



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE QUITO

CARRERA DE TELECOMUNICACIONES

**ANÁLISIS DE LA VARIACIÓN DEL COEFICIENTE DE REFLEXIÓN Y
VSWR EN UNA ANTENA MICROSTRIP DISEÑADA CON DIFERENTES
MATERIALES PARA LA BANDA MMW**

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

AUTORES: ERIK PAUL PIGUAVE OCHOA

PABLO SANTIAGO TORRES MINCHALA

TUTOR: LENIN WLADIMIR AUCATOMA GUAMÁN

Quito-Ecuador

2022

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Erik Paul Piguave Ochoa con documento de identificación N° 1725214876 y Pablo Santiago Torres Minchala con documento de identificación N° 1723007660; 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, 6 de septiembre del año 2022

Atentamente,



Pablo Santiago Torres Minchala
1723007660



Erik Paul Piguave Ochoa
1725214876

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

Nosotros, Erik Paul Piguave Ochoa con documento de identificación No. 1725214876 y Pablo Santiago Torres Minchala con documento de identificación No. 1723007660, 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 autoras del artículo académico: “Análisis de la variación del coeficiente de reflexión y VSWR en una antena microstrip diseñada con diferentes materiales para la banda mmW”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero en Telecomunicaciones, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, 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, 6 de septiembre del año 2022

Atentamente,



Pablo Santiago Torres Minchala
1723007660



Erik Paul Piguave Ochoa
1725214876

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Lenin Wladimir Aucatoma Guamán con documento de identificación N° 1717985830, docente de la Universidad Politécnica Salesiana declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: ANÁLISIS DE LA VARIACIÓN DEL COEFICIENTE DE REFLEXIÓN Y VSWR EN UNA ANTENA MICROSTRIP DISEÑADA CON DIFERENTES MATERIALES PARA LA BANDA MMW, realizado por Erik Paul Piguave Ochoa con documento de identificación No. 1725214876 y Pablo Santiago Torres Minchala con documento de identificación No. 1723007660, 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, 6 de septiembre del año 2022

Atentamente,



Ing. Lenin Wladimir Aucatoma Guamán, MSc
1717985830

DEDICATORIA

El presente artículo académico se lo dedico con mucho amor a mis padres Luis Torres y Marlene Minchala que con su amor, esfuerzo y cariño han sabido guiarme para ser una mejor persona a superarme todos los días a mi hermano David Torres que con su apoyo en momentos malos y buenos siempre ha estado para aconsejarme, a mi tío Roberto Minchala que a pesar de la distancia siempre ha estado ahí para apoyarme y en general a toda mi familia que estuvieron en todo momento motivándome quienes formaron parte de este logro.

Pablo Santiago Torres Minchala

El presente artículo académico se los dedicó con todo cariño y mucho amor a DIOS que me dio la oportunidad de vivir y darme una maravillosa familia.

Con mucho cariño a mis padres Eugenio Piguave y María Ochoa por ser los mejores padres del mundo, quienes, con su amor, paciencia y mucho esfuerzo me han permitido llegar a cumplir hoy un sueño más, a mis hermanos Cristian Piguave y Saelyn Piguave por su cariño y apoyo incondicional, durante todo este proceso, por estar conmigo en todo momento y a mi tía Marcia Ochoa por su apoyo incondicional. A toda mi familia por sus consejos y palabras de aliento que han formado parte de este logro me han guiado y permitido culminar mis estudios, gracias a todos.

Erik Paul Piguave Ochoa

AGRADECIMIENTO

Agradecer a Dios por darme fuerza y sabiduría en cada momento de mi vida, a mis padres que en todo momento supieron guiarme y alentarme a no rendirme y continuar a pesar de los traspies, a mi hermano agradecerle por el apoyo incondicional que me brindo durante mi etapa universitaria. A la Universidad Politécnica Salesiana y a sus docentes que lo conforman por enseñarnos y capacitarnos con su sabiduría y técnicas para afrontar la vida profesional y a diario.

