

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

**CARRERA:
INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

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

**TEMA:
ANÁLISIS DE PARÁMETROS DE DISPERSIÓN PARA ANTENA SEPTUM EN
ONDA MILIMÉTRICA UTILIZANDO SOFTWARE DE SIMULACIÓN.**

**AUTOR:
OSORIO GARZÓN MAURICIO ALEXANDER**

**TUTOR:
LENIN WLADIMIR AUCATOMA GUAMÁN**

Quito, Enero de 2020

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Yo, Mauricio Alexander Osorio Garzón con documento de identificación N°-1715701544, 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 grado intitulado: “ANÁLISIS DE PARÁMETROS DE DISPERSIÓN PARA ANTENA SEPTUM EN ONDA MILIMÉTRICA UTILIZANDO SOFTWARE DE SIMULACIÓN”, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Electrónico mención Telecomunicaciones, 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 de la entrega del trabajo final en digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, Enero de 2020




Mauricio Alexander Osorio Garzón
C.I. 1715701544

DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR/A

Yo declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el trabajo de titulación, “ANÁLISIS DE PARÁMETROS DE DISPERSIÓN PARA ANTENA SEPTUM EN ONDA MILIMÉTRICA UTILIZANDO SOFTWARE DE SIMULACIÓN” realizado por Mauricio Alexander Osorio Garzón, 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 de 2019



Lenin Wladimir Aucatoma Guamán
CI: 171798583-0

Análisis de parámetros de dispersión para antena septum en onda milimétrica utilizando software de simulación.

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

Osorio Garzón Mauricio Alexander
Ingeniería Electrónica
Universidad Politécnica Salesiana
Quito, Ecuador
mosoriog@est.ups.edu.ec

Resumen— Utilizando Ansys HFSS especializado se presenta una antena septum para onda milimétrica en la frecuencia de 60 GHz, para obtener mediante el análisis de parámetros de dispersión un diseño que se ajuste a las necesidades requeridas, la antena fue sometida a una excitación en un medio como el aire, el cual se identificó el comportamiento del mejor resultado obtenido, con la siguiente caracterización: el coeficiente de reflexión $S(1.1)$ de -22.395 dB a una frecuencia de 60.0889 GHz, la relación de onda estacionaria de voltaje (VSWR) de 1.3210 dB, el patrón de radiación omnidireccional, con una ganancia máxima de 2.23dB y el ancho de banda (BW) de 1.7 GHz, para finalmente generar conclusiones que permitan identificar el análisis de los parámetros obtenidos de la antena.

Abstract— Using specialized Ansys HFSS presents a septum antenna for millimeter wave at the frequency of 60 GHz, to obtain a design that meets the required needs through the analysis of dispersion parameters, the antenna was subjected to an excitation in a medium like air, which identified the behavior of the best result obtained, with the following characterization: the reflection coefficient $S(1.1)$ of -22.395 dB at a frequency of 60.0889 GHz, the voltage standing wave ratio (VSWR) of 1.332 dB, the omnidirectional radiation pattern, with a maximum gain of 2.23dB and the bandwidth (BW) of 1.7 GHz, to finally generate conclusions that allow to identify the analysis of the parameters obtained from the antenna.

Keywords— Ansys HFSS, onda milimétrica, polarización septum, guía de onda, coeficiente de reflexión, VSWR, ganancia, ancho de banda.

I. INTRODUCCIÓN

En las Telecomunicaciones inalámbricas se desarrolla varias propuestas de investigación para quinta generación (5G), en la que se aplica onda milimétrica (mmW) de alta ganancia para poder sobrepasar las atenuaciones de señal [1], se debe entender la caracterización de mmW que se toma en cuenta la longitud de onda dentro del rango de 10 a 1 mm, además contiene frecuencia de rango extremadamente alto (EHF) y una propagación para el espectro electromagnético que se encuentra dentro de la banda de 30 - 300 GHz, los beneficios de utilizar el espectro dentro de EHF son: altas velocidades, seguridad en tasas de datos, voz, internet, y la reutilización de frecuencias [2].

Para onda milimétrica (mmW) tiene una amplia gama de tipos de antenas para la propagación de ondas y sistemas de comunicación [2], es por ello que se optó por las características que desempeña un tipo de guía de onda rectangular de polarización circular (CP) por su alta fidelidad y confiabilidad en la transmisión, con una buena adaptación de polarización inalámbrica [3][4], además conteniendo una menor interferencia en el trayecto de la propagación de onda, reduciendo la disipación de las señales electromagnéticas, mediante la conducción de la energía sobre el dieléctrico de la guía de onda a altas frecuencias [5].

