



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**ANÁLISIS DE UN ARREGLO LINEAL DE ANTENAS DIPOLO SIMPLE
PARA ONDA MILIMÉTRICA.**

Trabajo de titulación previo a la obtención del
Título de Ingeniera Electrónica

AUTORA: Dayana Michelle Almagro Toapanta

TUTOR: Lenin Wladimir Aucatoma Guamán

Quito - Ecuador

2022

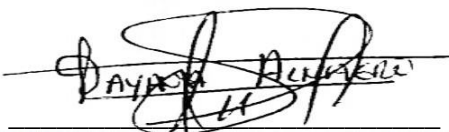
CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Dayana Michelle Almagro Toapanta con documento de identificación N° 1718777400, manifiesto que:

Soy la autora 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, 7 de marzo del año 2022

Atentamente,

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Dayana Michelle Almagro Toapanta', is written over a horizontal line. The signature is stylized and cursive.

Almagro Toapanta Dayana Michelle

1718777400

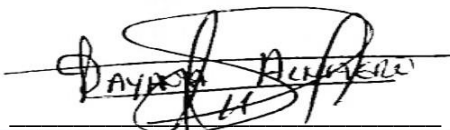
**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO
DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Yo, Dayana Michelle Almagro Toapanta con documento de identificación N° 1718777400, 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 autora del Artículo Académico: “Análisis de un arreglo lineal de antenas dipolo simple para onda milimétrica”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniera Electrónica, 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, 7 de marzo del año 2022

Atentamente,

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Dayana Michelle Almagro Toapanta', is written over a horizontal line.

Almagro Toapanta Dayana Michelle


1718777400

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: ANÁLISIS DE UN ARREGLO LINEAL DE ANTENAS DIPOLO SIMPLE PARA ONDA MILIMÉTRICA, realizado por Dayana Michelle Almagro Toapanta con documento de identificación N° 1718777400, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Artículo Académico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 7 de marzo del año 2022

Atentamente,



Ing. Lenin Wladimir Aucatoma Guamán, MSc.

C.C: 1717985830

DEDICATORIA

Lo dedico a Dios, por ser guía en mi camino, soporte, sabiduría y fuerza para no rendirme ante las adversidades que se presentan en el día a día.

A mi padre Luis Almagro quien supo brindarme su apoyo incondicional, pese a todos los obstáculos que se le presentaron en su camino supo salir adelante, por enseñarme que no hay que dejar de ser perseverante y sobre todo por ser mi modelo para seguir, mi orgullo y admiración, este triunfo es por ti padre amado.

A mi madre Rebeca Toapanta por su amor, por su apoyo incondicional, por brindarme palabras de aliento y compañía cuando más lo necesitaba, por enseñarme a ser una buena persona e hija.

A mi hermana Jessica Almagro, siempre has estado presente en cada paso, trate de hacer las cosas bien, espero haber sido un buen ejemplo para ti y mis queridas sobrinas Sofí y Caro, quiero que sepan que las quiero y este triunfo es para ustedes.

A mi abuelita por su compañía, quien me cuidó desde pequeña siempre fue como mi madre, brindándome su apoyo y a mis tíos: Fabricio, Teresa y Marlene con quienes compartí bonitos momentos y me dedicaron palabras de aliento.

A Santi por tu apoyo incondicional, por tu compañía y por tus palabras de aliento. Sin ti no hubiera sido posible este paso en mi vida, jamás me dejaste caer.

A la familia Bastidas por abrirme las puertas de su hogar, por su apoyo incondicional y ser mi segunda familia.

Dayana Michelle Almagro Toapanta

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, pese a la lejanía. Jamás quise decepcionarlos, siempre pensé en ustedes al tomar una decisión, gracias, padre por fomentar el deseo de superación y triunfo en la vida, gracias, madre, por la paciencia y compañía.

A mi adorada hermana y sobrinas por estar siempre presentes, por ser parte de mi vida, fueron ese motivo de superación, gracias por los bonitos recuerdos.

A mi abuelita, tíos: Fabricio, Teresa, Marlene y primos gracias por brindarme de lo que tienen, por sus enseñanzas, ocurrencias y compañía, los llevo en mi corazón.

A mi novio y Sra. Mery 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 Erika López por ser más que una amiga, una hermana, gracias, hemos compartido momentos inolvidables que siempre los llevare con gran cariño. Y 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.

Dayana Michelle Almagro Toapanta

Análisis de un arreglo lineal de antenas dipolo simple para onda milimétrica.

Dayana Michelle Almagro Toapanta
Departamento de Ingeniería
Electrónica y Telecomunicaciones
Universidad Politécnica Salesiana
Quito, Ecuador
dalmagrot@est.ups.edu.ec

Lenin Wladimir Aucatoma Guamán
Departamento de Ingeniería
Electrónica y Telecomunicaciones
Universidad Politécnica Salesiana
Quito, Ecuador
laucatoma@ups.edu.ec

Resumen—Este artículo presenta el diseño, simulación y análisis de los parámetros de dispersión de arreglos lineales de antenas dipolo simple de 2x1, 3x1 y 4x1 que opera a una frecuencia de resonancia de 60 GHz en el software ANSYS HFSS, obteniendo como resultados algunos parámetros que describen el comportamiento de sus propiedades de radiación. En este estudio se muestran los efectos que se producen al agregar o eliminar antenas de un arreglo lineal, demostrando que la distancia del generador es directamente proporcional a la ganancia del arreglo, por ello a mayor número de antenas su patrón de radiación se vuelve más directivo en comparación a una antena individual, por lo que mediante un análisis comparativo se verificó el impacto que genera cada arreglo. Lo más relevante es que a medida que se agregan elementos en los arreglos aumenta el tamaño de las antenas y ganancia, esto figuró para todos los casos, las antenas con conductor de cobre son más grandes que las de acero inoxidable por lo que la ganancia máxima del arreglo lineal 2x1 es igual a 2.7[dB], 3x1 es 3.1[dB] y 4x1 es 3.9[dB], el conductor presenta mejor conductividad, y características entre metales además tiene mínimas pérdidas posibles.