A mi tutor, al Ing. Lenin Aucatoma, por su apoyo, conocimientos, su experiencia y sobre todo su amistad por confiar en nosotros y ayudarnos a terminar nuestra investigación con éxito.

Un especial agradecimiento a grandes personas que me ayudaron a culminar mi etapa universitaria a Paul Piguave quien me acompaño en los niveles de la universidad gracias a su amistad se pudo terminar la carrera y a Ricardo Parra, Katherin Concha, Max, Chester, Tomasa por brindarme su apoyo.

Pablo Santiago Torres Minchala

El presente artículo agradezco a DIOS por ser guía y acompañante en mi vida y darme la sabiduría y fortaleza para culminar con éxitos mis metas propuestas.

A mis padres por haberme apoyado incondicionalmente a pesar de las adversidades e inconvenientes que se presentaron. A mis hermanos agradecerles por su apoyo y cariño durante todo este proceso de estudios y a mi tía Marcia por ser una gran ayuda y apoyo incondicional muchas gracias.

A la Universidad Politécnica Salesiana y sus docentes que lo conforman por enseñarnos y capacitarnos con su sabiduría para formar profesionales capaces de enfrentar las adversidades de la vida profesional.

A nuestro tutor, al Ing. Lenin Aucatoma, por su apoyo, conocimientos, su experiencia y sobre todo brindarnos su amistad y confiar en nosotros y ayudarnos a terminar nuestra investigación con éxito.

A mi compañero y amigo de estudios Pablo Torres con quien iniciamos la carrera igual y la pudimos culminar de la misma manera gracias por su amistad incondicional y apoyo que brindo durante todo el proceso de la carrera.

Erik Paul Piguave Ochoa

Análisis de la variación del coeficiente de reflexión y VSWR en una antena microstrip diseñada con diferentes materiales para la banda mmW.

Torres Minchala Pablo Santiago
Ingeniería en Telecomunicaciones
Universidad Politécnica Salesiana
Quito, Ecuador
ptorresm@est.ups.edu.ec

Piguave Ochoa Erik Paul
Ingeniería en Telecomunicaciones
Universidad Politécnica Salesiana
Quito, Ecuador
epiguave@est.ups.edu.ec

Aucatoma Guamán Lenin Wladimir
Ingeniería en Telecomunicaciones
Universidad Politécnica Salesiana
Quito, Ecuador
laucatoma@ups.edu.ec

Resumen- El presente artículo detalla y analiza la simulación de tres antenas microstrip tipo parche rectangular con línea de transmisión resonando en la banda de onda milimétrica (mmW). Las antenas están trabajando en la banda de frecuencia de 42.5-43.5 [GHz], estas se encuentran conformadas por sustrato con FR4_epoxy, la tierra y el parche que varían con respecto a los siguientes materiales: oro, cobre, hierro, plata y aluminio debido a que estos elementos tienen diferente conductividad, las cuales serán realizadas en el software de simulación ANSYS HFSS esta permite diseñar dichas antenas en altas frecuencias. Cuando se simulan las antenas con el cambio de material conductor, siendo sintonizadas a su frecuencia de resonancia de 43 [GHz], se obtienen valores para ser analizados como el coeficiente de reflexión S (1,1) obteniendo valores menores a -20 dB, una relación de onda estacionaria en voltaje VSWR en rangos de 1 a 1.5 y el patrón de radiación sin nullos en su vista superior. El análisis demuestra que la combinación entre el parche de oro y la tierra de hierro son los que obtienen mejores resultados en los parámetros S (1,1) con -23.98 y un VSWR de 1.09.

Palabras clave: Antena microstrip, Coeficiente de reflexión, Patrón de radiación, VSWR, 43 GHz, 5G.

