

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

**CARRERA:
INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:
INGENIEROS ELECTRÓNICOS**

**TEMA:
COMPARACIÓN DEL EFECTO DE LA FRECUENCIA DE RESONANCIA EN
LOS PARÁMETROS DE DISPERSIÓN PARA LA ANTENA SEPTUM EN
ONDA MILIMÉTRICA**

**AUTORES:
FAUSTO ALEJANDRO GONZÁLEZ FLORES
HENRRY GABRIEL PANGAY OROSCO**

**TUTOR:
LENIN WLADIMIR AUCATOMA GUAMÁN**

Quito, noviembre del 2021

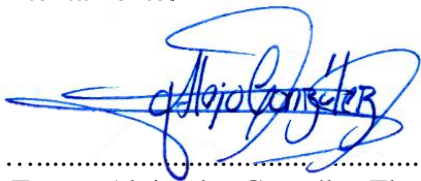
CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Nosotros, Fausto Alejandro González Flores con documento de identificación No. 1726526153 y Henry Gabriel Pangay Orosco con documento de identificación No. 0804145910, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Artículo Académico intitulado: **COMPARACIÓN DEL EFECTO DE LA FRECUENCIA DE RESONANCIA EN LOS PARÁMETROS DE DISPERSIÓN PARA LA ANTENA SEPTUM EN ONDA MILIMÉTRICA**, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingenieros Electrónicos, 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 nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.


Quito, noviembre del 2021

Atentamente.



.....
Fausto Alejandro González Flores

C.C: 1726526153



.....
Henry Gabriel Pangay Orosco

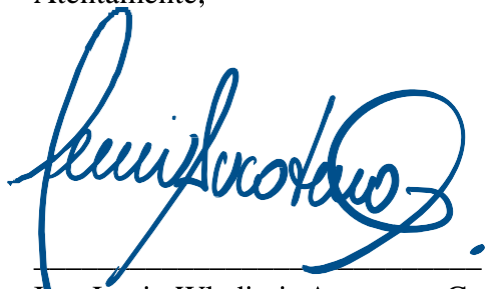
C.C: 0804145910

DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR

Yo, declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el Artículo Académico, COMPARACIÓN DEL EFECTO DE LA FRECUENCIA DE RESONANCIA EN LOS PARÁMETROS DE DISPERSIÓN PARA LA ANTENA SEPTUM EN ONDA MILIMÉTRICA, realizado por Fausto Alejandro González Flores y por Henry Gabriel Pangay Orosco, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana, para ser considerado como trabajo final de titulación.

Quito, de noviembre del 2021

Atentamente,



Ing. Lenin Wladimir Aucatoma Guamán, MSc
C.C: 1717985830

DEDICATORIA

Dedico este trabajo con esmero y sacrificio a mi amada madre, quien, con su amor incondicional, apoyo y su basta sabiduría supo siempre motivarme a seguir adelante, a mis hermanos y a mi sobrino, que siempre esperaron verme triunfar y confiaron en mí, a mi compañera de vida Jenniffer que siempre estuvo acompañándome en los momentos más difíciles y siempre me apoyo en todo este trabajo de titulación, y de manera muy especial quiero dedicar este trabajo a mi amado hijo que llego a mi vida para para iluminarla y darle ese motorcito para no desmayar en las metas que me proponga y darle un buen ejemplo a seguir.

Con amor su hijo, hermano, compañero de vida y tu papá

Henry Gabriel Pangay Orosco

DEDICATORIA

Este artículo académico se lo dedico con tanto amor y cariño a mi abuelita Angelita Cartagena a pesar de nuestra distancia física, siento que estás conmigo todos los días y aunque nos faltaron muchas cosas por vivir juntos, sé que este momento hubiera sido tan especial para ti como lo es para mí.

A mis padres Lourdes y Klever quienes han creído en mí siempre, dándome ejemplo de humildad, esfuerzo, amor, y sacrificio; enseñándome a valorar que todo con sacrificio tiene una gran recompensa, y que, con dedicación, se puede ir superando cada una de las adversidades que se nos presentan, quienes me formaron con buenos sentimientos, hábitos, valores y siempre estuvieron corrigiendo mis faltas y celebrando mis triunfos.

A mi hermano Cristian por su valor, su esfuerzo y apoyo incondicional durante todo este proceso, por acompañarme en los momentos buenos y malos y por enseñarme que todo sacrificio tiene su recompensa. Ya que con su experiencia y madurez han sido una guía para llegar a afrontar todo desafío que se me ha presentado.

A Gael y Zaid, quienes en este momento son tan pequeños y quizá no entiendan estas palabras, pero cuando estén más grandes les contaré como ellos también fueron la mayor motivación para nunca rendirme ante las dificultades que se presentaban en el desarrollo de este Artículo Académico.

Más que una dedicatoria, es un especial agradecimiento a mi tía Elena Flores, mi primo Jefferson López y a su familia, ya que cuando se dañó mi laptop sin duda, se ofrecieron a prestarme la suya hasta que termine este proyecto y durante estos 7 meses fue de gran ayuda e hizo que fuera posible la culminación de este. De igual manera a mis tíos y primos que se encuentran en el exterior, gracias por toda su ayuda hacia mi familia siempre han estado cuando más los hemos necesitado.

A mis primos Lisbeth y Christopher, por ser aquellas personitas especiales en mi vida, quienes me han motivado a ser mejor cada día, que con sus sonrisas y sus locuras han hecho que los días grises se tornen coloridos.

Dedico este esfuerzo a todas las personas que me apoyaron directa o indirectamente en esta etapa de mi vida, y finalmente poder decir “por los sueños se suspira, por las metas se trabaja”, Humberto Ramos.

Fausto Alejandro González Flores

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer primero a Dios, a mi madre Eudosia Hilda Orosco Jaramillo por todo ese amor y apoyo que me dio en cada momento de mi vida, quien me motivo y ha sido el pilar más importante para alcanzar los logros que he obtenido.

Agradezco también a mis hermanos; Dionicio, Angela, Laura, Miguel y Javier con quienes he compartido los mejores momentos y anécdotas de mi vida, quienes también me apoyaron a lo largo de la carrera universitaria.

A mi sobrino Andrés Licoa con quien me siento identificado dado que es como mi hermano menor y que sigue mis pasos, espero nunca desmaye en las metas u objetivos que se proponga y que sienta mi apoyo incondicional siempre.

A mi compañera de vida Jenniffer por brindarme ese apoyo incondicional, por creer y confiar en mí y motivarme, sabiendo lo que puedo dar y lo que puedo demostrar, gracias por estar siempre pendiente de mi desde que llegaste a mi vida y darme el mejor regalo de mi vida que es mi amado hijo Henry Zaid Pangay Intriago.

A mis tíos Franco y Francisca Sanmartín por siempre abrimme las puertas de su casa para brindarme un pancito y darme esos consejos de vida y ese apoyo emocional, los llevo en el corazón. A mi cuñado Nelson Guerrero que me ayudó sin pedir nada a cambio y como alguna vez dije que seguiré sus pasos ahora él que alcanzó su meta de maestría.

A mi Tutor Lenin Aucatoma, quien como docente con gran vocación supo transmitirme sus conocimientos y adicional dirigir con gran sabiduría el desarrollo de este artículo académico. A mis docentes, quienes aportaron con su conocimiento toda la carrera de ingeniería para hoy estar culminando esta etapa, quienes con su exigencia me inculcaron siempre a esforzarme cada día más, con valor, disciplina y constancia.

A mis amigos y compañeros que me acompañaron en el transcurso de la carrera, aunque en ocasiones en diferentes grupos, gracias por esas bonitas experiencias.

A mi compañero de Titulación y amigo Fausto González, (más conocido como Ches), que con su constancia y mucho carisma me ayudo en mis momentos difíciles con las palabras que me motivaban “Somos un equipo amigo”, gracias, amigo, ya son más de 10 años compartiendo en ocasiones aulas y en ocasiones un asiento en un bar, gracias por siempre estar ahí amigo Finalmente, gracias a la UPS por haberme formado no solo como un ingeniero con gran conocimiento sino como un ingeniero con valores y principios éticos.

