



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA  
SEDE QUITO**

**CARRERA DE TELECOMUNICACIONES**

**MEDICIÓN SAR ANTENA MICROSTRIP  
VS ARREGLO DE ANTENA MICROSTRIP 2X1.**

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

**AUTORES:** Onofa Banguera Jorge Antonio  
Mena Coloma Jason Steven

**DIRECTORA:** Aucatoma Guamán Lenin Wladimir

**Quito – Ecuador  
2023**

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

Nosotros, Jorge Antonio Onofa Banguera y Jason Steven Mena Coloma, con documento de identificación N° 1720893849 y N° 1722434840 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, 04 de agosto del año 2023.

Atentamente,



---

Jorge Antonio Onofa Banguera

1720893849



---

Jason Steven Mena Coloma

1722434840

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

Nosotros, Jorge Antonio Onofa Banguera y Jason Steven Mena Coloma, con documento de identificación N° 1720893849 y N° 1722434840, 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 los autores del Artículo Académico: " Medición SAR Antena Microstrip vs Arreglo de Antena Microstrip 2x1", el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero en Telecomunicaciones, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en mi condición de autor nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 04 de agosto del año 2023.

Atentamente,



---

Jorge Antonio Onofa Banguera

1720893849



---

Jason Steven Mena Coloma

1722434840

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

Yo, Lenin Wladimir Aucatoma Guamán con documento de identificación N°, docente de la Universidad Politécnica Salesiana , declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: ” Medición SAR Antena Microstrip vs Arreglo de Antena Microstrip 2x1.”, realizado por Jorge Antonio Onofa Banguera y Jason Steven Mena Coloma, con documento de identificación N° 1720893849 y N° 1722434840, 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, 04 de agosto del año 2023.

Atentamente,



---

Ing. Lenin Wladimir Guamán Aucatoma, MSc

1717985830

## **DEDICATORIA**

A mis abuelitos, tías y tíos, en especial a Silvio que me ayudo a cumplir mi sueño de ya ser un ingeniero quienes siempre estuvieron ahí para apoyarme en todos los momentos siempre me impulsaron a ser mejor no solo en el ámbito de los estudios sino también en las enseñanzas de la vida.

A mis hermanas Samantha y Damaris que siempre me apoyaron y también me impulsaron a ser mejor no solo por mi sino también por ellas.

**JORGE ONOFA.**

Dedico mi artículo científico principalmente a Dios, ya que él me dio la inteligencia y fuerza necesaria para culminar esta meta. A mis padres, hermano, abuelos, tíos, novia y mejor amigo por su apoyo incondicional, su amor y por siempre motivarme a seguir adelante. En especial, por su ayuda constante en aquellas noches largas de estudio e investigación. Y, finalmente, a todas aquellas personas que no creyeron en mí, puesto que con su actitud me motivaron a tomar más impulso para seguir y no rendirme a lo largo del camino universitario.

**JASON MENA.**

## **AGRADECIMIENTO**

Quiero agradecer primerio por haberme permito cumplir mis metas no solo en vida universitaria sino también a nivel personal, así como también a toda mi familia que siempre me brindaron todo su apoyo incondicionalmente. Al Ing. Lenin Aucatoma que siempre nos ayudó con sus conocimientos para lograr realizar nuestro trabajo de titulación y por siempre impulsarnos a ser mejores estudiantes y personas en la vida. A mis compañeros Jason Mena y Luis Valdiviezo con los que compartimos grandes momentos en el transcurso de nuestra vida universitaria. A mis compañeros que conocí en el transcurso de la carrera universitaria con los que vivimos muchos momentos alegres

**JORGE ONOFA.**

Agradezco a Dios por la vida y por darme la oportunidad de lograr un objetivo más a nivel académico. A mis padres por su apoyo constante e incondicional, ya que siempre hicieron todo lo posible para que nunca me faltara nada. A mi tutor Ing. Lenin Aucatoma, que, con sus conocimientos y su ayuda, pudimos desarrollar nuestro trabajo de titulación. A la Ing. Berenice Arguero, ya que sus correcciones fueron fundamentales para mejorar nuestro artículo académico. A la Ing. Riofrío, puesto que todos sus aportes permitieron que el artículo sea finalizado de la manera correcta. A mis grandes amigos, Jorge y Luis, por todas las anécdotas memorables compartidas a lo largo de la vida universitaria.

