



POSGRADOS

Maestría en
TELEMÁTICA

RPC-SO-01-NO.025-2021

Opción de Titulación:

Artículos profesionales de alto nivel

Tema:

DISEÑO DE UNA NANO ANTENA DIPOLO
PARA QUE OPERE EN LA BANDA DE
FRECUENCIAS DEL ORDEN DE LOS THZ

Autor(es)

IVONNE BRIGUITTE PROAÑO AUQUILLA

Director:

LENIN WLADIMIR AUCATOMA GUAMAN

QUITO – Ecuador

2023



Autor(es):



Ivonne Briguitte Proaño Auquilla

Ingeniero Electrónico

Candidata a Magíster en Telemática por la Universidad Politécnica Salesiana – Sede Quito.

iproanoa@est.ups.edu.ec

Dirigido por:



Lenin Wladimir Aucatoma Guaman

Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones

Magister en Gestión de Servicios Tecnológicos y de Telecomunicaciones

laucatoma@ups.edu.ec

Todos los derechos reservados.

Queda prohibida, salvo excepción prevista en la Ley, cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública y transformación de esta obra para fines comerciales, sin contar con autorización de los titulares de propiedad intelectual. La infracción de los derechos mencionados puede ser constitutiva de delito contra la propiedad intelectual. Se permite la libre difusión de este texto con fines académicos investigativos por cualquier medio, con la debida notificación a los autores.

DERECHOS RESERVADOS

2023 © Universidad Politécnica Salesiana.

QUITO– ECUADOR – SUDAMÉRICA

PROAÑO AUQUILLA IVONNE BRIGUITTE

DISEÑO DE UNA NANO ANTENA DIPOLO PARA QUE OPERE EN LA BANDA DE FRECUENCIAS DEL ORDEN DE LOS THZ

DEDICATORIA

Este trabajo va dedicado con todo mi amor a Dios y a mis padres Juan Carlos Proaño e Ivon Auquilla que fueron la inspiración para seguir adelante en cada momento, por brindarme su apoyo incondicional, su sabiduría para lograr mis propósitos, darme fuerzas y no desmayar en los problemas que se me presentaban y enseñarme que en las adversidades van a estar a mi lado apoyándome, este logro les debo a ustedes y a mi esposo Andrés Herrera por ser parte del proceso y apoyarme en cada momento.

AGRADECIMIENTO

Mis más sinceros agradecimientos, a Dios y a mis padres por guiarme a lo largo de mi vida, ser el apoyo, fortaleza en momentos difíciles por ser los principales promotores de mis sueños y a quien me debo, por su cariño, dedicación, comprensión y consejos que me han brindado durante toda mi vida.

A mi esposo Andrés por su ayuda y animó para continuar, aconsejándome y brindándome su cariño incondicional.

A todos mis docentes por brindarme sus conocimientos a lo largo de la maestría, especial a mi tutora Ing. Lenin Aucatoma por la confianza, apoyo y guiarme con éxito a la elaboración y culminación del proyecto. Al Dr. German Arévalo quien sin importar el día y la hora siempre estuvo durante este proceso de la maestría.

A la Universidad Politécnica Salesiana por haber sido parte principal en el aporte y desarrollo de mis conocimientos desde los 18 años y hasta ahora.

Tabla de Contenido

Resumen	8
Abstract	9
1. Introducción	10
2. Determinación del Problema.....	13
3. Marco teórico referencial.....	14
3.1 Tecnologías 5G y 6G.....	14
3.2 Bandas de frecuencias establecidas por la ITU para 5G.....	15
3.3 Bandas de frecuencias en el orden de los THz para telecomunicaciones.....	15
3.4 El desafío de las antenas a frecuencias altas.....	16
3.5 Parámetros de las antenas	17
3.5.1 Patrón de radiación	17
3.5.2 Ganancia	18
3.5.3 Impedancia	19
3.5.4 Parámetro VSWR y S_{11}	19
3.5.5 Ancho de banda.....	20
3.6 Antena Dipolo	21
3.6.1 Características de la antena dipolo	21
3.6.2 Diseño característico estructural de la antena dipolo	21
3.7 Antena Dipolo Impreso.....	23
3.7.1 Estructura característica de la antena dipolo impreso	23
3.7.2 Características de la antena Dipolo impreso.....	28
4. Materiales y metodología.....	29
5. Resultados y discusión.....	30
5.1 Modelos propuestos para la antena dipolo y dipolo impreso	30
5.1.1 Modelo propuesto para la antena dipolo (dos hilos).....	30
5.1.1 Modelo propuesto para la antena sobre sustrato (dipolo impreso)	32
5.2 Relación de onda estacionaria VSWR.....	33
5.3 Coeficiente de Reflexión ($S_{1,1}$).....	35
5.4 Impedancia	37
5.5 Patrón de radiación	38
6. Conclusiones.....	41

Referencias 42

DISEÑO DE UNA NANO ANTENA DIPOLO PARA QUE OPERE EN LA BANDA DE FRECUENCIAS DEL ORDEN DE LOS THZ.

Autor(es):

IVONNE BRIGUITTE PROAÑO AUQUILLA

Resumen

La demanda de recursos que presentan los sistemas de comunicaciones inalámbricas se ha incrementado significativamente, hace necesario obtener una gran velocidad de transmisión, siendo imprescindible el diseño de antenas que posean una geometría nanométrica, con una propagación de la señal en (THz); aumentando el uso y la calidad de los servicios comunicación. Este artículo contribuye a esta línea de investigación mediante el diseño de una nano-antena que trabaja en los THz, identificando parámetros como el VSWR, parámetro S_{11} , impedancia y patrón de radiación. Se busca trabajar en la banda de los THz por la saturación de las bandas en el orden de los MHz y a futuro las bandas en orden de los GHz. La investigación presenta el diseño, simulación y análisis de una antena dipolo con material de conducción de cobre y oro, una ante dipolo impreso de cobre y plata; de entre los cuatro modelos propuestos el más destacado por ajustarse a los objetivos de investigación es la antena dipolo de cobre con un coeficiente de reflexión -24.6114 dB y un VSWR de 1.0227, como resultado de la variación de la línea de transmisión se tiene un porcentaje de desfase de 99.38% comparando el modelo matemático y sintonizado.

Palabras clave:

Antena, coeficiente de reflexión, dipolo, VSWR, S_{11} , patrón de radiación.

Abstract

The demand for resources presented by wireless communication systems has increased significantly, which makes it necessary to obtain a high transmission speed, making it necessary to design antennas that have a nanometric geometry, with a signal propagation in (THz); increasing the use and quality of communication services. This article contributes to this line of research by designing a nano-antenna that works at THz, identifying parameters such as VSWR, S_{11} parameter, impedance and radiation pattern. It seeks to work in the THz band due to the saturation of the bands in the order of MHz and in the future the bands in the order of GHz. The research presents the design, simulation and analysis of a dipole antenna with copper and gold conduction material, a printed dipole antenna made of copper and silver; Among the four models proposed, the most outstanding for adjusting to the research objectives is the copper dipole antenna with a reflection coefficient of -24.6114 dB and a VSWR of 1.0227, as a result of the variation of the transmission line there is a percentage lag of 99.38%, comparing the mathematical and tuned model.

Keywords:

Antenna, reflection coefficient, dipole, VSWR, S_{11} , radiation pattern.

1. Introducción

En la actualidad las redes de comunicaciones móviles tradicionales de tercera generación (3G) y cuarta generación (4G), se han desarrollado sin considerar diferentes necesidades de comunicación, como el rápido crecimiento de varios servicios de Internet, requisitos de seguridad y muchas herramientas en tiempo real de gran carga (Attarbashi et al., 2022).

Por lo tanto, (4G) no soportará el rápido crecimiento de la cantidad de usuarios que requieren un ancho de banda amplio, alta velocidad de datos y calidad (Saif et al., 2021). Como resultado, las redes inalámbricas de quinta generación (5G) requieren más ancho de banda, conectividad flexible, cobertura más amplia y baja latencia para manejar una gran cantidad de dispositivos y aplicaciones de los usuarios. Sin embargo, el tráfico de la red móvil continúa creciendo rápidamente y requiere nuevas funciones relacionadas con la confiabilidad, la latencia de extremo a extremo, el rendimiento y la solidez de la red (Attarbashi et al., 2022).

Actualmente existe una dificultad con la asignación de frecuencias, por lo mismo se ha incrementado la utilización de las ondas milimétricas, esto para un mayor desarrollo de la tecnología 5G (Salazar, 2017). Para la implementación y desarrollo de nuevas tecnologías orientadas al estudio del espectro electromagnético, se destaca las ondas milimétricas, puesto que está diseñada para soportar el espectro entre 30MHz hasta 90GHz con una longitud de onda que va de 1 a 10 milímetros. Se destaca también que dentro del espectro extendido sobresalen las bandas de 26GHz y 28GHz, siendo compatibles con la armonización del espectro permitiendo el servicio de banda ancha con velocidades superiores a las actuales (Suquillo, 2022).

Las bandas de onda milimétrica tienen varios usos, por ejemplo, la banda de 76GHz se la ha designado para el uso de radares vehiculares, así lo designa tanto la

Comisión Federal de Comunicaciones (FCC) y el Ministerio de Asuntos Internos y Comunicaciones de Japón (MIC) (López & De La Torre, 2021).