Henry Gabriel Pangay Orosco

AGRADECIMIENTO

Sabía que escribir un artículo académico no era una tarea sencilla, han sido días y noches de mucho esfuerzo, sacrificio y dedicación, quiero aprovechar este espacio para manifestar mi gratitud A Dios, Don Bosco y a María Auxiliadora por ser mi fortaleza en los momentos de debilidad y por darme la fuerza para salir adelante. A mis padres Lourdes y Klever quienes, con su paciencia, amor, y esfuerzo me han permitido llegar a cumplir esta meta propuesta, gracias por enseñarme que la mejor herencia que nos dejan los padres es la educación. A mi hermano Cristian, quien ha sido un apoyo incondicional durante todo este proceso y por estar pendiente de que no me falte nada para continuar mis estudios. A mis Abuelitos Luis y Lucia por los valores que me inculcaron a lo largo de mi vida por enseñarme a compartir en familia lo poco que se tiene. A mi abuelita Angelita, quien representa el esfuerzo, la generosidad y el cariño que ha sembrado en mi interior, a ella agradezco y dedico este logro alcanzado como un homenaje póstumo por toda su entrega, consejos y amor. A mi abuelito Eduardo por sus consejos y por sobre todo ayudarme a incursionar en la educación Técnica y Salesiana. Deseo mencionar también a mis primeros amigos Deysi, David, Franklin, Stephanie, Vane, y Cristian por haber estado junto a mí compartiendo las penas y las alegrías por su apoyo incondicional, y sus constantes palabras de ánimo. Deseo mencionar también Adriana, Vale, Michu, Kathy y Adry, gracias por incluirme los últimos semestres de la carrera en proyectos y trabajos de cada materia, el convivir esos tiempos con ustedes aprendí mucho y de cada una me llevo grandes recuerdos. A Jessy Haro, gracias por apoyarme, aconsejarme y ayudarme en todo momento, aun cuando las cosas se volvían difíciles me enseñaste a no darme por vencido y seguir adelante. A mi compañero de titulación y amigo Henry Pangay, gracias por tu amistad sincera, hermano por todas las aventuras y experiencias que hemos pasado juntos en fiestas, jodas, estudio y ahora creciendo profesionalmente. A mi tutor Ing. Lenin Aucatoma por haber aceptado con gusto dirigir este artículo académico y quien es un gran amigo, un excelente docente y quien desde el inicio hasta el final mantuvo la misma energía, entrega y el mismo nivel de exigencia permitiendo culminar con éxito este trabajo. A la Ing. Berenice Arguero Por su tiempo de lectura y sus aportes que fueron enriquecedores y muy significativos en el proceso de construcción de este trabajo final. Mi agradecimiento también a todos los demás miembros de mi familia y amigos por sus consejos y apoyo en los momentos difíciles y que al preguntar constantemente: cómo va la tesis evitaron que esta quedara en el olvido. *Fausto Alejandro González Flores*

Comparación del efecto de la frecuencia de resonancia en los parámetros de dispersión para la antena Septum en onda milimétrica.

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

González Flores Fausto Alejandro
Ingeniería Electrónica
Universidad Politécnica
Salesiana
Quito, Ecuador
fgonzalezf@est.ups.edu.ec

Pangay Orosco Henry Gabriel
Ingeniería Electrónica
Universidad Politécnica
Salesiana
Quito, Ecuador
hpangay@est.ups.edu.ec

Resumen: Este artículo detalla la comparación del impacto de las frecuencias de resonancia de 60, 67 y 74 [GHz] en los parámetros de dispersión de tres antenas tipo Septum comprendida en la banda de onda milimétrica (mmW), mediante el software Ansys se realizó el diseño de las antenas, el dimensionamiento y la variación de sus materiales de construcción, con los cálculos matemáticos se obtuvo las dimensiones para el diseño de las tres antenas, los mismos que no se reflejan en el diseño final por lo que se presenta un desfase en frecuencia del 6% y una reducción en dimensiones mayor al 60% con respecto al ajuste, donde el elemento más relevante de las antenas es la longitud de la bocina, dado que tiene un desfase promedio del 80.97%. Los resultados indican que al aumentar la frecuencia de resonancia de 60GHz a 74GHz existe una relación directamente proporcional entre la frecuencia y los parámetros de dispersión, por lo que al aumentar la frecuencia también aumentan los valores de los parámetros de dispersión y los desfases.

Palabras Claves— Antena tipo Septum, Coeficiente de reflexión, onda milimétrica, VSWR

Abstract: This article details the comparison of the impact of the resonance frequencies of 60, 67 and 74 [GHz] in the dispersion parameters of three Septum-type antennas comprised in the millimeter wave band (mmW). The design was carried out using the Ansys software. of the antennas, the dimensioning and the variation of their construction materials, with the mathematical calculations the dimensions for the design of the three antennas were obtained, the same ones that are not reflected in the final design, so there is a frequency offset of 6% and a reduction in dimensions greater than 60% with respect to the adjustment, where the most relevant element of the antennas is the length of the horn, since it has an average phase difference of 80.97%. The results indicate that when increasing the resonant frequency from 60GHz to 74GHz there is a directly proportional relationship between the frequencies, so as the frequency increases, the values of the dispersion parameters and the phase shifts increase.

Keywords— Septum Antenna, Reflection Coefficient, Millimeter Wave, VSWR

I. INTRODUCCIÓN

En los últimos años, debido a una gran demanda de altas velocidades de datos que sean seguras y más rápidas ha generado la necesidad de mayor ancho de banda para varias aplicaciones de un gran número de dispositivos conectados [1]. Siendo de esta forma la tecnología 5G la que desarrolla una capacidad masiva de tráfico, altas velocidades y el uso eficiente de nuevos rangos del espectro para una mayor cantidad de usuarios. Para mejorar estos servicios se usa ondas milimétricas que involucra un aumento en velocidad de transmisión y disponibilidad de anchos de banda mayores. [2]

Tomando en cuenta las características de la banda de ondas milimétricas se necesitan nuevos tipos de antenas que funcionen en esta banda de frecuencias y a pesar del avance hacia geometrías de antenas complejas. Las antenas tipo Septum compuesta por una guía de onda rectangular tipo bocina y en el interior de ésta contiene un polarizador del tipo Septum que muestra una excelente relación axial y ancho de banda, por lo que trata de ser eficaz al momento de generar una polarización circular (CP) mediante excitaciones lineales que se producen en una guía de onda rectangular con un ancho de banda de trabajo amplio, por lo que se requiere utilizar una antena tipo bocina de alta ganancia. Donde la antena tipo Septum debe cumplir con los parámetros de dispersión adecuados para su funcionamiento [3].

Se han considerado estudios previos como es el caso de una antena tipo septum a un frecuencia de 60 GHz para una onda milimétrica, por lo cual se obtuvo un $S(1.1)$ de -22.395 dB a una frecuencia de 60.0889 GHz y un (VSWR) de 1.3210 [4]. En [5] se realiza un estudio y un diseño para la banda Ka de una antena de polarización circular en una frecuencia de 36.5-37.5GHz compuesta por un polarizador Septum, una bocina cuadrada y un reflector parabólico offset. Y en [6] se presenta una novedosa antena de bocina CP con polarización conmutable, mediante alimentación de puerto único lo que presenta que esta antena es atractiva en aplicaciones de onda milimétrica en comparación con otras bandas de frecuencia, esta antena se mecaniza y se mide en banda C que confirma la idea de diseño, que puede extrapolarse fácilmente a otras bandas, en estos estudios, sus análisis se basan en una sola frecuencia de resonancia para este tipo de antena.

Este artículo se enfocará en el diseño de tres antenas tipo Septum que trabajan a distintas frecuencias de resonancia de 60, 67 y 74 GHz. Con el propósito de analizar y comparar el impacto de estas frecuencias de resonancia en el diseño matemático, con el ajuste de diseño e identificar los cambios producidos, para establecer los parámetros de dispersión adecuados para el correcto funcionamiento de las antenas.

II. DISEÑO DE LAS ANTENAS

El diseño planteado de tres antenas tipo Septum que operan en la banda de onda milimétrica con frecuencias de 60, 67 y 74 GHz, obtenidos con fórmulas matemáticas se diseñaron y simularon en el software ANSYS HFSS.

Cada antena incluye cambios en su geometría y material haciendo un ajuste hasta obtener los parámetros de dispersión adecuados de la antena, teniendo como referencia que el coeficiente de reflexión S(1,1) esté en valores por debajo a -20 dB, dado que este valor representa las pérdidas de retorno, es decir, la relación entre la potencia reflejada y la potencia transmitida en el punto de entrada, y un valor de VSWR en el rango de 1 a 2 que asegura el adecuado acoplamiento de impedancia.[7]

Como paso inicial para el diseño de la guía de onda es seleccionar la guía de onda rectangular estándar adecuada descrita en [8] para utilizar las dimensiones de anchura (a) y altura (b). Se seleccionó las dimensiones de la guía de onda estándar (WR-15) en la banda V (3.8 * 1.9 mm) sabiendo que el rango de frecuencias comprendidas de esta guía es de 50-75 GHz.

