



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE QUITO

CARRERA DE TELECOMUNICACIONES

**DISEÑO DE UN ARREGLO DE NANOANTENAS PARA LA BANDA DE LOS
TERAHERCIOS**

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

AUTOR: MARCO VINICIO IZA PAREDES

TUTOR: MSc. JOHANNA BERENICE ARGUERO TELLO

QUITO-Ecuador

2023

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORIA DEL TRABAJO DE TITULACION

Yo, Marco Vinicio Iza Paredes con documento de identificación N° 1723961890 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, 08 de agosto del año 2023

Atentamente

A handwritten signature in purple ink, appearing to be 'Marco Vinicio Iza Paredes', is written over a horizontal line.

Marco Vinicio Iza Paredes

1723961890

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

Yo, Marco Vinicio Iza Paredes con documento de identificación No. 1723961890, 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 nanoantenas para la banda de los Terahercios”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniera en Telecomunicaciones, 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 hago la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 08 de agosto del año 2023

Atentamente,



Marco Vinicio Iza Paredes


1723961890

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 NANOANTENAS PARA LA BANDA DE LOS TERAHERCIOS, realizado por Marco Vinicio Iza Paredes con documento de identificación N° 1723961890, 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, 08 de agosto del año 2023

Aténtame,


Ing. Johanna Berenice Arguero Tello, Msc
1723989149

DISEÑO DE UN ARREGLO DE NANOANTENAS PARA LA BANDA DE LOS TERAHERCIOS

Marco Iza¹, Berenice Arguero-Tello²

Resumen

En el presente artículo se analizó el rendimiento entre una nanoantena microstrip y un arreglo de nanoantenas lineal 2x1 en la banda de la onda de luz infrarroja lejana a una frecuencia de 3.3 THz mediante simulación numérica. En la nanoantena se obtuvo una ganancia 2.43 dB con un HPBW de 109.5 deg, mientras, tanto que en el arreglo 2x1 se alcanzó una ganancia de 6.23dB con un HPBW de 98.1 deg, donde se observa un incremento de directividad de 3.8Db logrando un mejor alcance. A medida que se aumenta la cantidad de nanoantenas, se logra un aumento en la ganancia en comparación con una nanoantena individual, al mismo tiempo que se obtiene un patrón de radiación más enfocado. Al realizar un análisis comparativo del incremento de nanoantenas en cada configuración lineal, se observa un aumento en el coeficiente de reflexión S11 en comparación con la nanoantena individual.

Palabras Clave: Arreglo de antenas, VSWR, parámetro S11, Patrón de radiación.

Abstract

In this paper, the performance between a microstrip nanoantenna and a 2x1 linear nanoantenna array in the far infrared light waveband at a frequency of 3.3 THz was analyzed by numerical simulation. In the nanoantenna, a gain of 2.43 dB was obtained with a HPBW of 109.5 deg, while in the 2x1 arrangement a gain of 6.23dB was achieved with a HPBW of 98.1 deg, where an increase in directivity of 3.8Db is observed, achieving a better range. As the number of antennas is increased, an increase in gain compared to a single antenna is achieved, while at the same time a more focused radiation pattern is obtained. When carrying out a comparative analysis of the increase of antennas in each linear configuration, an increase in the reflection coefficient S11 is observed in comparison with the individual nanoantenna.

Keywords: Antenna array, VSWR, parameter S11, Radiation pattern.

¹ Carrera de Ingeniería en Telecomunicaciones, Universidad Politécnica Salesiana Quito, Ecuador: mizap1@est.ups.edu.ec
² grupo de Investigación GIETEC, Universidad Politécnica Salesiana, Quito, Ecuador: jarguero@ups.edu.ec

1. Introducción

La ciencia avanza a pasos agigantados, donde la tendencia de hoy en día es trabajar en frecuencias más altas, en el rango de los THz y esto influye en dispositivos escalas más pequeñas, tal es el caso de la nanotecnología donde se abordan sistemas entre 1 y 100 nanómetros a producción de tecnología basadas en nanoestructuras o nanomateriales es creciente y poco a poco establece un mercado muy grande, pues de aquí se desprende gran variedad de aplicaciones[1].

