



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

**DISEÑO DE UNA ANTENA MICROSTRIP CON MATERIAL GRAFENO EN DOS
FRECUENCIAS DE LA BANDA DE ONDA MILIMÉTRICA.**

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

AUTOR: ALEXIS PAÚL RUIZ GUALPA

MONICA MARITZA GUANOLEMA CUNDURI

TUTOR: LENIN WLADIMIR AUCATOMA GUAMÁN

Quito-Ecuador

2023

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Alexis Paúl Ruiz Gualpa con documento de identificación N° 1751433044 y Monica Maritza Guanolema Cunduri con documento de identificación N° 0604488775; 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, 13 de febrero del año 2023

Atentamente,



Alexis Paúl Ruiz Gualpa

1751433044



Monica Maritza Guanolema Cunduri

0604488775

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

Nosotros, Alexis Paúl Ruiz Gualpa con documento de identificación N° 1751433044, y Monica Maritza Guanolema Cunduri con documento de identificación No. 0604488775, 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: “Diseño de una antena microstrip con material grafeno en dos frecuencias de la banda de onda milimétrica”, 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, 13 de febrero del año 2023

Atentamente,



Alexis Paúl Ruiz Gualpa

1751433044



Monica Maritza Guanolema Cunduri

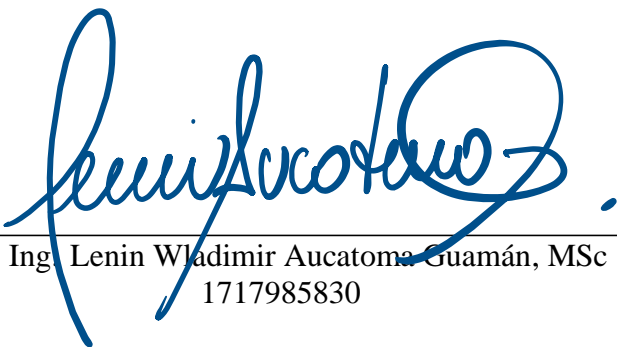
0604488775

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: DISEÑO DE UNA ANTENA MICROSTRIP CON MATERIAL GRAFENO EN DOS FRECUENCIAS DE LA BANDA DE ONDA MILIMÉTRICA, realizado por Alexis Paúl Ruiz Gualpa con documento de identificación N° 1751433044, y Monica Maritza Guanolema Cunduri con documento de identificación No. 0604488775, 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, 13 de febrero del año 2023

Atentamente,



Ing. Lenin Wladimir Aucatoma Guamán, MSc
1717985830

DEDICATORIA

En primer lugar, el presente artículo se lo dedico a DIOS quien siempre ha estado a mi lado guiándome en todo este proceso de aprendizaje. Además con mucho amor a mis seres queridos Juan Ruiz y Amparo Gualpa por ser los mejores padres que la vida me ha dado, quienes, con su paciencia, comprensión, amor me han permitido llegar a ser una persona que lucha por sus sueños por más difíciles que sea, a mi hermano quien siempre ha estado junto a mi alentándome, a mis dos abuelitas Evangelina Guilca y Rosario Proaño quienes me han brindado su apoyo incondicional, a mi bisabuelita María Chauca quien en vida le prometí que lograría cumplir con los objetivos que me planteé en la vida y sé que al día de hoy desde el cielo aún me sigue apoyando y alegrándose por mis logros y en general a toda mi familia quienes estuvieron en los buenos y malos momentos brindando su ayuda permitiéndome el poder culminar con mis estudios, gracias a todos.

Alexis Paúl Ruiz Gualpa

Este trabajo está dedicado a Dios por darme la oportunidad de llegar a este momento tan importante. A mis amados abuelitos Ana Lluco y Manuel Cunduri por quererme y criarme como uno más de sus hijos, por ser como unos segundos padres para mí. A mi querida madre Norma Cunduri, a pesar de nuestras diferencias por el apoyo incondicional y la fuerza que me dio para elegir esta carrera. Asimismo, a mi padre Alfonso Guanolema, a pesar de perder a sus padres a temprana edad y a la gran distancia física que estamos, hizo lo posible para proporcionarme todo lo necesario. A mis tíos Rodrigo y Tatiana, a quienes admiro por apoyarme, aconsejarme e impulsarme a continuar estudiando. A mis tíos Roció y Luis por estar pendientes de mi en cada fase de mi vida, por compartir momentos inolvidables conmigo y ayudarme en mi primer concurso de antena reciclada. A mi tío Nelson, a pesar de que estar lejos, te siento siempre presente conmigo. Asimismo, a Emma, porque eres y serás mi motivo para seguir viviendo te amo infinitamente hermanita. Por último, a Vinicio, a quien quiero mucho, por ser el rayo de luz que brillo en mis días negros.

