

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

**CARRERA:
INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

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

**TEMA:
ANÁLISIS DE PARÁMETROS DE DISPERSIÓN DE UNA ANTENA
LOGARÍTMICA PERIÓDICA PARA BANDA DE ONDA MILIMÉTRICA**

**AUTORES:
CRISTIAN JAVIER PAUCAR DIAZ
ALEX EDUARDO TACO NAVARRETE**

**TUTOR:
LENIN WLADIMIR AUCATOMA GUAMÁN**

Quito, enero de 2021

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Nosotros Cristian Javier Paucar Diaz y Alex Eduardo Taco Navarrete, con documentos de identificación N° 172449812-4 y N° 172149121-3 , manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de titulación intitulado: ANÁLISIS DE PARÁMETROS DE DISPERSIÓN DE UNA ANTENA LOGARÍTMICA PERIÓDICA PARA BANDA DE 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, suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.



Nombre: Cristian Javier Paucar Diaz
Cédula: 172449812-4



Nombre: Alex Eduardo Taco Navarrete
Cédula: 172149121-3

Quito, enero de 2021

DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR

Yo declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el Artículo Académico, ANÁLISIS DE PARÁMETROS DE DISPERSIÓN DE UNA ANTENA LOGARÍTMICA PERIÓDICA PARA BANDA DE ONDA MILIMÉTRICA realizado por Cristian Javier Paucar Diaz y Alex Eduardo Taco Navarrete, 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 2021



LENIN WLADIMIR AUCATOMA GUAMAN

Cédula de identidad: 171798583-0

DEDICATORIA

El presente artículo investigativo se lo dedico a mi familia, en especial a mis padres Andrés Paucar y María Diaz, que son un apoyo incondicional en mi vida, que, con su esfuerzo y sabiduría, me han guiado durante mi desarrollo académico. A mis hermanos Katheryn y Kevin que me brindan su cariño, y me motivan a superarme cada día para ser un buen ejemplo hacia ellos.

-Cristian

El presente trabajo de investigación, está dedicado con mucho cariño a mi padre Jorge Taco y a mi madre Martha Navarrete quienes han sido un pilar fundamental en mi vida y en mi etapa académica, ya que, con su ejemplo de trabajo duro, perseverancia y humildad me han guiado y dado motivos para alcanzar una de mis metas propuestas; también dedico a mi hermana Helen y mis hermanos Danilo y Mateo para que sigan con su trayectoria académica y se realicen profesionalmente y que sepan que la mejor herencia que pueden recibir es la educación, ya que nada ni nadie les puede quitar lo aprendido.

-Alex

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer a Dios por la vida, salud y por darme una familia maravillosa; a mis padres por brindarme el apoyo incondicional, sus consejos y cariño; a mis hermanos por permanecer siempre a mi lado en los buenos y malos momentos; a mis amigos en especial a Alex Taco por hacer de la universidad mi segundo hogar; por último, quiero agradecer a la Universidad Politécnica Salesiana y docentes por brindarme sus conocimientos y consejos para formarme como un gran profesional.

-Cristian

Sin menospreciar a nadie, principalmente quiero agradecer a Dios y a la vida por ponerme obstáculos en mí caminar y enseñarme que la única equivocación que existe es el no intentar nada nuevo; a mis padres y familiares que siempre me dieron ánimo para terminar una de mis metas propuestas en mi vida; a todos mis amigos que eh conocido en la universidad y en lo largo de mi vida, en especial a Cristian Paucar por convertirse en un gran amigo en esta trayectoria universitaria, a la Universidad Politécnica Salesiana por permitirme conocer maestros que más que una autoridad se convirtieron en amigos, brindándonos sus conocimientos y consejos para afrontar lo que se viene en el campo laboral, al Ingeniero Lenin Aucatoma por sus palabras de aliento para seguir adelante con mi trabajo y estudios, que siempre un sacrificio está acompañado de una bendecida recompensa.

-Alex

Análisis de parámetros de dispersión de una antena logarítmica periódica para banda de onda milimétrica

Paucar Diaz Cristian Javier	Taco Navarrete Alex Eduardo	Aucatoma Guamán Lenin Wladimir
Ingeniería Electrónica	Ingeniería Electrónica	Ingeniería Electrónica
Universidad Politécnica Salesiana	Universidad Politécnica Salesiana	Docente Universidad Politécnica Salesiana
Quito, Ecuador	Quito, Ecuador	Quito, Ecuador
cpaucard@est.ups.edu.ec	atacon@est.ups.edu.ec	laucatoma@ups.edu.ec