Dada esta circunstancia, resulta fundamental realizar avances y mejoras en los dispositivos de telecomunicaciones para poder aprovechar eficazmente el potencial de la banda de Tera hercios (THz).

Con el fin de garantizar un rendimiento satisfactorio, se requiere que las nanoantenas sean compactas y de construcción sencilla. Es esencial avanzar en áreas clave como el ancho de banda, la ganancia, la directividad, la reducción de pérdidas y la miniaturización de los dispositivos.

Desde el comienzo de las antenas tipo parche se han logrado sistemas inalámbricos eficientes con dimensiones muy reducidas, que brindan una buena facilidad a la hora de ser implementadas sobre cualquier superficie[2]. La utilización de una única antena individual se ve restringida en numerosas aplicaciones debido a la incapacidad de cumplir con las características de radiación requeridas. Para superar esta limitación, se recurre a la implementación de arreglos de antenas compuestos por múltiples elementos radiantes.

Estos arreglos se diseñan de manera que permiten obtener una radiación óptima en direcciones específicas. Esta estrategia de agrupación de antenas proporciona mejoras significativas en términos de rendimiento y capacidad de radiación en una variedad de aplicaciones, con el objetivo de ser utilizadas en distintas aplicaciones en comunicaciones inalámbricas en aeronáutica, en

sistemas satelitales, radares, sistemas de telemetría, biomedicina y comunicaciones móviles, entre otros[3].

Se propone diseñar arreglo lineal 2x1 para demostrar el aumento de ganancia en comparación a una nanoantena individual y evidenciar que a medida que se incrementa la cantidad de elementos radiadores o parches, el patrón de radiación va cancelándose progresivamente en algunas direcciones; esto se debe a que una parte de la energía irradiada por los lóbulos laterales se transfiere al lóbulo principal y de esta manera se cumple la ley de la conservación de la energía. En consecuencia, la antena se vuelve más directiva hacia una dirección en particular[4]

2. Diseño de la antena

En esta sección se presenta el diseño de una nanoantena de parche rectangular de un solo elemento, el cual sirvió como base para la configuración del arreglo lineal 2x1. El enfoque principal del diseño del parche se centró en sus dimensiones clave, como el ancho (W) y la longitud (L). Para el parche se utilizó grafeno como material principal, y se emplearon dos sustratos diferentes: uno compuesto de dióxido de silicio (SiO₂) con una constante dieléctrica relativa ϵ_r de 12, mientras que el segundo sustrato es de silicio (Si) con una constante dieléctrica relativa ϵ_r de 4, mismos que son semiconductores con semi-aislamiento o de alta resistividad[4] para formar el dieléctrico compuesto. La alimentación del parche se utilizó una impedancia de 50 Ω , y se implementó un transformador de cuarto de onda para lograr un acoplamiento adecuado de impedancia entre el parche, la línea de alimentación y el puerto.

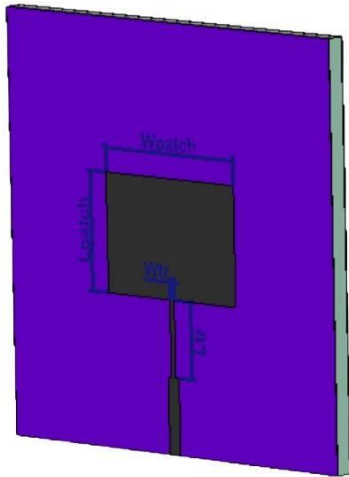


Figura1. Antena base

controlar la radiación y mejorar el rendimiento de la antena[8]. Tal que llevó a cabo un ajuste utilizando un potencial químico de 0.1eV y un tiempo de relajación de 2.5 picosegundos.

