



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO
CARRERA DE TELECOMUNICACIONES**

**DISEÑO DE UN ARREGLO DE 4 ANTENAS DIPOLOS SIMPLES EN LA BANDA DE
60GHZ.**

Trabajo de titulación previo a la obtención del
Título de Ingeniero en Telecomunicaciones

AUTOR: Michael Daniel Valencia Porras
TUTOR: Lenin Wladimir Aucatoma Guamán.

Quito - Ecuador 2024

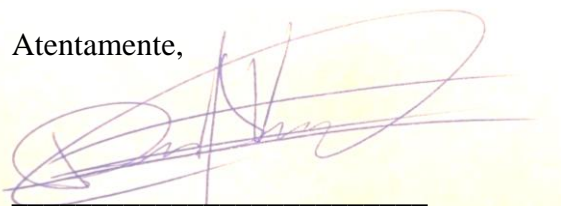
CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Michael Daniel Valencia Porras con documento de identificación N.º 1725379190, manifiesto que:

Soy el autor y responsable del presente trabajo; y, autorizo a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Quito, 19 de febrero del año 2024

Atentamente,



Michael Daniel Valencia Porras
1725379190

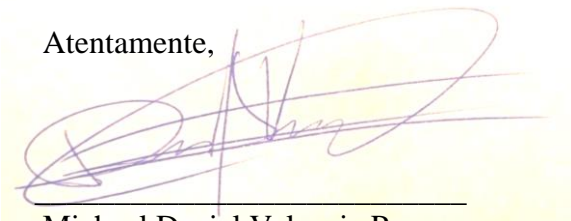
**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Yo, Michael Daniel Valencia Porras con documento de identificación N.º 1725379190, expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del Artículo Académico: “Diseño de un arreglo de 4 antenas dipolos simples en la banda de 60GHz”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero en Telecomunicaciones, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribo este documento en el momento que hago la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 19 de febrero año 2024

Atentamente,



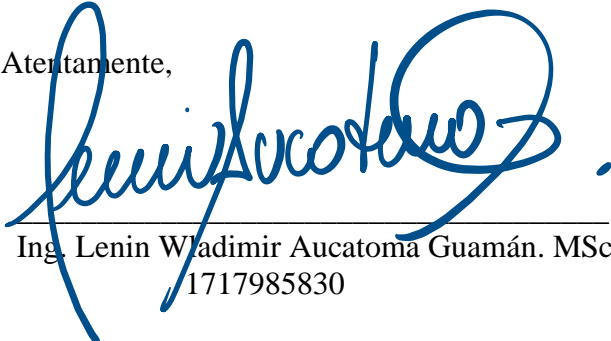
Michael Daniel Valencia Porras
1725379190

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Lenin Wladimir Aucatoma Guamán. con documento de identificación N°. 1717985830, docente de la Universidad Politécnica Salesiana declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: DISEÑO DE UN ARREGLO DE 4 ANTENAS DIPOLOS SIMPLES EN LA BANDA DE 60GHz, realizado por Michael Daniel Valencia Porras con documento de identificación N°. 1725379190 obteniendo como resultado final del trabajo bajo la opción de artículo académico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana

Quito, 19 de febrero año 2024

Atentamente,



Ing. Lenin Wladimir Aucatoma Guamán. MSc.
1717985830

DEDICATORIA

Lo dedico a Dios primeramente por guiarme en este camino por ser mi soporte y sabiduría y darme la fuerza para seguir adelante ante los problemas que se me presentan día a día.

A mi padre Patricio Valencia quien supo brindarme su apoyo incondicional, pese a todos los obstáculos supo estar ahí dándome ánimos para seguir adelante y lograr mi objetivo, por enseñarme hacer perseverante y sobre todo por ser ese modelo para seguir mi orgullo y mi admiración este triunfo es por ti padre amado.

