

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

**CARRERA:
INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:
INGENIERO ELECTRÓNICO**

**TEMA:
DISEÑO DE UNA ANTENA DE LÁMINA CURVA PARA ONDA
MILIMÉTRICA**

**AUTOR:
CRISTIAN ADRIAN GÓMEZ ÁLVAREZ**

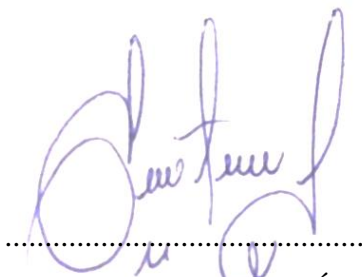
**TUTOR:
LENIN WLADIMIR AUCATOMA GUAMÁN**

Quito, agosto del 2020

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Yo, Cristian Adrian Gómez Álvarez, con documento de identificación N° 1721396214 respectivamente, manifiesto mi voluntad y cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del trabajo de titulación intitulado: “DISEÑO DE UNA ANTENA DE LÁMINA CURVA PARA ONDA MILIMÉTRICA”, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Electrónico, 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 autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.



.....
Cristian Adrian Gómez Álvarez

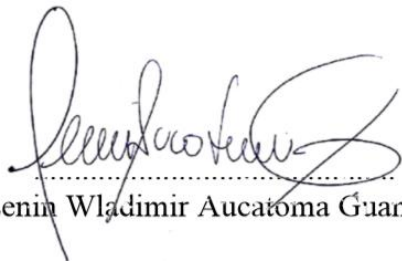
CI: 1721396214

Quito, agosto del 2020

DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR

Yo declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el trabajo de titulación, “DISEÑO DE UNA ANTENA DE LÁMINA CURVA PARA ONDA MILIMÉTRICA” realizado por Cristian Adrian Gómez Álvarez, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana para ser considerados como trabajo final de titulación.

Quito, agosto del 2020



Lenia Wladimir Aucatoma Guamán

CI: 1717985830

Diseño de una antena de lámina curva para onda milimétrica

Gómez Álvarez Cristian Adrian
Ingeniería Electrónica
Universidad Politécnica Salesiana
Quito, Ecuador
cgomez2@est.ups.edu.ec

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

Resumen - La investigación propone diseñar una antena de lámina curva para onda milimétrica, integrada en un sustrato dieléctrico, que contempla además el uso de diferentes tipos de materiales, con las dimensiones de cada una de las estructuras geométricas y su respectiva simulación mediante un software de alta frecuencia (ANSYS - HFSS). Se realizaron varias pruebas con la finalidad de encontrar diseños que se adapten a los objetivos de investigación. El diseño que más se adapta opera a 60.000 GHz de frecuencia, un parámetro S (1, 1) de -22.3524 dB con un ancho de banda de 480 MHz, un VSWR de 1.3276 dB y un patrón de radiación directivo con una ganancia de 4.6 dB. Estos valores se establecen dentro de la banda de mmW para definitivamente elaborar conclusiones mediante los resultados obtenidos en los diseños realizados además del impacto del curl y polarización circular (CP) en las antenas.

Abstract - The research proposes to design of a curved sheet antenna for millimeter wave, integrated into a dielectric substratum, which also contemplates the use of different types of materials, with the dimensions of each of the geometric structures and their respective simulation by means of a software high frequency (ANSYS - HFSS). Several tests were carried out in order to find designs that adapt to the research objectives. The most suitable design operates at 60.000 GHz frequency, a S (1, 1) parameter of -22.3524 dB with a bandwidth of 480 MHz, a VSWR of 1.3276 dB and a directive radiation pattern with a gain of 4.6 dB. These values are established into the mmW band to definitively elaborate conclusions through the results obtained in the designs carried out in addition to the impact of the curl and circular polarization (CP) on the antennas.

Keywords - antena de lámina curva, onda milimétrica, coeficiente de reflexión, VSWR, patrón de radiación, ANSYS - HFSS.

I. INTRODUCCIÓN

Debido al rápido desarrollo que han experimentado las distintas tecnologías en la comunicación en los últimos años, se percibe un importante crecimiento en el tráfico de datos móviles, así como en aplicaciones que demandan altas velocidades lo cual demuestra la necesidad de usar nuevos estándares, así como la implementación de sistemas de próxima generación (5G) apto para soportar enormes velocidades a una gran cantidad de dispositivos conectados. [1]