Una polarización Septum adecuada en el interior de una guía de onda rectangular es favorable para mejorar el ancho de banda de la antena, además se pueda circundar la distribución y dirección de propagación del campo electromagnético, optimizando en un 25% la polarización de la antena [3], también para anular la resonancia y excitación de la apertura de guía de onda en un 42% [3], teniendo una mejora en el rendimiento de la señal de polarización circular [4] [5], donde se debe cumplir con los requerimientos de onda milimétrica,

para abordar los resultados más ideales con los siguientes parámetros de dispersión: coeficiente de reflexión S (1.1), relación de onda estacionaria de voltaje (VSWR), ancho de banda (BW), patrón de radiación y ganancia.

II. DISEÑO DE LA ANTENA

La figura 1 muestra el modelado de una antena con polarización septum, que presenta una guía de onda rectangular con las mismas dimensiones y materiales en todos los diseños, expuesto más adelante en la sección de resultados, posteriormente se ejecutó las modificaciones solo en el diseño de la polarización septum obteniendo 5 resultados más óptimos, comparando los mismos en simulación solamente con la antena de guía de onda sin septum y expuestos en las posteriores tablas.

Esta antena se encuentra configurado por una guía de onda tipo bocina rectangular, en su interior se presenta dos polarizaciones septum una a cada lado de forma inclinada o triangular, además contiene un sustrato que trabaja como dieléctrico para mantener aislado la tierra con la forma de la guía de onda.

Cada una de las capas incluye una apertura para que pueda ser excitada por el lumped port que es un puerto plano rectangular que es necesario asignar para ejecutar la simulación, que aplica una impedancia de 50 (ohm) y realiza una propagación por todas las capas de la antena, establecido a una frecuencia de 60 GHz.

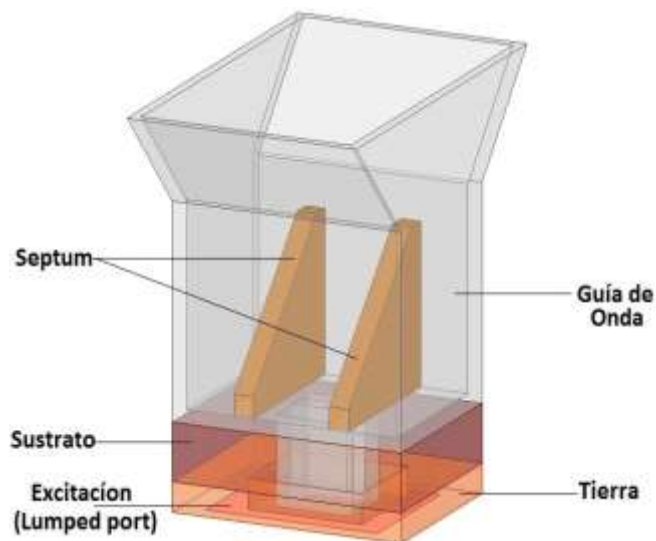


Figura 1. Modelado 3D para antena de polarización septum simulado en ANSYS HFSS.

En la figura 2 presenta las capas de la antena con el tipo de material empleado, donde la polarización septum se utilizó baquelita elegido por ser un material dieléctrico duro y denso, con características de un plástico de resina sintética laminado de alta presión [6], vista de mejor forma en la figura 3. La guía de onda rectangular tipo bocina es de material de plata usado

por su alto rendimiento electromagnético al poseer alta resistencia y conductividad [7], propicio para que la energía pueda radiar hacia el espacio libre del aire. En el sustrato se empleó por su alta constante dieléctrica un material isotrópico de microondas (TMM 10i), está constituido de laminados cerámicos termoestables de polímero, este material tiene aplicaciones típicas en comunicaciones de antenas satelitales, antenas de parche y dieléctricos polarizadores [8]. El material utilizado para la tierra es el cobre, al igual que la plata se aplicó porque tiene un alto porcentaje de conductividad termomecánica obteniendo resultados superior a los 1000 mega pascales (MPa) de resistencia [7].

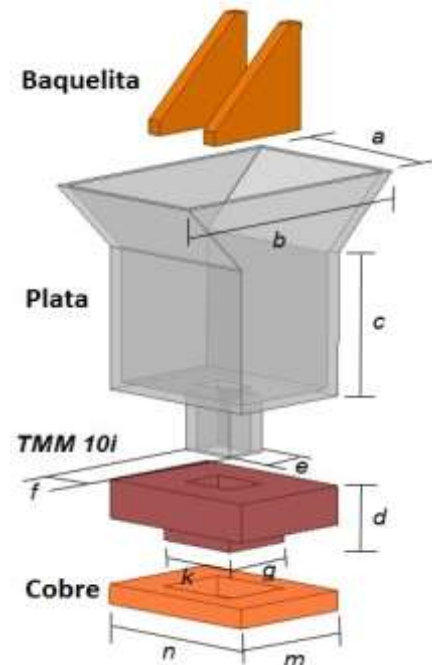


Figura 2. Diseño por capas de antena de polarización septum.

En la tabla 1 muestra las medidas exclusivamente de las capas de la guía de onda rectangular tipo bocina, detallando las cotas de las mismas en la figura 2, la cuales fueron seleccionadas en un margen de referencia de prueba y error dentro de la simulación del Ansys HFSS.

