia de 15.48 [GHz], con sustrato de FR4 Epoxy, el cobre y grafito se destacan en la iteración 0, en la figura 5b en la frecuencia de 24.25 [GHz], se resalta al grafito en la iteración 0, por último en la figura 5b en la curva mínima de frecuencia de 27.48 [GHz], el cobre sobresale en la iteración 0 y 1, teniendo ciertos desfases en LXWX, propuestos en la tabla II, teniendo un ancho de banda superior en la frecuencia de 24.25 [GHz] con el material de grafito en la iteración 0.En la figura 5a se destaca al grafito en las iteraciones 1 y 2, en similitud a la figura 5b que favorece al grafito en las iteraciones 0 y 2, en comparación al cobre, y en la figura 5c el cobre supera al grafito en las iteraciones 0, 1 y 2, así como se observa en la tabla III.

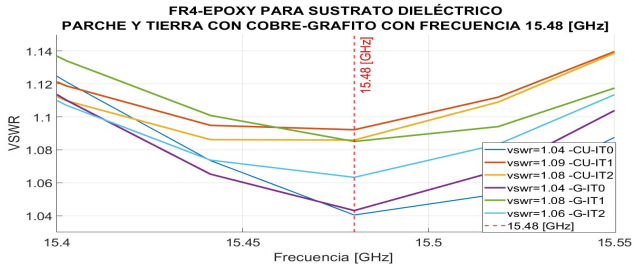


Figura 5a: VSWR en frecuencia de 15.48 [GHz], con cobre y grafito (parche y tierra), y sustrato de FR4 Epoxy.

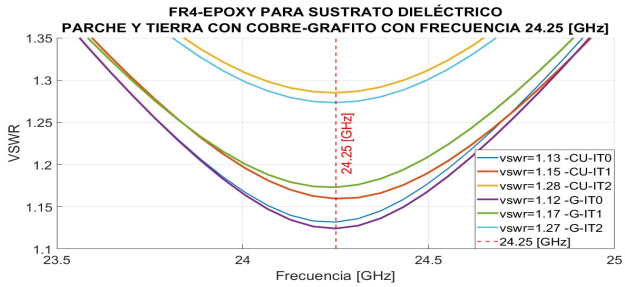


Figura 5b: VSWR en frecuencia de 24.25[GHz], con cobre y grafito (parche y tierra), y sustrato de FR4 Epoxy.

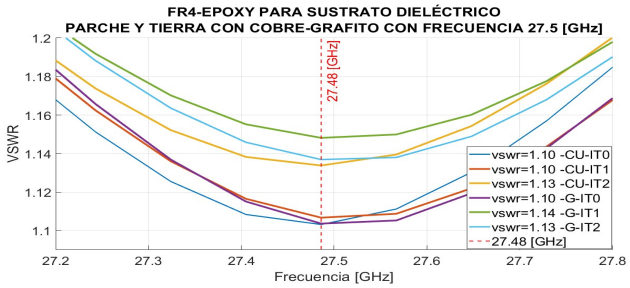


Figura 5c: VSWR en frecuencia de 24.25[GHz], con cobre y grafito (parche y tierra), y sustrato de FR4 Epoxy.

En la figura 6a en la frecuencia de 15.48 [GHz], con sustrato de vidrio, el resultado más destacable es el grafito en la iteración 1, en la figura 6b en 24.25 [GHz], se destaca al grafito y cobre en la iteración 0, en cambio, en la figura 6c en la curva mínima de frecuencia de 27.48 [GHz], sobresale el cobre en la iteración 0 y 2, teniendo desfases en las dimensiones LxWxH como se observa en la tabla II. Si hablamos del ancho de banda, tiene un desfase en comparación al FR4 Epoxy, destacando el material de cobre en 24.25 [GHz] en iteración 0, así como se muestra en la tabla III.Al momento de cambiar los materiales en la figura 6a, el grafito destaca dentro de las iteraciones 1 y 2, para la figura 6b resalta el cobre en las tres iteraciones y en la figura 6c el cobre destaca en todas las iteraciones, así como se muestra en la tabla III.