Mientras que para el cálculo del modelado matemático de las otras componentes de la guía de onda rectangular se utilizaron las fórmulas descritas en [9] para la longitud de onda de corte (λ_{Lc}), y la longitud de la guía de onda (c)

Longitud de onda de corte (λ_{Lc})

$$\lambda_{Lc[mm]} = 2 * a \quad (1)$$

Donde:

a: Anchura de la guía de onda rectangular [mm]

Longitud de onda (λ)

$$\lambda[m] = \frac{c}{f} \quad (2)$$

Donde:

c: Velocidad de la luz ($3 * 10^8 \frac{m}{s}$)

f: Frecuencia de resonancia [Hz]

Longitud de onda dentro de la guía (Wd):

$$Wd_{[mm]} = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{1}{\lambda}\right)^2 - \left(\frac{1}{\lambda_{Lc}}\right)^2}} \quad (3)$$

Donde:

λ : Longitud de onda [mm]

λ_{Lc} : Longitud de onda de corte [mm]

Wd es la longitud de onda dentro de la guía de onda rectangular y esta longitud se corta al 75% de Wd. Por lo tanto, la longitud de la guía de onda es:

$$c_{[mm]} = 0.75 * Wd \quad (4)$$

Donde:

Wd: Longitud de onda dentro de la guía [mm]

Para el cálculo del modelo matemático de la bocina se utilizaron las fórmulas descritas en [10] para la longitud entre la guía de onda rectangular y la apertura (i), la altura de la apertura de la bocina (h) y la ganancia de la antena (G)

Ganancia de la antena (G)

$$G = \frac{g}{0.45 * \lambda} \quad (5)$$

Donde:

g: Ancho de la bocina [mm]

λ : Longitud de onda [mm]

Este valor (g) es igual al valor de la anchura de la guía de onda rectangular (a) al ser una bocina en plano E que equivale a una guía de onda rectangular que mantiene su ancho (a) y se abre en el lado correspondiente a su altura (b)

Altura de la apertura de la bocina (h)

$$h_{[mm]} = \frac{G * \lambda^2}{4 * \pi * 0.81 * g} \quad (6)$$

Donde:

g: Ancho de la bocina [mm]

λ : Longitud de onda [mm]

G: Ganancia de la antena

Longitud axial

$$R_{2[mm]} = \frac{h^2}{2 * \lambda} \quad (7)$$

Donde:

h: Altura de la apertura de la bocina [mm]

λ : Longitud de onda [mm]

La longitud entre la guía de onda rectangular y la apertura (i)

$$i_{[mm]} = R_2 \left(1 - \frac{b}{h}\right) \quad (8)$$

Donde:

R_2 : Longitud axial [mm]

h: Altura de la apertura de la bocina [mm]

b: Altura de la guía de onda rectangular [mm]

En la Figura 1 se observan los elementos que conforman la antena tipo Septum, que consta principalmente de una guía de onda rectangular, una bocina radiante con apertura en el plano E, dos polarizadores que son necesarios para eliminar algún reflejo indeseado, por lo que un polarizador es un dispositivo que sirve para cambiar la polarización de una onda electromagnética, por lo tanto, convierte la polarización lineal en polarización circular este cambio se logra mediante la modificación de la fase de una o ambas componentes de la onda y es muy difícil conseguir que un solo un polarizador modifique el comportamiento del campo de forma adecuada.[11]

Se utilizaron dos polarizadores septum para producir el desfase y para modificar el comportamiento de las componentes ortogonales que ingresan a la entrada de la guía de onda rectangular, de tal manera que se obtenga una diferencia de fase de 90° entre ambas componentes de la onda. [12]

Todos estos elementos están relacionados por dos conductores y separadas por un sustrato dieléctrico que aísla la tierra con la guía de onda, formando una abertura al interior de la antena donde se transmitirá la onda. La alimentación de la antena es mediante un puerto agrupado Lumped Port que une la guía de onda rectangular, la bocina con apertura en el plano E, el dieléctrico y la tierra.

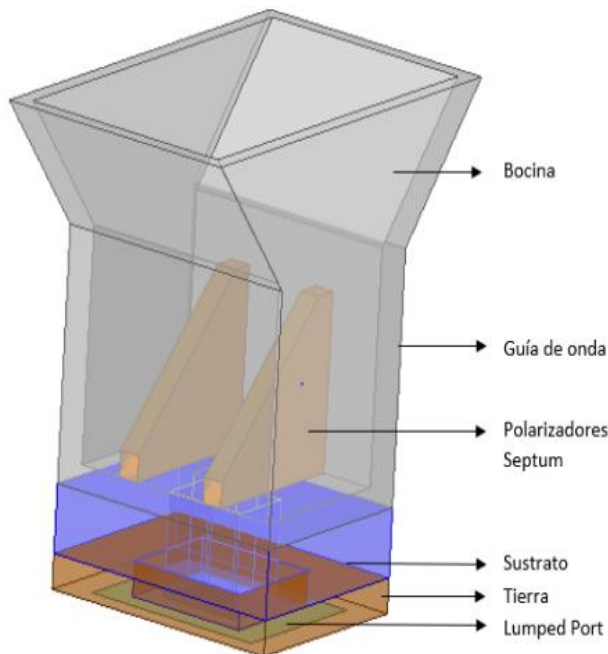


Figura 1. Componentes de la Antena tipo Septum diseñada.

En la Figura 2 se especifican las dimensiones de los elementos que forman la antena, esta antena tiene dimensiones pequeñas, dado que las frecuencias con la que trabaja son altas y su longitud de onda es pequeña, lo que provocaría que las antenas sean implementadas con una impresión de alta precisión.

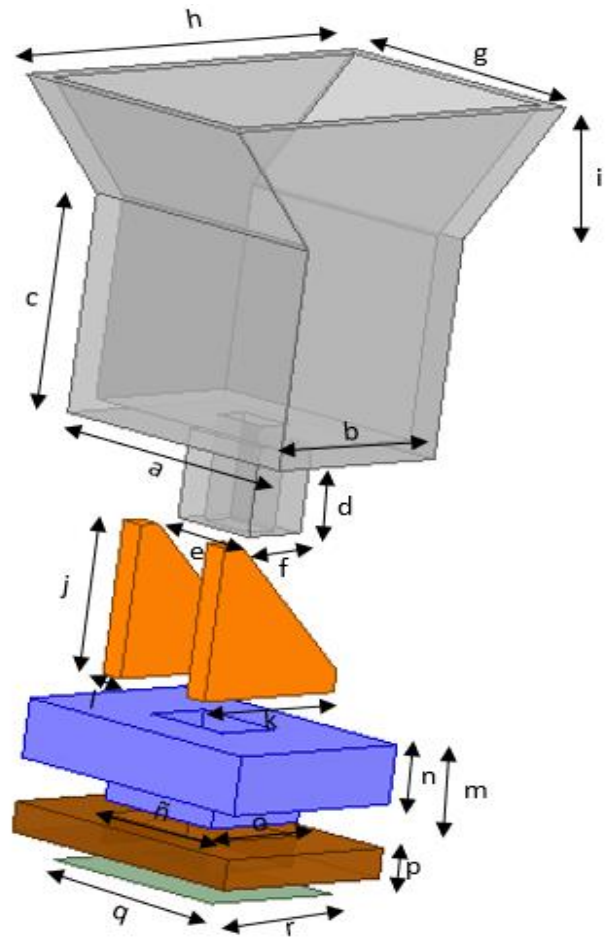


Figura 2. Capas de diseño de la antena.

A. Diseño de las antenas tipo Septum.

En la Tabla 1 se muestra la comparación de las medidas obtenidas del modelo matemático con el ajustado en el software ANSYS HFSS para las antenas de 60, 67 y 74 GHz.

En la guía de onda y la bocina de la antena de 60 GHz se utilizó como material la plata, el material para los polarizadores tipo Septum se usó teflón, de igual manera para el sustrato se empleó Galio y para la tierra Cobre, respectivamente.

Finalmente, para la antena de 67 y 74 GHz en la guía de onda y en la bocina se utilizó como material la plata, por otro lado, para los polarizadores Septum se usó como material la baquelita, para el sustrato se empleó Galio y para la tierra Cobre. Los materiales se escogieron luego de realizar los ajustes para cada frecuencia con la finalidad de alcanzar los valores de los parámetros de dispersión propuestos en esta investigación.

Tabla 1. Dimensiones de la antena tipo Septum en 60, 67 y 74GHz de frecuencia.