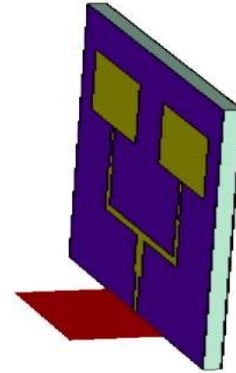


Figura2. Modelo de arreglo de antena con dos sustratos.

En el trabajo de investigación se propone un arreglo lineal 2x1 tipo parche sigue un diseño convencional rectangular donde se integran sus respectivos parches sobre dos sustratos diferentes: dióxido de silicio (SiO_2) y silicio (Si). Esta configuración ofrece diversas ventajas, como una mayor eficiencia y un mejor aislamiento electromagnético. Tales que actúa como soporte para la placa conductora, como además establece un espacio aislante entre el parche y el plano de tierra[5].

Los parches se ubicarán en una mínima viable definida por la limitación en términos de acoplamiento mutuo entre parches, cuyos efectos empiezan a estar presentes en distancias entre $\lambda/4$ y $\lambda/2$ [6]. Teniendo en cuenta los límites marcados, y observando las separaciones entre parches que han sido utilizadas en otros diseños publicados[7], se ha decidido usar en todos los diseños realizados, se ha tomado la decisión de utilizar una separación de $0.8\lambda_0$ entre los parches del arreglo.

Es relevante mencionar que, en relación al parche de grafeno, la nanoantena microstrip debería proporcionar la máxima miniaturización, gran frecuencia operativa y alta ganancia, además de ser un material prometedor ya que ayuda a

Es fundamental resaltar que en este arreglo se utiliza una impedancia de entrada de 50 ohmios y se emplea un divisor de potencia tipo T con el fin de lograr un adecuado acoplamiento. El arreglo de nanoantenas se alimenta por medio de un transformador $\lambda/4$, asegurando así una transferencia óptima de potencia. Es relevante destacar que el arreglo opera en una frecuencia específica de 3.3 THz. Estas características de diseño son de gran importancia para garantizar un rendimiento y funcionamiento óptimos de la nanoantena. En la Tabla 1 se muestra las dimensiones del arreglo de la nanoantenas lineal 2x1 tomando en cuenta la referencia de la figura 2.

Parámetros de arreglo	Dimensión (um)
<i>hpatch</i>	0.00034
<i>hsubs2</i>	0,025
<i>htiera</i>	0.1
<i>wtransf</i>	0.711
<i>wlinea</i>	1.2
<i>hsubs1</i>	1.5
<i>lpatch</i>	10
<i>wpatch</i>	14.13
<i>wsubs</i>	35.77
<i>lsubs</i>	35.77

U_{lin}	1.2
w_{lineF}	1.2
$Truw$	2.37
$TrUL$	6.23
L_{transf}	6.41
L_{linea}	6.42
U_w	6.42
L_{lineF}	6.42

Tabla1. Parámetros del arreglo de nanoantena 2x1

En la fase de diseño del arreglo 2x1, se llevó a cabo un ajuste de impedancias entre la nanoantena y el conector de alimentación, utilizando una impedancia de $Z = 50 \Omega$, como se indica en la ecuación (1). Esta adaptación de impedancias es esencial para garantizar un rendimiento óptimo del arreglo.

$$Z_T = \sqrt{Z_{in} * Z_c} \quad (1)$$

Donde:

