



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

CARRERA DE TELECOMUNICACIONES

**MEDICIÓN DEL SAR ANTENA DIPOLO Y ARREGLO DE UNA
ANTENA DIPOLO EN LA BANDA DE 6GHz**

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

AUTOR: Carlos Gabriel Valdivieso Gualpa

TUTOR: Lenin Wladimir Aucatoma Guamán

Quito – Ecuador

2024

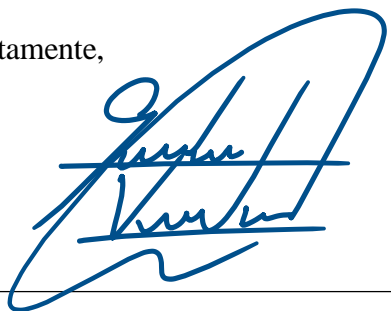
CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Carlos Gabriel Valdivieso Gualpa con documento de identificación N° 1720724796;
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, 24 de febrero del año 2024

Atentamente,



Carlos Gabriel Valdivieso Gualpa

1720724796

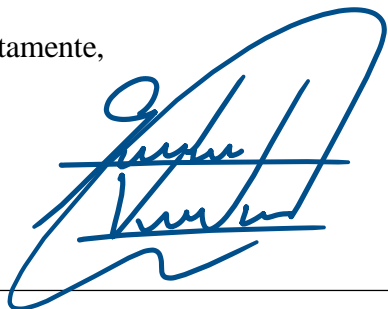
**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Yo, Carlos Gabriel Valdivieso Gualpa con documento de identificación N° 1720724796, 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: “Medición del SAR antena dipolo y arreglo de una antena dipolo en la banda de 6GHz”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: 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, 24 de febrero del año 2024

Atentamente,



Carlos Gabriel Valdivieso Gualpa

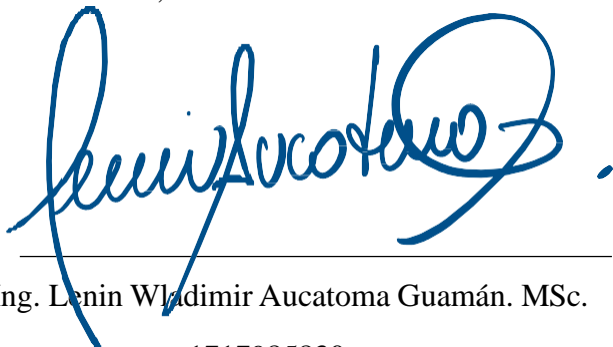
1720724796

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Ing. 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: MEDICIÓN DEL SAR ANTENA DIPOLO Y ARREGLO DE UNA ANTENA DIPOLO EN LA BANDA DE 6GHZ, realizado por Carlos Gabriel Valdivieso Gualpa con documento de identificación N°. 1720724796 obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción de artículo académico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 24 de febrero año 2024

Atentamente,



Ing. Lenin Wladimir Aucatoma Guamán. MSc.

1717985830

DEDICATORIA

Queridos padres, abuelita, tíos y primos,

Este logro no habría sido posible sin su amor, apoyo incondicional y aliento constante a lo largo de este camino. Su confianza en mí ha sido mi mayor motivación para perseverar en este viaje académico.

A mis padres Roberth Valdivieso y Clelia Gualpa, quienes han sido mi roca, mi guía y mi ejemplo de sacrificio y dedicación, les dedico este trabajo con profundo agradecimiento. Su devoción inquebrantable ha sido mi faro en las noches oscuras y mi motivación en los días difíciles.

A mis queridas abuelitas Herminia Guachig y Solange Pazmiño, cuyas palabras de sabiduría y amor han sido un faro de luz en mi vida, les dedico este logro con gratitud. Su presencia siempre reconfortante y su amor incondicional me han impulsado a alcanzar nuevas alturas.

A mis queridos tíos y primos, quienes siempre han estado ahí para celebrar mis triunfos y apoyarme en los desafíos, les dedico este logro con alegría y gratitud. Su presencia en mi vida ha sido un regalo invaluable que atesoro profundamente.