A mi madre Lorena Porras por su amor, por su apoyo incondicional, por brindarme palabras de aliento y la compañía cuando lo necesitaba, por enseñarme hacer un buen hijo y enseñarme a valorar las pequeñas cosas.

A mis hermanas Dayana y Naomi, siempre han estado presente en cada paso que he dado, tratando de hacer las cosas bien, espero poder ser de ejemplo para Naomi en ser perseverante y seguir adelante y a Dayana que fue mi ejemplo y mi motivación también, quiero que sepan que las quiero mucho y este triunfo es para ustedes.

A mis abuelitos Félix y Mélida Valencia por su apoyo incondicional por no dudar de mí y ayudarme en esta carrera hoy que está llegando a su fin me resta decir gracias porque su ayuda económica fue fundamental y porque estuvieron siempre prestos ayudar, a mi abuelita Galud Castillo por su apoyo y sus palabras que fueron de motivación y a mi abuelito que hoy está en el Cielo Luis Porras porque supiste ayudarme y aconsejarme mientras estuviste con vida porque me enseñaste hacer una persona que se deje querer por todos y ser aguerrido y directo para decir las cosas.

A Jessenia Peña por tu ayuda y tu compañía por tus palabras de alientos, por estar ahí en los días más difíciles cuando solo quería renunciar porque el estrés me ganaba y cuando empecé esta travesía no pensé en que estarías de principio a fin. Sin ti no hubiera sido posible este paso en mi vida, cada día me ayudaste hacer mejor, jamás me dejaste bajar los brazos. Para todos ustedes es este triunfo.

Michael Daniel Valencia Porras

AGRADECIMIENTO

A Dios gracias por darme salud, fortaleza para poder culminar esta etapa en mi vida y alcanzar este logro.

A mis padres quienes me han acompañado en cada paso de mi vida, enseñándome el camino correcto. Les agradezco por la confianza depositada. Jamás quise decepcionarlos, siempre pensé en ustedes al tomar una decisión, gracias, padre por fomentar el deseo de superación y triunfo en mi vida, gracias, madre, por la paciencia y compañía.

A mis hermanas por estar siempre presentes, por ser parte de mi vida, fueron ese motivo de superación.

A mis abuelitos, tíos y primos gracias por brindarme de lo que tienen, por sus enseñanzas, ocurrencias y compañía, los llevo en mi corazón.

A mi novia gracias por su amistad, cariño y sus sabios consejos, siempre los llevare en mi corazón.

A mi tutor Ing. Lenin Aucatoma, quien fue un pilar fundamental en el desarrollo de este artículo académico, por su paciencia, tiempo y conocimiento compartido. A los docentes que compartieron su conocimiento, logrando mi crecimiento profesional y personal a lo largo de la carrera.

A mis compañeros y amigos con los que compartí gratos momentos, por su ayuda y paciencia para salir adelante juntos, por las experiencias vividas durante nuestra carrera universitaria.

Finalmente, a la Universidad Politécnica Salesiana por haberme brindado una educación de calidad y por las experiencias durante mi formación profesional.

Michael Daniel Valencia Porra

DISEÑO DE UN ARREGLO DE 4 ANTENAS DIPOLOS SIMPLES EN LA BANDA DE 60GHz

Michael Daniel Valencia Porras
Departamento de Ingeniería de
Telecomunicaciones
Quito, Ecuador
mvalenciap3@est.ups.edu.ec

Lenin Wladimir Aucatoma Guamán
Departamento de Ingeniería de
Telecomunicaciones
Quito, Ecuador
laucatoma@ups.edu.ec

