

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

**CARRERA:
INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:
INGENIERA ELECTRÓNICA**

**TEMA:
DISEÑO DE UNA ANTENA MICROSTRIP PARA ONDA MILIMÉTRICA**

**AUTORA:
TANIA TALÍA LEÓN CASTILLO**

**TUTOR:
LENIN WLADIMIR AUCATOMA GUAMÁN**

Quito, enero del 2020

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Yo, Tania Talía León Castillo, con documento de identificación N° 1727050096 respectivamente, manifiesto mi voluntad y cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales, en virtud de que soy la autora del Artículo Académico, intitulado: “DISEÑO DE UNA ANTENA MICROSTRIP PARA ONDA MILIMÉTRICA”, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniera Electrónica, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en mi condición de autora me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribo este documento en el momento que hago la entrega del trabajo final en formato digital a la biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.



Tania Talía León Castillo

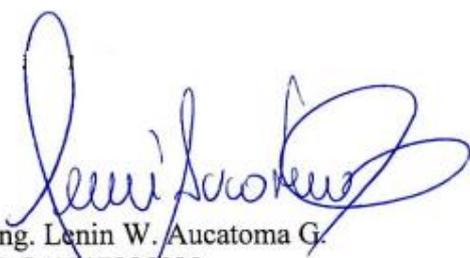
C.I.: 1727050096

Quito, enero del 2020.

DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR

Yo, Lenin Wladimir Aucatoma Guamán, declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el Artículo Académico, “DISEÑO DE UNA ANTENA MICROSTRIP PARA ONDA MILIMÉTRICA” realizado por Tania Talía León Castillo, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana, para ser considerados como trabajo final de titulación.

Quito, enero del 2020.



Ing. Lenin W. Aucatoma G.
C.C. 1717985830

DEDICATORIA

Este trabajo va dedicado a Dios y a mi familia quienes han sido los principales autores de cada logro y de cada meta que me he trazado en este camino de vida; especialmente, a mis padres Ernesto León y Nelly Castillo que con su ejemplo de perseverancia, constancia, respeto y sencillez continua, yo estoy culminando una etapa más e impulsándome a ser un mejor ser humano, tanto personal como en lo profesional; a mis hermanos Franklin, Paúl y Nieves que con su apoyo, consejos y cariño me han impulsado a seguir adelante pese a cualquier adversidad. Finalmente, dedico este trabajo a una persona muy importante para mí que desde hace tres años y medio está a mi lado y de quien he aprendido tantas cosas buenas y no ha dejado de alentarme en cada propósito de vida.

AGRADECIMIENTO

Mis más sinceros agradecimientos, en primer lugar, a Dios y al motor fundamental por cual mi vida tomó un rumbo, que es mi querida familia.

Mi más profundo agradecimiento al ingeniero Lenin Aucatoma, MSc. quien aparte de ser un gran docente y profesional es un gran ser humano y amigo, quien me supo dirigir a lo largo de este proceso de investigación y en cada período académico en el que fue mi docente.

A la Universidad Politécnica Salesiana donde forjé mi vida estudiantil y donde conocí a grandes seres humanos a quienes llamo *amigos*, así como a profesores por quienes siento un gran aprecio y cariño.

Finalmente, agradezco a la Carrera de Ingeniería Electrónica de la Universidad Politécnica Salesiana, por haber sido parte principal en el aporte y desarrollo de mis conocimientos.

DISEÑO DE UNA ANTENA MICROSTRIP PARA ONDA MILIMÉTRICA.

DESIGN OF A MICROSTRIP ANTENNA FOR MILLIMETRIC WAVE.

Tania Talía León Castillo¹

Resumen

Este artículo describe el diseño y funcionamiento de una antena microstrip tipo patch rectangular con línea de transmisión. Mediante el análisis de los resultados obtenidos en las simulaciones, se busca identificar la variabilidad en tamaño y materiales que componen la antena para lograr parámetros de dispersión con meta en -20dB para S11 y 1.5 dB máximo en VSWR, y con ello la antena puede trabajar de forma eficiente en la banda de onda milimétrica en la frecuencia de 60 GHz. Al final del trabajo se generan conclusiones que incluyen análisis de patrones de radiación, parámetro S11, ancho de banda y VSWR.

Palabras Clave: MMW, ANTENA, MICROSTRIP, PARÁMETROS DE DISPERSIÓN, PATRÓN DE RADIACIÓN, SUSTRATO.

Abstract

This article describes the design and operation of a rectangular patch microstrip antenna with transmission line. With the analysis of the results obtained in simulations, we seek to identify the variability in size and materials to achieve scattering parameters with a goal in -20dB for S11 and 1.5dB maximum in VSWR, and with these parameters seek the antenna work efficiently in the millimeter waveband at the frequency of 60 GHz. At the end of the work we generated conclusions that include analysis of radiation patterns, parameter S11, bandwidth and VSWR.

Keywords: MMW, ANTENNA, MICROSTRIP, SCATTERING PARAMETERS, HFSS, RADIATION PATTERN, SUBSTRATUM.

