

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

**CARRERA:
INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

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

**TEMA:
DISEÑO DE UNA ANTENA QUASI YAGI PARA LA BANDA DE ONDA
MILIMÉTRICA.**

**AUTORES:
JESSICA PAULINA CHÁVEZ TONATO
EDWIN JAVIER YÁNEZ ALOMOTO**


**TUTOR:
LENIN WLADIMIR AUCATOMA GUAMÁN**

Quito, agosto del 2020

CESIÓN DEL DERECHO DEL AUTOR

Nosotros, Jessica Paulina Chávez Tonato y Edwin Javier Yáñez Alomoto con documentos de identificación N°- 1724486947 , N°- 1724366735 respectivamente, manifestamos nuestra 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: “DISEÑO DE UNA ANTENA QUASI YAGI PARA LA 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 de la entrega del trabajo final en digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.



Jessica Paulina Chávez Tonato

C.I.: 1724486947



Edwin Javier Yáñez Alomoto

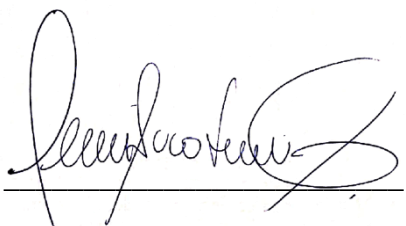
C.I.: 1724366735

Quito, agosto del 2020

DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR

Yo, Lenin Wladimir Aucatoma Guamán, declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el Artículo Académico, “DISEÑO DE UNA ANTENA QUASI YAGI PARA LA BANDA DE ONDA MILIMÉTRICA” realizado por Jessica Paulina Chávez Tonato y Edwin Javier Yánez Alomoto, 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

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Lenin W. Aucatoma G.', written over a horizontal line.

Ing. Lenin W. Aucatoma G.

C.I.: 1717985830

Dedicatoria

El presente artículo va dedicado a Dios, a mis padres Abel, Blanca y hermanos Elvis, Mónica quienes siempre estuvieron apoyándome económicamente y moralmente a lo largo de toda mi carrera profesional.

Edwin Yánez

El artículo está dedicado a mis padres quienes fueron las personas que con su sacrificio y consejos día a día estuvieron apoyándome económicamente y espiritualmente y así no desfallecer en el camino para alcanzar una de tantas metas.

Jessica Chávez

Agradecimiento

Nuestro profundo agradecimiento a Dios por sus bendiciones y fortaleza para seguir adelante.

Nuestro sincero agradecimiento a la Universidad Politécnica Salesiana ya que nos ha formado académicamente y espiritualmente, al Ingeniero Lenin Aucatoma por los consejos y enseñanzas que nos ha brindado quien además de ser nuestro tutor le consideramos un amigo más.

Diseño de una antena Quasi Yagi para la banda de onda milimétrica.

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

Chávez Tonato Jessica
Paulina
Ingeniería Electrónica
Universidad Politécnica
Salesiana
Quito, Ecuador
jchavezt@est.ups.edu.ec

Yáñez Alomoto Edwin
Javier
Ingeniería Electrónica
Universidad Politécnica
Salesiana
Quito, Ecuador
eyaneza1@est.ups.edu.ec

Resumen— El presente artículo muestra el diseño de una antena de onda milimétrica Quasi Yagi la cual se simuló en una frecuencia de 60 GHz y que dentro de un procedimiento experimental amplio se eligieron los 5 mejores diseños que se acercaron a los objetivos planteados, el diseño más destacado presenta valores de coeficiente de reflexión (s_{11}) de -23.88dB, relación de onda estacionaria de voltaje (VSWR) de 1.1119 dB, un patrón de radiación semidirectivo con ganancia de 6.3dB, un ancho de banda de 0.83GHz, así también como la eficiencia de la antena con un valor de 0.97, finalmente se muestra las conclusiones del comportamiento de esta antena.

Abstract— This article shows the design of a Quasi Yagi millimeter wave antenna which was simulated at a frequency of 60 GHz and that within a broad experimental procedure the 5 best designs that were closer to the objectives set out were chosen, the most outstanding design presents values of reflection coefficient (s_{11}) of -23.88dB, voltage standing wave ratio (VSWR) of 1.1119 dB, a semidirective radiation pattern with gain of 6.3dB, a bandwidth of 0.83GHz, as well as the efficiency of the antenna with a value of 0.97, finally the conclusions of the behavior of this antenna are shown.

I. INTRODUCCIÓN

En un futuro la Tecnología 5G tendrá un mayor impacto en la sociedad, es por ello que las antenas de onda milimétrica cumplirán un rol muy importante, ya que las frecuencias menores a 3 GHz están agotándose por el aumento de tráfico móvil especialmente en los teléfonos inteligentes los cuales usan aplicaciones multimedia avanzadas [1]. Incrementar la velocidad de las comunicaciones en la actualidad es el deseo de toda la sociedad por lo que con la tecnología 5G se puede llegar a obtener picos desde 1Gbps hasta 10Gbps, por encima de lo que actualmente ofrece la fibra óptica, lo que permitirá ofrecer contenidos de ultra alta definición o aplicaciones de realidad virtual [2].

