



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

**DISEÑO DE UN ARREGLO DE ANTENAS DIPOLO DOBLADO  
PARA LA BANDA DE ONDA MILIMÉTRICA**

Trabajo de titulación previo a la obtención del  
Título de Ingeniero Electrónico

**AUTORES:**

Juan José Navas Villagrán

Estefanía Paola Chiluiza Chávez

**TUTOR:**

Johanna Berenice Arguero Tello

Quito-Ecuador

2022

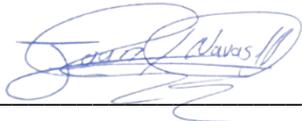
## **CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

Nosotros, Juan José Navas Villagrán con documento de identificación N° 1723656995 y Estefanía Paola Chiluiza Chávez con documento de identificación N° 1724471543; manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos 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, 1 de abril del año 2022

Atentamente,



---

Juan José Navas Villagrán

1723656995



---

Estefanía Paola Chiluiza Chávez

1724471543

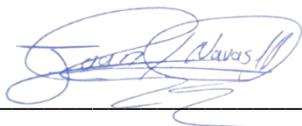
## **CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Nosotros, Juan José Navas Villagrán con documento de identificación N° 1723656995 y Estefanía Paola Chiluiza Chávez con documento de identificación N° 1724471543, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Artículo Académico: “Diseño de un arreglo de antenas dipolo doblado para la banda de onda milimétrica”, el cual 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 concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 1 de abril del año 2022

Atentamente,



---

Juan José Navas Villagrán

1723656995



---

Estefanía Paola Chiluiza Chávez

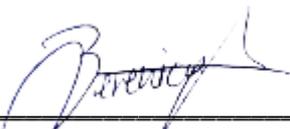
1724471543

## **CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

Yo, Johanna Berenice Arguero Tello con documento de identificación N° 1723989149, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: DISEÑO DE UN ARREGLO DE ANTENAS DIPOLO DOBLADO PARA LA BANDA DE ONDA MILIMÉTRICA, realizado por Juan José Navas Villagrán con documento de identificación N° 1723656995 y por Estefanía Paola Chiluiza Chávez con documento de identificación N° 1724471543, 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, 1 de abril del año 2022

Atentamente,



---

Ing. Johanna Berenice Arguero Tello. Msc  
1723989149

# DISEÑO DE UN ARREGLO DE ANTENAS DIPOLO DOBLADO PARA LA BANDA DE ONDA MILIMÉTRICA

Estefania Paola  
Chiluiza Chavez  
Ingeniería Electrónica  
Universidad Politécnica  
Salesiana  
Quito, Ecuador  
echiluiza@est.ups.edu.ec

Juan José  
Navas Villagrán  
Ingeniería Electrónica  
Universidad Politécnica  
Salesiana  
Quito, Ecuador  
jnavasv@est.ups.edu.ec

Johanna Berenice  
Arguero Tello  
Ingeniería Electrónica  
Universidad Politécnica  
Salesiana  
Quito, Ecuador  
jarguero@est.ups.edu.ec

**Resumen-** El artículo presenta el diseño numérico de arreglos lineales de 2, 3 y 4 antenas de dipolo doblado en la banda de ondas milimétricas a una frecuencia de 26 GHz mediante el software de simulación EMPro. Como material conductor se utilizó el cobre y como dieléctrico el sustrato FR4. Se analizaron los parámetros de desempeño como coeficiente de reflexión, relación de onda estacionaria, patrones de radiación, demostrando que el arreglo (4x1) obtuvo los mejores resultados. Con un S11 de -35.67 [dB], ancho de banda (bandwidth- BW) 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 [%], en comparación a los demás diseños.

**Palabras Claves-** Arreglo antena parche, balun, coeficiente de reflexión, dipolo plegado, directividad, ganancia, microcinta, relación de onda estacionaria.

**Abstract-** The paper presents the numerical design of linear arrays of the 2, 3 and 4 antennas of folded dipole in the millimeter wave at a frequency of 26 GHz using EMPro simulation software. Copper was used as conductive material and FR4 substrate as dielectric. Performance parameters such as reflection coefficient, standing wave ratio, radiation patterns were analysed, showing that the array (4x1) obtained the best results. S11 of -35.67 [dB], BW of 70 [MHz], VSWR or SWR of 1.03, with a gain of 5.82 [dBi], directivity of 7.99 [dBi] and radiated efficiency of 59.97 [%], compared to the other designs.

**Key Words-** balun, directivity, folded dipole, gain, microstrip, patch antenna array, reflection coefficient, and standing wave ratio.

## 1. INTRODUCCIÓN

La capacidad que teléfonos móviles consiguen acceder a internet con baja latencia, a altas velocidades de transferencia de datos, se llevara a cabo con la tecnología 5G, donde

surgen innovaciones con el uso de la banda de ondas milimétricas (mmWave) superando los 6 GHz [1]. Según la Conferencia Mundial de Radiocomunicaciones de 2019 (WRC-19) de la UIT propone establecer en un acuerdo internacional que las bandas 5G deberán estar por encima de 24 GHz [2]. En América Latina países como Brasil, Chile, Colombia, Costa Rica, México, Perú y Uruguay consideran y están a la expectativa para la subasta y uso de la banda de 26 GHz [3], dado que ofrece a cada operador una asignación en bloques para anchos de banda entre 100 a 800 MHz, enviando mayor cantidad de información, con menor alcance [4]. Las antenas idóneas para 5G son antenas impresas formadas por un parche metálico sobre un sustrato dieléctrico encima de un plano metálico [5], que demuestran una buena respuesta cuando se trabaja con bajas longitudes de onda. En [6] propone un diseño de una antena dipolo doblada microstrip a 35GHz, donde obtuvo un ancho de banda de 5GHz, por su tamaño pequeño presenta un patrón de radiación estable e impedancia amplia.

Se diseñó arreglos de dos, tres y cuatro antenas de dipolo doblado en la banda de 26 GHz, donde se caracterizaron y luego se realizó un balance de cargas, mediante un transformador de lambda cuartos. El resultado indica que el arreglo 4x1 presenta un patrón de radiación sectorial con mayor directividad y ganancia, que puede ser una alternativa efectiva para la telefonía 5G en corto alcance.