Cada nueva generación de redes móviles o inalámbricas trae consigo mayor velocidad y mejores funcionalidades, 5G es la quinta generación de redes de comunicaciones donde tiene como objetivos brindar varios servicios de forma más rápida y eficaz con una velocidad de transferencia de 5000 megabits por segundo aproximadamente, [2] proporcionar conectividad masiva de baja latencia en el orden de los milisegundos además de contar con una gran estabilidad de conexiones e interacciones con el IoT. [1] Para suplir las expectativas de la nueva generación de redes de comunicaciones 5G, se empleará ondas milimétricas (mmW) que se encuentran en un rango de frecuencias de (30 - 300 GHz) para longitudes de (1 - 10 mm), conexiones para al menos 100 mil millones de dispositivos y 10 Gb/s que deben ser entregados a usuarios individuales. [3]

Se introducen mejoras en las antenas, en su capacidad, cobertura, espectro, calidad de la señal y así una evolución continua capaz de adaptarse a las necesidades como: aplicaciones con alta ganancia para la transmisión de datos a grandes distancias [4] con el propósito de buscar diseños innovadores y confiables que se acoplen a los esquemas para funcionar en la banda de onda milimétrica.

Existe un gran desarrollo en el diseño de antenas de banda ancha más eficiente y altamente efectivas. En esta investigación se diseñan antenas que operen a una frecuencia de 60 GHz donde se simulará una antena de lámina curva para altas ganancias la cual se excita a través de un brazo recto el cual se encuentra ubicado en un punto del sustrato y a su vez está conectado con la parte inferior del brazo de lámina curva

siendo este un elemento de onda viajera, la variación del tamaño en su estructura tendrá una gran influencia en el rendimiento del elemento. [5] Además de transmisiones a frecuencias elevadas, bajo costo, fabricación de peso ligero permitiendo una versatilidad en términos de radiación y uso en aplicaciones como: dispositivos inalámbricos, teléfonos celulares, GPS, comunicaciones satelitales, etc. [6] en baja latencia y alta velocidad para un entorno abundante del IoT donde existan redes idóneas para garantizar la comunicación de los dispositivos.

II. DISEÑO DE LA ANTENA

En este estudio, la antena propuesta se forma de dos capas, sobre la capa superior se propone un elemento curvo apilado impreso, que es el elemento de onda viajera, un brazo recto como línea de transmisión impresa sobre el sustrato conectado con la parte inferior del brazo curl. La radiación CP se controla principalmente por el carácter de onda viajera del brazo de rizo de la capa superior [5] en uno de los costados del diseño se encuentra un puerto de excitación.

En la figura 1 se representa el diseño a simular que se compone por una tierra, un sustrato, la antena de lámina curva y el puerto de excitación.

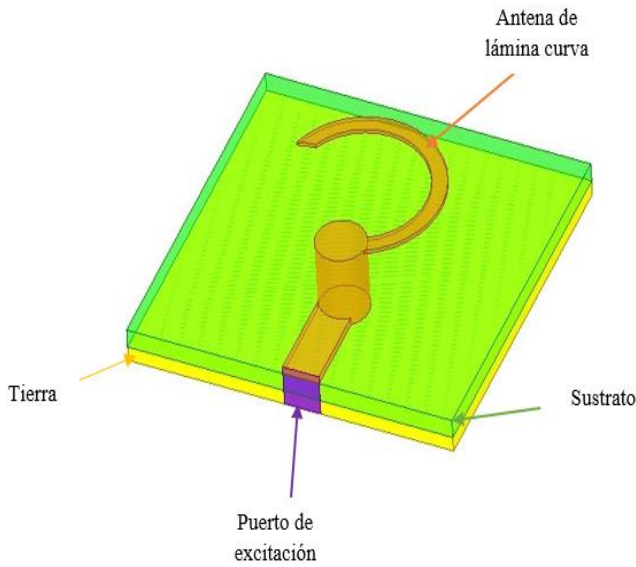


Figura 1. Vista general del diseño de la antena de lámina curva.

La antena de lámina curva se descompone en secciones (Línea-Tx, Cilindro y Lámina-curva), además de poseer dos capas (Sustrato y Tierra) y un puerto de excitación.

En la Tabla 1 se detalla el valor de permitividad relativa de cada material usado, además de las coordenadas (X=ancho, Y=largo, Z= altura) utilizados para el diseño de cada elemento.

Tabla 1. Detalle de los elementos y materiales.

Antena de lámina curva		Coordenadas (X, Y, Z)
Línea-Tx	Cilindro	Lámina-curva
Material: Cobre		Permitividad relativa (ϵ_r): 1
Sustrato		Coordenadas (X, Y, Z)
Material: FR4_epoxy		Permitividad relativa (ϵ_r): 4.4
Tierra		Coordenadas (X, Y, Z)
Material: Cobre		Permitividad relativa (ϵ_r): 1
Puerto de excitación		Coordenadas (X, Z)

En la Figura 2 se observa cada elemento de forma separada y la ubicación de cada una de las coordenadas, además del R y H (R=radio, H= altura) usados para el diseño del cilindro.