Resumen

El presente artículo describe el diseño y comportamiento de una antena log periódica dipole array (LPDA) que trabaja en rango de ondas milimétricas, a una frecuencia de 60 GHz; se analiza los distintos parámetros de dispersión como el coeficiente de reflexión que tienen un límite de -20 dB, VSWR en un rango de 1 a 1.5 dB y diagrama de radiación; para eso se utiliza el software ANSYS HFSS, el cual permite utilizar variedad de materiales y formas, para simular la estructura de la antena (sustratos y dipolos), además de distintas herramientas para el análisis de los parámetros de dispersión antes mencionados, esto con la finalidad de encontrar el diseño más relevante; la mejor frecuencia de operación encontrada es 60.0125 GHz, con coeficiente de reflexión $S_{11}=-22.8063$ dB, VSWR=1.2598 dB y un diagrama de radiación directivo con $G=8.30$ dB.

Palabras Claves- Log periodic dipole array, VSWR, Coeficiente de reflexión, Patrón de radiación.

Abstract

This article describes the design and behavior of a log periodic dipole array antenna (LPDA) that works in the millimeter wave range, at a frequency of 60 GHz; the different dispersion parameters are analyzed, such as the reflection coefficient that have a limit of -20 dB, VSWR in a range of 1 to 1.5 dB and radiation pattern; For this, the ANSYS HFSS software is used, which allows the use of a variety of materials and shapes, to simulate the antenna structure (substrates and dipoles), as well as different tools for the analysis of the aforementioned dispersion parameters, this in order to find the most relevant design, ; the best operating frequency found is 60.0125 GHz, with reflection $S_{11}=-22.8063$ dB, VSWR=1.2598 dB and a directive radiation pattern with $G=8.30$ dB.

Keywords- Log periodic dipole array, VSWR, Reflection coefficient, Radiation pattern.

I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad debido a la alta demanda de usuarios, existe una gran congestión de espectro de radio frecuencia por debajo de 6 GHz [1], para lo cual se han considerado las bandas de frecuencia de ondas milimétricas cuyo rango va de 30-300 GHz para futuras redes inalámbricas, permitiendo al usuario experimentar velocidades de transmisión de datos de varios gigabits por segundo [2].

Por consiguiente, es indispensable el desarrollo de antenas que trabajen con frecuencias en banda de onda milimétrica [3], pero debido a sus reducidos tamaños la solución es implementar el diseño de antenas tipo impreso, cuyas características son la alta eficiencia, bajo coste y su facilidad de integración [3].

La antena propuesta en este artículo es una antena Log Periodic Dipole Array (LPDA) con una frecuencia de resonancia de 60 GHz, la estructura de esta antena consiste en el conjunto de varios dipolos de distintas longitudes, alimentada en el dipolo de menor longitud, cuya conexión entre dipolos se realiza de manera cruzada con el dipolo adyacente, formando un zigzag [4].

En frecuencias (VHF - UHF) las antenas LPDA se construyen con tubos metálicos de bajo costo [6], sin embargo, en altas frecuencias, el tamaño de la antena disminuye al rango de los milímetros;

debido a su reducido tamaño se optó por el diseño en placas de circuito impreso.

Por consiguiente, la antena se diseña sobre un sustrato Duroid 5880, debido a su constante dieléctrica baja es adecuado para trabajar en aplicaciones de alta frecuencia [7].

II. DISEÑO DE LA ANTENA

El diseño se realiza en un rango de frecuencia de (55-65) GHz, puesto que este rango se ajusta a la banda de 60GHz, el dipolo más largo resuena a una frecuencia mínima y el dipolo más corto a una frecuencia máxima [8].

Es necesario tomar en cuenta dos parámetros importantes. El factor de escala $\tau = 0.85$, que se obtiene utilizando (1) [9]:

$$\tau = \frac{f_{min}}{f_{max}} \quad (1)$$

con este valor de τ se encuentra el factor de espaciamiento $\sigma = 0.13$ y la directividad de 7.5 dB, el cual se obtiene del grafico en Balanis C. (2005) [10]. EL parámetro τ define el número de dipolos que tendrá la antena, mientras mayor sea el valor de τ aumenta el número de dipolos, para valores de τ menores a 0.8 puede producir efectos que disminuyan el desempeño de la antena; el parámetro σ define el tamaño de la antena, es decir mientras mayor sea el valor de σ el tamaño del mástil aumenta, para valores de

σ superiores a los valores óptimos, puede producir lóbulos laterales [11].

Los distintos parámetros de diseño a encontrar se muestran en la Figura 1, para ello se utiliza las fórmulas propuestas en [10] y [12].