La sección II se muestra el diseño y configuración para arreglos de antenas dipolo doblado. La sección III presenta análisis de resultados obtenidos de las simulaciones para diseños y finalmente las conclusiones.

## 2. DISEÑO Y CONFIGURACIÓN

La frecuencia de diseño para las antenas 5G, tanto para la antena de dipolo doblado como para los arreglos fue a 26 GHz. El material conductor que se utilizó fue el cobre con una conductividad de  $\sigma = 5.8 \times 10^7$  [S/m] [7], colocado sobre una base dieléctrica del sustrato FR4 de vidrio epoxi con una permitividad relativa de  $\epsilon_r = 4.6$  [F/m] y una tangente de pérdidas  $\tan\delta = 0.01$  [8]. Este tipo de material es flexible dependiendo de la temperatura que sea sometido, de tal manera que al trabajar con altas frecuencias proporciona una estabilidad constante para coeficiente de reflexión, y el grosor del dieléctrico, controla la impedancia de la antena [9][10].

Para los diferentes arreglos se realizó una adaptación de impedancias entre la antena y el conector de alimentación con impedancia  $Z_c = 50 \Omega$ . Empleando un transformador de lambda cuartos, donde la impedancia es dada por la ecuación (1), permitiendo una repartición proporcional para una impedancia de entrada.

$$Z_T = \sqrt{Z_L * Z_c} \quad \text{Ec. (1)}$$

Donde:

- $Z_L$  = Impedancia de la antena o arreglo
- $Z_c$  = Impedancia del conector
- $Z_T$  = Impedancia transformador lambda curatos

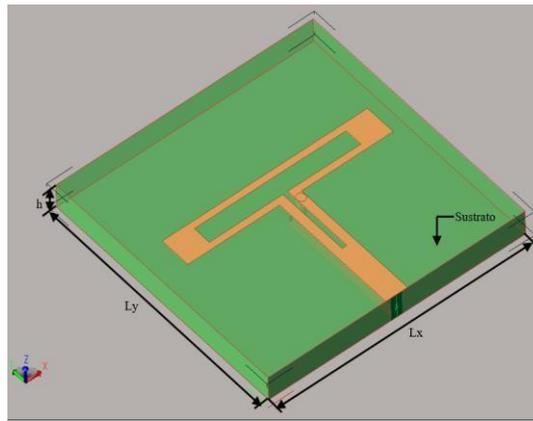
En la figura 1 se observa (a) la vista general de la antena con el sustrato FR4 y sus respectivas cotas, (b) la vista superior con las cotas de la antena dipolo doblado, la línea de transmisión del transformador de  $\lambda/4$ . En (c) la vista inferior con las cotas de la línea de transmisión puesta a tierra del transformador  $\lambda/4$  modelado en el software EMPro. Para lo cual, la longitud de la antena ( $L_{x1}$ ) debe cumplir que longitud del conductor ( $L$ ) este dentro de  $\lambda/4 \leq L \leq \lambda/2$ . La brecha de alimentación ( $s$ ) debe ser  $s < 0.02 \lambda$ . La distancia de separación ( $b$ ) entre las líneas de transmisión ( $W_{d1}$  y  $W_{d2}$ ) del dipolo doblado no debería superar  $b < 0.05 \lambda$

[6]. En la Tabla 1 se indica las medidas para la antena de dipolo doblado. La antena es conectada con una línea de transmisión balun de lambda-cuartos ( $\lambda/4$ ) [11][12], permitiendo una alimentación bifilar y proporcionando una adaptación de impedancias. La impedancia característica de la antena es determinada por la ecuación (2), con un valor de  $Z_L = 288\Omega \approx 300\Omega$ , por lo tanto, la longitud del balun es de 2.88 mm ( $L_{y1}$  y  $L_{y2}$ ) con una impedancia de  $Z_T = 122.47 \Omega$  [13][14].

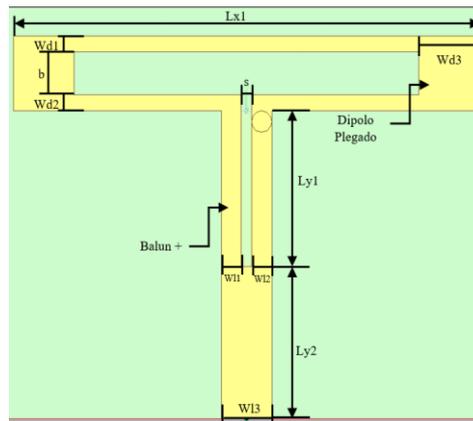
$$Z_L = 72 \left(1 + \frac{W_{d1}}{W_{d2}}\right)^2 \quad \text{Ec. (2)}$$

**Tabla 1. Medidas antena de dipolo doblado**

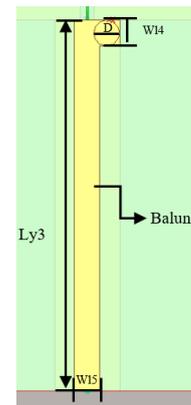
Dieléctrico		
Material		Sustrato FR4
Parámetro	Simbología	Medida [mm]
Altura	H	0.50
Longitud eje y	Ly	5.76
Longitud eje x	Lx	5.76
Antena Dipolo Doblado		
Material		Cobre
Parámetro	Simbología	Medida [mm]
Longitud eje x1	Lx1	4.60
Ancho distancia 1	Wd1	0.15
Ancho distancia 2	Wd2	0.15
Ancho distancia 3	Wd3	0.60
Separación	s	0.10
Brecha	b	4.00
Línea De Transmisión Balun +		
Material		Cobre
Parámetro	Simbología	Medida [mm]
Longitud eje y 1	Ly1	1.46
Longitud eje y 2	Ly2	1.42
Ancho longitud 1	W11	0.20
Ancho longitud 2	W12	0.20
Ancho longitud 3	W13	0.50
Línea De Transmisión Balun -		
Material		Cobre
Parámetro	Simbología	Medida [mm]
Longitud eje y3	Ly3	2.88
Ancho longitud 4	W14	0.20
Ancho longitud 5	W15	0.20
Diámetro	D	0.20