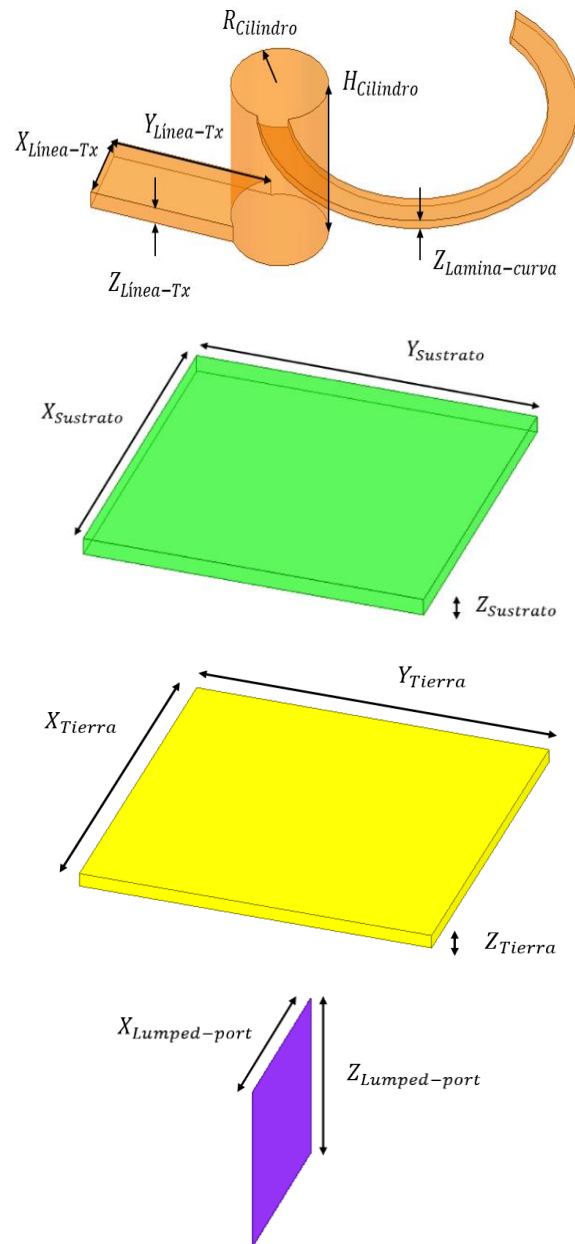


Figura 2. Elementos y coordenadas para el diseño de la antena de lámina curva.

Tabla 2. Dimensiones de las coordenadas (X, Y, Z) de la antena de lámina curva.

Antena de lámina curva	
VARIABLES	DIMENSIONES (mm)
$Z_{Lámina-curva}$	0.05
$R_{Cilindro}$	0.37619808611953
$H_{Cilindro}$	0.966
$X_{Línea-Tx}$	0.56
$Y_{Línea-Tx}$	1.264376081
$Z_{Línea-Tx}$	0.1
Sustrato	
VARIABLES	DIMENSIONES (mm)
$X_{Sustrato}$	5
$Y_{Sustrato}$	5
$Z_{Sustrato}$	0.254
Tierra	
VARIABLES	DIMENSIONES (mm)
X_{Tierra}	5
Y_{Tierra}	5
Z_{Tierra}	0.2
Puerto de excitación	
VARIABLES	DIMENSIONES (mm)
$X_{Lumped-port}$	0.56
$Z_{Lumped-port}$	0.554

III. SIMULACIÓN Y RESULTADOS

Dentro del proceso de experimentación se analizaron 5 diseños específicos con el fin de alcanzar los parámetros de funcionamiento para la frecuencia de 60 GHz. Estos diseños entregaron resultados que se encuentran dentro del rango del coeficiente de reflexión S (1, 1) con valores por debajo de los -20 dB que se expresa con la relación 1/100 de la potencia de pérdida con respecto a la recibida, valores de VSWR dentro del rango de 1 a 1.5 dB y un patrón de radiación directivo.

La variación de cada diseño en dimensión (mm) o material (con su respectivo valor de permitividad relativa) se especifica en la Tabla 3, siendo el diseño 5 el que más se acerca a los objetivos de investigación planteados.

Tabla 3. Los diseños de la experimentación del 1 al 5.