Monica Maritza Guanolema Cunduri

AGRADECIMIENTO

El presente artículo le damos gracias a DIOS quien siempre ha caminado a nuestro lado en cada momento de nuestra existencia, dándonos fuerza para ponernos de pie y afrontar los obstáculos que se encuentren en nuestro camino. A nuestros padres por habernos dado su apoyo y nunca dejarnos de lado pese a que ha existido contratiempos. A nuestros hermanos darles las gracias por su cariño y aliento para seguir adelante para no desfallecer, a nuestros abuelitos que siempre han estado ahí dándonos una mano y apoyándonos en las decisiones que hemos tomado. Asimismo, agradecemos a nuestros tíos por estar presentes en las diferentes circunstancias.

A la Universidad Politécnica Salesiana y a sus docentes por formar estudiantes de bien para la formación de profesionales adquiriendo cualidades como honestidad, responsabilidad, esfuerzo y dedicación para así ponerlas en práctica en la vida profesional superando las diferentes adversidades encontradas a lo largo del camino.

A nuestro tutor, al Ing. Lenin Aucatoma, por ser un buen docente al compartir sus conocimientos, brindando su apoyo, experiencia y amistad, además de agradecerle por depositar su confianza en nosotros y ayudarnos en la finalización de nuestra investigación con éxito.

A mi compañera y amiga de estudios Maritza Guanolema con quien inicié la carrera, pero por cosas de la vida nos volvimos a encontrar en los últimos semestres, permitiéndonos culminar juntos de la misma manera gracias por su apoyo incondicional durante todo el proceso de la carrera. A mi compañero Alexis Ruiz con el que realice este trabajo, gracias por ser un buen amigo, por motivarme a cada instante de continuar, a no desfallecer en el camino y por formar equipo conmigo para este gran paso en nuestra carrera, a quien deseo muchos éxitos en todos los ámbitos. A nuestros compañero/a Josselyn Sigcha y Steven Cevallos unas grandes personas, quienes nos ayudaron cuando nadie más lo hacía, quienes estuvieron en los momentos malos y buenos, personas que a lo largo de la carrera se convirtieron no solo en compañeros sino en grandes amigos.

Alexis Paúl Ruiz Gualpa

Monica Maritza Guanolema Cunduri

Diseño de una antena microstrip con material grafeno en dos frecuencias de la banda de onda milimétrica

1st Ruiz Gualpa Alexis Paúl 2nd Guanolema Cunduri Monica Maritza 3rd Aucatoma Guamán Lenin Wladimir
Ingeniería en Telecomunicaciones *Ingeniería en Telecomunicaciones* *Ingeniería en Telecomunicaciones*
Universidad Politécnica Salesiana *Universidad Politécnica Salesiana* *Universidad Politécnica Salesiana*
Quito, Ecuador Quito, Ecuador Quito, Ecuador
aruizg3@est.ups.edu.ec mguanolema@est.ups.edu.ec laucatoma@ups.edu.ec

Resumen—En este artículo se presenta el diseño de una antena microstrip de parche rectangular sintonizada a una frecuencia de 50 y 60 GHz utilizando material de grafeno en el parche, tierra y Fr4-epoxy en el sustrato usando el software ANSYS HFSS. Se calcularon las dimensiones de la antena, pero al no llegar a la frecuencia central de trabajo debido a que existe un desfase de -0.61 % para 50 GHz y 1.28 % para 60 GHz, se realiza un ajuste al dimensionamiento para obtener valores acordes a s_{11} , v_{swr} , patrón de radiación e impedancia. Por último, se evidencia que las propiedades del material de grafeno si influyen en lo resultados debido a que la antena depende de la conductividad, permitividad y permeabilidad.

Palabras Clave—Antena Microstrip, Grafeno, Frecuencia.

Abstract—This article presents the design of a rectangular microstrip patch antenna tuned to a frequency of 50 and 60 GHz using graphene material in the patch, ground and Fr4-epoxy in the substrate using ANSYS HFSS software. The dimensions of the antenna were calculated, but not reaching the working center frequency because there is an offset of -0.61 % for 50 GHz and 1.28 % for 60 GHz, an adjustment is made to the sizing to obtain values according to s_{11} , v_{swr} , radiation pattern and impedance. Finally, it is evident that the properties of the graphene material do influence the results because the antenna depends on the conductivity, permittivity and permeability.

Keywords—Microstrip Antenna, Graphene, Frequency.

I. INTRODUCCIÓN

Al paso de los años ha existido un aumento de usuarios, que desean estar interconectados. Por esta razón la mejor opción a usar es la tecnología de quinta generación (5G) [1], la cual será capaz de brindar velocidades que superen los 10Gbps en la transmisión de información [2]. Esta red a su vez funcionará en la banda de onda milimétrica (mmW) pero debido al principio de proporcionalidad inversa entre frecuencia y longitud de onda, es necesario antenas pequeñas. La antena microstrip es la más favorable pero como poseen baja ganancia y poca directividad es necesario realizar ajustes experimentales en los componentes conductores y dieléctricos mediante el uso de materiales con alta conducción como el grafeno [3].

Es ahí donde el grafeno es una opción eficaz debido a que se le considera un gran conductor porque tiene gran flexibilidad, alta conductividad eléctrica, conductividad térmica excepcional, es transparente y ligero debido a que posee una estructura bidimensional [4]. El grafeno en la antena microstrip debería proporcionar la máxima miniaturización, gran frecuencia operativa y alta ganancia, además de ser un material prometedor ya que ayuda a controlar la radiación y mejorar el rendimiento de la antena [5], permitiendo así crear dispositivos pequeños y rápidos los cuales solo necesiten una pequeña cantidad de energía para que funcionen [6].