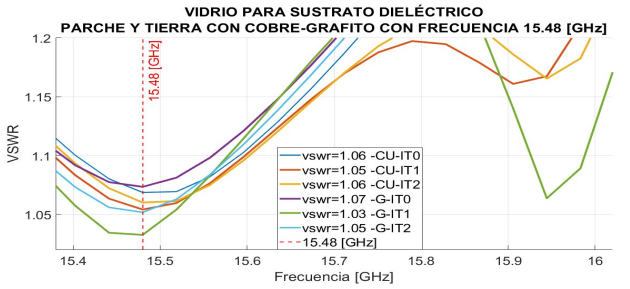


Figura 6a: VSWR en 15.48 [GHz], con cobre y grafito (parche y tierra), y sustrato de vidrio

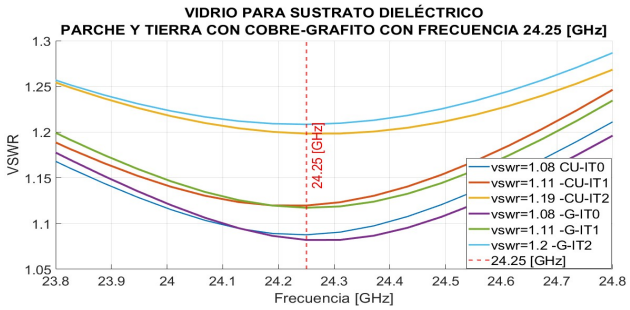


Figura 6b: VSWR 24.25 [GHz], con cobre y grafito (parche y tierra), y sustrato de vidrio

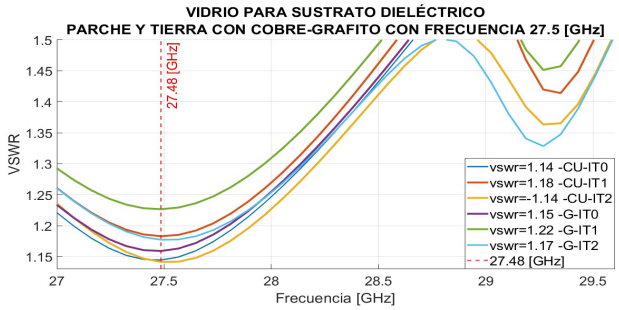


Figura 6c: VSWR 27.50 [GHz], con cobre y grafito (parche y tierra), y sustrato de vidrio

### C. *Patrón de radiación*

En las figuras 7 y 8, se observa el patrón de radiación en 2D y 3D respectivamente, con materiales de cobre (parche y tierra) y grafito (parche y tierra). Donde la frecuencia 24.25 [GHz]. En la figura 7b con sustrato de Fr4 Epoxy, tiene un valor significativo el cobre en la iteración 0, mientras que en la figura 7a tiene valores aceptables en el cobre y grafito en iteración, 2, puesto que tiene los valores más altos de ganancia y con un desfase más definido entre las iteraciones, según la tabla III.

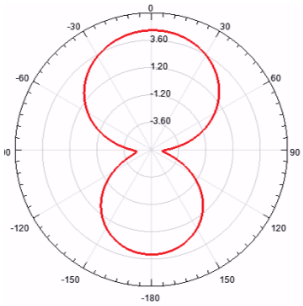

Figura 7a: Patrón de Radiación 2D en la frecuencia de 24.25 [GHz], sustrato FR4 Epoxy, con material de cobre (parche y tierra) en iteración 0.

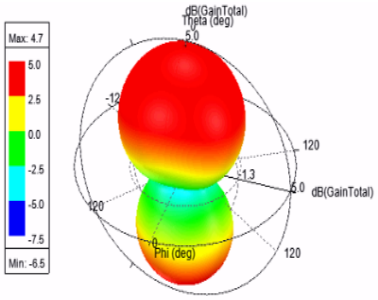


Figura 7b: Patrón de Radiación 3D en la frecuencia de 24.25 [GHz], sustrato FR4 Epoxy, con material de cobre (parche y tierra) en iteración 0.