Por el desarrollo de las nuevas tecnologías surge la necesidad de la búsqueda de características que superen las capacidades de las tecnologías actuales, debido a que los dispositivos existentes tienen varias limitaciones, haciendo que el espectro de frecuencia se convierta en un recurso limitado (He et al., 2020). Según la FCC posee normas para el correcto avance de la tecnología 5G, permiten un equilibrio de acceso al espectro, puesto a que establece las licencias de uso exclusivo, sin licencia y espectro compartido, todo esto para cubrir con las varias necesidades presentes por parte de los investigadores en la búsqueda del desarrollo de última generación de los sistemas de comunicación inalámbrico (Salazar, 2017).

Las futuras redes móviles se enfrentan a varios desafíos, por mencionar algunos, deben incluir una mayor capacidad de rendimiento, un menor consumo de energía, una mayor eficiencia de espectro, además de más recurso de espectro y menor costo (He et al., 2020). Surge a la par la necesidad de la utilización de nuevas bandas de frecuencia para el cumplimiento de los desafíos antes mencionados, por lo que se ha optado elegir la banda de los THz.

Es complejo el diseño de las antenas en bandas de frecuencia entre los THz, por lo que es importante determinar el tipo de estructura de la antena, siendo esta la más adecuada al tipo de aplicación, además de conocer la configuración óptima para su mejor funcionamiento, obteniendo un buen rendimiento por parte de la antena. En el diseño de antenas se debe tomar en cuenta los parámetros de dispersión que describen el comportamiento eléctrico lineal que varían conforme la frecuencia utilizada (Chalapud, 2021). Es necesario el diseño de antenas compactas que sean capaces de una mejora en la capacidad y calidad de los servicios de comunicación, para que trabajen a una alta velocidad y un gran ancho de banda (Jácome, 2023).

Debido a las longitudes de onda muy cortas de la onda milimétrica, el tamaño físico de la antena se vuelve muy pequeño (Saif et al., 2021). Los tamaños físicos de estas antenas permiten el desarrollo de antenas direccionales muy compactas en

frecuencias superiores en ondas milimétricas y terahercios (THz), también permite que obstáculos metálicos muy pequeños difracten efectivamente una copia de la señal transmitida entre dos usuarios altamente direccionales hacia direcciones fuera del haz principal de transmisor-receptor, permitiendo la recuperación de la señal original (Bosso et al., 2021). La comunicación de velocidad extremadamente alta que supera los 100 Gbps es uno de los requisitos para 6G (Inomata et al., 2021).

Por todo lo anteriormente descrito, se propone una nano antena dipolo para su operación en la banda de frecuencia del orden de los THz, diseñada en base a un análisis del modelo en base al estudio bibliográfico, a partir de las características cumplidas por el diseño se procede a la simulación mediante el software de análisis electromagnético ANSYS HFSS, variando los parámetros de configuración de la antena en el entorno de simulación, como la longitud del dipolo.

El artículo está organizado de la siguiente manera: en el capítulo 2 se presenta la determinación del problema, siendo este la congestión de datos presentes en las tecnologías utilizados en la actualidad. El capítulo 3, presenta el marco teórico de las bandas en los THz, el desafío de las antenas a frecuencias altas y la antena dipolo. En el capítulo 5, muestra los resultados de las simulaciones de los modelos propuestos para los materiales de conducción de oro, cobre y plata; así como su respectivo análisis. Finalmente, el capítulo 6 detalla las conclusiones del trabajo de investigación.

2. Determinación del Problema

Los desafíos tecnológicos en la rama de las Telecomunicaciones y la adaptación de las nuevas tecnologías, implementación de nuevas generaciones como lo son 6G y 7G requiere para sus aplicaciones de servicios fijos y móviles que las velocidades de datos sean super altas, requieren de alta ganancia, polarización cruzada y latencia sumamente bajas (Saif et al., 2021). La adaptación a nuevas generaciones exigen aspectos como un ancho de banda más amplio, un alto aislamiento, ganancia estable y pérdida de capacidad de canal baja (Abohmra et al., 2019). Con este fin, es necesario dentro de todos los bloques de transmisión, analizar también a las antenas en la banda de los THz.

Trabajar en la banda de los THz abre grandes posibilidades de desarrollo para las tecnologías más allá de la de 5G, sin embargo, no se ha desarrollado todo su potencial; es necesario la acoplación de una antena que permita irradiar ondas que trabajen en la banda de los THz, las cuales se caracterizan de acuerdo a las características de la antena diseñada para este propósito (Rubio, 2019).

Uno de los obstáculos más sobresalientes de las comunicaciones al trabajar en la banda de los THz, es la geometría nanométrica de las antenas, esto porque en el momento de su fabricación sufren de pérdidas relativamente altas y bajas, debido a que la frecuencia es inversa a la longitud de onda (He et al., 2020).

3. Marco teórico referencial

3.1 Tecnologías 5G y 6G

En la actualidad, es importante contar con una masiva conectividad para las tecnologías de información, siendo necesario la obtención de una gran velocidad y un amplio ancho de banda. La arquitectura 5G es diversificada, versátil y unificada con una disponibilidad de ancho de banda extraordinaria para una actualización casi ilimitada (Jilani et al., 2018).

La mayor ventaja para el desarrollo de la tecnología 5G, radica en que a frecuencias elevadas los anchos de banda son mayores, logrando así, la obtención de velocidades de transmisión de datos mayores. Con esto las propiedades de atenuación de las señales propagadas, características atmosféricas y dieléctricos se vuelven más graves a frecuencias mayores, por eso es que se requieren de grandes mejoras en la arquitectura de los sistemas de comunicación actuales (Salazar, 2017).

El surgimiento de nuevas aplicaciones impone grandes exigencias al rendimiento de la tecnología inalámbrica de las redes de comunicación. En la era actual, las aplicaciones de 5G, la conducción autónoma y la ultra alta velocidad de video acarrea un incremento masivo de datos, además, es importante el retardo de extremo a extremo, confiabilidad, densidad de dispositivos conectados y eficiencia espectral (Zong et al., 2022).

Con la transformación digital de las redes 5G la era de la comunicación 6G continúa evolucionando. Los requisitos para 6G comprenden la comunicación de velocidad extremadamente alta que supera los 100 Gbps con la intención de que la nueva tecnología utilice bandas de subterahercios (THz) por encima de 100 GHz, esto debido a que se puede utilizar un ancho de banda de frecuencia notablemente más amplio incluso en comparación con 5G (Inomata et al., 2021).

3.2 Bandas de frecuencias establecidas por la ITU para 5G

El Internacional Mobile Telecommunications-2020 (IMT-2020), conocida como 5G, que viene a ser la quinta generación de comunicaciones móviles (Henry et al., 2020).

Tabla 1. Rangos de frecuencia identificados por las IMT.

Frecuencia Inicial (GHz)	Frecuencia final (GHz)	Espectro Adicional (GHz)
24.25	27.5	3.25
37	43.5	6.5
45.5	47	1.5
47.2	48.2	1
66	71	5

Los investigadores se centraron en la caracterización de ondas milimétricas, en sub-100 GHz, con un interés particular en los 28, 38, 60 GHz estas frecuencias y las bandas que las rodean se proponen para su utilización en redes celulares móviles 5G. La tecnología de ondas milimétricas es una de las tecnologías emergentes para el futuro diseño de redes inalámbricas 5G (Saif et al., 2021).

Con el propósito de un aprovechamiento proactivo de las aptitudes ofrecidas por el ancho de banda, los diseños de las antenas tanto de transmisión como de recepción cobra mucha importancia. La banda de onda milimétrica (mmW - millimeter Wave) comprende el espectro de frecuencia en el rango de 30 GHz a 300GHz, esto para lograr altos anchos de banda y llegar a velocidades de hasta 10 Gbps (León, 2020).

3.3 Bandas de frecuencias en el orden de los THz para telecomunicaciones

La banda de los terahercios (THz) se define como aquella región del espectro electromagnético que se encuentra comprendida entre las frecuencias 100GHz y 10THz pertenecen al rango de los Terahercios (THz), las cuales presentan algunas características especiales como: baja energía fotónica, alta absorción de agua o un

gran ancho de banda, todo esto debido a su posición en el espectro, entre las frecuencias de microondas e infrarroja (Rubio, 2019).

El rango de los THz ofrece un espectro con la capacidad de brindar una alta velocidad de datos, junto a un ancho de banda amplio; por lo que esta banda de frecuencia se destina a servir a futuras generaciones de comunicaciones inalámbricas, que van más allá de la quinta generación 5G (He et al., 2020).

En los últimos años, la tecnología de banda ancha ha mostrado un incremento considerable en comparación con otras tecnologías de comunicación, las estadísticas indican que la banda ancha presenta un importante margen de crecimiento para los próximos años, sin embargo, hasta la fecha no existen dispositivos capaces de satisfacer la velocidad de transmisión y el ancho de banda que la banda ancha demandan. Es por ello que existe una fuerte necesidad de fabricar y caracterizar nuevos materiales para el desarrollo de dispositivos electrónicos capaces de operar de manera factible en el régimen de los Tera Hertz (THz) (Rubio, 2019).

3.4 El desafío de las antenas a frecuencias altas

La antena es un elemento transductor que, a muy altas frecuencias, tiene un tamaño muy pequeño, debido a que la frecuencia tiene una proporción inversa a la longitud de onda. Los sistemas que trabajan en la banda de los THz brindan amplias posibilidades de desarrollo, sin embargo, el desafío es alcanzar todo su potencial. El desafío es acoplar una antena adecuada para manejarse en la banda de los THz, para irradiar una onda generada en el orden de los THz, la cual estará definida por las características de la antena elegida (Rubio, 2019).