En [7] diseña una antena microstrip para una frecuencia de resonancia de 2.45 GHz usando solo material de grafeno en el sustrato mostrando una ganancia 6.801 dB, directividad 7.302 dBi y $s(1,1)$ -23.673 dB, por otro lado en [8] diseña y modela una antena parche de microcinta rectangular sintonizable compacta para la banda de 28 GHz usando material de cobre en el parche con dos capas de grafeno insertadas en su interior para la sintonización y por último en [9] diseña una antena dipolo microstrip para la frecuencia de 39 GHz utilizando el oro, cobre y grafeno en las tiras y teflón en el sustrato, donde el grafeno presenta mejores resultados que los otros dos materiales. En este artículo se diseña una antena microstrip para la frecuencia de 50 y 60 GHz con el propósito de comparar los modelos de la antena con valores matemáticos y ajuste para establecer los valores de dispersión adecuados y observar con qué frecuencia el grafeno presenta mejores resultados de acuerdo con los parámetros que definen a una antena.

II. DISEÑO DE LA ANTENA

En la figura 1 se muestra una antena microstrip de parche rectangular con todas sus partes especificadas. Dicha antena va a trabajar en la banda de onda milimétrica sintonizada a una frecuencia de 50 GHz y 60 GHz, donde se utilizará el material de grafeno como conductor y el material Fr4-epoxy como dieléctrico. El diseño fue realizado con ayuda del software ANSYS HFSS, el cual ayudará a recabar y estudiar los diferentes resultados de la antena propuesta.

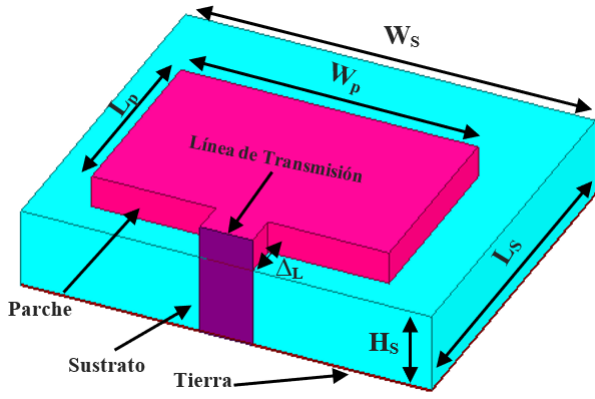


Figura 1. Diseño de una Antena Microstrip Sintonizada en 50 y 60 GHz.

La Tabla 1 presenta los valores matemáticos obtenidos mediante las ecuaciones (1), (2), (3), (4), (5), (6), (7), para el diseño de la antena. Dichos valores se tendrán que ajustar debido a que los resultados están alejados de lo que se necesita en s11, vswr, impedancia y patrón de radiación.

Donde:

- c = Velocidad de la luz 3×10^8 [m/s].
- F = Frecuencia de resonancia [GHz].
- ϵ_r = Permitividad relativa

Tabla I
DIMENSIONES DEL DISEÑO DE LA ANTENA MICROSTRIP CON VALORES MATEMÁTICOS

Diseño de la Antena				
Componente	Parámetros	Medida [mm] 50 GHz	Medida [mm] 60GHz	Material
Línea Tx	ΔL	0.21	0.21	Grafeno
Parche	L_p	1.174	0.926	Grafeno
	W_p	1.825	1.521	
	H_p	0.173	0.144	
Sustrato	L_s	4.174	3.926	Fr4_epoxy
	W_s	4.825	4.521	
	H_s	0.5	0.5	
Tierra	L_t	4.174	3.926	Grafeno
	W_t	4.825	4.521	
	H_t	0.01	0.01	

Ancho del Parche(W), frecuencia de resonancia(f_o)

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

Constante dieléctrica efectiva(ϵ_{ef}), altura(h), ancho del parche(W)

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

Incremento de la longitud(ΔL), altura(h), constante dieléctrica efectiva(ϵ_{ef})

$$\Delta L = 2 \frac{h}{\sqrt{\epsilon_{ef}}} \quad (3)$$

Longitud efectiva del elemento conductor(L_{ef}), frecuencia de resonancia(f_o), constante dieléctrica efectiva(ϵ_{ef}), velocidad de luz en el vacío(c)

$$L_{ef} = \frac{c}{2f_o \sqrt{\epsilon_{ef}}} \quad (4)$$

Longitud física del parche(L), longitud efectiva del conductor(L_{ef}), incremento de longitud(ΔL)

$$L = L_{ef} - 2\Delta L \quad (5)$$

Largo del sustrato y tierra(L_g), altura(h), longitud física del parche(L)

$$L_g = 6h + L \quad (6)$$

Ancho del sustrato y tierra(W_g), altura(h), ancho del parche(W_p)

$$W_g = 6h + W_p \quad (7)$$

Para la simulación de la antena microstrip en el software ANSYS, fue necesario encontrar las propiedades del material de grafeno. En donde el valor de la permeabilidad relativa se tomará como 1 mientras que para la conductividad se determinó mediante cálculos por medio de la aplicación de variables independientes temperatura (T), potencial electroquímico (μ_c), tiempo de relajación (τ) y frecuencia (f) que se muestra en la ecuación (8), (9) y la permitividad relativa con la ecuación (10). [10].

