



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA  
SEDE QUITO**

**CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**COMPARACIÓN DE ARREGLOS DE ANTENAS DIPOLO Y DIPOLO DOBLADA EN  
BANDA DE ONDA MILIMÉTRICA.**

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

AUTOR: Kevin Andrés Jácome Guerra

TUTOR: Lenin Wladimir Aucatoma Guamán

Quito-Ecuador  
2023

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

Yo, Kevin Andrés Jácome Guerra con documento de identificación No. 1722767512 manifiesto que:

Soy el autor 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, 03 de marzo del año 2023

Atentamente,



---

Kevin Andrés Jácome Guerra  
1722767512

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

Yo, Kevin Andrés Jácome Guerra con documento de identificación No. 1722767512, 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 el autor del artículo académico: “Comparación de arreglos de antenas dipolo y dipolo doblada en banda de onda milimétrica”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Electrónico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

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

Quito, 03 de marzo del año 2023

Atentamente,



---

Kevin Andrés Jácome Guerra

1722767512

## CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Lenin Wladimir Aucatoma Guamán con documento de identificación No. 1717985830, docente de la Universidad Politécnica Salesiana declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: COMPARACIÓN DE ARREGLOS DE ANTENAS DIPOLO Y DIPOLO DOBLADA EN BANDA DE ONDA MILIMÉTRICA, realizado por Kevin Andrés Jácome Guerra con documento de identificación No. 1722767512, 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, 03 de marzo del año 2023

Atentamente,



---

Ing. Lenin Wladimir Aucatoma Guamán, MSc  
1717985830

## **DEDICATORIA**

El presente artículo académico se lo dedico principalmente a mi abuela María Caíza, quien siempre me apoyo para cumplir mi meta y apoyarme en todo momento.

A mis padres quienes me supieron aconsejar en el momento que más los necesitaba.

Y finalmente, dedico este trabajo a las personas que me acompañaron con sus palabras y me dieron los mejores deseos para culminar mis estudios.

Kevin Andrés Jácome Guerra

**AGRADECIMIENTO**

Agradezco a mis familiares quienes me acompañaron y vieron lo que he realizado durante toda la etapa para cumplir mi sueño de ser un profesional.

A todos los docentes que con su conocimiento me dieron el interés y las destrezas para forjarme como profesional y como ser humano.

Kevin Andrés Jácome Guerra

# COMPARACIÓN DE ARREGLOS DE ANTENAS DIPOLO Y DIPOLO DOBLADA EN BANDA DE ONDA MILIMÉTRICA

Kevin Andrés Jácome Guerra y Lenin Wladimir Aucatoma Guamán

<sup>1</sup> Universidad Politécnica Salesiana, Quito, ECUADOR

kjacomeg@est.ups.edu.ec

Docente Universidad Politécnica Salesiana, Quito, ECUADOR

laucatoma@ups.edu.ec

**Resumen.** *En este artículo se detalla la comparación entre una antena dipolo con una antena dipolo doblada mostrando la diferencia entre el coeficiente de reflexión VSMR y el diagrama de radiación en la banda de onda milimétrica para ello se analizará el comportamiento de ambas antenas identificando las características de los sistemas radiantes en la banda de onda milimétrica mediante simulaciones en el software ANSYS a una determinada frecuencia de resonancia, mediante el diseño y análisis de los parámetros de dispersión se propone demostrar que a mayor número de antenas el diagrama de radiación es más directivo comparado con una antena simple, se debe tomar en cuenta parámetros como el material del que está hecha la antena para saber cuál tiene una mayor conductividad y genera el menor número de pérdidas.*

**Palabras clave:** ANSYS, Onda milimétrica, Antena dipolo, Parámetros de dispersión.

**Abstract.** *This article details the comparison between a dipole antenna with a bent antenna showing the difference between the reflection coefficient VSMR and the radiation pattern in the millimeter wave band for this will analyze the behavior of both antennas identifying characteristics of radiating systems in the millimeter wave band through simulations in ANSYS software at a certain resonance frequency, by means of the design and analysis of the dispersion parameters it is proposed to show that the greater the number of antennas the radiation pattern is more directive compared to a simple antenna, it must take into account parameters such as the material of which the antenna is made to know which has a higher conductivity and generates the lowest number of losses.*

