

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

CARRERA:

INGENIERÍA ELECTRÓNICA

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

TEMA:

**ANÁLISIS DE LOS PARÁMETROS DE DISPERSIÓN DE UNA ANTENA
HELICOIDAL PARA BANDA DE ONDA MILIMÉTRICA**

AUTOR:

DANIEL HERNÁN MENA ZURITA

TUTOR:

LENIN WLADIMIR AUCATOMA GUAMÁN

Quito, agosto de 2020

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Yo Daniel Hernán Mena Zurita, con documento de identificación N° 1715980304 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: “ANÁLISIS DE LOS PARÁMETROS DE DISPERSIÓN DE UNA ANTENA HELICOIDAL PARA BANDA DE 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.



.....
Daniel Hernán Mena Zurita

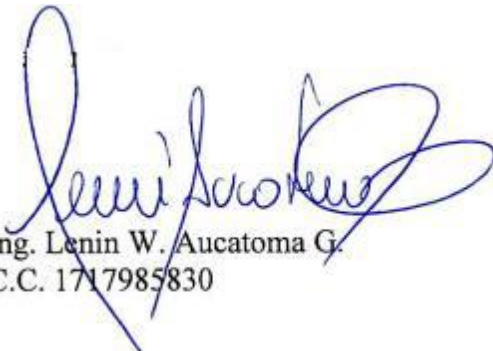
CI: 1715980304

Quito, agosto del 2020.

DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR

Yo declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el artículo académico, “ANÁLISIS DE LOS PARÁMETROS DE DISPERSIÓN DE UNA ANTENA HELICOIDAL PARA BANDA DE ONDA MILIMÉTRICA”, realizado por Daniel Hernán Mena Zurita, 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.



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

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado a Dios por regalarme el milagro de la vida y la oportunidad de ser profesional, llenando mi camino de fe y esperanza para superar cualquier obstáculo; A mi familia que con su apoyo incondicional han logrado guiarme por el camino correcto; Especialmente a mis padres Patricio Mena y Estela Zurita quienes han estado junto a mí en todo momento participando de mis triunfos, brindándome sus grandes lecciones de vida y así con su ejemplo han hecho de mí una persona íntegra, respetuosa, agradecida y perseverante; A mis hermanas Patricia y Karla que en los momentos difíciles siempre han sabido alentarme y animarme a seguir cumpliendo mis metas.

Finalmente quisiera dedicar este logro a mis maestros y amigos quienes han visto mi crecimiento profesional cada día en las aulas de clase y compartieron muchos momentos que perduraran en mi memoria por siempre.

AGRADECIMIENTO

Mis más sinceros agradecimientos, a Dios quien nos lleva de la mano por nuestro camino del conocimiento, nos da la oportunidad de ser buenos seres humanos capaces de ayudar al prójimo desinteresadamente.

Agradezco a mis padres por todo el apoyo incondicional que me han brindado en todo momento, apoyo que ha sido el pilar de mi formación personal y profesional.

Al ingeniero Lenin Aucatoma, MSc. quien supo guiarme no solo como docente sino también como amigo, al igual que mis maestros a lo largo del periodo universitario.

Finalmente, a la Universidad Politécnica Salesiana, quien me abrió las puertas del conocimiento e implanto en mi la responsabilidad social.

Análisis de los Parámetros de Dispersión de una Antena Helicoidal para Banda de Onda Milimétrica

Mena Zurita Daniel Hernán
Ingeniería Electrónica
Universidad Politécnica Salesiana
Quito, Ecuador
dmenaz@est.ups.edu.ec

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

Resumen--El siguiente artículo muestra el análisis de los parámetros de dispersión $S(1,1)$ de una antena helicoidal con una espira, la espira o helicoide está conformada por un conductor cuadrado de material oro, acoplado a un conductor cilíndrico el mismo que atraviesa el sustrato y la tierra donde se agrupa en un puerto de alimentación a 50Ω de impedancia, presenta un patrón de radiación sectorial con un ángulo de máxima directividad ϕ de 330 grados y un ancho de haz de 80 grados, su funcionamiento es en la banda de onda milimétrica a una frecuencia de 60 GHz, con polarización circular izquierda. Conformada por un dieléctrico compuesto por el material laminado Rogers TMM 4 con permitividad relativa de 4.5, por material conductor el oro y cobre por su alta conductividad tanto para la alimentación como para la tierra respectivamente, se obtiene parámetros cuyos valores son de -23.3516 dB para $S(1,1)$ y 1.1828 para VSWR, una ganancia máxima de 8.3089 dB. Diseñada y simulada en el software HFSS de ANSYS mediante cambios en su estructura geométrica como: tamaño, grosor, altura, forma geométrica y tipo de material tanto para el conductor como para el dieléctrico, helicoide y tierra.