Elemento	Parámetro	60 GHz			% de desfase	Material	67 GHz			% de desfase	Material	74 GHz			% de desfase	Material
		Medidas [mm]		Matemática			Medidas [mm]		Matemática			Medidas [mm]		Matemática		
		Ajuste	Ajuste				Ajuste	Ajuste								
Guía de onda	a	3.098	1.0644	65.6	Plata	3.098	0.94122	69.6	Plata	3.098	0.855936	72.4	Plata			
	b	1.54	0.7983	48.2		1.54	0.71712	53.4		1.54	0.650868	57.7				
	c	3.73	0.887	76.2		3.33	0.747	77.6		3.021	0.679345704	77.5				
	d	1	0.361896	63.8		1	0.30477	69.5		1	0.277173047	72.3				
	e	0.8	0.3548	55.7		0.8	0.2988	62.7		0.8	0.271738281	66.0				
	f	0.6	0.2661	55.7		0.6	0.2241	62.7		0.6	0.203803711	66.0				
Bocina	g	3.098	1.0644	65.6	Plata	3.098	0.94122	69.6	Plata	3.098	0.855936	72.4	Plata			
	h	2.435	1.6853	30.8		2.435	0.97	60.2		2.435	1.328484	45.4				
	i	1.779	0.50559	71.6		1.987	0.26	86.9		2.19	0.34210692	84.4				
Polarizador	j	3.5	0.6209	82.3	Teflón	3.5	0.5976	82.9	Baquelita	3.5	0.543456563	84.5	Baquelita			
	k	1.34	0.66525	50.4		1.34	0.6278	53.1		1.34	0.56937576	57.5				
	l	0.8	0.0887	88.9		0.8	0.0747	90.7		0.8	0.0677616	91.5				
Sustrato	m	1	0.361896	63.8	Galio	1	0.30477	69.5	Galio	1	0.277173047 2	72.3	Galio			
	n	0.7	0.23949	65.8		0.7	0.20169	71.2		0.7	0.183423340	73.8				
	ñ	1.5	0.5322	64.5		1.5	0.4482	70.1		1.5	0.407607422 4	72.8				
	o	1	0.4435	55.7		1	0.3735	62.7		1	0.339672852	66.0				
Tierra	p	0.3	0.122406	59.2	Cobre	0.3	0.103086	65.6	Cobre	0.3	0.093749707 2	68.8	Cobre			
Lumped Port	q	3.098	0.7983	74.2		3.098	0.94122	69.6		3.098	0.855936	72.4				
	r	1.54	0.6209	59.7		1.54	0.71712	53.4		1.54	0.650868	57.7				
Espesor		0.1	0.066525	33.5		0.1	0.04482	55.2		0.1	0.04074612	59.3				

III. ANÁLISIS Y RESULTADO

El impacto de la frecuencia de resonancia en cada antena diseñada y la comparación entre los modelos de las antenas se obtuvieron utilizando las fórmulas matemáticas versus el ajuste correspondiente en cada diseño. Los ajustes de cada antena consistieron en la variación de dimensiones con el fin de observar la influencia sobre los parámetros de dispersión de las antenas propuestas y por último se realiza una variación tanto de materiales conductores y dieléctricos para cada una de las frecuencias de resonancia para observar la afectación en cada uno de los elementos que componen la antena con su respectivo material.

A. Frecuencia De Resonancia

En la Tabla 1 se observa que se realizaron ajustes en las dimensiones de los componentes de las antenas realizadas en el software ANSYS HFSS, debido a que los cálculos matemáticos no cumplen con la sintonización de las frecuencias de resonancia ni con sus parámetros de dispersión $S(1,1)$ y VSWR.

En la Tabla 2 se visualizan los valores de las frecuencias obtenidas a partir de los valores presentados en la Tabla 1. Las frecuencias son mayores a las esperadas, por lo que se requiere que su longitud de onda sea mayor y se encuentren lejos del objetivo de la investigación, por lo tanto, se realiza un ajuste en dimensiones de todas las componentes de la antena, llegando así a frecuencias de 60, 67.02 y 74 GHz las cuales cumplen con el propósito de este trabajo.

Tabla 2. Desfase entre valores teóricos y de ajuste de frecuencias de resonancia obtenidas mediante la simulación en HFSS.

Frecuencia Objetivo [GHz]	60	67	74
Valor Matemático	62.16	70.93	80.39
Valor de Ajuste	60	67.02	74
Desfase (%)	3%	6%	8%

Al realizar los ajustes en las dimensiones de la antena tipo Septum para la frecuencia de 60 GHz se tiene un desfase de 2.16GHz que representa un 3% con respecto a las dimensiones calculadas matemáticamente.

En la antena de 67 GHz se obtuvo un desfase de 3.91 GHz que representa un 6%.

Finalmente, para la antena de 74 GHz tiene un desfase de 6.34 GHz que representa un 8% de tal manera que estas variaciones se desfasan en proporción directa, es decir, cuando aumenta la frecuencia también crece el porcentaje de desfase.

B. Comparación de los parámetros S(1,1) y VSWR de los resultados matemáticos y ajuste para las frecuencias de resonancia de 60, 67 y 74 GHz

En la Figura 3 se observa el comportamiento del parámetro de dispersión S(1,1) respectivamente de los diseños de las tres antenas tipo Septum, simuladas donde los puntos mínimos de las curvas representan los resultados obtenidos con la matemática. Estos resultados no cumplen con los parámetros de dispersión objetivos.

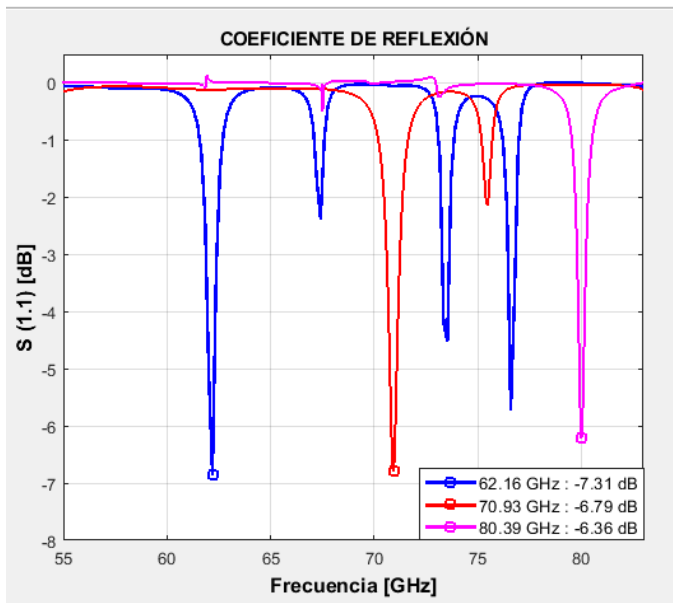


Figura 3. Comparación de los resultados de los valores matemáticos del coeficiente de reflexión de las frecuencias de resonancia 60, 67 y 74 GHz.

En la Tabla 3 se visualizan los resultados de los parámetros de dispersión S (1,1) y VSWR, obtenidos mediante cálculos matemáticos y de ajuste para las tres frecuencias de análisis.

En los valores matemáticos del VSWR se evidencia que son mayores a 2, debido a una mala adaptación de impedancias entre la antena y su línea de transmisión.

Al comparar estos valores se observa que hay una diferencia a medida que la frecuencia aumenta el valor del VSWR tiene un desfase directamente proporcional, es decir que cuando aumenta la frecuencia de resonancia aumenta también el valor del desfase entre la matemática y el ajuste. El parámetro S(1,1) tiene relación inversamente proporcional con el aumento de la frecuencia, es decir cuando se aumenta la frecuencia de resonancia disminuye el valor del desfase.

Tabla 3. Desfase de los parámetros S (1,1) y VSWR entre valores teóricos y de ajuste de frecuencias de resonancia obtenidas mediante la simulación en ANSYS HFSS.

Valor	VSWR [dB]	S(1,1) [dB]	Frecuencia
Matemática	8	-7.31	60 [GHz]
Ajuste	1.14	-23.54	
Desfase	6.86	16.23	
% de desfase	85.75	222.02	
Matemática	8.58	-6.79	67 [GHz]
Ajuste	1.37	-22.03	
Desfase	7.21	15.24	
% de desfase	84.03	224.44	
Matemática	9.10	-6.36	74 [GHz]
Ajuste	1.63	-20.53	
Desfase	7.47	14.17	
% de desfase	82.08	222.79	

C. Impacto De La Frecuencia De Resonancia En el Parámetro S(1,1) del ajuste de las antenas.

En la Figura 4 se visualizan la gráfica del coeficiente de reflexión S (1,1) optimizada en función al aumento de la frecuencia de resonancia, donde los puntos mínimos de las curvas representan los resultados de los tres modelos planteados en el objetivo. En la misma se puede notar que mientras las frecuencias de resonancia aumentan hay una disminución de valor S (1,1). Estos valores representan la cantidad de potencia que se refleja desde la antena buscando que la energía reflejada sea mínima que la potencia suministrada. Se fijó un valor de S (1,1) por debajo de -20 dB, que corresponde a una relación de potencia reflejada y potencia transmitida (PR/PT) en el punto de entrada [13], equivalente a 1/100, en la que de 100 muestras el 99% se trasmite y el 1% se pierde, siendo un valor aceptable para el funcionamiento de la antena.