(a)



(b)



(c)

**Figura 1. Medidas de la antena de dipolo doblado.**  
(a) Vista general (b) Vista superior (c) Vista inferior

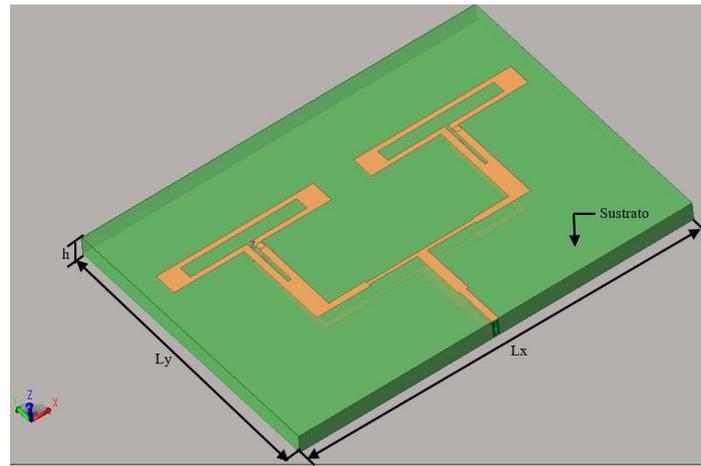
Para cada arreglo se diseña con la antena dipolo plegado, donde se incorpora un acoplador de impedancias en forma de T, modificando las dimensiones de la línea con la finalidad de tener la misma fase en cada elemento del arreglo de la antena [15].

El arreglo 2x1 está formado por dos antenas separadas a una longitud de ( $Lx1$ ), como se observa en la Figura 2. En (a) La vista general de la antena con el sustrato FR4 y sus respectivas cotas. En (b) vista superior con las cotas de la línea de transmisión positiva de microcinta. En (c) vista inferior con las cotas de la línea de transmisión negativa de microcinta. Como se indica los parámetros y dimensiones en la tabla 2.

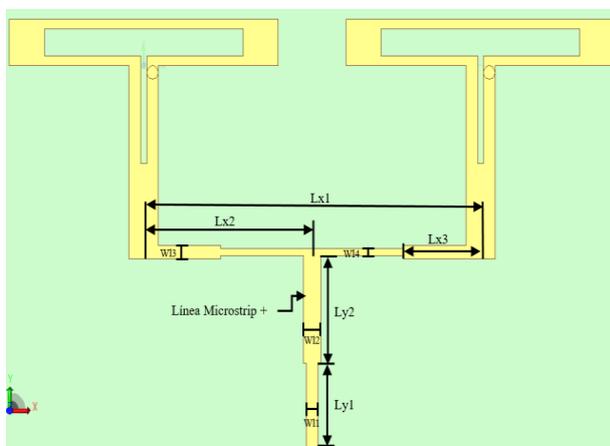
El valor de la impedancia para el arreglo (2x1) es de  $Z_L = 150\Omega$ , para lo cual se diseña el transformador con una impedancia de  $Z_T = 86.60\Omega$  con una longitud de 2.88mm ( $Ly1$  y  $Ly2$ ) con una orientación a  $90^\circ$  respecto a la fuente de alimentación.

**Tabla 2. Medidas del arreglo (2x1)**

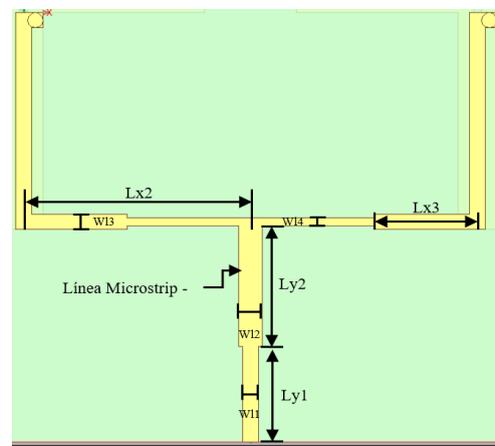
Dieléctrico		
Material		Sustrato FR4
Parámetro	Simbología	Medida [mm]
Altura	h	0.50
Longitud eje y	Ly	8.59
Longitud eje x	Lx	11.52
Línea De Transmisión +/-		
Material		Cobre
Parámetro	Simbología	Medida [mm]
Longitud eje y1	Ly1	1.27
Longitud eje y2	Ly2	1.61
Longitud eje x1	Lx1	5.76
Longitud eje x2	Lx2	2.88
Longitud eje x3	Lx3	1.316
Ancho longitud 1	W11	0.20
Ancho longitud 2	W12	0.30
Ancho longitud 3	W13	0.20
Ancho longitud 4	W14	0.10



(a)



(b)



(c)

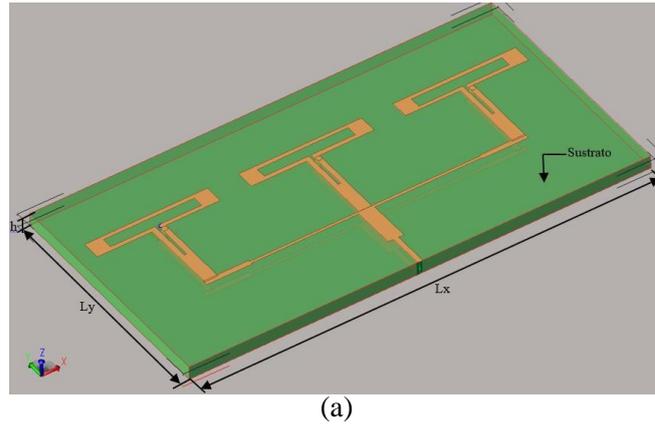
**Figura 2. Medidas del arreglo (2x1)**  
 (a) Vista general (b) Vista superior (c) Vista inferior

En la Figura 3 se muestra el arreglo de las tres antenas separadas a una longitud de ( $Lx1$  y  $Lx2$ ) respectivamente. En (a) la vista general de la antena con el sustrato FR4 y sus respectivas cotas. En (b) vista superior con las cotas de la línea de transmisión positiva de microcinta. En (c) vista inferior con las cotas de la línea de transmisión negativa de microcinta. En la tabla 3 se indica las mediciones del arreglo (3x1).