Palabras clave: Helicoide, parámetros de dispersión, ganancia, sustrato

Abstract--The following article shows the analysis of the dispersion parameters $S(1,1)$ of a helical antenna with a loop, the loop or helix is made up of a square conductor of gold material, coupled to a cylindrical conductor, the same that crosses the substrate and the ground where it is grouped in a power port at 50Ω impedance, presents a sectorial radiation pattern with a maximum directivity angle ϕ of 330 degrees and a bandwidth of 80 degrees, its operation is in the wave band millimeter at a frequency of 60 GHz, with left circular polarization. Formed by a dielectric composed of Rogers TMM 4 laminated material with relative permittivity of 4.5, gold and copper as conductive material due to their high conductivity for both the power supply and the ground respectively, parameters are obtained whose values are -23.3516 dB for $S(1,1)$ and 1.1828 for VSWR, a maximum gain of 8.3089 dB. Designed and simulated in ANSYS HFSS software through changes

in its geometric structure such as: size, thickness, height, geometric shape and type of material for both the conductor and the dielectric, helical and ground.

Keywords: Helicoid, dispersion parameters, gain, substrate

I. INTRODUCCIÓN

El avance de las comunicaciones inalámbricas requiere una investigación más amplia para el uso de ondas milimétricas que están en el rango 30 a 300 GHz, para esto tenemos libre la banda V o banda de 60 GHz que abarca un rango de 59GHz a 64GHz permitiendo su utilidad en enlaces punto a punto o punto a multipunto [1]. Se puede diseñar nuevas tecnologías como elementos radiantes en el orden de los milímetros que nos permitan una comunicación con alta velocidad de transferencia de datos y que soporte gran cantidad de usuarios, también aportando con el desarrollo de mejores servicios de comunicación[2]. Dentro de los elementos radiantes seleccionamos la antena helicoidal ya que es una evolución de la antena monopolo vertical tomando forma de solenoide. Donde el campo magnético es uniforme, la polarización es de tipo circular en dos sentidos derecha o izquierda lo cual se debe tener en cuenta al momento de transmitir entre dos antenas del mismo tipo, deberán tener tanto, transmisora como receptora la misma polarización. En cuanto a su funcionamiento puede ser en modo normal donde el diámetro del helicoide y la separación entre espiras es menor a $1/4$ de longitud de onda dando como resultado un patrón de radiación omnidireccional y modo axial cuya característica es la directividad y ganancia la misma que es proporcional al número de espiras de la antena, presenta alto desempeño en altas frecuencias [3]. Dependiendo del diámetro que tenga la hélice se puede obtener un patrón de radiación distinto, direccional si el diámetro de la hélice no es muy diferente al de la longitud de onda, en otro caso tener un patrón de radiación omnidireccional si el diámetro de la hélice es mucho menor que su longitud de onda [4]. Como partes que la conforman tenemos: el diámetro del helicoide, diámetro del conductor, espacio entre espiras, longitud de onda, número de vueltas, dieléctrico, tierra [5].

El sustrato que conforma está caracterizado por tener propiedades dieléctricas como la permitividad (ϵ) y magnéticas

como permeabilidad (μ), estas propiedades dieléctricas cambian según la frecuencia y la temperatura. La permitividad presenta como es afectado el campo eléctrico interno del material [6]. Algunos de los materiales utilizados en altas frecuencias son FR-4 que es un material compuesto por una tela de vidrio alcalino cubierto de resina epoxi reforzado con vidrio resistente al fuego [7]. Arlon AD450 que es un tejido reforzado con fibra de vidrio cubierto por cerámica proporcionando mejor uniformidad dieléctrica en comparación con FR4 cuya permitividad relativa es de 4.5 y $\tan\delta$ es de 0.0035[8] [9]. Rogers TMM 4 trabaja bien en altas frecuencias compuesto por teflón y un núcleo laminado con cobre y fibra de vidrio y una resistencia a la temperatura menor a FR-4 pero mucho más robusto con permitividad relativa de 4.5 y $\tan\delta$ 0.0020 [10] [11].

Debido a que existen pocos estudios sobre la fabricación de elementos radiantes que se desempeñen en la banda de onda milimétrica la antena helicoidal es óptima para la investigación presentando varios modos de propagación y una característica de ancho de banda mayor al de otras antenas miniaturizadas como microstrip, compact ACTSA, modelo resonante y septum.

II. DISEÑO DE LA ANTENA HELICOIDAL

Para el diseño de la antena helicoidal se partió de la forma básica la cual consta de un reflector y espiras, con cálculos aproximados para luego en base de ensayo y error acercarse a los parámetros de la antena cuyos objetivos son de valores inferiores a -20dB para el coeficiente de reflexión S (1,1) y un rango de 1 a 1,5 para el VSWR que asegure su adecuado acoplamiento de impedancia.