Palabras clave— Arreglo lineal, onda milimétrica, antena dipolo, parámetros de dispersión.

Abstract—This paper presents the design, simulation, and analysis of the dispersion parameters of 2x1, 3x1 and 4x1 simple dipole antenna line arrays operating at a resonance frequency of 60 GHz in ANSYS HFSS software, obtaining as results some parameters that describe the behavior of their radiation properties. This study shows the effects of adding or removing antennas from a linear array, demonstrating that the generator distance is directly proportional to the array gain, so the more antennas the radiation pattern becomes more directive compared to an individual antenna, so through a comparative analysis the impact generated by each array was verified. The most relevant issue is that as elements are added in the arrays the size of the antennas and gain increases, this was found for all cases, the antennas with copper conductor are larger than those of stainless steel so the maximum gain of the linear array 2x1 is equal to 2.7 [dB], 3x1 is 3.1 [dB] and 4x1 is 3.9 [dB], the conductor has better conductivity, and characteristics between metals also has minimum possible losses.

I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad las tecnologías de información y comunicación han provocado que las capacidades de los dispositivos aumenten, por lo que transferir y procesar datos de manera instantánea se ha convertido en una necesidad, por ello la tecnología 5G permite interconectar las últimas tecnologías del mercado [1]. Para obtener altas velocidades se requiere un mayor ancho de banda, por lo que se utilizan frecuencias de onda milimétrica que va de 30 a 300 GHz. Al trabajar con este tipo de frecuencias, las antenas resultantes son pequeñas en comparación con antenas que resuenan a frecuencias inferiores. [2]

La antena dipolo es una de las más populares debido a su facilidad de construcción ya que reciben señales balanceadas. Está conformada por un hilo conductor y un generador colocado en el centro [3]. Tiene una resistencia de radiación de $Z_{in} = 73 + j42,5\Omega$ que representa la energía radiada hacia el espacio libre [4].

Existen algunas investigaciones sobre la antena dipolo que utilizan la banda de onda milimétricas como se menciona en [5] donde se compara los parámetros teóricos y de diseño para su modelamiento, [6] se compara una antena dipolo simple y una antena dipolo doble con diferentes materiales y en [7] se analiza el impacto de los parámetros de dispersión variando materiales de construcción. Sin embargo, aún no se ha profundizado sobre arreglos de antenas dipolo que trabajen en la banda de ondas milimétricas. Por ello se propone un arreglo lineal de antenas dipolo simple que operen a 60 [GHz], con el objetivo de verificar el impacto que presenta el arreglo 2x1 comparado a los arreglos 3x1 y 4x1 basado en sus parámetros de dispersión.

Un arreglo está compuesto por varias antenas o interceptores de energía electromagnética, el objetivo es modelar características de directividad logrando mayor efectividad para transmitir y recibir señales. [8]

Al diseñar el arreglo lineal de antenas dipolo simple se busca analizar el comportamiento de los parámetros de dispersión identificando las características que la definen. Mediante una comparación se busca determinar los efectos que provoca el número de antenas sobre los parámetros de radiación para solventar problemas de bajas ganancias consiguiendo patrones de radiación más directivos a los que se obtiene solo con una antena. Además, se busca satisfacer las necesidades actuales de la IMT-2020 y estudios técnicos que muestran la coexistencia de servicios 5G y otros. Por lo que se recomienda la identificación de la IMT-2020, de esta manera

se reduce el riesgo de perjudicar cobertura, costos y desempeño de servicios [9].

II. DISEÑO DE LAS ANTENAS

En la figura 1, se presenta el modelo de la antena dipolo propuesta a ser implementada en los arreglos lineales. Para su construcción se compone por dos brazos de longitud “l”, radio “R” y un generador o línea de alimentación “g”.

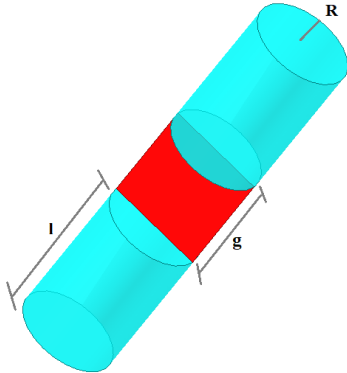


Fig. 1. Modelo y dimensiones de antena dipolo simple.

Se modeló la antena dipolo simple a una frecuencia de resonancia de 60 [GHz] y una impedancia característica de 73Ω . Para realizar los cálculos se procede a reemplazar los valores en las ecuaciones:

La longitud de onda se define así:

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

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

Donde:

$\lambda = \text{longitud de onda}$

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

$F = \text{frecuencia}$

De forma matemática la longitud de cada brazo “l” es

$$l = \frac{\lambda - 2g}{4} [10] \quad (3)$$

“g” es el espacio entre los brazos

Para el cálculo de radio “R” se usa la siguiente fórmula:

$$R = 0.0005\lambda. [9] \quad (4)$$

Los brazos se encuentran alimentados por el generador o también llamado línea de alimentación

$$g = R * e^{\frac{|Z_0|}{120}}. [9] \quad (5)$$

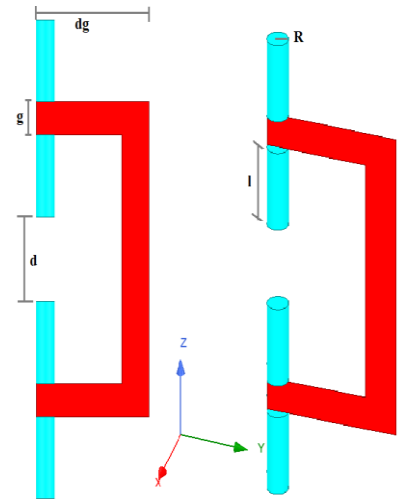
$|Z_0| = \text{impedancia de la línea de transmisión}$