Se prevé que el tiempo de respuesta en 5G sea lo más cercano a cero, la robotización en la industria, las operaciones quirúrgicas, los automóviles autónomos que tendrán la capacidad de conectarse a servidores que les permitirán comunicarse entre ellos y así evitar colisiones, manteniendo a salvo la vida del ser humano. [2].

Bajo estas necesidades se presenta un modelo de antena Quasi Yagi que pueda adaptar sus características al trabajo de onda milimétrica (mmw), la misma está relacionada con la antena clásica Yagi-Uda, en ambas se identifica elementos esenciales como: dipolo conductor, dipolo reflector y directores. El dipolo conductor se usa para excitar estructuras de arreglo, el campo radiado es reflejado por el reflector ubicado en la parte posterior, los directores ayudan a mejorar la radiación y centralizarla en dirección longitudinal, esta antena es distinguida por poseer un patrón de radiación longitudinal de elevada ganancia con un moderado ancho de banda [3].

Este tipo de antena posee características esenciales mientras mayor es el número de directores esta tiende a ser más directiva ya que concentran la emisión hacia adelante, a mayor ganancia el ancho de haz disminuye debido a que la misma no proporciona energía, la máxima ganancia que puede alcanzar es de 15 dBi, además muestra la relación frente espalda (F/B) si esta aumenta el funcionamiento de la antena no se ve afectado por interferencias externas, no posee mayor complejidad en su estructura y puede ser diseñada a cualquier frecuencia [4].

Para el diseño de la antena Quasi Yagi se parte de bases conocidas de la antena Yagi Uda, inicialmente se aproxima las medidas de los elementos de esta hasta obtener longitudes que se adapten a la frecuencia requerida con la ayuda del software ANSYS-HFSS, a continuación, se muestra las fórmulas basadas en tablas de la antena Yagi [5].

Para el elemento director:

$$l_{director}=0.45\lambda \quad (1)$$

El elemento reflector es más grande porque mide $0,55\lambda$ (esto es un 10 % más que la mitad de longitud de onda es decir $\lambda/2$).

Para el elemento Reflector:

$$l_{reflector}=0,55\lambda \quad (2)$$

II. DISEÑO DE LA ANTENA

En la figura 1 se muestra la antena Quasi Yagi que trabaja a una frecuencia de 60 GHz, esta antena está formada por un elemento director, un dipolo, una placa como reflector, un sustrato y una placa de tierra, en la alimentación se utiliza una impedancia de 50 ohm la cual está en contacto con todas las placas mencionadas.

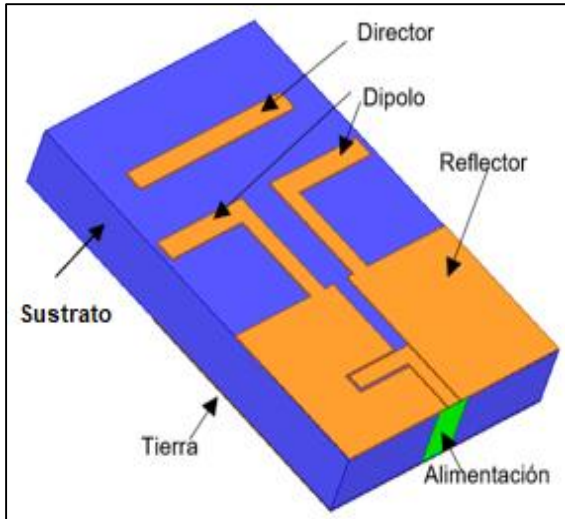


Figura 1. Elementos de la antena Quasi Yagi

En la figura 2 se muestran las dimensiones adoptadas para el modelo propuesto.

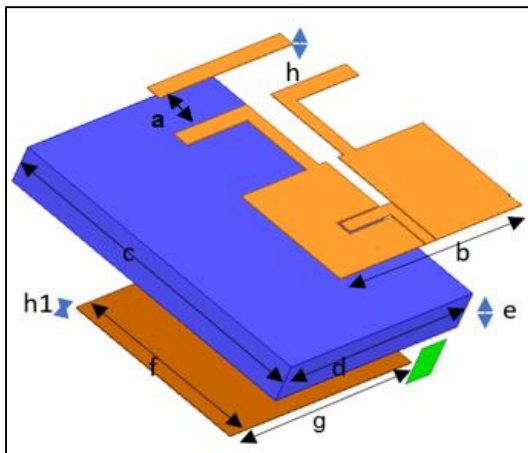


Figura 2. Geometría de la Antena Quasi Yagi

En la figura 3 se muestran a detalle la Geometría de la placa radiante.