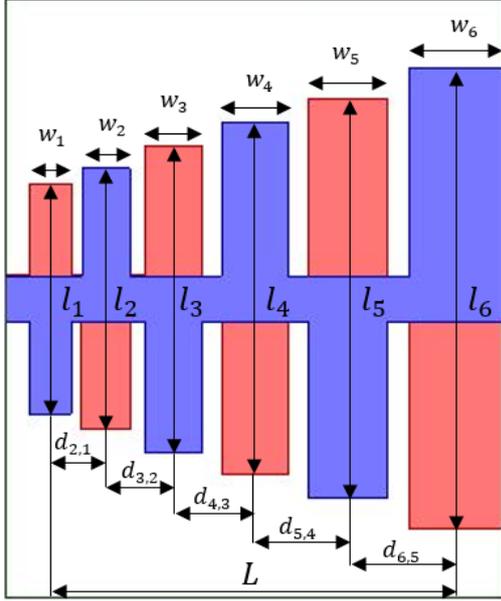


Figura 1. Parámetros de diseño para LDPA.

Cálculo de ángulo de apertura, utilizando (2)

$$\alpha = 16.09^\circ$$

$$\alpha = \tan^{-1} \left(\frac{1-\tau}{4\sigma} \right) \quad (2)$$

Ancho de banda de la región activa, utilizando (3) $B_{ar} = 1.7$ dB

$$B_{ar} = 1.1 + 7.7(1 - \tau)^2 \cot(\alpha) \quad (3)$$

Ancho de banda deseado, utilizando (4) $B = 1.181$ dB

$$B = \frac{F_{max}}{F_{min}} \quad (4)$$

Ancho de banda para el diseño, utilizando

$$(5) B_s = 2 \text{ dB}$$

$$B_s = B_{ar} * B \quad (5)$$

Número de dipolos, utilizando (6) $N = 5.27 \approx 6$ dipolos

$$N = 1 + \frac{\ln(B_s)}{\ln\left(\frac{1}{\tau}\right)} \quad (6)$$

Longitud de onda máxima, utilizando (7)

$$\lambda_{max} = 5.45 \text{ mm.}$$

$$\lambda_{max} = \frac{c}{F_{min}} \quad (7)$$

Donde:

$$c: \text{Velocidad de la luz } 3 * 10^8 \text{ m/s}^2$$

Distancia entre dipolo más largo y dipolo más corto (longitud de mástil), utilizando (8)

$$L = 2.36 \text{ mm.}$$

$$L = \frac{\lambda_{max}}{4} \left(1 - \frac{1}{B_s} \right) \cot(\alpha) \quad (8)$$

Longitud de dipolo más largo, utilizando (9)

$$l_{max} = 2.7 \text{ mm.}$$

$$l_{max} = \frac{\lambda_{max}}{2} \quad (9)$$

Partiendo de la longitud del dipolo más largo se determina la longitud del resto de dipolos utilizando (10):

$$\frac{1}{\tau} = \frac{l_{n+1}}{l_n} \quad (10)$$

En la Tabla 1 se muestra los valores obtenidos para los distintos dipolos.

Tabla 1. Longitud de dipolos calculado.

N° de Dipolo l_n	Longitud [mm]
l_6	2.7
l_5	2.3
l_4	2.0
l_3	1.7
l_2	1.4
l_1	1.2

El espaciado entre dipolos se calcula utilizando (11):

$$d_{n+1;n} = 2\sigma l_{n+1} \quad (11)$$

En la Tabla 2 se muestra la distancia entre dipolos.

Tabla 2. Espacios entre dipolos calculado.

Separación entre dipolos $d_{n+1,n}$	Distancia [mm]
$d_{6,5}$	0.70
$d_{5,4}$	0.60
$d_{4,3}$	0.52
$d_{3,2}$	0.44
$d_{2,1}$	0.36

El ancho de los dipolos se calcula partiendo del ancho del dipolo más largo w_6 , utilizando el software libre Tx-Line, el cual, dependiendo de las propiedades físicas del material del sustrato y características eléctricas, nos permite crear líneas de transmisión para diseños de alta frecuencia [13].

Las características que se ingresan en el software son: permitividad eléctrica $\epsilon_r =$

2.2, pérdida tangencial $\delta = 0.0009$, grosor de sustrato $H = 0.2$ mm, grosor de línea de transmisión $T = 0.1$ mm, frecuencia de operación 60 GHz e impedancia 50Ω , se obtiene un ancho de dipolo $w_6 = 0.6$ mm.