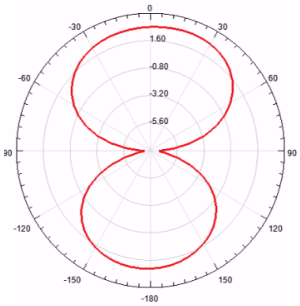


Figura 8a: Patrón de Radiación 2D en frecuencia de 24.25 [GHz] sustrato vidrio, con material de cobre (parche y tierra) en iteración 0.

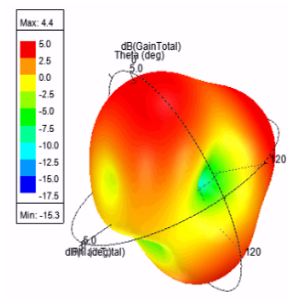


Figura 8b: Patrón de Radiación 3D en frecuencia de 24.25 [GHz] sustrato vidrio, con material de cobre (parche y tierra) en iteración 0.

Mientras en la frecuencia de 15,48 [GHz], con sustrato de FR4 Epoxy se destaca al cobre y grafito, en la iteración 2, lo mismo que sucede con el sustrato de vidrio, donde sobresale la iteración 0,

En cambio, en la frecuencia de 27.50 [GHz], con el mínimo en la curva de 27.48 [GHz], con sustrato de FR4 Epoxy, el material de grafito supera al cobre en la iteración 1, entretanto con el sustrato de vidrio se destaca al grafito en iteración 1, porque tiene el valor más alto de ganancia y un desfase representativo entre iteraciones, así como se observa en la tabla III.

En las tres frecuencias, los patrones de radiación tienen un cambio significativo en el lóbulo principal y secundario, la frecuencia de 24.25 [GHz] con sustrato de FR4 Epoxy y material de cobre, es el único que tiende a disminuir su lóbulo principal, en comparación a los demás.

Con el material de vidrio se obtiene nulos más cerrados a diferencia del material de Fr4 Epoxy y esta tendencia se mantiene para todas las frecuencias e iteraciones.

En la tabla III se muestra un resumen de todos los resultados obtenidos de las simulaciones, a las frecuencias de 15.48, 24.25 y 27.50 [GHz], con sus respectivos materiales e iteraciones, además se agregó las frecuencias en donde es resonante, comprobando que una antena fractal es multibanda. Cabe recalcar en la tabla III donde las siglas *F se refiere a FR4 epoxy, *V al vidrio, *Cu al cobre y *G al grafito.

Cuadro III: Comparación de los resultados al ser simulados, con iteraciones de 0, 1 y 2 para una antena fractal triángulo de sierpinski, las siglas *F se refiere a FR4 epoxy, *V al vidrio, *Cu al cobre, *G al grafito