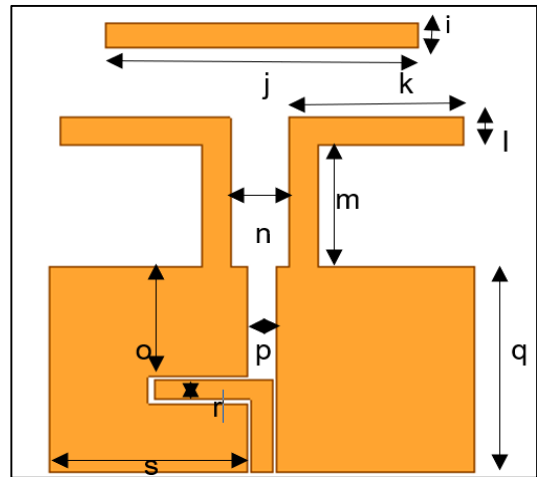


Figura 3. Geometría de la placa radiante.

En la tabla 1 se detalla las medidas y materiales que tiene la antena con los resultados que más se acercan al objetivo de investigación, el elemento radiante y la tierra poseen material de cobre el mismo que contiene alta conductividad sin oxígeno, el sustrato está compuesto por el material Krempel Akaflex PCL de base flexible y semiflexible como laminados revestidos de cobre, está diseñado para fabricar circuitos impresos y se caracteriza por no contener halógenos.[6].

Tabla 1. Medidas de la Antena Quasi Yagi.

Variables	Medidas	Unidades	Material
a	0.51	mm	Cobre
b	3	mm	
c	4	mm	Krempel Akaflex PCL
d	3	mm	
e	0.5	mm	Cobre
f	2.34	mm	
g	3	mm	
h1	0.01	mm	
h	0.01	mm	
i	0.19	mm	
j	2.2	mm	
k	1.23	mm	
l	0.2	mm	
n	0.41	mm	
m	0.9	mm	
o	0.8	mm	
p	0.2	mm	
q	1.5	mm	
r	0.15	mm	
s	1.4	mm	

III. SIMULACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Para el diseño de esta antena se tomaron cinco muestras las mismas que trabajan a una frecuencia cercana de 60 GHz, el cual se simula en un rango de 35 GHz a 70 GHz ya que es una banda que no ha sido explotada en el

mercado y cumplirá con futuras demandas, además en esta ventana de frecuencia se puede observar el comportamiento de la antena y sus efectos multiresonantes.

Al obtener los resultados de simulación se observó que los diferentes materiales y medidas propuestos por el software ANSYS-HFSS afectan el comportamiento de la antena, de los cuales los más eficientes para que no se vea alterado son: tanto el elemento radiante como la tierra tiene un material de cobre, el sustrato de material Krempel Akaflex PCL, para el diseño se partió del principio de longitud de onda mostrado en la ecuación (3) [7].

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (3)$$

En la tabla 2 se muestra las variantes con sus respectivos valores para los diferentes diseños, las medidas que cambian son: (a), (e), (f), (i), (m), (o), (q).

Tabla 2. Medidas y materiales de los diseños estudiados.

DISEÑO 1									
Medidas (mm)									
a	b	C	d	e	f	g	h	h1	i
0,6	3	4	3	0,5	4	3	0,01	0,01	0,2
j	k	L	n	m	o	p	q	r	s
2	1,2	0,2	0,4	1,4	0,6	0,2	1,3	0,15	1,4
MATERIAL					ARLON AD410 (tm)				
DISEÑO 2									
Medidas (mm)									
a	b	C	d	e	f	g	h	h1	i
0,53	3	4	3	0,5	2,34	3	0,01	0,01	0,19
j	k	L	n	m	o	p	q	r	s
2,2	1,23	0,2	0,41	0,9	0,8	0,2	1,5	0,15	1,4
MATERIAL					Krempel Akaflex PCL				
DISEÑO 3									
Medidas (mm)									
a	b	C	d	e	f	g	h	h1	i
0,41	3	4	3	0,5	2,34	3	0,01	0,01	0,19
j	k	L	n	m	o	p	q	r	s
2,2	1,23	0,2	0,41	0,9	0,8	0,2	1,5	0,15	1,4
MATERIAL					Krempel Akaflex PCL				
DISEÑO 4									
Medidas (mm)									
a	b	C	d	e	f	g	h	h1	i
0,51	3	4	3	0,51	2,34	3	0,01	0,01	0,19
j	k	L	n	m	o	p	q	r	s
2,2	1,23	0,2	0,41	0,9	0,8	0,2	1,5	0,15	1,4
MATERIAL					Krempel Akaflex PCL				
DISEÑO 5									
Medidas (mm)									
a	b	C	d	e	f	g	h	h1	i
0,51	3	4	3	0,5	2,34	3	0,01	0,01	0,19
j	k	L	n	m	o	p	q	r	s
2,2	1,23	0,2	0,41	0,9	0,8	0,2	1,5	0,15	1,4
MATERIAL					Krempel Akaflex PCL				

A. Coeficiente de Reflexión S_{11}

En la Figura 4 se muestra de los 5 mejores diseños los parámetros de dispersión con valores menores a -20dB que representa una relación de 1 a 100 la misma indica que no existe mucha pérdida de potencia incidente vs la reflejada lo que es bueno para el trabajo de la antena.