¹ Estudiante de Ingeniería Electrónica (Mención Telecomunicaciones) - Universidad Politécnica Salesiana, UPS - Sede Quito.

1. Introducción

Con la finalidad de aprovechar de manera proactiva las aptitudes que ofrece el ancho de banda en la banda de onda milimétrica (mmW), con la meta de una futura operación de los sistemas 5G, los diseños de antenas de transmisión y recepción en esta banda cobran una importancia significativa [1]. La banda de onda milimétrica comprende el espectro de frecuencia que trabaja en el rango de 30 GHz a 300 GHz, ubicándose en el espectro de muy alta y extremadamente alta frecuencia (VHF o EHF). Esta porción de espectro es considerada con la finalidad de lograr altos anchos de banda y velocidades de hasta 10 Gbps [2].

Bajo esta perspectiva se necesitan antenas que se acoplen a las características de la banda de onda milimétrica. En este artículo se analiza la antena microstrip rectangular tipo patch con línea de transmisión; estas antenas se componen de un sustrato dieléctrico, un parche que integra una línea de transmisión y una tierra [3].

La antena de parche rectangular microstrip puede considerarse una cavidad de pared magnética, esto quiere decir que en el interior de la misma se producen ondas estacionarias entre las paredes eléctricas y magnéticas, que en principio conducen a una impedancia de entrada reactiva que no aporta a la emisión de potencia. Para tener en cuenta la radiación, se debe introducir un mecanismo de pérdida y considerar que el comportamiento de la antena se asemeja a un circuito abierto. Por lo que la atenuación en una línea de microstrip es causada por dos componentes importantes de pérdida, que son: pérdidas del conductor y pérdidas dieléctricas [2][4].

Dentro del diseño de la microstrip, una característica muy importante son los parámetros de dispersión o parámetros S, que describen el comportamiento eléctrico de sistemas lineales, que cambian en base a la frecuencia con la que se los evalúa, y a su vez, se sujeta a diversos estímulos de estado estable

por señal eléctrica. En otras palabras son los coeficientes de reflexión y transmisión, mismos que establecen la relación de las ondas incidentes con las ondas reflejadas [5].

Con respecto a los parámetros de la antena, una permitividad relativa ϵ_r más grande puede resultar en un tamaño más pequeño de la antena propuesta, sin embargo, el ancho de banda será más angosto. Lo que conlleva a un análisis directamente proporcional entre el crecimiento en grosor de los elementos de la antena y crecimiento del ancho de banda, con consecuencias en aumento de peso y excitación de la onda superficial o también llamada Rayleigh [2].

2. Diseño y Configuración

Se presenta una antena microstrip tipo patch rectangular con línea de transmisión. La antena propuesta opera en la banda de onda milimétrica con frecuencia central de operación de 60 GHz. El diseño empleado se modeló y simuló en el software ANSYS HFSS, para obtener y analizar los diferentes parámetros de funcionamiento de la antena propuesta. La antena de parche se basa en los requisitos de la aplicación en banda de mmW que son: frecuencia de resonancia, rango de operación, ancho de banda, coeficientes de reflexión, relación de onda estacionaria de voltaje y patrón de radiación [6]. En la Figura 1 se muestran los componentes de la antena microstrip propuesta con sus dimensiones.

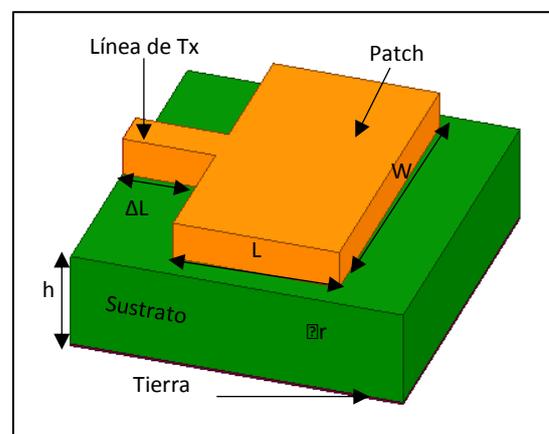


Figura. 1. Geometría de la antena microstrip tipo patch con línea de transmisión.

Con la definición de las dimensiones del parche se llega al sustrato dieléctrico de la antena que está en la parte inferior del parche, mismo que tiene influencia en los parámetros de grosor (h) y la permitividad relativa (ϵ_r) que incide en las pérdidas de radiación, debido a que el campo eléctrico viaja por un medio de permitividad relativa donde sus líneas se encuentran en un medio no homogéneo en el cual sus características físicas varían o cambian, dejando a otra parte de este campo libre de transportarse a través del aire [7].

El diseño propuesto determina dimensiones en el orden de los milímetros, por lo que para su construcción se debe tener en cuenta las tolerancias de fabricación de manera porcentual o numérica, manejo de la fragilidad, entre otros parámetros que abarcan un proceso tecnológico, que hacen que el diseño propuesto de la antena patch tenga un costo alto debido, sobre todo, a su precisión [4].