Resumen—This article details and analyzes the simulation of three rectangular patch type microstrip antennas with transmission line resonating in the millimeter wave (mmW) band. The antennas are working in the 42.5-43.5 [GHz] frequency band, these are made up of a substrate with FR4_epoxy, the ground and the patch in which they will be designed with different conductive materials which are gold, copper, iron, silver and aluminum because these elements have different conductivity, which will be carried out in the ANSYS HFSS simulation software, this allows designing such antennas at high frequencies. When the antennas are simulated with the material change conductor, being tuned to its resonant frequency 43[GHz], values are obtained to be analyzed as the reflection coefficient S (1,1) obtaining values less than -20 dB, a voltage standing wave ratio VSWR in ranges from 1 to 1.5 and the radiation pattern without nulls in its top view. The analysis shows that the combination between the gold patch

and the iron ground are the ones that obtain the best results in the parameters S (1,1) with -23.98 and a VSWR of 1.09

Index Terms—Microstrip antenna, reflection coefficient, radiation pattern, VSWR, 43 GHz, 5G.

I. INTRODUCCIÓN

La tecnología 5G tiene un impacto favorable en el tráfico de datos, ya que en la actualidad las redes 2G, 3G y 4G va en aumento de manera exponencial [1]. Por lo tanto el rol de las bandas en ondas milimétricas (mmW), cuyo rango es de 30 GHz a 300 GHz, estando en el espectro de muy altas frecuencias (VHF o UHF) [2], serán muy importantes para la conexión de redes inalámbricas 5G ya que las frecuencias menores a 3 GHz se están agotando por el aumento de tráfico de datos [3], con el propósito de obtener altos anchos de banda y velocidades desde 1 Gbps hasta 10 Gbps sobresaliendo respecto a lo que ofrece la fibra óptica, ofreciendo una mejor calidad de servicio [4]. Por lo antes mencionado se requieren antenas las cuales se acoplen a las especificaciones de las características de las bandas de onda milimétricas.

Con investigaciones existentes de elaboración de antenas microstrip para bandas de altas frecuencia con diferentes fines investigativos. En [5] se diseñó una antena microstrip usando como material dieléctrico FR4_epoxy y sus conductores de grafeno a una frecuencia de resonancia de 2.4 GHz con el fin de mostrar el uso de materiales flexibles, en cambio en [6] se estudia el mejoramiento de alta ganancia de una antena microstrip utilizando como material conductor el cobre en frecuencia de resonancia de 28 GHz. En [7] se estudió el efecto que tiene la antena microstrip al cambio de varios materiales de sustrato a diferentes frecuencias de resonancia en ondas milimétricas. En [8] tiene como objetivo optimizar el rendimiento de la antena microstrip logrando altos rendimientos de ganancia y pérdidas de retorno usando como material dieléctrico RT/DUROID 5880 en el sustrato y usando una banda de 4-4.5 GHz.

Con los antecedentes antes mencionados en esta investigación se realiza el diseño y modelado de tres antenas microstrip las cuales se hace un análisis comparativo del impacto que tiene en sus parámetros S11, VSWR y ganancia en el cambio de materiales conductores, utilizando los materiales de oro, plata, hierro, aluminio y cobre, además se utiliza como único material dieléctrico al FR4_epoxy, y son sintonizados a la frecuencia de resonancia de 43 GHz.

II. DISEÑO DE LA ANTENA

Se diseñan tres antenas microstrip de parche rectangular como se indica en la figura 1, conformada por un parche, línea de transmisión, un sustrato dieléctrico y un plano de tierra, donde se cambiarán los materiales conductores usando oro, cobre, hierro, plata y aluminio, y como material dieléctrico FR4_epoxy las cuales operan a una banda de frecuencia de 42.5-43.5 GHz. Los diseños propuestos se realizan en el software ANSYS HFSS [9].