La antena helicoidal está formada por una espira de 2mm de diámetro (a) que inicia a una distancia 1.01mm del eje de las abscisas, un paso por vuelta de 0.4mm, ancho en su helicoide de 0.127mm (b), un acople cilíndrico unido a la espira cuyo ancho es 0.8mm en el eje de las cotas (c) y un diámetro de 0.0081 mm(d), atravesando el sustrato y tierra para ser excitado por un puerto de acoplamiento a 60 GHz. Como material conductor utiliza el oro con permitividad relativa de 1 y permeabilidad relativa de 0.99996 un radio de 0.09 mm manteniendo su forma cilíndrica al acoplar con el sustrato y tierra.

El dieléctrico está conformado por tres capas: sustrato helicoide, que está inscrita en la espira, sustrato superior, que es el de mayor altura con el mismo radio de la tierra y sustrato inferior, que se acopla a la tierra para desarrollar el aislamiento eléctrico con un material RogersTMN 4 cilíndrico con una permitividad relativa de 4.5 y permeabilidad relativa de 1. El sustrato del helicoide está circunscrito a la misma y posee un radio de 0.8 mm (e) y ancho de 0.550 mm (f), el sustrato superior de radio 3.5 mm (l), ancho de 0.450 mm (g), en su tercera capa el sustrato inferior de radio 0.500 mm (i) y ancho 0.100 mm (h).

Al sustrato se une la capa cilíndrica conductora de cobre de permitividad relativa de 1 y permeabilidad relativa de 0.99991, de 3.50 mm de radio (l) y 0.100 mm de ancho (j) para conformar la tierra del elemento resonante.

Para excitar a la antena se utilizó un parche circular (k) con frecuencias de resonancia de 60GHz de 3.5mm de radio (l).

En la figura 1, se muestra el diseño de una antena helicoidal semidirectiva en el eje de las cotas conformada por un conductor un sustrato y tierra.

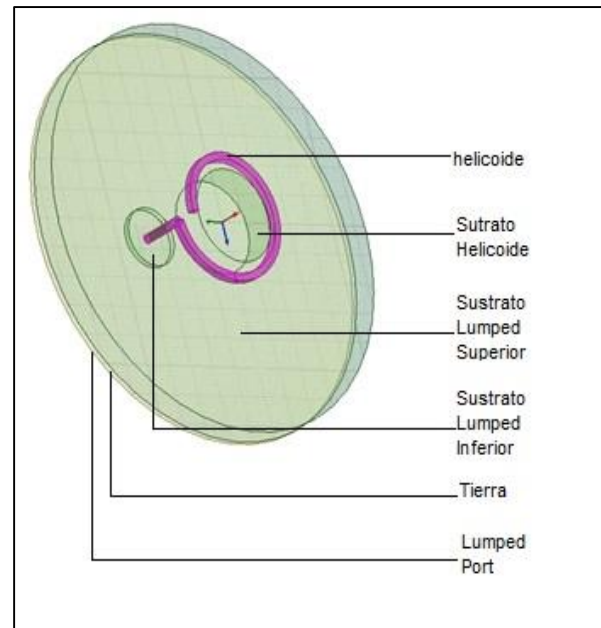


Figura 1. Antena Helicoidal para onda milimétrica

La figura 2, muestra el elemento resonante dividido en 4 capas ordenadas en forma alfabética que identifica cada una de las dimensiones asignadas en el diseño a 60 GHz.

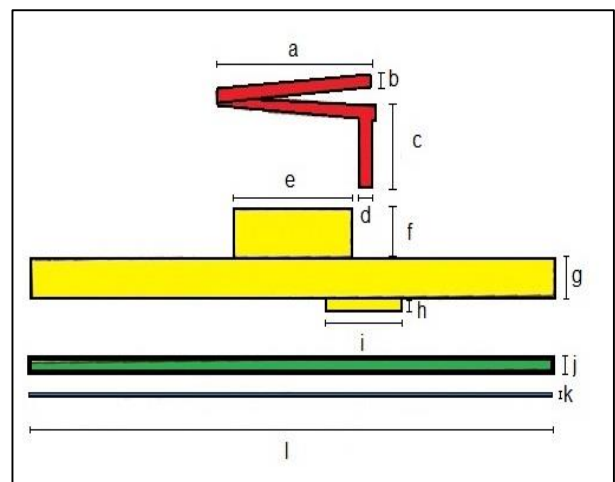


Figura 2. Simbología de dimensiones para la Antena Helicoidal

En la tabla 1, se muestran las dimensiones asignadas en el eje de las abscisas, cotas y el diámetro necesario de los elementos para el estudio de los diseños cumpliendo con los parámetros de antenas.