Resumen: En este artículo se presenta el diseño y simulación de un arreglo de 4 antenas dipolo simple, para que operen en la frecuencia central de 60GHz, con el uso del software ANSYS HFSS, buscando dentro de los parámetros objetivo la obtención de un coeficiente de reflexión (S11) por debajo de -10 dB, y un valor de VSWR comprendido entre 1 y 2 para el arreglo, para lograr el modelo final, se procedió a crear un modelo base con las fáticas que definen al dipolo simple y sometiendo los diseños a ajustes experimentales para la obtención de los valores deseados en los parámetros antes mencionados; dentro del análisis se explica el resultado esperado respecto al aumento de ganancia y directividad del patrón de radiación mientras aumentamos antenas, pero también, se logra demostrar que el ajuste más importante para lograr un arreglo de antenas se dio en el 0.595 con un porcentaje de desfase con respecto a los valores obtenidos de las fórmulas de alrededor del 19.5 %

Palabras clave: *Arreglo lineal, antena dipolo, patrón de radiación.*

Abstract: This article presents the design and simulation of an array of 4 single dipole antennas, so that they can operate at the 60GHz center frequency, with the use of ANSYS HFSS software, seeking within the objective parameters to obtain a reflection coefficient (S11) below -10 dB, and a VSWR value between 1 and 2 for the array; To achieve the final model, a base model was created with the phatic characteristics that define the simple dipole and subjecting the designs to experimental adjustments to obtain the desired values in the aforementioned parameters; Within the analysis, the expected result is explained regarding the increase in gain and directivity of the radiation pattern while increasing antennas, but also, we were able to show that the most important adjustment to achieve an antenna array was 0.595 with a percentage of offset with respect to the values obtained from the formulas of about 19.5%

1. Introducción

Las redes inalámbricas 5G ofrecen conexiones rápidas con baja latencia y alta capacidad para conectar una gran cantidad de dispositivos simultáneamente. Gracias al uso de ondas milimétricas (mmW), con frecuencias de 30 a 300 GHz[1] se ha logrado subsanar la escasez de espectro que hoy tenemos a nivel de redes inalámbricas,

sobre todo para redes que requieren altos anchos de banda, sin embargo, localizar la solución en una banda de tan alta frecuencia desafía la construcción de sistemas radiantes, cuya longitud de onda como base de diseño nos entrega modelos que rodean las unidades micrométricas en los modelos planteados [2].

La antena dipolo es ampliamente utilizada en sistemas de comunicación y está compuesta por dos elementos conductores paralelos de igual longitud, con una resistencia de radiación de $Z_L = 73 + j42,5\Omega$ [3].

El creciente número de dispositivo para conectarse a internet ha provocado una saturación en las bandas, lo que conlleva a la necesidad de explorar nuevas tecnologías que proporcionen un mayor rendimiento en las redes de acceso inalámbrico al igual que la necesidad de una banda de frecuencias la cual brinde bajos niveles de retraso al cargar o descargar información (latencia) y conectividad constante[4]. En la actualidad, existe una creciente demanda de comunicaciones. El diseño de un arreglo de antenas dipolos simples en la banda de 60 GHz permite alcanzar velocidades extremadamente altas y una mayor capacidad de transmisión, lo que satisface estas necesidades de comunicación de alta velocidad[5].

En[6]. Se presente el "Diseño de una antena dipolo magneto eléctrica para ondas milimétricas en 5G", puesto que permitirá aportar a los procesos de investigación de sistemas radiantes en banda de onda milimétrica debido a las características que posee los dipolos y la facilidad de diseño e implementación Así mismo se desarrolla el "Diseño de un arreglo de antenas dipolo doblado acostado sobre un parche metálico para la frecuencia de 26GHz" investigación la cual da a conocer materiales apropiados para la fabricación de la antena como lo es el cobre y el sustrato FR4 como material dieléctrico, de igual forma se obtiene que el arreglo más apropiado para soportar altas frecuencias es el arreglo (4x1) ya que se obtuvo un S11 de -35.67 dB, un ancho de banda de 70 MHz, VSWR o ROE de 1.03, con una ganancia de 5.82 dBi, directividad de 7.99 dBi y eficiencia radiada de 59.97%[7].