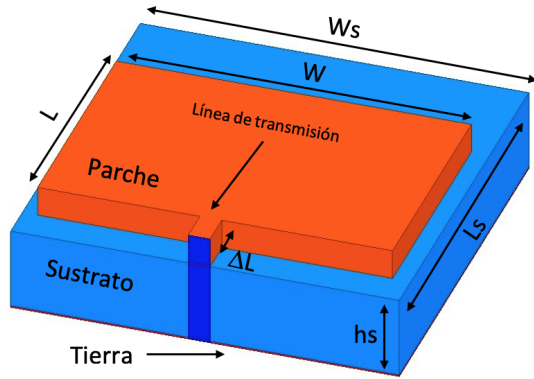


Figura 1. Diseño de la antena para frecuencia de 43 GHz

Para el diseño de la antena microstrip tipo parche se debe tener en cuenta las siguientes dimensiones que se especifican en las ecuaciones: 1, 2, 3, 4 y 5

Donde:

c = velocidad de la luz 3×10^8 [m/s]
 f_1 = frecuencia de resonancia [GHz]
 ϵ_r = permitividad relativa
 ΔL = incremento de longitud

Ancho del parche

$$W_s = \frac{c}{2f \left(\frac{\epsilon_r + 1}{2} \right)} \quad (1)$$

Constante dieléctrica efectiva

$$\epsilon_{ef} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[1 + \frac{10h}{W_s} \right]^{-\frac{1}{2}} \quad (2)$$

Incremento de longitud

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

Longitud efectiva del elemento conductor

$$L_e = \frac{c}{2f \sqrt{\epsilon_{ef}}} \quad (4)$$

Longitud física del parche

$$L = L_e - 2\Delta L \quad (5)$$

En la tabla 1 se muestra las características de los elementos usados para los diseños de las antenas propuestas.

Tabla I
PERMITIVIDAD RELATIVA Y CONDUCTIVIDAD DE LOS ELEMENTOS

Características		
Material	Permitividad	Conductividad
FR4_epoxy	4.4	-
Hierro	1	0.11×10^8
Aluminio	1	0.377×10^8
Oro	1	0.452×10^8
Cobre	1	0.58×10^8
Plata	1	0.63×10^8

En la tabla 2 se muestra el modelado geométrico de los 3 diseños propuestos, para cada diseño se muestra los valores ajustados los cuales se basaron del modelo matemático. Estos valores son los que se ajustan a los valores propuesto como meta de investigación para los parámetros S11 y VSWR. Los resultados obtenidos con ajuste tienen aumentos y disminuciones de los resultados obtenidos matemáticamente.

Tabla II
PARÁMETROS PARA EL DISEÑO DE LA ANTENA MICROSTRIP CON DIFERENTES MATERIALES

Diseño 1			
Componente	Parámetro	Medida [mm]	Material
Línea Tx	ΔL	0.21	Oro
Parche	L	1.41	Oro
	W	2.12	
	h	0.1848	
Sustrato	Ls	2.29	FR4_epoxy
	Ws	2.2876	
	hs	0.5	
Tierra	Lt	2.29	Hierro
	Wt	2.2876	
	ht	0.01	
Diseño 2			
Componente	Parámetro	Medida [mm]	Material
Línea Tx	ΔL	0.21	Aluminio
Parche	L	1.41	Aluminio
	W	2.12	
	h	0.1848	
Sustrato	Ls	2.2876	FR4_epoxy
	Ws	2.28752	
	hs	0.5	
Tierra	Lt	2.2876	Plata
	Wt	2.28752	
	ht	0.01	
Diseño 3			
Componente	Parámetro	Medida [mm]	Material
Línea Tx	ΔL	0.21	Aluminio
Parche	L	1.41	Aluminio
	W	2.12	
	h	0.17	
Sustrato	Ls	2.29	FR4_epoxy
	Ws	2.29	
	hs	0.5	
Tierra	Lt	2.29	Cobre
	Wt	2.29	
	ht	0.01	

En la tabla 3 se encuentra el modelo matemático con respecto a las ecuaciones donde se encuentra el desfase y ajuste que presentó el diseño 1.

Tabla III
MODELO MATEMÁTICO Y AJUSTE

Diseño 1			
Parámetro	Matemático [mm]	Ajuste [mm]	Desfase %
ΔL	0.22	0.21	4.545
L	1.41	1.41	0
W	2.12	2.12	0
h	0.2015	0.1848	8.288
Ls	4.416	2.29	48.143
Ws	5.122	2.2876	55.338
hs	0.5	0.5	0
Lt	4.416	2.29	48.143
Wt	5.122	2.2876	55.338
ht	0.01	0.01	0

Simulando la antena microstrip con las fórmulas matemáticas mencionadas anteriormente, se pudo comprobar que es necesario modificar la estructura física de la antena para poder llegar a la frecuencia de resonancia a 43 GHz.