A mis compañeros de carrera, con los que desde principio a fin compartimos grandes y buenos momentos. Y, a los docentes en general, quienes nos brindaron sus conocimientos para ser buenos profesionales.

**JASON MENA.**

# **Medición SAR Antena Microstrip vs Arreglo de Antena microstrip 2x1**

## **MICROSTRIP ANTENNA SAR MEASUREMENT VS 2X1 MICROSTRIP ANTENNA ARRAY**

Onofa Banguera Jorge Antonio<sup>1</sup> , Mena Coloma Jason Steven<sup>2</sup> , Aucatoma Guamán Lenin Wladimir<sup>3</sup>

### **Resumen**

En el presente artículo se muestra una comparación de los niveles de SAR para una antena microstrip versus un arreglo de antenas, a una frecuencia de 6GHz. Se inicia con el modelamiento de antenas, para obtener sistemas radiantes con valores adecuados de VSWR y S11, entre 1 y 2, y menos de -10dB, respectivamente. Con los modelos, se procede a medir el SAR para verificar si los valores se encuentran bajo el límite recomendado (4W/Kg), obteniendo un valor superior a esta recomendación en un desfase del 10634% para el arreglo de antenas.

**Palabras Clave:** Antena microstrip, arreglo de antenas, patrón de radiación, VSWR.

### **Abstract**

This paper shows a comparison of SAR levels for a microstrip antenna versus an array of antennas at a frequency of 6GHz. It starts with the modeling of antennas, to obtain radiating systems with adequate values of VSWR and S11, between 1 and 2, and less than -10dB, respectively. With the models, the SAR is measured to verify if the values are under the recommended limit (4W/Kg), obtaining a value higher than this recommendation in an offset of 10634% for the antenna array.

**Keywords:** Microstrip antenna, antenna array, radiation pattern, VSWR.

# 1. Introducción

Existe un problema en la construcción de antenas que intervienen en la banda de frecuencia alta de 6 GHz [1], debido al modelamiento de la misma por la disposición de los elementos. El SAR (Tasa de absorción específica) es la medida de velocidad a la que la energía electromagnética es absorbida por un objeto expuesto, su medición es en W/Kg es en la cual se derivan las exposiciones modernas [2].

En estos modelamientos experimentales, es necesario identificar los valores de emisión que recibe el cuerpo humano con la medición del SAR [3]. En sí, las radiaciones emitidas por los sistemas radiantes en general son de baja intensidad, y no superan el límite de 4W/Kg, sin embargo, si sobrepasamos este límite, las consecuencias implicarían incremento mayor de temperatura a nivel corporal como puede ser el cerebro o manos, lo que puede ocasionar daños en la salud [4].

Se han investigado en estudios previos como [5] en este caso se analiza el SAR de una antena dipolo a una frecuencia de 6GHz y tiene una impedancia de 73 ohm tiene la conexión de dos conductores, los cuales son cobre, acero inoxidable y aluminio.

Otros estudios demuestran que las emisiones no superan los valores establecidos por ICNIRP (Comisión Internacional para la Protección contra las Radiaciones No Ionizantes), como [4], donde se diseñaron 3 antenas microstrip en frecuencia de 3.4, 3.5 y 3.6 GHz, que estuvieron expuestos sobre la masa 1g promedio SAR del tejido humano de la mano, como resultado se obtuvo para la frecuencia de 3.4GHz, con la distancia de 1mm, un SAR de 2.3039 W/Kg; a 5mm se obtuvo 2.0475 W/Kg, y a 10mm se obtuvo 1.7230 W/Kg [4].

Debido a esto, este artículo busca explorar el impacto del SAR de un modelo microstrip a 6GHz versus un arreglo 2x1, para identificar si los resultados que obtendremos se mantendrán por debajo del valor recomendado [6].

# 2. Diseño de la Antena

En la figura 1, se muestran los elementos que componen a una antena microstrip.

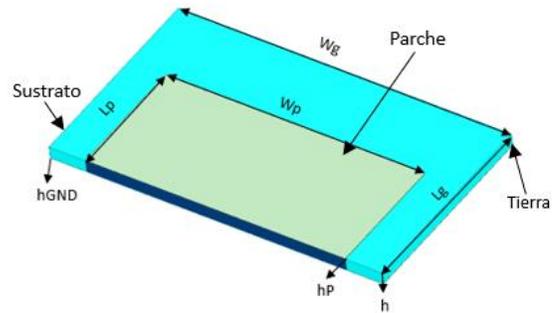


Figura 1. Parámetros de la antena microstrip.