El diseño de un arreglo de antenas dipolos en la banda de 60[GHz], tiene aplicaciones en diversos campos, como redes de área local inalámbricas (WLAN) de alta velocidad, sistemas de comunicación punto a punto, enlaces inalámbricos de corto alcance y comunicaciones

en entornos interiores[8]. Estas aplicaciones requieren un diseño cuidadoso de antenas que cumplan con los requisitos específicos de rendimiento en la banda ya mencionada para este trabajo[9]. El diseño de un arreglo de 4 antenas dipolos simples se basa en la necesidad de maximizar el rendimiento, superar las limitaciones de la banda de 60 GHz, satisfacer la demanda de comunicación de alta velocidad y aplicaciones inalámbricas específicas.

Para ello en base a las investigaciones realizadas con anterioridad se propone el diseño de un arreglo de 4 antenas dipolos simples en la banda de 60 GHz esta banda ofrece ventajas significativas en términos de capacidad de transmisión de datos y ancho de banda. Sin embargo, para aprovechar al máximo estas características[8]. Un arreglo de 4 antenas dipolos simples permite mejorar el rendimiento general del sistema al aumentar la ganancia y la directividad de la antena, lo que se traduce en una mejor radiación y recepción de la señal[8][10].

El diseño presentado para la frecuencia de 60GHz, toma como base las fórmulas matemáticas que definen el dipolo simple, tanto para la antena individual como para el arreglo[11]. Una vez simulados estos resultados, se observa que no se logró los valores de coeficiente de reflexión y VSWR que tenemos como objetivo de este trabajo, por lo que se somete a la antena individual y al arreglo a un proceso de experimentación mediante ajuste de parámetros hasta obtener los modelos definitivos[12].

Durante el proceso de ajuste se busca determinar el impacto de agregar elementos individuales al arreglo hasta conseguir el modelo 4X1 definitivo, comparando porcentajes de desfase entre los valores matemáticos y los valores ajustados, y de esta forma identificar el parámetro más influyente que logró adaptar los modelos a los valores buscados para coeficiente de reflexión y VSWR[13]. [14]

En tal virtud, este artículo se divide en las siguientes secciones: la primera, se muestra los modelos obtenidos tanto a nivel matemático como de ajuste; en un segundo bloque se realiza el análisis de los parámetros que influyeron con gran importancia para la obtención de los modelos finales, realizando comparaciones a nivel de datos de S11 y VSWR, finalmente se agregan conclusiones donde se busca determinar las implicancias que tuvo el proceso de ajuste dentro de los parámetros de S11 y VSWR, y su relación con las dimensiones ajustadas, hasta lograr los modelos propuestos [15].

2. DISEÑO DE LAS ANTENAS

En la figura 1 se muestra el diseño del dipolo de $\frac{\lambda}{2}$ con un radio de 0,2[mm] una longitud de 1,15[mm] y un gap de 0,2[mm], teniendo en consideración la siguiente base matemática para determinar las dimensiones de los componentes de la antena:

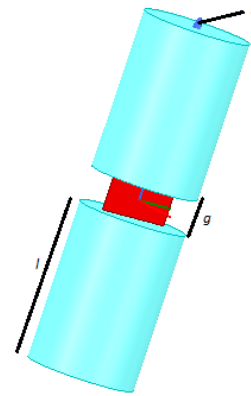


Figura1. Diseño y dimensiones de antena dipolo $\frac{\lambda}{2}$, $r = 0,2[mm]$, $gap = 0,2[mm]$, $l = 1,15[mm]$

La longitud de onda está definida así

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (1)$$

$$c = 3 * 10^8 \left[\frac{m}{s^2} \right] \quad (2)$$

Donde:

$\lambda = \text{lambda}$

$c = \text{velocidad de la luz}$

$f = \text{frecuencia}$

La longitud de cada brazo "l" está dado por:

$$l = \frac{\lambda}{4 - gap} \quad [13] \quad (3)$$

Para el radio "R":

$$R = 0.2mm \quad (4)$$

"gap" es el espacio entre los brazos

$$g = 0.2mm \quad (5)$$

En la figura 2 se muestra el diseño del arreglo de 4x1, se mantuvo la misma base matemática de la antena 1x1 en el arreglo se agregó la distancia con un valor de 3,75[mm], y una alimentación para las líneas de transmisión, lumped port de 50Ω tanto para el arreglo y para la antena 1x1.

