



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO
CARRERA DE TELECOMUNICACIONES

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

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

AUTOR: DIANA ISABEL ALBÁN RUIZ
JOSSELYN ANGELICA SIGCHA SEMANATE

TUTOR: LENIN WLADIMIR AUCATOMA GUAMÁN

Quito – Ecuador
2023

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Diana Isabel Albán Ruiz documento de identificación N° 1726680059 y Josselyn Angelica Sigcha Semanate con documento de identificación N° 1727441154; manifestamos que:

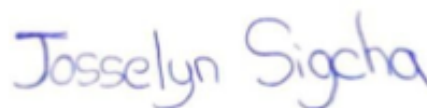
Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Quito, 12 de febrero del año 2023

Atentamente,



Diana Isabel Albán Ruiz
1726680059



Josselyn Angelica Sigcha Semanate
1727441154

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

Nosotros, Diana Isabel Albán Ruiz con documento de identificación N° 1726680059, y Josselyn Angelica Sigcha Semanate con documento de identificación N° 1727441154, 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 dipolo normal con material grafeno en dos frecuencias de la banda de onda milimétrica.”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingenieras 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, 12 de febrero del año 2023

Atentamente,

Diana Isabel Albán Ruiz
1726680059

Josselyn Angelica Sigcha Semanate
1727441154

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Lenin Wladimir Aucatoma Guamán con documento de identificación N° 1718483082, docente de la Universidad Politécnica Salesiana declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: DISEÑO DE UNA ANTENA DIPOLO NORMAL CON MATERIAL GRAFENO EN DOS FRECUENCIAS DE LA BANDA DE ONDA MILIMÉTRICA, realizado por Diana Isabel Albán Ruiz con documento de identificación N° 1726680059 y Josselyn Angelica Sigcha Semanate con documento de identificación N° 1727441154, 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, 12 de febrero del año 2023

Atentamente,



Ing. Lenin Wladimir Aucatoma Guamán. MSc.

1717985830

DEDICATORIA

Este trabajo se lo dedico a Dios quien supo guiarme por el buen camino, darme fuerzas para seguir adelante y no desmayar en los problemas que se presentaban, enseñándome a encarar las adversidades sin perder nunca la dignidad ni desfallecer en el intento. A mis padres Ramiro y Alicia por su amor, paciencia, consejos, comprensión en los momentos difíciles y por ayudarme con los recursos necesarios para poder estudiar, me han dado todo lo que soy como persona mis valores, mis principios y mi coraje para conseguir mis objetivos. A mi hermano Gustavo por ser un gran ejemplo de perseverancia y apoyarme durante todo mi camino universitario y mi vida. A mi hermanito Marlon por estar siempre presente acompañándome, por su carisma y ser mi mejor amigo. A mi amuleto de la buena suerte, mi compañera fiel durante todas las noches de desvelo, que nada más bastaba verte dormida en mi cama para no sentirme sola y trabajar a gusto, gracias Domenica.

-Diana Isabel Albán Ruiz

Dedico en primer lugar este trabajo a Dios y a la virgencita que me ha cuidado y guiado en todo este proceso de estudio, A mi madre que siempre me ha apoyado, aconsejado, y me ha brindado su cariño siempre que la eh necesitado. A mi padre que siempre nos da palabras de aliento y nos guía en este proceso, A mis hermanos que siempre que necesito ayuda están hay en especial a mi hermana que es la parte más fundamental en mi vida es la persona que siempre esta cuando necesito un consejo un abrazo y siempre me ayuda a salir a delante, A Santi que siempre me apoya en cada decisión que tome por su amor y cariño incondicional que se ha vuelto en lo más importante en mi vida, y en especial a cada una de las personas que conocí en este proceso que me han brindado su mano amiga, y me han ayudado a lograr esta meta.

-Josselyn Angelica Sigcha Semanate

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Politécnica Salesiana por darme la oportunidad de formarme como persona y en el ámbito educativo.

A nuestro tutor de tesis Ing. Lenin Wladimir Aucatoma Guamán por su visión crítica, orientación, dedicación y apoyo.

-Diana Isabel Albán Ruiz

Agradezco a mis padres por darme la oportunidad de estudiar y brindarme todo el material necesario durante este proceso, agradezco a cada uno de mis amigos que me han ayudado en cada cosa que eh necesitado, por formar parte de mi vida y brindarme su amistad sincera, Agradezco a cada uno de los ingenieros por el conocimiento adquirido en cada uno de los semestres en especial a los de los últimos semestres.