La comunicación inalámbrica de corto alcance en frecuencias de THz atraviesa muchos obstáculos, esto debido al tamaño muy pequeño de las antenas, las cuales poseen unos pocos micrómetros (Abbasi et al., 2016). Va en aumento la demanda de antenas portátiles en los próximos años, las cuales deben ser diseñadas de forma cuidadosa, para lograr todas las propiedades importantes de la antena, como lo

es el patrón de radiación, ganancia, directividad, coeficiente de reflexión y ancho de banda (He et al., 2020).

Avances recientes en las tecnologías de ondas de los THz han llamado la atención debido al enorme ancho de banda de las ondas THz y su potencial para su uso en las comunicaciones inalámbricas, pues los recientes cambios en el consumo de servicios multimedia por parte de las personas han provocado un explosivo aumento en el tráfico móvil. Por lo que las antenas que trabajan en las frecuencias de los THz deben poseer una mayor capacidad de rendimiento y eficiencia espectral, un menor consumo de energía y costo (He et al., 2020).

3.5 Parámetros de las antenas

Se define a la antena como un sistema conductor, constituido de metal, la cual puede irradiar y capturar ondas electromagnéticas, es utilizada para la conexión de la línea de transmisión al espacio libre, viceversa o ambos (Sánchez & Heredia, 2021). Una antena no está delimitada por un modelo específico por lo tanto existe una gran cantidad de diseños, los cuales dependen de factores como la geometría, materiales conductores y configuración (Salazar, 2017).

3.5.1 Patrón de radiación

En este diagrama se representa la distribución de la energía electromagnética en el espacio (Sánchez & Heredia, 2021). En el diagrama del patrón de radiación se distinguen porciones delimitadas por regiones que poseen una menor intensidad de radiación, llamadas lóbulos, en la Figura 3.1 se identifica la clasificación de los lóbulos del patrón de radiación (Jara & Duy, 2020).

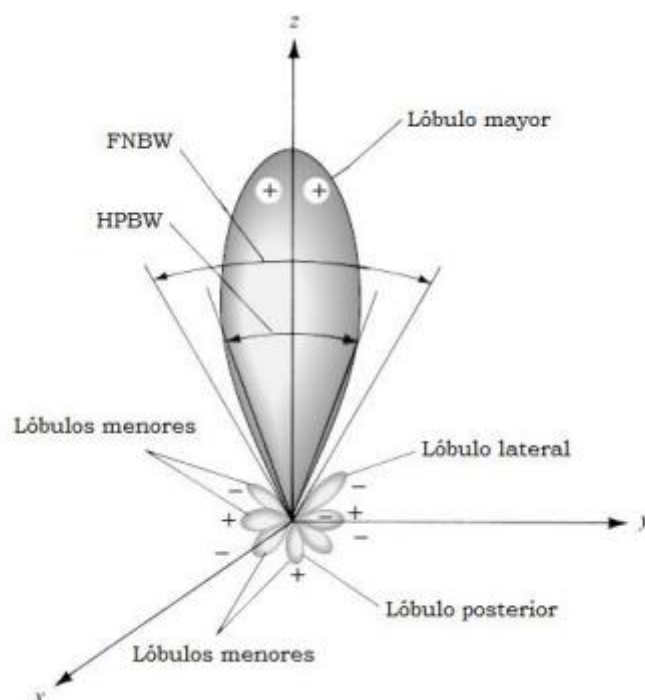


Figura 3.1 Patrón de radiación de una antena característica

Para esto se define al lóbulo principal como la dirección con la máxima radiación, el lóbulo menor es cualquier lóbulo a excepción del principal, el lóbulo lateral es aquel lóbulo de radiación en cualquier otra dirección, comúnmente es adyacente al lóbulo principal, por último, el lóbulo posterior tiene una dirección opuesta al lóbulo mayor

Este diagrama puede expresarse en forma cartesiana o en coordenadas polares, cuyos resultados suelen estar normalizados (Sánchez & Heredia, 2021). En conclusión, el patrón de radiación es la forma con la cual la energía irradiada por la antena se distribuye alrededor de la misma sobre el espacio, siendo así que si el lóbulo es angosto se denomina antena direccional, por lo contrario, si este lóbulo es amplio se trata de una antena omnidireccional (Salazar, 2017).

3.5.2 Ganancia

En una antena la ganancia es relación entre la intensidad irradiada por la antena en una dirección y distancia determinada y la intensidad de radiación obtenida en caso que la potencia de la antena sea irradiada de manera isotrópica (Chimborazo, 2017).

En el caso, donde la dirección no se encuentre definida, en general la ganancia de

potencia es tomada en relación a la dirección de radiación máxima (Salazar, 2017). De forma matemática, se expresa de acuerdo a la ecuación presentada a continuación:

$$G = \frac{4\pi U(\theta, \phi)}{P_{in}} \quad (1)$$

Donde:

- G = Ganancia
- $U(\theta, \phi)$ = Intensidad de radiación en una dirección
- P_{in} = Potencia total de entrada

3.5.3 Impedancia

Para adaptar a la antena a una máxima transferencia de potencia, se la conecta a un transmisor para la irradiación de la máxima potencia posible, con esto se debe tomar en cuenta los valores de la impedancia del transmisor y de la antena (Chimborazo, 2017). En la antena la impedancia de entrada es la relación existente entre la tensión y corriente en los terminales de la antena sin carga adjunta (Jara & Duy, 2020). Se la expresa como la suma de la resistencia de radiación con la resistencia de pérdida (Chimborazo, 2017), como se muestra en la ecuación siguiente:

$$Z_A = R_A + jX_A \quad (2)$$

Donde:

- Z_A = Impedancia de la antena en los terminales a - b
- R_A = Resistencia de la antena en los terminales a - b
- X_A = Reactancia de la antena en los terminales a - b

3.5.4 Parámetro VSWR y S_{11}

Los dispositivos que trabajan a altas potencias tienen un papel fundamental en el campo de las comunicaciones de hoy en día, la relación de voltaje de onda

estacionaria (VSWR-Voltaje Standing Wave Ratio) es un parámetro de importancia, que indica el comportamiento que presenta el voltaje, reflejando la medida de la onda estacionaria, entre la línea de transmisión y la carga en el extremo (Jara & Duy, 2020), el cual se describe en la siguiente ecuación:

$$VSWR = \frac{1+|\Gamma|}{1-|\Gamma|} \quad (3)$$

El parámetro S_{11} describe la intensidad de la onda reflejada respecto a la onda incidente (Wang et al., 2018). Este parámetro representa la cantidad de potencia reflejada desde la antena, es conocido también como coeficiente de reflexión (Γ) o pérdida de retorno (Jara & Duy, 2020), matemáticamente está expresado como:

$$S_{11} = 10 \log \left(\frac{P_i}{P_r} \right) \quad (4)$$

Donde:

- P_i = Potencia incidente
- P_r = Potencia reflejada

3.5.5 Ancho de banda

En una antena el ancho de banda es el rango de frecuencias, donde las características de funcionamiento de la antena son óptimas para desempeñar la función para la cual fueron diseñadas; dicho diseño se obtiene de la relación de los márgenes de frecuencia mínima y máxima, a sintonizar y la frecuencia central con la que va a trabajar la antena (Iza & Toapanta, 2022).

Específicamente para antenas de banda ancha, este parámetro se define como la relación de las frecuencias superiores a la frecuencia inferior de funcionamiento aceptable. Esto se puede explicar, tomando como ejemplo un ancho de banda de 10:1, lo que indica que la frecuencia superior es 10 veces mayor a comparación de la inferior (Salazar, 2017).

3.6 Antena Dipolo

Existen diferentes tipos de antenas, aquellas antenas de hilo se encuentran constituidas por conductores delgados, la dimensión del dipolo es ligeramente más corta que la longitud de media onda; la antena dipolo puede ser usada en cualquier rango de frecuencia (Suquillo, 2022). Las antenas dipolo son el tipo más común, puesto a que, en comparación a todas, es una de las simples. Cada rescatar que el dipolo de media longitud de onda o también llamada Hertz se constituye por un hilo conductor, cuya longitud es igual a la media longitud de onda correspondiente a la frecuencia de trabajo, posee también una separación en el centro, donde se ubicará ya sea un generador o una línea de transmisión (López & De La Torre, 2021).

3.6.1 Características de la antena dipolo

La antena dipolo es una de las utilizadas, esto porque posee una facilidad de construcción, recibe también una señal balanceada. Esta antena está constituida por un hilo recto y un generador colocado en el centro, que posee una tensión reducida y una intensidad elevada. En los extremos del dipolo se encuentra presente una tensión alta y una intensidad nula, permitiendo una mayor ganancia y a su vez una rigidez mecánica (Zhang et al., 2017).

3.6.2 Diseño característico estructural de la antena dipolo

El diseño general de la antena dipolo de media longitud de onda, se presenta en la *Figura 3.2* que contiene las variables que constituyen al modelo (Suquillo, 2022).

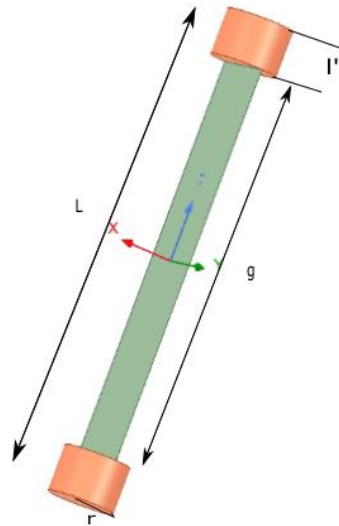


Figura 3.2 Diseño de la Antena Dipolo de media longitud de onda.