Conductividad

$$\sigma_{gr}(T, \mu_c, \tau, f) = -0,08 + 4,04T + 0,30\mu_c + 0,03\tau - 1,06 \cdot 10^{-13} f \quad (8)$$

$$\sigma_{gi}(T, \mu_c, \tau, f) = 0,01 - 3,50 \cdot 10^9 T - 0,02\mu_c - 0,002\tau - 3,8 \cdot 10^{-15} f \quad (9)$$

Para el valor de la permitividad se toma en cuenta cuantas láminas de grafeno se requiere para el diseño del parche y para esto se realiza un cálculo donde [11]:

- t = Espesor o grosor del grafeno con valor $\rightarrow 0,34 \times 10^{-9}$ n/m
- N_g = Número de láminas de grafeno

Al haber obtenido 5300 láminas para 50 GHz y 4480 para 60 GHz se reemplaza en la ecuación (10), en donde (σ_{2D}) conductividad, (wt) frecuencia angular, (N_g) número de capas de grafeno y (ϵ_0) constante dieléctrica, mostrando los valores de la permitividad como se muestra en la Tabla 2.

Permitividad

$$\epsilon_0 = 1 + \frac{i\sigma_{2D}}{wtN_g\epsilon_0} \quad (10)$$

Tabla II
VALORES DE LAS PROPIEDADES DEL MATERIAL DE GRAFENO

	Conductividad	Permitividad	Permeabilidad
Frecuencia de 50GHz	$1.2119447 \cdot 10^3$	242	1
Frecuencia de 60GHz	$1.2119436 \cdot 10^3$	238	1

En la Tabla 3 se muestran los valores de ajuste una vez realizada la optimización de la estructura de la antena, los cuales proporcionaron una sintonización en la frecuencia de 50 y 60 GHz y una mejora en los resultados de los parámetros que define a una antena, además se presenta el valor del desfase calculado entre el valor matemático y ajuste.

Tabla III
VALORES DE AJUSTE Y DESFASE DE LA ANTENA

Diseño de la antena				
Parámetros	Ajuste [mm] 50 GHz	Desfase %	Ajuste [mm] 60 GHz	Desfase %
ΔL	0.21	0	0.22	4.46
L_p	1.174	0	0.936	1.07
W_p	1.825	0	1.521	0
H_p	0.203	17.34	0.204	41.66
L_s	2.17	-48.01	1.626	-58.58
W_s	2.52	-47.77	2.121	-53.08
H_s	0.5	0	0.5	0
L_t	2.17	-48.01	1.626	-58.58
W_t	2.52	-47.77	2.121	-53.08
H_t	0.01	0	0.01	0

III. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

III-A. Coeficiente de Reflexión $S(1,1)$ y VSWR con valores matemáticos

El parámetro $S(1,1)$ simboliza que cantidad de potencia está reflejando desde la antena en donde se busca que dicha energía sea mínima [12]. En cuanto al VSWR es la relación entre el voltaje máximo y mínimo en la línea de transmisión.

La figura 2 muestra que el parámetro $S(1,1)$ simulado con los valores matemáticos no se encuentra sintonizado en las frecuencias que se necesitan y que además muestra valores por debajo de los -20, es por eso que para cumplir con el objetivo fue necesario cambiar la estructura de la antena. Por otro lado, el VSWR también muestra valores que no cumplen con la meta de 1 a 2, si no que se encuentra por encima de los 2 lo que significa que está generando rebotes de señal provocando pérdidas e interferencia debido a una diferencia de voltaje en la línea de transmisión en los puertos de las antenas.

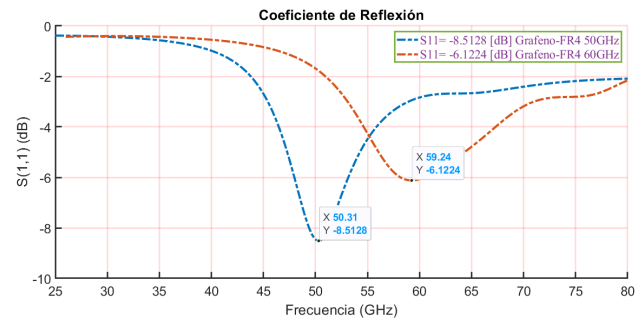


Figura 2. Coeficientes de Reflexión con valores matemáticos para 50 y 60 GHz.