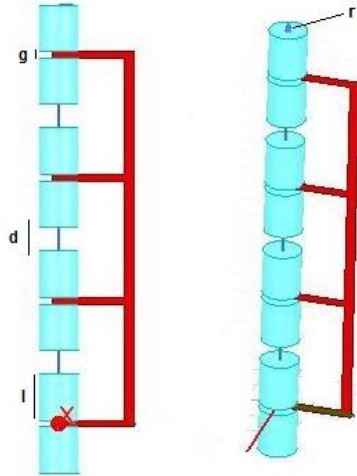


Figura 2. Diseño y dimensiones de un arreglo de 4 antenas dipolo $\frac{\lambda}{2}$, $r = 0,2[mm]$, $gap = 0,2[mm]$, $l = 1,15[mm]$, $d = 3,75[mm]$, todos estos valores son de las fórmulas antes descritas.

Para el modelo de antena dipolo simple, usando las expresiones matemáticas (M), no se obtuvieron valores de S11 y VSWR por debajo de los $-10dB$, y en valores entre 1 y 2, respectivamente. Razón por la cual, se somete al modelo de antena simple y al arreglo 4x1 a un ajuste (A), experimental donde se hicieron variaciones de las dimensiones de tal forma que se obtiene los valores objetivo de VSWR y S11 con los valores que se muestran en las figuras 1 y 2, y, tabla 1.

En la tabla 1, se muestran los valores para el modelo simple y el arreglo 4x1, tanto para el modelo matemático como para el modelo de ajuste

Los parámetros que caracterizan el modelo se detallan en la tabla 1, que incluye las especificaciones para el diseño de una única antena, así como las dimensiones del arreglo de 4 antenas, con el propósito de su modelado en el software ANSYS HFSS. Es importante destacar que, dado el diferente método de alimentación en comparación con una sola antena, las dimensiones de diseño del dipolo simple deben ajustarse para lograr los resultados en los parámetros de dispersión y alcanzar la frecuencia deseada de 60 [GHz].

Tabla1. Valores de las dimensiones de la antena dipolo simple y arreglo de 4 antenas

| Aislante | Aire | | | | | |
|--------------------------|----------|------|--------|-------------|-------|--------|
| Frecuencia [GHz] | 60 GHz | | | | | |
| Lambda [mm] | 5 | | | | | |
| Conductor | PEC | | | | | |
| Arreglo | 1 antena | | | Arreglo 4X1 | | |
| | M | A | % | M | A | % |
| Brazo l [mm] | 1.15 | 0.26 | 77.39% | 1.15 | 0.48 | 58.26% |
| Radio R[mm] | 0.2 | 0.3 | 50% | 0.2 | 0.595 | 19.5% |
| Gap g[mm] | 0.2 | 0.2 | 0% | 0.2 | 0.2 | 0% |
| Distancia Antenas y1[mm] | N/A | N/A | N/A | 3.75 | 3.75 | 0% |

3. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

A. Relación de onda estacionaria de voltaje o VSWR

Para los modelos planteados, el VSWR que buscamos se debe encontrar en el rango entre 1 y 2, donde 2 es lo máximo permitido.

En la figura 3, se muestran las curvas de VSWR obtenidas para una sola antena y para el arreglo de 4 antenas en una frecuencia de resonancia de 60[GHz], donde el arreglo de antenas que es la línea de color rojo tiene un valor de VSWR de 1,58 comparado con el valor de una sola antena que es la línea de color azul cuyo valor muestra 1,3; lo que implica un desfase superior del 21% del arreglo con respecto a la una antena, esto se debe a que mientras más elementos radiantes se incluyen en el modelo, aumenta la impedancia del sistema radiante total lo que determina este desfase de acoplamiento.