Para el respectivo análisis se toma como medio de propagación el aire ya que las ondas de radio se propagan sin dificultad teniendo una permitividad relativa $Er \approx 1$, y para el dieléctrico se diseña con el material FR4_epoxy ya que tiene una permitividad relativa $Er \approx 4.4$ produciendo una mayor radiación con una tangente dieléctrica de pérdidas de 0.02 tangencial [9].

III. SIMULACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

III-A. Coeficiente de reflexión S (1,1)

En los diseños propuestos por ajuste se obtiene valores con pérdidas de retorno de -20 dB correspondiendo a una relación de 1/100, con lo que se está transmitiendo y lo que se pierde dando a conocer una relación aceptable en el funcionamiento de la antena [10].

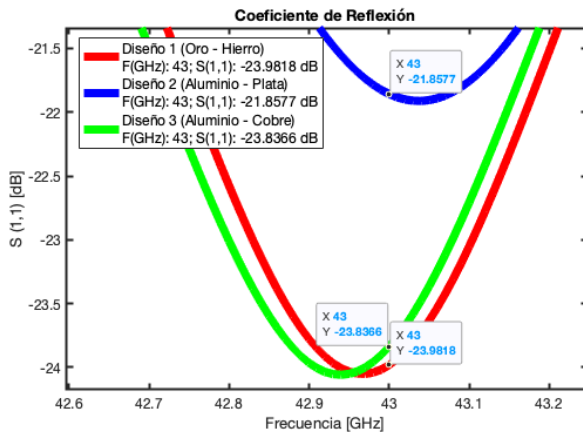


Figura 2. Coeficientes de reflexión de los diseños propuestos

En la tabla 4 se puede verificar los valores del coeficiente de reflexión de los 3 diseños propuestos donde se puede evidenciar que con la frecuencia de resonancia de 43 GHz se obtiene valores propuestos como meta de investigación que se encuentran por debajo de los -20 dB.

Tabla IV
VALORES DEL COEFICIENTE DE REFLEXIÓN S(1,1)

Diseño	Frecuencia [GHz]	S 1,1 [dB]
Diseño 1	43.00	-23.9818
Diseño 2	43.00	-21.8577
Diseño 3	43.00	-23.8366

III-B. Relación de onda estacionaria (VSWR)

En la figura 3 se observa la comparación de los parámetros de VSWR en los 3 diseños propuestos. Para los resultados favorables de estos parámetros se debe obtener valores entre 1 a 1.5, dando a conocer que un valor de 1 refleja un acoplamiento ideal de la impedancia de la línea, es decir es totalmente aceptable, en el caso de tener valores desde 1.5 hasta 2 es aceptable, pero se tiene un acople con el máximo de reflexión permitido, generando rebotes la cuál se obtendrían interferencias.

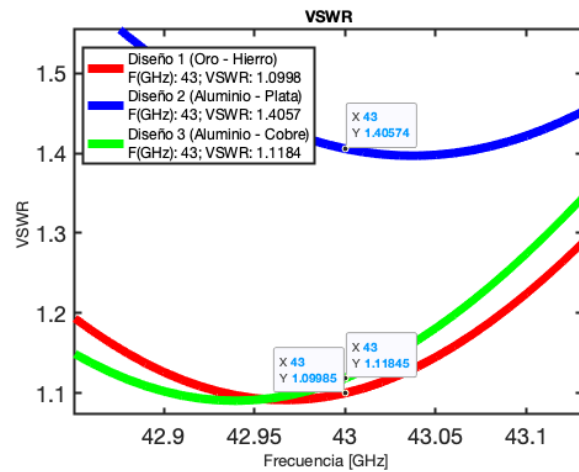


Figura 3. Valores de relación de onda estacionaria de voltaje (VSWR) de los 3 diseños propuestos.