-Josselyn Angelica Sigcha Semanate

Diseño de una antena dipolo normal con material grafeno en dos frecuencias de la banda de onda milimétrica.

1st Diana Isabel Albán Ruiz
Ingeniería en Telecomunicaciones
Universidad Politécnica Salesiana
Quito, Ecuador
dalbanr@est.ups.edu.ec

2nd Josselyn Angélica Sigcha Semanate
Ingeniería en Telecomunicaciones
Universidad Politécnica Salesiana
Quito, Ecuador
jsigcha@est.ups.edu.ec

3rd Lenin W. Aucatoma G.
Ingeniería en Telecomunicaciones
Universidad Politécnica Salesiana
Quito, Ecuador
laucatoma@ups.edu.ec

Resumen—En el siguiente artículo se presenta el diseño de una antena dipolo para la banda de onda milimétrica en las frecuencias de 50 GHz y 60 GHz. Para que funcione de manera idónea con las propiedades que presenta el grafeno, se utilizó dipolos cuadrados dentro del diseño los cuales se ajustaron en el software ANSYS HFSS según la frecuencia. El grafeno es un material eficiente como conductor y beneficia los parámetros de VSWR y las características principales de la antena dipolo como son: potencia, coeficiente de reflexión, patrón de radiación y ganancia.

Abstract—The following article presents the design of a dipole antenna for the millimeter wave band at frequencies of 50 GHz and 60 GHz. In order to work in an ideal way with the properties presented by graphene, square dipoles were used in the design, which were adjusted in ANSYS HFSS software according to the frequency. Graphene is an efficient material as a conductor and benefits the VSWR parameters and the main characteristics of the dipole antenna such as: power, reflection coefficient, radiation pattern and gain.

Palabras Clave—Antena dipolo, grafeno, 5G, onda milimétrica.

I. INTRODUCCIÓN

Dentro de una primera investigación se encontró trabajos acerca de antenas dipolo para banda de ondas milimétricas [1], en el cual se evidenció el estudio en frecuencias de aplicaciones 5G. Las redes de ondas milimétricas son fundamentales para proporcionar conectividad de alta capacidad en las cuales se requiere antenas con una mayor capacidad, una utilización más amplia del espectro inalámbrico, alta ganancia y capacidad de dirección. [2].

Las excepcionales propiedades del grafeno lo hacen uno de los materiales prometedores en muchas áreas, desde celdas solares hasta transistores de velocidad ultrarrápidos. [3]. Se ha especulado a este material como un posible reemplazo del silicio en la industria electrónica. [4]. Sin embargo, como la tecnología aún no es tan madura como otras y algunas de sus propiedades siguen siendo desconocidas lo que lo convierte en un tema de investigación apremiante. [4] [5].

Las antenas dipolo tienen un papel fundamental de garantizar el enlace requerido en las comunicaciones inalámbricas de las

ondas milimétricas [6] y son las más populares, ya que reciben señales balanceadas y constan de dos elementos metálicos rectilíneos ubicados al final de una línea de transmisión los cuales transportan la energía electromagnética de una fuente. [7].

Existen trabajos anteriores [8] en los que se estudia las características de diferentes tipos de antenas en grafeno tales como microstrip o parche. El presente artículo se centra en el estudio de una antena dipolo dentro de dos frecuencias de onda milimétrica para poder concluir si el grafeno es un material eficiente como conductor y beneficia de manera idónea los parámetros y características principales de la antena.

II. DISEÑO DE ANTENA

En la Figura 1 se presenta el modelo propuesto de la Antena Dipolo que trabaja con frecuencias de 50 GHz y 60 GHz. La misma que se comprobó que las láminas de grafeno son cuadradas, por lo que se trabajó con un modelo de polos cuadrados.