**Keywords:** ANSYS, Millimeter wave, Antenna dipole, Dispersion parameters.

## 1 INTRODUCCIÓN

En la actualidad tener una conectividad masiva es muy útil, pero para lograr este objetivo es necesario tener una gran velocidad y ancho de banda siendo las frecuencias de onda milimétrica capaces de transmitir datos de 30 a 300 GHz normalmente por lo que es necesario diseñar antenas compactas capaces de mejorar la capacidad y calidad de los servicios de comunicación [1]. Las antenas dipolo son de las más usadas debido a su facilidad de construcción y al hecho de que son capaces de recibir una señal balanceada, por lo general consisten en un hilo recto y un generador colocado en el centro con una tensión reducida y una intensidad elevada por lo contrario en los extremos del dipolo se tiene una tensión alta y una intensidad nula, con esto se logra tener una mayor ganancia y rigidez mecánica [2].

Para la mejora de las características en las antenas es recomendable modificar sus parámetros utilizando arreglos dependiendo de la aplicación que se le vaya a dar, ya que un arreglo es una antena compuesta por varios elementos radiadores que permitan conseguir una mayor directividad en su radiación para hacer la transmisión y recepción de la señal con mayor efectividad y mejor ganancia [3].

Las antenas dipolo comúnmente se utilizan en patrones de radiación omnidireccionales que tienen una ganancia muy pequeña, por lo que es complicado su uso en algunos sistemas de comunicaciones [4]. Por lo tanto, el uso de varios dipolos en paralelo dentro de un arreglo se hace necesario para lograr un mayor nivel de ganancia y directividad. [5] Ya que al incrementar la ganancia es posible reducir la potencia de transmisión sin afectar el nivel de la señal, y con esto se logra un mejor desempeño en los sistemas de comunicaciones [6]. Para los arreglos de antenas dipolo doblada se trabajará con las mismas características que una antena dipolo simple teniendo en cuenta una frecuencia de 60 GHz constante en todas las antenas y con un material de acero inoxidable pues la investigación se centra en

buscar que antena es mejor al instante de hacer una comparación entre ellas según el parámetro S11 y VSWR [7].

## 2 DISEÑO DE LAS ANTENAS

### 2.1 ANTENA DIPOLO

En la Fig. 1 se presenta el diseño de la antena dipolo que se realizó para luego implementarlo en los arreglos lineales, su composición comprende de 2 hilos rectos "L", su radio "R" y un generador de alimentación "G".

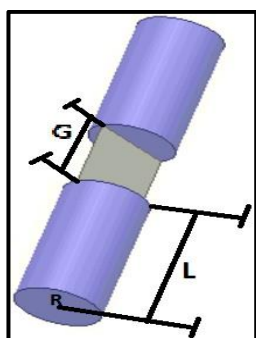


Fig. 1. Diseño propuesto de antena dipolo

Se realizó el modelamiento de la antena dipolo con una frecuencia de resonancia de 60 [GHz] y una impedancia característica de  $73\Omega$ . Su longitud de onda utiliza la fórmula:

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

Sus hilos rectos se calcularon utilizando la fórmula:

$$L = \frac{\lambda - 2G}{4} \quad (2)$$

Para el cálculo de radio fue utilizado la fórmula:

$$R = 0.0005\lambda \quad (3)$$

Entre los hilos conductores se encuentra el generador de alimentación y su respectiva fórmula para encontrar su valor se necesita del radio como se muestra en la fórmula:

$$G = Re^{\frac{|Z_o|}{120}} \quad (4)$$

Donde:

$|Z_o|$  = Impedancia de la línea de transmisión

Con las ecuaciones anteriormente dichas al momento de la simulación en el software ANSYS HFSS no se obtuvo la frecuencia de resonancia por lo cual se decidió realizar modificaciones para obtener la

frecuencia requerida de forma experimental, descritos en la Tabla 1, utilizando como material el acero inoxidable pues este presenta mejor conductividad, y características entre metales, además de mínimas pérdidas siendo utilizado para los hilos conductores y aire para el dieléctrico en el espacio.