Tabla 1. Nombre, simbología y dimensiones en el eje de abscisas y cotas

Nombre	Simbología	Dimensión [mm]
Diámetro de Helicoide	a	2
Ancho helicoide	b	0.127
Ancho de Alimentador helicoide	c	0.8
Diámetro de alimentador de helicoide	d	0.18
Diámetro del sustrato de helicoide	e	1.60
Altura del sustrato de helicoide	f	0.550
Altura del sustrato superior	g	0.450
Altura del sustrato inferior	h	0.100
Diámetro del sustrato inferior	i	1.00
Altura de tierra	j	0.100
Altura lumped port	k	0.001
Diámetro de sustrato superior, tierra y lumped	l	7

III. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Se realizó un análisis de cada resultado obtenido de la simulación de varios diseños. Cada diseño incluye cambios en su geometría, forma, altura, diámetro y material, tanto para el sustrato, tierra y helicoide con el objetivo de llegar al valor más cercano a los parámetros como S (1,1) a 60 GHz, un valor inferior a -20dB, VSWR entre el rango de 1 a 1,5 y ganancia. De estas pruebas se obtiene 6 diseños dentro de los parámetros adecuados los mismos que serán presentados con sus respectivos cambios para seleccionar así el de mejor desempeño. Se utiliza una fuente de 60GHz como puerto de excitación de radio 3.5mm con una impedancia de 50Ω, la antena está inscrita en una esfera que simula la propagación de las ondas electromagnéticas con un radio de 4mm en el aire de 4mm, permitividad relativa de 1.0006 y permeabilidad relativa de 1.0000004.

La tabla 2, muestra los materiales del dieléctrico y conductor probados en los 6 diseños con su respectiva permitividad relativa

Tabla 2. Materiales usados en la simulación de los 6 diseños de la antena helicoidal.

MATERIAL DE SUSTRATO Y CONDUCTOR					
Nombre	Material D1	Material D2	Material D3	Material D4,D5,D6	(ϵ_r)
Helicoide	Oro	Cobre	Cobre	Cobre	1
Acople helicoide	Oro	Cobre	Cobre	Cobre	1
Sustrato helicoide	Rogers TMM 4	Rogers TMM 4	Arlon AD450	Rogers TMM 4	4.5
Sustrato superior	Rogers TMM 4	Rogers TMM 4	Arlon AD450	Rogers TMN 4	4.5
Sustrato inferior	Rogers TMM 4	Rogers TMM 4	Arlon AD450	Rogers TMM 4	4.5
Tierra	Cobre	Cobre	Cobre	Cobre	1

El oro es un elemento que tiene mayor conductividad y densidad que el cobre, no hay que descartar que su costo es elevado para la fabricación de elementos resonantes. Sin embargo, usado en el helicoide de la antena se obtiene una mejor respuesta en la proximidad a 60 GHz [12]. Los materiales usados en el sustrato de los 6 diseños como el

Rogers TMM4 basados en laminados de cerámica y PTFE con mejor uniformidad dieléctrica, termoestables y homogeneidad, muy efectivo en alta frecuencia [13]. Arlon AD450 es un tejido de PTFE reforzado con fibra de vidrio puede ser reemplazado por FR-4 usado en aplicaciones de banda ancha [8].

La tabla 3, presenta las dimensiones de los 6 diseños en los cuales se puede observar los cambios en altura de sustrato superior y del sustrato cilíndrico inscrito en el helicoide como también la modificación del sustrato que se acopla a la tierra.

Tabla 3. Dimensiones de los 6 diseños de la antena helicoidal.

DIMENSIONES					
Nombre	Radio [mm]	Altura D1, D2, D3 [mm]	Altura D4 [mm]	Altura D5 [mm]	Altura D6 [mm]
Helicoide	0.09	0.1272	0.1272	0.1272	0.1272
Acople helicoide	0.08	0.8	0.8	0.8	0.8
Sustrato helicoide	0.8	0.550	0.550	0.555	0.550
Sustrato superior	3.5	0.4500	0.4430	0.4437	0.4437
Sustrato inferior	0.5	0.100	0.107	0.1063	0.1063
Tierra	3.5	0.100	0.107	0.1063	0.1063

Al modificar el radio del sustrato inscrito en el helicoide se obtenía valores inferiores a 0.25dB para el acoplamiento, por este motivo, se buscó un radio para afinar la curva dejándolo en 0.8mm. El mismo proceso se realizó para los otros dos componentes del sustrato superior e inferior en 3.5 y 0.5 mm valores, que permanecen constantes durante todo el análisis. Se pudo comprobar que al incrementar el ancho del sustrato de 0.4430 a 0.4500mm la curva del coeficiente de reflexión se alinea a un valor de frecuencia de 60.000GHz, aumentando el valor de VSWR a 1.18dB, entre el rango de una óptima adaptación de impedancia [14]

IV. COEFICIENTE DE REFLEXIÓN

La curva de S11 se estabiliza en 60.00 GHz cumpliendo el rango de -10 a -30dB de estudio, en una banda de frecuencia de 55 a 65 GHz, mostrando pérdidas por reflexión de -23 dB, con una relación de 5/1000 en un adecuado acople de impedancia [15].

La figura 3, muestra la gráfica S (1,1) de los 6 diseños desde -10dB a -30dB, en un rango de banda desde 55GHz a 65GHz.