Tabla 1. Dimensiones por capas de la guía de onda.

Descripción Septum	Medidas [mm]
<i>a</i>	1.2
<i>b</i>	1.9
<i>c</i>	1
<i>d</i>	0.408
<i>e</i>	0.3
<i>f</i>	0.4
<i>g</i>	0.5
<i>k</i>	0.6
<i>m</i>	0.9
<i>n</i>	1.2

La figura 3 presenta una de las dimensiones del diseño de polarización septum de la antena de guía de onda rectangular tipo bocina.

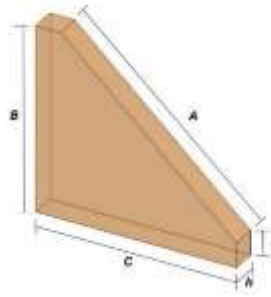


Figura 3. Dimensiones del diseño de la polarización septum de la antena

La tabla 2 muestra las medidas de la polarización septum de forma triangular, las cuales fueron elegidas de las cotas (A,B,C) mostradas en la figura 3, en base de las dimensiones internas de la guía de onda de la tabla 1, de igual forma en referencia de prueba y error en simulación, siendo los valores del diseño 5 como la mejor simulación entre todos los expuestos.

Tabla 2. Dimensiones del diseño de la polarización septum.

Descripción Septum	Medidas[mm]
A	0.955
B	0.75
C	0.8
h	0.1
i	0.1

III. SIMULACIÓN Y RESULTADOS

Los diseños elaborados de la antena de polarización septum con guía de onda rectangular tipo bocina, se configuro en simulación en la banda central de 60GHz de frecuencia, proporcionando una ventana de análisis de 50 a 70 GHz para obtener los parámetros de dispersión, donde no se encuentra completamente saturado por la tecnología 5G que tiene de uso prioritario por debajo de los 6GHz [9][10].

Los parámetros analizados con mejores resultados son los siguientes:

- A. Tipo de polarización septum con sus respectivas dimensiones y materiales utilizados.
- B. Parámetro de dispersión S(1.1) entre -21.513 y -22.395 dB.
- C. Relación de onda estacionaria de voltaje VSWR que se encuentra de 1.3 y 1.5 dB.

D. Diagrama de radiación en 90° a un ángulo Phi (Φ) que tiene una ganancia entre 2.13 y 2.29 dB.

A. Polarización Septum

La figura 4 presenta los modelos de polarización tipo septum que se usaron para el análisis del diseño escalonado (E) y el inclinado (T), en la tabla 3 muestra las respectivas dimensiones implementadas en la antena de guía de onda rectangular tipo bocina.

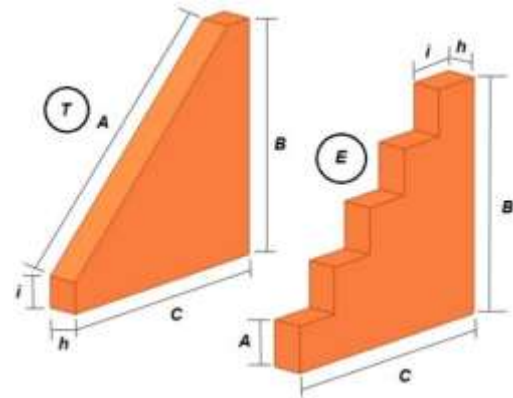


Figura 4. Dimensiones de los diseños implementados en la simulación de polarización septum.

La tabla 3 muestra los 5 mejores diseños donde se selecciona con (X) la polarización septum que se va describir, ya sea inclinada (T) o escalonada (E), una vez identificado el tipo de septum se detalla las medidas de las cotas presentadas en la figura 4, con los respectivos tipos de material utilizados.

Tabla 3. Dimensiones y materiales de los tipos de diseños para polarización septum.

Diseño	Septum		Medidas(mm)					Material
	T	E	A	B	C	h	i	
1	X		0.955	0.75	0.8	0.1	0.1	Be_o
2		X	0.15	0.75	0.8	0.16	0.1	Baquelita
3	X		0.95	0.75	0.8	0.1	0.1	Teflón(tm)
4	X		1.069	0.6	1.1	0.15	0.15	Baquelita
5	X		0.955	0.75	0.8	0.1	0.1	Baquelita

La tabla 4 muestra las características de materiales por cada capa de la guía de onda rectangular tipo bocina y de los diferentes materiales de la polarización septum, la cual contiene los valores adimensionales de la permitividad relativa (ϵ_r) de cada elemento de la antena.

Tabla 4. Características de material por capas de la antena.