El dieléctrico de la antena propuesta se diseñó con el material dieléctrico FR4_epoxy, cuya permitividad relativa es $\epsilon_r = 4.4$, que produce una mayor radiación y una tangente dieléctrica de pérdida de 0.02, debido a su resistencia al fuego y al paso de humedad, genera una estabilidad al trabajar en altas frecuencias. Se considera una frecuencia de 60GHz para funcionamiento en ondas milimétricas y una impedancia de 50 Ω , un rango de tensión de la corriente de entrada aceptable. Así mismo, el ancho, su longitud entre otros parámetros fundamentales se los calcula mediante las ecuaciones: 1,2,3,4,5 [6].

Ancho del elemento radiante

$$W = \frac{c}{2f_0 \sqrt{\frac{\epsilon_r + 1}{2}}} \quad (1)$$

Constante Dieléctrica Efectiva

$$\epsilon_{reff} = \frac{(\epsilon_r + 1)(\epsilon_r - 1)}{2} \left(1 + 10 \frac{h}{W}\right)^{-\frac{1}{2}} \quad (2)$$

Extensión de Longitud

$$\Delta L = 0.412 \frac{(\epsilon_{reff} + 0.3) \left(\frac{W}{h} + 0.246\right)}{(\epsilon_{reff} - 0.258) \left(\frac{W}{h} + 0.8\right)} \quad (3)$$

Longitud efectiva del elemento conductor

$$L_{eff} = \frac{c}{2f_0 \sqrt{\epsilon_{reff}}} \quad (4)$$

Longitud del elemento radiante

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

Finalmente, para el cálculo de ancho de banda, se realiza un análisis entre la frecuencia superior f_2 y la frecuencia inferior f_1 , y estas dos frecuencias a una frecuencia central de f_0 , esto se visualiza en la Ecuación 6 [8]. Para este artículo se tomó en cuenta la diferencia en frecuencias de la curva del parámetro S11 en el punto de -15dB.

$$BW = \frac{f_2 - f_1}{f_0} \quad (6)$$

En la Tabla 1 se muestra el resultado de las medidas del diseño (diseño 5), que en comparación experimental con los cinco diseños que mejor se acercan a los parámetros de S11, VSWR, ancho de banda y ganancia propuestas como meta en la investigación, es el que mejor cumple al momento de análisis de cada parámetro.

Tabla 1. Medidas de los parámetros de la antena microstrip del diseño cinco.

Diseño 5	Parámetro	Medida	Unidad	Material
Línea Tx	Δ_l	0.2	mm	Hierro
	L	0.84	mm	
Patch	W	1.52	mm	
	x	1.72	mm	Cobre
Tierra	y	1.72		
	z	0.01		
Sustrato	h	0.5	mm	FR4_Epoxy
	ϵ_r	4.4		
	x	1.72		
	y	1.72	mm	

3. Simulación y Resultados

La simulación se hizo en 60 GHz, que implica un espacio donde pocos sistemas están

poniendo en práctica aplicaciones comerciales, sin embargo, a nivel industrial es una banda que se va a aprovechar. Bajo este criterio se colocó como banda de análisis la comprendida entre 30 a 90 GHz, para verificar el comportamiento de la antena en la banda de interés antes mencionada. Para el análisis se tomó como medio de propagación el aire con una permitividad relativa $\epsilon_r \approx 1$, donde las ondas de radio se propagan. En la Tabla 2 se muestra el resultado de las medidas de los cinco mejores diseños propuestos de la antena microstrip, los mismos que reflejan el desempeño de la antena con distintas variantes, ya sea en tamaño o materiales de los elementos (sustrato, lámina de tierra y patch), esto se debe a que la estabilidad tanto en los parámetros S (1,1), como en el VSWR, ancho de banda y patrón de radiación se ven afectados. Esto quiere decir que el cambio del material de los conductores en este caso del patch y de la tierra afecta, considerablemente, a la disminución del coeficiente de reflexión, por otra parte, el tamaño del patch junto con la línea de transmisión afectan directamente al resultado de VSWR.

Tabla 2. Medidas de los 5 diseños propuestos

Diseño 1	Parámetro	Medida	Unidad	Material
Línea Tx	Δ_L	0.2	mm	Cobre
Patch	L	0.84	mm	
	W	1.52	mm	
	h	0.206	mm	
Tierra	x	1.8	mm	Oro
	y	1.68		
	z	0.01		
Sustrato	h	0.5	mm	FR4_Epo xy
	ϵ_r	4.4		
	x	1.8	mm	
	y	1.68		
Diseño 2	Parámetro	Medida	Unidad	Material
Línea Tx	Δ_L	0.2	mm	Cobre
Patch	L	0.84	mm	
	W	1.52	mm	
	h	0.195	mm	
Tierra	x	1.77	mm	Cobre
	y	1.68		
	z	0.01		
Sustrato	h	0.5	mm	FR4_Epo xy
	ϵ_r	4.4		
	x	1.77	mm	
	y	1.68		