Con este valor, se determina el ancho de los demás dipolos utilizando (12):

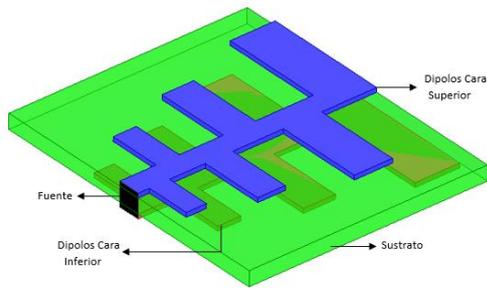
$$\frac{1}{\tau} = \frac{w_{n+1}}{w_n} \quad (12)$$

En la Tabla 3 se muestran los valores del ancho de los dipolos.

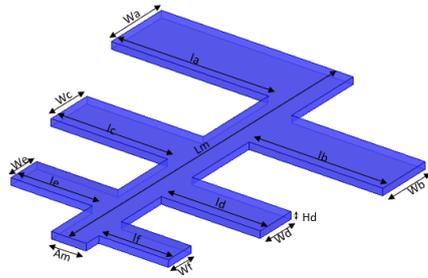
Tabla 3. Ancho de los dipolos calculado.

N° Dipolo w_n	Ancho [mm]
w_6	0.60
w_5	0.51
w_4	0.43
w_3	0.37
w_2	0.31
w_1	0.27

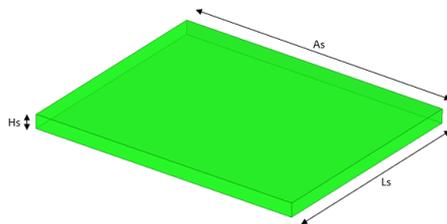
La antena está diseñada para operar a una frecuencia de 60 GHz, la misma está compuesta por un sustrato de Duroid 5880 con permitividad dieléctrica $\epsilon_r = 2.2$ y pérdida tangencial $\delta = 0.0009$, sobre la cual se encuentran impresos los dipolos en las dos caras del sustrato, debido a que esta configuración permite la correcta alimentación en fase a todos los dipolos que conforman la antena [8], en la Figura 2 se muestra las dimensiones de la antena.



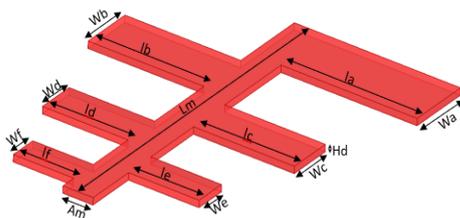
(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 2. (a) Estructura de la antena LPDA; (b) Acotaciones de dipolos impresos en la parte superior del sustrato; (c) Acotaciones des sustrato; (d) Acotaciones de dipolos impresos en la parte inferior del sustrato.

Tabla 4. Dimensiones de la antena LPDA

Nombre	Parámetro	Dimensión [mm]
Largo de dipolos superior / inferior	la	1.35
	lb	1.15
	lc	1.00
	ld	0.85
	le	0.70
	lf	0.60
Ancho de dipolos superior / inferior	Wa	0.60
	Wb	0.51
	Wc	0.43
	Wd	0.37
	We	0.31
	Wf	0.27
Largo mástil	Lm	3.20
Ancho mástil	Am	0.3
Grosor de dipolos / mástil	Hd	0.0345
	Hs	0.2
Ancho sustrato	As	3.12
Largo sustrato	Ls	3.20
Grosor sustrato	Hs	0.2

III. SIMULACIÓN Y RESULTADOS

La antena Log Periodic Dipole Array se simula utilizando el software ANSYS HFSS utilizando una banda de simulación de 30 a 90 GHz, para lo cual se realiza 5 simulaciones, variando distintos parámetros de la antena: material conductor (Cobre, Oro, Hierro, Aluminio y Plata), grosor de

dipolos Hd (0.0345 – 0.15) mm y grosor de sustrato Hs (0.2 – 0.35) mm.

En estas simulaciones se obtienen valores aceptables de diferentes parámetros que se analizaran en esta sección, las cuales son: Coeficiente de reflexión S_{11} con un valor mínimo de -20 [dB]; Relación de onda estacionaria VSWR con un rango de valores de (1-1,5) [dB]; Diagrama de radiación.

Tabla 5. Dimensiones y materiales del diseño 1.

Diseño 1			
Nombre	Parámetro	Dimensión [mm]	Material
Largo de dipolos superior / inferior	la	1.35	Cobre
	lb	1.15	
	lc	1.00	
	ld	0.85	
	le	0.70	
	lf	0.60	
Ancho de dipolos superior / inferior	Wa	0.60	
	Wb	0.51	
	Wc	0.43	
	Wd	0.37	
	We	0.31	
	Wf	0.27	
Largo mástil	Lm	3.20	
Ancho mástil	Am	0.30	
Grosor de dipolos / mástil	Hd	0.0345	
Ancho sustrato	As	3.12	Duroid 8580
Largo sustrato	Ls	3.20	
Grosor sustrato	Hs	0.20	

Tabla 6. Dimensiones y materiales del diseño 2.