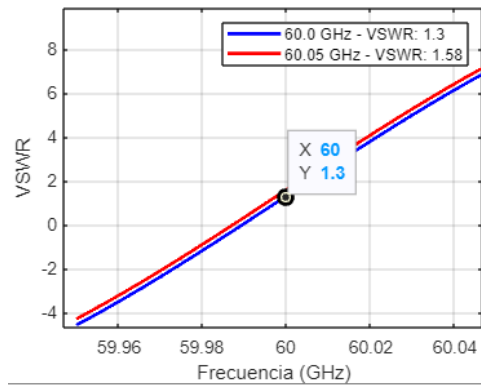


Figura3. Relación de onda estacionaria de voltaje VSWR de la una sola antena que es el color azul con un valor de 1,3 y del arreglo que es de color rojo un valor de 1,58.

En la tabla 2, se presenta los resultados de VSWR de cada arreglo lineal. Estos resultados se ven influidos por las dimensiones del largo de los brazos es decir que se inició con un valor de 1,15 [mm] y se aumentó a un 77,39% para el caso de la primera antena y para el arreglo se aumentó un porcentaje de 58,26% para que nos pueda dar el resultado deseado, ya que a medida que aumentan estos valores, suele aumentar el valor de VSWR a valores mayores a 1,5 y si es muy pequeño tiende a dar resultados inferiores a 1.

Tabla2. Resultados de VSWR y ancho de banda de arreglo lineal con antena dipolo simple con frecuencia de 60[GHz]

| Modelo | VSWR | F. min [GHz] | F. máx [GHz] |
|--------|------|--------------|--------------|
| 1 | 1,3 | 58.8 | 60.0 |
| 4x1 | 1.58 | 59.8 | 60.05 |

B. Coeficiente de Reflexión s_{11}

El coeficiente de reflexión o S11 mide la cantidad de potencia que se refleja en comparación a la que se aplica, para nuestra investigación, este coeficiente debería estar por debajo de los -10dB para lograr pérdidas menores al 3% por reflexiones.

En la figura 4, se muestran las curvas del coeficiente de reflexión de la una sola antena de color azul y del arreglo 4x1 de la antena dipolo simple de color rojo a una frecuencia de resonancia de 60 [GHz]. Como se puede apreciar, para una sola antena el coeficiente muestra un valor de -17.12dB , y el arreglo 4x1 con un valor de -12.9dB , con un desfase del 71% y 29% mayor al valor objetivo de investigación (-10dB) respectivamente. Esto ocurre por el aumento de carga es decir que se tiene una carga de 50Ω y al tener más elementos en el arreglo, lo que produce más puntos de reflexión para la fuente/línea de transmisión.

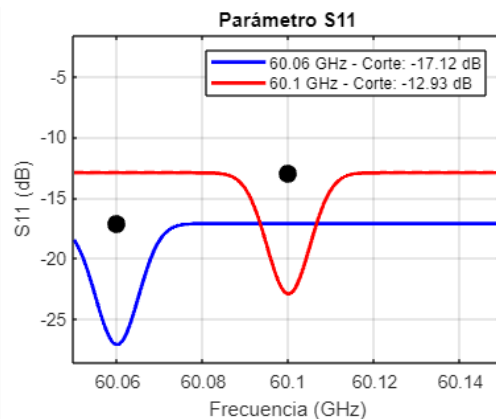


Figura4. coeficiente de reflexión S_{11} una sola antena y del arreglo de antenas

En el caso de la primera antena y para el arreglo se modifica la longitud (l) y el radio de las antenas, la longitud de los brazos de ambas antenas comenzó con un valor de 1,15 [mm], modificándose para la primera antena la 0.26[mm], y el radio en 0,2 [mm] aumenta a 0,3 [mm], y para el arreglo de 4 antenas empieza con una longitud de 1,15 [mm], y se modifica a 0,48 [mm], y el radio de 0,2 [mm] a 0,595 [mm]. Al ser arreglos lineales dependen mucho de la línea de alimentación, así como sus dimensiones decrecen, disminuye el valor de S11 y aumenta el tamaño de las antenas.