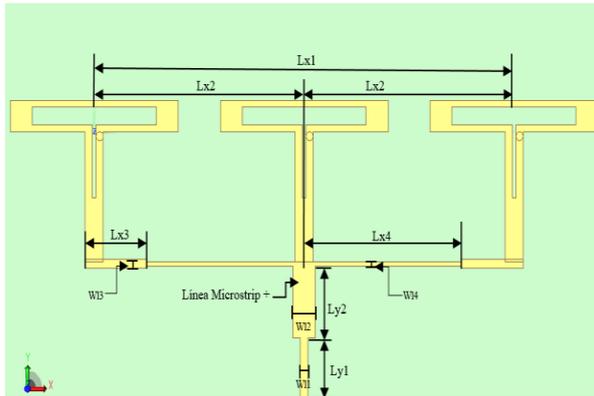
El arreglo (3x1) tiene un valor de impedancia de  $Z_L = 100 \Omega$  de esta manera se diseña el transformador a una impedancia  $Z_T = 70.71 \Omega$  con una longitud de 2.88 mm ( $Ly1$  y  $Ly2$ ) de la fuente de alimentación con una orientación a  $90^\circ$ .

**Tabla 3. Medidas del arreglo (3x1)**

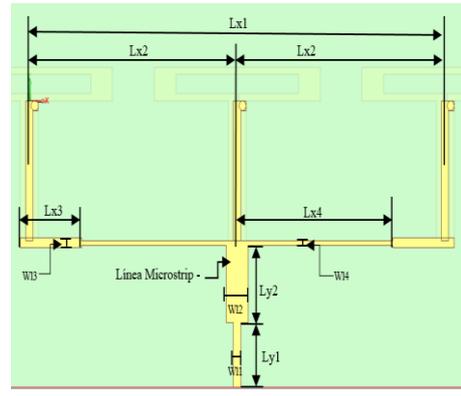
Dieléctrico		
Material		Sustrato FR4
Parámetro	Simbología	Medida [mm]
Altura	h	0.50
Longitud eje y	Ly	8.79
Longitud eje x	Lx	17.28
Línea De Trasmisión +/-		
Material		Cobre
Parámetro	Simbología	Medida [mm]
Longitud eje y1	Ly1	1.28
Longitud eje y1	Ly2	1.60
Longitud eje x1	Lx1	11.52
Longitud eje x2	Lx2	5.76
Longitud eje x3	Lx3	1.70
Longitud eje x4	Lx4	4.31
Ancho longitud 1	W11	0.20
Ancho longitud 2	W12	0.60
Ancho longitud 3	W13	0.20
Ancho longitud 4	W14	0.10



(a)



(b)



(c)

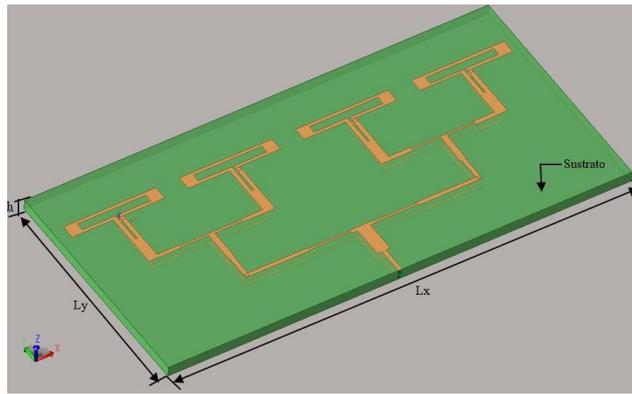
**Figura 3. Medidas del arreglo (3x1)**  
**(a) Vista general (b) Vista superior (c) Vista inferior**

Para el arreglo 4x1, en la tabla 4 se indica las mediciones del arreglo, la cual está formada por cuatro antenas, basada en dos arreglos de (2x1) separadas a una longitud de ( $Lx1$ ) respecto a la línea de transmisión de cada arreglo, como se observa en la figura 4. En(a) vista general de la antena con el sustrato FR4 y sus respectivas cotas. En la Figura 1 (b) vista superior con las cotas de la línea de transmisión positiva de microcinta. En la Figura 1 (c) vista inferior con las cotas de la línea de transmisión negativa de microcinta.

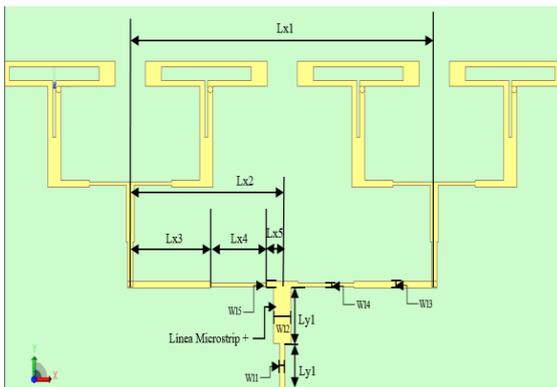
El arreglo (4x1) el valor de impedancia es de  $Z_L = 75\Omega$ , de esta manera se diseña el transformador con una impedancia  $Z_T = 61.23\Omega$  y con una longitud de 2.88mm ( $Ly1$  y  $Ly2$ ) de la fuente de alimentación con una orientación a  $(360+90)^\circ$ .