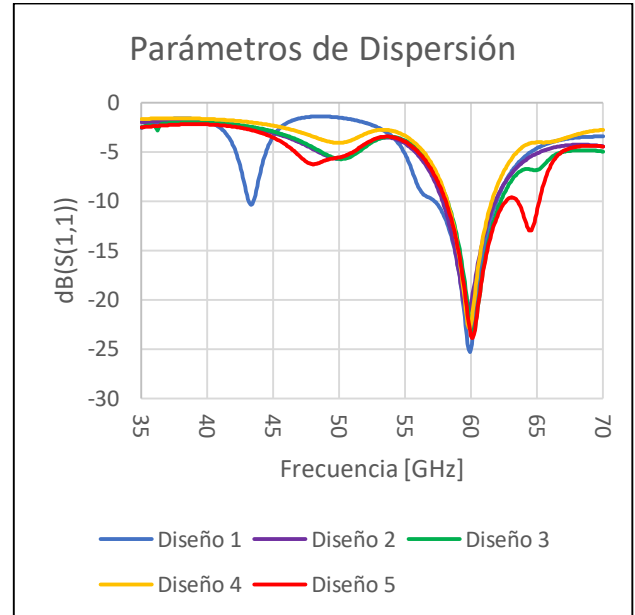


Figura 4. Gráfica del parámetro de dispersión.

En la figura 5 se muestra el diseño 5 y sus parámetros S_{11} con un valor de -23.887 dB y una frecuencia de 60.044 GHz.

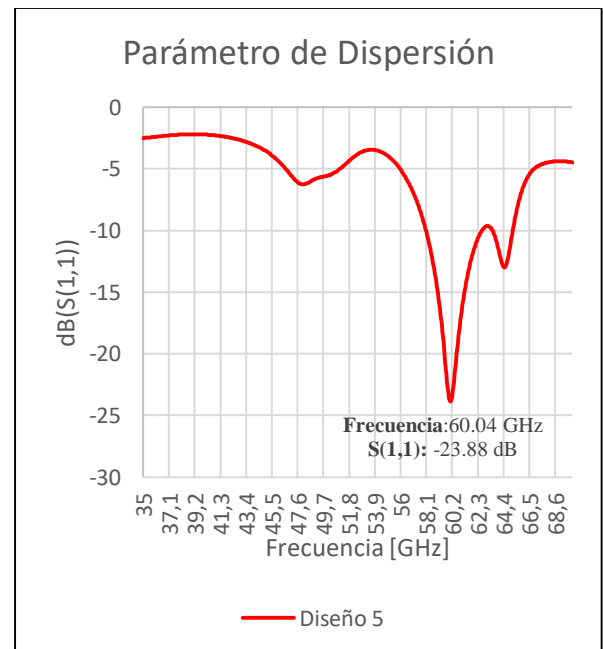


Figura 5. Parámetro de dispersión del diseño 5.

En la Figura 6 se muestra el resultado del ancho de banda para el mejor diseño de la antena Quasi Yagi, las frecuencias de corte son 60.50 GHz y 59.67 GHz para un

S_{11} de -20.88dB que representa la mitad de la potencia máxima el cual se obtiene restando -3dB del coeficiente de reflexión de -23.88 dB que está en la frecuencia de resonancia de 60.044 GHz [8].

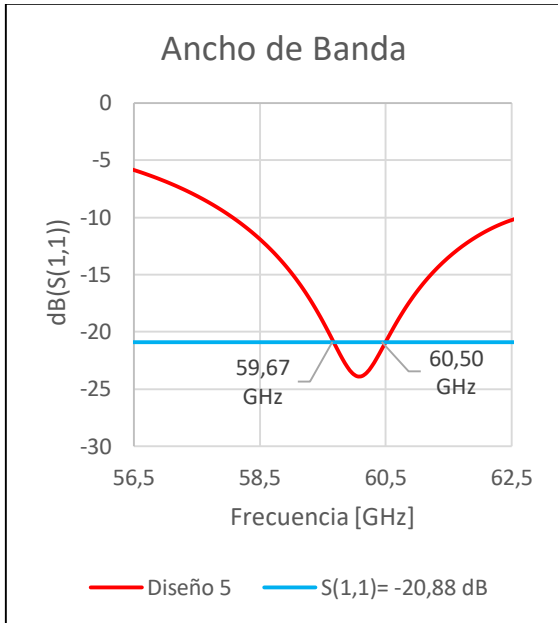


Figura 6. Gráfica del ancho de banda del diseño 5.

La tabla 3 muestra los resultados de la antena Quasi Yagi obtenidos del programa HFSS para un coeficiente de reflexión S_{11} que está en un rango inferior a -21 dB y su ancho de banda oscila entre 0.68 y 1.06 GHz los mismos que están en una frecuencia cercana a 60 GHz.

Tabla 3. Resultados de los 5 diseños de antenas en Frecuencia, S_{11} , y ancho de banda.