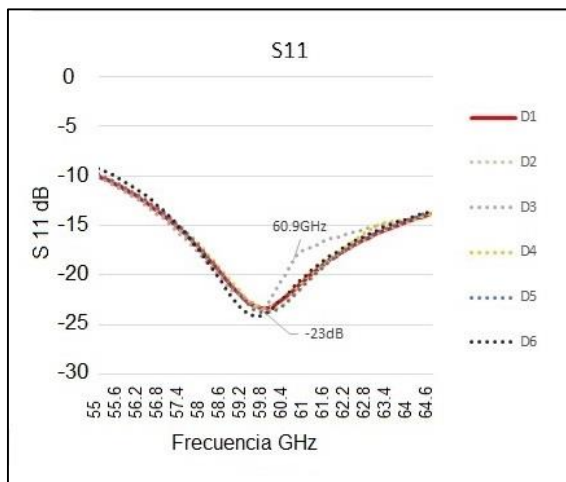


Figura 3. Parámetros de dispersión S(1,1) de los 6 diseños

Para los diseños: D1,D2, D3. El aumentar el valor de la altura en el sustrato logra un valor en 60.00GHz, minimizando aún más las pérdidas con buen resultado de acoplamiento de impedancias y valores S11 entre de -23.4 a -23.5 dB, con una reducción de ancho

de banda provocado por el cambio de elemento a Alron AD450 en el sustrato del diseño D3, mostrando una variación en la curva S11 del diseño D3.

La tabla 4, muestra los resultados de la frecuencia y los parámetros S (1,1) obtenidos de las simulaciones de cada uno de los diseños.

Tabla 4. Resultados de S (1,1) vs frecuencia de los 6 diseños

Diseños	Frecuencia GHz	S (1,1) dB
D1	60.000	-23.3516165
D2	60.000	-23.3516165
D3	60.000	-23.4823977
D4	60.100	-23.5825156
D5	60.100	-23.8070596
D6	59.800	-23.9301741

Comparando los 3 primeros diseños: D1, D2, D3. El diseño D3 sería el más idóneo para tomar como mejor opción, con -23.48dB. Sin embargo, debido a su desplazamiento en la figura 3, provocado por el sustrato Arlon AD 450 a 60.9 GHz a -17dB aproximadamente, se debate el mejor diseño entre; D1 que tiene en su helicoide un conductor de oro y el D2 con conductor de cobre, haciéndolo más barato de fabricar los dos diseños (D1,D2) con un valor igual de S 11 -23.3dB, Los diseños restantes presentan mejores características de acoplamiento se observa en la figura 5 pero ya generan un desplazamiento de frecuencia en 0.1GHz hacia la derecha y 0.2GHz hacia la izquierda por tener un sustrato con una altura inferior [14].

El desplazamiento de frecuencia se da por cambio de altura en el sustrato, ya que un incremento de altura y diámetro ocasiona una disminución de frecuencia de resonancia [16].

V. ANCHO DE BANDA

El ancho de banda (BW-Bandwith) es el espacio de frecuencias donde el elemento resonante diseñado cumple con las características radiantes. Donde se establece la frecuencia

máxima y mínima [17].

La figura 4, muestra el BW en el diseño D1, se toma como referencia el valor a -15dB para obtener una relación de 3/100 es decir que de cada 100 muestras 3 se perderán es decir hay un 3% de pérdidas. Logrando un ancho de banda de 6 GHz aproximadamente [18].

La figura 4, presenta el ancho de banda del diseño D1, debido a que todos los diseños tienen una gráfica similar para su ancho de banda analizado en un rango de frecuencia de 57.3497 a 64.0225 GHz a -15dB.

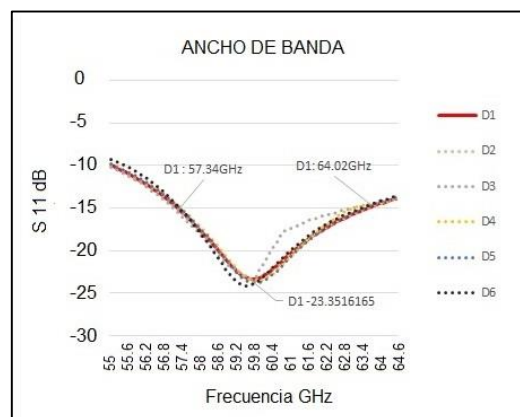


Figura 4. Ancho de banda del diseño 1

La tabla 5, muestra el valor del ancho de banda de todos los diseños con sus respectivos datos de frecuencia máxima y mínima tomados a un valor de -15 dB, con una frecuencia central de 60GHz.