En la tabla 1 se detalla las dimensiones para la construcción de una antena microstrip, mediante el uso de ecuaciones: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 y 10, para la frecuencia de trabajo [3].

Para el diseño de las antenas se utilizaron las siguientes fórmulas [3]:

- Ancho del Parche (Wp)

$$Wp = \frac{c}{2 * Freq1 (\sqrt{\frac{Er + 1}{2}})} \tag{1}$$

- Altura (h)

$$h = \frac{0.3 * Lambda}{2\pi (\sqrt{Er})} \tag{2}$$

- Extensión de longitud ( $\Delta L$ )

$$\Delta L = 2 * \frac{h}{\sqrt{Er}} \quad (3)$$

- Constante dieléctrica efectiva ( $Ee$ )

$$Ee = \frac{Er + 1}{2} + \frac{Er - 1}{2} * [1 + \frac{10 * h}{W}]^{-\frac{1}{2}} \quad (4)$$

- Longitud efectiva ( $Le$ )

$$Le = \frac{c}{2 * Freq1 \sqrt{Ee}} \quad (5)$$

- Ancho del sustrato ( $Wg$ )

$$Wg = (6 * h) + Wp \quad (6)$$

- Largo del sustrato ( $Lg$ )

$$Lg = (6 * h) + Lp \quad (7)$$

- Altura de patch ( $hP$ )

$$hP = (6 * h) + Lp \quad (8)$$

Diseño	Parámetros	Medida [mm]	Material
Patch	Wp	0.0242	Cobre
	Lp	0.0109	
	h	0.04	
Sustrato	Wg	0.0310	Fr4_epoxy (Er: 4.4)
	Lg	0.0177	
	h	0.0011	
Tierra	Wg	0.0310	Cobre
	Lg	0.0177	
	hGND	0.01	

Tabla 1: Medidas de antena microstrip

En la figura 2, se muestra los elementos que componen al arreglo 2x1 de antenas microstrip [1].

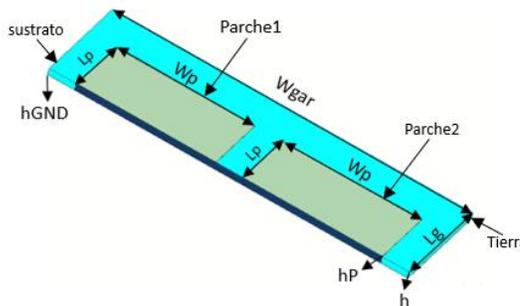


Figura 2. Parámetros de un arreglo de antena 2x1.

Diseño	Parámetros	Medida [mm]	Material
Patch 1 y 2	Wp	0.0232	cobre
	Lp	0.0109	
	H	0.0011	
Sustrato	Wgar	0.060	Fr4_epoxy Er (4.4)
	Lg	0.0178	
	H	0.0011	
Tierra	Wgar	0.060	cobre
	Lg	0.0178	
	hGND	0.01	

Tabla 2: Medidas de arreglo de antenas

En la figura 3, se muestra el modelo de mano que recibirá las radiaciones no ionizantes, este modelo está compuesto por cuatro capas (Piel, músculo, grasa, hueso). Observamos una escala de colores donde indica el valor máximo y mínimo de la absorción del tejido de la piel, donde se asigna colores para medir el grado de intensidad de absorción del SAR [4].



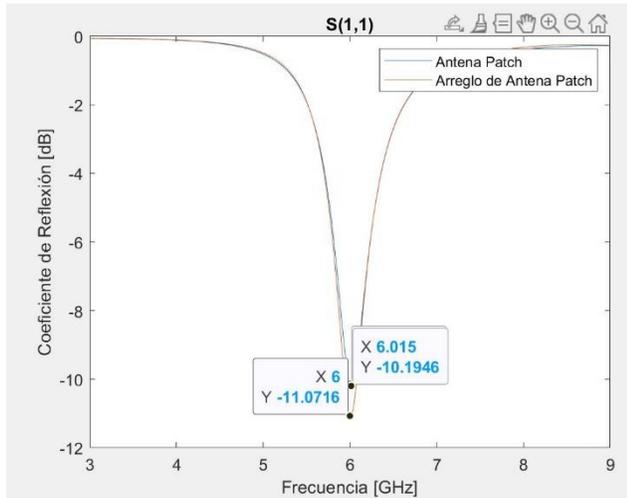
Figura 3. Diseño mano.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