Diseño 5		
Antena de lámina curva		
Línea-Tx	Cilindro	Lámina curva
X=0.56 Y=1.264376081 Z=0.1	R=0.37619808611953 H=0.966	Z=0.05
Material: Cobre		Permitividad Relativa (ϵ_r): 1
Sustrato		
X=5	Y=5	Z=0.254
Material: FR4_epoxy		Permitividad Relativa (ϵ_r): 4.4

Tierra		
X=5	Y=5	Z=0.2
Materiales: Cobre		Permitividad Relativa (ϵ_r): 1
Puerto de excitación		
X=0.56		Z=0.554
Diseño 4		
Antena de lámina curva		
Material: Gold		Permitividad Relativa (ϵ_r): 1
Tierra		
Material: Gold		Permitividad Relativa (ϵ_r): 1
Diseño 3		
Antena de lámina curva		
Material: Iron		Permitividad Relativa (ϵ_r): 1
Diseño 2		
Tierra		
Material: Alumina_92		Permitividad Relativa (ϵ_r): 9.2
Diseño 1		
Antena de lámina curva		
Cilindro		
H=1.188		

A. Coeficiente de reflexión S (1, 1)

Se encarga de medir la cantidad de potencia que se refleja y sale por el mismo lugar de entrada, [7] para valores que se encuentren por debajo de los -20 dB y se expresa con la relación 1/100, el cual varía debido a la ubicación del punto de excitación sobre el diseño. [5] La Tabla 4 determina el valor obtenido en frecuencia y coeficiente de reflexión S (1, 1) para cada diseño.

Tabla 4. Valor de la frecuencia y S (1, 1) de los diseños de la experimentación.

Diseños	Frecuencia (GHz)	S (1, 1) dB
Diseño 5	60.0000	-22.3524
Diseño 4	60.0444	-22.5498
Diseño 3	60.0444	-22.4063
Diseño 2	59.9556	-22.0971
Diseño 1	59.9556	-21.4407

La simulación de las muestras de los cinco diseños, permiten realizar un amplio análisis de los posibles armónicos ya que el rango de la banda de frecuencia va de 50 GHz a 70 GHz donde no existe hardware de forma masiva.

Las muestras son simuladas a 60 GHz, siendo el diseño 5 el que más se acerca a los objetivos de investigación con una frecuencia de 60.0000 GHz y un coeficiente de reflexión S (1, 1) de -22.3524 dB. En la Figura 3 se observa la simulación de los 5 diseños donde se realizó un acercamiento en la banda de frecuencia de 59 GHz a 61 GHz para visualizar su diferencia.

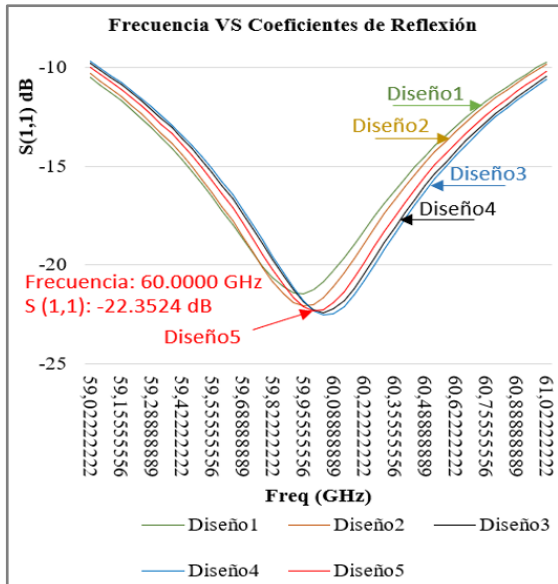


Figura 3. Frecuencia vs $S(1, 1)$ de los diseños de la experimentación.

La figura 4 muestra los valores para el cálculo del ancho de banda del diseño 5, se reduce -3 dB el valor del parámetro $S(1, 1)$ lo que nos indica la relación de recorte de mitad de potencia obteniendo un valor de -19.3524 dB donde se adquiere una $Freq_{min} = 59.77$ GHz y $Freq_{max} = 60.25$ GHz.

$$\begin{aligned} \text{Ancho de Banda (BW)} &= Freq_{max} - Freq_{min} \\ \text{Ancho de Banda (BW)} &= 60.25 \text{ GHz} - 59.77 \text{ GHz} \\ \text{Ancho de Banda (BW)} &= 0.48 \text{ GHz} = 480 \text{ MHz} \end{aligned}$$

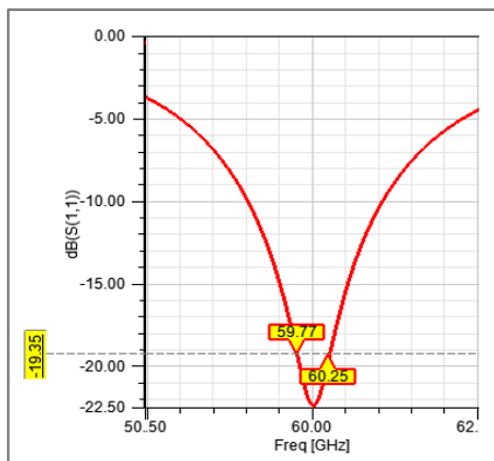


Figura 4. Valores para el cálculo del ancho de banda del diseño 5.

Tabla 5. Valor del ancho de banda de los diseños de la experimentación.