Los valores obtenidos se especifican en la Tabla 1, para la elaboración de una sola antena dipolo simple, así como las dimensiones de cada arreglo lineal para su posterior modelamiento en el software Ansys HFSS. Cabe destacar que al tener una forma de alimentación diferente a la de una sola antena, las medidas de diseño de la antena dipolo simple cambian para obtener los parámetros de dispersión adecuados y la frecuencia de resonancia deseada.

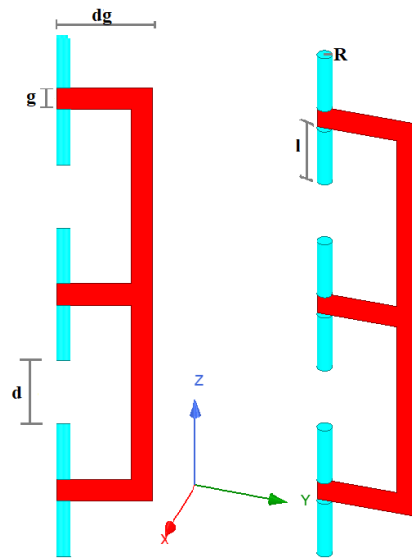
Tabla 1. Valores y dimensiones de la antena dipolo simple, arreglos lineales 2x1, 3x1 y 4x1.

DISEÑO DE ARREGLOS DE ANTENA DIPOLO SIMPLE							
Aislante	Aire						
Frecuencia [GHz]	60,00						
Lambda [mm]	5,00						
Conductor	Acero Inoxidable				Cobre		
Arreglo	Unitaria	2x1	3x1	4x1	2x1	3x1	4x1
Brazo l [mm]	1,2475	0,87	0,882	0,896	0,88	0,881	0,9
Radio R[mm]	0,0025	0,12	0,11	0,12	0,12	0,12	0,122
Gap g [mm]	0,0051	0,36	0,34	0,2	0,36	0,34	0,2
Distancia Antenas d[mm]	-	0,906	1	1,27	0,906	1	1,27
Distancia de Gap dg [mm]	-	1,5	1,53	1,62	1,54	1,53	1,62

Un arreglo lineal está compuesto por varias antenas dispuestas en el espacio de forma geométrica y alimentada por un mismo generador “g” para conseguir patrones de radiación diferentes y ganancias mayores a los que se obtienen con el diseño de una sola antena. [10].



a)



b)

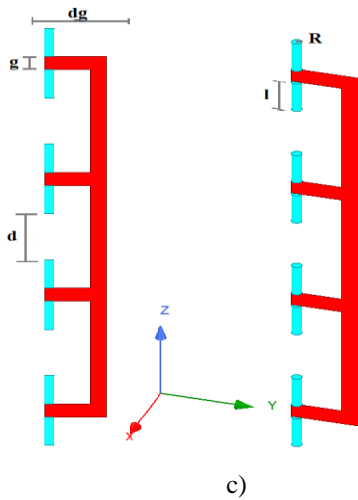


Fig. 2. a) Dimensiones y modelamiento de arreglos lineales de antenas dipolo simple 2x1; b) 3x1; c) 4x1 en el software ANSYS HFSS.

En la figura 2, se presenta los arreglos lineales compuesto por 2, 3 y 4 antenas iguales en serie, equidistantes en el eje “z”. La separación de antenas dipolo simple están definidas por la distancia de las líneas de alimentación y la distancia entre antenas cuya conexión es en paralelo, sus dimensiones se visualizan en la tabla 1.

La línea de alimentación tiene dos medidas: el ancho que va entre las antenas denominada como “g” y el largo que es la distancia de separación denominada como “dg” para que se conecten las antenas evitando alterar los parámetros de dispersión. Las antenas se encuentran separadas en el eje “z” a una distancia “d”.

III. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

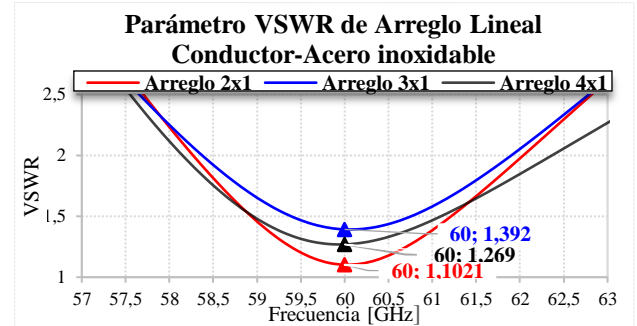
Para analizar el comportamiento de cada arreglo lineal se presenta los resultados con los valores establecidos como objetivo de investigación se evalúa el VSWR con un valor de 1,5 para un acoplamiento óptimo de impedancias, S_{11} a -20 [dB] como referencia para obtener una proporción donde lo transmitido sea mucho más que lo reflejado en la antena, patrón de radiación, ganancia y ancho de banda desde el punto mínimo la curva de VSWR hasta 1,5 para obtener la frecuencia inferior y superior.