Características de materiales		
Capa Antena	Tipo de material	Permitividad (ϵ_r)
Guía de Onda	Plata	0.99998
Sustrato	TMM 10i	9.8
Tierra	Cobre	0.999991
Septum	Baquelita	4.8
	Be_o Cerámico	6.8
	Teflón(tm)	2.1

B. Parámetro de dispersión S (1,1)

En la figura 5 se observa el esquema del parámetro de dispersión S (1,1) o coeficiente de reflexión dentro 0 a -24 dB, en frecuencia se analizó dentro un rango 50 a 70 GHz, simulado a 60 GHz.

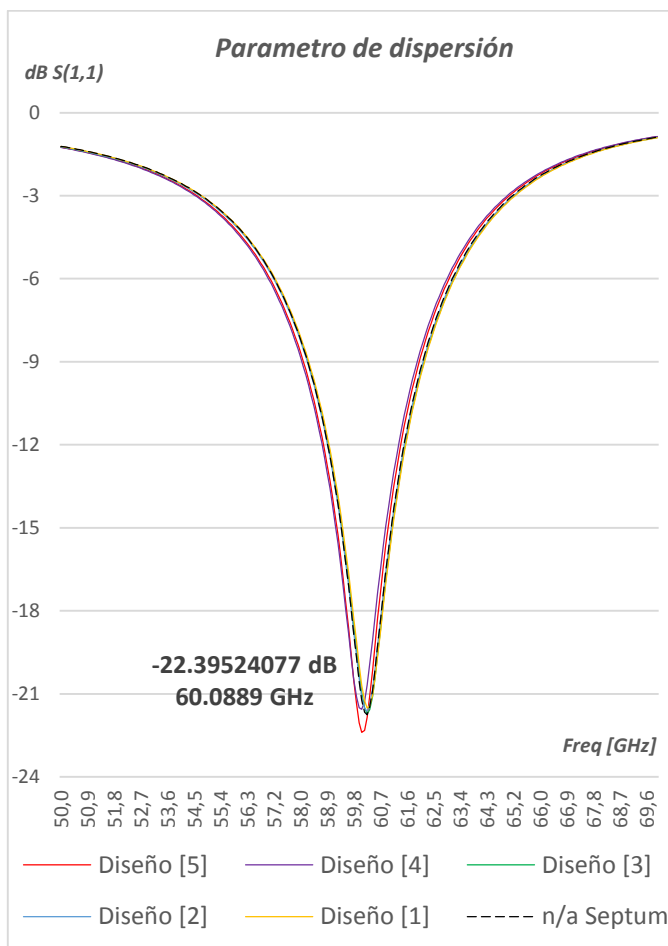


Figura 5. Coeficiente de reflexión de cada diseño.

La tabla 5 muestra los valores del coeficiente de reflexión que se encuentra en un rango inferior a los -21 dB y trabajando a una frecuencia entre los 60.0889 y 60.2667 GHz, además de los resultados sin septum para analizar posteriormente.

Tabla 5. Resultados del coeficiente de reflexión de cada diseño con y sin polarización septum (n/a).

Diseño	Frecuencia [GHz]	dB S(1,1)
1	60.2667	-21.5136
2	60.2667	-21.6272
3	60.2667	-21.7164
4	60.0889	-21.5611
5	60.0889	-22.3952
sin septum (n/a)	60.2667	-21.7517

En la figura 6 presenta como resultado un ancho de banda del diseño 5 siendo este el mejor de todos los presentados en la figura y tabla 5, el cual se mide de la diferencia entre 60.96 y 59.26 GHz obteniendo 1.7 GHz (BW), analizado a -15 dB del coeficiente de reflexión teniendo una relación 3/100, donde indica que hay una potencia de transmisión 33.33 veces mayor que la potencia que se pierde.

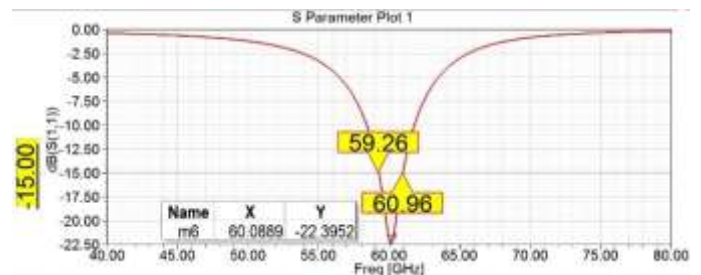


Figura 6. Resultado del ancho de banda del mejor resultado.

La tabla 6 muestra los resultados del ancho de banda, obtenidos de la diferencia de frecuencia de todos los diseños a -15dB debido a la relación promedio en la que de 100 muestras el 97% trasmite y el 3% se pierde, obteniendo así un análisis más cercano a lo real de cada uno de los coeficientes de reflexión donde el mejor resultado es el diseño 5.

Tabla 6. Resultados del ancho de banda de cada diseño con y sin polarización septum (n/a).