Diseños	$S(1, 1)$ dB	BW(MHz)
Diseño 5	-19.3524	480
Diseño 4	-19.5498	470
Diseño 3	-19.4063	480
Diseño 2	-19.0971	490
Diseño 1	-18.4407	540

B. VSWR (Relación de Onda Estacionaria de Voltaje)

La efectividad en el acoplamiento de la línea de transmisión con la carga está dada por el VSWR, el mismo que al lograr un valor de 1 determina un acoplamiento ideal. Sin embargo, cuando el valor de VSWR es menor a 2, se lo considera también un buen acoplamiento [8] y es por ello que el enfoque de la presente investigación determina como objetivo un VSWR dentro del rango de 1 a 1.5 dB para un resultado más óptimo de la antenna diseñada. La Tabla 6 determina el valor obtenido en frecuencia y VSWR para cada diseño.

Tabla 6. Valor de la frecuencia y VSWR de los diseños de la experimentación.

Diseños	Frecuencia (GHz)	VSWR (dB)
Diseño 5	60.0000	1.3276
Diseño 4	60.0444	1.2977
Diseño 3	60.0444	1.3194
Diseño 2	59.9556	1.3674
Diseño 1	59.9556	1.4752

Las muestras son simuladas a 60 GHz, siendo el diseño 5 el que más se acerca a los objetivos de investigación con una frecuencia de 60.0000 GHz y un VSWR de 1.3276 dB. En la Figura 5 se observa la simulación de los 5 diseños donde se realizó un acercamiento en la banda de frecuencia de 59 GHz a 61 GHz para visualizar su diferencia.

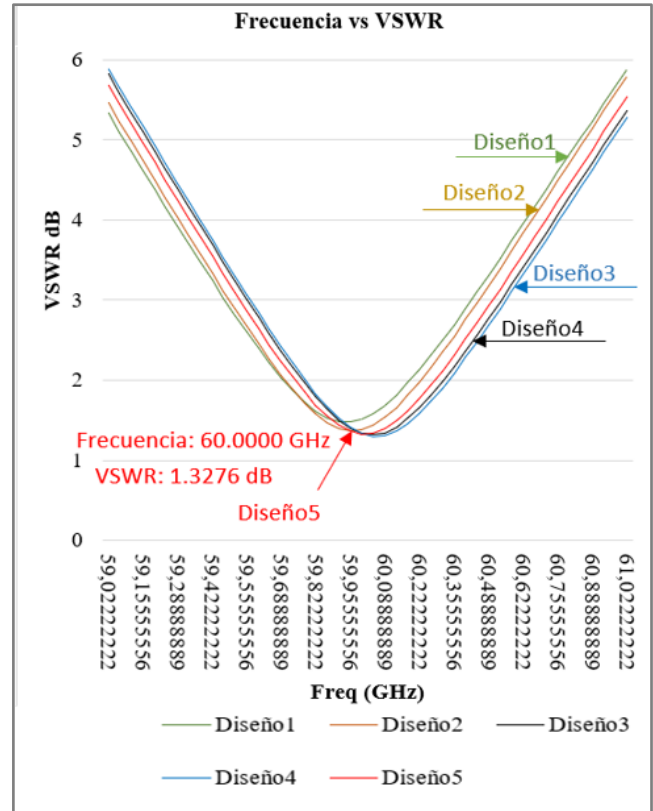


Figura 5. Frecuencia vs VSWR de los diseños de la experimentación.

C. Patrón de Radiación

Es la representación gráfica 2D o 3D de las características de radiación de una antena como la concentración de potencia radiada, la amplitud o fase del campo eléctrico. [9]

La Figura 6 muestra la gráfica 2D del patrón de radiación que se encuentra en Mag/Ang Polar con un ángulo Phi (Φ) de 0° y posee una zona de radiación mayor denominada haz o lóbulo principal la cual se ubica sobre los -3 dB con un ancho de lóbulo de 110° también posee otras dos zonas situadas en el diagrama, pero de menor amplitud que se las llama lóbulos secundarios. [10]