En la tabla 3, se muestra un resumen de estas medidas

Tabla3. Resultados de coeficiente de reflexión S11 de arreglo lineal con antena dipolo simple con frecuencia de 60[GHz]

| DISEÑO | S11[dB] | F [GHz] | BW[GHz] |
|-------------|-------------|---------|---------|
| Arreglo 1x1 | -17.12 [dB] | 60.0 | 7,28 |
| Arreglo 4x1 | -12,93 [dB] | 60.05 | 12,65 |

C. Patrón de Radiación

El patrón o diagrama de radiación mide la potencia máxima y mínima de la antena utilizando un sistema de coordenadas esféricas.[15] Con el fin de explicar el patrón de radiación, se utilizan representaciones en dos dimensiones que facilitan la visualización del haz principal y los lóbulos laterales. En este contexto, el plano eléctrico (E) se define por la dirección del campo eléctrico y la radiación máxima, mientras que el plano magnético (H) se caracteriza por la dirección del campo magnético y la radiación máxima. Estos planos son fundamentales para comprender la distribución espacial de la energía radiada por la antena.[16]

En la figura 5, se presenta el diagrama de radiación del campo eléctrico de la antena 1x1 [E] con corte en $\varphi = 0^\circ$. Teniendo como resultado dos lóbulos laterales y siendo menos directiva teniendo un valor de ganancia de 2,4 [dB]

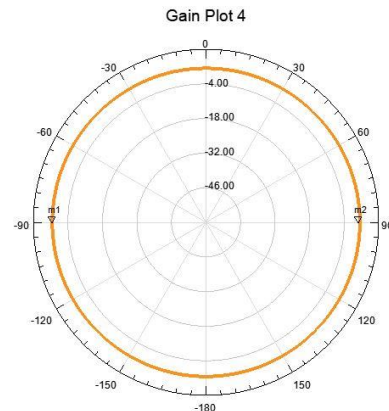


Figura5. Patrón de radiación campo eléctrico del diseño de una sola antena con valor de ganancia 2,4[dB].

En la figura6, se presenta el diagrama de radiación del campo eléctrico de la antena 4x1 [E] con corte en $\varphi = 0^\circ$. Tenemos un resultado que mientras aumentamos los elementos radiantes, la directividad del patrón de radiación aumenta. Y siendo más directiva teniendo un valor como resultado de ganancia de 10[dB]

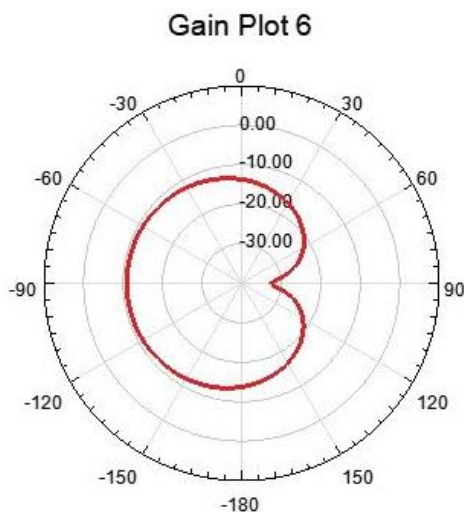


Fig6. Patrón de radiación campo eléctrico [E] 2D del diseño del arreglo 4x1 con valor de ganancia 10[dB].