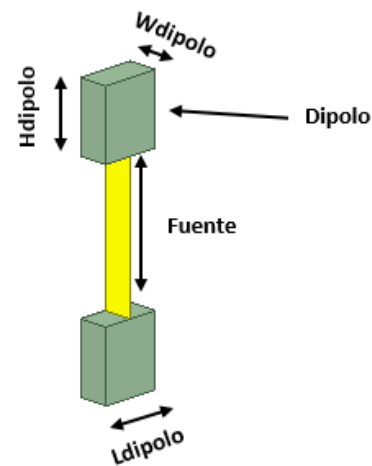


Figura 1: Diseño de la Antena dipolo normal para la frecuencia 50 GHz en onda milimétrica

El diseño propuesto se basa en lo que se explica en [9] con el uso de las fórmulas 1 y 2 que se exponen en dicho artículo.

Fórmulas usadas para la obtención de las propiedades del grafeno

- Permitividad relativa del grafeno

$$Eg = 1 + \frac{i * \sigma_{2D}}{w * t * Ng * E_0} \quad (1)$$

En la ecuación (1), se representa mediante el número de capas de grafeno que se utilizó, el grosor y el valor de la constante dieléctrica de vacío que expone en [9].

- Frecuencia Angular

$$w = 2\pi * f \quad (2)$$

- Conductividad

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

$$\sigma_{gr}(T, u_c, \tau, f) = -0,01 - 3,50 * 10^9 T + 0,02u_c - 0,002\tau - 3,8 * 10^{-15} f \quad (3)$$

Donde:

- Eg : Constante dieléctrica relativa del grafeno
- σ_{2D} : (1212 m/s)
- w : Frecuencia.
- t : Espesor.
- Ng : Número de capas del grafeno.
- E_0 : ($8.854187817 \times 10^{12}$ F/m).

En la tabla I se presenta las propiedades del grafeno para la banda de 50 GHz y 60 GHz [9].

Propiedad	Dipolo normal a 50 GHz	Dipolo normal a 60 GHz
Permitividad Relativa	130	149
Permeabilidad Relativa	1	1
Conductividad	1211.9447 Siemens/m	1211.9447 Siemens/m
Factor G	2	2
Frecuencia Medida	9.4e+09 Hz	9.4e+09 Hz
Densidad de Masa	2267 kg/m ³	2267 kg/m ³

Tabla I: Propiedades del grafeno en el software ANSYS HFSS

En la tabla II y III se presenta las dimensiones que fueron tomadas para los modelos en las distintas frecuencias. El diseño se basa en dos dipolos con material de grafeno y como sustrato el aire.

Capa	Nombre	Antena dipolo normal a 50 GHz [mm]	Antena dipolo normal a 60 GHz [mm]
Dipolo	Hdipolo	0.471	0.4
	Wdipolo	0.2	0.355
	Ldipolo	0.4	0.36

Tabla II: Valores para el diseño de los dipolos

Nombre	Antena dipolo normal a 50 GHz [mm]	Antena dipolo normal a 60 GHz [mm]
XSize	0.4	0.36
YSize	0.2	0.355

Tabla III: Valores para la fuente o sustrato

III. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

III-A. Coeficiente de Reflexión

El objetivo es encontrar un coeficiente de reflexión S(1,1) por debajo de los -15 dB, para lograr una menor reflexión del sistema radiante. Para lo cual se realizó un barrido entre la banda de 20 GHz y 80 GHz.

En la Figura 2 se observa que para la frecuencia de 50 GHz se obtuvo un valor de -21.95 dB y para 60 GHz de -22.47 dB.

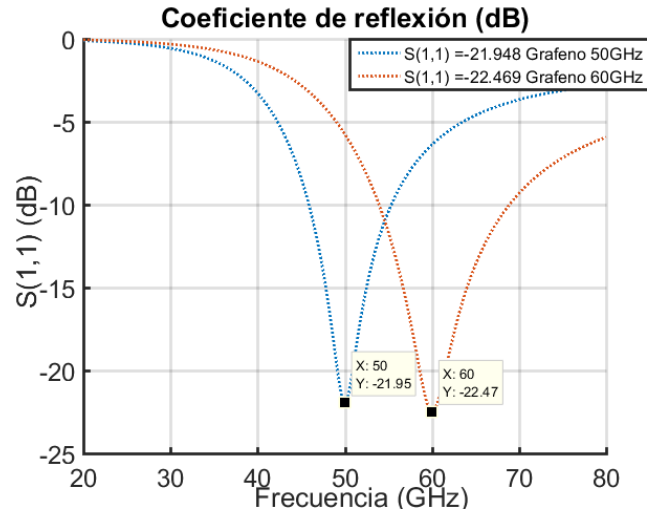


Figura 2: Parámetro de dispersión S(1,1) con frecuencias de 50 GHz y 60 GHz

Se registra el rango de viabilidad del coeficiente de reflexión obtenido de las dos simulaciones, realizando ajustes necesarios en la antena para obtener el valor más alejado de -15 dB, alcanzando el valor más aceptable en la antena que trabaja a 60 GHz.