a. Relación de onda estacionaria de voltaje o VSWR

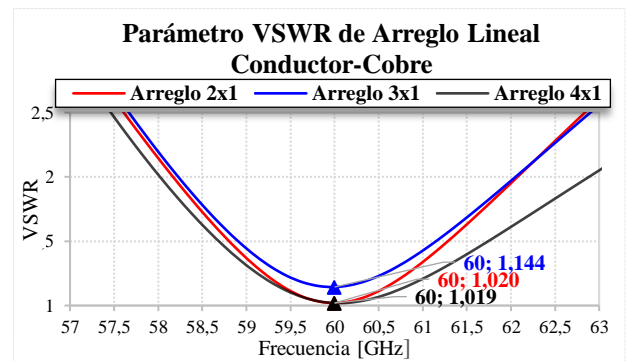
El ROE o VSWR es importante, indica las condiciones de funcionamiento de la línea y del acoplamiento de ésta a la carga y al generador [11]. Para el modelamiento de la antena se debe cumplir $1 \leq VSWR \leq 2$, pero como objetivo de investigación es $1 \leq VSWR \leq 1,5$ ya que es un valor ideal mientras que el valor máximo 2 es el permitido para soportar los distintos dispositivos en el sistema de transmisión [5]. Además, estas curvas permiten obtener el ancho de banda en cada arreglo lineal [12].

En la figura 3, se muestra el comportamiento en los arreglos lineales, cuya frecuencia de resonancia es 60,00 [GHz], presentan curvas simétricas con una relación de onda estacionaria de voltaje entre 1,102-1,392 [dB] para el material conductor acero inoxidable mientras que para el cobre presenta valores entre 1,02-1,114 [dB]. A medida que aumentan las antenas estos valores fluctúan dentro del rango establecido

como objetivo de investigación. En cuanto al material los mejores valores de VSWR se obtienen con el material de cobre, sus valores oscilan entre 1 a 1,1 mientras que con el acero inoxidable incrementan del valor ideal 1. En el caso de los 2 materiales el arreglo lineal 2x1 es el que más se aproxima a un VSWR=1, lo que quiere decir es que tiene un acoplamiento casi perfecto para un manejo adecuado de la frecuencia de operatividad.



a)



b)

Fig. 3. a) Relación de onda estacionaria de voltaje VSWR de Arreglo lineal 2x1, 3x1 y 4x1 de antena dipolo con conductor de Acero Inoxidable, b) Conductor de cobre.

En la tabla 2, se presenta los resultados de VSWR de cada arreglo lineal y el valor de ancho de banda. Estos resultados se ven influidos por las dimensiones del largo, ancho de las líneas de transmisión y distancia entre antenas para obtener un acople casi perfecto, ya que a medida que aumentan estos valores, suele aumentar el valor de VSWR a valores mayores a 1,5 [dB] y si es muy pequeño tiende a dar resultados inferiores a 1 [dB].

El ancho de banda del arreglo lineal 3x1 con material conductor acero inoxidable tiene una alteración que se ve afectado por valor de radio, tiene una diferencia de 0,01 mm disminuyendo en un 39,91% en comparación al arreglo lineal de 2x1, esto se dio, para que cumpla con la frecuencia de resonancia a 60 [GHz], mientras que para el conductor de cobre se tuvo que reducir la longitud del brazo en 0,001 disminuyendo en un 9,31% el ancho de banda, pero no es tan significativo comparado a la medida del radio. Sin embargo, comparando los resultados obtenidos entre los arreglos lineales 2x1, 3x1 y 4x1 el ancho de banda mejora a medida que aumentan las antenas en un arreglo lineal, este va ascendiendo su tamaño. El mayor ancho de banda se obtiene en el arreglo lineal 4x1 con el conductor de cobre con un 1,25% más que el acero inoxidable, recalando que la longitud de brazo y radio de las antenas es un poco más grande.

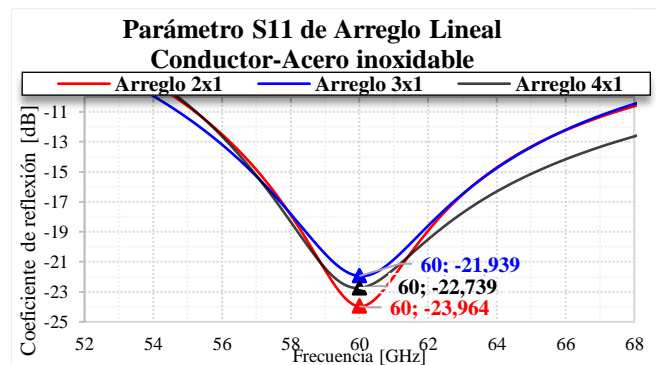
Tabla 2. Resultado de VSWR y Ancho de banda de arreglos lineales con antenas dipolo simple a una frecuencia de 60 [GHz].

	Arreglo Lineal	VSWR [dB]	F. mín. [GHz]	F. máx. [GHz]	BW [GHz]	BW [%]
Acero Inoxidable	2X1	1,102	58,93	61,21	2,28	3,8
	3X1	1,392	59,39	60,76	1,37	2,283
	4X1	1,269	58,96	61,10	2,3	3,833
Cobre	2X1	1,020	58,81	61,28	2,47	4,116
	3X1	1,1449	58,91	61,15	2,24	3,733
	4X1	1,0198	58,69	61,74	3,05	5,083

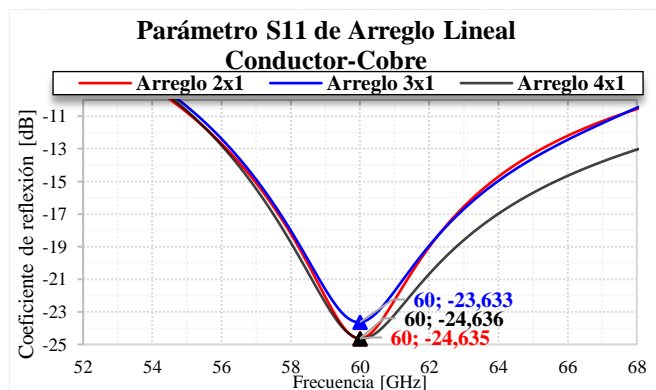
b. Coeficiente de reflexión S_{11}

El coeficiente de reflexión o S_{11} mide la cantidad de potencia que se refleja en comparación a la que se aplica [13].