Tabla 5. Resultados ancho de banda de todos los 6 diseños

Diseño	X1 GHz	X2 GHz	Y dB	BW GHz
D1	57.3497	64.04225	-15	6.6963
D2	57.3297	63.9697	-15	6.6399
D3	57.2019	63.5212	-15	6.3193
D4	57.4397	63.4439	-15	6.0042
D5	57.4040	63.8570	-15	6.4530
D6	57.4224	63.7306	-15	6.3082

De los valores en ancho de banda mostrados en la tabla 5, el diseño que mejora el BW de 6.3082 a 6.6963GHz, es el diseño D1, cuyo valor se debe, a que hay una mayor concentración de energía cuando el conductor del helicoide es de oro, en lugar de ser de cobre, ocasiona una disminución de ancho de banda de 0.0564GHz. Valor sigue disminuyendo conforme reduce la altura del sustrato superior, como es el caso del diseño D4. Sin embargo, el aumento de 0.005mm en la altura para el sustrato inscrito en el helicoide del diseño D5, manteniendo la altura del sustrato superior, genera una aumento en el ancho de banda pero un desplazamiento de frecuencia central [18].

VI. RELACIÓN DE ONDA ESTACIONARIA DE VOLTAJE

El VSWR es utilizado para verificar el parámetro de funcionamiento en cuanto al voltaje máximo y mínimo,

permitiendo un acople óptimo de impedancias, consideramos un rango de 1 a 1.5, donde un valor cercano a 1 muestra una adecuada adaptación de impedancia evitando fallas de acoplamiento que podría destruir componentes de otros elementos [19].

La figura 5, presenta el valor VSWR de los 6 diseños en un rango de 55 a 65 GHz. Existe un mejor acoplamiento de impedancia con un valor cercano a 1, es así como se considera un rango aceptable de 1 a 1,2, un rango que ayuda a minimizar las pérdidas de un sistema operante con 1.5 como máximo para esta investigación [20].

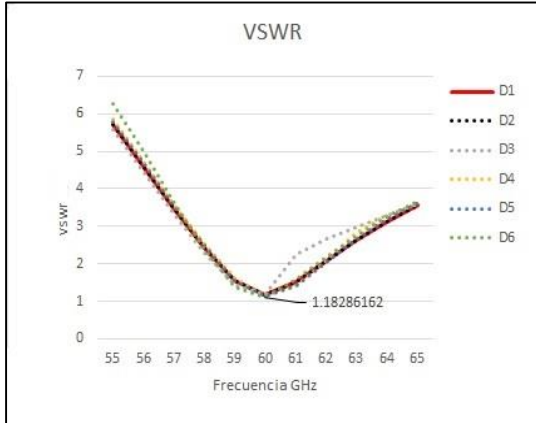


Figura 5. VSWR de los 6 diseños

La tabla 6, muestra los valores de VSWR obtenidos en la simulación de los 6 diseños con un rango de 1.10 a 1.18

Tabla 6. Resultados de VSWR vs frecuencia

Diseños	Frecuencia GHz	VSWR
D1	60.000	1.18286162
D2	60.000	1.18286162
D3	60.000	1.16513152
D4	60.100	1.15173934
D5	60.100	1.12226369
D6	59.800	1.10642578

Aunque el incremento de altura en el sustrato superior aumenta el valor obtenido en simulaciones de los 6 diseños, se logra mantener un rango muy aceptable de VSWR en 1.1828dB como es el caso del diseño 1 y 2 que mantienen su frecuencia central a 60.00 GHz, y a pesar que el valor de VSWR es mayor comparado con los otros diseños, el mismo que se ajusta más a los parámetros de dispersión de funcionamiento de la antena helicoidal, y seguimos descartando el Diseño D3 por presentar el estrechamiento de banda ocasionado por el material Arlon AD450 [8] [19].

VII. PATRÓN DE RADIACIÓN

Dentro de las características presentados en el patrón de radiación, se tiene el ancho de haz, lóbulo principal, secundarios y nulos. Marcado con el ancho de haz el punto de dirección al cual estará apuntando la antena y medido a -3dB menos del haz principal [21].

La figura 6, muestra el patrón de radiación de todos los diseños con un lóbulo principal el mismo que tiene una potencia de radiación sobre los -3 dB con un ángulo phi de 330 grados donde se tiene la directividad máxima y un nulo a 150 grados.

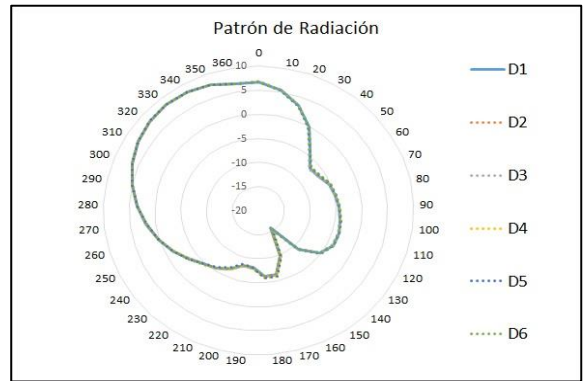


Figura 6. Patrón de radiación 2D de los 6 diseños en dB.