Diseño 2			
Nombre	Parámetro	Dimensión [mm]	Material
Largo de dipolos superior / inferior	la	1.35	Oro
	lb	1.15	
	lc	1.00	
	ld	0.85	
	le	0.70	
	lf	0.60	
Ancho de dipolos superior / inferior	Wa	0.60	
	Wb	0.51	
	Wc	0.43	
	Wd	0.37	
	We	0.31	
	Wf	0.27	
Largo mástil	Lm	3.20	
Ancho mástil	Am	0.30	
Grosor de dipolos / mástil	Hd	0.06	
Ancho sustrato	As	3.90	Duroid 8580
Largo sustrato	Ls	3.20	
Grosor sustrato	Hs	0.20	

Tabla 7. Dimensiones y materiales del diseño 3.

Diseño 3			
Nombre	Parámetro	Dimensión [mm]	Material
Largo de dipolos superior / inferior	la	1.35	Hierro
	lb	1.15	
	lc	1.00	
	ld	0.85	
	le	0.70	
	lf	0.60	
Ancho de dipolos superior / inferior	Wa	0.60	
	Wb	0.51	
	Wc	0.43	
	Wd	0.37	
	We	0.31	
	Wf	0.27	
Largo mástil	Lm	3.20	
Ancho mástil	Am	0.30	
Grosor de dipolos / mástil	Hd	0.15	
Ancho sustrato	As	3.60	Duroid 8580
Largo sustrato	Ls	3.20	
Grosor sustrato	Hs	0.35	

Tabla 8. Dimensiones y materiales del diseño 4.

Diseño 4			
Nombre	Parámetro	Dimensión [mm]	Material
Largo de dipolos superior / inferior	la	1.35	Aluminio
	lb	1.15	
	lc	1.00	
	ld	0.85	
	le	0.70	
	lf	0.60	
Ancho de dipolos superior / inferior	Wa	0.60	
	Wb	0.51	
	Wc	0.43	
	Wd	0.37	
	We	0.31	
	Wf	0.27	
Largo mástil	Lm	3.20	
Ancho mástil	Am	0.30	
Grosor de dipolos / mástil	Hd	0.08	
Ancho sustrato	As	3.90	Duroid 8580
Largo sustrato	Ls	3.20	
Grosor sustrato	Hs	0.30	

Tabla 9. Dimensiones y materiales del diseño 5.

Diseño 5			
Nombre	Parámetro	Dimensión [mm]	Material
Largo de dipolos superior / inferior	la	1.35	Plata
	lb	1.15	
	lc	1.00	
	ld	0.85	
	le	0.70	
	lf	0.60	
Ancho de dipolos superior / inferior	Wa	0.60	
	Wb	0.51	
	Wc	0.43	
	Wd	0.37	
	We	0.31	
	Wf	0.27	
Largo mástil	Lm	3.20	
Ancho mástil	Am	0.30	
Grosor de dipolos / mástil	Hd	0.06	
Ancho sustrato	As	3.90	Duroid 8580
Largo sustrato	Ls	3.20	
Grosor sustrato	Hs	0.24	

A. Coeficiente de reflexión S_{11}

El coeficiente de reflexión es la eficacia con la que la línea de transmisión entrega potencia a la antena [14]; los valores obtenidos comprenden un rango de -23.9496 a -22.8063 dB, los valores de este rango son aceptables, debido a que se busca un valor

mínimo de -20dB en coeficiente de reflexión es decir una relación de potencia de 1/100.

La figura 3 presenta los coeficientes de reflexión (S_{11}) de las 5 simulaciones en relación con la frecuencia de operación.

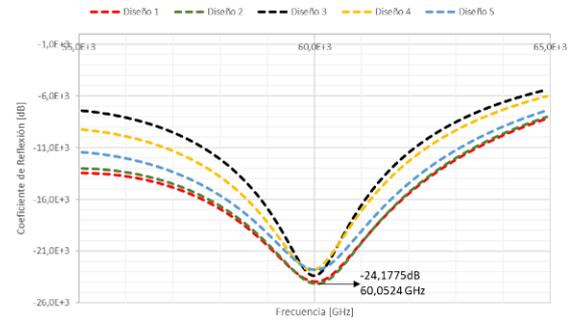


Figura 3. Valores obtenidos de coeficiente de reflexión.