Diseño	Frecuencia [GHz]	BW(GHz)
1	61.12 - 59.45	1.67
2	61.08 - 59.40	1.68
3	61.11 - 59.43	1.68
4	60.88 - 59.22	1.66
5	60.96 - 59.26	1.7
sin septum (n/a)	59.40 - 61.07	1.67

C. VSWR Relación de onda estacionaria de voltaje

La figura 7 se observa de cada diseño los resultados de la relación de onda estacionaria de voltaje, para un mejor acople

del valor VSWR debe encontrarse dentro del rango de 1 a 2 dB, pero el enfoque de esta investigación se aplica dentro de 1 a 1.5 dB para tener una mejor relación de la antena propuesta [11].

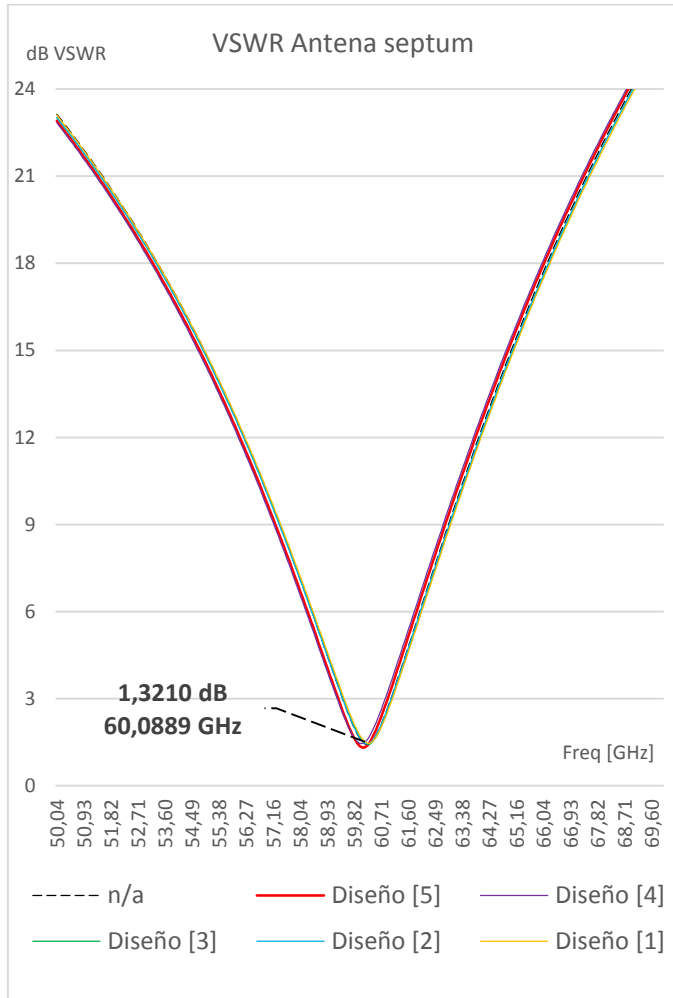


Figura 7. VSWR Relación de onda estacionaria de voltaje

La tabla 7 muestra los resultados de la relación de onda estacionaria de voltaje, siendo el diseño 5 el mejor acoplado que se encuentra en 1.3210 dB debido a que se acerca a la relación ideal de 1 dB, comparando con el valor de 1.4628 dB del diseño 1, encontrándose dentro del rango pero el más alejado al óptimo.

Tabla 7. Resultados del VSWR de cada diseño con y sin polarización septum (n/a).

Diseño	Frecuencia [GHz]	VSWR [dB]
1	60.2667	1.4628
2	60.2667	1.4437
3	60.2667	1.4289
4	60.0889	1.4548
5	60.0889	1.3210
sin septum (n/a)	60.2667	1.4231

D. Diagrama de radiación

La figura 8 se observa el diagrama de cada diseño obtenido del lóbulo donde la energía de radiación se encuentra sobre los -3dB a un ángulo Phi (Φ) en 90°.

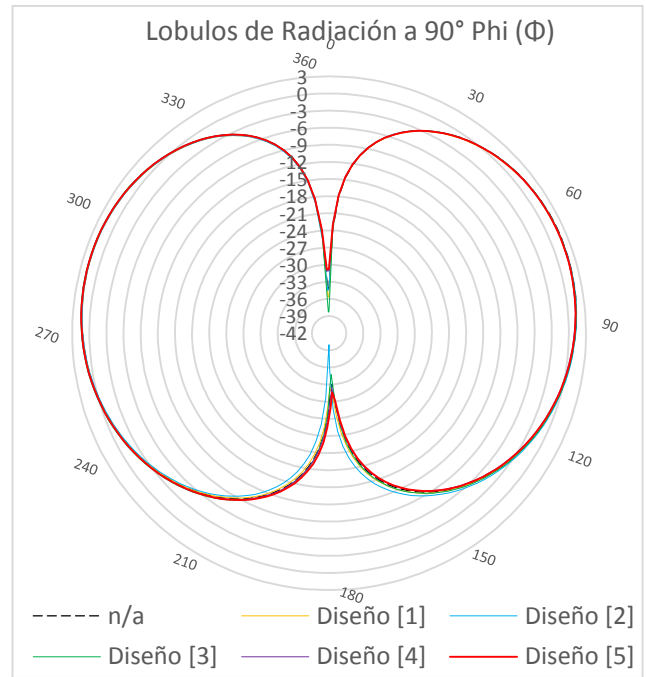


Figura 8. Lóbulo de radiación en 90° en Phi (Φ) de cada diseño.