**Tabla 4. Medidas del arreglo (4x1)**

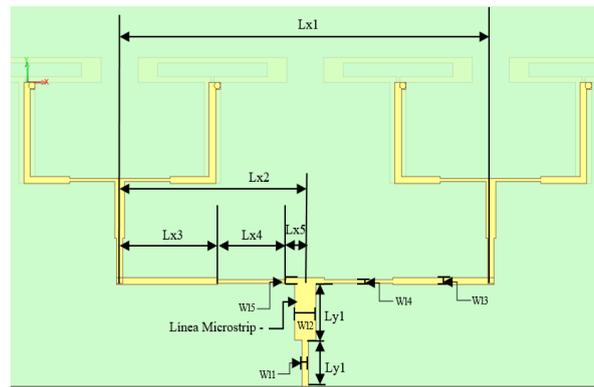
Dieléctrico		
Material		Sustrato FR4
Parámetro	Simbología	Medida [mm]
Altura	h	0.50
Longitud eje y	$Ly$	11.52
Longitud eje x	$Lx$	23.04
Línea De Transmisión +/-		
Material		Cobre
Parámetro	Simbología	Medida [mm]
Longitud eje y1	$Ly1$	1.57
Longitud eje y2	$Ly2$	1.31
Longitud eje x1	$Lx1$	11.52
Longitud eje x2	$Lx2$	5.76
Longitud eje x3	$Lx3$	3.142
Longitud eje x4	$Lx4$	2.118
Longitud eje x5	$Lx5$	0.28
Ancho longitud 1	$W11$	0.20
Ancho longitud 2	$W12$	0.64
Ancho longitud 3	$W13$	0.20
Ancho longitud 4	$W14$	0.10
Ancho longitud 5	$W15$	0.20



(a)



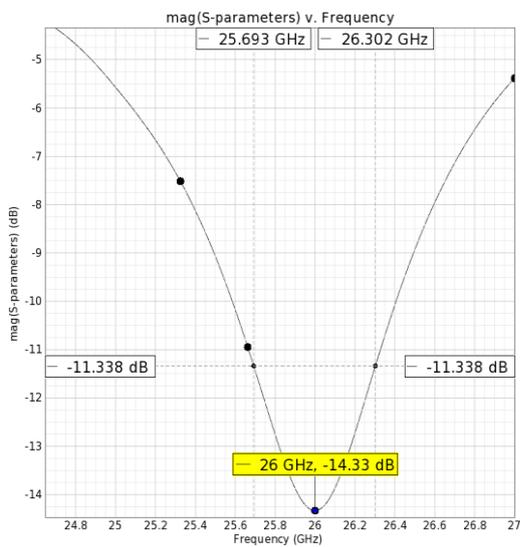
(b)



(c)

**Figura 4. Medidas del arreglo (4x1)**  
**(a) Vista general (b) Vista superior (c) Vista inferior**

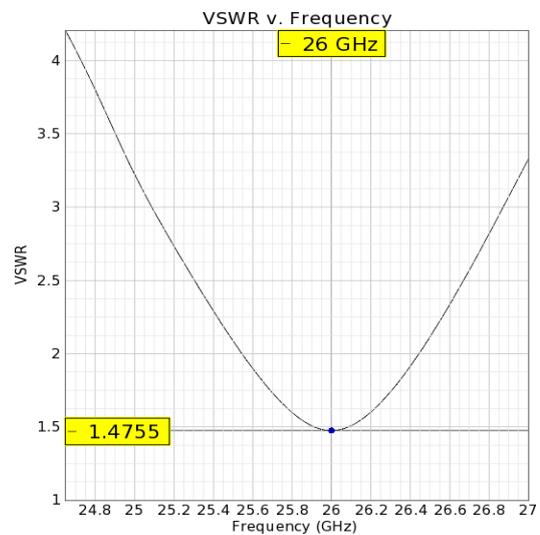
### 3. ANÁLISIS DE RESULTADOS



**Figura 5. Curva característica del parámetro S11 vs frecuencia para la antena de dipolo doblado**

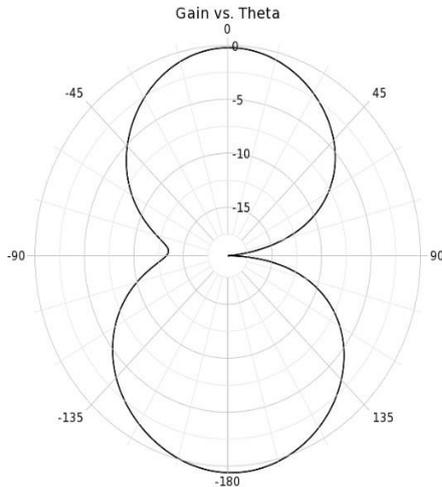
En la figura 5 se muestra la medida del parámetro S11 versus la frecuencia de resonancia para la antena de dipolo doblado a la frecuencia de 26 GHz con un valor de -

14.33 dB correspondiente al 19.20 % de la onda reflejada respecto a la onda incidente. Determinando valores adecuados de reflexión entre conector y la antena. Con un ancho de banda (bandwidth-BW) de 340 MHz.



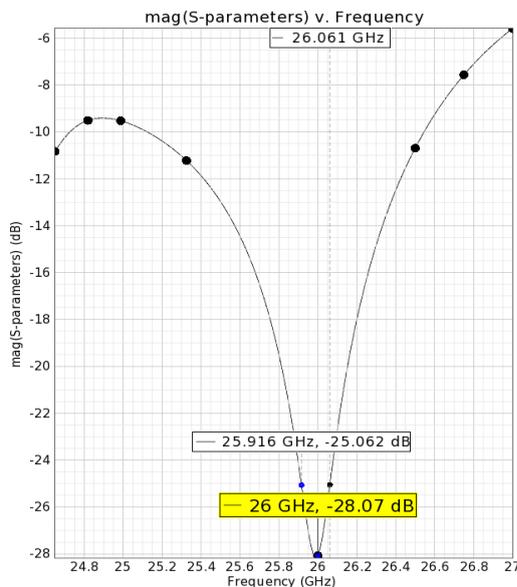
**Figura 6. Curva del parámetro VSWR vs frecuencia para la antena de dipolo doblado**

En la figura 6 se muestra la curva característica de VSWR vs barrido de frecuencia. Para la frecuencia 26 GHz, donde existe un buen acoplamiento entre la impedancia de entrada y la antena de dipolo doblado es  $\leq 2$  con un valor de 1.47.