Tabla 1. Dimensiones de la antena dipolo propuesta

AISLANTE	Aire
MATERIAL CONDUCTOR	Acero Inoxidable
FRECUENCIA OBTENIDA [GHz]	60
LAMBDA [mm]	5
LONGITUD DEL HILO CONDUCTOR L [mm]	0.8222
RADIO R [mm]	0.227
GAP G [mm]	0.4276

Para el uso de los arreglos 2x1 se utilizó un arreglo lineal, este tipo de arreglo tiene una alta directividad y está compuesta del mismo tipo de antena donde su alimentación de la señal es igual para todas las antenas, al momento de incrementar la distancia entre las antenas hace que su haz central se haga más estrecho y también hace que aparezcan más números de lóbulos laterales.

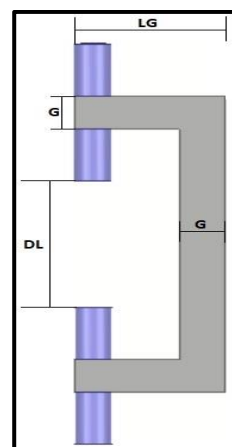


Fig. 2. Dimensiones y modelamiento para la antena dipolo con arreglos 2x1

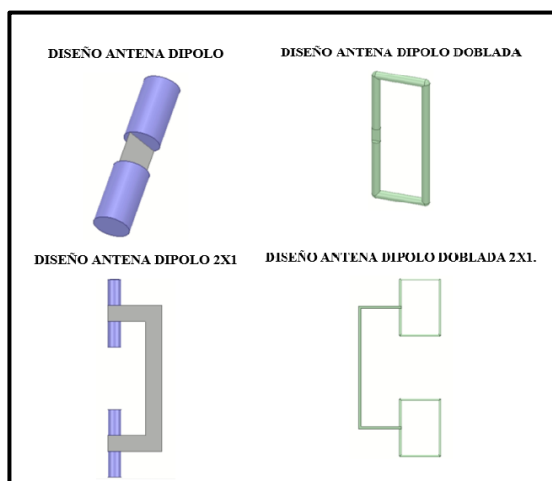
En la Fig. 2, se puede visualizar el diseño que se implementó para la simulación del arreglo lineal 2x1. Donde la distancia entre las antenas es en forma paralela y su denominación es "DL", el ancho del generador de alimentación continúa siendo "G" y su separación de la antena tiene su denominación con "LG". Lo parámetros de esta antena se describen en la Tabla 2.



**Tabla 2.** Dimensiones de la antena dipolo 2x1 propuesta

<b>AISLANTE</b>	Aire
<b>MATERIAL CONDUCTOR</b>	Acero Inoxidable
<b>FRECUENCIA OBTENIDA [GHz]</b>	60
<b>LAMBDA [mm]</b>	5
<b>LONGITUD DEL HILO</b>	0.787
<b>CONDUCTOR L [mm]</b>	
<b>DISTANCIA ENTRE ANTENAS DL [mm]</b>	1.928
<b>SEPARACION ENTRE EL HILO Y EL GAP LG [mm]</b>	1.638
<b>RADIO R [mm]</b>	0.194
<b>GAP G [mm]</b>	0.498

Como se muestra en la Fig. 3 se propone indicar que arreglo es capaz de generar una mejor directividad teniendo en cuenta la frecuencia en que se trabaja y las características de diseño de cada una observando el impacto que se puede producir sobre los parámetros de dispersión además del patrón de radiación.

**Fig. 3.** Diseño de las antenas dipolo y dipolo doblada.

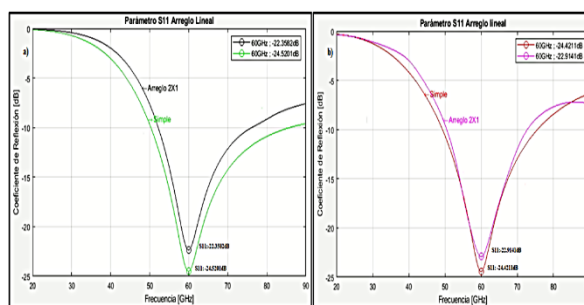
El dipolo doblado es una derivación del dipolo con la diferencia que presenta una mayor impedancia, en la Tabla 3 se indica el material y las características para los arreglos de antena con dipolo doblada y doblada 2x1 según el modelamiento realizado en la simulación destacando las distintas medidas de diseño para una frecuencia de resonancia de 60 GHz.