En la figura 4, se puede apreciar las curvas de los arreglos lineales de la antena dipolo simple resonando a una frecuencia de 60 [GHz] obtenidos en la simulación. En los resultados se obtuvo pérdidas de -21,939 [dB] a -23,964 [dB] como material conductor acero inoxidable mientras que para el cobre se obtuvo -23,633 [dB] a -24,635 [dB] como cifras aceptables, el valor ideal de referencia es -20 [dB]. En este valor las pérdidas por reflexión son escasas. A medida que aumentan las antenas en los arreglos lineales estos tienden a fluctuar en descenso manteniendo pérdidas variables. Al ser arreglos lineales dependen mucho de la línea de alimentación, así como sus dimensiones decrecen, disminuye el valor de S_{11} y aumenta el tamaño de las antenas. Con el conductor de acero inoxidable se reducen más el nivel de pérdidas, consiguiendo una mejor adaptación entre las líneas de impedancia mientras que con el de cobre casi se mantienen en los mismos valores, aunque se agreguen antenas en el arreglo.



a)



b)

Fig. 4. a) Coeficiente de reflexión S_{11} de arreglo lineal 2x1, 3x1 y 4x1 de antena dipolo simple de Acero Inoxidable, b) Conductor de cobre.

En la tabla 3, se registra los valores de las pérdidas de los arreglos lineales 2x1, 3x1 y 4x1. Cotejando los valores al agregar antenas en los arreglos tienden a reducir el valor de S_{11} por lo que sus pérdidas por reflexión son muy bajas, al ser arreglos lineales la distancia entre antenas y distancia de la línea de transmisión aumenta sus dimensiones a medida que el coeficiente de reflexión va disminuyendo sucesivamente provocando una corta dispersión sin alejarse del valor ideal de -20 [dB] considerado como valor ideal, cumpliendo con la relación 1/100. En el arreglo lineal 3x1 con conductor de acero inoxidable existe una alteración debido a la dimensión de radio, si disminuye este valor también disminuye el coeficiente de dispersión a casi el doble, este parámetro también se ajustó con las distancias de la antena y línea de transmisión. Si se mantenía el valor de 0,12 mm en el radio alteraba la frecuencia de resonancia y el patrón de radiación, ocasionando distorsiones en el valor de S_{11} . En el caso de conductor de cobre se redujo la longitud del brazo para la sintonización de la frecuencia de resonancia provocando casi la misma disminución que el radio en el coeficiente de dispersión con tan solo 0,009 mm de diferencia, por lo que el parámetro que permite reducir más las pérdidas por reflexión es la longitud del brazo y distancia de la línea de alimentación.

Tabla 3. Resultado del coeficiente de reflexión S_{11} de arreglos lineales con antenas dipolo simple a una frecuencia de 60 [GHz].

DISEÑO	S_{11} [dB]	
	Acero Inoxidable	Cobre
Arreglo lineal 2x1	-23,9644	-24,6351
Arreglo lineal 3x1	-21,9397	-23,6339
Arreglo lineal 4x1	-22,7393	-24,6360

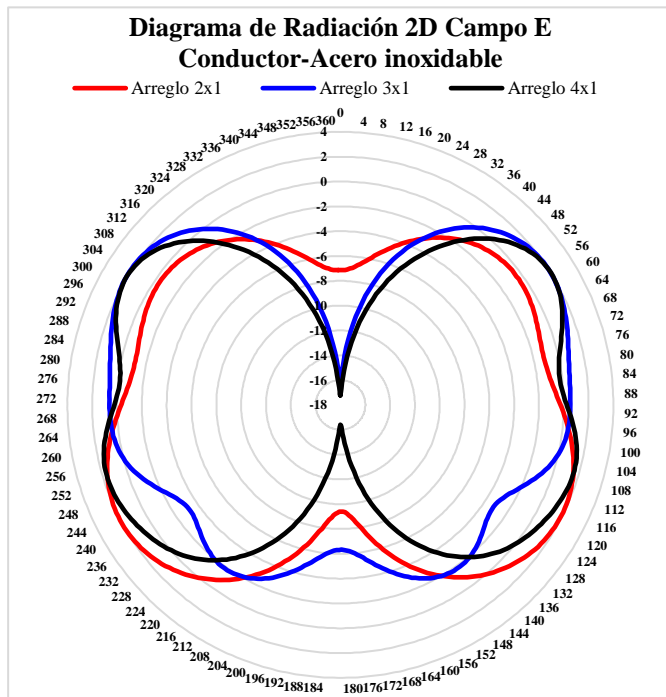
c. Patrón de Radiación

El patrón o diagrama de radiación permite medir la potencia máxima y mínima de la antena utilizando un sistema de coordenadas esféricas.[13].