**Figura 7. Patrón de radiación en el plano E para la antena de dipolo doblado**

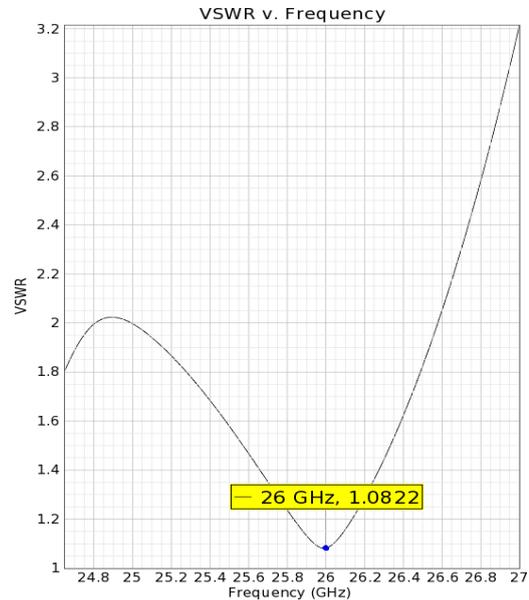
La figura 7 muestra el patrón de radiación omnidireccional que corresponde a la antena de dipolo doblado, considerando la ganancia versus la posición angular. A la frecuencia de 26 GHz se tiene una ganancia de 1.56 dBi y una directividad de 2.79 dBi, con una eficiencia de radiación 75.07 %.



**Figura 8. Curva característica del parámetro S11 vs frecuencia para el arreglo (2x1)**

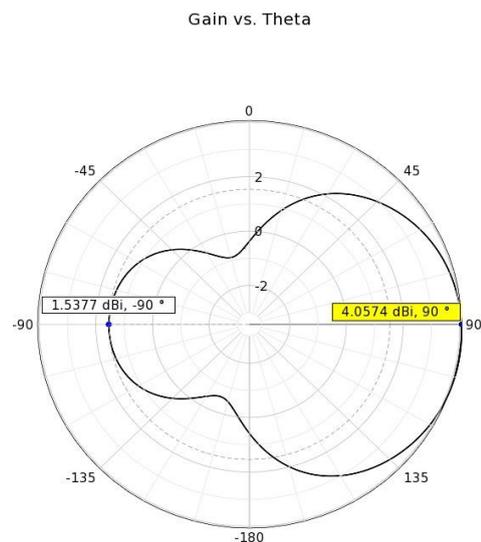
La figura 8 es la curva del parámetro S11 versus la frecuencia para el arreglo (2x1). Para la frecuencia de resonancia de 26

GHz se tiene un valor de -28.07 dB correspondiente al 3.94 % de reflexión para la línea de transmisión entre el conector y el arreglo de antenas, con un ancho de banda de 150 MHz.



**Figura 9. Curva del parámetro VSWR vs frecuencia para el arreglo (2x1)**

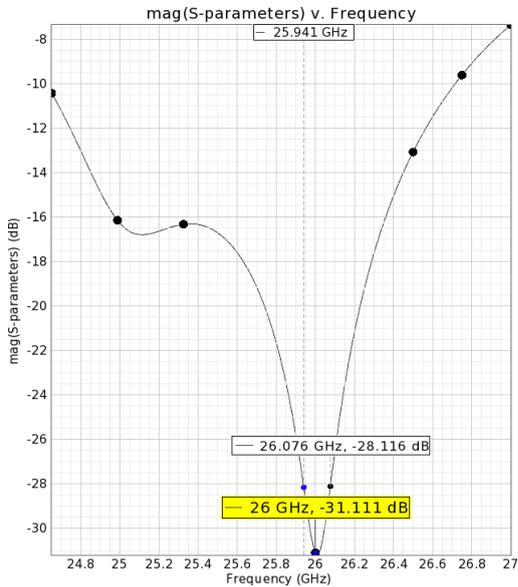
La figura 9 muestra la curva característica del parámetro VSWR versus la frecuencia para el arreglo (2x1). Con un valor de 1.08 demostrando un acople de impedancia bien implementado entre la línea de transmisión a las antenas para la frecuencia de 26 GHz.



**Figura 10. Patrón de radiación en el plano H para el arreglo (2x1)**

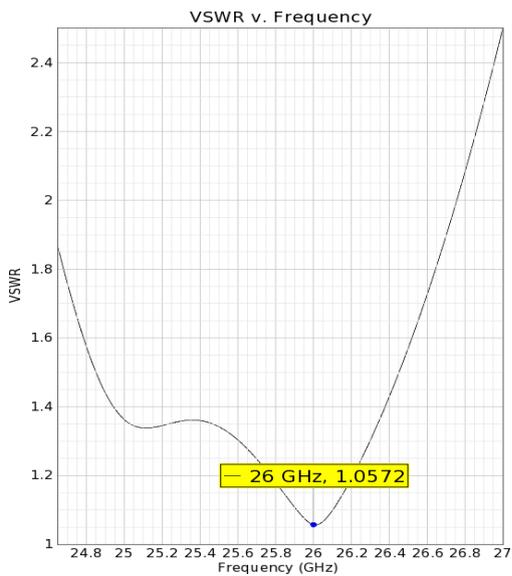
El patrón de radiación sectorial de la ganancia versus la posición angular de la figura 10 corresponde para el arreglo (2x1)

donde se muestra la máxima dirección a  $90^\circ$  con una ganancia de 4.05 dBi y una directividad de 5.70 dBi. La relación frente espalda tiene un valor de 2.52 dB con una eficiencia radiada de 68.78 %.



**Figura 11. Curva característica del parámetro S11 vs frecuencia para el arreglo (3x1)**

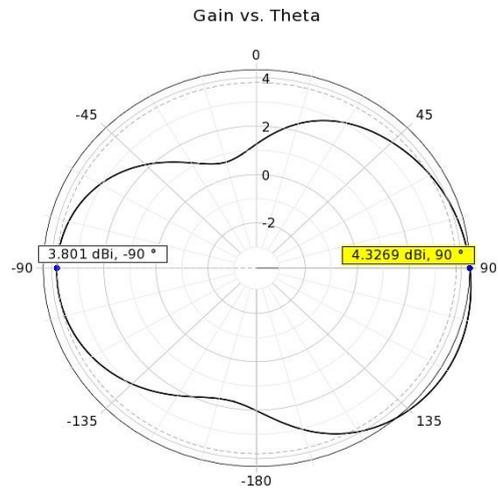
En la curva característica del parámetro S11 versus la frecuencia mostrada en la figura 11 para el arreglo (3x1), tiene un valor de -31.11 dB correspondiente al 2.78 % de voltaje reflejado a 26 GHz. Con un ancho de banda de 130 MHz.