Que esta tesis sea un testimonio de mi amor y agradecimiento hacia ustedes, quienes han sido mi inspiración y mi razón para esforzarme cada día. Gracias por ser mi familia, mi equipo y mi mayor motivación.

Con todo mi cariño,

Carlos Gabriel Valdivieso Gualpa

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi sincero agradecimiento a mis queridos padres, quienes han sido mi mayor fuente de apoyo y motivación durante este emocionante viaje académico. Su inquebrantable amor, sacrificio y aliento constante han sido los pilares sobre los cuales he construido mi éxito. Sin su apoyo incondicional, este logro no habría sido posible.

Así mismo, deseo extender mi más profundo agradecimiento a mis ingenieros y profesores, cuya dedicación y compromiso con la enseñanza han sido fundamentales en mi formación académica. Su pasión por transmitir conocimientos y su orientación experta han sido invaluable para mi crecimiento tanto profesional como personal.

Cada uno de ustedes ha dejado una huella imborrable en mi camino hacia la excelencia, y por ello les estaré eternamente agradecido. Su influencia ha sido fundamental en mi desarrollo como estudiante y como individuo, y espero poder honrar su legado con mis logros futuros.

Gracias por creer en mí, por inspirarme y por guiarme en este viaje. Este logro no solo es mío, sino también de cada uno de ustedes que ha contribuido de manera significativa en mi formación académica y personal.

Con gratitud infinita,

Carlos Gabriel Valdivieso Gualpa

MEDICIÓN DEL SAR ANTENA DIPOLO Y ARREGLO DE UNA ANTENA DIPOLO EN LA BANDA DE 6GHz

Carlos Gabriel Valdivieso Gualpa
Ingeniería en Telecomunicaciones
Universidad Politécnica Salesiana
Quito - Ecuador
cvaldiviesog@est.ups.edu.ec

Lenin Wladimir Aucatoma Guamán
Ingeniería en Telecomunicaciones
Universidad Politécnica Salesiana
Quito - Ecuador
laucatoma@ups.edu.ec

Resumen: *El artículo describe la medición de la Tasa de Absorción Específica (SAR) en una mano, a partir de las emisiones radiadas por una antena dipolo simple y un arreglo 2x1 de antenas de tipo dipolo, con simulación en la absorción de energía en tejidos biológicos en la banda de frecuencia de 6GHz mediante el software de simulación ANSYS. Con las mediciones realizadas se demuestra que el valor del SAR excede el valor recomendado y para el arreglo este en un 670.6125% para 0°, 641.0125% para 45° y 1806.6825% para 90°.*

Palabras Clave: *ANSYS, SAR, Antena Dipolo, Arreglo 2x1, Banda de 6GHz*

Abstract: *The article describes the measurement of the Specific Absorption Rate (SAR) in a hand, from the emissions radiated by a simple dipole antenna and a 2x1 array of dipole-type antennas, with simulation in the absorption of energy in biological tissues in the 6GHz frequency band using the ANSYS simulation software. With the measurements carried out, it is shown that the value of the SAR exceeds the recommended value and for the arrangement by 670.6125% for 0°, 641.0125% for 45° and 1806.6825% for 90°.*

Keywords: *ANSYS, SAR, Dipole Antenna, 2x1 Array, 6GHz Band*

I. INTRODUCCIÓN

La tecnología 5G busca generar transmisiones con gran ancho de banda y en bandas de alta frecuencia antes no utilizadas [1].

La tasa de absorción específica, también conocida como SAR, es la cantidad de energía absorbida por unidad de masa por el cuerpo humano. Se calcula en W/Kg. Como resultado, las pruebas SAR calculan el volumen de energía electromagnética que absorbe el cuerpo humano cuando se encuentra cerca de un campo magnético de radiofrecuencia[2].

Al modelar antenas en altas frecuencias, y al buscar mejoras en ganancias con el uso de arreglos, se debe medir la tasa de absorción de energética de radiofrecuencia para identificar si los valores obtenidos se encuentran por debajo de los valores recomendados por los organismos de regulación y control a nivel mundial como la FCC[3].