La Tabla 10 muestra los valores del coeficiente de reflexión, frecuencia de operación y ancho de banda; para el ancho de banda se toma 3dB por encima del punto más bajo de S_{11} .

El valor de S_{11} más eficaz que se obtuvo es de -24.1775 a una frecuencia de 60.0524 GHz del diseño 2.

Tabla 10. Valores de coeficiente de reflexión S_{11} .

Diseño	Frecuencia [GHz]	S_{11} [dB]	Ancho de Banda [MHz]
1	60.0333	-23.9496	1741.0
2	60.0524	-24.1775	1642.8
3	59.9990	-23.4507	1016.9
4	59.9510	-22.7983	1321.2
5	60.0125	-22.8063	1741.8

B. Relación de onda estacionaria de voltaje VSWR

La relación de onda estacionaria de voltaje indica la potencia reflejada desde la antena, este parámetro muestra el estado de acople entre antena y cable [15], en la figura 4 se observa los valores de VSWR obtenidos de los 5 diseños.

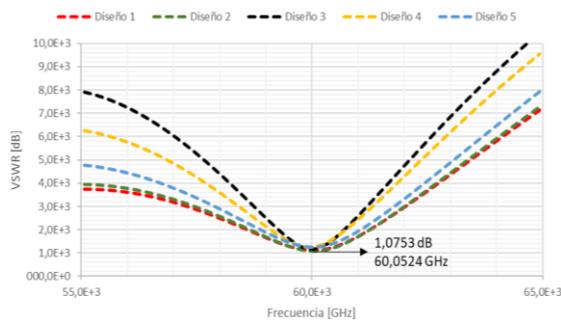


Figura 4. Valores obtenidos de VSWR.

El rango teórico de valores permitidos para este parámetro va de 1 a 2 dB, siendo 1 un acople perfecto sin pérdidas y 1.5 un acople aceptable con pérdidas pequeñas, el valor más óptimo obtenido es 1.0753 del diseño 2. En la tabla 11 se muestra una comparativa de los valores obtenidos junto a su frecuencia de operación.

Tabla 11. Valores de VSWR con su frecuencia de operación.

Diseño	Frecuencia [GHz]	VSWR [dB]
1	60.0333	1.1039
2	60.0524	1.0753
3	59.9990	1.1762
4	59.9510	1.2609
5	60.0125	1.2598

C. Diagrama de Radiación.

El diagrama de radiación representa la manera en que el campo eléctrico se propaga a una distancia determinada [4]; la figura 5 muestra los diagramas de radiación, con un lóbulo principal y lóbulo posterior pequeño, no existe lóbulos laterales y su ancho de haz de 102° al restar -3 dB del punto máximo del lóbulo principal.

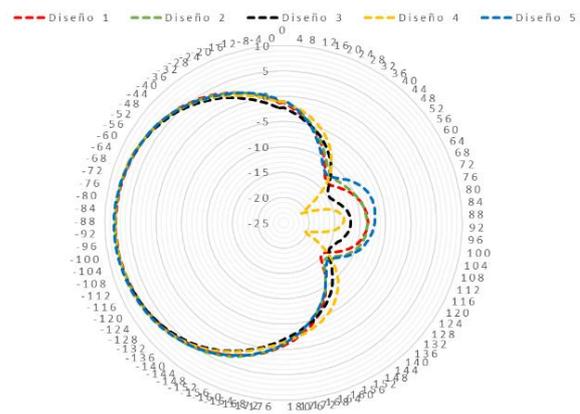


Figura 5. Diagramas de radiación de los 5 diseños.

En la tabla 12 se observa la ganancia máxima de los diseños, las mismas que están aproximadamente en un rango de 8 dB como describe en [4].

Tabla 12. Valores obtenidos de ganancia.

Diseño	Máxima Ganancia [dB]
1	7.90
2	8.00
3	8.11
4	8.10
5	8.30

En la figura 6 se observa el diagrama de radiación en 3D, se muestra una sola grafica

debido a que los diagramas de radiación no presentan gran diferencia en su forma.