Frecuencias	Coeficiente de reflexión S(1,1)
50 GHz	-21.22224017
50.50 GHz	-20.70699917
60 GHz	-22.46923036
61 GHz	-21.237263

Tabla IV: Coeficiente de reflexión S(1,1)

En la tabla V evidenciamos los distintos tipos de antenas que funcionan en la banda de onda milimétrica, cada uno de estos diseños trabajan a una frecuencia de 60 GHz. El grafeno al igual que los otros materiales mantiene el coeficiente de reflexión en un rango aceptable, los resultados varían dependiendo de las dimensiones usadas, la longitud de la antena

propuesta es de 0.4 en comparación al estudio realizado [10] donde emplearon el oro como material conductor duplicando este valor a 0.88 por lo que la relación de onda estacionaria con material grafeno es mejor debido a que se disminuye por la distancia que se toma en las líneas de transmisión. El Acero Inoxidable presenta un mejor desempeño de S(1,1) por el tamaño del gap de 0.422 [11] con material grafeno el gap es 0.355, donde al aumentar el grosor de la antenna provoca que la amplitud de la señal se reduzca y las ondas producidas se reflejen, lo mismo ocurre al aumentar el valor de la frecuencia distorsionando el valor de S(1,1).

Nombre de la Antena	Material Utilizado	Variables	Medidas	S(1,1)
Antena Dipolo de media onda	Acero Inoxidable	Longitud del brazo	0.72	-24,2500
		Gap	0.422	
		Radio del brazo	0.221	
Comparación de una antena dipolo con una antena de dos dipolos	Oro	Ldipolo	0.88	-22.1413
		Wdipolo	0.565	
		Hdipolo	0.534	

Tabla V: Valores del coeficiente de reflexión en distintas Antenas

Si el grafeno trabaja con frecuencias altas, mejora el coeficiente de reflexión por debajo de los -15 dB, cada una de las propiedades que presenta este material como la conductividad y la permitividad permite que el grafeno se acople al diseño de la antena, ya sea pequeño o delgado, produciendo que las ondas se reflejen al medio.

La excelente conductividad eléctrica y térmica del grafeno supera por completo a la de los metales. Al mismo tiempo, el grafeno tiene las ventajas de resistencia a altas temperaturas y resistencia a la corrosión, y sus buenas propiedades mecánicas lo hacen más potencial de sustitución de metales en el campo de los materiales electrocalóricos

III-B. Relación de onda estacionaria (VSWR)

En este parámetro, el valor idóneo de VSWR esta comprendido entre 1 a 2. Donde se alcanzó un valor de relación de onda estacionaria de 1 hasta 1.5 que indica que tiene un buen acoplamiento entre las impedancias de la línea de transmisión y la antena. Si se trabaja con un mayor valor de reflexión permitido, provocaría interferencia, y alteraciones en la amplitud de la transmisión de la señal.

En la Figura 3 se observa la relación de onda estacionaria para la frecuencia de 50 GHz se obtuvo 1.39 dB y para 60 GHz el valor de 1.31 dB. Dichos valores se encuentran dentro del rango establecido para un VSWR ideal.

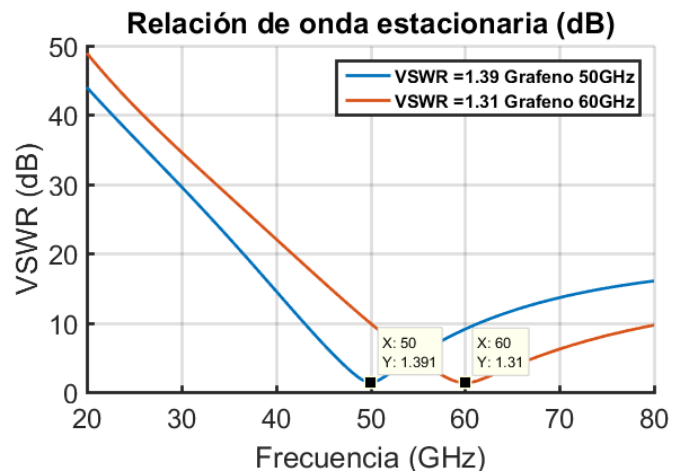


Figura 3: Relación de Onda Estacionaria (VSWR)