**Tabla 3.** Dimensiones de la antena dipolo doblada y 2x1 propuesta

<b>AISLANTE</b>	Aire	Aire
<b>MATERIAL CONDUCTOR</b>	Acero	Acero
<b>FRECUENCIA OBTENIDA [GHz]</b>	Inoxidable	Inoxidable
<b>LAMBDA [mm]</b>	60	60
<b>LONGITUD DEL HILO</b>	5	5
<b>CONDUCTOR L [mm]</b>	0.921	0.892
<b>GAP G [mm]</b>	0.23	0.074
<b>S [mm]</b>	0.6	1.2

### 3 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Para el análisis de cada arreglo se procede a presentar los resultados adquiridos mediante la simulación en el software ANSYS, el comportamiento del arreglo lineal se muestra para un dipolo y dipolo doblada para el parámetro S11 como se observa en la Fig. 4, cabe mencionar que un arreglo es una antena compuesta por varios elementos radiadores idénticos y ordenados, la frecuencia de resonancia en la que se trabaja es de 60 GHz esta frecuencia será utilizada para todas las antenas, para mejorar los valores para S11 deben estar bajo los -15 dB siendo aquel valor que este por debajo de este el más idóneo, el comportamiento del coeficiente de reflexión es decreciente hasta llegar a la frecuencia que se está utilizando sin embargo después de esto empieza a crecer.

**Fig. 4.** Resultado S11 a) DIPOLO, 2x1 y b) DIPOLO DOBLADA, 2x1

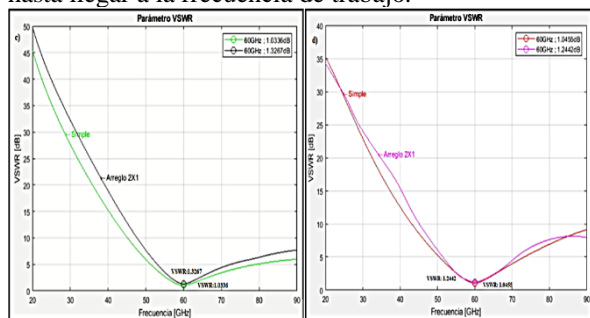
Los resultados para S11 muestran que la antena de dipolo en comparación a la doblada indican un desfase del 0.40% respecto una de la otra y la que presenta un mejor coeficiente de reflexión siendo este de -24.5201 dB estando por debajo de los -15 dB el cual es un indicativo de tener bajas pérdidas por retorno y para las antenas de dipolo de 2x1 se muestra un desfase de

2.48% siendo la que presenta un mejor coeficiente la doblada con  $-22.9141\text{dB}$  al tener las mismas frecuencias de resonancia los valores en el eje x están predispuestos a caer en el mismo punto sin embargo el coeficiente ira teniendo una variación dependiendo de los parámetros de la antena y el material que se esté utilizando como se indica en la Tabla 4.

**Tabla 4.** Resultados obtenidos para el coeficiente de reflexión  $S_{11}$ .

Antena	Coefficiente de reflexión [dB]
Dipolo	-24,5201
Dipolo Doblado	-24,4211
Dipolo 2x1	-22,3582
Dipolo Doblado 2x1	-22,9141

Los resultados obtenidos para VSWR teniendo en cuenta que este parámetro relaciona directamente las ondas estacionarias de voltaje transmitidas y reflejadas en una frecuencia que para este caso es de 60 GHz donde su rango de valores debe estar en un intervalo adimensional entre 1 y 1.5 para ser admisible y considerado un buen valor de calidad de servicio, como se muestra en la Fig. 5 las antenas dipolo como dipolo doblada trabajan a una sola frecuencia siendo el VSWR sujeto de cambio, su comportamiento presenta una curva decreciente a medida que la frecuencia aumenta hasta llegar a la frecuencia de trabajo.