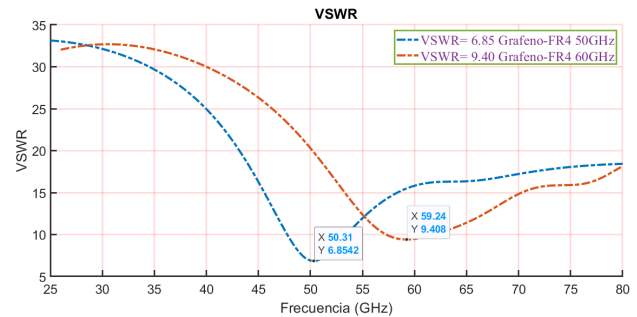


Figura 3. Relación de onda estacionaria con valores matemáticos para 50 y 60 GHz.

III-B. Coeficiente de Reflexión $S(1,1)$ y VSWR con valores de ajuste

Para llegar a sintonizar en las frecuencias y obtener los valores que se necesitan en esta investigación. En el diseño 1 de 50 GHz se modificó 3 parámetros de la estructura. En donde se aumentó la altura del parche en 17.34 %, respecto al sustrato y tierra hubo una reducción de longitud en -48.01 % y ancho en -47.77 %. En cambio, para llegar al diseño 2 de 60 GHz se modificó dos parámetros más que el diseño 1 modificando un total de 5 parámetros. En donde hubo un aumento en la altura del parche en 41.66 %, el incremento de longitud en 4.46 % y el largo del parche en 1.07 %, respecto al sustrato y tierra hubo una reducción de longitud de -58.58 % y ancho en -53.08 %.

El diseño 1 y 2 luego de haber realizado los ajustes en la figura 4-5 muestra que se obtuvieron valores correspondientes a lo que los parámetros $S(1,1)$ y VSWR necesitan, en donde para el coeficiente de reflexión se obtuvieron valores de -20 que es semejante a $\frac{1}{100}$ el cual es un valor admisible [13], en cambio para el VSWR también tuvo una mejoría al obtener valores en el rango de 1 a 1.5 lo que corresponde a un margen apto.

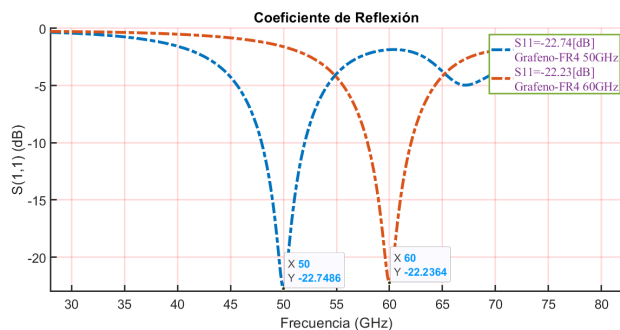


Figura 4. Coeficientes de Reflexión con valores de ajuste para 50 y 60 GHz.

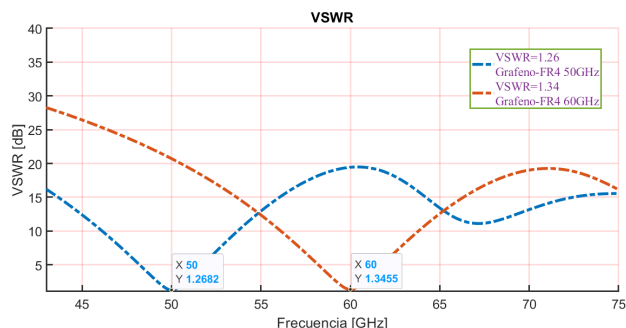


Figura 5. Relación de onda estacionaria con valores de ajuste para 50 y 60 GHz.

La Tabla 4 muestra los valores matemáticos y ajuste para los 2 diseños. En donde al haber modificado la antena hubo un desfase para S(1,1) del 167.22% y VSWR del -81.60% para 50 GHz, indicando que se tuvo menor porcentaje ya que se realizó menos modificaciones a diferencia que en 60 GHz cuyos valores de desfase son mayores.

Tabla IV
RESULTADOS DEL S(1,1) Y VSWR

Frecuencia de 50 y 60 GHz					
Diseño Simulado	Material	S(1,1) [dB] Matemático	S(1,1) [dB] Ajuste	VSWR [dB] Matemático	VSWR [dB] Ajuste
Antena Microstrip	Grafeno Fr4-epoxy	-8.51	-22.74	6.85	1.26
Desfase %		167.22		-81.60	
Antena Microstrip	Grafeno Fr4-epoxy	-6.12	-22.23	9.40	1.34
Desfase %		263.19		-85.74	
Frecuencia de 60 GHz con otros materiales					
Diseño de Investigación	Material	S(1,1) [dB]		VSWR [dB]	
Diseño 1	Cobre Oro Fr4-epoxy	-21.63		1.44	
Diseño 2	Cobre Cobre Fr4-epoxy	-22.98		1.24	
Diseño 3	Cobre Cobre Fr4-epoxy	-22.74		1.27	
Diseño 4	Hierro Oro Fr4-epoxy	-22.34		1.33	
Diseño 5	Hierro Cobre Fr4-epoxy	-24.16		1.08	