Diseño	Frecuencia [GHz]	S (1,1) dB	BW [GHz]
1	59,8889	-25,3241	0,68
2	59,73	-21,321	1,06
3	60,1222	-23,4086	0,81
4	59,8889	-22,9184	0,74
5	60,044	-23,8877	0,83

En la tabla 2, 3 se deduce que el valor de S_{11} es directamente proporcional a la distancia entre el dipolo y el reflector, el coeficiente de reflexión se agudiza al reducir esta distancia debido a que estos están acoplados pero estas pérdidas de retorno mejoran al disminuir el trecho entre el dipolo y el director así la energía se concentra en torno a la frecuencia de 60 GHz [9].

En la figura 7 se muestra el coeficiente de reflexión del mejor diseño, dada la gran distancia entre las frecuencias no se toma en cuenta la frecuencia de resonancia de 64,47 GHz ya que está lejana a la de estudio.

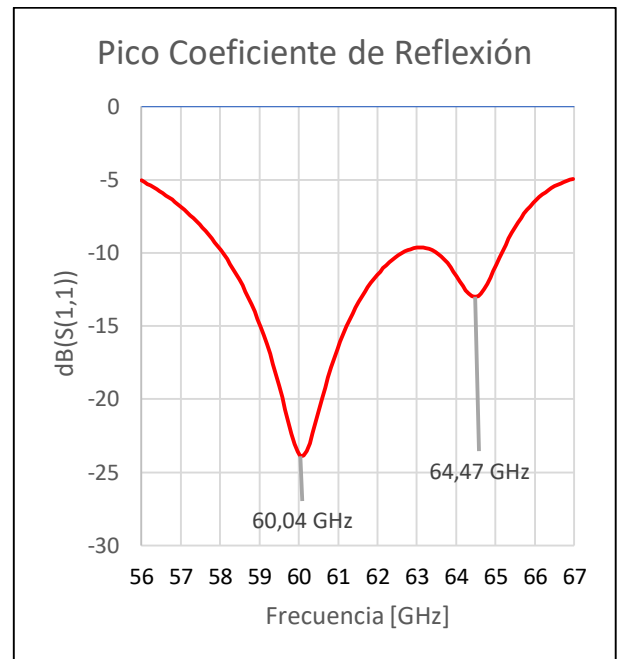


Figura 7. Pico de Coeficiente de reflexión del diseño 5.

B. Relación de onda estacionaria (VSWR)

En la Figura 8 se muestra el Parámetro VSWR de los 5 mejores diseños, estos se encuentran en un rango de 0.942 a 1.4958 dB en una frecuencia cercana a 60 GHz, los mismos que cumplen con valores de onda estacionaria basados en los objetivos de investigación planteados entre 1 y 1.5 dB rango que asegura una radiación de potencia del 90% [10], el valor que más se acerque a 1 es considerado mejor ya que la interferencia es mínima [11].

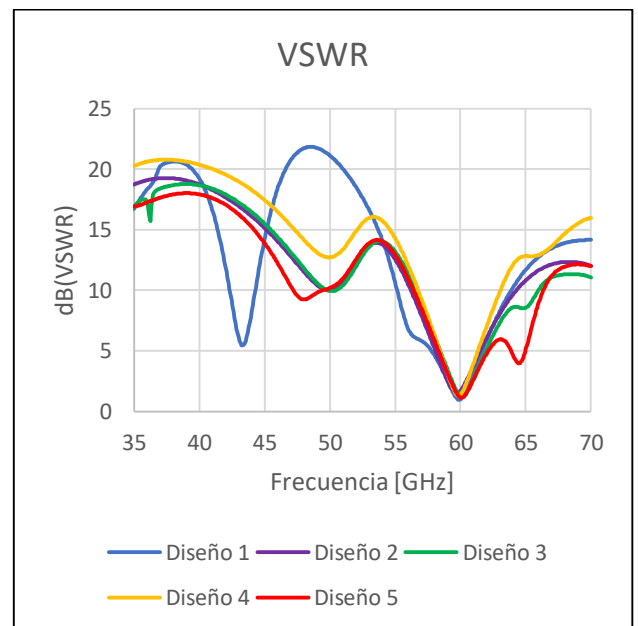


Figura 8. Gráficas de onda estacionaria.

En la Figura 9 se muestra que el diseño 5 cumple con las características requeridas de onda estacionaria y tiene un valor de 1.11 dB a 60.04 GHz.

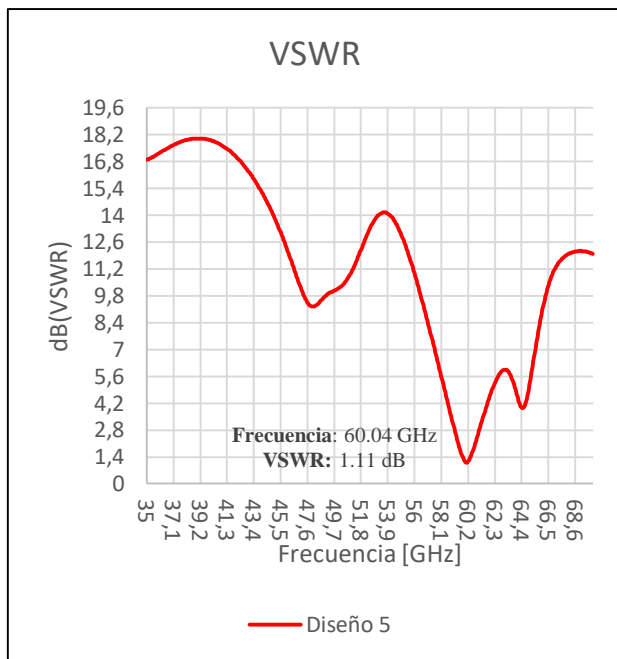


Figura 9. Gráfica de onda estacionaria del diseño 5.