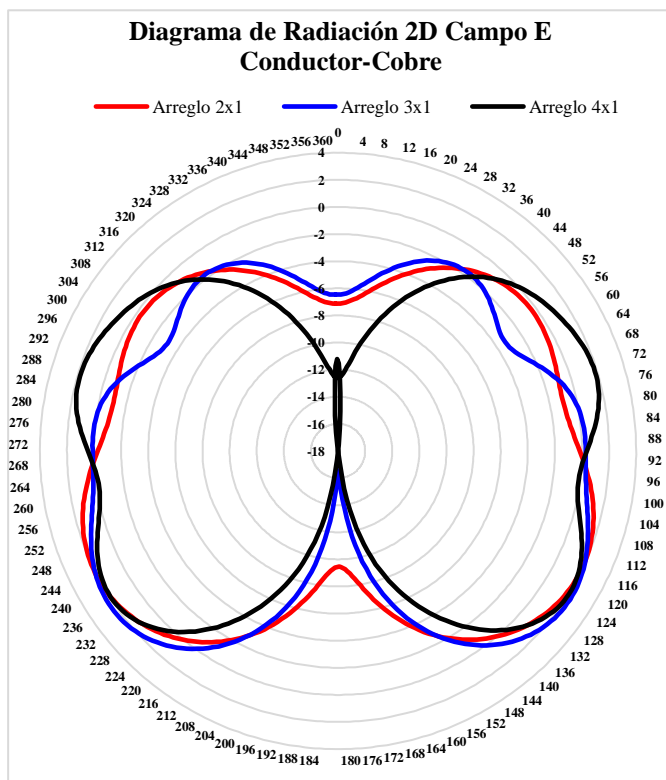
Para describir el patrón de radiación se representa planos en dos dimensiones que permiten observar el haz principal y los lóbulos laterales [14]. El plano eléctrico [E] se forma por la dirección de radiación máxima y el campo eléctrico mientras que el plano magnético [H] se forma por la dirección de radiación máxima y el campo magnético [4].

En la figura 5, se presenta el diagrama de radiación del campo eléctrico [E] con corte en $\varphi = 0^\circ$. En los arreglos lineales se observa que la mayor potencia se produce a los costados de la antena, tiene un campo direccional. La ganancia se mantiene sobre los -3dB. Al utilizar como material conductor el acero inoxidable su espacio de radiación es levemente más grande comparado al conductor de cobre, sin embargo, son semejantes ya que sus lóbulos de radiación no presentan un cambio significativo. A medida que se agregan antenas en un arreglo lineal presenta lóbulos cada vez más anchos, debilitando la presencia de nulos. La longitud de los brazos, radio y distancias de las antenas tiene que ver directamente con el aumento de ganancia, frecuencia de resonancia además fija la forma del lóbulo de radiación produciendo nulos más pronunciados o no. En el arreglo lineal de 3x1 con conductor de acero inoxidable existe un nulo más marcado debido a disminución del radio en 0,01[mm], si este valor disminuye provoca nulos más pronunciados lo que no sucedió con el conductor de cobre ya que se logró sintonizar su frecuencia sin afectar el grosor de la antena, pero se disminuyó

el tamaño de los brazos en 0,001 por lo que el nulo no es tan prominente. Todos los arreglos presentan 4 entradas de nulos pero el arreglo lineal 4x1 muestra nulos menos prominentes con lóbulos más anchos y con mayor directividad independientemente del material conductor las antenas presentan un campo omnidireccional logrando un buen rendimiento en el patrón radiación.



a)



b)

Fig. 5. Patrón de radiación campo eléctrico [E] 2D del diseño de arreglos lineales de antenas dipolo simple a 60 [GHz], a) Conductor de acero inoxidable, b) Conductor de cobre.

d. Ganancia

En la tabla 4, se registra los resultados de la ganancia obtenidos en el diagrama de radiación. El valor más alto es del arreglo lineal 4x1 con el material conductor de cobre con un valor de 3,9 [dB], debido a que este arreglo tiene mayor dimensión que la antena de acero inoxidable. El arreglo lineal 3x1 con acero inoxidable tenía una alteración por la disminución del radio en 0,01[mm], provocando un aumento de tan solo 11,53% en la ganancia, pero en el caso del arreglo 3x1 con material de cobre se redujo la longitud de los brazos en 0,001[mm], provocando un aumento del 24%. En consecuencia, con lo anterior la longitud de los brazos y radio son directamente proporcional a la ganancia de las antenas, además, se comprobó que la ganancia está relacionada con la distancia de la línea de alimentación si incrementa su dimensión, aumenta la ganancia alterando el VSWR y S_{11} . Respecto al material conductor no se observan cambios significativos.

Tabla 4. Resultado de valor de ganancia en el patrón de radiación en los arreglos lineales con antenas dipolo simple a 60 [GHz].

DISEÑO	Ganancia [dB]	
Material	Acero Inoxidable	Cobre
Arreglo lineal 2x1	2,6	2,7
Arreglo lineal 3x1	2,9	3,1
Arreglo lineal 4x1	3,7	3,9

En la figura 6, se presenta los resultados del patrón de radiación con simetría, ya que la antena dipolo simple presenta un campo omnidireccional, es decir, que la antena radia con la misma intensidad en todas las direcciones. Estos arreglos lineales resuenan a una frecuencia de 60 [GHz], a medida que se agregan antenas la ganancia aumenta por lo que se afirma que a mayor número de antenas mejora la ganancia en los arreglos de antenas dipolo simple, además su patrón de radiación es más directivo. El material conductor no altera el patrón de radiación debido a que son los mismos en el acero inoxidable y cobre.