Sin embargo, el uso de diferentes materiales y la frecuencia

a sintonizar afecta los resultados. En la investigación [13] realizaron 5 diseños de antena microstrip como se muestra en la Tabla 4 sintonizada a una frecuencia de trabajo de 60 GHz, en donde todos cumplen con valores aceptables para el funcionamiento. Por otro lado, en este estudio al usar la misma frecuencia, material Fr4-epoxy (sustrato) y al cambiar el material conductor por el grafeno (línea de transmisión, patch, tierra) muestra un mejor resultado debido a un aumento del s11 de 2.77% dando un valor de 22.23 dB y una disminución en vswr de -6.94% dando un valor de 1.34 en comparación al diseño 1 en donde usaron materiales de cobre, oro y fr4-epoxy. Por otra parte, al sintonizar en la frecuencia de 50 GHz presenta un mejor desempeño en s11 al igual que el diseño 3 con la diferencia que en este estudio se obtiene un vswr menor con una disminución de -0.78%, sin embargo, se evidencia mejores resultados a comparación del diseño 1 con un aumento del 5.13% en s11 y una reducción de -12.5% en vswr. En el diseño 4 se observa un aumento del 1.79% en s11 y una disminución de -5.26% en vswr, los cuales están sintonizados en 60 GHz mostrando así que el grafeno trabaja mejor en baja frecuencia a pesar de que la conductividad es menor debido a que se usa el grafeno en un estado puro.

III-C. Ancho de Banda (Bw) con valores matemáticos y ajuste

El ancho de banda es aquel intervalo de frecuencias, en el cual va a operar favorablemente la antena y el más empleado es el ancho de banda con relación al VSWR. En este estudio el ancho de banda está relacionado al dimensionamiento de la antena y su material (grafeno). De acuerdo con esta investigación utilizando el material de grafeno muestra un mayor ancho de banda de 0.56 GHz en la frecuencia de 50 GHz con un aumento del 16.66% respecto a la frecuencia de 60 GHz. Por otro lado, en la investigación mencionada anteriormente se evidencia que al estar sintonizada en la frecuencia de 60 GHz obtienen mayor ancho de banda con un promedio de 387.08% ya que utilizan diferentes materiales conductores como oro, hierro y cobre en comparación a la nuestra con un promedio menor de 0.52%, debido a que nuestra antena presenta un aumento en el tamaño del parche, pero menor tamaño en el largo del sustrato y tierra. Además, el grafeno influyó en la antena, en el cual se tuvo que analizar el número de láminas que se necesita, en este caso se utilizó 5300 para 50 GHz y 4480 para 60 GHz los cuales afectan la estructura antena definiendo el grosor del parche.

Tabla V
RESULTADOS DEL ANCHO DE BANDA

Diseño 1 (50 GHz)		
Bw [GHz] Matemático	Bw [GHz] Ajuste	Desfase %
0.21	0.56	166
Diseño 2 (60 GHz)		
Bw [GHz] Matemático	Bw [GHz] Ajuste	Desfase %
0.11	0.48	336

III-D. Parámetro Z

La impedancia de la antena indica que si se el valor reactivo se encuentra más cercano a 0 esta presenta mejor acople entre la fuente y la línea de transmisión. La figura 6-7 muestra la parte resistiva y reactiva (real-imaginaria) de la antena. En donde una vez ajustado la antena en la frecuencia de 50 GHz se obtiene el valor de módulo de 55.98 con un desfase de -43.6 % menor que los valores de la frecuencia de 60 GHz.

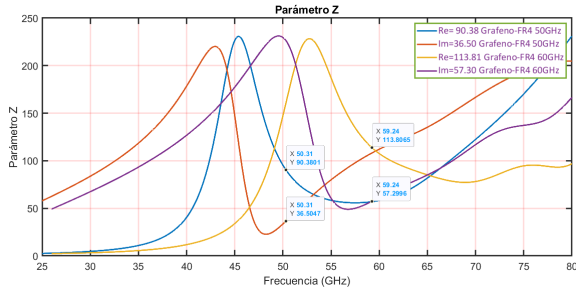


Figura 6. Impedancia con valores matemáticos para 50 y 60 GHz

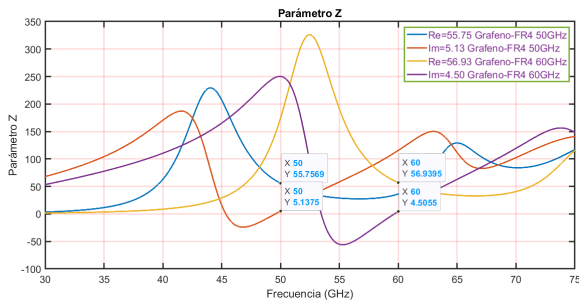


Figura 7. Impedancia con valores de ajuste para 50 y 60 GHz

Tabla VI
RESULTADOS DEL MÓDULO DE LA IMPEDANCIA

Diseño 1 (50 GHz)		
Parámetro (Z) Matemático	Parámetro (Z) Ajuste	Desfase %
97.47	55.98	-43.6
Diseño 2 (60 GHz)		
Parámetro (Z) Matemático	Parámetro (Z) Ajuste	Desfase %
127.42	57.107	-55.2

De acuerdo con las investigaciones [14] y [15], en la parte resistiva ambos valores son altos, pero en la parte reactiva de la investigación [14] obtienen un valor de 0 indicando un acople perfecto como se indica en la Tabla 6 debido al material que utiliza, la frecuencia de trabajo y el tipo de alimentación. Sin embargo, en esta investigación se obtuvo un resultado de 55.75 (resistiva) y -5.13j (reactiva) para 50 GHz y 56.93 (resistiva) y -4.50j (reactiva) para 60 GHz indicando una disminución del valor resistivo para obtener el valor de impedancia normalizado de 50Ω . En comparación a la investigación [15] donde usan como material conductor el oro sintonizado a una frecuencia de 3.5 GHz como se muestra en la Tabla 7, esto también indica que el grafeno al estar

sintonizado en frecuencias más bajas se acerca al valor de la impedancia.