Z_{in} = Impedancia de la antena o arreglo

Z = Impedancia del conector

Z_T = Impedancia transformador lambda cuartos

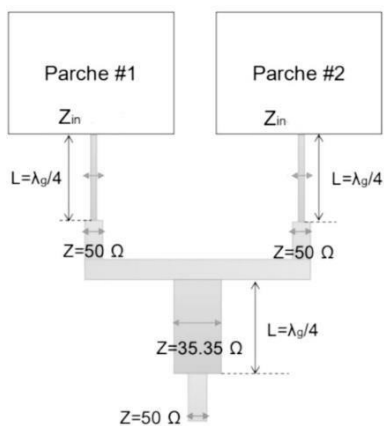


Figura3. Diseño de arreglo de las nanoantenas

La figura 3. se muestra la disposición de las líneas que forman la red de alimentación, junto con las respectivas impedancias asociadas. La selección de este arreglo de impedancias se basó en la adaptación inicial del parche al transformador de $\lambda/4$.

3. Resultados y Discusión

En este artículo académico, se llevará a cabo un análisis exhaustivo de varios factores para examinar las fluctuaciones en el rendimiento de las nanoantenas. Se compararán los resultados obtenidos mediante el uso de la nanoantena base con los resultados obtenidos a través del uso de un arreglo lineal. Este estudio permitirá comprender mejor las diferencias y ventajas de cada configuración de nanoantena en términos de su desempeño.

La Tabla 2 se presenta los datos obtenidos a través de un barrido de frecuencia que abarcará desde 3 THz hasta 5 THz, con incrementos de 0.3 THz. Estos resultados serán de utilidad para determinar el punto óptimo para examinar parámetros como el coeficiente de reflexión S11, el ancho de haz a media potencia (HPBW), el patrón de radiación y el ancho de banda. El propósito de este análisis es comprender y evaluar el rendimiento del arreglo lineal 2x1, permitiendo seleccionar el punto ideal para un análisis detallado.

FRECUENCIA THZ	GANANCIA dBi	HPBW
3	4.85 dBi	100.8
3.3	4.92 dBi	97.4
3.6	4.05 dBi	95.3
3.9	-2.42 dBi	164.5
4	-1.87 dBi	83.5
4.3	-2.68 dBi	99.1
4.6	-2.95 dBi	112.8
4.9	4.29 dBi	112.7
5	3.96 dBi	132.0