La longitud de onda se representa con la letra griega λ (lambda) (Suquillo, 2022), la cual se determina aplicando la ecuación 5, detallada a continuación:

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (5)$$

Donde:

- c = velocidad de propagación de la luz ($3 \times 10^8 \text{ m/s}$)
- f = frecuencia de la señal (Hz)

La ecuación 6, detalla a continuación la longitud total (L) del dipolo.

$$L = \frac{143}{f} \quad (6)$$

La ecuación 7, describe la longitud del brazo (l').

$$l' = \frac{L}{2} - \frac{g}{2} \quad (7)$$

La ecuación 8, detalla el tamaño del radio (r).

$$r = \frac{\lambda}{1000} \quad (8)$$

La ecuación 9, describe el espaciado existente entre los brazos conductores, llamado Gap (g).

$$g = \frac{L}{200} \quad (9)$$

3.7 Antena Dipolo Impreso

En los últimos años se ha visto el aumento de la popularidad del uso de las antenas planas, esto porque ofrecen una facilidad en la adaptación que posee para con los sistemas de radiocomunicación. La antena dipolo impreso, es un diseño que consta de dos polos formado a partir de las líneas de microstrip, de constitución simple pero con un mejor rendimiento que otro tipo de parche (Rambe et al., 2021), como se presenta en la figura 3.3.

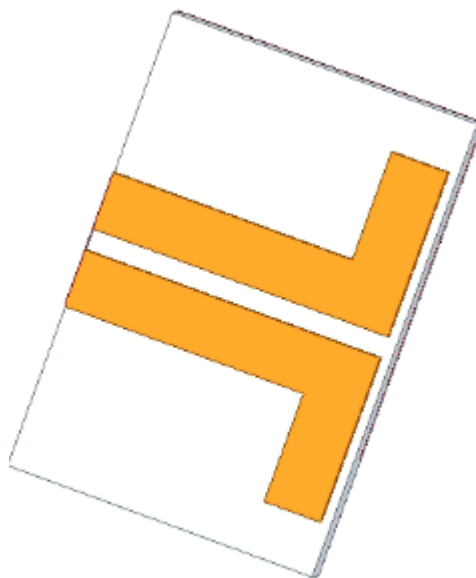


Figura 3.3 Estructura característica de la antena dipolo impreso.

3.7.1 Estructura característica de la antena dipolo impreso

En este tipo de antenas el ancho de la línea microstrip se encuentra diseñado en base al valor de la impedancia característica de línea requerida (Rambe et al., 2021), en la Figura 3.4 se identifica la estructura característica de la antena dipolo impreso.

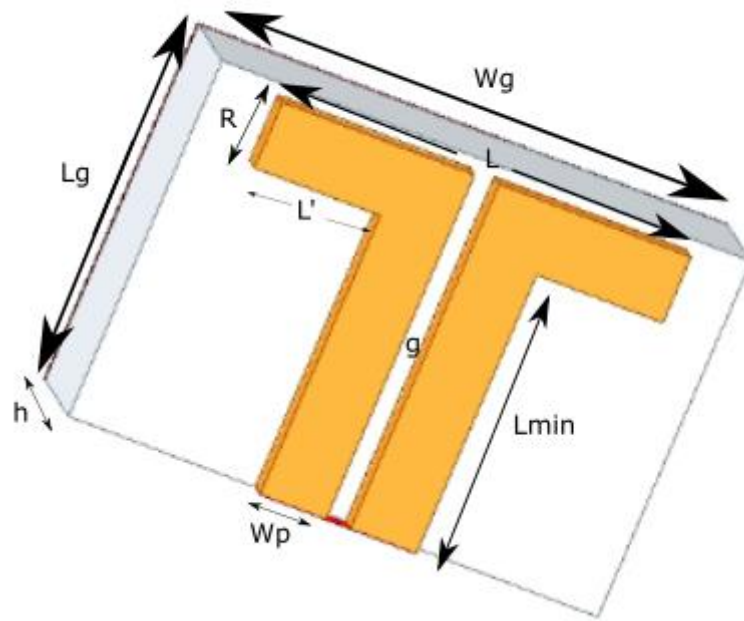


Figura 3.4 Estructura de la antena híbrida

- W_p = ancho del parche
- L = longitud total del dipolo
- R = radio del dipolo
- L' = longitud del brazo
- g = gap
- W_g = ancho del sustrato
- L_g = longitud del sustrato
- h = altura del sustrato

El radio del dipolo se calcula con la ecuación 10, presentada a continuación:

$$R = \frac{\lambda}{1000} \quad (10)$$

La longitud total del dipolo se calcula con la ecuación 11, presentada a continuación:

$$L = \frac{143}{f} \quad (11)$$

La longitud del brazo se calcula con la ecuación 12, presentada a continuación:

$$L' = \frac{L}{2} - \frac{lg}{2} \quad (12)$$

El Gap se calcula con la ecuación 13, presentada a continuación:

$$g = \frac{L}{200} \quad (13)$$

El ancho del parche se calcula con la ecuación 14:

$$W_p = \frac{c}{2f_r \sqrt{\frac{\epsilon_r + 1}{2}}} \quad (14)$$

Donde:

- c = velocidad de la luz (3×10^8) [$\frac{m}{s}$]
- f_r = Frecuencia de resonancia [Hz]
- ϵ_r = constante dieléctrica relativa del sustrato

La ecuación 15, detalla el constante dieléctrico efectivo:

$$\epsilon_{reff} = \frac{(\epsilon_r + 1)(\epsilon_r - 1)}{2} \left(1 + 12 \frac{h}{W_p} \right)^{-\frac{1}{2}} \quad (15)$$

Donde:

- ϵ_r = constante dieléctrica relativa del sustrato
- h = Altura del sustrato [mm]
- W_p = Ancho del parche [mm]

La ecuación 16, expresa el cálculo de la longitud efectiva del elemento conductor:

$$L_{eff} = \frac{c}{2f_r \sqrt{\epsilon_{reff}}} \quad (16)$$

Donde:

- c = velocidad de la luz (3×10^8) [$\frac{m}{s}$]
- ϵ_{reff} = constante dieléctrico efectivo

- f_r = Frecuencia de resonancia [Hz]

La ecuación 17, expresa el cálculo del incremento de la longitud:

$$\Delta_L = 0.412h \frac{(\epsilon_{reff} + 0.3) \left(\frac{W_p}{h} + 0.264\right)}{(\epsilon_{reff} - 0.258) \left(\frac{W_p}{h} + 0.8\right)} \quad (17)$$

Donde:

- ϵ_{reff} = constante dieléctrico efectivo
- W_p = Ancho del parche [mm]
- h = Altura del sustrato [mm]

La ecuación 18 indica el cálculo de la longitud del parche:

$$L_b = L_{eff} - 2\Delta_L \quad (18)$$

Donde:

- L_{eff} = longitud efectiva
- Δ_L = incremento de la longitud [mm]

La ecuación 19 indica el cálculo del ancho del sustrato:

$$W_g = 6h + W_p \quad (19)$$

Donde:

- h = Altura del sustrato [mm]
- W_p = Ancho del parche [mm]
- f_r = Frecuencia de resonancia [Hz]

Para el cálculo de la línea de transmisión se pueden aplicar las siguientes ecuaciones detalladas a continuación:

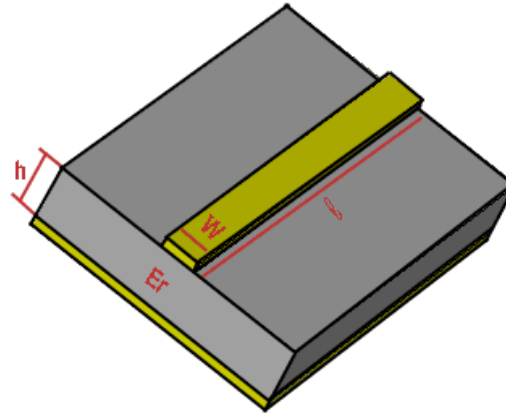


Figura 3.5 Dimensiones de una línea microstrip

$$Z_o = \begin{cases} \frac{60}{\sqrt{\epsilon_e}} \ln \left(\frac{8h}{W} + \frac{W}{4h} \right) & \text{para } \frac{W}{h} \leq 1 \\ \frac{120\pi}{\sqrt{\epsilon_e} \left[\frac{W}{h} + 1.393 + 0.667 \ln \left(\frac{W}{h} + 1.444 \right) \right]} & \text{para } \frac{W}{h} \geq 1 \end{cases} \quad (20)$$

$$\frac{W}{h} = \begin{cases} \frac{8e^A}{e^{2A}-2} & \text{para } \frac{W}{h} < 2 \\ \frac{2}{\pi} \left[B - 1 - \ln(2B - 1) + \frac{\epsilon_r - 1}{2\epsilon_r} \left(\ln(B - 1) + 0.39 - \frac{0.61}{\epsilon_r} \right) \right] & \text{para } \frac{W}{h} > 2 \end{cases} \quad (21)$$

$$A = \frac{Z_o}{60} \sqrt{\frac{\epsilon_r + 1}{2}} + \frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r + 1} \left(0.23 + \frac{0.11}{\epsilon_r} \right) \quad (22)$$

$$B = \frac{377\pi}{2Z_o\sqrt{\epsilon_r}} \quad (23)$$

$$\epsilon_e = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{12h}{W}}} \quad (24)$$

$$k_o = \frac{2\pi f}{c} \quad (25)$$

$$l = \frac{\theta - \frac{\pi}{180}}{\sqrt{\epsilon_e} k_o} \quad (26)$$

Donde:

- Z_o = Impedancia característica de la línea microstrip

- W = Ancho de la línea microstrip
- l = Longitud de la línea microstrip
- ϵ_r = Constante dieléctrica
- ϵ_e = Constante dieléctrica efectiva de la línea de microstrip
- k_o = Constante de propagación
- h = Altura del material dieléctrico

3.7.2 Características de la antena Dipolo impreso

Este tipo de antenas es de fácil fabricación, posee pequeñas dimensiones, es de fácil integración para con otros dispositivos, además de bajo costo y posee un amplio ancho de banda, gracias a estas características estas antenas han formado parte de gran desarrollo tecnológico, siendo utilizadas en los sistemas de comunicación de última generación, al ser muy versátiles son implementadas en varias aplicaciones en el área militar, médica, espacial y civil (Salazar, 2017).