Al garantizar que cumplan con las pautas de seguridad establecidas por la FCC, SAR proporciona un método simple para medir las características de exposición a RF. Los modelos estandarizados del cuerpo humano se utilizan en las pruebas de SAR para simular las propiedades de absorción RF de varios tejidos humanos[3]. Para identificar el cumplimiento, se prueba en la banda de 6GHz de frecuencia que opera en varias

posiciones específicas, simulando la forma en que diferentes usuarios suelen exponer esta parte del cuerpo a la antena[3].

II. DISEÑO DE ANTENAS

Para la obtención del SAR sobre la mano en el software de simulación, se van a presentar dos modelos de sistemas radiantes, el primero con una sola antena dipolo simple, y el segundo en un arreglo 2x1 de dipolos simples

En las Figura 1a y 1b, se muestra la antena y el arreglo 2x1 de antenas con sus respectivas dimensiones, a una frecuencia de resonancia de 6GHz e impedancia de 50Ohm en la línea de alimentación

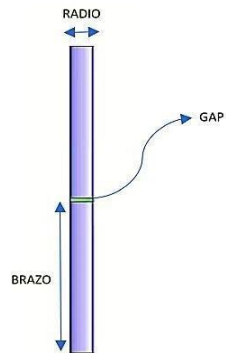
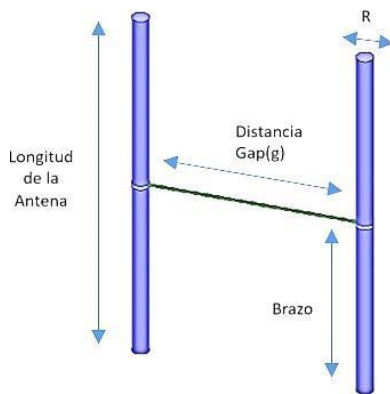


Fig1a. Diseño de la antena dipolo simple a 6 GHz.



Figb. Diseño de un sistema de antena dipolo simple 2x1 a 6 GHz.

Las ecuaciones 1, 2, 3, 4 y 5 las usamos para calcular las dimensiones y medidas de nuestra antena:

Longitud de onda :

$$\lambda = \frac{c}{F} [4] \quad (1)$$

$$c = 3 * 10^8 \frac{m}{s^2} [4] \quad (2)$$

Donde:

$$\lambda = \text{lambda}$$

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

$$F = \text{Frecuencia}$$

La longitud de cada brazo "l" es:

$$l = \frac{\lambda - 2g}{4} [5] \quad (3)$$

Donde:

$$g = \text{separación entre brazos}$$

$$R = \text{radio}$$

$$R = 0.0005\lambda [5] \quad (4)$$

La fórmula usada para dividir los brazos:

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

$$|Z_0| = \text{impedancia de la antena}$$

Los modelos finales con los que se medirá el SAR sobre la mano corresponden a modelos sometidos a un ajuste experimental de dimensiones hasta obtener parámetros de S11 bajo los -10dB, y valores entre 1 y 2 para VSWR. En la tabla 1, se muestran los valores obtenidos de forma matemática (M), y los de ajuste (A), con su respectivo porcentaje de desfase para cada componente de cada modelo.

Tabla 1. Los valores y parámetros del diseño de la antena dipolo se obtienen calculada y ajustada mediante proceso de experimentación.

MEDIO DE RADIACIÓN	Aire					
FRECUENCIA [GHz]	6					
LAMBDA [mm]	5					
CONDUCTOR	PEC					
ARREGLO	1 ANT			2x1		
	M	A	%	M	A	%
BRAZO [mm]	1.15	12.4	1080	1.15	12.354	9.30
RADIO [mm]	0.2	0.59	295	0.2	0.591	295.5
Gap [mm]	0.2	0.29	145	0.2	0.291	145.5
DISTANCIA ANTENAS [mm]	N/A	N/A	N/A	15	15.02	100.13

En la Fig. 3, se muestra la mano sobre la que se va a simular la radiación de energía de la antena dipolo simple y su respectivo arreglo 2x1, las características de la mano de referencia se muestran en la tabla 2 [6].