**Figura 12. Curva del parámetro VSWR vs frecuencia para el arreglo (3x1)**

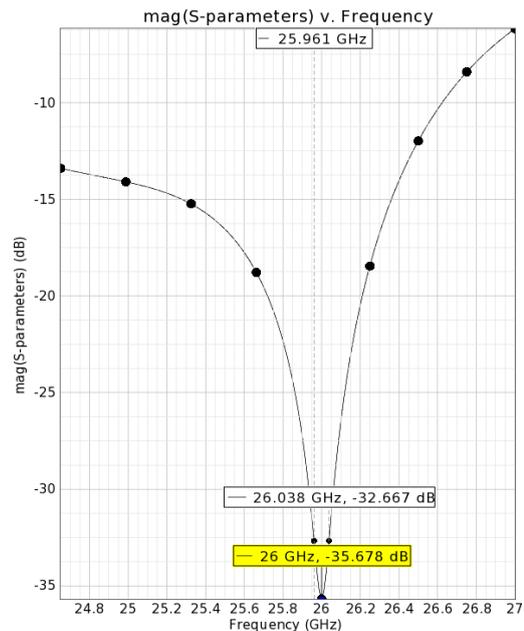
En la curva característica de la figura 12 para el arreglo (3x1) se tiene el parámetro

VSWR vs intervalos de frecuencia, para la resonancia de 26 GHz con un valor para el acople de impedancias de 1.05 demostrando una adecuada implementado entre la línea de transmisión a la antena.



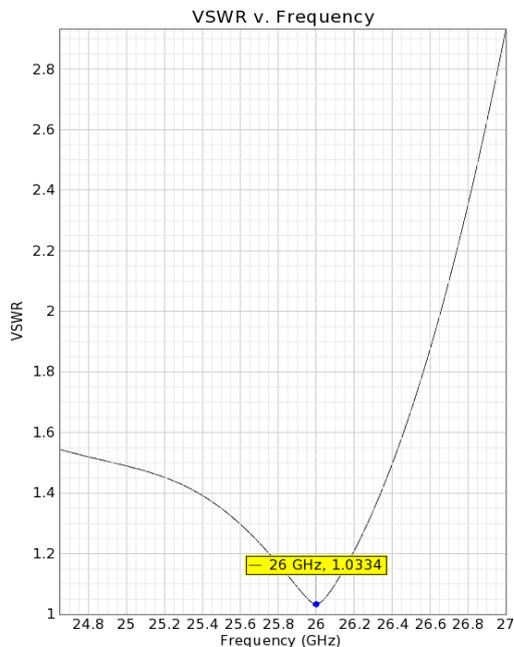
**Figura 13. Patrón de radiación en el plano H arreglo (3x1)**

El patrón de radiación de la ganancia versus la posición angular para el arreglo (3x1), es mostrado en la figura 13 en la máxima dirección a  $90^\circ$ . Tiene un valor de 4.32 dBi y una directividad de 6.20 dBi. Con una relación frente espalda de 0.52 dB y una eficiencia de radiación de 68.53 % donde se observa un patrón casi-omnidireccional.



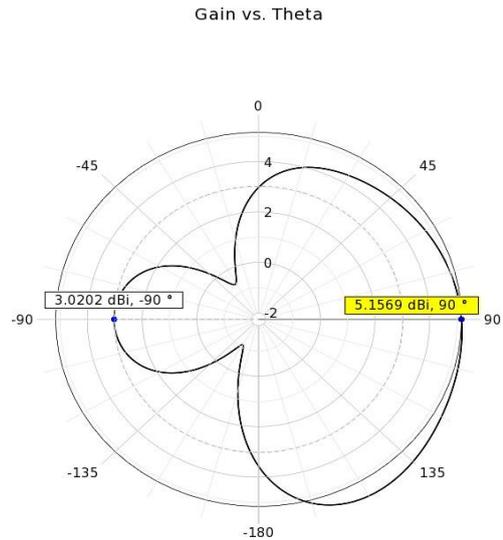
**Figura 14. Curva característica del parámetro S11 vs frecuencia para el arreglo (4x1)**

La figura 14 muestra la curva característica del parámetro S11 versus la frecuencia para el arreglo (4x1), siendo la mejor respuesta para la frecuencia de 26 GHz, con un valor de -35.67 dB, con un porcentaje de reflexión correspondiente al 1.64 % denotando que la relación de la onda reflejada y el incidente hacia las antenas es mejorada, aunque con un BW de 70 MHz.



**Figura 15. Curva del parámetro VSWR vs frecuencia para el arreglo (4x1)**

La curva característica del parámetro VSWR vs la frecuencia que se muestra en la figura 15 para el arreglo (4x1). Tiene un valor de 1.03 en la resonancia de los 26 GHz. Para el arreglo se perfecciona el acople de la impedancia de entrada hacia las líneas alimentación de cada antena.



**Figura 16. Patrón de radiación en el plano H para el arreglo (4x1)**

La figura 16 muestra la ganancia versus la posición angular para un patrón de radiación sectorial con una máxima dirección a 90° para el arreglo para el arreglo (4x1). Con la ganancia de 5.15 dBi y una directividad de 7.99 dBi. Donde se observa un aumento significativo de la directividad. Para una relación frente espalda de 2.13, sin embargo, presenta una eficiencia de radiación menor cercano al 59.95 %, debido al coeficiente de expansión térmica que entre más número de antenas se agrega a un arreglo la temperatura aumenta y el cobre pierde parte de la potencia radiada trabajando a altas frecuencias por su conductividad a la frecuencia de 26 GHz [16].

**Tabla 5. Datos generales de la antena y arreglos**

Diseño	S11 [dB]	BW [MHz]	VSWR	Ganancia [dBi]	Directividad [dBi]	Relación Frente/Espalda [dB]	Eficiencia de radiación [%]
Dipolo Doblado	-14.33	340	1.47	1.56	2.79	-	75.07
Arreglo (2x1)	-28.07	150	1.08	4.05	5.70	2.52	68.78
Arreglo (3x1)	-31.11	130	1.05	4.32	6.20	0.52	68.53
Arreglo (4x1)	-35.67	70	1.03	5.15	7.99	2.13	59.97

En la Tabla 5 se muestra los datos recopilados de los diseños. Donde el arreglo (4x1) demuestra un aumento en el parámetro del coeficiente de reflexión S11 de -35.67 dB, superando por la diferencia de -21.34 dB a la antena de dipolo doblado, con -7.6 dB al

arreglo (2x1) y con -4.56 dB al arreglo (3x1). Mientras que el arreglo (4x1) presenta un menor ancho de banda de 70 MHz que los otros arreglos. Se mejora  $VSWR \leq 2$  para el arreglo (4x1) con ayuda del transformador

de  $\lambda/4$  obteniendo el valor más bajo con un valor de 1.03.