Diseño 3	Parámetro	Medida	Unidad	Material
Línea Tx	Δ_L	0.2	mm	Cobre
Patch	L	0.84	mm	
	W	1.52	mm	
	h	0.193	mm	
Tierra	x	1.77	mm	Cobre
	y	1.68		
	z	0.01		
Sustrato	h	0.5	mm	FR4_Epo xy
	ϵ_r	4.4		
	x	1.77	mm	
	y	1.68		
Diseño 4	Parámetro	Medida	Unidad	Material
Línea Tx	Δ_L	0.2	mm	Hierro
Patch	L	0.84	mm	
	W	1.52	mm	
	h	0.202 158	mm	
Tierra	x	1.72	mm	Oro
	y	1.72		
	z	0.01		
Sustrato	h	0.5	mm	FR4_Epo xy
	ϵ_r	4.4		
	x	1.72	mm	
	y	1.72		
Diseño 5	Parámetro	Medida	Unidad	Material
Línea Tx	Δ_L	0.2	mm	Hierro
Patch	L	0.84	mm	
	W	1.52	mm	
	h	0.202	mm	
Tierra	x	1.72	mm	Cobre
	y	1.72		
	z	0.01		
Sustrato	h	0.5	mm	FR4_Epo xy
	ϵ_r	4.4		
	x	1.72	mm	
	y	1.72		

Tanto la altura del patch como la altura del sustrato son encontradas mediante las ecuaciones (1)(2)(3)(4)(5)(6), que definen a la antena microstrip. Mediante las simulaciones se pudo comprobar que es inevitable la variación del ancho sustrato para obtener mejor desempeño para la banda de 60 GHz.

3.1 Parámetros S (1,1) o Coeficiente de Reflexión

El parámetro S describe la relación de entrada y salida entre los puertos de un sistema eléctrico. Por consiguiente, la frecuencia de resonancia del elemento radiante f_r , que es donde mejor comportamiento tiene la antena y la pérdida de retorno se pueden calcular a

partir de la curva S (1,1) de la antenna microstrip tipo parche, que a su vez varían [5].

En la Figura 2, se muestra los parámetros de dispersión de los 5 diseños. Se tiene como objetivo llegar a 60 GHz con unas pérdidas de retorno por debajo de los -20 dB que no es más que una relación de 1/100 de lo que se transmite por la antenna con lo que se pierde, donde es un rango aceptable para el funcionamiento de la antenna.

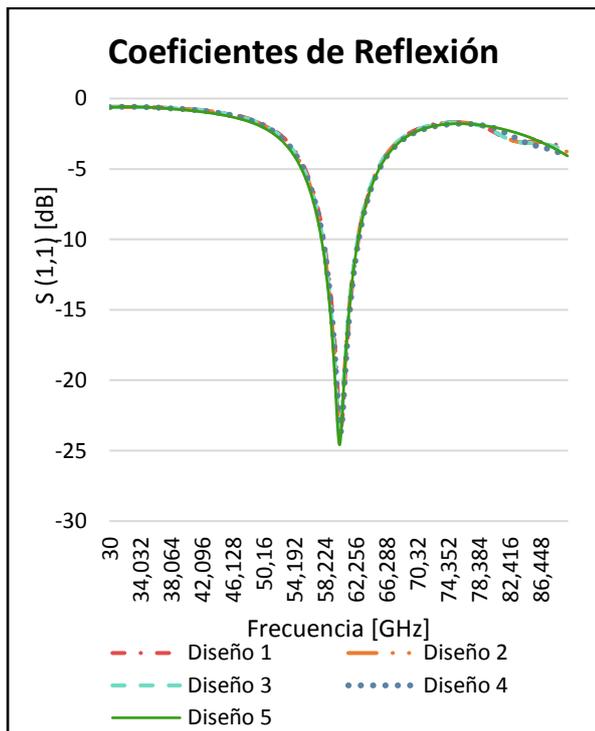


Figura 2. Comparación entre resultados de parámetros de dispersión S (1,1) vs frecuencia.

Para el cálculo de ancho de banda se consideró como referencia un valor de S11 de -15dB tanto a la izquierda como a la derecha de la curva, lo que quiere decir que el valor de -15 dB es la relación de 3/100 de lo que la antenna transmite con lo que se pierde, esto sugiere un ancho de banda para el mejoramiento de la antenna.

En la Tabla 3 se muestran los valores del parámetro S11 vs. la frecuencia de operación.

Tabla 3. Resultados de los coeficientes de reflexión y anchos de banda de los cinco diferentes diseños propuestos de la antenna microstrip.

DISEÑOS	S(1,1) [dB]	BW[GHz]	Frecuencias [GHz]
Diseño 1	-21.63	2.31	60.03
Diseño 2	-22.98	2.36	60.03
Diseño 3	-22.74	2.35	60.03
Diseño 4	-22.34	2.41	60.03
Diseño 5	-24.16	2.5	60.03

Los parámetros dispersión S (1,1) del diseño cinco tienen una mejor funcionalidad debido a que el patch de la antenna de 1.72 mm se acerca bastante al sustrato mejorando, considerablemente, el resultado de este parámetro.