La figura 9 presenta el diagrama tridimensional y la figura 10 el diagrama superior del patrón de radiación conjunto de cada diseño realizado, mostrando que en los 5 diseños se obtuvo una energía de radiación omnidireccional, que proporciona una dirección horizontal que se encuentran a 360° en intervalos de 30° a una frecuencia de 60GHz de excitación.

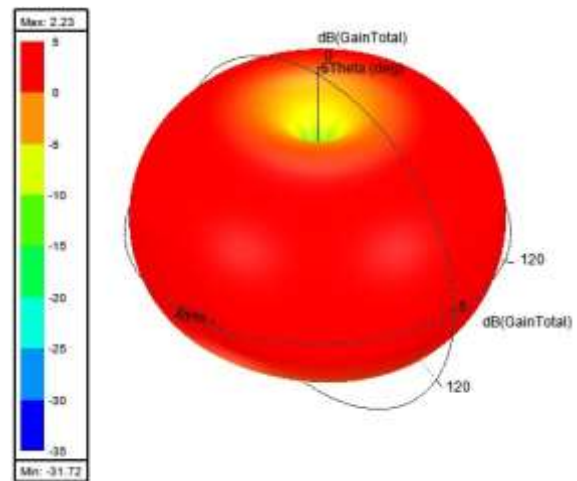


Figura 9. Patrón de radiación del mejor diseño en el simulador Ansys HFSS.

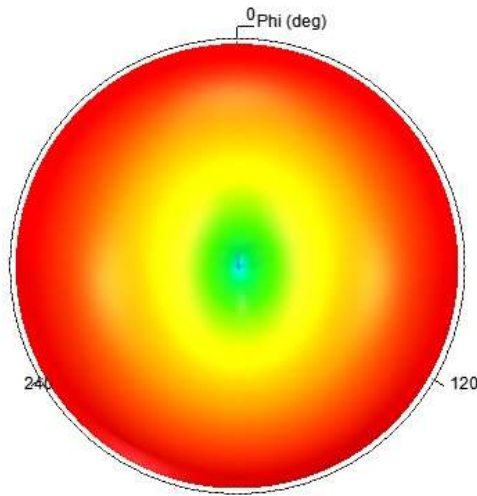


Figura 10. Patrón de radiación superior del mejor diseño en el simulador Ansys HFSS.

La tabla 8 muestra la máxima ganancia en dBs de cada diseño obtenido del patrón de radiación de una antena con guía de onda rectangular tipo bocina de polarización septum, simulado en el Ansys HFSS.

Tabla 8. Ganancia de cada diseño de la antena con y sin polarización septum (n/a)..

Diseño	Ganancia máxima [dB]
1	2.13
2	2.19
3	2.29
4	2.22
5	2.23
sin septum (n/a)	2.24

IV. ANÁLISIS

El parámetro de dispersión $S(1,1)$, que muestra mejor coeficiente de reflexión es el diseño 5 con un valor de $-22,3952$ dB teniendo un desempeño de $5.7/1000$ a una frecuencia de 60.08 GHz, comparando los diferentes diseños tenemos un rango inferior a -21 dB debido a que las pérdidas de reflexión mide una menor potencia de energía reflejada, en relación a la entrada de la impedancia del puerto transmitido [12].

La importancia de esta antena en el análisis de la guía de onda rectangular es proporcionar ondas de polarización circular y evitar el desvanecimiento de la antena [3][13], como se puede observar en la figura 1 la antena tipo bocina con dos polarizadores septum simétricos en su interior, contiene una estructura dieléctrica inclinada ubicadas de forma paralela para poder fraccionar las proyecciones de la guía de onda y así poder mejorar el rendimiento de la antena cuando no logra cumplir los parámetros requeridos. Se optimiza el puerto de excitación para lograr con facilidad la carga de la polarización circular,

dividiendo el puerto de entrada y así minimizar la sensibilidad de la excitación, produciendo poca reflexión por la discontinuidad de la polarización septum [13] [14].