**Fig. 5.** Resultado VSWR DIPOLO, 2x1 y DIPOLO DOBLADA SIMPLE, 2x1.

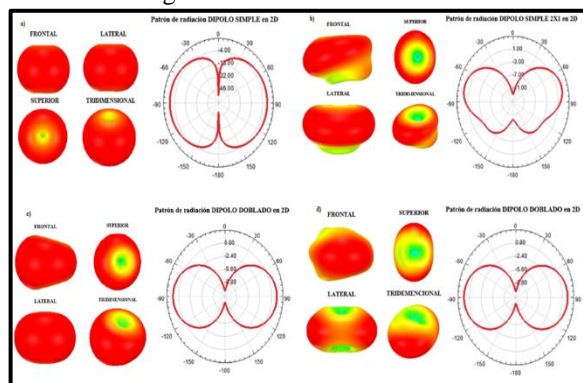
En la tabla 5 se indican los valores recogidos para cada arreglo de antena una vez simulado y ajustado los parámetros para las dimensiones de cada antena y sabiendo cual es el material a usarse, al comparar la antena dipolo con la dipolo doblada se obtiene un desfase de 1.15 % con un valor de 1.0336 se puede decir que la antena dipolo esta más cercana al valor de 1 siendo un indicativo de una transmisión de energía eficaz lo que quiere decir que es capaz de tener un buen acople así también sucede con la antena de dipolo

doblada 2x1 con un desfase de 6.63% y un valor de 1.2442 .

**Tabla 5.** Resultados obtenidos para VSWR.

Antena	VSWR
Dipolo	1,0336
Dipolo Doblada	1,0455
Dipolo 2x1	1,3267
Dipolo Doblada 2x1	1,2442

Posterior a el análisis de los parámetros  $S_{11}$  y VSWR se indica el patrón de radiación y ganancia que genera cada antena, las antenas dipolo desarrolladas se consideran como antenas simétricas ya que su alimentación se ubica en la mitad de la antena, lo cual causa que el campo magnético tenga su origen por la circulación de la corriente en el dipolo y alrededor del conductor en determinados instantes de tiempo, con la formación de valores máximos, mínimos y cero. Esto genera ondas viajeras de campo magnético que viajan en direcciones opuestas y normales al dipolo, pero distribuidas en un plano perpendicular al campo eléctrico y en fase con el otro campo por esto siempre se va a tener un patrón de simetría tipo espejo como se indica en la Fig. 6.



**Fig. 6.** Patrón de radiación en 2D y 3D para una antena dipolo y dipolo doblada.

El patrón de radiación para una antena dipolo siempre van a formar 2 lóbulos simétricos entre si sin embargo con la frecuencia de resonancia indicada se puede notar que la radiación que emiten es distinta y a diferentes dB por lo que el escoger una antena adecuada dependerá mucho de la aplicación que se le vaya a dar.

**Tabla 6.** Patrón de Radiación y ángulos máximos y mínimos por antena

Antena	[dB]	ángulo máx.	ángulo min.
<b>Dipolo</b>	-4	-90 a 90	-180 a 0
<b>Dipolo Doblada</b>	0,8	-90 a 90	-180 a 0
<b>Dipolo 2x1</b>	1	-70 a 70	-180 a 0
<b>Dipolo Doblada 2x1</b>	2,8	-90 a 90	-180 a 0

En la Tabla 6 se indica los valores obtenidos por la simulación con respecto a los patrones de radiación de cada antena se nota que casi todos los modelos presentan una directividad máxima de  $-90^\circ$  a  $90^\circ$  en  $-180^\circ$  a  $0^\circ$  del plano, al hacer una comparación entre los dipolos y dipolo doblada se observa que estos mantienen una simetría aunque la radiación varía pero las antenas dipolo 2x1 tanto simple como doblada se dispersan de forma asimétrica para este caso la antena que tiene una mejor distribución es la dipolo simple.