Tabla 2. Barrido de frecuencia

Tabla 2. Barrido de 3THz a 5THz

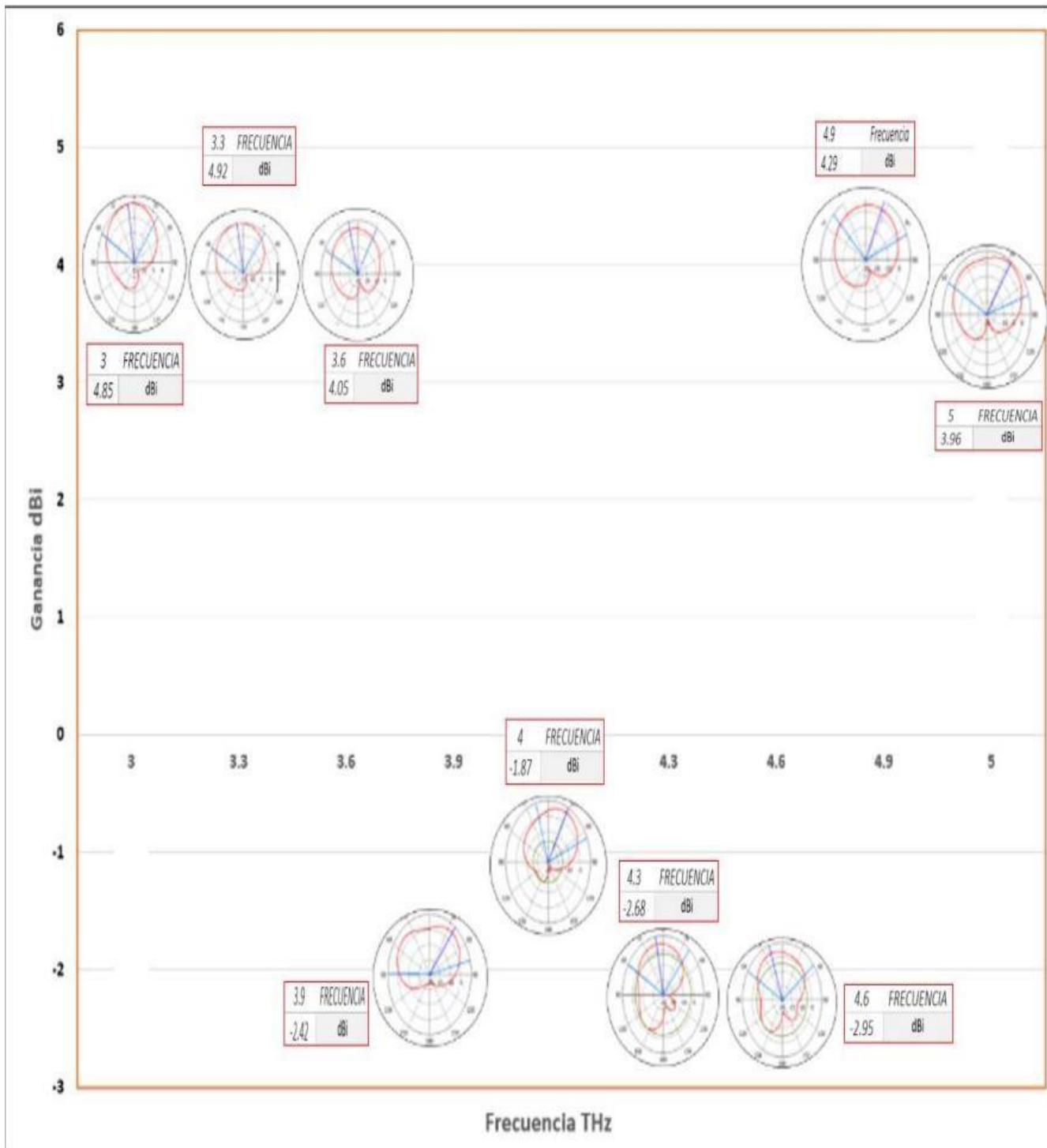


Figura4. Ganancia vs Frecuencia

Con la tabla 2 y la figura 4 podemos visualizar que a una frecuencia de 3.3 THz es el punto más óptimo a ser analizado y comparar resultados entre la nanoantena base y el arreglo lineal 2x1.

El coeficiente de reflexión se refiere a las pérdidas por retorno (S11) y describe la relación entre los puertos de entrada y salida de la nanoantena, indicando cuánta potencia se refleja desde la misma. Se busca alcanzar un

rendimiento eficiente en la nanoantena, para lo cual se requiere que el valor mínimo sea de -10 dB.

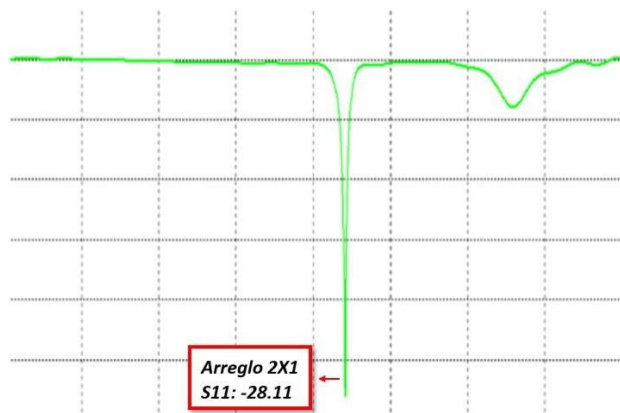


Figura5. Parámetro S11 de arreglo lineal 2x1

En la imagen 5 se puede apreciar el coeficiente de reflexión S11. Para la frecuencia de 3.3 THz, se han registrado los siguientes resultados, los cuales se encuentran meticulosamente detallados en la tabla 3. Al contrastar la nanoantena original con el arreglo 2x1, se observa un cambio importante al incrementar las nanoantenas idénticas en un arreglo lineal, con una diferencia de -6.76 dB.