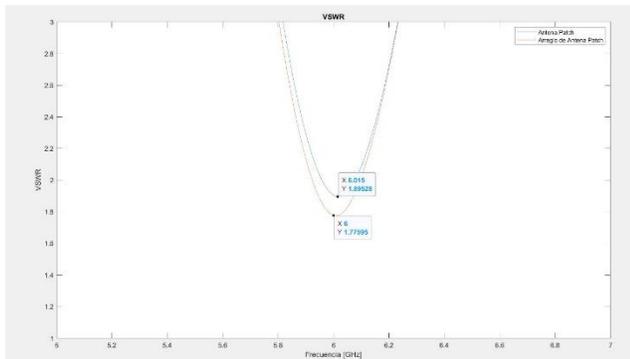
El objetivo es modelar antenas que tengan un valor menor a -10dB en el parámetro S11 y un valor entre 1 y 1.5 para el VSWR en cada modelo. Con esto, podremos simular la antenna para la obtención del SAR en cada caso.

- **Coefficiente de Reflexión S (1,1) y VSWR**

En la figura 4 se muestra los valores obtenidos de S11 para una sola antenna y para el arreglo, obteniendo -10.19 para el primer caso y -11.07 para el segundo caso, y en la figura 5 tenemos valores de VSWR entre 1 y 2 para cada modelo.



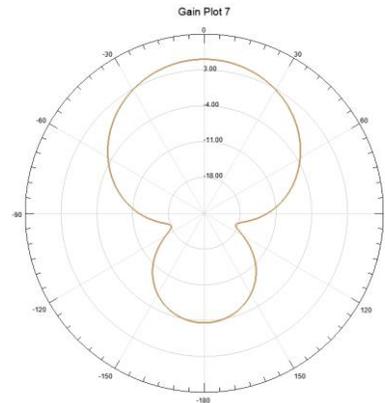
**Figura 4.** Coeficiente de reflexión de una antenna microstrip vs el arreglo de antenas en una frecuencia de 6GHz.



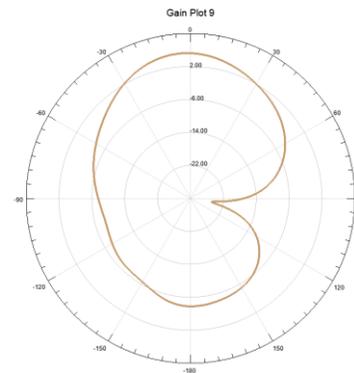
**Fig5.** VSWR del arreglo y una antenna microstrip, a una frecuencia de 6 GHz

### 3.1 Patrón de Radiación

Se puede observar en las figuras 6 y 7, que los patrones de radiación corresponden a figuras sectoriales en cada caso, obteniendo ganancias de 5.3dB para el arreglo y 5.2dB para una antenna sola.



**Fig6.** Patrón de Radiación 2D Microstrip



**Fig7.** Patrón de Radiación 2D Arreglo

### 3.3 Medición SAR

En una antenna microstrip, en 0° (sin ninguna inclinación con referencia a la mano) se observa que la intensidad de 221.05 [W/Kg] supera en un 5526,25% el valor recomendado, cuando se tiene un ángulo de 45° esto sube en un 8566% y en 90° supera en 6474,5%.

En el arreglo de antenas, en 0° se observa la intensidad de 272.54 [W/Kg] superando el límite recomendado en 6813.5%, cuando se tiene un

ángulo de 45 sube en un 10634% y en 90 ° supera en 7198,25%.

Los valores resultantes obtenidos no se encuentran en los rangos permitidos, siendo así la mayor afectación cuando la antena se encuentra a

45° con respecto a la mano en cada uno de los modelos [4].

En las tablas 3 y 4 se evidencia los valores de SAR simulados a una frecuencia de 6GHz a diferentes ángulos.