| Frecuencia 1 - 15.48 GHz | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | ***fr*** ***[GHz]*** | ***Pérdidas Retorno [dB]*** | ***VSWR*** | ***Ancho de banda [GHz]*** | ***Ganancia [dB]*** |
| IT0 | Cu | 15.48 | -34.05 | 1.04 | 0.7 | 4.4 |
| F | G | 15.48 | -31.06 | 1.04 | 0.7 | 4.4 |
| **Desfase** | | | **9.62 %** | **0 %** | **0 %** | **0 %** |
| | Cu | 15.48 | -29.56 | 1.06 | 1.1 | 4.2 |
| V | G | 15.48 | -28.99 | 1.07 | 1.09 | 4.2 |
| **Desfase** | | | **1.96 %** | **0.94 %** | **0.91 %** | **0 %** |
| IT1 | Cu | 15.48 | -27.11 | 1.09 | 0.62 | 4.4 |
| F | G | 15.48 | -27.78 | 1.08 | 0.61 | 4.5 |
| **Desfase** | | | **2.47 %** | **0.92 %** | **1.63 %** | **2.27 %** |
| | Cu | 15.48 | -31.56 | 1.05 | 1.21 | 3.9 |
| | | 15.91 | -22.53 | 1.16 | 1.21 | 3.9 |
| V | G | 15.48 | -35.85 | 1.03 | 1.26 | 3.9 |
| | | 15.94 | -30.05 | 1.06 | 1.26 | 3.9 |
| **Desfase** | | | **13.59 %** | **1.94 %** | **4.13 %** | **0 %** |
| IT2 | Cu | 15.48 | -27.7 | 1.08 | 0.69 | 4.6 |
| F | G | 15.48 | -30.25 | 1.06 | 0.7 | 4.6 |
| **Desfase** | | | **9.20 %** | **1.88 %** | **1.44 %** | **0 %** |
| | Cu | 15.48 | -30.68 | 1.06 | 1.22 | 4.1 |
| | | 15.94 | -22.33 | 1.17 | 1.22 | 4.1 |
| V | G | 15.48 | -31.93 | 1.05 | 1.11 | 4 |
| **Desfase** | | | **4.07 %** | **0.95 %** | **9.90 %** | **2.5 %** |
| Frecuencia 2 - 24.25GHz | | | | | | |
| IT0 | Cu | 24.25 | -24.17 | 1.13 | 1.93 | 4.7 |
| F | G | 24.25 | -24.65 | 1.12 | 1.92 | 4.6 |
| **Desfase** | | | **1.98 %** | **0.89 %** | **0.52 %** | **2.17 %** |
| | Cu | 24.25 | -27.42 | 1.08 | 2.64 | 4.3 |
| V | G | 24.25 | -28.21 | 1.08 | 2.65 | 4.28 |
| **Desfase** | | | **2.88 %** | **0 %** | **0.37 %** | **0.46 %** |
| IT1 | Cu | 24.25 | -22.62 | 1.15 | 1.93 | 4.5 |
| F | G | 24.25 | -21.97 | 1.17 | 1.94 | 4.5 |
| **Desfase** | | | **2.95 %** | **1.73 %** | **0.51 %** | **0 %** |
| | Cu | 24.25 | -24.96 | 1.11 | 2.48 | 4.3 |
| V | G | 24.25 | -25.13 | 1.11 | 2.44 | 4.2 |
| **Desfase** | | | **0.68 %** | **0 %** | **1.63 %** | **2.38 %** |
| IT2 | Cu | 24.25 | -18.08 | 1.28 | 1.56 | 4.6 |
| F | G | 24.25 | -18.4 | 1.27 | 1.59 | 4.67 |
| **Desfase** | | | **1.76 %** | **0.78 %** | **1.92 %** | **1.52 %** |
| | Cu | 24.25 | -20.89 | 1.19 | 2.52 | 4.4 |
| V | G | 24.25 | -20.5 | 1.2 | 2.45 | 4.4 |
| **Desfase** | | | **1.90 %** | **0.84 %** | **2.85 %** | **0 %** |
| Frecuencia 3 - 27.50 GHz | | | | | | |
| IT0 | Cu | 27.50 | -26.18 | 1.10 | 1.81 | 3.96 |
| F | G | 27.50 | -26.14 | 1.10 | 1.84 | 4 |
| **Desfase** | | | **0.15 %** | **0 %** | **1.65 %** | **1.01 %** |
| | Cu | 27.50 | -23.14 | 1.14 | 2.41 | 3.7 |
| V | G | 27.50 | -22.64 | 1.15 | 2.36 | 3.7 |
| **Desfase** | | | **2.20 %** | **0.87 %** | **2.11 %** | **0 %** |
| IT1 | Cu | 27.50 | -25.90 | 1.10 | 1.92 | 4 |
| F | G | 27.50 | -23.22 | 1.14 | 1.91 | 4.12 |
| **Desfase** | | | **11.54 %** | **3.63 %** | **0.52 %** | **3 %** |
| | Cu | 27.50 | -21.52 | 1.18 | 2.25 | 3.7 |
| | | 29.40 | -14.96 | 1.43 | 2.25 | 3.7 |
| V | G | 27.50 | -19.84 | 1.22 | 2.13 | 3.8 |
| | | 29.32 | -24.64 | 1.46 | 2.13 | 3.8 |
| **Desfase** | | | **8.46 %** | **3.38 %** | **5.63 %** | **2.70 %** |
| IT2 | Cu | 27.50 | -24.05 | 1.13 | 1.82 | 3.9 |
| F | G | 27.50 | -23.86 | 1.13 | 1.84 | 3.92 |
| **Desfase** | | | **0.794 %** | **0 %** | **1.09 %** | **0.51 %** |
| | Cu | 27.50 | -23.59 | 1.14 | 2.48 | 3.7 |
| | | 29.31 | -16.34 | 1.36 | 2.48 | 3.7 |
| V | G | 27.50 | -21.78 | 1.17 | 2.24 | 3.6 |
| | | 29.31 | -16.80 | 1.34 | 2.24 | 3.6 |
| **Desfase** | | | **8.31 %** | **2.63 %** | **10.71 %** | **2.7 %** |