	<i>S₁₁</i>
Nanoantena	-21.35
Arreglo 2x1	-28.11

Tabla 3. Barrido de 3THz a 5THz

Para determinar cuál es el ancho de banda de cada resultado obtenido la figura 4 del parámetro S11 permite cuantificar el ancho de banda de cada simulación. Para el análisis se consideró -10dB como referencia en la tabla 4 se observan los siguientes resultados.

	Frecuencia THz	BW [THz]
Nanoan tena	3.2	0.0313 THz
Arreglo 2x1	3.2	0.04695 THz

Tabla 4. Resultados de ancho de Banda

El arreglo 2x1 consiste en dos parches idénticos, lo que provoca un aumento del ancho de banda en un 1.565% en comparación con la nanoantena base. La figura 6 muestra el patrón de radiación de la nanoantena base, mientras que la figura 6 muestra el patrón de radiación del arreglo 2x1. Con esta información podemos analizar el HPBW.

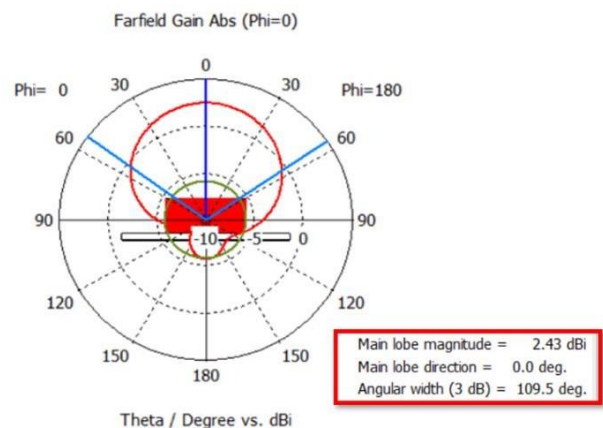


Figura6. Patrón de radiación de Nanoantena base

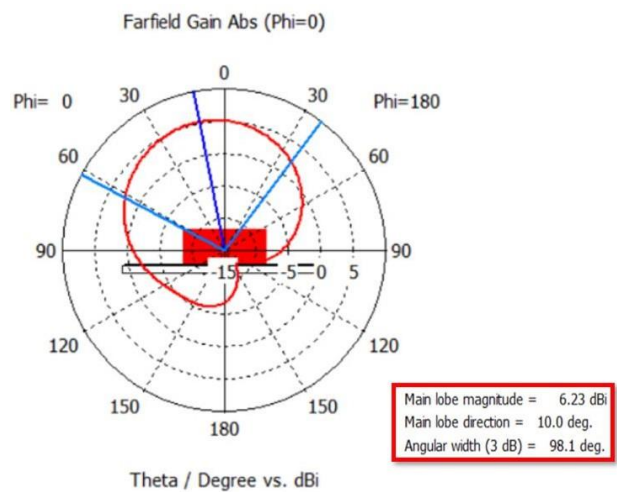


Figura7. Patrón de radiación de arreglo 2x1

En la tabla 5 y en la figura 6,7 es evidente que el patrón de radiación experimenta cambios. Al aumentar el número de nanoantenas en este diseño, que son nanoantenas idénticas dispuestas en línea, se observa que al agregar dos nanoantenas (Arreglo lineal 2x1), el ancho de haz

se reduce en comparación con el de la nanoantena original, lo que indica que la nanoantena se vuelve más direccional.

HPBW

Nanoantena	109.5 deg
Arreglo 2x1	98.1 deg

Tabla 5. HPBW

Gracias a los resultados anteriores podemos evidenciar en la tabla 6 la ganancia del arreglo lineal 2x1 y la antena base.