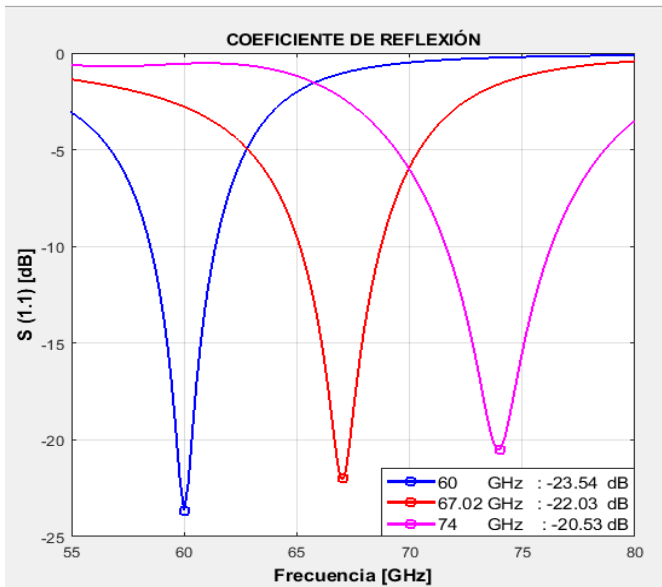


Figura 4. Comparación de los resultados de los valores de ajuste de coeficiente de reflexión de las frecuencias de resonancia 60, 67 y 74GHz.

En la Figura 5 se observan los resultados del parámetro $S(1,1)$ donde se muestra una pendiente decreciente que tiene la frecuencia de resonancia en cada diseño de ajuste, estos valores indican que en frecuencias bajas disminuye las pérdidas de potencia y en frecuencias altas aumenta las pérdidas de potencia, en nuestro objetivo se trabajó con 3 frecuencias donde 60 GHz tiene un parámetro $S(1,1)$ de -23.5dB equivalente a 0.44/100, en la que de 100 muestras el 99.56% transmite y el 0.44% se pierde demostrando menor pérdida, a diferencia de la frecuencia de 74 GHz que se obtuvo un parámetro $S(1,1)$ de -20.5dB equivalente a 0.88/100, en la que de 100 muestras el 99.12% transmite y el 0.88% se pierde, siendo este el de mayor pérdidas.

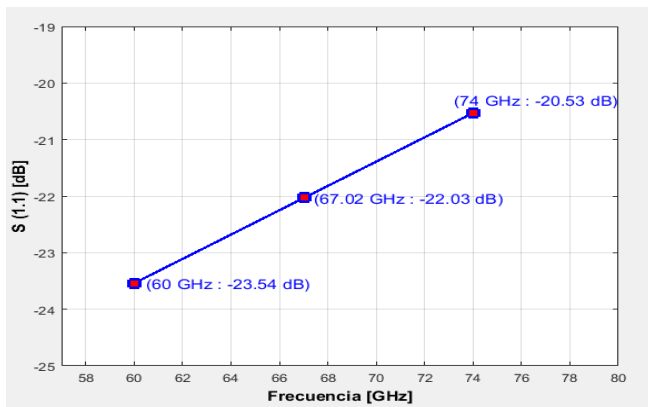


Figura 5. Resultados del parámetro $S(1,1)$.

D. Impacto de la frecuencia de resonancia en el VSWR.

En la Figura 6 se observa el comportamiento de la onda estacionaria (VSWR) con respecto a la frecuencia, de los diseños de las tres antenas tipo Septum, simuladas en el software Ansys Electronics.

Los valores obtenidos matemáticamente se encuentran lejos de los parámetros de dispersión que se planteó en el objetivo, por lo que no existe adaptación de impedancias entre la antena y la línea de transmisión.

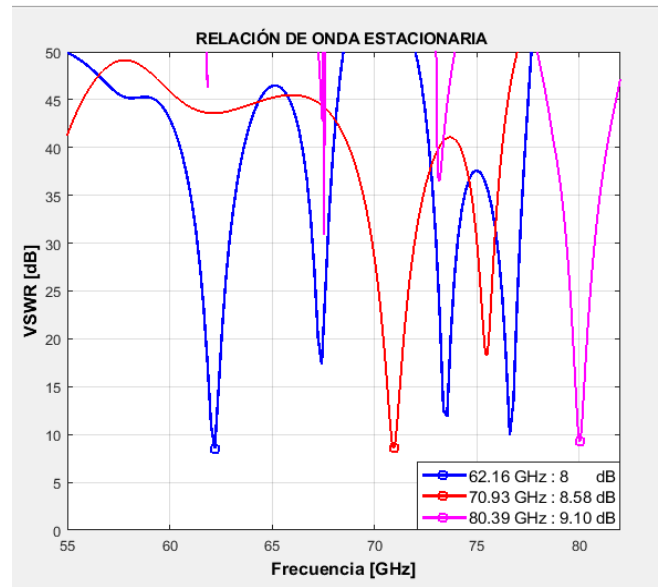


Figura 6. Comparación de los resultados matemáticos de la onda estacionaria de las frecuencias de 60, 67 y 74 GHz.

En la figura 7 se observa los puntos mínimos de las curvas que representan los resultados de la relación de onda estacionaria de voltaje (VSWR) de las tres antenas diseñadas y optimizadas, para un mejor acoplamiento de trabajo el VSWR debe estar dentro del rango de 1 a 2, en este trabajo de investigación se simuló los tres modelos donde el modelo de 60 GHz tiene un VSWR de 1.14 dB:1.30, el modelo de 67 GHz tiene un VSWR de 1.37 dB:1.37 y finalmente el modelo de la antena de 74 GHz tiene un VSWR de 1.63dB:1.45, estos valores se obtuvieron a base de ajuste de varias modificaciones en el diseño con el tipo de material en el sustrato y los polarizadores, siendo para el sustrato el Galio es el material más idóneo que tiene una permitividad de 12.9 y en los polarizadores se utilizó teflón y baquelita, la permitividad relativa del sustrato tiene un gran efecto en el VSWR, cuando este valor se incrementa el VSWR decremента.

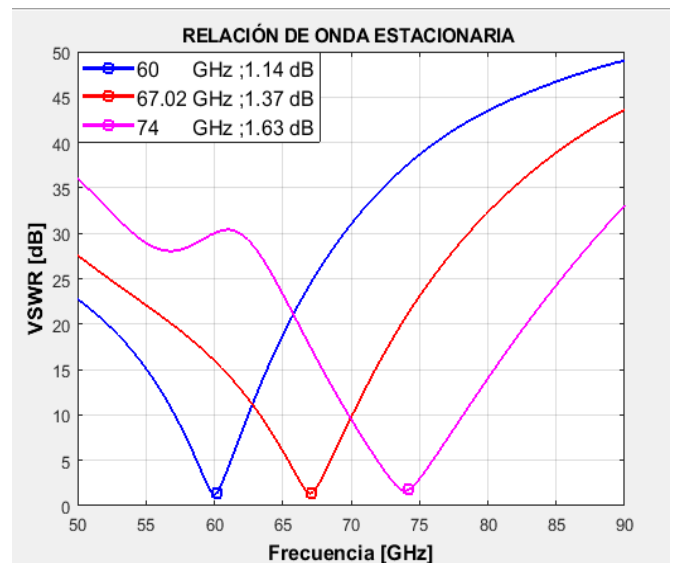


Figura 7. Comparación de los resultados de los valores de ajuste de la onda estacionaria de las frecuencias de 60, 67 y 74 GHz.

En la Figura 8 se observa un incremento en la frecuencia de resonancia y el VSWR, debido a que cumplen una relación directamente proporcional, las antenas varían sus dimensiones dependiendo de la frecuencia en la que se trabaja, por lo tanto, si la frecuencia va aumentando la antena va disminuyendo su tamaño. En este caso la relación onda estacionaria de voltaje (VSWR) es directamente proporcional a la permitividad del material del sustrato.