En su forma más simple, está constituida por un “parche” de metal, comúnmente de forma rectangular o circular en la parte superior del sustrato que se encuentra conectado a tierra. Estas antenas poseen un perfil delgado, peso ligero, por lo que se puede integrar con circuitos (Aburto et al., 2021)

4. Materiales y metodología

Para el desarrollo del trabajo de investigación se utilizó el software ANSYS HFSS que hace un análisis de elementos finitos, dicho software de análisis electromagnético posee una técnica numérica que emplea un método de elementos finitos, el cual es un proceso de refinamiento de la malla adaptativa, que dibuja alrededor del modelo 3D de una manera interactiva.

Con el método inductivo se especifica a partir de un concepto general a la antena, misma que se define como un elemento transductor, la cual a muy altas frecuencias dispone de un tamaño muy pequeño, esto debido a que la frecuencia con la que trabaja es inversamente proporcional a la longitud de onda. Se diseña una antena dipolo de media longitud de onda, la cual está constituida de un hilo conductor, que posee una longitud igual a la media longitud de onda que corresponde a la frecuencia de trabajo, cuenta con una separación en el centro, tiene facilidad en su construcción. La antena microstrip tiene una facilidad de adaptación para los sistemas de comunicación inalámbrica, dicha antena es colocada sobre un sustrato dieléctrico, que se apoya en un plano de tierra.

Con el método experimental, se crean las antenas dipolo y dipolo impreso mediante el uso de las ecuaciones establecidas en el capítulo 3, posteriormente al no contar con los valores deseados en la investigación para los parámetros (S_{11}), VSWR, impedancia y patrón de radiación, se procede a ajustar las dimensiones de la antena, tanto en el modelo de hilos como en el modelo sobre un parche.

Finalmente, mediante el método comparativo se revisará el impacto que tienen la antena dipolo y dipolo impreso, obtenidas en cada simulación, para analizar el impacto de la frecuencia del orden de los THz en los diferentes modelos propuestos para identificar los cambios que hubo en los parámetros tales como el coeficiente de reflexión (S_{11}), VSWR, impedancia y patrón de radiación.

5. Resultados y discusión

Se usará una frecuencia de 300GHz, con lo que se buscará obtener una antena con un S_{11} bajo los -10dB, un VSWR entre 1 y 1.5, con una ganancia mayor a 2 o 3dB.

En (Suquillo, 2022) se encuentran las fórmulas que define al modelo de la antena dipolo, las cuales están detalladas en el capítulo 3 en el apartado 3.6.2. Para la antena dipolo impreso en (Llumiyinga et al.,2022) se detallan las fórmulas para la definición del modelo, las cuales se presentan en el capítulo 3 en el apartado 3.7.1. Los materiales usados en los brazos del dipolo es el oro, cobre y plata como material conductor, para la obtención de una mayor eficiencia de radiación, pues estos poseen mejores parámetros de permitividad que permiten observar la influencia del material en la frecuencia de resonancia. Se presenta en la *Tabla 2*, los materiales catalogados por excelencia como mejores conductores.

Tabla 2. Propiedades de los materiales utilizados en la fabricación de las antenas.

Material	Permitividad Relativa	Permeabilidad Relativa
<i>Oro</i>	1	0.999960
<i>Cobre</i>	1	0.999991
<i>Plata</i>	1	0.999980

5.1 Modelos propuestos para la antena dipolo y dipolo impreso

Con la ayuda del software de simulación ANSYS HFSS, se diseñaron los modelos de las antenas dipolo e híbrida, los cuales corresponden a:

5.1.1 Modelo propuesto para la antena dipolo (dos hilos)

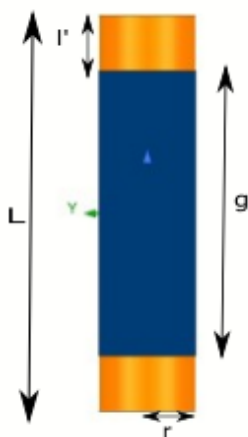


Figura 5.1 Modelo propuesto Antena dipolo

Este tipo de antenas son consideradas simétricas, debido a que su alimentación se encuentra ubicada en la mitad de la misma, causando que el campo magnético se origine por la circulación de la corriente a través del dipolo y alrededor del conductor en intervalos de tiempo, generando valores máximos, mínimos y ceros.

Tabla 3. Porcentaje de desfase entre los modelos matemáticos y modelos sintonizados de la antena dipolo a la frecuencia de resonancia de 300GHz.

			Gap g[mm]	Radio del Brazo r[mm]	Largo de Brazo l'[mm]
Cobre	300GHz	Valor matemático (VM)	0.0024	0.001	0.00025
		Valor sintonizado (VS)	0.2	0.08	0.04
		% de Desfase	98.80%	98.75%	99.38%
Oro	300GHz	Valor matemático (VM)	0.0024	0.001	0.00025
		Valor sintonizado (VS)	0.243	0.08	0.047
		% de Desfase	99.01%	98.75%	99.47%

En la *Tabla 3* se presenta el desfase porcentual de los parámetros dimensionales gap, radio y largo del dipolo de los modelos propuestos para la antena dipolo, entre los diseños matemáticos y sintonizados (ajuste), que representa la diferencia existente entre dichos modelos con sus diferentes materiales, siendo estos cobre y oro.

5.1.1 Modelo propuesto para la antena sobre sustrato (dipolo impreso)

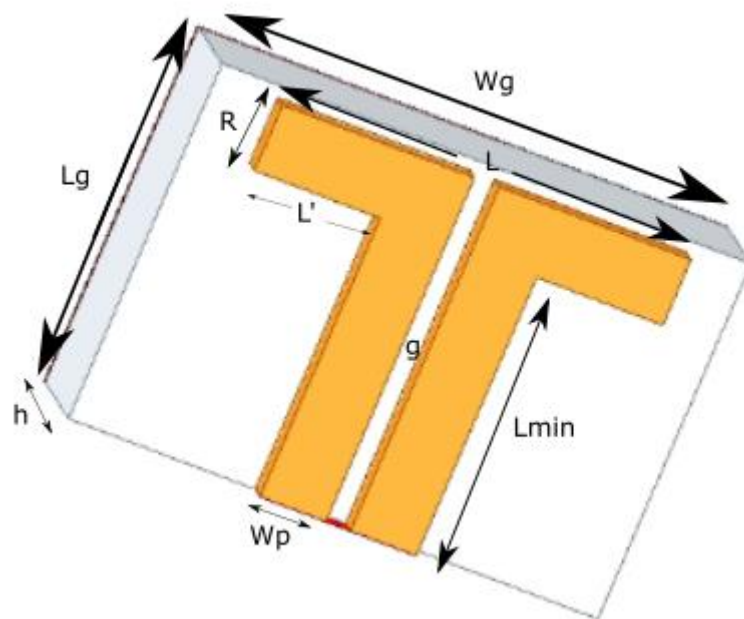


Figura 5.2 Modelo propuesto Dipolo impreso

En la *Tabla 4* se presenta el desfase porcentual de los parámetros dimensionales altura de la línea de transmisión, separación del dipolo, longitud del dipolo y largo del brazo de los modelos propuestos para la antena dipolo impreso para los materiales cobre y plata, entre los diseños matemáticos y sintonizados (ajuste), que representa la diferencia existente entre dichos modelos. El ajuste se enfoca en la variación de la longitud de la línea de transmisión.

Tabla 4. Parámetros dimensionales de la antena híbrida a la frecuencia de 300GHz.

			Línea Tx	Patch			Sustrato		
			Altura de la línea de transmisión Lf[mm]	Radio del dipolo R[mm]	Longitud total del dipolo L[mm]	Longitud del brazo L' [mm]	Gap g[mm]	Ancho del sustrato Wg [mm]	Longitud del sustrato Lg[mm]
Cobre	300GHz	Valor matemático (VM)	0.035	0.001	0.4766	0.2371	0.002383	9	9
		Valor sintonizado (VS)	0.015	0.015	0.309	0.15	0.009	0.28	0.43
		% de Desfase	133.33%	93.33%	54.24%	58.07%	73.52%	3250.71%	2081.86%
PLATA	300GHz	Valor matemático (VM)	0.035	0.001	0.4766	0.2371	0.002383	9	9
		Valor sintonizado (VS)	0.015	0.015	0.318	0.15	0.018	0.2899	0.43
		% de Desfase	133.33%	93.33%	49.87%	58.07%	86.76%	3136.29%	2081.86%

En la antena dipolo impreso se identificó que los sustratos que poseen un mejor desempeño son aquellos que poseen un gran grosor, cuya constante dieléctrica está en el intervalo inferior, pues con esto se genera una mejor eficiencia y a su vez un mayor ancho de banda; por lo contrario, al tener un sustrato delgado la constante dieléctrica tiene tendencia al intervalo superior, teniendo mayores pérdidas, además de tener un ancho de banda muy pequeño, siendo así menos eficiente.