Tabla 2. Atributos de la mano colocados en ANSYS HFSS

CAPAS	GROSOR DE CADA ELEMENTO [mm]
PIEL	1.6
MÚSCULO	10
GRASA	8
HUESO	5.4

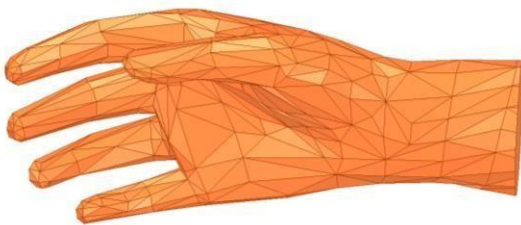


Fig3. Diseño mano

III. ANÁLISIS Y RESULTADOS

A. S11, VSWR y patrón de radiación

La Fig4 muestra el VSWR de una antena dipolo de 2.40 con su arreglo de 2.7, la Fig5 muestra el parámetro S (1,1) con un valor de -17.23 con su arreglo de -17.21 y la Fig6 muestra el patrón de la radiación emitida por la antena con su arreglo y la mayor ganancia es de: 1.7dB[6].

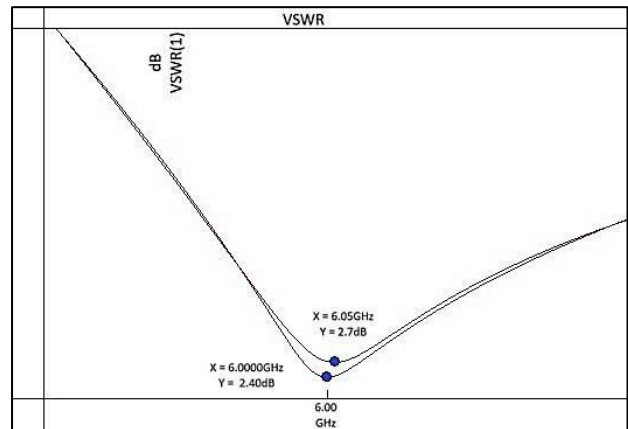


Fig4. Resultado VSWR de la antena dipolo simple y el arreglo 2x1

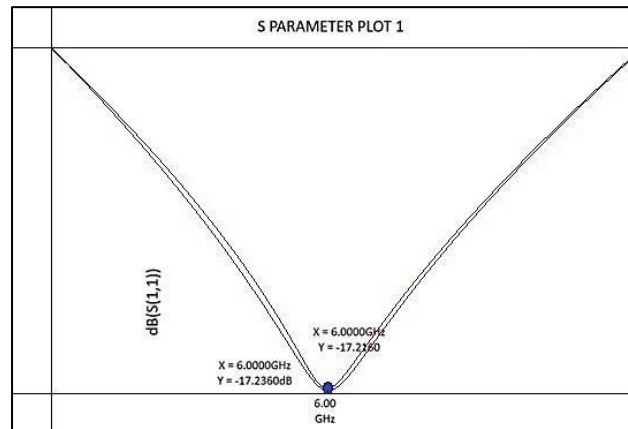


Fig5. Resultado parámetro S (1,1) de la antena dipolo y el arreglo 2x1.

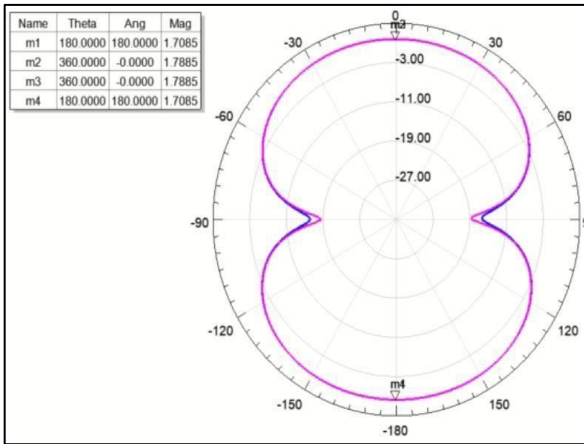


Fig6. La ganancia y el patrón de radiación de una antena dipolo simple, y el arreglo 2x1