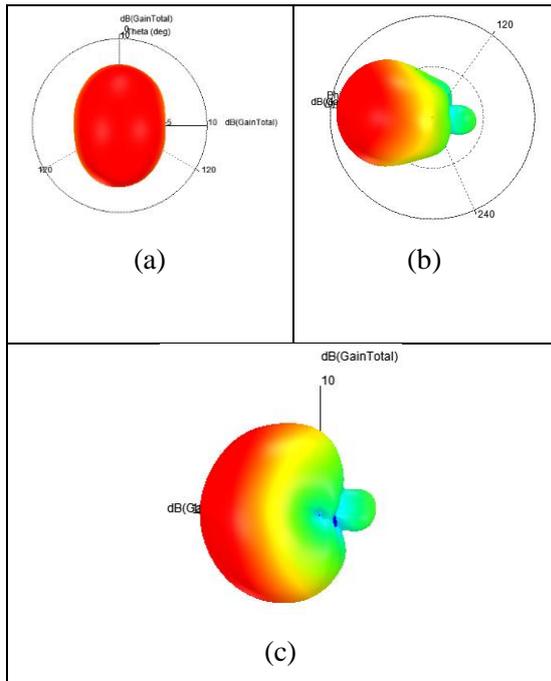


Figura 6. (a) Vista frontal, (b) Vista Superior, (c) Vista lateral.

IV. ANÁLISIS

Los diseños presentados en este documento se realizan sobre un sustrato de material Duroid 5880, este material posee propiedades eléctricas uniformes en un rango amplio de frecuencias [7]; por otra parte, los dipolos fueron diseñados con 5 materiales diferentes: Cobre, Oro, Hierro, Aluminio, Plata.

La frecuencia de operación deseada es de 60 GHz, para lo cual se modifica gradualmente el grosor de los dipolos H_d y el grosor H_s del sustrato, hasta acercarnos a la frecuencia de

operación deseada. El coeficiente de reflexión varía de manera directa en relación al grosor del sustrato, esto se debe a las ondas superficiales que se encuentran dentro del mismo, estas ondas van decayendo exponencialmente bajo la interfaz, hasta llegar al plano de tierra que la reflejan, [16]; este parámetro se comporta de manera lineal en los diseños 2,1,5,4, al aumentar el grosor del sustrato H_s , aumenta el coeficiente de reflexión S_{11} , sin embargo el diseño 3 presenta un coeficiente de reflexión bajo a pesar del alto grosor de sustrato, porque los dipolos tienen mayor grosor H_d , evitando que la amplitud de la señal se reduzca y las ondas se reflejen. El coeficiente de reflexión eficaz que se obtiene es -24.1775 dB del diseño 2.

Para el parámetro VSWR se busca valores aproximados a 1, lo que significa un acople perfecto, para obtener la mayor transferencia de energía. El VSWR al estar relacionado con el coeficiente de reflexión se ajusta a un comportamiento lineal en los diseños 2,1,5,4, similar al coeficiente de reflexión, a medida que aumenta el espesor del sustrato H_s , predominan las ondas superficiales, haciendo que la señal se refleje a la fuente produciendo errores en el acoplamiento, esto genera mayor valor de VSWR, en consecuencia evita que la potencia incidente llegue al cien por ciento a la antena [5] [17]; se obtiene un valor eficaz de VSWR de

1.0753 dB en el diseño 2. El diseño 3 presenta un comportamiento no lineal, influenciado por el parámetro Hd (grosor de los dipolos), su gran espesor hace que la impedancia y la línea de alimentación coincida mejor para una máxima transferencia de energía, indistintamente del espesor del sustrato que al ser mayor se debería obtener un valor de VSWR alto, obteniendo un valor aceptable de 1.1762 dB. El valor de VSWR máximo tolerable deseado para los diseños es 1.5 dB equivalente a 4% de potencia reflejada [17].

EL diagrama de radiación obtenida en los diseños es directiva debido a que concentra gran cantidad de potencia en una dirección determinada [4]; cómo se puede observar en la figura 5, no existen lóbulos laterales, puesto que las ondas superficiales no alcanzan las fronteras de la estructura, por lo tanto, estas ondas no salen al aire libre [16]. En este parámetro tiene mayor influencia el grosor de los dipolos Hd y la conductividad del material, basado en los datos obtenidos de la experimentación, la conductividad del material incide en los resultados de la ganancia, presentando un comportamiento lineal los diseños 1,2,4,5. Como se muestra en la tabla 13.

Tabla 13. Relación conductividad ganancia.

Diseño	Material	Conductividad [Siemens/m]	Ganancia [dB]
1	Cobre	$58 * 10^6$	7.90
2	Oro	$41 * 10^6$	8.00
4	Aluminio	$38 * 10^6$	8.10
5	Plata	$61 * 10^6$	8.30

Por otra parte, el diseño 3 a pesar de tener mayor grosor de los dipolos, su baja conductividad disminuye la ganancia de la antena; $\text{conductividad}_{\text{cobre}} = 10.3 * 10^6$ Siemens/m, Ganancia = 8.11 dB.

V. CONCLUSIONES

La investigación realizada nos presenta 5 diseños de antenas LPDA, utilizando distintos materiales conductores, siendo la frecuencia de operación del diseño 5 el valor más eficaz obtenido, $f = 60.0125$ GHz con un error relativo de 0.03%.