## IV. Conclusiones

El material que mejor se adaptó con el sustrato de FR4 Epoxy y vidrio, es el grafito, excepto en la frecuencia de 27.50 [GHz] en iteración 2, donde el cobre tiene valores significativos a comparación del grafito.

Los ajustes más significativos que se tiene en el diseño de la antena es el espesor (H), específicamente cuando el sustrato es de vidrio.

## REFERENCIAS


[1] D. F. Peña Plazas, N. De la Hoz Fernández *et al.*, "Arquitectura 5g: Autenticacion y privacidad," 2021.

[2] Fombellida Gobantes, "Modelado y simulación de tecnologías mmw en escenarios 5g," 9 2019. [Online]. Available: http://hdl.handle.net/10902/16874

[3] N. Gualda Fernández, "Antenas para dispositivos móviles 5g e iot," 2019.

[4] J. E. A. Peña, "Simulación de radio propagación de arreglos de múltiples-entradas-múltiples-salidas (mimo) en frecuencias de ondas milimétricas para redes 5g," *DESARROLLO E INNOVACIÓN EN INGENIERÍA*, p. 233, 2020.

[5] C. H. Blanco Gomez, "Diseño y simulación de una antena fractal para detección de minas antipersonal artesanales de envase plástico," Ph.D. dissertation, Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, 2019.

[6] G. Ramalakshmi and P. Mallikarjuna Rao, "A miniaturized 2-itertion rectangular slotted sierpinski fractal bowtie antenna for multiband applications," *Materials Today: Proceedings*, 2021. [Online]. Available: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214785321023476

[7] M. Gupta and V. Mathur, "Sierpinski fractal antenna for internet of things applications," *Materials Today: Proceedings*, vol. 4, no. 9, pp. 10 298–10 303, 2017, international Conference on Recent Trends in Engineering and Material Sciences (ICEMS-2016), March 17-19, 2016, Jaipur, India. [Online]. Available: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214785317311719

[8] S. I. R. Flores, "Diseño y simulación de dos antenas fractales basadas en la alfombra y el triángulo de sierpinski." 2017. [Online]. Available: http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/7303

[9] E. G. Acela García, J. L. Rivera Mora *et al.*, "Diseño y construcción de una antena triangular tipo parche," 2013.

[10] B. E. Rodríguez-Barrera *et al.*, "Diseño y simulación de una antena microstrip de rango de operación de súper altas frecuencia (3.5 ghz a 6 ghz) para la evaluación de la tasa de absorción específica en tejidos humanos," 2019.

[11] D. J. Jaramillo Granda and L. G. Quishpe Rea, "Estudio, diseño y construcción de un prototipo de arreglo de antenas microstrip para recepción en la banda x comparable a la ganancia de una antena parabólica," B.S. thesis, QUITO/EPN/2014, 2014.

[12] I. S. Bangi and J. S. Sivia, "Moore, minkowski and koch curves based hybrid fractal antenna for multiband applications," *Wireless Personal Communications*, vol. 108, 2019. [Online]. Available: https://doi.org/10.1007/s11277-019-06531-7

[13] A. Rahim and P. K. Malik, "Analysis and design of fractal antenna for efficient communication network in vehicular model," *Sustainable Computing: Informatics and Systems*, vol. 31, p. 100586, 2021. [Online]. Available: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2210537921000755