4. CONCLUSIONES

- El arreglo 4x1 de antenas dipolos simples presenta una mejora en los resultados en comparación con la antena 1x1 donde se obtuvo un valor de S11 de $-12,93$ [dB] que corresponde a una diferencia del 21% con un ancho de banda de 50MHz. Un $VSWR \leq 2$ de 1,5 se ha demostrado la capacidad de obtener directividad significativa, además que se verificó que el desfase más importante para lograr un arreglo de 4x1 funcional, ocurre al duplicar el valor de los brazos con respecto a los valores originales obtenidos a través de las fórmulas matemáticas. Y el patrón de radiación del campo eléctrico para la antena 1x1 en su máxima dirección a 90° alcanza una ganancia de 2,4 [dB] siendo menos directiva y para el arreglo 4x1 se tuvo un patrón de radiación de campo eléctrico en su máxima dirección a 90° con una ganancia de 10[dB]. En ambos casos, tanto la antena 1x1 como el arreglo 4x1 no lograron una sintonización al 100% con respecto a la frecuencia de resonancia objetivo de 60 GHz, sin embargo, estos desfases en frecuencia no superan el 3%, lo que nos muestra que los modelos propuestos son indicados para trabajar en esa frecuencia de resonancia

5. REFERENCIAS

- [1] A. A. G. , K. S. , M. M. , M. H. , K. M. A. W. Kiani S.H., "Three Loop Element Antenna Array for Future 5G mmwave Devices," 2022.
- [2] A. A. , G. A. , E. H. M. , S. M. F. A. Abbas M.A., "MIMO Antenna for 5G Millimeter-Wave Applications. Sensors," 2022.
- [3] Mostafa H, "Wideband and Ultrathin 2x2 Dipole Array Antenna for 5G mmWave Applications.," vol. 21, 2022.
- [4] J. N. Villagrán and E. C. Chávez, "Diseño de un arreglo de antenas dipolo doblado para la banda de onda milimétrica," 2022.
- [5] I. M. T. , M. N. , & A. R. I. M. T., "novel compact dual-polarized dipole antenna array for 60 GHz wireless communications. Progress in Electromagnetics Research ,," 2020.
- [6] J. P. G. and F. R. B. Nole, "Lasers en Espacio Libre y Ondas Milimétricas,' , Available: <https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/handle/20.500.12008/20089>, 2022.
- [7] A novel compact planar dipole array for 60 GHz 5G communication. Microwave and Optical Technology Letters, "I. , I. M. T. , M. N. , & I. M. R. Ullah," 2020.
- [8] B. S. W. , K. J. , & C. J. S., "Design of a 60 GHz 4x4 Planar Antenna Array for 5G Communications. Electronics," 2021.
- [9] J. F. M. and P. Marsch. fif Osseiran, "5G Mobile and Wireless Communications Technology," 2019.
- [10] S. P. and J. Skold. Erik Dahlman, "5G NR: The Next Generation Wireless Access Technology," 2018.
- [11] K. K. M. M. S. H. A. R. M. T. Y. A. M. Y. T. Y. A. S. T. H. Y. Y. H. T. S. H. S. N. S. T. I. Y. T. N. L. Q. B. R. M. K. Okada, "A full 4-channel 6.3Gb/s 60GHz direct-conversion transceiver with low power analog and digital baseband circuitry," 2018.
- [12] A. Coronado-Rodríguez and F. Moumtadi, "Metodología para la obtención del patrón de radiación y prueba de aislamiento en sistemas de comunicaciones vía satélite," vol. 7, 2006.
- [13] M. A. Cadena and L. W. Aucatoma Guamán, "Comparación de una antena dipolo con una antena de dos dipolos para banda de ondas milimétricas.," Tesis, pp. 1–114, 2021.
- [14] J. M. Z. S. de la M. and A. C. L. C. Pérez Vega, "Capítulo 10 Antenas,' in Sistemas de Telecomunicación," pp. 319–400, 2007.
- [15] A. C. Ramírez and E. J. M. Mantilla, "Diseño y análisis de arreglo lineal de antenas dipolo," vol. 10, 2017.
- [16] John Wiley & Sons, "Balanis, Constantine A. Antenna Theory: Analysis and Design," 2016.