En la Tabla 4 se muestra los valores de VSWR que están en un rango de 0.942 a 1.4958 dB y frecuencia de los cinco diseños analizados. Mientras la frecuencia aumenta el valor de VSWR mejora.

Tabla 4. Resultados de 5 diseños en frecuencia y VSWR

Diseño	Frecuencia [GHz]	VSWR [dB]
1	59,8889	0,942
2	59,73	1,4958
3	60,1222	1,1751
4	59,889	1,2436
5	60,0444	1,1119

La tabla 2 muestra que el diseño con mejores características de coeficiente de reflexión es el diseño 1 con un valor de -25.3241 dB que está por debajo de los -20dB, sin embargo, no cumple con todos parámetros propuestos como se puede observar en la tabla 4, el valor de VSWR se mantiene por debajo de 1 dB el cual teóricamente indica que las impedancias de la línea de transmisión están desadaptadas provocando menor transferencia de energía [12] [13], al igual que la frecuencia tiene un valor de 59.88 GHz y el patrón de radiación se ve afectado tal como se muestra en la figura 11 por tal motivo es el peor diseño de los 5 propuestos.

Observando la tabla 3 se aprecia que hay una mejora en el ancho de banda de 0.68 GHz a 1.06 GHz que representa el 1,13 % y 1.75 % respectivamente, porcentaje en el que la antena funciona en buenas condiciones, este cambio se presenta debido a que disminuye el grosor del sustrato, y por ende la inductancia es más baja existiendo un mejor acoplamiento de impedancias [10], para ello se utilizó la fórmula (4) [14].

$$BW(\%) = 100 * \frac{f2-f1}{f0} \quad (4)$$

Donde $f2$ y $f1$ es la frecuencia de corte y $f0$ es la frecuencia central de trabajo.

$$BW(\%) = 100 * \frac{60.23 - 59.55}{59.88} = 1.13\%$$

$$BW(\%) = 100 * \frac{60.5 - 59.67}{60.04} = 1.38\%$$

En la figura 10 se observa que para un mejor ancho de banda se ha tomado como referencia -15 dB que representa una relación 3/100, con estas frecuencias se tiene una mejora del ancho de banda del 3.66 % mediante la fórmula (4) [14].

$$BW(\%) = 100 * \frac{61.22 - 59.02}{60.044} = 3.66\%$$

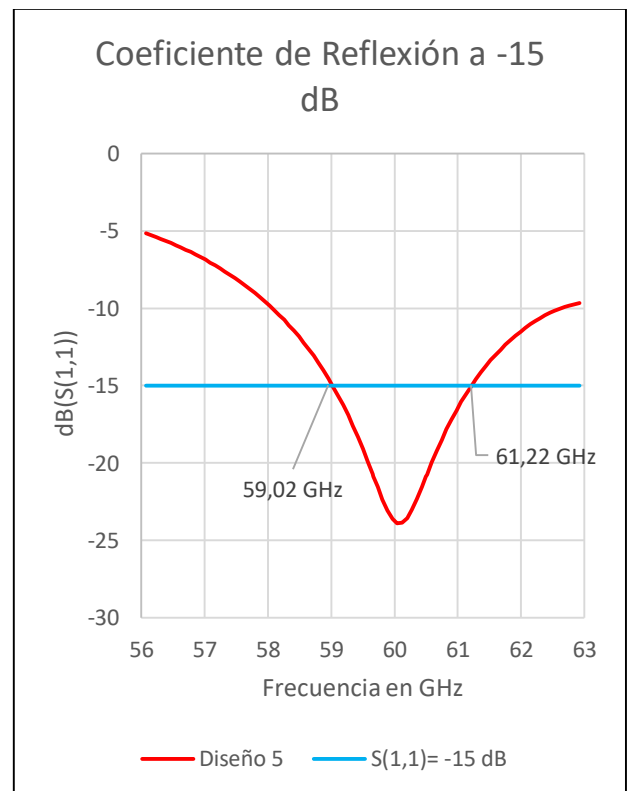


Figura 10. Coeficiente de reflexión a -15 dB del diseño 5

C. Patrón de Radiación

En la figura 11 se muestra el Diagrama de radiación de los 5 mejores diseños.