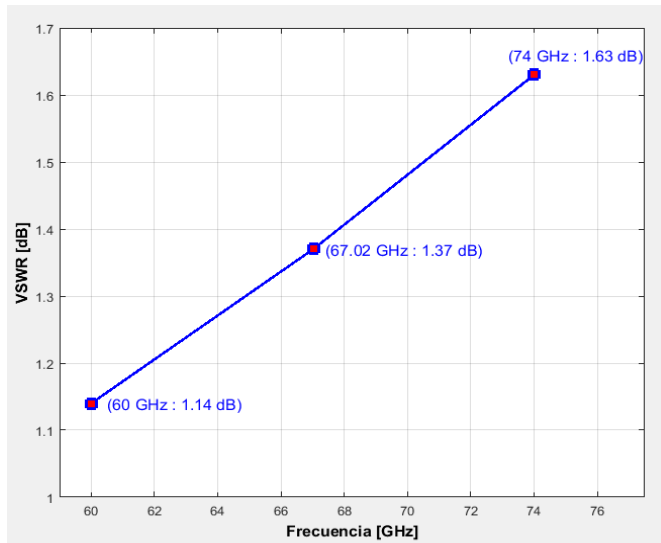


Figura 8. Resultados del VSWR.

E. Impacto en el patrón de radiación de los 3 diseños

El patrón de radiación de una antena es una representación gráfica en 2D o 3D de una función matemática de las propiedades de radiación de una antena en función de sus coordenadas espaciales [10].

En la Figura 9 se observa los patrones de radiación en 2D con corte en el plano vertical de las frecuencias de ajuste de 60, 67, 74 GHz.

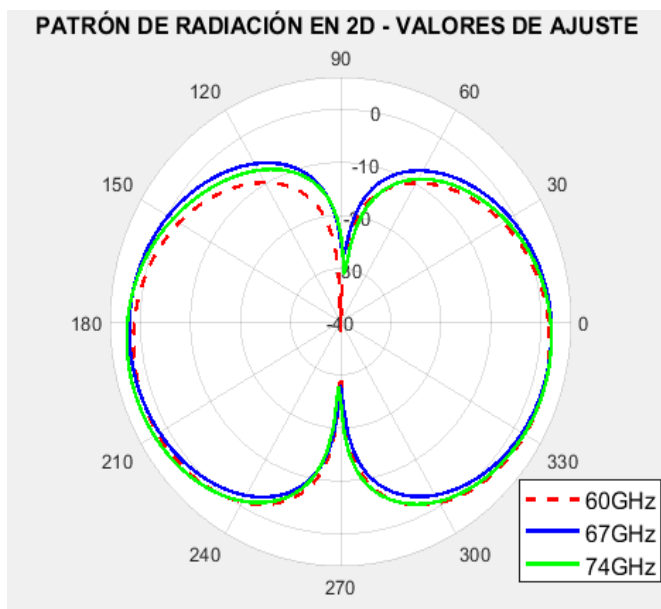


Figura 9 Patrones de radiación en 2D plano vertical obtenidos por ajuste de las frecuencias de 60, 67, 74 GHz.

En la figura 10 se observa los patrones de radiación en 2D con corte en el plano horizontal de las frecuencias de ajuste de 60, 67, 74 GHz.

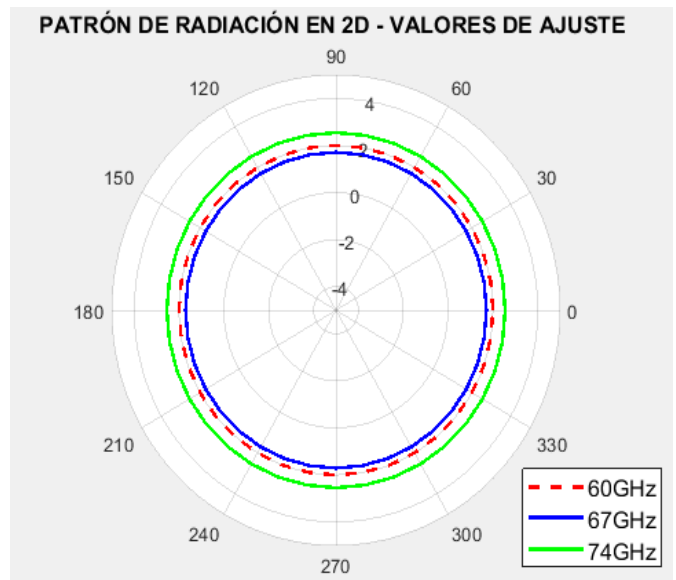


Figura 10 . Patrones de radiación en 2D plano horizontal obtenidos por ajuste de las frecuencias de 60, 67, 74 GHz.

En la Figura 9 y Figura 10 se muestran los patrones de radiación en 2D con cortes en los planos horizontal y vertical de los tres diseños de ajuste planteados, mostrando que en los tres modelos se obtuvo una potencia de radiación omnidireccional, que irradia uniformemente en todas las direcciones.

En la Tabla 4 y 5 se muestran los patrones de radiación en 3D de los tres diseños planteados tanto matemáticos como ajustes, Realizando una comparación de la ganancia de los diseños obtenidos versus los diseños de ajustes, se puede determinar que en los modelos matemáticos se obtuvo una ganancia máxima promedio de 4.6dB y en la ganancia mínima un promedio de -30.1 dB por otro lado en el modelo ajuste se obtuvo una ganancia máxima promedio de 2.85dB y en el mínimo un promedio de -34.72 dB, esto se debe a los diferentes materiales utilizados en la simulación dando como resultados, pérdidas de retorno, donde se atribuye; el material de los polarizadores, la distancia entre ellos y también el material en el sustrato conocido como dieléctrico. Las deformaciones que se observan en los patrones de radiaciones matemáticos de la Tabla 4 se debe a una distribución de campo eléctrico dentro de la guía de onda rectangular que se origina detrás del Septum que introduce un lado no deseado de deformaciones en los lóbulos del patrón de radiación. [14]

Tabla 4. Vistas de los resultados del patrón de radiación en 3D de los modelos matemáticos de la frecuencia de 60, 67 y 74 GHz.