Algo similar ocurre con el patrón de radiación donde se obtiene una mayor ganancia, directividad, relación frente espalda con el arreglo (4x1) con valores de 5.15 dBi, 7.99 dBi, 2.13 dB respectivamente superando al arreglo (3x1) con una diferencia de 1.24 dBi para la ganancia, 1.79 dBi en la directividad, 1.61dB en la relación frente espalda. Sin embargo, presenta una baja eficiencia del 59.97 % en comparación a una sola antena de dipolo doblado, es debido al coeficiente de expansión térmica que entre más número de antenas se agrega a un arreglo la temperatura aumenta y el cobre pierde parte de la potencia radiada trabajando a altas frecuencias por su conductividad [16].

#### 4. CONCLUSIÓN

El arreglo (4x1) presenta los mejores resultados en comparación de la antena original de dipolo doblado y de los arreglos (2x1), (3x1) a 26 GHz. Donde se obtuvo un S11 de -35.67 dB que corresponde a 1.64 % del voltaje reflejado, con un ancho de banda de 70 MHz. Un VSWR  $\leq 2$  de 1.03 denotando el apropiado acople de impedancias entre la línea de transmisión y el arreglo de antenas reduciendo el desfase de la señal ingresada y la señal que se refleja. El patrón de radiación para el arreglo 4x1 en su máxima dirección a 90° alcanzó una relación frente espalda de 2.13 dB, con una ganancia de 5.15 dBi y una directividad de 7.99 dBi. Con una eficiencia de radiación de 59.95 %, deduciendo que el 40.05 % de la potencia se disipa, debido a que la antena metálica presenta dificultades de conductividad en el cobre a altas frecuencia causando pérdidas de propagación [17].

#### 5. REFERENCIAS

[1] J. López, “Banda milimétrica (mmWave): qué es y por qué este es el 5G tan rápido como la fibra óptica que nos han prometido las operadoras,” Mar. 19, 2020. <https://www.xataka.com/moviles/banda-milimetrica-mmwave-que-este-5g-rapido-como-fibra-optica-que-nos-han-prometido-operadoras>

(accessed Jan. 04, 2022).

[2] GSMA, “Espectro 5G Posición de política pública de la GSMA,” pp. 17–19, 2019, doi: 10.1787/9789264307094-3-es.

[3] 2020 5G Americas, “UNDERSTANDING MMWAVE SPECTRUM FOR 5G NETWORKS,” pp. 8–12, 2020.

[4] J. García, “El 5G mmWave está un poquito más cerca: el Gobierno fecha la subasta de la banda de 26 GHz en la segunda mitad de 2022,” Dec. 23, 2021. <https://www.xataka.com/servicios/5g-mmwave-esta-poquito-cerca-gobierno-fecha-subasta-banda-26-ghz-segunda-mitad-2022> (accessed Jan. 18, 2022).

[5] V. Martínez, “Antenas integradas para terminales móviles de tercera generación.,” 2003.

[6] G. Hua, C. Yang, P. Lu, H. Zhou, and W. Hong, “Microstrip Folded Dipole Antenna for 35 GHz MMW Communication,” vol. 2013, 2013.

[7] B. RODRIGUEZ, “DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UNA ANTENA MICROSTRIP DE RANGO DE OPERACIÓN DE SUPER ALTAS FRECUENCIA (3.5 GHz a 6 GHz) PARA LA EVALUACIÓN DE LA TASA DE ABSORCIÓN ESPECIFICA EN TEJIDOS HUMANOS.,” 2019.

[8] C.I.F, “F Data SheetR,” p. 23.

[9] PCBMay, “La guía del FR-4 en sus placas de circuito impreso | PCB Mayo.” <https://www.pcbmay.com/es/pcb-fr4/> (accessed Dec. 31, 2021).

[10] N. Nachabe et al., “Low-Cost Wide-Band V-Band Patch Antenna on FR4 PCB,” 2018 IEEE Antennas Propag. Soc. Int. Symp. Usn. Natl. Radio Sci. Meet. APSURSI 2018 - Proc., pp. 1691–1692, 2018, doi: 10.1109/APUSNCURSINRSM.2018.8609267.

[11] E. LADINO, “DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UNA ANTENA EN FRECUENCIA DE MICROONDAS PARA LA PROYECCIÓN DE UN RADIOENLACE ENTRE LA

- UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA Y LA UNIVERSIDAD DE LOS ANDES,” 2018.
- [12] J. Omar and V. Sardiñas, “RECOMENDACIONES PARA CORREGIR LAS DEFICIENCIAS EN LOS SISTEMAS DE TELEVISIÓN RECEPTORES RECOMMENDATIONS TO CORRECT THEM,” pp. 1–13.
- [13] C. A. Balanis and T. Selvan, “Antenna theory: Analysis and design,” no. 4, p. 274, 2016.
- [14] “Antenas de RF. Dipolo. Impedancia de antena,” 2005. <http://www.sapiensman.com/electrotecnia/antenas1.htm> (accessed Dec. 31, 2021).
- [15] T. F. De Grado, “DISEÑO DE UN ARRAY DE RANURAS MULTICAPA EN TECNOLOGÍA GAP WAVEGUIDE,” 2018.
- [16] C. A. Balanis et al., *Microondas y recepción satelital*, vol. 125, no. 3. 1999.
- [17] I. Llatser et al., “Characterization of graphene-based nano-antennas in the terahertz band,” *Proc. 6th Eur. Conf. Antennas Propagation, EuCAP 2012*, pp. 194–198, 2012, doi: 10.1109/EuCAP.2012.6206598.