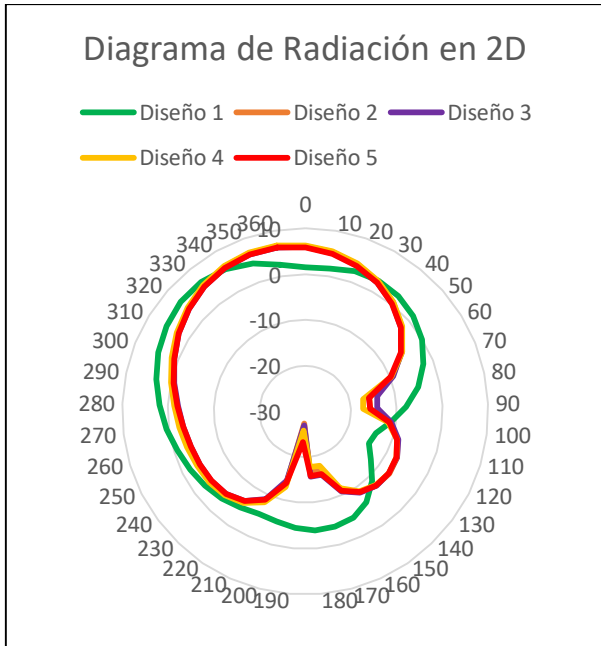


Figura 11. Diagrama de radiación de los 5 mejores diseños.

En la Figura 12 se muestra el diagrama de radiación en 2D del Diseño 5.

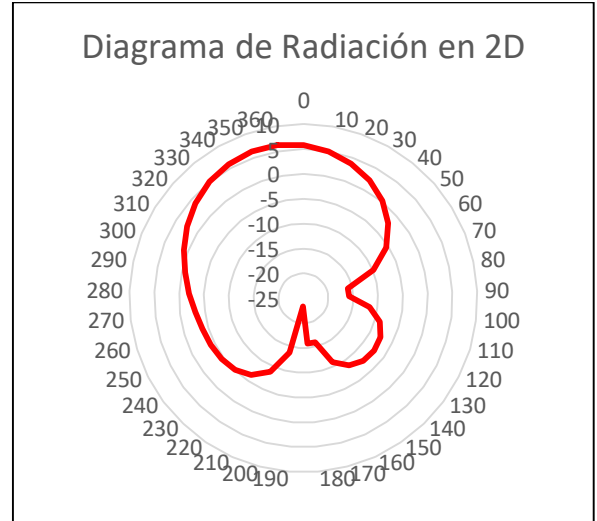


Figura 12. Diagrama de radiación del diseño 5.

C1. El patrón de radiación en 3D

En la figura 13 se muestra el patrón de radiación en 3D de los cinco mejores diseños el cual va evolucionando hasta obtener un patrón mejor.

Diseño 1	Diseño 2	Diseño 3	Diseño 4	Diseño 5
Vista principal	Vista principal	Vista principal	Vista principal	Vista principal
Vista superior	Vista superior	Vista superior	Vista superior	Vista superior
Vista inferior	Vista inferior	Vista inferior	Vista inferior	Vista inferior

Figura 13. Patrón de radiación en 3D de los 5 diseños.

En la tabla 5 se muestra los valores de directividad y ganancia en dB de los 5 mejores diseños.

Tabla 5. Resultados de Directividad y Ganancia del patrón de Radiación.

Diseño	Directividad [dB]	Ganancia Max [dB]
1	6,28	6.18
2	6,69	6.58
3	6,59	6.46
4	6.75	6.63
5	6,63	6.5

Al disminuir el valor de la tierra de ($f=4\text{mm}$) a ($f=2.34\text{mm}$) el patrón de radiación mejora notablemente en su polarización debido a que el campo eléctrico se reduce, lo que provoca que concentre mejor su energía en una dirección produciendo una radiación de tipo End-fire [15].

Debido a que se usa dimensiones milimétricas para el diseño de la antena se utilizó una permitividad de 3.3 correspondiente al material Krempel Akaflex PCL, considerando un rango de 2 a 10 como permitividades elevadas [10], la misma permite que las líneas de campo se concentren más en el sustrato que en el aire y una pérdida tangencial o factor de disipación de 0.0052 el cual indica que no hay mucha energía disipada en forma de calor [16], lo que provoca que la frecuencia se mantenga cercana a 60 GHz, además se tiene que el coeficiente de reflexión depende de la permitividad mas no de las pérdidas tangenciales del material.

El patrón de radiación mostrado en la figura 12 posee dos lóbulos secundarios y un lóbulo principal ensanchado debido a que solo se utilizó un elemento director, este lóbulo se encuentra en una dirección de máxima radiación a Teta (σ)=350° y Phi (Φ)=50°, con un valor de directividad 6.63 dB y ganancia de 6.5 dB, además se puede apreciar un patrón semidirectivo ya que la antena está en una combinación de un dipolo y una antena Yagi.