Comparando la diferencia de resultados que se muestra en la tabla 5, el diseño 1 contiene menor coeficiente de reflexión mismo que es de -21.5136 dB y su rango de frecuencia aumento a 60.2667 GHz, motivo por el cual al basarnos en la tabla 3 sus dimensiones se mantienen iguales pero la permitividad relativa del material simulado cambia, donde la baquelita tiene ϵ_r de 4.8 y el material cerámico Be_O una ϵ_r de 6.8 , esta diferencia provoca mayor pérdidas de retorno en el diseño 1, además la disminución de ganancia máxima de 2.23 a 2.13 dB, esto se produce cuando al tener mayor permitividad en el material Be_O cerámico el medio en el que se propaga la densidad del campo eléctrico se ve perjudicado en el sentido de polarización, razón de este desajuste es que al ser un material más dieléctrico y al someterse a una excitación de energía externa provoca un campo eléctrico interno en el material cambiando el comportamiento a un elemento no tan aislante, donde la propagación por el medio del material cerámico va tener susceptibilidad eléctrica por la reacción de proporcionalidad entre la polarización eléctrica provocada y los campos eléctricos externos aplicados, produciendo pérdidas al condicionar la velocidad de propagación de la permitividad y permeabilidad del material [15].

Los valores de la relación de onda estacionaria de voltaje (VSWR) demuestran la potencia reflejada de la antena, la cual es basada en función al parámetro de dispersión, en la figura 7 se muestra el mejor valor de VSWR que es de 1.3210 dB, donde varían los resultados de diseño menos favorables en un rango de 1.4289 a 1.4628 dB, el motivo de este cambio se le atribuye: (a) al material utilizado que provoca pérdidas de retorno, (b) las medidas empleadas en la polarización y (c) al tipo de diseño implementado; donde en la figura 4 se puede observar dos tipos de polarización septum en la que se utilizó una de forma triangular y otra escalona, provocando una diferencia en la propagación de ondas electromagnéticas al reflejar la energía de diferente manera en la paredes de cada diseño, es decir produce en el campo eléctrico una dispersión donde al tener diferentes formas y materiales cambia su modo de transferencia, en la polarización septum (T) mejoro al disminuir la dispersión de campo E, por otro lado la septum (E) produjo la no distribución de campo eléctrico de modo transversal cambiando la dirección de propagación [4], por este motivo se obtuvo mejor resultados en el diseño (T) a pesar que en todos los diseños tienen un rendimiento eficiente, porque el resultado de los diferentes VSWR se encuentran en el rango entre 1 y 1.5 dB demostrando que no existe pérdidas de desajuste entre la energía transmitida sobre la reflejada producida por la mínima y la máxima amplitud de la onda de estacionaria de voltaje [11].

La antena de guía de onda tipo bocina de polarización septum nos presenta como resultado un diagrama que emite un patrón de radiación omnidireccional que radia en dirección de 360°

grados en el plano horizontal, con una ganancia máxima que alcanza los 2.23 dB en el mejor diseño simulado, a pesar de que la ganancia es pequeña para sistemas de quinta generación 5G, es necesario obtener una alta ganancia para compensar la propagación y no tener pérdidas de trayecto [16], por ello es necesario un arreglo en matriz de antenas para satisfacer las necesidades de exploración y tener una amplia cobertura logrando subir su ganancia [17], con este tipo de lóbulos de radiación nos ofrece una cobertura fehaciente en la que impide interferencias y por ende el aumento significativo de eficacia espectral [18], debido a que la guía de onda rectangular pretende irradiar en todas las direcciones y en grandes cantidades de manera uniforme por este motivo nos ofrece un amplio ancho de banda de 1.7 GHz en una diferencia de frecuencia de -15dB, porque al ser una antena tipo bocina no genera resonancia en los campos E irradiados en el aire libre [19].

El diseño de la antena de guía de onda sin septum, (n/a) da como resultado los siguientes valores: (a) coeficiente de reflexión de -21.7517dB a 60.2667 GHz, (b) VSWR de 1.4231, (c) ancho de banda de 1.67 GHz, (d) una ganancia de 2.24; al implementar una septum a la guía de onda provoca una leve diferencia en los parámetros característicos para onda milimétrica, produciendo mejoras eficientes comparadas a una antena no polarizada, esto debido que al momento de alimentar la guía de onda rectangular simple genera un campo E de forma directa desde la entrada de la excitación a la salida de la bocina, teniendo una velocidad de propagación más rápida por la corriente de retorno y transfiriendo en su totalidad la energía de campo eléctrico en modo trasversal, al implementar la septum añade más puertos de entrada de modo ortogonal lo que va producir es que el campo E se propague de forma par circularmente de izquierda a derecha a través de las crestas de la polarización septum propagándose a una velocidad más lenta y reduciendo la frecuencia de corte [20] [21].

V. CONCLUSIONES

La caracterización de la antena, donde se obtuvo el mejor comportamiento con un parámetro de dispersión S (1.1) de -22.395 dB a una frecuencia de 60.0889 GHz, además con un VSWR 1.3210 dB comparando los resultados de simulación que trabaja a la misma frecuencia tiene el diseño 5 un 3.868% más eficiente que el diseño 4 con un coeficiente de reflexión de -21.5611 y el VSWR tiene 10.128% de mejora comparado con una relación de onda estacionaria de voltaje de 1.4548 dB.