En la figura 6 se observa la intensidad de la radiación de la antena y del arreglo sobre el modelo de la mano, se pueden visualizar valores con mayor intensidad en color rojo y menor intensidad con color azul.

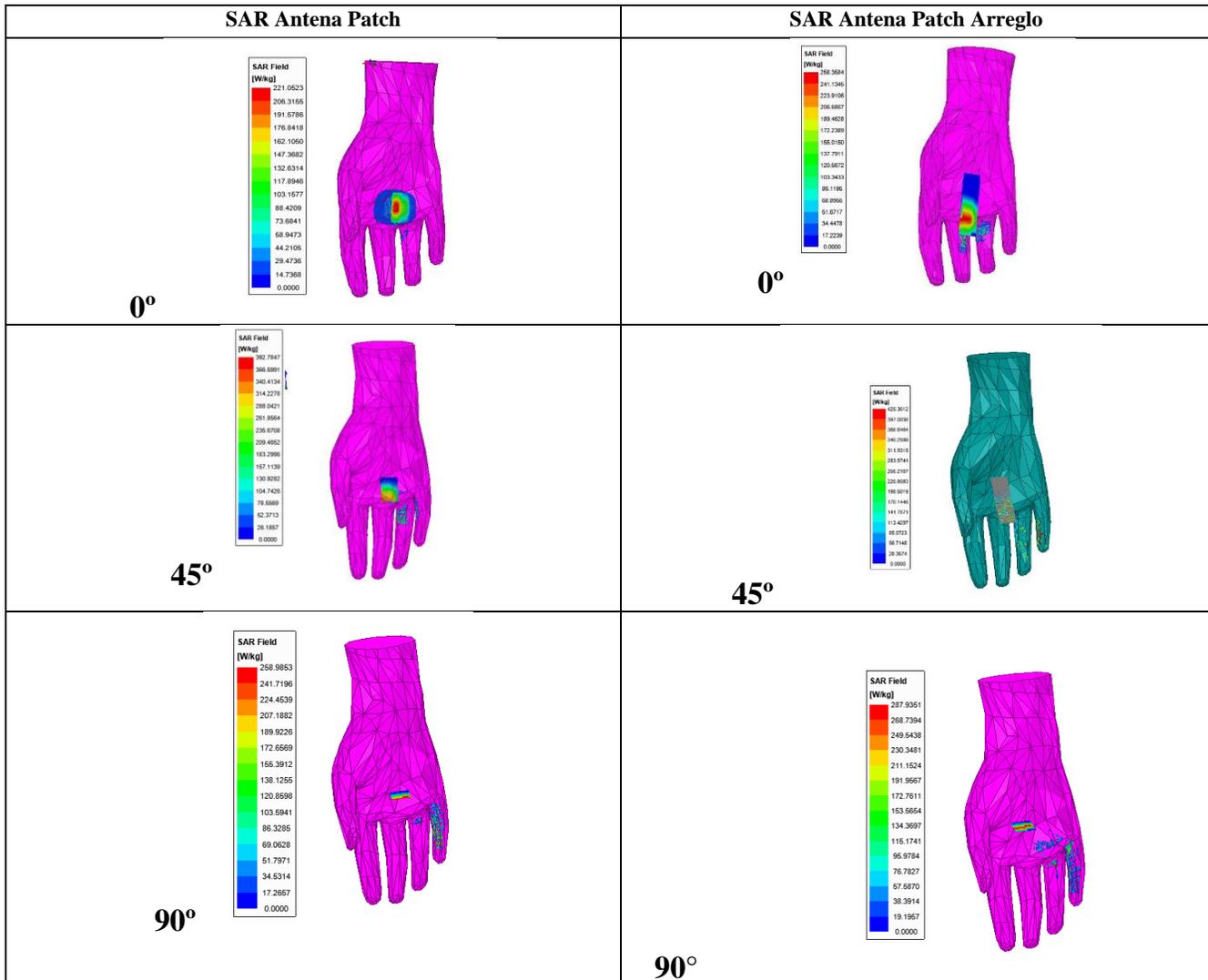


Fig.6: Resultados del SAR de una antena microstrip y arreglos de antena a una distancia de 1mm de la mano.