En la tabla 5 se detalla los valores resultantes de VSWR de cada diseño propuesto, como se puede observar sus valores están por debajo de límite de 1.5 dando a conocer un buen ajuste en los materiales propuestos de los cuales el diseño 1 tiene el valor de 1.09 siendo el diseño con el acople más cercano al ideal teórico.

Tabla V
VALORES DEL VSWR

Diseño	Frecuencia [GHz]	VSWR
Diseño 1	43.00	1.0998
Diseño 2	43.00	1.4057
Diseño 3	43.00	1.1184

En la tabla 6 se muestra los valores que se obtuvieron del ancho de banda, los cuales fueron tomados del parámetro VSWR a 1.5 de la figura 3, dando a conocer que el diseño 1 tiene un mayor ancho de banda respecto a los otros diseños.

Tabla VI
VALORES DE ANCHO DE BANDA

Diseño	BW [MHz]
Diseño 1	543
Diseño 2	260
Diseño 3	490

III-C. Patrón de radiación

El patrón de radiación es el que indica el comportamiento del campo eléctrico radiante de la antena [11], se necesita un patrón de radiación por encima de los -3 dB para no obtener patrones nulos en su lóbulo principal, En la figura 4 se observa el patrón de radiación de los 3 diseños propuestos, en donde el diseño 3 es el que tiene una directividad máxima de 5.623 dB y una mínima de -12.8 dB

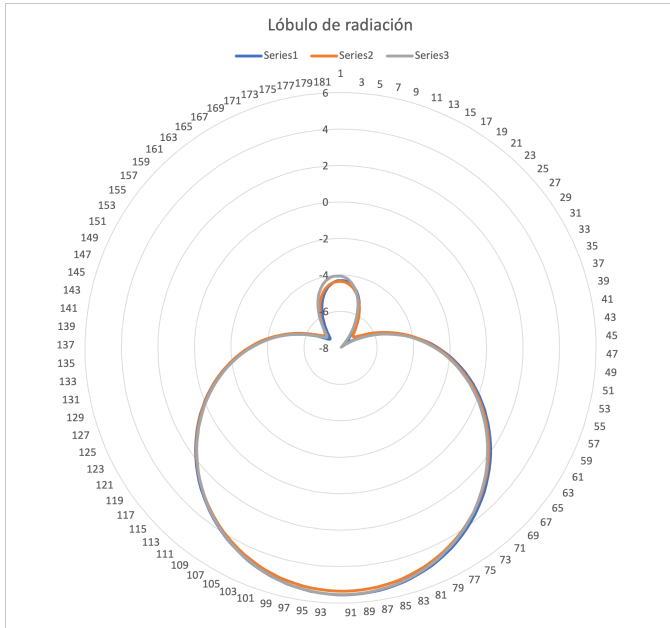


Figura 4. Patrón de radiación 2D de cada diseño propuesto con un corte $\phi = 90^\circ$

En la figura 5 se observan los siguientes patrones de radiación en 3D de cada diseño en la frecuencia de 43 GHz de los 3 diseños realizados con sus lóbulos principales $\phi = 90^\circ$

En la tabla 7 muestra la máxima ganancia de cada diseño obtenido.