La utilización de polarización septum en los parámetros de onda milimétrica del diseño 5 provoca una leve diferencia en la guía de onda rectangular tipo bocina sin polarización septum, dando como resultado una eficiencia 2.958% en relación al coeficiente de reflexión sin septum de -21.7517dB, el valor de relación de onda estacionaria VSWR mejora en un 7.728% con un resultado (n/a) de 1.4231 dB, la figura 6 se observa el mejor ancho de banda en diseño con polarización de 1.7 GHz teniendo 1.796% más eficiente que la antena sin septum de 1.67 GHz de

BW, el cual se mide a los -15 dB teniendo una relación 3/100 donde indica que hay una potencia de transmisión 33.33 veces mayor que la potencia que se pierde.

VII. REFERENCIAS

- [1] A. Hlali, Z. Houaneb, and H. Zairi, "Design of graphene patch array antenna for 5G applications," *Proc. Int. Conf. Microelectron. ICM*, vol. 2018-Decem, no. Icm, pp. 280–282, 2019.
- [2] M. Stevens and C. Technical, "The Benefits of 60 GHz Unlicensed Wireless Communications Mark Stevens -Chief Technical Officer - Sub10Systems Grant Grafton – Head of Global Strategy – Sub10 Systems," vol. 44, no. 0.
- [3] X. Cheng *et al.*, "Analysis and design of a wideband endfire circularly polarized septum antenna," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 66, no. 11, pp. 5783–5793, 2018.
- [4] J. Kim, S. Yoon, E. Jung, J. W. Lee, T. K. Lee, and W. K. Lee, "Triangular-shaped stepped septum polarizer for satellite communication," *IEEE Antennas Propag. Soc. AP-S Int. Symp.*, pp. 854–857, 2011.
- [5] P. Arroyo, Betancor; Cerrada, "Diseño y estudio de una antena de polarización circular para la banda ka." pp. 32–33, 2017.
- [6] G. Specifications, Technical ,ITS, "Gentech Engineering Plastics." USA, South Africa, pp. 1–2, 1900.
- [7] Z. Castro and C. Persad, "Results of copper-silver rail materials tests," *IEEE Trans. Magn.*, vol. 43, no. 1, pp. 116–119, 2007.
- [8] Rogers Corporation, "TMM Thermoset Microwave Materials," pp. 2–3, 2015.
- [9] A. Guayanlema, Galo, "Estudio técnico de ocupación del espectro radioeléctrico para redes de servicio móvil avanzado (sma) 5g en el ecuador." *UDLA, Facultad de ingeniería y ciencias aplicadas estudio*, Ecuador, pp. 8–10, 2018.
- [10] A. Alkanhal, "Millimeter Wave Antenna Based on SIW Technology for WLAN/WPAN 5G Networks at 60GHz," vol. 7, pp. 5–8, 2017.
- [11] C. Raj and S. Suganthi, "Performance Analysis of Antenna with Different Substrate Materials at 60 GHz," pp. 2537–2539, 2017.
- [12] I. J. C. Colombo, Ingeniería Electrónica – Medidas Electrónicas II Medición de Parámetros de Dispersión " S ." 2012.
- [13] N. Nikolic, A. Weily, I. Kekic, C. Data, S. L. Smith, and K. W. Smart, "A Septum Polarizer with Integrated Square to Circular Tapered Waveguide Transition," pp. 725–726, 2018.
- [14] S. Wang, C. Chien, C. Wang, R. Wu, and S. Member, "A Circular Polarizer Designed With a Dielectric Septum Loading," vol. 52, no. 7, pp. 1719–1723, 2004.
- [15] U. de O. Fernández, Antonio, "Propiedades dieléctricas de los materiales del sector metalúrgico para su posterior aplicación en microondas." pp. 17–22, 2014.
- [16] D. Liu, W. Hong, T. S. Rappaport, C. Luxey, and W. Hong, "A High Gain Broadband Quasi-Yagi Dielectric Lens Antenna for 5G and Millimeter Wave Applications," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 65, no. 12, pp. 6205–6212, 2017.
- [17] N. Ojaroudiparchin, M. Shen, S. Zhang, and G. F. Pedersen, "A Switchable 3-D-Coverage-Phased Array Antenna Package for 5G Mobile Terminals," *IEEE Antennas Wirel. Propag. Lett.*, vol. 15, pp. 1747–1750, 2016.
- [18] S. R. Zang and J. R. Bergmann, "Design of Omnidirectional Dual Reflector Antenna: Case of the Main Reflector with Circular Generatrix," pp. 416–419, 2011.
- [19] M. Vergara and N. Morales, "Antenas, Polarización y Diagramas de Radiación." FCFM Universidad de Chile, Chile, pp. 1–25, 2012.
- [20] H. E. Schrank, "Polarization measurements using the septum polarizer," *IEEE Antennas Propag. Soc. Int. Symp.*, vol. 20, pp. 227–230, 2003.
- [21] M. C.; G. Tsandoulas, "A Wide-Band Square-Waveguide Array Polarizer," *IEEE*, vol. 21, no. 3, pp. 389–391, 1973.