En la tabla VI se presenta los valores de VSWR en diferentes tipos de antenas que trabajan a una frecuencia de 60 GHz. La antena diseñada con Acero Inoxidable [12] y cobre [13] usaron el valor de la permitividad del aire, por lo que presentan un VSWR muy cercano a 1 que se encuentra dentro del rango establecido para trabajar. La antena que fue diseñada con Oro [14] y de igual manera uso el aire como sustrato presenta un valor de VSWR de 1.34 dB similar al del grafeno.

Antena	Material	VSWR [dB]
Antena dipolo de media onda	Acero Inoxidable	1,0663
Antena dipolo simple	Cobre	1,020
Antena Dipolo Magneto Eléctrica	Oro	1.3403

Tabla VI: Relación de onda estacionaria

III-B1. Ancho de Banda (BW): El ancho de banda en las antenas dipolos se describen mediante las frecuencias máximas y la mínima dentro de las cuales el rendimiento de la antena va en función del VSWR como se observa en la figura 4 y 5.

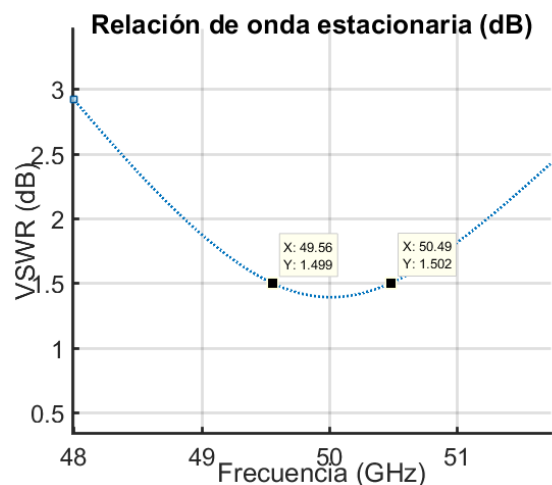


Figura 4: Ancho de banda de la antena dipolo de 50 GHz

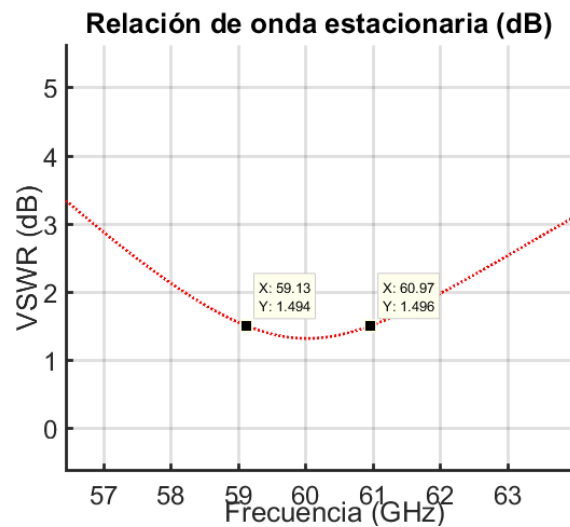


Figura 5: Ancho de banda de la antena dipolo de 60 GHz

En la tabla VII se muestra los valores obtenidos del ancho de banda para las dos frecuencias.

Frecuencias	BW [GHz]
50 GHz	0.93
60 GHz	1.84

Tabla VII: Ancho de banda

Al usar grafeno el ancho de banda provoca frecuencias altas, mejorando su resultado. Esto varia dependiendo del valor del valor de permeabilidad, si es alto provoca que las frecuencias se alteren generando una mejor eficiencia.

III-C. Patrón de radiación

El Patrón de radiación es una representación de las propiedades de radiación que tiene una antena en función del espacio. La figura 8 y 9 se muestra los valores obtenidos con una frecuencia de 50 GHz, que trabaja a -3dB. El diseño obtenido tiene un corte en ϕ a 0° .