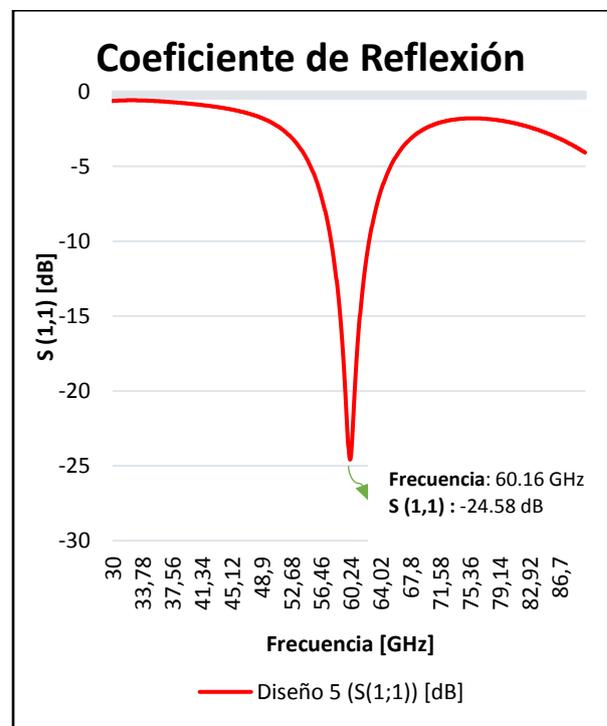


Figura 3. Parámetro de dispersión S (1,1) del diseño 5

3.2 Relación de Onda Estacionaria (VSWR)

En la Figura 3, se tiene la comparación del parámetro de VSWR de los 5 diseños propuestos. Para este parámetro, la meta es obtener valores de VSWR en dB que vayan de 1 a 2 dB, un valor igual a 1 refleja que el acoplamiento de impedancias de la línea de transmisión es factible, por lo que un valor por encima de 1.5 dB hasta 2 dB, si bien es aceptable ya la onda va generando rebotes y con ello interferencias; así como un cambio considerable en la amplitud de la misma. Donde en alta frecuencia, para la medición de

VSWR un valor por encima de 1.5 dB ya empieza a tener pérdidas por acoplamiento de materiales en la antena [9].

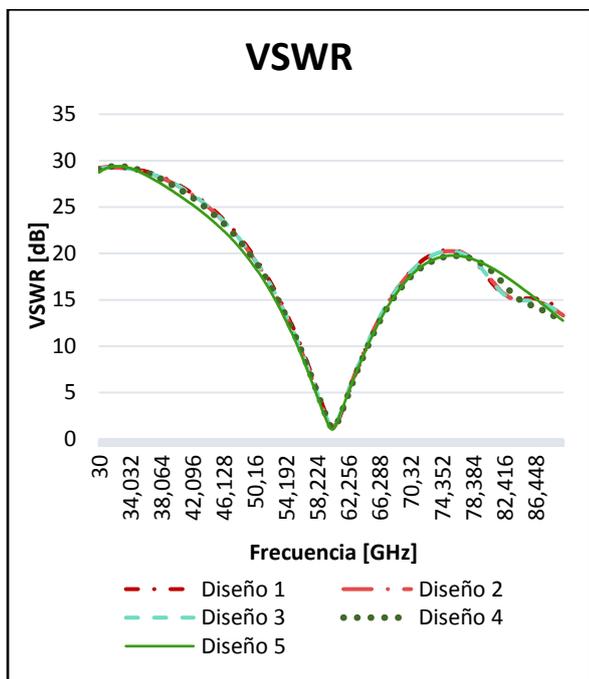


Figura. 4. VSWR de los cinco diseños propuestos de la antena microstrip.

En la Tabla 4 se observan los resultados de VSWR dB de los cinco diseños propuestos de la antena microstrip, donde la referencia de frecuencia es igual a 60.03 GHz y el mejor valor de la relación de onda estacionaria es de 1.05 dB del diseño 5, que indica que el acoplamiento de impedancias con la línea de transmisión es el adecuado.

Tabla 4. Resultados de VSWR de los cinco diferentes diseños propuestos de la antena microstrip

DISEÑOS	VSWR [dB]	Frecuencias [GHz]
Diseño 1	1.44	60.03
Diseño 2	1.24	60.03
Diseño 3	1.27	60.03
Diseño 4	1.33	60.03
Diseño 5	1.08	60.03

En la Figura 5, se presenta la curva de VSWR del mejor diseño (diseño 5), con un valor de 1.08 dB.