Mediante la simulación de los 6 diseños en 2D, se puede mostrar un patrón de radiación sectorial similar para todos los diseños sobre los -3 dB, con un lóbulo principal en 330 grados, un ancho de haz de 80 grados, dos lóbulos secundarios laterales a 110 y 180 grados y un nulo a 150 grados, con respecto a la comparación con la antena isotrópica tiene aproximadamente 8 dBi de ganancia. El patrón de radiación resulta sectorial ya que el diámetro del helicoide no es mucho menor en relación al valor de longitud de onda, el valor de diámetro de la hélice es 2mm y en relación a la longitud de onda milimétrica que es de 5mm no es muy lejana si cambiamos el diámetro de la hélice a un valor mucho menor que el de la longitud de onda, tendríamos un patrón de radiación en modo normal, es decir, omnidireccional. Para el caso de requerir un patrón de radiación directivo incrementaremos el diámetro de la helicoide aproximándola a su longitud de onda de 5mm [4] [5].

La tabla 7, muestra los valores de frecuencia y ganancia para los 6 diseños con lóbulo principal en el ángulo phi 330 grados obtenidos de las simulaciones en 3D.

Tabla 7. Ganancia máxima y mínima de la antena helicoidal cuyos valores son obtenidos de las simulaciones en 3D.

Diseños	Frecuencia GHz	Ganancia Máxima dB	Ganancia Mínima dB
D1	60.000	8.3089	-0.1870
D2	60.000	8.3039	-0.1807
D3	60.000	8.3286	-0.1775
D4	60.100	8.3653	-0.1837
D5	60.100	8.3910	-0.1830
D6	59.800	8.3746	-0.2044

La ganancia de la antena se ve afectada por el cambio de altura y material del sustrato superior, es por eso, que la ganancia más baja presenta la antena en el diseño D1. El aumentar 0.005mm en la altura del sustrato del helicoide produce un aumento en la ganancia y un desplazamiento de frecuencia como se muestra en el diseño D5, siendo un valor no aceptable, porque se desea que la ganancia obtenida cumpla con los parámetros antes mencionados como S11 y VSWR. Es descartado el diseño D3 por el desplazamiento producido por el material Arlon ya mencionado anteriormente quedándonos con las opciones de diseño D1 y D2, por relaciones de costo, el

diseño D2 sería el más aceptable teniendo como material conductor el cobre con mejor conductividad. Sin embargo, el diseño D1 con conductor de oro como material del helicoide y una altura mayor en el sustrato superior, lo hace mejor candidato para su elección con una ganancia mayor que el diseño D2.

Para visualizar el patrón de radiación de una mejor manera se presenta en 3D un solo grafico correspondiente a los 6 diseños ya que su patrón de radiación es similar.

La figura 7, muestra la dirección en la que irradia la antena helicoidal mostrando su patrón de radiación en modo axial.

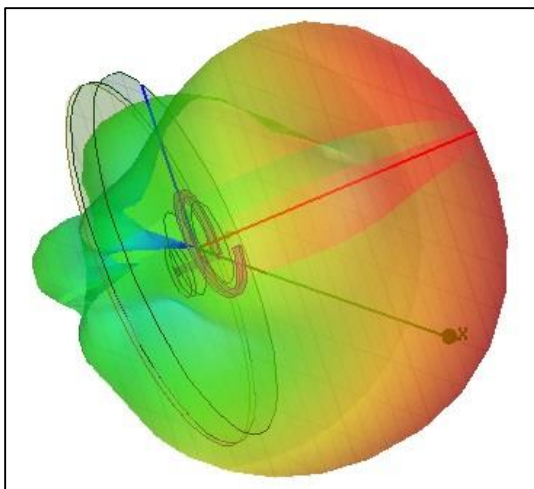


Figura 7. Patrón de radiación en 3D del diseño D1.

En el patrón de radiación en 3D se pudo apreciar un ángulo de inclinación, el mismo que es causado por el acople entre el helicoide y el conductor cilíndrico, que atraviesa el sustrato y tierra para acoplarse a la fuente de 60 GHz. Este acople se realizó a una distancia de 1.01mm del eje de las abscisas para el inicio del helicoide y a 1.00mm del cilindro que se acopla a la misma como conductor de 0.09 mm de radio, como la antena fue desarrollada a modo de prueba y error este desplazamiento se logra un mejor resultado en S11.

VIII. CONCLUSIONES

El diseño D1 propuesto, presenta mejores características para el análisis en onda milimétrica teniendo una adecuada adaptación de impedancia logrando un VSWR de 1.18286162, S (1,1) a -23.3516165dB, con una frecuencia de trabajo de 60.00 GHz así se obtuvo un ancho de banda máximo de 6.6963 GHz. Este diseño fue seleccionado en base a su ganancia de 8.3089dB y comparación con el diseño D2. Para una futura investigación se puede sustituir el conductor de oro en el helicoide por uno de cobre como es el caso del diseño D2 para disminuir costos de fabricación, y de ser necesario, se puede eliminar el ángulo de inclinación del lóbulo principal, colocando el radio de inicio del helicoide y el acople del mismo a 1.00 mm.