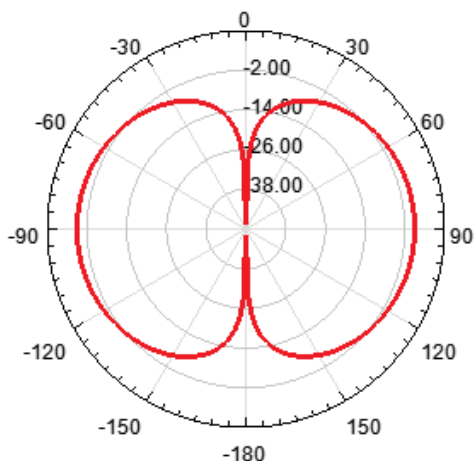


Figura 6: Patrón de radiación a 50 GHz

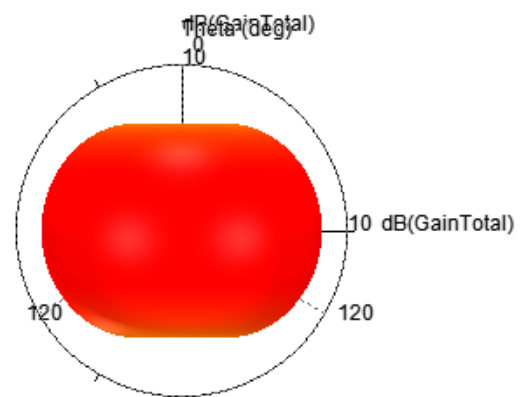


Figura 7: Vista frontal

En la figura 10 y 11 se presenta el patrón de radiación a 60 GHz y el patrón de radiación a una vista frontal.

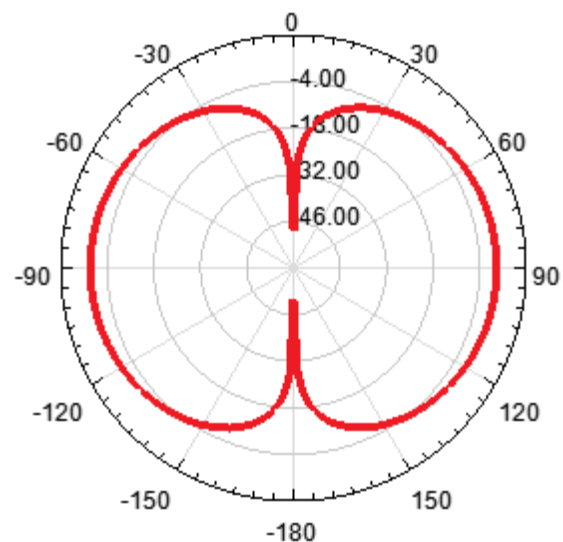


Figura 8: Patrón de radiación a 60 GHz

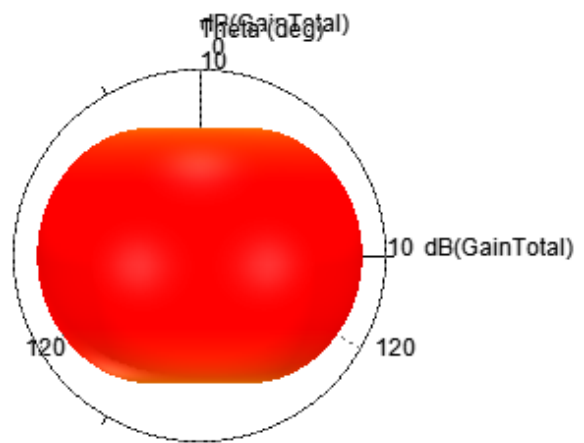


Figura 9: Vista frontal

En la antena dipolo para frecuencias de 50 GHz y 60 GHz se mantiene la misma radiación omnidireccional, en forma de dona y no se observa una influencia en la ganancia máxima ya que como resultados se alcanzó valores entre 1 y 1.2 dBs, presentando una directividad de 90° y -90, 0° en 0dB y uno de -180°

Las antenas dipolo dependiendo del material que se emplee siempre va a tener una radiación omnidireccional en corte en $\Phi \phi$ a 0°, donde su directividad máxima va a estar entre los 90° y -90°.

En la tabla VIII se muestra los valores de ganancia máxima tanto para la frecuencia de 50 GHz como para la de 60 GHz.