La eficiencia de la antena es calculada utilizando la fórmula (5) con los valores del mejor diseño de los modelos propuestos mostradas en la tabla 5, dando como resultado una eficiencia 0.97 con relación a la ganancia y directividad, este valor muestra que 97 W/m² de la potencia que ingresa a la antena es radiada y 3 W/m² es la potencia incidente que se pierde en forma de calor [16], esta estructura del diseño de la antena se considera buena para trabajar en la banda de ondas milimétricas [17].

$$\eta = \frac{G}{D} = 0.97 \quad (5)$$

IV. CONCLUSIONES

La frecuencia adecuada a la que debe funcionar la antena es de 60 GHz, los diseños 2,3,4 trabajan lejanas a esta y su valor VSWR está distante con respecto al diseño 5, en cuanto al primero se demostró que es el peor diseño por sus bajas características analizadas anteriormente, el ancho de banda que sobresale en valor y se muestra en el artículo es el del diseño 2 con 1.06 GHz, sin embargo su valor de (S_{11}) es el más bajo, por lo anterior expuesto se tomó el diseño 5 como el mejor ya que su coeficiente de reflexión muestra un valor de -23,8877 dB el mismo que depende de la distancia entre el dipolo y reflector provocando menos pérdidas de retorno, también presenta una frecuencia de resonancia de 60.044 GHz que es la más cercana a la de estudio de todos los diseños, además tanto el coeficiente de reflexión y la frecuencia tienen relación con el dieléctrico (Krempel Akaflex PCL) por su alta permitividad, así mismo posee un valor VSWR de 1.1119 dB el mismo se ve afectado por la distancia entre el dipolo y director, este valor muestra que se produce mayor transferencia de energía, por lo tanto la antena cumple con su actividad.

El comportamiento de la antena Quasi Yagi en ondas milimétricas posee una alta ganancia y directividad a pesar de contener un solo elemento director es suficiente para mantener una directividad de 6.63 dB y ganancia de 6.5 dB, también la antena presenta un buen patrón de radiación por lo que la mayor parte de su energía se concentra en el lóbulo principal, además posee un gran ancho de banda el mismo que oscila alrededor de 0.83 GHz y una eficiencia de 0.97 esto implica que la mayor parte de la potencia se irradia, así la antena cumple con su funcionamiento.

V. REFERENCIAS

- [1] L. Conde, P. Quezada Pablo y M. Labanda, «The New Generation of Mobile Networks: 5G Technology and its application in the e-education context,» pp. 2-4, 2018.
- [2] J. Martín, C. Suero y A. Suso, Sociedad Digital en España, Madrid: Penguin Random House, S.A.U, 2019, pp. 27-29.
- [3] J. Escobar, «OPTIMIZACIÓN DE DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE ANTENA QUASI-YAGI EN MICROCINTA, PARA FRECUENCIAS DE 2.4 GHZ CON APLICACIÓN DE ESTRUCTURAS METAMATERIALES,» pp. 20-20, 2016.

- [4] P. Mora y J. Blanes, «MÉTODO DE DISEÑO DE ANTENAS,» pp. 1-1.
- [5] A. Gordón y R. Llugsi , «Diseño e Implementación de una Antena Microstrip Yagi a 5.8 GHz,» pp. 6-7, 2016.
- [6] AKAFLEX, «KREMPEL,» 2020. [En línea]. Available: <https://www.krempe-group.com/en/solutions/electronic-materials/electronic-materials-for-printed-circuits/?fbclid=IwAR0HDyx5nbNj0btUeInxpK8AhKGXUt4Kxskge8gBjeYL2w-T0AiruesdCQU>.
- [7] Randy Rusell, «VENTANAS AL UNIVERSO,» 2006. [En línea]. Available: https://www.windows2universe.org/physical_science/basic_tools/wavelength.html&lang=sp.
- [8] L. Albero, «DESARROLLO DE UNA GUI PARA LA REPRESENTACIÓN,» pp. 18-18, 2017.
- [9] S. Glenda, F. Hernández, . D. Rodríguez Avila y F. Marante, «1DISEÑO DE UNA ANTENA IMPRESA PARA CUBRIR LA BANDA DE TELEVISIÓN DIGITAL,» 2014.
- [10] K. . G. SANTOS ESTRADA, «ANTENAS PLANARES PARA BEAMFORMING UTILIZANDO,» p. 25, 2013.
- [11] D. Walraven, «Understanding SWR by Example,» pp. 1-3, 2006.
- [12] J. A. Bava, Antenas Reflectoras, Buenos Aires: la Universidad de La Plata, 2013.
- [13] J. Colombo, «Medición de Parámetros de Dispersión “S”,» p. 13, 2012.
- [14] J. Anguera y A. Pérez, TEORIA DE ANTENAS, Madrid: Lluís Vicent, 2008.
- [15] X. Zhao, Y. Huang, X. Xue y G. Wen, «A CPW-fed broadband quasi-Yagi antenna with low cross-polarization,» 2017.
- [16] K. . T. PONCE MENDOZA, «Determinación de propiedades electromagnéticas de materiales sólidos utilizando guías de onda rectangulares en el rango de frecuencias de 8-12 GHz.,» p. 15, 2010.
- [17] M. Ferrando y A. Valero, «Parámetros de antenas,» pp. 11-11.