Se puede utilizar la versatilidad de la antena helicoidal para lograr un patrón de radiación, ya sea en modo normal, o en modo axial, reduciendo o aumentando el diámetro del helicoide con respecto a la longitud de onda, de igual forma hacerla más

directiva si se aumentan el número de espiras y altura del sustrato como futuros trabajos.

REFERENCIAS

- [1] C. J. Sánchez Nuñez, «Las Bandas y el ancho de banda,» de *Caracterización de las ondas milimétricas para determinar su posible aplicación en la Quinta generación de comunicaciones inalámbricas.*, Guayaquil, Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, 2018, pp. 38-39.
- [2] J. Bravo y D. Beltrán, «Wireless communication through the 60 ghz band,» *Universidad y Sociedad*, vol. VIII, n° 2, pp. 1-3, 2016.
- [3] C. Soria, «Antena Helicoidal para satelites pequeños,» Mexico, 2013.
- [4] M. A. Vargas Naranjo, «Antena Resonante Cuadrifilar tipo hélice,» de *Antena Hélice Cilíndrica*, Quito, Escuela Politécnica Nacional, 1984, p. 28.
- [5] E. Arellano, *Diseño de una Antena Helicoidal Miniaturizada*, Puebla, México: Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica, 2019.
- [6] I. Pérez, *Caracterización de Materiales en Banda W*, Barcelona: Universidad Autónoma de Barcelona (UAB), 2011.
- [7] i. Newlytrend, «Professional Insulation Materials and engineering: Newlytrend Industrial co,» Newlytrend, 2019. [En línea]. Available: <http://www.newlytrend.com>. [Último acceso: Agosto 2020].
- [8] A. Materials, «PTFE/Woven Fiberglass/Ceramic Filled Laminate for Microwave Printed Circuit Boards,» MICROWAVE MATERIALS, 2006.
- [9] B. Babakhani y S. Sharma, «Wideband Frequency Tunable Concentric Circular Microstrip Patch Antenna with Simultaneous Polarization Reconfiguration,» *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, vol. vol. 57, n° 2, pp. 203-216, 2015.
- [10] R. Sanapala, *CHARACTERIZATION OF FR-4 PRINTED CIRCUIT BOARD LAMINATES BEFORE AND AFTER EXPOSURE TO LEAD-FREE SOLDERING CONDITIONS*, Maryland: University of Maryland, 2008.
- [11] J. C. Rautio, «Measurement of uniaxial anisotropy in Rogers RO3010 substrate material,» *J. C. Rautio, "Measurement of uniaxial anisotropy in Roge IEEE International Conference on Microwaves, Communications, Antennas and Electronics Systems*, vol. doi: 10.1109/COMCAS.2009, n° 5386053, pp. pp. 1-4, 2009.
- [12] S. Elektrisola, «Datasheet conductores oro aluminio y cobre,» Enamelled cooper wire, Thailandia, 2005.
- [13] C. Rogers, «Tmm microwave Laminates Bonding notes,» Advanced Connectivity Solutions, U.S.A. Roosevelt Ave, chandler, 2017.
- [14] C. Raj y S. Suganthi, «Performance analysis of antenna with different substrate materials at 60 GHz,» *International Conference on Wireless Communications, Signal Processing and Networking (WiSPNET)*, vol.

10.1109, n° 8300219, pp. 2537-2539, 2017.

- [15] C. J., Medición de parámetros de dispersión S, Colombo: Universidad Tecnológica Nacional , 2012.
- [16] A. Liscano y j. Jabonero, Antena tipo parche diseño y simulación., Bogotá: Facultad de ingeniería Unipanamericana, 2018.
- [17] X. Yu, Diseño de antenas de tipo parche para un transceptor wimax basado en el chip max2838, Madrid: Escuela Politécnica Superior, Universidad Autónoma de Madrid, 2014.
- [18] E. Hidalgo y F. Marante, «Aumento del Ancho de Banda en Antenas de Microcintas a 2,4 GHz con Inserción de Metamateriales,» *scielo Ingeniería Electrónica, Automática y Comunicaciones*, vol. 1815, n° 5928, pp. 4-6, 2018.
- [19] I. T, Voltage Standing Wave Ratio, Sadjad Institute of Higer Education, 2010.
- [20] K. B, C. S, K. V y M. E, «Simulation and Measurements of VSWR for Microwave Communication System,» *Intl J. Of Communications, Networks and System Sciences*, vol. 05, n° 511080, pp. 767-773, 2012.
- [21] A. Coronado, R. F y F. Moumtadi, «Metodología para la obtención del patrón de radiación y prueba de aislamiento en sistemas de comunicaciones vía satélite,» *INGENIERÍA Investigación y Tecnología*, vol. 3, n° 4, pp. 245-253, 2006.