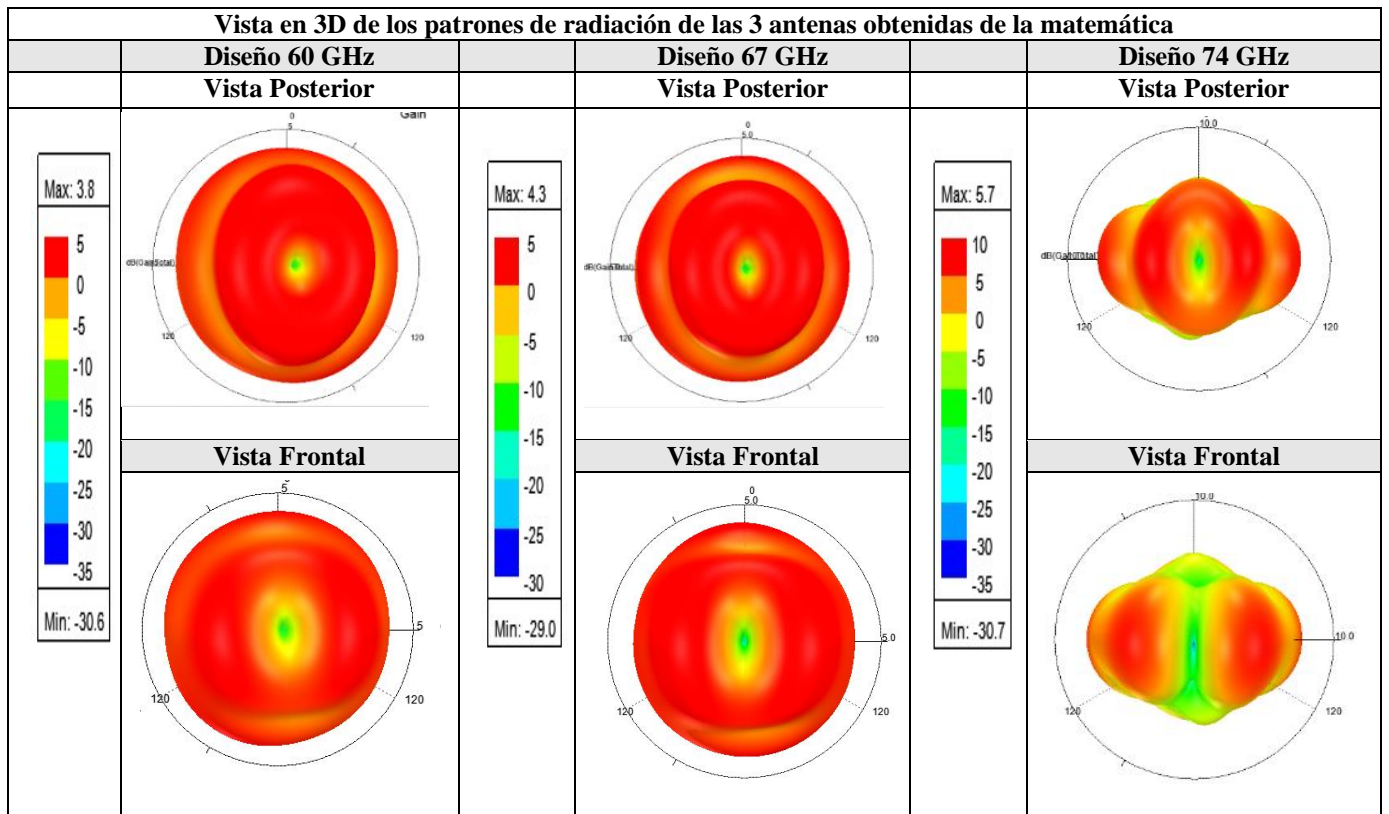
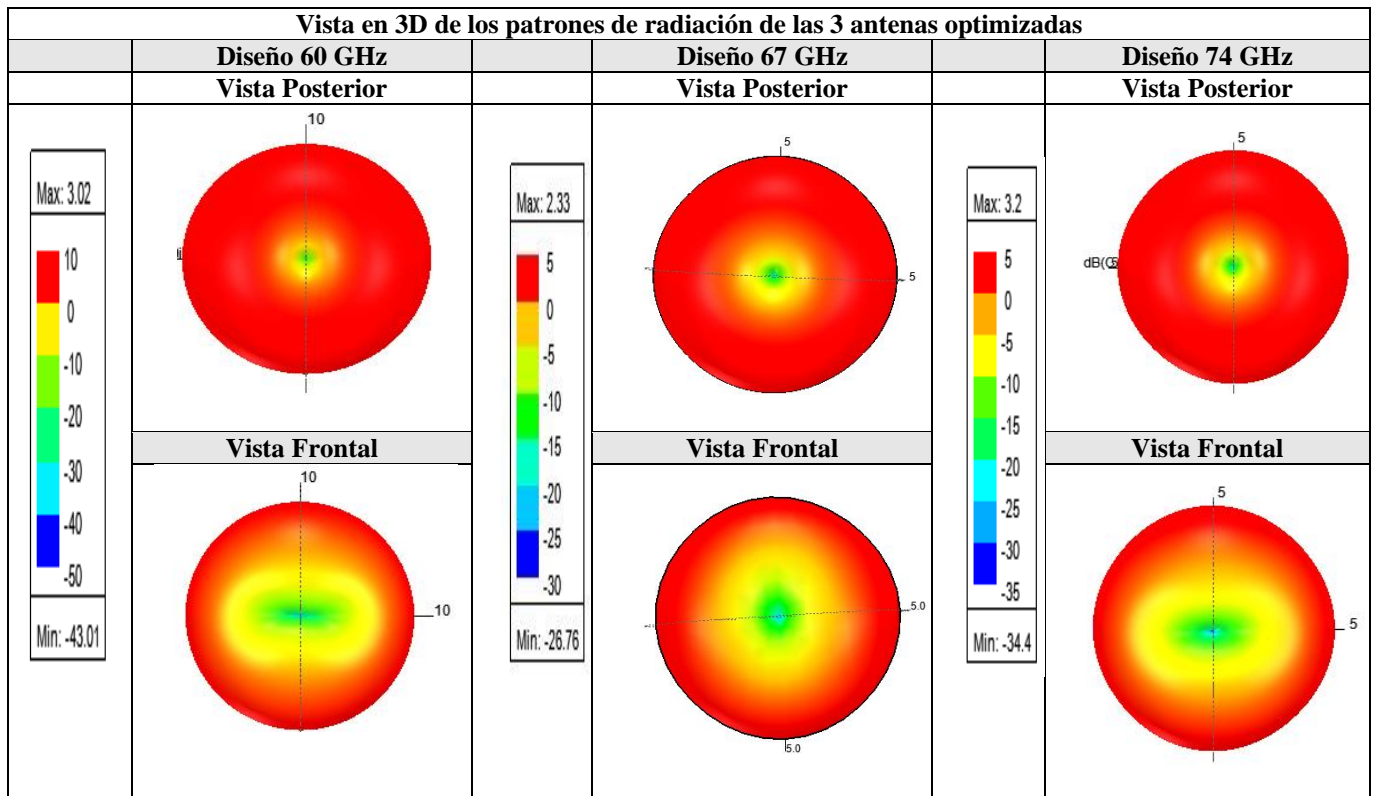


Tabla 5. Vistas de los resultados del patrón de radiación en 3D de los tres modelos de ajuste en frecuencia de 60, 67 y 74 GHz.



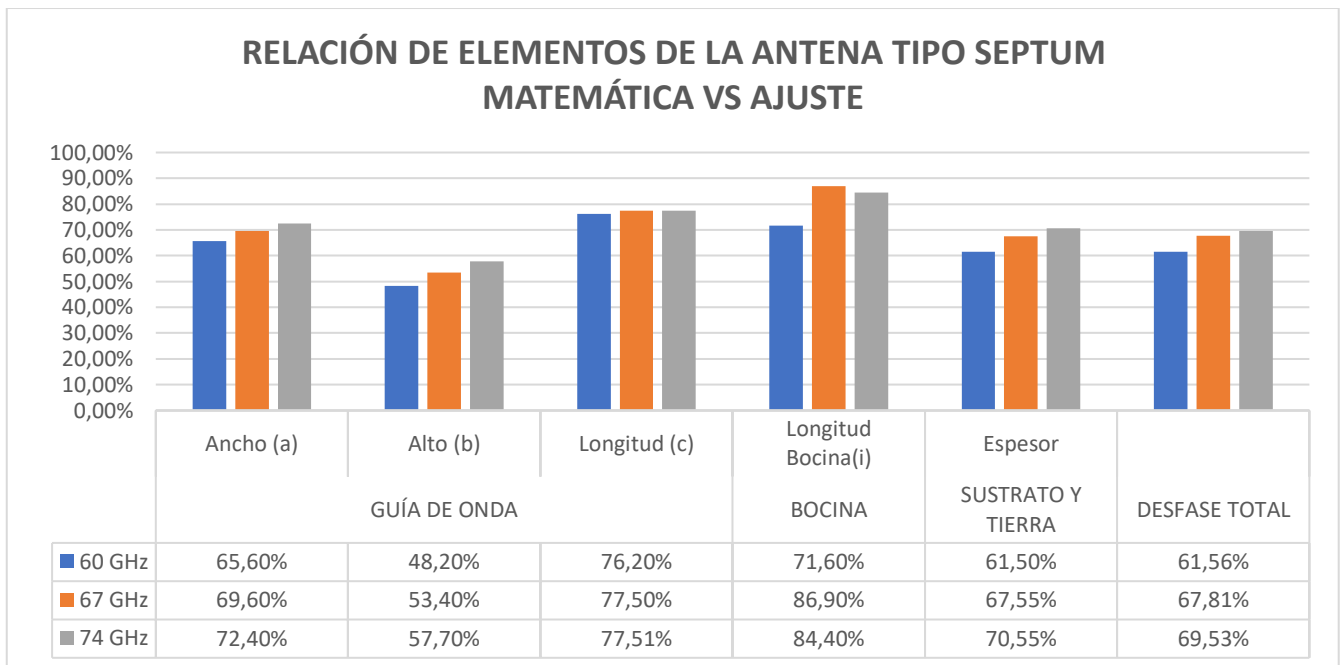


Figura 11: Porcentaje de ajuste de dimensiones para 60, 67 y 74 GHz para una antena tipo Septum.

F. Análisis del desfase de dimensiones matemáticas y ajustadas de los elementos de la antena de las frecuencias de resonancias de 60, 67 y 74GHz.

Como se aprecia en la Figura 11, existe un desfase en cada una de las dimensiones de los elementos que constituyen la antena con un valor mayor al 60% de los cálculos matemáticos con respecto al ajuste que se realizó, para 60 GHz se observa una reducción del 61.56% con respecto al cálculo de sus dimensiones, para el diseño de 67GHz se consigue una reducción del 67.81% y finalmente para el diseño de 74 GHz, se reduce en un 69,53%, siendo esto una cifra bastante significativa al momento de realizar el diseño de las antenas, a medida que la relación de dimensiones de la antena es mayor se pueden conseguir frecuencias más altas esto es debido a que las dimensiones de los valores matemáticos superan el valor de longitud de onda, por lo que existe una relación entre la frecuencia de resonancia y el tamaño de la antena, dado que a cada frecuencia de resonancia le pertenece una longitud de onda y esto significa que, a mayor frecuencia, tenemos menor longitud de onda por lo que el tamaño de la antena disminuye.