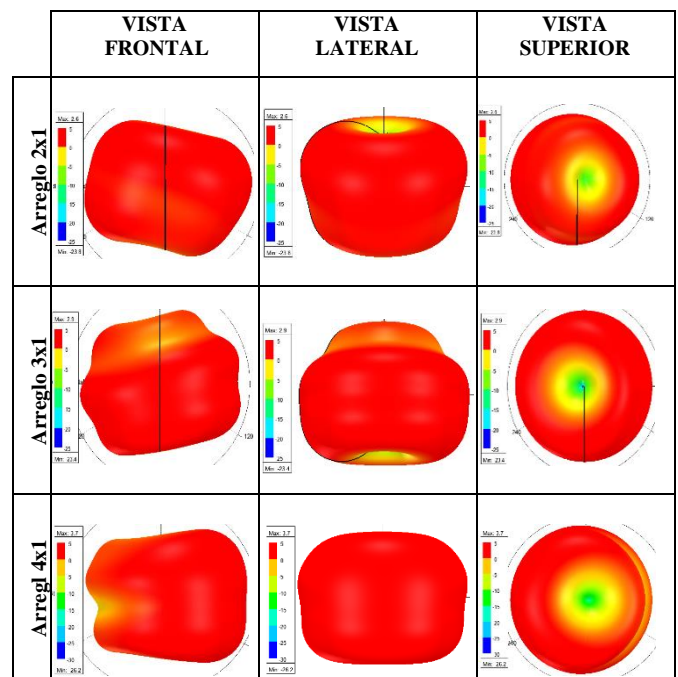


Fig. 6. Patrón de radiación en 3D con vistas frontal, lateral y superior del diseño de arreglos lineales de antenas dipolo simple a 60 [GHz].

- e. Comparación de arreglos lineales 2x1, 3x1 y 4x1 de antenas dipolo simple para identificación de efectos producidos en parámetros de radiación.

En la tabla 5, se muestra una comparación entre las dimensiones de los diseños de los arreglos de antenas dipolo simple, para una mejor interpretación de los efectos que produce agregar antenas en un arreglo lineal de 2x1, 3x1 y 4x1 a una frecuencia de resonancia de 60 [GHz]. Al ser arreglos lineales los parámetros de dispersión dependen de la distancia entre antenas, línea de alimentación, tamaño de los brazos de la antena y el radio. Otro factor importante es la forma de conexión de la línea de alimentación, ya que si no se usaba en paralelo el patrón de radiación generaba lóbulos laterales provocando interferencias de comunicación y un campo de radiación diferente al de la antena dipolo simple. A medida que se agregan las antenas en los arreglos lineales también aumentan la distancia, tamaño de la antena. La frecuencia de resonancia se ajusta con valor del radio y longitud de los brazos de la antena. El patrón de radiación va cambiando conforme se aleje la línea de alimentación, este valor lo hará más directivo o menos directivo afectando también el parámetro S_{11} y VSWR.

Tabla 5. Comparación de las dimensiones en los arreglos lineales de antenas dipolo simple a frecuencia de resonancia de 60 [GHz].

DISEÑO DE ARREGLOS DE ANTENA DIPOLO SIMPLE							
Aislante	Aire						
Frecuencia [GHz]	60,00						
Lambda [mm]	5,00						
Conductor	Acero Inoxidable				Cobre		
Arreglo	Unitaria	2x1	3x1	4x1	2x1	3x1	4x1
Brazo l [mm]	1,2475	0,87	0,882	0,896	0,88	0,881	0,9
Radio R[mm]	0,0025	0,12	0,11	0,12	0,12	0,12	0,122
Gap g [mm]	0,0051	0,36	0,34	0,2	0,36	0,34	0,2
Distancia Antenas d[mm]	-	0,906	1	1,27	0,906	1	1,27
Distancia de Gap dg [mm]	-	1,5	1,53	1,62	1,54	1,53	1,62

En la tabla 6, se muestra la comparación de la relación de onda estacionaria o VSWR que comprende valores dentro de 1 a 1,5 [dB] siendo 1 un valor ideal y 1,5 un valor máximo permitido para la adaptación de impedancias y optimización de pérdidas. El VSWR se ve influido por la línea de alimentación y la distancia entre antenas, por lo que los parámetros Gap “g”, distancia gap “dg” y distancia entre antenas “d” debe mantener valores entre $0,2 \leq g \leq 0,36 \text{ mm}$, $1,5 \leq dg \leq 1,62$ y $0,906 \leq d \leq 1,27$. Caso contrario si aumenta su valor, baja de su valor ideal y si disminuye, sube su valor máximo permitido por lo que no mantendría un correcto acoplamiento de la línea a la carga y al generador.

El coeficiente de reflexión S_{11} permite comparar las pérdidas por retorno de los arreglos resonando a una frecuencia de 60 [GHz] donde el criterio que se aplica es de -20 [dB]. El factor que afecta este parámetro es la distancia de la línea de alimentación “dg”, longitud de brazos “l” y radio “r”, pero en gran medida la longitud de los brazos reduce este valor significativamente como ocurrió el arreglo lineal 3x1 con conductor de cobre, las pérdidas por dispersión redujeron a casi el doble comparado al valor de radio, estos parámetros mantenían una diferencia de 0,009[mm], provocando una reducción de pérdidas muy discretas en el valor de S_{11} , sin

embargo, no afectaría el rendimiento ya que estas pérdidas se encuentran dentro del valor ideal.

El patrón de radiación muestra el valor de la ganancia en cada arreglo lineal. La ganancia máxima en los arreglos lineales de 4x1 es 3,9 [dB], este valor está determinado por la longitud de brazos, radio y material conductor.