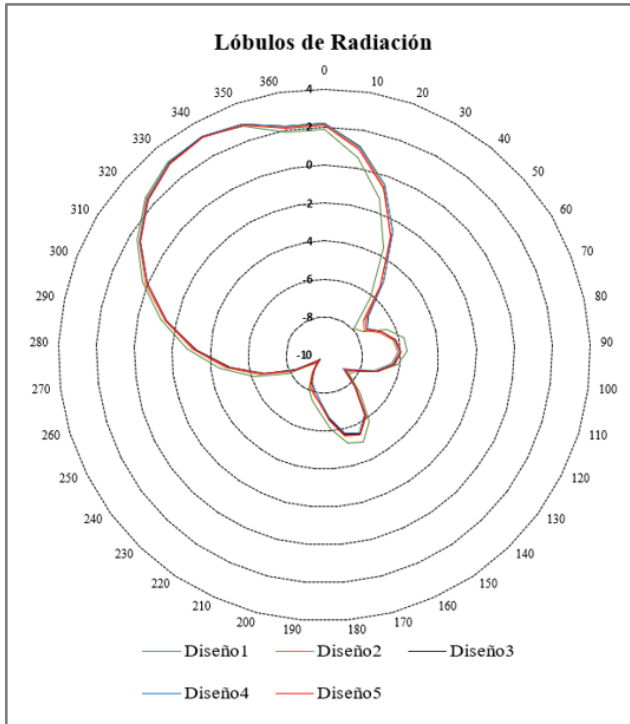


Figura 6. Lóbulos de radiación de los diseños de la experimentación.

La Figura 7 muestra la gráfica 3D del patrón de radiación que se encuentra en 3D Polar donde se representa la Vista Frontal y la Vista Superior del diseño 5 que es él que se acerca más a los objetivos de investigación.

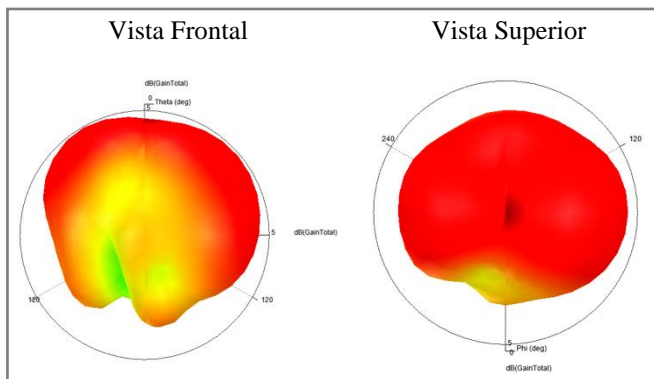


Figura 7. Patrón de radiación 3D del diseño 5.

En la Tabla 7 se observa el valor de la ganancia máxima y el valor de la ganancia mínima del patrón de radiación simulado para cada diseño de la antena.

Tabla 7. Valor de la ganancia (Min y Max) de los diseños de la experimentación.

Diseños	Ganancia Min [dB]	Ganancia Max [dB]
Diseño 5	-31	4.6
Diseño 4	-31.47	4.55
Diseño 3	-32.2	4.6
Diseño 2	-33.4	4.6
Diseño 1	-28.7	4.5

D. Campo Eléctrico

En la Figura 8 se muestra la intensidad del campo eléctrico distribuida sobre el sustrato, donde se observa la mayor intensidad en la línea de transmisión y sobre la base del cilindro de la antena, se representa por un color aproximadamente rojo y un valor de campo E de $3.0240 \times 10^5 \text{ V/m}$. La intensidad del campo eléctrico va disminuyendo hacia las esquinas del sustrato al mismo tiempo se produce una degradación del color.

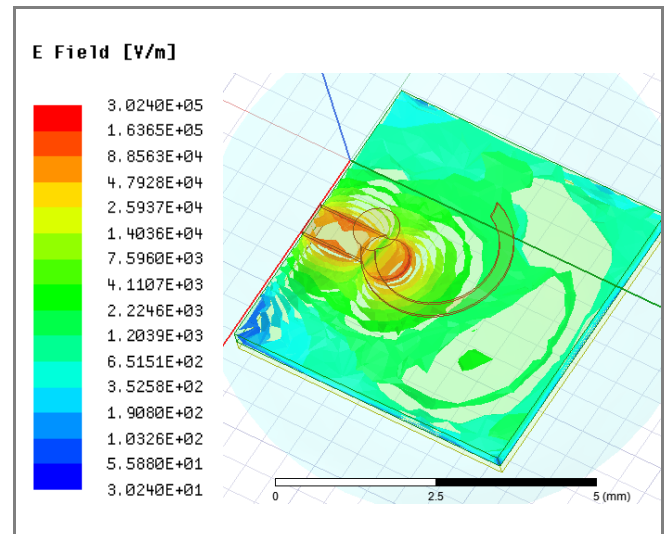


Figura 8. Campo E sobre el sustrato.

IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El coeficiente de reflexión S (1, 1) es el parámetro más representativo del desempeño de las antenas ya que permite obtener una referencia de las pérdidas que ocasiona el acoplar dos o más elementos. Un resultado por debajo de los -10 dB demuestra la transmisión mínima del 90% de la potencia lo que indica que las pérdidas por reflexión son insignificantes. [11]

La muestra con mejor resultado es el diseño 5 con un valor de frecuencia de 60.0000 GHz y un coeficiente de reflexión de -22.3524 dB, mientras menor sea la reflexión en dB, más eficiente será la antena. Se vieron estas mejoras en el diseño

5 cuando se añadió la modificación en los planos de la tierra y el sustrato con valores en el eje de coordenadas Z de 0.2 mm y 0.254 mm dando como resultado un mejor acoplamiento del puerto de alimentación con el diseño de la antena. [12]

El tamaño pequeño de la antena crea problemas fundamentales en la obtención de un valor bajo de VSWR en la banda de frecuencia requerida. El principal efecto de un alto VSWR es la pérdida de reflexión en la entrada. [13]

En el diseño de cada una de las muestras de las antenas de lámina curva se logró una adaptación de impedancia, es decir, una relación de onda estacionaria de voltaje admisible para los objetivos de investigación planteados. Lo ideal sería un valor de VSWR igual 1 pero también se puede considerar un valor que no sea superior a 2. La antena de lámina curva que presenta el diseño 5 se encuentra ubicada en la superficie del dieléctrico que se caracteriza por tener las mismas dimensiones en las coordenadas ($X=Y$) obteniendo la forma de un prisma cuadrangular en el sustrato, además de tener un material isotrópico que permite que se distribuyan las líneas del campo vectorial eléctrico de forma homogénea logrando un valor de VSWR de 1.3276 dB lo que nos indica que existe un buen acoplamiento de la antena. [14] Ya que al tener diferentes dimensiones en las coordenadas ($X \neq Y$) se obtiene la forma de un prisma rectangular en el sustrato donde se aprecia una variación en la banda de frecuencia además de un 7.67 % de empeoramiento en el VSWR.

Tanto el grosor como la permitividad relativa son los parámetros más relevantes en los sustratos dieléctricos, se puede usar una gran variedad de sustratos para el diseño de antenas. El material apropiado que se usa en el sustrato por lo general debe poseer una permitividad relativa que se encuentre dentro de los rangos de $2.2 \leq \epsilon_r \leq 12$, proporcionando una alta eficacia y un ancho de banda adecuado, [15] además de producir un crecimiento o decrecimiento en la frecuencia de operación. [16]

El diseño 5 presenta un sustrato dieléctrico ubicado debajo de la línea de transmisión y base del cilindro de la antena con un grosor de 0.254 mm produciendo un incremento en la eficiencia de radiación de la antena porque al tener un sustrato muy fino puede producirse una baja resistencia de entrada ya que la radiación de los campos electromagnéticos puede verse modificados al aumentar o disminuir el grosor del sustrato debido a que unas ondas viajan por el aire y otras por el sustrato. [18] Como material se eligió el FR4_epoxy con un valor de $\epsilon_r=4.4$ parámetros que permiten obtener un valor de 60.0000 GHz en la banda de frecuencia, este parámetro es de gran importancia debido a que reduce su directa incidencia en las pérdidas por radiación, las cuales aumentan en el uso de sustratos que poseen poca permitividad, concentrando su mayor parte energía radiada en una dirección particular la cual se encuentra en la línea de transmisión y la base del cilindro esto se produce por parte del sustrato dieléctrico ya que el material usado posee propiedades de isotropía considerando la permitividad relativa en dirección del eje Z,

es decir, a lo largo del grosor del dieléctrico,[19] además de ser un material usado en la mayoría de los diseños de bajo costo muy popular y aprobado para la elaboración de placas impresas por mantener su buena resistencia a altas y bajas temperaturas [17] funcionando bien en la mayoría de las condiciones ambientales manteniendo durabilidad, rendimiento así como sus propiedades eléctricas.

La lámina curva de la antena del diseño 5, presenta una capa muy fina con un grosor de 0.05 mm, adicionalmente posee dos capas el sustrato y la tierra que se caracterizan por poseer dimensiones semejantes en los ejes de coordenadas X Y, beneficiando al patrón de radiación generado, ya que la conductividad se distribuye de forma similar en sus capas semejantes donde se produce la representación directiva de la energía electromagnética, radiando un lóbulo principal de potencia media de 110° en una dirección de 340° y la formación de lóbulos secundarios con niveles de baja potencia, además de la precisión en uno de los costados del diseño donde se coloca el puerto de excitación. [20] Ya que si las capas del sustrato y la tierra presentan distintas dimensiones en sus ejes de coordenadas se produce una disminución en la directividad de la antena y un aumento en los niveles de potencia de los lóbulos secundarios.

V. CONCLUSIONES

De las muestras de los 5 diseños analizados, el que más sobresale es el diseño 5 que cumple con los parámetros establecidos, en el cual se obtuvo un coeficiente de reflexión S (1, 1) de -22.3524 dB y un VSWR de 1.3276 dB a una frecuencia de 60.0000 GHz. El diseño 5 presenta un mejoramiento en el parámetro S (1, 1) y VSWR del 4.252% y 10.005% en comparación con el diseño 1, en el que se produce el mayor impacto donde se realizó un incremento en las dimensiones del cilindro ($H=1.188$), disminuyendo la intensidad del campo eléctrico en un 10.185% empeorando los resultados con respecto a las muestras simuladas.