G. Campo Eléctrico

Una onda electromagnética está compuesta por campos magnéticos y eléctricos que se propagan en el espacio. La dirección del campo eléctrico emitido por una antena corresponde a la polarización descrita en el tiempo y trazada por la punta del vector del campo eléctrico.[15]

En la Figura 12 se aprecian los campos eléctricos (E) que pasan por la antena tipo Septum generando una intensidad máxima de 2.03×10^5 [V/m] en color rojo de la escala de medición del flujo de campo vectorial eléctrico. Este flujo se genera desde el Lumped port que se encuentra en la parte inferior de la antena interactuando con la tierra, el sustrato y

pasando por la apertura de la guía de onda de la antena que genera un flujo del campo eléctrico en una dirección vertical de color verde produciendo una onda polarizada linealmente al inicio [16], que a medida que se desplaza por la guía de onda rectangular y atraviesa por los polarizadores tipo septum se encargan de dividir dicha onda en dos ondas lineales que tienen la misma magnitud y son perpendiculares entre sí produciendo una polarización circular.[17]

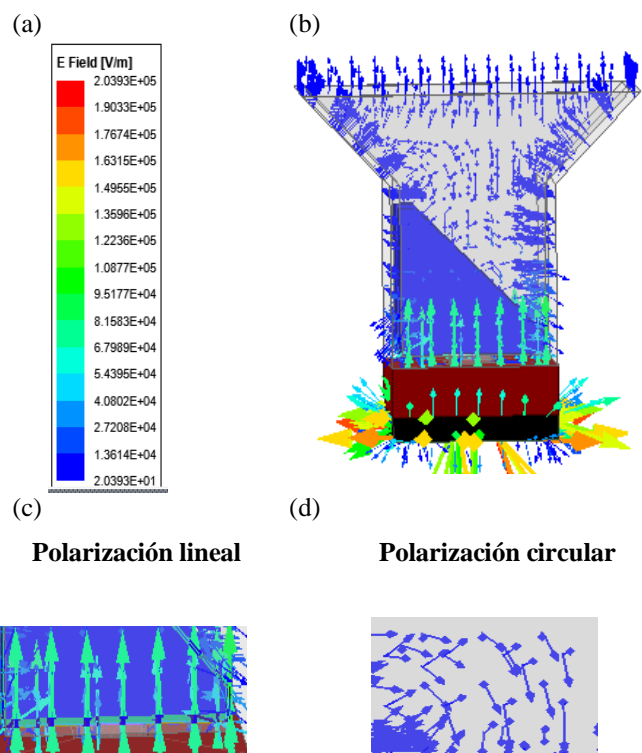


Figura 12 (a) Escala de medición del flujo de campo eléctrico, (b) flujos de Campos Eléctricos en la antena septum, (c) Polarización Lineal y (d) Polarización circular.

IV. CONCLUSIONES

La variación geométrica realizada tanto a la guía de onda rectangular, la bocina en plano E, sustrato y tierra, de los valores de las dimensiones tanto matemáticas y de ajuste, son afectados de forma directa con la frecuencia de resonancia, debido a que la frecuencia es inversamente proporcional al tamaño en este tipo de antenas. El promedio de los tres diseños, se realizó una reducción del 67 % en las dimensiones, donde la guía de onda rectangular es el elemento que presenta un valor significativo en desfase, por lo que presenta un promedio de desfase de 67.4% entre las dimensiones matemáticas con respecto a las dimensiones de ajuste, determinando que al ajustar las medidas matemáticas a valores pequeños se pudo llegar a las frecuencias de resonancia establecidas.

Al implementar los dos polarizadores septum de material dieléctrico en forma paralela dentro de la guía de onda rectangular, produce la adición de más puertos de entrada en modo ortogonal y divide la onda del campo eléctrico en dos ondas lineales que tienen la misma magnitud y un desfase de 90°, obteniendo así una polarización circular que mejora el rendimiento de esta antena cuando no logra cumplir con los parámetros requeridos de $S(1,1)$ y VSWR.

Se observó que los valores logrados por ajuste en los coeficientes de reflexión están bajo los -20 dB. Por lo que, para 60 GHz se obtuvo un coeficiente de reflexión de -23.6488 dB, para 67.02 GHz se obtuvo -20.4843 dB y para 74 GHz se obtuvo -20.5326 dB, evidenciando claramente una mejora de los diseños obtenidos respecto a los matemáticos. Por otro lado, para el VSWR se obtuvieron los siguientes resultados; para 60 GHz se obtuvo 1.1430 dB:1.30, para 67.02 GHz se obtuvo 1.37 dB:1.37 y para 74 GHz se obtuvo 1.63 dB:1.45, cuando la frecuencia de resonancia aumenta las dimensiones disminuyen teniendo como resultado un desfase mayor al 60% tanto en los valores matemáticos respecto a los ajustes en los tres modelos.

REFERENCIAS

[1] F. Carbajo Roig, "Análisis del diseño y simulación de sistemas 5G utilizando SystemVue," p. 51, 2019, [Online]. Available: <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/131627>.

[2] J. González and O. Salamanca, "El camino hacia la tecnología 5g," *Télématique*, vol. 15, no. 1, pp. 27–47, 2016.

[3] C. Shu, S. Hu, Y. Yao, Y. Alfadhl, and X. Chen, "W-band grooved-wall circularly polarised horn antenna," *IET Microwaves, Antennas Propag.*, vol. 14, no. 11, pp. 1171–1174, 2020, doi: 10.1049/iet-map.2020.0100.

[4] O. G. M. Alexander, "Análisis De Parámetros De Dispersión Para Antena Septum En Onda Milimétrica Utilizando Software DeSimulación.," Tesis, pp. 1–10, 2020, [Online]. Available: <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/5081/1/UPS-CYT00109.pdf>.

[5] E. B. Arroyo, "Diseño Y Estudio De Una Antena De Polarización Circular Para La Banda Ka," Tesis, 2017, [Online]. Available: <https://core.ac.uk/download/pdf/154933677.pdf>.

[6] Y. Huang, J. Geng, X. Liang, R. Jin, and X. Bai, "A novel cp horn antenna with switchable polarization by single port feeding," *Int. J. Antennas Propag.*, vol. 2015, pp. 1–10, 2015, doi: 10.1155/2015/562521.

[7] A. L. G. Corrales, "Diseño, Simulación E Implementación De Una Antena Microstrip Yagi Para Operar En La Banda De 5.8 Ghz," 2016.

[8] David M Pozar, *Microwave Engineering*. 2011.

[9] O. B. I. et al Daniyan O.L., Opara F.E., "Horn Antenna Design: The Concepts and Considerations," *Int. J. Emerg. Technol. Adv. Eng.*, vol. 4, no. 5, pp. 706–708, 2014, [Online]. Available: www.ijetae.com.

[10] G. Abhignya, B. Yogita, C. Abhinay, and B. Balaji, "Design, fabrication and testing of pyramidal horn antenna," *Inter. J. Engin. Appl. Sci.*, vol. 2, no. 24, pp. 2394–3661, 2015.

[11] A. Ivan and P. Avila, "Diseño De Un Polarizador En Banda X," 2005.

[12] S. W. Wang, C. H. Chien, C. L. Wang, and R. B. Wu, "A circular polarizer designed with a dielectric septum loading," *IEEE Trans. Microw. Theory Tech.*, vol. 52, no. 7, pp. 1719–1723, 2004, doi: 10.1109/TMTT.2004.830487.

[13] C. A. Balanis, *Antenna Theory: Analysis and Design*, 3rd Edition. 2005.

[14] Z. Hradecky, P. Pechac, M. Mazanek, and R. Galuscak, "Septum horn antennas at 47/48 GHz for high altitude platform stations," *IET Semin. Dig.*, vol. 2007, no. 11961, pp. 1–6, 2007, doi: 10.1049/ic.2007.1582.

[15] A. Tipo, B. Horn, N. Duarte, D. Iturry, A. J. R. Mella, and G. Palacios, "Antena Tipo Bocina – Horn," pp. 1–9, 2018, [Online]. Available: <https://1library.co/document/zpxw2m4q-antena-tipo-bocina.html>.

[16] B. R. PEÑALOSA, "Optimización de un polarizador bimodal en tecnología de guías de onda en bandas X, Ku y Ka para aplicaciones SATCOM," 2016.

[17] Adriana Angélica Briseño Ojeda Gerzon Gómez Bravo, "Polarizador Basado En Superficie Reflectiva Para La Banda U. T.," 2016.