5.2 Relación de onda estacionaria VSWR

En la *Figura 5.3* se presenta la comparación del parámetro VSWR de los 4 modelos propuestos, que son la antena dipolo con material conductor de oro y cobre, y la antena dipolo impreso con material conductor de oro y plata. Este parámetro tiene como objetivo la obtención de valores de VSWR que se encuentren en el rango de 1 a 1.5, donde un valor equivalente a 1 indica que el acoplamiento de impedancias de la línea de transmisión es factible, en rangos superiores la onda genera rebotes y a su vez interferencias, observándose un cambio representativo en la amplitud de

la onda. A altas frecuencias un VSWR superior a 1.5 produce pérdidas en QoS, por otro lado, el máximo teórico de VSWR es 2, si se llega a tener valores cerca a este límite, el diseño de la antena no sería eficiente.

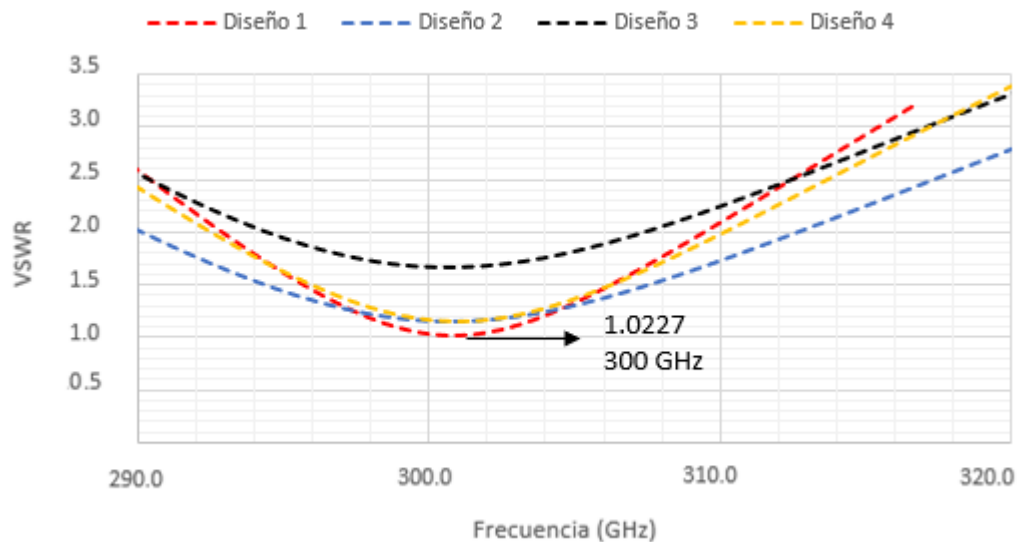


Figura 5.3 VSWR de los cuatro modelos propuestos.

Se observa que el parámetro VSWR se encuentra en el rango de 1 a 1.5, en la tabla 5 se presenta los resultados de VSWR de los cuatro modelos propuestos. El acoplamiento de impedancias con la línea de transmisión es el adecuado para el mejor valor de la relación de onda estacionaria que es de 1.0227 del diseño 1.

Tabla 5. Resultados de VSWR de los cuatro modelos propuestos.

Diseños	VSWR	Frecuencias [GHz]
Diseño 1-Antena dipolo de cobre	1.0227	300
Diseño 2-Antena dipolo de oro	1.1468	300
Diseño 3-Antena dipolo impreso de cobre	1.6660	300.25
Diseño 4-Antena dipolo impreso de plata	1.1508	300.25

Para llegar a dichos resultados, se puso énfasis en la variación de la línea de transmisión en el modelo de la antena dipolo de cobre, trabajar con este parámetro implicó desfases del 99.38% con respecto a los valores matemáticos obtenidos aplicando las fórmulas que definen este modelo de antena. Haciendo que se

desplace en cierto rango de variación de milímetro a milímetro hacia la izquierda de la frecuencia, debido a que entre más grande el largo de los brazos, la frecuencia de sintonización se desplaza más hacia la izquierda. Para la antena dipolo de oro al realizar la variación del largo del brazo se obtuvo un porcentaje de desfase de 99.47%, siendo este parámetro el que definió dicho modelo.

Para un mejor ajuste del modelo de la antena dipolo impreso, el parámetro que definió dicho modelo, es la altura de la línea de transmisión, donde al comparar los valores matemáticos y sintonizados se presentan desfases de 133.33% para el material conductor de cobre y 133.33% para la plata.

5.3 Coeficiente de Reflexión ($S_{1,1}$)

Este parámetro indica la relación existente en la entrada y salida entre los puertos perteneciente a un sistema eléctrico. En la *Figura 5.4* se indica la gráfica del coeficiente de reflexión (S_{11}) de los cuatro modelos propuestos.

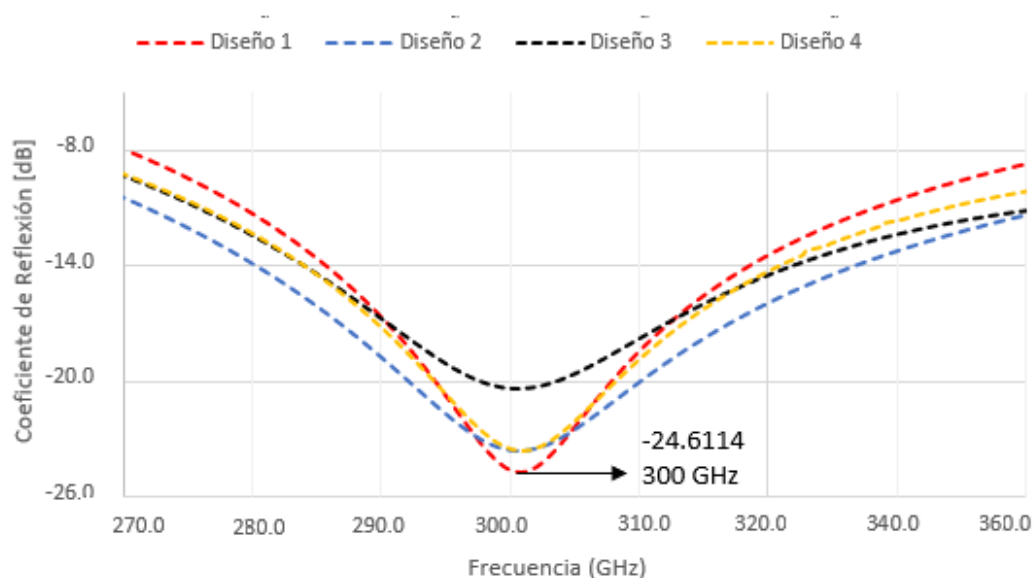


Figura 5.4 Comparación de los resultados obtenidos del coeficiente de reflexión (S_{11}) vs frecuencia de los cuatro modelos propuestos.

En la tabla 6 se presenta los valores del parámetro S_{11} vs. Frecuencia de operación, donde se evidencia que el diseño 1 posee una mejor funcionalidad, donde el valor de S_{11} más eficaz obtenido es de -24.6114 a una frecuencia de 300GHz.

Tabla 6. Resultados del coeficiente de reflexión (S_{11}) de los cuatro modelos propuestos.

<i>Diseños</i>	S_{11} [dB]	Frecuencias [GHz]
<i>Diseño 1-Antena dipolo de cobre</i>	-24.6114	300
<i>Diseño 2-Antena dipolo de oro</i>	-23.6195	300
<i>Diseño 3-Antena dipolo impreso de cobre</i>	-20.3897	300.25
<i>Diseño 4-Antena dipolo impreso de plata</i>	-23.5893	300.25

En la antena dipolo al realizar la variación de porción de desfase de 99.38% para el cobre y 99.47% para el oro, el parámetro que se ve afectado es el coeficiente de reflexión (S_{11}), pues se desplaza la gráfica hacia arriba o hacia abajo, esto dependiendo del valor de variación, ya que al realizar variaciones de valores grandes el S_{11} se desplaza hacia niveles bajos de -22 dB.

En la antena dipolo impreso al realizar la variación de la disminución del largo de los brazos del dipolo, se presenta una porción de desfase de 58.07%, tanto para el material conductor de cobre y oro, donde la frecuencia de resonancia se desplaza hacia la izquierda y se tiene un aumento en el parámetro S_{11} . Por otro lado, al aumentar la variación del largo de los brazos del dipolo la frecuencia de resonancia se desplaza hacia la derecha.

Los parámetros dimensionales destacables de sintonización en los modelos propuestos son: en la antena dipolo tanto para el material conductor cobre y oro, el porcentaje de desfase del radio del brazo es de 98.75%.

El parámetro Gap es el espacio entre los brazos, haciendo una comparación con los valores matemáticos y valores sintonizados de dicho modelo, en dicho parámetro existe un desfase de 98.8% para el material conductor cobre. En el modelo de la antena dipolo impreso uno de los parámetros que se ajustaron es la separación del dipolo obtuvo una porción de desfase del 73.52% para el material conductor de

cobre y 86.76% para el material conductor de plata, siendo 0.002382 mm la separación entre los brazos adecuada.

Mientras que la longitud del dipolo presenta desfases de 54.24% para el cobre y 49.87% para la plata. El desfase indica que a frecuencias superiores las dimensiones de las antenas se desbordan, por lo que se hace cada vez más complejo la utilización de la matemática para el diseño de este tipo de antenas. Se destaca que el cobre como material conductor es el que mejores características presentó al momento de realizar el modelamiento de la antena, esto debido a que mientras la frecuencia aumenta el VSWR aumenta de manera proporcional.