Tablas 3. ANTENA MICROSTRIP

SAR ángulos	0°	45°	90°
SAR ESTANDAR [W/Kg]	4	4	4
SAR SIMULADO [W/Kg]	221.05	392.78	258.98
DIFERENCIA CON RESPECTO A 0° [W/Kg]	N/A	171.73	37.93

Tabla 4. ARREGLO 2X1 DE ANTENAS MICROSTRIP

SAR ángulos	0°	45°	90°
SAR ESTANDAR	4	4	4
SAR SIMULADO	258.35	425.36	287.93
DIFERENCIA CON RESPECTO A 0° [W/Kg]	N/A	167,01	15.39

Tabla 3 y 4: Resultados de las mediciones SAR en diferentes ángulos

Se verificó que la emisión de radiación producida en la antena, sería perjudicial para la salud debido a que el valor supera los rangos establecidos de 4W/kg para extremidades impuestos por el estándar ICNIRP (Comisión Internacional para la Protección contra las Radiaciones No Ionizantes).

Al comparar los valores a diferentes ángulos se logró identificar que: en una antena Microstrip en el ángulo de 0° se evidenció una superación del valor recomendado del 5526,25%, a 45° se obtuvo un valor de 8566% y finalmente a 90° 6474,5%, mientras que en el arreglo de antenas a 0° superó el valor recomendado en 6458,75%, mientras a 45° aumentó el valor a 10634% y a 90° se tuvo 7198,25% por lo que observamos que cuando el sistema radiante se inclina sobre la mano, la incidencia de las ondas sobre la mano disminuye, pero en potencia se agrandan en sectores específicos de la misma.

Estas variaciones se identificaron con una distancia de 1mm entre la antena y la mano.

También se observó que para el arreglo de antenas la incidencia de las ondas se reduce sobre la mano, sin embargo, en esta reducción se encontraron puntos específicos donde la radiación es más intensa con respecto a la que produce una antena sola. Con lo que se comprobó que la directividad tiene una repercusión alta en los niveles de potencia por la directividad del patrón de radiación.

## 4. CONCLUSIONES

De los resultados obtenidos, se observó que los elementos radiantes propuestos, generan una mayor incidencia de potencia en la mano cuando los mismos se encuentran a 45° de la mano, logrando un valor que supera el límite recomendado en un 10634% para el arreglo de antenas.

La radiación que recibe la mano disminuye en área para el arreglo de antenas, sin embargo, en los puntos donde es más intensa, tiene mayores valores de SAR con respecto a una sola antena, teniendo un desfase en el punto máximo de emisión a 45° de 2068%.

## 5. Referencias

- [1] J. O. y. J. Mena, «Medición SAR Antena Microstrip vs Arreglo de Antena microstrip.» 2022.
- [2] COMAR, «Exposición humana a la radiación de radiofrecuencia y microondas generada por teléfonos móviles y otros dispositivos de comunicación inalámbricos.» p. 03, 2000.
- [3] E. J. Chalapud Patiño y L. W. Aucatoma Guamán, «dspace.» Mayo 2021. [En línea]. Available: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/20202>.
- [4] J. X. Llumiquinga Bungacho, F. A. Olmedo Garcés y J. B. Arguero Tello, «dspace.» 2022. [En línea]. Available: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/22975/1/UPS%20-%20TTS850.pdf>.
- [5] J. Mejía Cabezas, E. Morocho Criollo y L. W. Aucatoma Guamán, «DISEÑO DE UNA ANTENA DIPOLLO DE 6 GHZ EN LA BANDA 5G PARA LA MEDICIÓN DEL SAR.» 2023.
- [6] C. M. C. Chicaiza, «DISEÑO DE ARREGLO DE ANTENAS MICROSTRIP CON.» 2021.
- [7] V. M. Cruz, «Riesgo para la salud por radiaciones no ionizantes de las redes de.» Lima: SciELO Perú, 2009..
- [8] U.P.D. VALENCIA, «Antenas Microstrip.» 2018.
- [9] F. R. Díaz, «Diseño de una antena de parche de banda ancha con polarización.» Bachelor's thesis, 2015.
- [10] C. Márquez, ««Diseño de una antena modelo compact ACTSA para.» 2020.
- [11] X. H. Paucar Tipán y M. A. Quispe Sánchez, «Diseño de un arreglo de antenas microstrip para banda de onda milimétrica.» 2020.
- [12] L. P. L. C. E. R. L. C. E. R. Iza Cuzco, «dspace.» Nov 2021. [En línea]. Available: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/21291>.