Tabla VII
RESULTADOS DE IMPEDANCIA CON OTROS MATERIALES

Tipo de Antena	Material	Impedancia
Antena Microstrip	Esponja Fr4-epoxy	55.00-0j
Antena Microstrip	Oro Fr4-epoxy	59.43-6.93j

III-E. Patrón de Radiación

Del diseño matemático para 50 y 60 GHz de la figura 8-9 muestra el patrón de radiación en coordenadas polares con un corte en 90° en el ángulo Phi (Φ), se obtuvo un patrón de radiación no adecuado como se observa en las figuras 8a y 9a con zonas que no son admisibles de acuerdo a los valores del parámetro S(1,1) dando un diseño no apto, es por eso que ambos diseños de la antena fueron optimizados utilizando los valores de ajuste de la Tabla 3, dando una mejora en la forma del patrón de radiación como se muestra en la figura 8b y 9b mostrando la dirección con mayor ganancia que se encuentra en 0° con un desfase de -6.45 % para 50 y -17.65 % para 60 GHz.

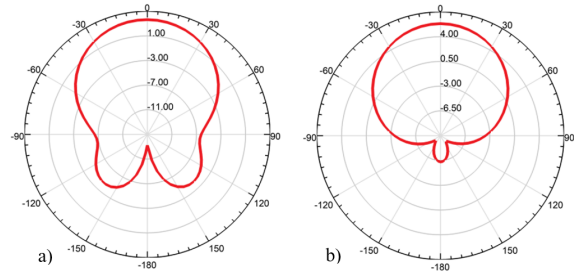


Figura 8. Patrones de radiación: a) matemático y b) ajuste en 2D a 50 GHz

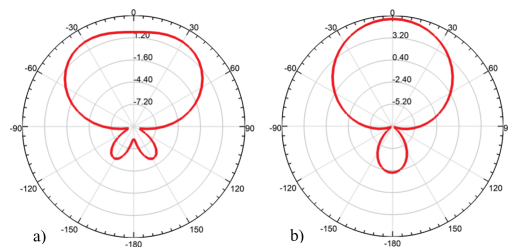


Figura 9. Patrones de radiación: a) matemático y b) ajuste en 2D a 60 GHz

Los lóbulos de radiación fueron analizados en la figura 8-9, donde se visualiza la directividad de los 2 diseños en el cual sus formas de radiación son iguales en la parte superior. Donde el patrón de radiación se va anulando gradualmente en algunas direcciones debido a que una porción de la energía radiada por los lóbulos laterales se está enviando al lóbulo principal. De acuerdo con el análisis de la investigación mencionada anteriormente los diseños logran alcanzar ganancias y directividad acorde al tipo de material que utilizan (patch, línea de

alimentación, sustrato y tierra). En este estudio al estar usando el mismo material fr4-epoxy en el dieléctrico y grafeno como conductor, este proporciona ganancias y directividad más altas para ambas frecuencias mientras irradia la energía en una sola dirección como se muestra en la figura 10. Además, en 50 GHz aumentó un 3.17 % para una ganancia máxima de 5.8 dB y una directividad de 6.5 dB como se evidencia en la Tabla 8, indicando que a pesar de que el grafeno no se encuentre químicamente dopado con otro material, presenta resultados adecuados para estos diseños.

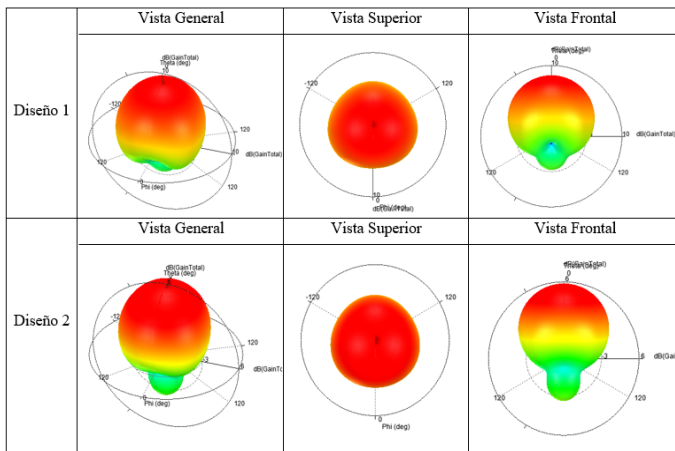


Figura 10. Patrones de radiación en 3D de los diseños de ajuste de 50 y 60 GHz

Tabla VIII
RESULTADOS GANANCIA MÁXIMA Y MÍNIMA

Diseño 1 (50 GHz)					
G _{máx} [dB] Ajuste	Desfase %	Directividad [dB _i]	G _{mín} [dB] Ajuste	Desfase %	Directividad [dB]
5.8	-6.45	6.5	-15.6	-13.3	-15.0
Diseño 2 (60 GHz)					
G _{máx} [dB] Ajuste	Desfase %	Directividad [dB _i]	G _{mín} [dB] Ajuste	Desfase %	Directividad [dB]
5.6	-17.65	6.3	-11.9	-11.85	-11.2