Frecuencias	Ganancia Máxima [dB]
50 GHz	1.0
60 GHz	1.2

Tabla VIII: Ganancia Máxima

Al usar el material grafeno mientras el diseño sea más pequeño y de un grosor delgado permite que estas sean capaces de transmitir las ondas con frecuencias mayores a los 50 GHz, produciendo ganancias mayores a 1 dB, ocasionando que el patrón de radiación se mantenga en 0° haciendo un barrido hasta los 90°.

IV. CONCLUSIONES

El uso del grafeno permitió mejorar las características de la antena dipolo donde el valor de VSWR para la frecuencia de 60 GHz es de 1.391, mientras que a 50 GHz es de 1.3097, a pesar, de que los dos valores se encuentran dentro del rango de adaptación (1 a 2) la antena dipolo a 60 GHz muestra una mejor adaptación y relación con las ondas transmitidas-reflejadas que la antena a 50 GHz. Esto contribuyó al parámetro S11 en el cual a 60 GHz tiene un valor de -22.47 dB demostrando que existe menores pérdidas de energía al momento de irradiar, a diferencia de la antena dipolo a 50 GHz con -21.23 dB.

El patrón de radiación para cada una de las frecuencias en las que se trabajó no se evidencia cambios en el diagrama de radiación, para las dos frecuencias propuestas, sin embargo se obtuvo ganancias de 1.1 dB Y 1.2 dB, por lo tanto con los resultados obtenidos el grafeno es idóneo para emplear como material conductor en las antenas tipo dipolo en la banda de onda milimétrica en las frecuencias de 50 GHz y 60 GHz.

REFERENCIAS

- [1] M. A. Cadena Albuja, "Comparación de una antena dipolo con una antena de dos dipolos para banda de ondas milimétricas," B.S. thesis, 2021.
- [2] E. M. Beltrán, "Desarrollo de antenas miniatura uwb con aplicación en sistemas de comunicaciones móviles 5g," *Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California, México*, 2019.
- [3] M. Alibakhshikenari, E. M. Ali, M. Soruri, M. Dalarsson, M. Naser-Moghadasi, B. S. Virdee, C. Stefanovic, A. Pietrenko-Dabrowska, S. Koziel, S. Szczepanski, and E. Limiti, "A comprehensive survey on antennas on-chip based on metamaterial, metasurface, and substrate integrated waveguide principles for millimeter-waves and terahertz integrated circuits and systems," *IEEE Access*, vol. 10, pp. 3668–3692, 2022.
- [4] M. G. M. Medrano, H. C. Rosu, and L. T. González, "Grafeno: el alótropo más prometedor del carbono," *Acta Universitaria*, vol. 22, no. 3, pp. 20–23, 2012.
- [5] A. MENÉNDEZ VELÁZQUEZ, *Historia del futuro: tecnologías que cambiarán nuestras vidas*. Ediciones Nobel, 2017, vol. 47.
- [6] L. Zhao, Y. Li, and J. Wang, "A 3d-printed compact high-efficiency magneto-electric dipole antenna sub-array for millimeter-wave multi-beam applications," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 139 504–139 511, 2019.
- [7] E. Monachesi, A. M. Frenzel, G. Chaile, C. Agustín, and F. A. G. López, "Conceptos generales de antenas," *Publ. En Febrero Del*, 2011.
- [8] R. G. d. AZEVEDO *et al.*, "Antena de grafeno composta de dipolo-espira para aumento da largura de banda," 2017.
- [9] H. Zhang and Z. Wu, "Analysis of electromagnetic properties of new graphene partial discharge sensor electrode plate material," *Sensors*, vol. 22, no. 7, 2022. [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/1424-8220/22/7/2550>
- [10] J. F. Oña Ayala and J. A. Yépez Olalla, "Diseño de una antena plana compacta para banda de onda milimétrica," B.S. thesis, 2020.
- [11] M. A. Cadena Albuja, "Comparación de una antena dipolo con una antena de dos dipolos para banda de ondas milimétricas," B.S. thesis, 2021.
- [12] F. X. López Orbea and I. S. De La Torre Trujillo, "Comparación de los parámetros de dispersión de una antena dipolo para las frecuencias de 60, 67 y 74 ghz," B.S. thesis, 2021.
- [13] D. M. Almagro Toapanta, "Análisis de un arreglo lineal de antenas dipolo simple para onda milimétrica," B.S. thesis, 2022.
- [14] A. E. Santos Moreno, "Diseño de una antena dipolo magneto eléctrica para ondas milimétricas en 5g," B.S. thesis, 2020.