B. MEDICIÓN SAR

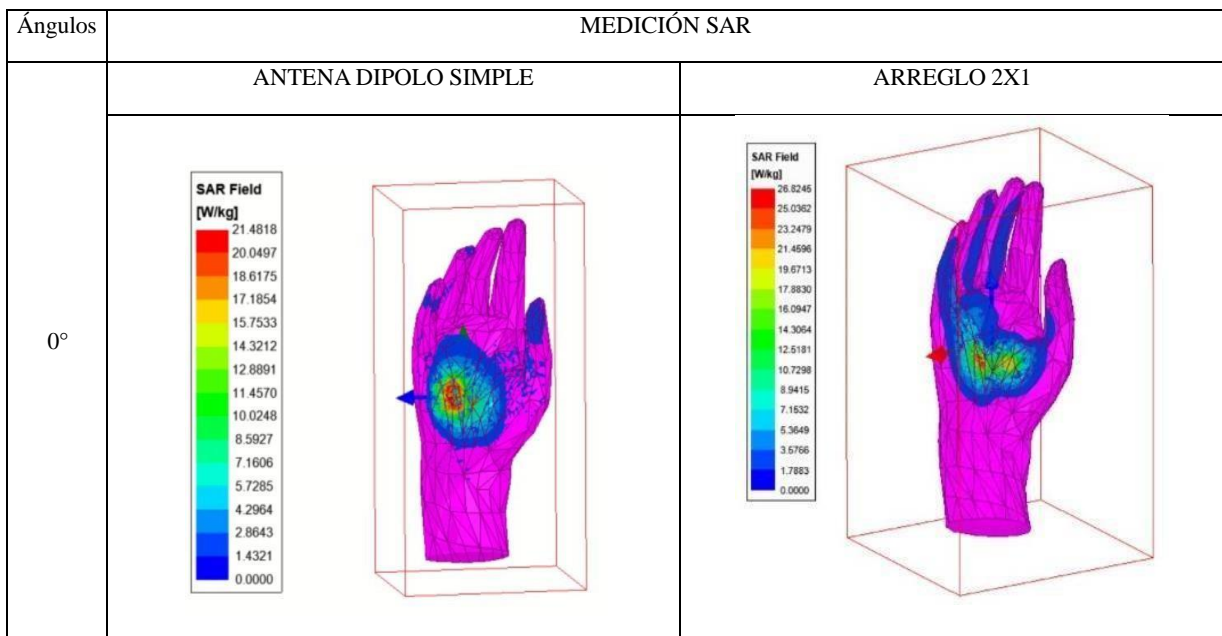
Para medir el SAR en W/kg, se utilizó una mano ubicada cerca de la antena dipolo a 0° observando la intensidad de 21.4818 [W/Kg]

superando el límite recomendado en un 537.045%, colocando a diferentes ángulos con respecto a la mano en ángulos de, 45° la cual sube en un 297.865% y 90° aumenta en un 694.77%[6].

En el arreglo se obtiene a 0° que la intensidad de 26.8245 [W/Kg] que supera en un 670.6125% el valor de intensidad recomendado, y para cada caso, se movió al sistema radiante con respecto a la mano en ángulos de, 45° la cual aumenta en un 641,0125 y 90° sube en un 1806,6825[6].

Los valores que se obtuvieron no están en el rango permitido, además identificamos que los valores más altos de SAR ocurren cuando la antena está en una posición de 45° con relación a la mano en cada modelo. La tabla 4 y 5 muestran los valores SAR que se simularon para una frecuencia de 6GHz desde varios ángulos[7].

La cantidad de radiación emitida por el arreglo para el modelo de la mano se muestra en la Fig7, con valores más intensos en color rojo y valores más bajos en color azul.