#### 4 CONCLUSIONES

Al trabajar con una sola frecuencia y material conductor (acero inoxidable) los diámetros de las antenas van variando ajustándose a la frecuencia requerida por los parámetros S11 y VSWR estos fueron comparados respecto al tipo de antena sea dipolo o dipolo doblada, siendo la antena dipolo aquella que indica tener un buen acoplamiento y presenta bajas pérdidas con un desfase de 0.40% con respecto al parámetro S11 y de 1.15% con respecto al parámetro VSWR. Además el patrón de radiación indica que la antena dipolo presenta una mejor dispersión siendo esta más directiva.

Al realizar el diseño de cada antena se observó que obtuvieron valores muy cercanos tanto en su coeficiente de reflexión como en VSWR usando como material el acero inoxidable mismo que es capaz de reducir o mantener un tamaño pequeño debido a su buena resistencia y bajo peso. Los parámetros de directividad y ganancia en la antena dipolo simple muestra una mayor distribución pues tiene una intensidad de radiación simétrica con respecto a las antenas dipolo dobladas.

#### REFERENCIAS

- [1] N. Luo, L. Zhang, S.-W. Wong, W. He, and Y. He, "Dual-Band and Tri-Band Parasitic Dipole Antennas for Wearable Applications."
- [2] H. Zhang, Y. C. Jiao, and Z. Weng, "A Novel Dual-Wideband Directional Dipole Antenna with Double Reflecting Floors," *IEEE Antennas Wirel Propag Lett*, vol. 16, pp. 1941–1944, 2017, doi: 10.1109/LAWP.2017.2689758.
- [3] W. Di, Y. Yingzeng, G. Minjun, and S. Renqiang, "2005 IEEE International Symposium on Microwave, Antenna, Propagation and EMC Technologies for Wireless Communications Proceedings WIDEBAND DIPOLE ANTENNA FOR 3G BASE STATIONS."
- [4] Z. Wang, J. Wu, Y. Yin, and X. Liu, "A broadband dual-element folded dipole antenna with a reflector," *IEEE Antennas Wirel Propag Lett*, vol. 13, pp. 750–753, 2014, doi: 10.1109/LAWP.2014.2315836.
- [5] K.-W. Yang, F.-S. Zhang, and C. Li, "Design of a Novel Wideband Printed Dipole Array Antenna."
- [6] Y. Sun, Y. He, W. He, L. Zhang, and S. W. Wong, "A Wideband Circularly Polarized Cross-Dipole Antenna with L-shape Slots," in *2020 IEEE International Symposium on Antennas and Propagation and North American Radio Science Meeting, IEEECONF 2020 - Proceedings*, Jul. 2020, pp. 673–674. doi: 10.1109/IEEECONF35879.2020.9330316.
- [7] A. T. Mobashsher and A. Abbosh, "Slot-loaded folded dipole antenna with wideband and unidirectional performance for L-band applications," *IEEE Antennas Wirel Propag Lett*, vol. 13, pp. 798–801, 2014, doi: 10.1109/LAWP.2014.2318035.
- [8] P. R. ) IEEE Antennas and Propagation Society. International Symposium (2016 : Fajardo, Institute of Electrical and Electronics Engineers, IEEE Antennas and Propagation Society., and P. R. ) USNC-URSI Radio Science Meeting (2016 : Fajardo, *2016 IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium : proceedings : June 26-July 1, 2016, El Conquistador Resort, Fajardo, Puerto Rico*.
- [9] B. Mao and G. Hua, "A Novel Wideband Unidirectional Antenna Composed of a Shorted Bowtie Patch Antenna and a Printed Dipole," in *2020 IEEE Asia-Pacific Conference on Antennas and Propagation, APCAP 2020 - Proceedings*, Aug. 2020. doi: 10.1109/APCAP50217.2020.9246041.
- [10] Y. Liu, H. Yi, F. W. Wang, and S. X. Gong, "A novel miniaturized broadband dual-polarized dipole antenna for base station," *IEEE Antennas Wirel Propag Lett*, vol. 12, pp. 1335–1338, 2013, doi: 10.1109/LAWP.2013.2285373.