Para los diseños la conductividad del material tiene gran influencia sobre la ganancia, a mayor conductividad mayor ganancia; el diseño 5 implementa la plata como material conductor, debido a su alta conductividad presenta una ganancia de 8.30 dB, siendo esta la ganancia más alta obtenida.

Es importante emplear un sustrato entre los dipolos de cara superior e inferior, debido a las pequeñas dimensiones de la antena, dado que, sin sustrato se produce un cortocircuito; por tanto, al intentar aumentar el número de

dipolos para obtener mayor ganancia, aumenta las dimensiones del sustrato, de igual manera aumenta las perdidas por dieléctrico, provocando disminución en la ganancia. No obstante, en las antenas LPDA de baja frecuencia no es indispensable el uso del sustrato debido a su gran tamaño, por ende, no existirá perdidas por dieléctrico, provocando un aumento de ganancia al aumentar el número de dipolos.

REFERENCIAS

- [1] H. Wang, P. Zhang, J. Li y X. You, «Radio Propagation and Wireless Coverage of LSAA Based 5G Millimeter-Wave Mobile Communication,» China Communications, Vol 16, Nankín, 2019.
- [2] J. Helander, K. Zhao, Z. Ying y D. Sjöberg, «Performance Analysis of Millimeter-Wave Phased Array Antennas in Cellular Handsets,» IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, Suecia, 2015.
- [3] G. F. Nerea, «Antenas para dispositivos móviles 5G e IoT,» Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, 2019.
- [4] S. G. Vázquez, Elementos de Sistemas de Telecomunicaciones, Madrid: Ediciones Paraninfo SA, 2019, p. 121.
- [5] W. Tomasi, Sistemas de Comunicaciones Electrónicas, Arizona: Pearson Educación, 2001.
- [6] H. Zhou, N. A. Sutton y D. S. Filipovic, «Surface Micromachined Millimeter-Wave Log-Periodic Dipole Array Antennas,» IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Boulder, 2012.
- [7] R. Corporation, «Rogers Corporation,» 2019. [En línea]. Available: <https://rogerscorp.com/advanced-connectivity-solutions/rt-duroid-laminates/rt-duroid-5880-laminates>.
- [8] F. A. F. Carcasés, D. A. R. Sansón, D. R. Ávila y F. M. Rizo, «Diseño de una antena Logarítmica Periódica Impresa en la banda de 470-890 MHz,» Ingeniería Electrónica, Automática y Comunicaciones, La Habana, 2015.
- [9] D. R. H. y I. D. E., «Broadband Logarithmically Periodic Antenna Structures,» University of Illinois, Illinois, 1966.
- [10] C. A. Balanis, «Antenna Theory Analysis and Design,» de *Antenna Theory Analysis and Design*, Hoboken, Wiley Interscience, 2005, p. 631.
- [11] R. Carrel, «Analysis and Design of the Log-Periodic Dipole Antenna,» University of Illinois Electrical Engineering Research Laboratory, Illinois, 1961.
- [12] R. Carrel, «The Design of Log-Periodic Dipole Antennas,» 1966, New York, 1958 IRE International Convention Record.
- [13] A. Corporation, «TX-LINE,» [En línea]. Available: <https://www.awr.com/awr-software/options/tx-line>.
- [14] T. S. Bird, «Definition and Misuse of Return Loss,» IEEE Antennas and Propagation Magazine, Australia, 2009.
- [15] J. Yang y L. Zhou, «A portable antenna VSWR meter based on integrated detector and its calibration method,» 2010 International Conference on Microwave and Millimeter Wave Technology, Chengdu, 2010.
- [16] R. H. Aquino, «Diseño, simulación y construcción de antenas tipo parche para bluetooth y WI-FI, bandas 2.4 ghz y 5.8 ghz,» Departamento de Computación, Electrónica y Mecatrónica. Escuela de Ingeniería y Ciencias, Universidad de las Américas Puebla., Puebla, 2008.
- [17] S. I. Tous, «Voltage Standing Wave Ratio,» Department of Electrical Engineering, Mashhad, 2010.
- [18] I. Afifi, M. M. M. Ali y A.-R. Sebak, «Wideband Printed Ridge Gap Semi-Log Periodic Structure Antenna for Millimeter Wave Applications,» Antenna Technology and Applied Electromagnetics and the Canadian Radio Science Meeting, Waterloo, 2018.
- [19] Á. Cardama, L. J. Roca, J. M. R. Casals y J. R. Robert, Antenas, Barcelona: El Tinter, SAL, 2002.