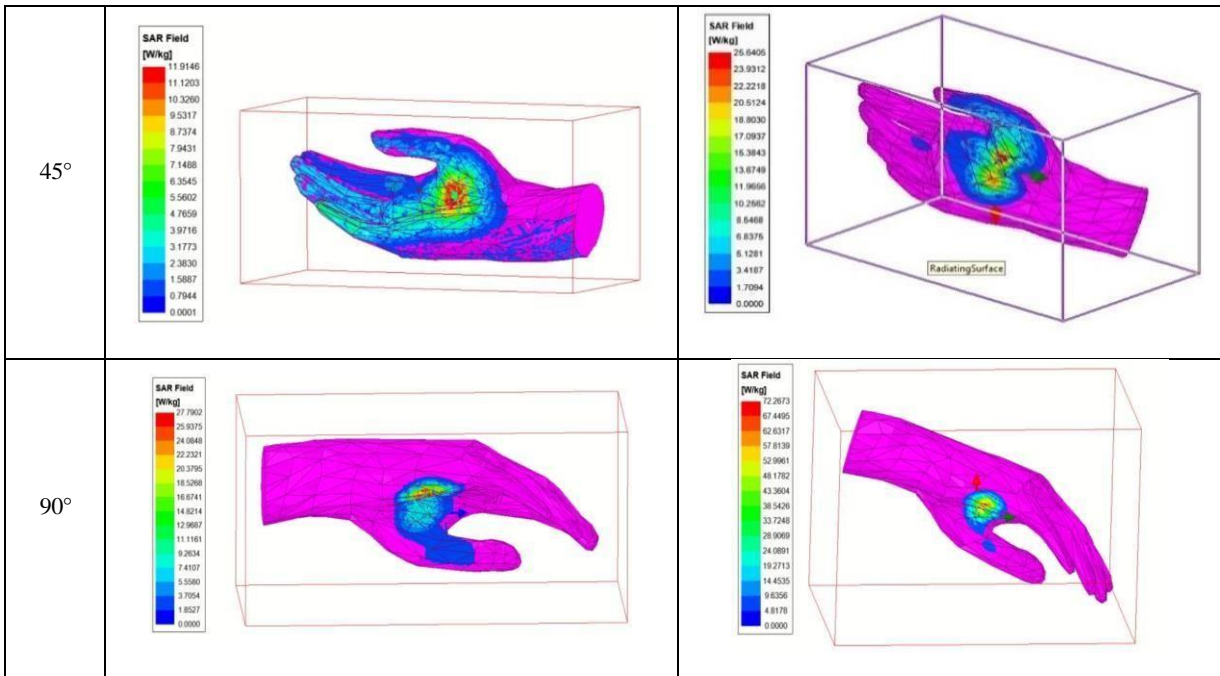


Fig7. Resultado del SAR del arreglo una antena dipolo simple a una distancia de 1mm de la mano y en varios ángulos

Tabla 3. Colores que definen un valor máximo de intensidad en el color rojo, que va disminuyendo gradualmente, representada por colores más suaves, llegando así a un valor mínimo en el color azul.

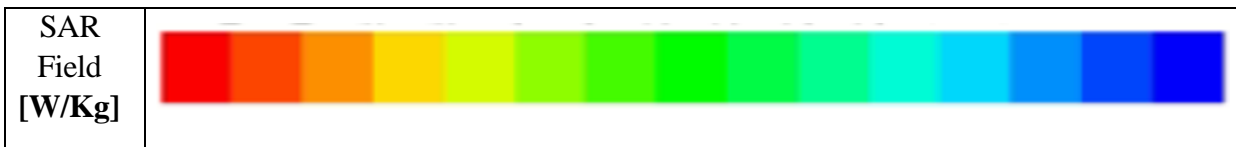


Tabla 4. Antena Dipolo Simple

ÁNGULOS SAR	0°	45°	90°
MEDICIÓN PARA EL SAR REFERENCIAL [W/Kg]	4.00	4.00	4.00
MEDICIÓN PARA EL SAR SIMULADO [W/Kg]	21.4818	11.9146	27.7902
VARIACIÓN (%)	537.045	297.865	694.77

Tabla 5. Arreglo 2x1 de Antenas Dipolo Simple

ÁNGULOS SAR	0°	45°	90°
MEDICIÓN PARA EL SAR REFERENCIAL [W/Kg]	4.00	4.00	4.00
MEDICIÓN PARA EL SAR SIMULADO [W/Kg]	26.8245	25.6405	72.2673
VARIACIÓN (%)	670.6125	641.0125	1806.6825

Para comparar, el SAR del arreglo es alto, pero con una alta directividad en un momento dado; esto indica un mayor alcance a ese punto o área[8].