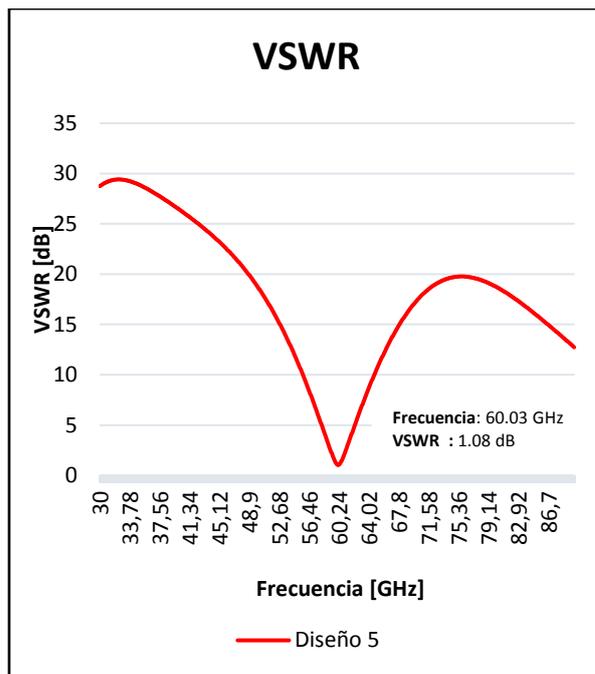


Figura. 5. Relación de Onda estacionaria de Voltaje del diseño 5 propuesta de la antena.

3.2 Patrón de Radiación

El patrón de radiación se define como una representación gráfica de las variables de radiación de una antena. El haz principal se define como "el lóbulo de radiación que contiene la dirección de radiación máxima". Un lóbulo posterior es "un lóbulo de radiación cuyo axis forma un ángulo de aproximadamente 180 ° con respecto al haz principal de una antena". Esto quiere decir que la dirección del lóbulo posterior está situado en dirección opuesta del lóbulo principal o haz principal [2].

En la Tabla 5, se muestran las gráficas tridimensionales de los patrones de radiación de los 5 diseños propuestos, los que están conformados de: un lóbulo principal, un lóbulo posterior y dos nullos, con ello y en base a cada gráfica cumplen con el objetivo de llegar sobre los -3 dB.

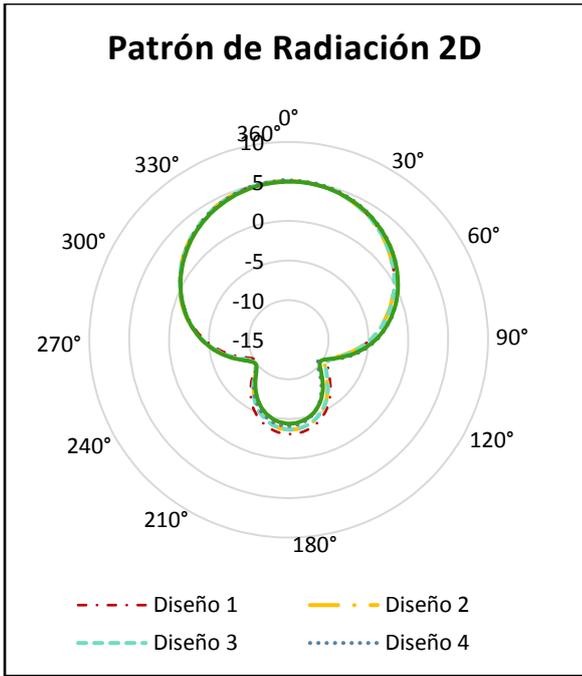


Figura. 6. Patrones de Radiación de los cinco diseños propuestos.

El análisis comparativo de los patrones de radiación en 3D de cada uno de los diseños, da como resultado un máximo de ganancia de - 5.13 dB para los cuatro primeros diseños y un mínimo de - 4.97 dB, debido al ajuste en el patch para que la onda se acerque más al valor deseado.

En la Figura 6 se muestran los lóbulos de las 5 antenas propuestas con un corte en el ángulo $\Phi=0^\circ$. Esta gráfica permite identificar el lóbulo principal, posterior y los dos nullos, respectivamente.

En la Figura 7, se presenta el diseño de la antena propuesta vinculado al patrón de radiación de modo que se pueda observar, la formación de los lóbulos analizados y la dirección a los que estos apuntan con referencia a la posición de la antena.

Tabla 5. Patrones de Radiación 3D de los cinco diseños propuestos.

Diseño 1	Diseño 2	Diseño 3	Diseño 4	Diseño 5
Vista General				
Vista Superior				
Vista Frontal				

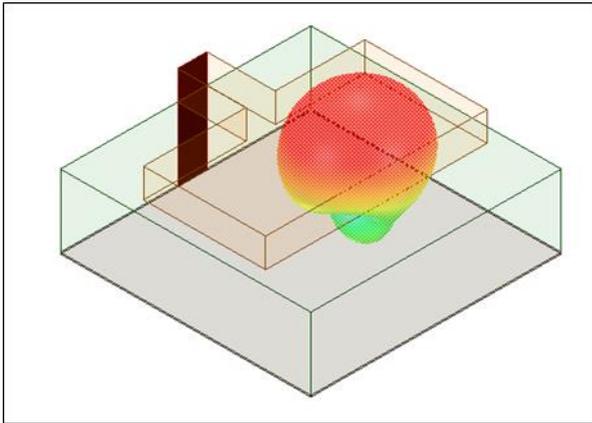


Figura. 7. Diseño propuesto de la antena microstrip con el patrón de radiación concerniente al diseño 5.