5.4 Impedancia

Esta impedancia de entrada de las antenas es la suma de la resistencia de radiación con la resistencia de pérdida, donde la resistencia de radiación es aquella que disipa óhmicamente la misma potencia que la radiada por la antena, mientras que la resistencia de pérdida es aquella que disipa óhmicamente la misma potencia que se pierde por la antena. En la *Figura 5.5* se presenta la impedancia de entrada de los cuatro modelos propuestos.

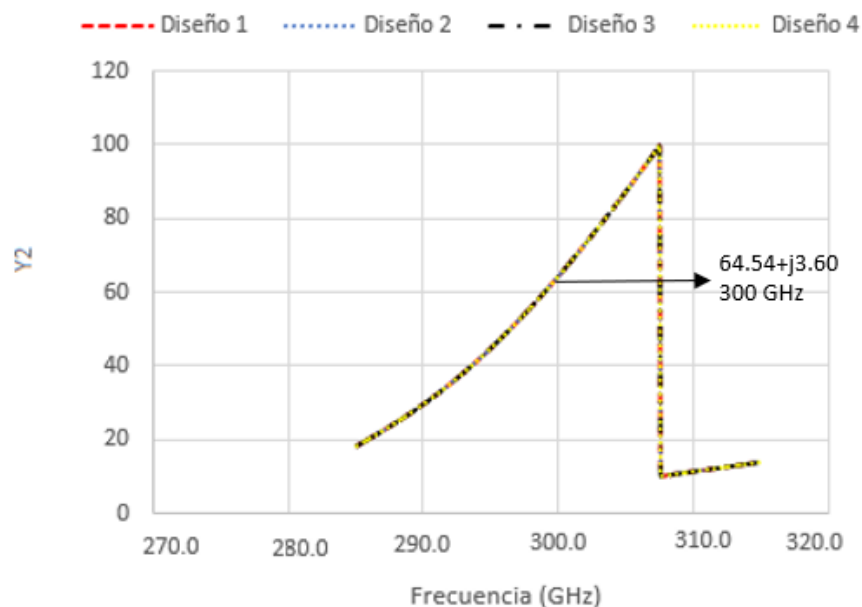


Figura 5.5 Impedancia de entrada de los cuatro modelos propuestos.

En la tabla 7 se muestra los valores de la impedancia de entrada de los cuatro modelos propuestos, donde se evidencia que el diseño 1 posee una impedancia de $64.54+j3.60$, el diseño 2 un valor $64.45+j4.04$, el diseño 3 un valor de $66.40-j0.92$ y el diseño 4 un valor de $90.63-j2.57$ a una frecuencia de 300GHz.

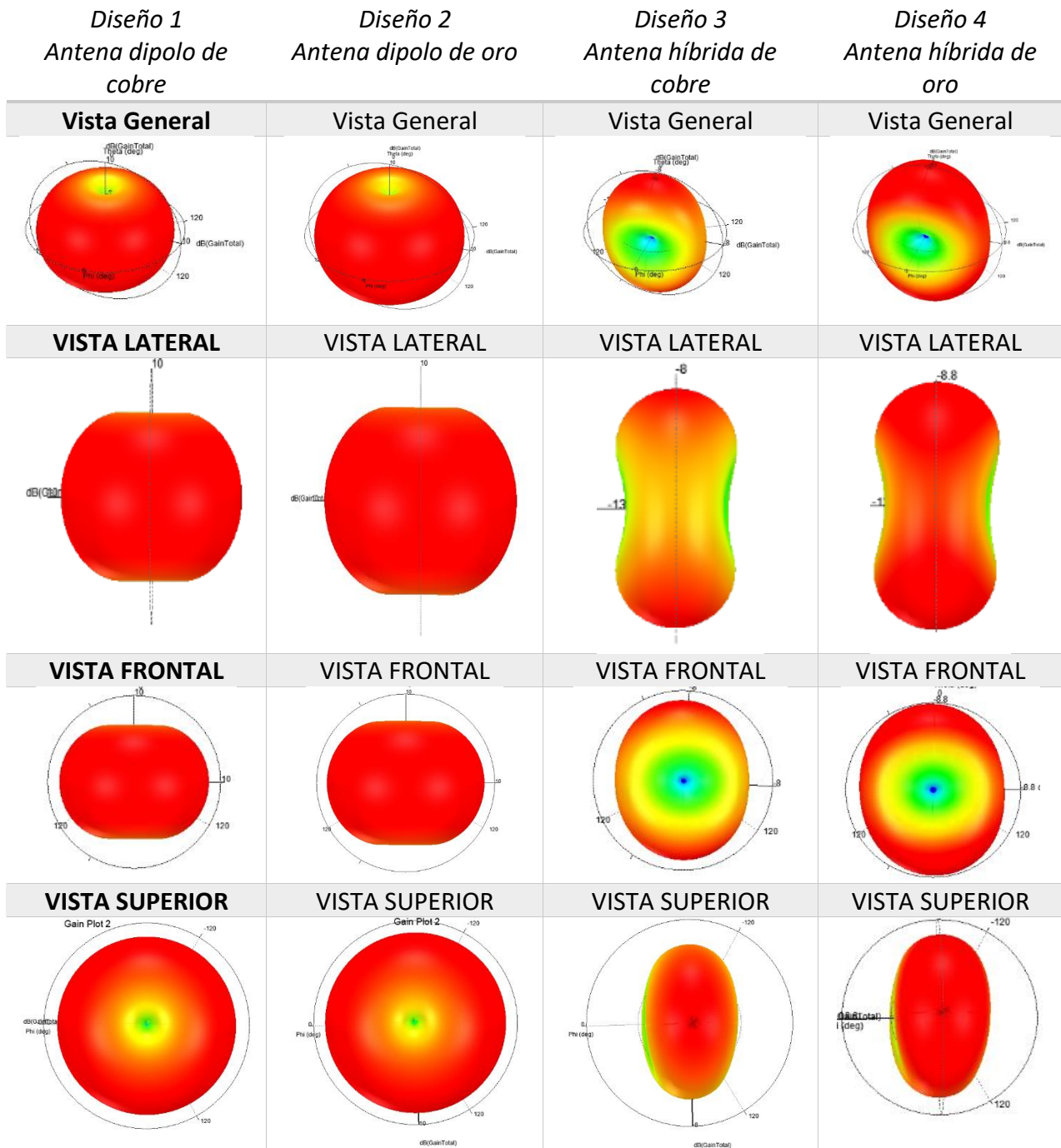
Tabla 7. Resultados de la impedancia de entrada de los cuatro modelos propuestos.

<i>Diseños</i>	Impedancia	Frecuencias [GHz]
<i>Diseño 1-Antena dipolo de cobre</i>	$64.54+j3.60$	300
<i>Diseño 2-Antena dipolo de oro</i>	$64.45+j4.04$	300
<i>Diseño 3-Antena dipolo impreso de cobre</i>	$66.40-j0.92$	300
<i>Diseño 4-Antena dipolo impreso a de plata</i>	$90.63-j2.57$	300

5.5 Patrón de radiación

Este parámetro es una representación gráfica de las variables de radiación de la antena, cuyas gráficas tridimensionales se presentan en la tabla 8 y en la *Figura 5.6* se muestran los lóbulos de los cuatro modelos propuestos.

Tabla 8. Patrón de radiación 3D de los cuatro modelos propuestos.



La antena dipolo de media longitud de onda, tiene un patrón de radiación omnidireccional, además que se apega a la llamada forma de “dona” en su patrón de radiación en el plano E, tanto para el material conductor de cobre como de oro, que es un comportamiento ideal de la antena dipolo, para alcanzar esta forma los

lóbulos de radiación se expanden de forma progresiva en la frecuencia de resonancia, hasta alcanzar a una directividad máxima de 90° y -90° , mientras que su directividad mínima alcanza 0° y 180° .

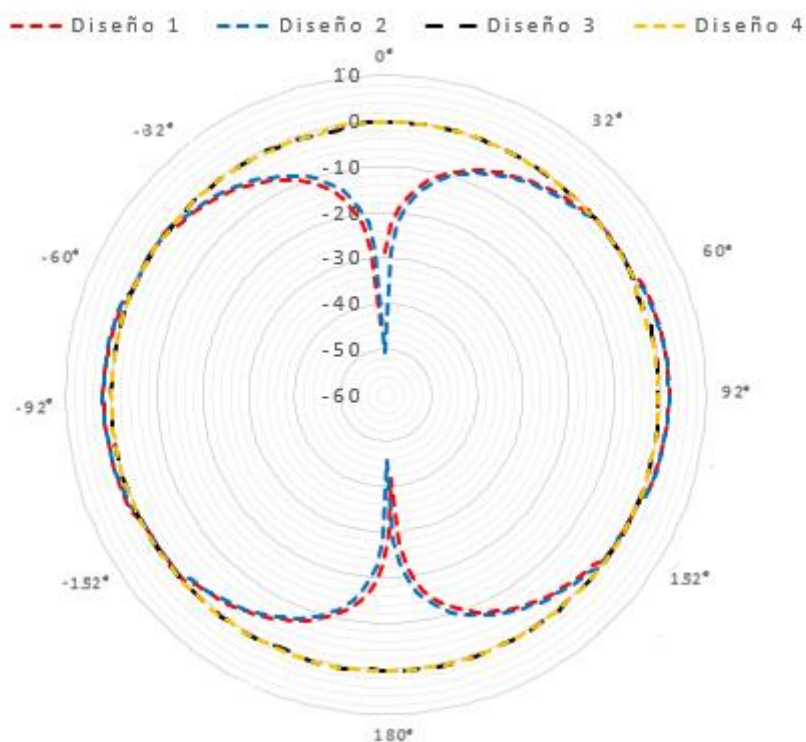


Figura 5.6 Patrón de radiación en 2D de los cuatro modelos propuestos.