Se observa que el valor del SAR supera el valor recomendado que es de $4[W/Kg]$ ya que esta medición está directamente relacionada con la cantidad de energía que se absorbe y se convierte en calor en los tejidos del cuerpo. Si el SAR es elevado, puede producirse un calentamiento excesivo de los tejidos, lo cual puede ser perjudicial para las células y los órganos.

Se identifica que en el arreglo 2×1 de la antena, aunque también supera el valor estándar de $4[W/Kg]$, la energía se distribuye en un área más grande debido al arreglo. Esto podría implicar que la exposición se distribuye de manera más uniforme en comparación con la antena dipolo simple, lo que podría reducir el impacto en áreas específicas del cuerpo, en este caso la mano.

IV. CONCLUSIONES

Superar los valores estándar establecidos para el SAR puede ser perjudicial debido al potencial calentamiento de tejidos, la posibilidad de efectos biológicos y el riesgo a largo plazo para la salud. Es esencial seguir investigando y monitoreando los niveles de exposición para garantizar la seguridad de las antenas, las cuales emiten campos electromagnéticos para así proteger la salud humana, logrando un porcentaje de intensidad más seguro para su uso, ya que la antena dipolo simple y el arreglo 2×1 exceden los límites, la magnitud de la superación podría influir en la percepción de riesgos asociados a cada configuración.

Aunque ambas configuraciones de antenas superan el valor estándar establecido, la diferencia en la cantidad de SAR entre la antena dipolo simple siendo de $21.4818[W/Kg]$ y el arreglo 2×1 de

$26.8245[W/Kg]$ puede sugerir que este último presenta una incidencia de riesgo menor al propagarse sobre la mano, especialmente si la energía se distribuye de manera más uniforme en la mano. Sin embargo, es esencial tener en cuenta los valores obtenidos para llegar a un valor ideal y reducir el riesgo de exposición.

REFERENCIAS

- [1] M. Soumya, R. Jena, J. Kalita, and H. Byeon, "5G Technology and It's Application," 2023, doi: 10.5281/zenodo.8318518.
- [2] Sicom - Testing Labs, "Pruebas SAR en laboratorio y verificación de exposición humana a radiofrecuencias," Nov. 2020.
- [3] Federal Communications Commission, "Specific Absorption Rate (SAR) For Cell Phones: What It Means For You," 2020. [Online]. Available: www.fcc.gov/consumers.
- [4] D. Almagro, "ANÁLISIS DE UN ARREGLO LINEAL DE ANTENAS DIPOLO SIMPLE PARA ONDA MILIMÉTRICA," 2022.
- [5] LÓPEZ ORBEA FAUSTO XAVIER and DE LA TORRE TRUJILLO ISRAEL SEBASTIÁN, "COMPARACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE DISPERSIÓN DE LA ANTENA DIPOLO DE MEDIA ONDA EN LAS FRECUENCIAS DE 60, 67 Y 74 GHZ," 2021.
- [6] E. F. M. C. Jhonny Alexander Mejía Cabezas, "DISEÑO DE UNA ANTENA DIPOLO DE 6 GHZ EN LA BANDA 5G PARA LA MEDICIÓN DEL SAR," 2023.
- [7] O. Banguera, J. Antonio, M. Coloma, J. Steven, A. Guamán, and L. Wladimir, "Onofa, Mena, Aucatoma / Medición

SAR Antena Microstrip vs Arreglo de Antena microstrip 2x1 Medición SAR Antena Microstrip vs Arreglo de Antena microstrip 2x1 MICROSTRIP ANTENNA SAR MEASUREMENT VS 2X1 MICROSTRIP ANTENNA ARRAY," 2023.

[8] LUIS KEVIN VALDIVIEZO MASABANDA, "COMPARACIÓN SAR DE UNA ANTENA DIPOLO DOBLADO VERSUS UN ARREGLO DE DIPOLOS DOBLADOS 2X1 PARA LA BANDA DE 6 GHZ.," 2023.