En la Tabla 6 se observa el valor mínimo y máximo del lóbulo principal y el lóbulo secundario o posterior referente al patrón de radiación de la antena propuesta.

Estos valores indican la ganancia máxima y mínima que tiene el diseño propuesto para la microstrip.

Tabla 6. Comparación de los valores de los lóbulos del patrón de radiación.

Diseños	Ganancia máx. [dB]	Ganancia mín.[dB]
Diseño 1	-5.09	-13.78
Diseño 2	-5.07	-14.86
Diseño 3	-5.05	-14.54
Diseño 4	-5.13	-14.64
Diseño 5	-4.97	-14.76

3.4 Propagación del Campo Eléctrico

Los campos eléctricos y magnéticos se originan en dos medios, el dieléctrico o también conocido como un material con una baja conductividad eléctrica y el aire. La relación de la dirección del campo magnético y el flujo de corriente proviene directamente de las ecuaciones de Maxwell que describen los fenómenos electromagnéticos [10].

Dado esto, la presencia de un material entre los conductores altera las características

eléctricas de la interconexión. Con un dieléctrico, la aplicación de un campo eléctrico mueve los centros de carga positiva y negativa a nivel atómico y molecular. Mover los centros de carga cambia la cantidad de energía almacenada en el campo eléctrico, y un ejemplo representativo es la carga que almacena un resorte al estar totalmente estirado. Por lo que, la funcionalidad de almacenamiento de energía extra se describe por la permitividad relativa (ϵ_r), que es la relación entre la permitividad del material y la del espacio libre [10].

En la Figura 8, se muestra la forma como viajan las líneas de campo eléctrico y magnético del patch de la antena propuesta.

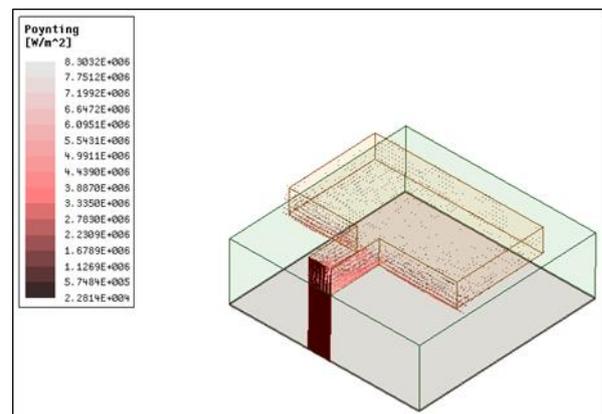


Figura. 8. Líneas de campo eléctrico y magnético en el patch de la antena

Finalmente, en la Figura 9 se puede observar como viajan las líneas de campo eléctrico y magnético, tanto del patch vinculado a la línea de transmisión, como en el sustrato, con lo que se comprueba que en la mayoría de elementos de la antena propuesta los electrones empiezan a propagarse en pares, pero con un signo contrario, debido a la excitación en la línea de transmisión que se une al patch lo que significa que la carga es distribuida ya sea en el patch como en el sustrato.

4. Análisis de Resultados

El diseño 1 referente a los coeficientes de reflexión de la antena microstrip, tiene el

menor valor aproximado a -21.63 dB de los cinco diseños y un desplazamiento mayor de frecuencia con respecto al diseño 5 ya que en funcionalidad tiene un mayor valor de -24.16 dB, esto se debe a que el diseño 5 mejora sus medidas en la altura del patch y línea de transmisión en aproximadamente 0.004 décimas, que hace que la curva sea estable en la frecuencia de 60 GHz; y además, las medidas de sustrato y tierra son iguales tanto en el eje de las ordenadas como de las abscisas, excepto por su espesor ya que la tierra tiene un valor de 0.01 mm y el del sustrato a 0.5 mm.

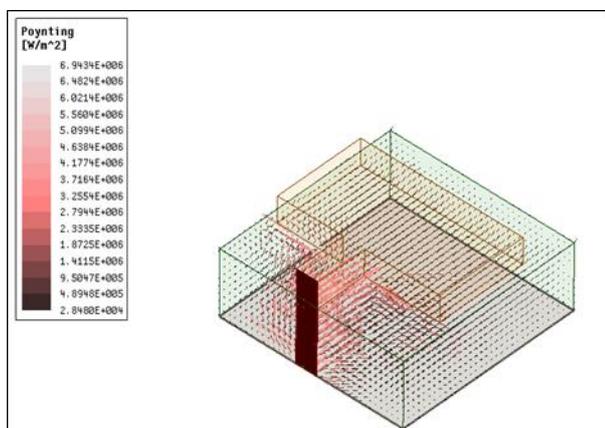


Figura. 9. Líneas de campo eléctrico y magnético en el sustrato y en el patch de la antena

Una de las variantes en la antena es la aplicación de materiales para el diseño de la misma y uno de los materiales aplicados que conlleva a un cambio radical de la curva es en el sustrato, que tiene un material FR4_epoxy que es un polímero, acoplado con láminas de cobre y funcional para el uso en ondas milimétricas debido a su alta resistencia al calor y la humedad, el mismo que tiene una permitividad relativa de 4.4 que además de incidir en las pérdidas de radiación, hace que la curva sea estable en los 60 GHz.