Tabla VII
VALORES DE GANANCIA DE CADA DISEÑO

Diseño	Ganancia máxima [dB]
Diseño 1	5.61
Diseño 2	5.6
Diseño 3	5.623

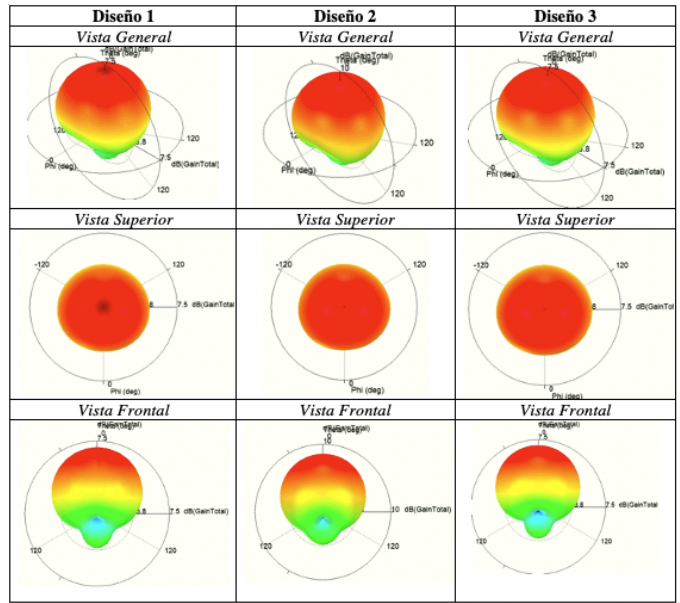


Figura 5. Radiación en 3D de los diseños de antenas microstrip propuestos

IV. ANÁLISIS

Partiendo del modelo matemático del diseño 1 se tuvo que realizar ajustes en las dimensiones de la antena, reduciendo el ancho en 55 % y su longitud en 48 % respecto al sustrato y tierra y un 8 % de reducción en la altura del parche, los valores mínimos de la curva se miden exactamente en una frecuencia de 42.97 [GHz], un S(1,1) de -24.05 dB y un VSWR de 1.09 teniendo un desfase del 0.1 % respecto a la frecuencia de resonancia de 43.00 [GHz]

En el diseño 1 con la combinación de oro en el parche y hierro en la tierra, teniendo una gran diferencia de conductividad entre materiales, el material de hierro es 311 % menos conductor respecto al oro y el material de oro es 76 % más conductor que el hierro, la combinación de las diferencias de conductividad da como resultado un modelo que se ajusta mucho a los objetivos de investigación planteados.

En el diseño 2 se disminuye la conductividad del parche en un 17 % con el material de aluminio y se aumenta la conductividad de la tierra en un 473 % con el material de plata donde la plata es el material con más alta conductividad de los propuestos, se tuvo que reducir la longitud del sustrato y tierra en un 48.197 % y el ancho del sustrato y tierra reducir en un 55.339 % también se tuvo que reducir la altura del parche en un 8.288 % para obtener parámetros aceptables dentro de los rangos propuestos, sin embargo, la combinación de estos materiales forman la antena que más se aleja de los objetivos de investigación.

En el diseño 3 se conserva el material de aluminio en el parche, pero se disminuye la conductividad de la tierra en un 8 % con el material de cobre, en este diseño se disminuye la

altura del parche en un 15.63 % siendo el modelo de antena que más cambios sufre en el parche, también se tuvo que reducir la longitud del sustrato y tierra en un 48.143 %, en el ancho del sustrato y tierra se disminuye un 55.291 % para obtener parámetros ideales, sin embargo, la combinación de estos materiales hacen que se vea una gran mejoría en los parámetros a comparación del diseño 2, teniendo un acople del 100 % obteniendo valores ideales.

La combinación de materiales en el diseño 1 muestra que es la antena con mayor ancho de banda, con la combinación de materiales del diseño 2 teniendo una baja conductividad en el parche y una alta conductividad en la tierra hace que su ancho de banda sea el más bajo de todos decayendo en un 54 % respecto al diseño 1 y la combinación de materiales de la antena 3 disminuyendo un 8 % la conductividad de la tierra, tiene una mejoría del 88 % del ancho de banda respecto al diseño 2.

Los lóbulos de radiación que se detallan en la figura 4, se observa la directividad que poseen los 3 diseños de los cuales en su forma y valores son idénticos en su parte superior, pero hay una diferencia en el diseño 3, la cuál sobresale en su lóbulo inferior que llega a los -4 dB, el cambio del material no influye en la ganancia de la antena y no hay cambios significativos.