El efecto del elemento curvo en la antena es el mejoramiento del ancho de banda y VSWR, además se encarga de producir una radiación de forma directiva plasmando un haz en una dirección específica, la antena se encuentra alimentada de forma precisa en uno de los costados del diseño donde la onda viajera puede excitarse con éxito a lo largo de la línea de transmisión.

VI. REFERENCIAS

- [1] W. Xiang and K. Z. Xuemin, *5G Mobile Communications - Wei Xiang*. .
- [2] Moisés Elías Batista Fuentes1; Eliana Katherine Díaz Ibáñez2, "Ingeniería en Telecomunicaciones 65," pp. 65–72.
- [3] C.-X. W. Yang Yang, Jing Xu, Guang Shi, *5G Wireless Systems: Simulation and Evaluation Techniques*. 2018.
- [4] C. Technology, *Millimeter-Wave Antennas: Configurations and Applications*. .
- [5] Q. Wu, J. Hirokawa, J. Yin, C. Yu, H. Wang, and W.

- Hong, “Millimeter-Wave Planar Broadband Circularly Polarized Antenna Array Using Stacked Curl Elements,” *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 65, no. 12, pp. 7052–7062, 2017, doi: 10.1109/TAP.2017.2766456.
- [6] K. E. Gavilánez López and D. G. Ripalda Carranza, “Diseño e implementación de una antena plana con control de fase utilizando la matriz de Butler para aplicaciones radar de corto alcance.,” 2017, [Online]. Available: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/6870>.
- [7] A. M. Pascual, “Trabajo Fin de Grado,” *Zaguan.Unizar.Es*, pp. 0–43, 2014, [Online]. Available: <http://zaguan.unizar.es/TAZ/EUCS/2014/14180/TAZ-TFG-2014-408.pdf>.
- [8] P. Previo *et al.*, “Escuela Politécnica Nacional Facultad De Ingeniería Eléctrica Y Electrónica Análisis Y Simulación De La Propagación De Ondas Milimétricas En Un Ambiente Indoor,” 2017.
- [9] “REVISTA COLOMBIANA DE FÍSICA, VOL. 38, No. 4, 2006 SISTEMA AUTOMATICO PARA LA OBTENCION DE PATRONES DE RADIACIÓN DE ANTENAS DE BOCINA Oscar Ledesma Avila1, Alberto Patiño Vanegas1, Heriberto Peña Pedraza1,” vol. 38, no. 4, pp. 1439–1442, 2006.
- [10] A. Goleman, Daniel; Boyatzis, Richard; Mckee and Perdana, “濟無 No Title No Title,” *J. Chem. Inf. Model.*, vol. 53, no. 9, pp. 1689–1699, 2018, doi: 10.1017/CBO9781107415324.004.
- [11] M. En, C. En, E. L. Area, C. Y. Technolog, and I. A. Del, “Arreglo de Antenas de Microtira para Aplicaciones Satelitales Brian Juli ´ an S ´ anchez Ruiz Instituto Nacional de Astrof ´ isica , Optica y Electr ´ onica.”
- [12] M. El Bouchti, “Diseño y medición de una antena wearable,” 2017, [Online]. Available: <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/106668#W7IFgfY2FkE.mendeley>.
- [13] G. Daniel, “Departamento de eléctrica y electrónica,” 2018.
- [14] “Polarización Circular Para La,” 2017.
- [15] D. E. L. A. Se, “DISEÑO DE ANTENAS DIRECTIVAS EN TECNOLOGÍA TEXTIL DE TIPO FABRY- - PEROT.”
- [16] G. M. López, “Modelado Circuital de Diferentes Configuraciones De Antenas Microstrip,” 2013, [Online]. Available: https://ddd.uab.cat/pub/trerepro/2013/hdl_2072_234678/PFC_GerardMateoLopez.pdf.
- [17] S. K. Singh, T. Sharan, and A. K. Singh, “Characterization of Broadband Antenna Based on FR-4 Substrate Material,” *Mater. Today Proc.*, vol. 12, pp. 628–635, 2019, doi: 10.1016/j.matpr.2019.03.107.
- [18] E. D. E. Electrónica, R. Stack, and M. Arteaga, “Diseño , Modelado y Caracterización de Arreglo de Antenas Microstrip para Aplicaciones del Internet de las Cosas . Karen Nallely Olan Nuñez,” 2019.
- [19] R. A. Ch, “Resumen,” 2007.
- [20] F. G. Olmedo, “Determinación del Patrón de Radiación de un Arreglo Dipolar Lineal Implementado en el MEXART,” 2008.