El diseño 5, presenta una mejor relación onda estacionaria igual a 1.08 dB, debido a que muestra un mejor ajuste de impedancia, esto quiere decir que, la altura h del patch está relacionada en la mejora del VSWR ya que a una altura menor a 0.2 mm el VSWR recae en medidas bajas de aproximadamente 0.5 dB donde el acoplamiento de impedancias

vendría a ser nulo, así bien el ajuste del sustrato del diseño 5 aumenta en 0.002 milésimas de la medida referente del sustrato de 0.2 milésimas de los demás diseños.

EL patrón de radiación de la antena propuesta del diseño 5 tiene buena directividad igual a -4.97 dB por encima de los 3 dB donde se considera que una antena tiene un intervalo angular en el que la densidad de potencia por unidad de superficie que se dirige en cierta dirección es igual a la mitad de la potencia máxima, lo que quiere decir que la ganancia disminuye a diferencia de los otros 4 diseños debido a las pérdidas en la línea de transmisión, al material usado tanto en el sustrato como en el patch y tierra.

Para el afinamiento del ancho de banda de la antena propuesta, se debe tener en cuenta que, en el sustrato, al tener un acercamiento del ancho del mismo con una variante de aproximadamente 0.2 mm de la medida dada, el mejoramiento tanto en pérdidas de retorno y exactitud en la frecuencia son significativas. Así bien, el mejor ancho de banda tomando como referencia -15 dB que sugiere el mejoramiento de ancho de banda en base a una relación 3/100 de potencia y un mínimo de -24.16 dB donde recae un funcionamiento de la antena estable es de 2.5 GHz del diseño 5.

5. Conclusiones

De los cinco diseños propuestos en este artículo, el que más destaca en comparación a los otros diseños es el cinco, debido a que las pérdidas de retorno recaen en un punto más bajo de -24.16 dB, esto se debió netamente a la influencia de las dimensiones del patch, es decir, con un patch más grueso y de mayor área, se obtuvo un mejor S11.

La importancia de la permitividad del sustrato indica que hay una directa proporcionalidad entre el aumento y disminución de este valor con el desplazamiento en frecuencia del parámetro S11.

6. Referencias

- [1] S. Tariq, D. Psychoudakis, O. Eliezer, and F. Khan, "A new approach to antenna beamforming for millimeter-wave fifth generation (5G) systems," *Proc. 2018 Texas Symp. Wirel. Microw. Circuits Syst. WMCS 2018*, pp. 1–5, 2018.
- [2] D. G. Fang, *Antenna Theory and Microstrip Antennas*. Baton Rouge, UNITED STATES: CRC Press LLC, 2009.
- [3] I. O. P. C. Series and M. Science, "A Millimeter Wave based Circular Slot Loaded Microstrip Patch Antenna for 5G Communication A MILLIMETER WAVE BASED CIRCULAR SLOT LOADED MICROSTRIP PATCH ANTENNA FOR 5G," 2019.
- [4] R. Garg, I. Bahl, and M. Bozzi, *Microstrip Lines and Slotlines*. Norwood, UNITED STATES: Artech House, 2013.
- [5] E. Science, "DESIGN OF A SMALL PATCH ANTENNA AT 3 . 5 GHZ FOR 5G DESIGN OF A SMALL PATCH ANTENNA AT 3 . 5 GHZ FOR 5G APPLICATION," 2019.
- [6] A. S. Sappal, "DESIGN of RECTANGULAR MICROSTRIP PATCH ANTENNA USING PARTICLE," *2018 IEEE Int. Conf. Autom. Congr. Chil. Assoc. Autom. Control*, vol. 2, no. 7, pp. 2918–2920, 2013.
- [7] G. M. López, "Modelado Circuitual de Diferentes Configuraciones De Antenas Microstrip," 2013.
- [8] R. C. Hansen and R. E. Collin, *Small Antenna Handbook*. Hoboken, UNITED STATES: John Wiley & Sons, Incorporated, 2011.
- [9] D. Guha, Y. M. M. Antar, and Y. M. M. Antar, *Microstrip and Printed Antennas : New Trends, Techniques and Applications*. Hoboken, UNITED KINGDOM: John Wiley & Sons, Incorporated, 2010.
- [10] T. Edwards and M. Steer, *Foundations*

for Microstrip Circuit Design.
Chicester, UNITED KINGDOM: John
Wiley & Sons, Incorporated, 2016.