En la tabla 8 se observa el valor mínimo y máximo de los lóbulos del patrón de radiación. Entonces estos valores indican la ganancia máxima y mínima que tiene cada uno de los modelos propuestos.

Tabla 8. Valores de los lóbulos del patrón de radiación de los cuatro modelos propuestos.

<i>Diseños</i>	Ganancia máx. [dB]	Ganancia mín. [dB]
<i>Diseño 1-Antena dipolo de cobre</i>	4.50	-46.00
<i>Diseño 2-Antena dipolo de oro</i>	2.30	-38.00
<i>Diseño 3-Antena dipolo impreso de cobre</i>	4.80	-22.60
<i>Diseño 4-Antena dipolo impreso de plata</i>	4.93	-30.17

6. Conclusiones

Los parámetros de dispersión S_{11} y VSWR se ajustaron a los objetivos de investigación, logrando menor pérdida de retorno y menor VSWR, así como una alta ganancia, esto mediante la modificación del diseño geométrico de la misma. Una de las modificaciones importantes para llegar a estos resultados es la variación de la línea de transmisión, en la antena dipolo, donde se tiene un desfase de 99.38% para el material conductor de cobre y 99.47% para el material conductor de oro, puesto a que mientras más grande es el largo de los brazos la frecuencia de sintonización se desplaza hacia la izquierda. La antena dipolo impreso presenta un desfase de 133.33% en la variación de la línea de transmisión para ambos materiales de conducción, pues al disminuir la línea de transmisión la frecuencia de resonancia se desplaza hacia la izquierda, teniendo un aumento en el S_{11} , mientras que si se aumenta esta variación la frecuencia de resonancia se desplaza hacia la derecha.

De los cuatro modelos propuestos en este artículo de investigación, el diseño más destacado es el 1 la antena dipolo de cobre, puesto a que las pérdidas de retorno recaen al punto más bajo de -24.6114, encontrándose en el rango aceptable para el correcto funcionamiento de la antena, además posee el mejor valor de la relación de onda estacionaria VSWR equivalente a 1.0227, siendo el menor de los cuatro modelos propuestos, reflejando que el acoplamiento de impedancias de la línea de transmisión es el adecuado y se considera factible. La ganancia máxima para este modelo es 4.5 dB, además en el parámetro radio se muestra un desfase de 98.75%, utilizando como material conductor el cobre ya que aumenta el VSWR de manera proporcional mientras se aumenta la frecuencia, indicando una mejora significativa en el ancho de banda con un valor de 317.25GHz puesto a que este se encuentra relacionado con el tamaño de este parámetro influyendo de manera directa en este parámetro. El modelo propuesto de la antena dipolo de oro posee un ancho de banda de 316.5 GHz, la antena dipolo impreso de cobre posee un valor de 307.75GHz y por último la antena dipolo impresa de plata tiene un valor de 307GHz.

Referencias

- Abohmra, A., Jilani, F., Abbas, H., Alomainy, A., Imran, M. A., & Abbasi, Q. H. (2019). Hybrid terahertz antenna design for body-centric applications. *Antennas and Propagation Conference 2019 (APC-2019)*, 5 pp.-5 pp.
<https://doi.org/10.1049/cp.2019.0704>
- Aburto, M., Anastasi, M. M., Vivier, S., Ban chieri, M., & Bahía, B. (2021). *Diseño e Implementación de Antena Microstrip*.
- Attarbashi, Z. S., Altaleb, A. E., Mohd Aman, A. H., Hassan Abdalla Hashim, A., & Eker, S. (2022). A Review of 5G Technology: Architecture and Challenges. *2022 IEEE 8th International Conference on Computing, Engineering and Design (ICCED)*, 1-4. <https://doi.org/10.1109/ICCED56140.2022.10010607>
- Bosso, C., Sen, P., Cantos-Roman, X., Parisi, C., Thawdar, N., & Jornet, J. M. (2021). Ultrabroadband Spread Spectrum Techniques for Secure Dynamic Spectrum Sharing Above 100 GHz Between Active and Passive Users. *2021 IEEE International Symposium on Dynamic Spectrum Access Networks (DySPAN)*, 45-52. <https://doi.org/10.1109/DySPAN53946.2021.9677346>
- Chalapud, E. J. (2021). *Análisis comparativo de los parámetros de dispersión de una antena microstrip para las bandas de 57-64, 64-71 y 71-76 GHz*
[BachelorThesis]. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/20202>
- Chimborazo, L. E. (2017). *Diseño de una antena microstrip con polarización circular para el Laboratorio de Antenas* [BachelorThesis].
<http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/14615>

He, Y., Chen, Y., Zhang, L., Wong, S.-W., & Chen, Z. N. (2020). An overview of terahertz antennas. *China Communications*, 17(7), 124-165.

<https://doi.org/10.23919/J.CC.2020.07.011>

Henry, S., Alsohaily, A., & Sousa, E. S. (2020). 5G is Real: Evaluating the Compliance of the 3GPP 5G New Radio System With the ITU IMT-2020 Requirements. *IEEE Access*, 8, 42828-42840. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2977406>

Inomata, M., Yamada, W., Kuno, N., Sasaki, M., Kitao, K., Nakamura, M., Ishikawa, H., & Oda, Y. (2021). Scattering Effect up to 100 GHz Band for 6G. 2020 *International Symposium on Antennas and Propagation (ISAP)*, 749-750.

<https://doi.org/10.23919/ISAP47053.2021.9391482>

Iza, J. F., & Toapanta, K. J. (2022). *Diseño de un medidor de parámetros eléctricos de antenas basados en Radio Definida por Software (SDR) utilizando USRP 2944R* [BachelorThesis]. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/22098>

Jácome, K. A. (2023). *Comparación de arreglos de antenas dipolo y dipolo doblada en banda de onda milimétrica* [BachelorThesis].

<http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/24447>

Jara, T. A., & Duy, H. D. (2020). *Desarrollo de una aplicación móvil basada en realidad aumentada para la caracterización y visualización del patrón de radiación en 3D de antenas predefinidas* [BachelorThesis].

<http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/19103>

Jilani, S. F., Abbasi, Q. H., & Alomainy, A. (2018). Inkjet-Printed Millimetre-Wave PET-Based Flexible Antenna for 5G Wireless Applications. 2018 *IEEE MTT-S International Microwave Workshop Series on 5G Hardware and System Technologies (IMWS-5G)*, 1-3. <https://doi.org/10.1109/IMWS-5G.2018.8484603>

- León, T. T. (2020). *Diseño de una antena microstrip para onda milimétrica* [BachelorThesis]. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/18231>
- Llumiquinga, J. X. L., Olmedo, F. A. O., & Tello, J. B. A. (s. f.). *ANÁLISIS DEL EFECTO DEL SAR PROVOCADO POR UNA ANTENA MICROSTRIP EN ONDA MILIMÉTRICA*.
- López, F. X., & De La Torre, I. S. (2021). *Comparación de los parámetros de dispersión de una antena dipolo para las frecuencias de 60, 67 y 74 GHz* [BachelorThesis]. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/20442>
- Rambe, A. H., Adilah, N., Hs, S., Suherman, Wahyudi, I., & Zulfin, M. (2021). Simulation and Optimization of Microstrip Dipole Antenna using Cohen-Minkowski Fractal for 433 MHz Applications. *2021 5th International Conference on Electrical, Telecommunication and Computer Engineering (ELTICOM)*, 178-181. <https://doi.org/10.1109/ELTICOM53303.2021.9590148>
- Rubio, V. L. (2019). *Diseño e Implementación de una antena en THz para un fotomezclador basado en nanocontactos*. <https://riunet.upv.es/handle/10251/124625>
- Saif, H. M. A., Abdo, E. A. G., Qahtan, A. H. M., & Shaddad, R. Q. (2021). Improved Performance in Compact Antenna by Using E-slotted and DGS for V and E band 5G Applications. *2021 1st International Conference on Emerging Smart Technologies and Applications (ESmarTA)*, 1-4. <https://doi.org/10.1109/eSmarTA52612.2021.9515721>
- Salazar, J. A. (2017). *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA ANTENA PARA SU APLICACIÓN EN 5G*.

- Sánchez, X. A., & Heredia, G. A. (2021). *Diseño e Implementación de un banco de pruebas satelitales de la banda C utilizando radios definidas por Software*. [BachelorThesis]. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/20537>
- Suquillo, H. R. (2022). *COMPARACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE UNA ANTENA DIPOLO DE MEDIA ONDA EN LA BANDA DE 26 GHz*.
- Wang, T., Song, F., En, Y., & Zou, F. (2018). A VSWR measurement system for high power devices in working mode. *2018 IEEE International Vacuum Electronics Conference (IVEC)*, 77-78. <https://doi.org/10.1109/IVEC.2018.8391569>
- Zhang, H., Jiao, Y.-C., & Weng, Z. (2017). A Novel Dual-Wideband Directional Dipole Antenna With Double Reflecting Floors. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, 16, 1941-1944. <https://doi.org/10.1109/LAWP.2017.2689758>
- Zong, J., Liu, Y., Liu, H., Wang, Q., & Chen, P. (2022). 6G Cell-Free Network Architecture. *2022 IEEE 2nd International Conference on Electronic Technology, Communication and Information (ICETCI)*, 421-425. <https://doi.org/10.1109/ICETCI55101.2022.9832308>