V. CONCLUSIONES

El diseño 1 es el que menos ajustes requirió para llegar a los parámetros ideales debido a la combinación de los materiales de oro en parche y hierro en la tierra en la cuál tienen desfase en la altura del parche de 8 % y en las dimensiones de largo y ancho del sustrato en la cuál incrementa un 48.143 % y 55.338 % respectivamente con lo cuál se obtiene valores ideales del coeficiente reflexión de un -23.98 dB y VSWR de 1.09. El diseño 2 es el que menor rendimiento presentó con la combinación de material de aluminio para el parche y plata para la tierra y esto a pesar de que la plata es el elemento con mayor conductividad, se ajustó para que llegue a una frecuencia central de 43 GHz, con un desfase en la altura del parche de 8 % y en longitud y ancho del sustrato desfases de 48.197 % y 55.339 % respectivamente, cumpliendo con los valores mínimos para la investigación, pero siendo el diseño que contiene los valores límites permitidos.

La combinación del material de oro en el parche y hierro en la tierra produjeron un ajuste total de todas las dimensiones de la antena en un 21.9 % siendo el más bajo de los ajustes, sin embargo, es la antena que mejor ancho de banda nos entrega de 543 MHz.

REFERENCIAS

[1] Naranjo Landeta, Erick Javier, and Gabriel Andrés Ortiz Sánchez. Comparación del funcionamiento entre una antena tipo microstrip y una antena

- tipo microstrip con resonador en banda de onda milimétrica. BS thesis. 2020.
- [2] León Castillo, Tania Talía. Diseño de una antena microstrip para onda milimétrica. BS thesis. 2020.
- [3] Casa Chicaiza, César Miguel. Diseño de arreglo de antenas microstrip con conductor curvo para ondas milimétricas. BS thesis. 2021.
- [4] Gómez Guamán, Javier Marcelo, and Samanta Dayana Recalde Gavilánez. Funcionamiento de una antena bocina (Horn) con base de microstrip mediante la variación de su apertura en banda de ondas milimétricas. BS thesis. 2021.
- [5] Mohammed, Abdullahi Kamal, Shahanawaz Ain, M.F. Hussin, Roslina Ahmad, Zainal Ullah, Ubaid Othman, Mohamadriff Rahman, Mohd. (2020), Mathematical Modelling on the Effects of Conductive Material and Substrate Thickness for Air Substrate Microstrip Patch Antenna. Applied Computational Electromagnetics Society Journal. 35. 674-683.
- [6] S. Z. Sajal, B. D. Braaten and V. R. Marinov, "A microstrip patch antenna manufactured with flexible graphene-based conducting material," 2015 IEEE International Symposium on Antennas and Propagation USNC/URSI National Radio Science Meeting, 2015, pp. 2415-2416, doi: 10.1109/APS.2015.7305596.
- [7] M. Zhao, S. Chai, K. Xiao and X. Zhou, "Design of Millimeter-wave Compact Waveguide Slot Coupled Microstrip Array Antenna," 2018 IEEE 3rd International Conference on Signal and Image Processing (ICSIP), 2018, pp. 516-519, doi: 10.1109/SIPROCESS.2018.8600430.
- [8] S. S. Shukla, R. K. Verma and G. S. Gohir, "Investigation of the effect of substrate material on the performance of microstrip antenna," 2015 4th International Conference on Reliability, Infocom Technologies and Optimization (ICRITO) (Trends and Future Directions), 2015, pp. 1-3, doi: 10.1109/ICRITO.2015.7359350.
- [9] Paucar Tipán, Xavier Hernán, and Mónica Alexandra Quispe Sánchez. Diseño de un arreglo de antenas microstrip para banda de onda milimétrica. BS thesis. 2020.
- [10] Saltos Narváez, Edwin Josué, and Katherine Mishelle Contero Román. Comparación de los parámetros de dispersión de una antena microstrip para la banda de 18 a 28 GHz. BS thesis. 2021.
- [11] K. N. Lal and A. K. Singh, "Modified design of microstrip patch antenna for WiMAX communication system," Proceedings of the 2014 IEEE Students' Technology Symposium, 2014, pp. 386-389, doi: 10.1109/TechSym.2014.6808081.