Ganancia [dB]

Nanoantena	2.43 dB
Arreglo 2x1	6.23 dB

Tabla 6. Ganancia, nanoantena base y arreglo 2x1

Los datos presentados en la Tabla 6 resaltan que el arreglo 2x1, gracias a su mayor ganancia, exhibe un alcance efectivo superior en comparación con la nanoantena base.

4. Conclusiones

- Basándonos en los datos presentados, se puede concluir que el arreglo de nanoantenas 2x1 supera notablemente a la nanoantena individual en términos de ganancia. Estos resultados sugieren que la configuración del arreglo mejora considerablemente la intensidad de la señal y optimiza el rendimiento general del sistema de nanoantena. Además, el arreglo 2x1 exhibe un HPBW más estrecho (98.1 grados) en contraste con la nanoantena individual (109.5 grados), lo que implica que el arreglo ofrece una cobertura más enfocada y concentrada. Asimismo, la reducción del parámetro S11 en el arreglo 2x1 (-28.11dB) en comparación con la nanoantena individual (-21.35dB) indica una mejor adaptación de impedancia y una reflexión de señal reducida en la configuración de matriz. Estos resultados respaldan la elección del

arreglo 2x1 como una opción más eficiente y efectiva en aplicaciones que requieran un mayor rendimiento y alcance del sistema de la nanoantena.

- Los hallazgos del estudio indican que los arreglos de antenas presentan mejoras significativas en términos de ganancia y rendimiento en comparación con las antenas individuales. Estos resultados son de vital importancia para el diseño e implementación de sistemas de comunicación y transmisión más eficientes en diversos campos de la industria e investigación.

Referencias

- [1] U. Profesional, A. Lopez Mateos, B. E. Grafeno Para Aplicación En Sistemas De Telecomunicaciones, Q. EL Para Obtener Título De, and E. Alonso Valderrábano Castro ASESOR Erick Velázquez Lozada, "INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA "DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS DE NANOANTENAS," 2016.
- [2] E. T. Carrero and F. R. M. Rizo, "Diseño y resultados de arreglo lineal de antenas con parches rectangulares para la banda de 2.4 GHz," *Revista Telemática*, vol. 13, no. 3, pp. 1–9, 2014, [Online]. Available: <http://revistatelematica.cujae.edu.cu/ind ex.php/tele>
- [3] M. A. V. Castillo, R. E. López Díaz, D. Rojas Sandoval, and R. Hernández, "()." [Online]. Available: www.reibci.org
- [4] K. Nallely and O. Nuñez, "Antenna design View project Wireless communications systems View project", doi: 10.13140/RG.2.2.26860.85128.

- [5] I. E. Electrónica Y Telecomunicaciones
Jorge Fabricio Hidalgo Yáñez,
“ESCUELA POLITÉCNICA
NACIONAL FACULTAD DE
INGENIERÍA ELÉCTRICA Y
ELECTRÓNICA COMPARACIÓN DE
DOS ARREGLOS DE ANTENAS
TIPO MIMO MASIVO USANDO
ADVANCED DESIGN SYSTEM
(ADS) TRABAJO DE TITULACIÓN
PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE.”
- [6] J. Martínez, M. Tutores, S. Marini, M.
Ángel, and S. Soriano, “Análisis y
Diseño de un Array de Antenas en
Tecnología Microstrip,” 2020.
- [7] J. Martínez, M. Tutores, S. Marini, M.
Ángel, and S. Soriano, “Análisis y
Diseño de un Array de Antenas en
Tecnología Microstrip,” 2020.
- [8] F. DE La Banda De Onda Milimétrica,
“UNIVERSIDAD POLITÉCNICA
SALESIANA SEDE QUITO
CARRERA DE
TELECOMUNICACIONES DISEÑO
DE UNA ANTENA MICROSTRIP
CON MATERIAL GRAFENO EN
DOS.”