Pese a la gran influencia que tiene tamaño de las antenas en un arreglo lineal existe mejoría en la relación de onda estacionaria de voltaje, ancho de banda y ganancia con el conductor de cobre mientras que con el acero inoxidable existe menores pérdidas por reflexión y plano eléctrico levemente más amplio. El acero inoxidable tiene una conductividad de 1100000 [siemens/m] mientras que el cobre 58000000 [siemens/m] siendo el mejor conductor, por ello existe mejoría en VSWR, BW y mayor ganancia en los arreglos lineales a medida que se agregan las antenas. Mientras más largas sean las antenas y con mayor grosor, mayor es la ganancia que se obtiene en los arreglos lineales de antenas dipolo simple.

Tabla 6. Resultados de VSWR, S_{11} y patrón de radiación en arreglos lineales con antenas dipolo simple 60 [GHz].

	Arreglo Lineal	VSWR [dB]	S_{11} [dB]	Patrón de Radiación [dB]
Acero Inoxidable	2X1	1,102	-23,964	2,6
	3X1	1,392	-21,939	2,9
	4X1	1,269	-22,739	3,7
Cobre	2X1	1,020	-24,635	2,7
	3X1	1,1449	-23,633	3,1
	4X1	1,0198	-24,637	3,9

IV. CONCLUSIONES

En los arreglos lineales al agregar antenas dipolo simple el coeficiente de reflexión S_{11} aumenta y la relación de voltaje de onda estacionaria VSWR fluctúa dentro de los valores de 1 a 1,5, esto se debe a la línea de alimentación ya que interconecta a las antenas para crear un adaptador común provocando un acople ideal, así mismo el grosor de las antenas influyen en el parámetro S_{11} cuando disminuye este valor minimiza las pérdidas por reflexión, por ello debe cumplir $1,5 \leq dg \leq 1,62$ para que no altere los parámetros de dispersión.

En el patrón de radiación independientemente del número de antenas en el arreglo lineal, material conductor no influyen en el tipo de radiación, sin embargo, la forma de conexión si determina si es un campo omnidireccional, ya que al ser una conexión en paralelo produce nulos no muy significativos, mientras que en una conexión en serie provoca aparición de lóbulos secundarios.

Las características que definen un arreglo de la antena dipolo simple son: longitud de los brazos, radio, y forma de la línea de alimentación, estos parámetros ayudan a obtener una mayor ganancia a medida que aumentan sus dimensiones siendo así el caso del arreglo lineal 4x1 con material de cobre que consiguió una ganancia de 3,9 dB.

V. REFERENCIAS

- [1] ITU, “Guidelines for Evaluation of Radio Interface Technologies for IMT-Advanced,” *Electron. Publ.*, vol. 0, 2017, [Online]. Available: <http://www.itu.int/pub/R-REP-M.2135-2008/en>.

- [2] DVTEST, “La tecnología 5G requiere las frecuencias de ondas milimétricas mmWAVE,” *Artículo*, 2019, [Online]. Available: www.adler-instrumentos.es.
- [3] R. Islam, F. Mahbub, S. B. Akash, and S. A. Kadir Al-Nahyun, “Design of a Half-Wave Dipole Antenna for Wi-Fi & WLAN System using ISM Band,” *IEEE*, pp. 1–4, 2021, doi: 10.1109/ietronics52119.2021.9422495.
- [4] J. Anguera and A. Pérez, *Teoría de Antenas*. 2008.
- [5] K. M. Ortiz Guerra, B. D. Villamar Arias, and L. W. Aucatoma Guamán, “Comparación de los parámetros de dispersión de una antena dipolo para las frecuencias de 60, 67 y 74 GHz,” *Tesis*, p. 1–100, 2021.
- [6] 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, [Online]. Available: <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/5081/1/UPS-CYT00109.pdf>.
- [7] A. C. Ramírez and E. J. M. Mantilla, “Diseño y análisis de arreglo lineal de antenas dipolo,” *Rev. Investig.*, vol. 10, 2017.
- [8] F. Emilio Monachesi, Ana Maria Frenzel, Guillermo Chaile, Carrasco Agustín and A. G. López., “Conceptos Generales De Antenas,” p. 20, 2011, [Online]. Available: http://www.edutecne.utn.edu.ar/wlan_frt/antenas.pdf.
- [9] F. X. López Orbea, I. S. De La Torre Trijillo, and L. W. Aucatoma Guamán, “Comparación de los parámetros de dispersión de la Antena Dipolo de Media Onda en las frecuencias de 60, 67 y 74 GHz,” *Tesis*, pp. 1–100, 2021, [Online]. Available: <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/5081/1/UPS-CYT00109.pdf>.
- [10] C. Pérez Vega, J. M. Zamanillo Sáinz de la Maza, and A. Casanueva López, “Capítulo 10 Antenas,” in *Sistemas de Telecomunicación*, Cantabria: Universidad de Cantabria, 2007, pp. 319–400.
- [11] C. Pérez Vega, J. M. Zamanillo Sáinz de la Maza, and A. Casanueva López, “Capítulo 9 Líneas de Transmisión,” in *Sistemas de Telecomunicación*, 2007, pp. 279–320.
- [12] L. P. Iza Cuzco, E. R. Catota Llano, and L. W. Aucatoma Guamán, “Diseño de un arreglo de antenas log-periódicas para la banda de onda milimétrica,” *Tesis*, pp. 1–100, 2021, [Online]. Available: <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/5081/1/UPS-CYT00109.pdf>.
- [13] A. Hernández, “Capítulo 2: Teoría básica de antenas,” 2014, pp. 14–29.
- [14] A. Coronado-Rodríguez and F. Moumtadi, “Metodología para la obtención del patrón de radiación y prueba de aislamiento en sistemas de comunicaciones vía satélite,” *Ing. Invest. y Tecnol.*, vol. 7, no. 4, pp. 245–253, 2006, doi: 10.22201/fi.25940732e.2006.07n4.020.