IV. CONCLUSIONES

De los dos diseños simulados el que muestra mejores resultados en la investigación es la frecuencia de 50 GHz, después de la optimización de las dimensiones de la antena utilizando el grafeno como material conductor (línea tx, parche y tierra), cabe mencionar que el número de láminas de grafeno influyo en el tamaño del parche, debido a que posee mejores propiedades conductoras logrando así un s11 de -22.75 dB, vswr de 1.26 con una ganancia máxima de 5.8 dB y una directividad 6.5 dB a comparación a los valores que se da en la frecuencia de 60 GHz.

Además, al usar el grafeno como material conductor en la frecuencia de 60 GHz no se observa una mejora significativa en los resultados de los parámetros de desempeño de la antena en comparación a los de la investigación [13] esto es debido a la combinación de materiales que utilizan ya que poseen

mejores propiedades, sin embargo, el grafeno al no encontrarse dopado de igual manera presenta buenos resultados.

REFERENCIAS

- [1] S. Tariq, D. Psychoudakis, O. Eliezer, and F. Khan, "A new approach to antenna beamforming for millimeter-wave fifth generation (5G) systems," pp. 1–5, 2018.
- [2] J. García Barranco, "TECNOLOGÍAS 3G, 4G Y 5G: Una perspectiva económica y social de la carrera por la innovación de las redes de banda ancha," Universidad Pontificia, 2019.
- [3] L. A. Quiroz, "Propuesta para un modelo de antena microstrip basada en perturbaciones geométricas," Universidad Distrital Francisco Jose de Caldas, 2016.
- [4] R. Song et al., "Wideband and low sidelobe graphene antenna array for 5G applications," Sci. Bull., vol. 66, no. 2, 2021.
- [5] P. Liton Chandra, R. Md Sohel, I. Md Rashedul, and I. Md Saiful, "Graphene based high gain and small size grounded coplanar waveguide feed patch antenna for millimeter wave applications," 2nd IEEE Int. Conf. Telecommun. Photonics, ICTP 2017, vol. 2017-Decem, pp. 1–5, 2017.
- [6] M. S. Hossain Mollah, O. Faruk, M. S. Hossain, M. T. Islam, A. S. M. Shafi, and M. M. Imran Molla, "Design and performance improvement of microstrip patch antenna using graphene material for communication applications," ISCAIE 2021 - IEEE 11th Symp. Comput. Appl. Ind. Electron., 2021.
- [7] M. S. Hossain Mollah, O. Faruk, M. S. Hossain, M. T. Islam, A. S. M. Shafi, and M. M. Imran Molla, "Design and performance improvement of microstrip patch antenna using graphene material for communication applications," IEEE 11th Symp. Comput. Appl. Ind. Electron., 2021.
- [8] H. M. Marhoon, N. Qasem, N. Basil, and A. R. Ibrahim, "Design and Simulation of a Compact Metal-Graphene Frequency Reconfigurable Microstrip Patch Antenna with FSS Superstrate for 5G Applications," Int. J. Eng. Appl., 2022.
- [9] M. I. Ullah, M. A. Kaium Khan, R. Kabir, and M. A. Alim, "High Performance 5G Microstrip Dipole Antennas for 39GHz Band," IEEE Int. Conf. Signal Process. Information, Commun. Syst. SPICSCON, 2019.
- [10] H. Zhang and Z. Wu, "Analysis of Electromagnetic Properties of New Graphene Partial Discharge Sensor Electrode Plate Material," Sensors, vol. 22, no. 7, 2022.
- [11] W. Choi and J. Lee, Nanomaterials and their Applications, vol. 1. 2020.
- [12] E. J. Chalapud Patiño, "Análisis comparativo de los parámetros de dispersión de una antena microstrip para las bandas de 57-64, 64-71 y 71-76 GHz," Artículo Científico, pp. 1–11, 2021.
- [13] T. T. León Castillo, "Diseño de una antena microstrip para onda milimétrica," Artículo Científico, pp. 1–15, 2020.
- [14] E. A. Zurita Montes De Oca, "Diseño e Implementación De Una Antena Microstrip De Banda Ancha Para La Frecuencia De 2.4 GHz Mediante El Algoritmo Slot-Loaded," Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, 2017.
- [15] B. E. Rodríguez Barrera, "Diseño y simulación de una antena microstrip de rango de operación de super altas frecuencia (3.5 GHz a 6 GHz) para la evaluación de la tasa de absorción específica en tejidos humanos.," p. 114, 2019.