



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA  
SEDE QUITO**

**CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**DISEÑO Y ANÁLISIS DEL SAR CON UNA ANTENA DIPOLO DOBLADO EN  
LA BANDA 5G**

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

**AUTORES:** Abimael Fernando Poaquiza Azogue

Fernando Damián Yáñez Vargas

**TUTOR:** Lenin Wladimir Aucatoma Guamán

Quito-Ecuador

2023

## CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Abimael Fernando Poaquiza Azogue con documento de identificación N° 1850103282 y Fernando Damián Yáñez Vargas con documento de identificación N° 1750401844; 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, 22 de Septiembre del año 2023

Atentamente,



---

Abimael Fernando Poaquiza Azogue  
1850103282



---

Fernando Damián Yáñez Vargas  
1750401844

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

Nosotros, Abimael Fernando Poaquiza Azogue con documento de identificación N°. 1850103282 y Fernando Damián Yánez Vargas con documento de identificación N°. 1750401844 , 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 y análisis del SAR con una antena dipolo doblado en la banda 5G”, 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, 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, 22 de Septiembre del año 2023

Atentamente,



---

Abimael Fernando Poaquiza Azogue  
1850103282



---

Fernando Damián Yánez Vargas  
1750401844

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

Yo, 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: DISEÑO Y ANÁLISIS DEL SAR CON UNA ANTENA DIPOLO DOBLADO EN LA BANDA 5G, realizado por Abimael Fernando Poaquiza Azogue con documento de identificación N° 1850103282 y por Fernando Damián Yáñez Vargas con documento de identificación N° 1750401844, 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, 22 de Septiembre del año 2023

Atentamente,



---

Ing. Lenin Wladimir Aucatoma Guamán, MSc  
1717985830

## **DEDICATORIA**

El presente proyecto de titulación está dedicado a mis padres Mariano y Angelina, quienes han sido mi pilar fundamental y ejemplo de lucha durante mi vida, gracias por su apoyo incondicional en todo momento siempre buscando lo mejor para mí y enseñarme a luchar por los objetivos que uno se propone y que nada es imposible.

A mis hermanos y amigos quienes en este emocionante capítulo de mi vida siempre estuvieron para mí guiándome, dándome consejos y palabras de apoyo a lograr cumplir mi objetivo propuesto.

**Abimael Fernando Poaquiza Azogue**

Le dedico el resultado de este trabajo a toda mi familia. Principalmente, a mi madre Silvia quien me apoyó y contuvo los momentos malos y en los menos malos. Gracias por enseñarme a afrontar las dificultades sin perder nunca la fe ni morir en el intento.

Me ha enseñado a ser la persona que soy hoy, mis principios, mis valores, mi perseverancia y mi empeño. Todo esto con una enorme dosis de amor y sin pedir nada a cambio.

También, quiero dedicarle este trabajo a mi hija Judith. Su nacimiento, ya sea por casualidad o causalidad, ha coincidido con la finalización de este proyecto. Sin duda ella es lo mejor que me ha pasado, y ha llegado en el momento justo para darme el último empujón que me faltaba para terminar el proyecto.

**Fernando Damián Yáñez Vargas**

## **AGRADECIMIENTO**

Expreso mi profundo agradecimiento primero a Dios por brindarme salud y vida y por permitir lograr culminar el objetivo que me planteé al elegir esta carrera universitaria.

Tambien a mis padres por todo el esfuerzo y sacrificio que han hecho para lograr cumplir mis metas, por su apoyo infinito que ha sido muy importante para mantenerme constante y no rendirme ante las adversidades.

Agradezco a los docentes de la Universidad Politécnica Salesiana, quienes con sus cátedras nos han instruido al largo de nuestra formación académica; al Ing. Lenin Wladimir Aucatoma Guaman, MSc, quien fue nuestro tutor, gracias por brindarnos el apoyo necesario e impartir los conocimientos para poder culminar nuestro trabajo de titulación.

**Abimael Fernando Poaquiza Azogu**

# DISEÑO Y ANÁLISIS DEL SAR CON UNA ANTENA DIPOLO DOBLADO EN LA BANDA 5G

Abimael Fernando Poaquiiza Azogue  
Departamento de Ingeniería  
Electrónica y Telecomunicaciones  
Universidad Politécnica Salesiana  
Quito, Ecuador  
apoaquiiza@est.ups.edu.ec

Fernando Damián Yáñez Vargas  
Departamento de Ingeniería  
Electrónica y Telecomunicaciones  
Universidad Politécnica Salesiana  
Quito, Ecuador  
fyanez@est.ups.edu.ec

Lenin Wladimir Aucatoma Guaman  
Departamento de Ingeniería  
Electrónica y Telecomunicaciones  
Universidad Politécnica Salesiana  
Quito, Ecuador  
laucatoma@est.ups.edu.ec

**Resumen.** - El presente artículo se basa en el análisis del SAR (Tasa de Absorción Específica) mediante el diseño de una antena dipolo doblado a una frecuencia de 6 GHz y una impedancia característica de 275 ohmios. Se determinó los niveles significativos del SAR en una mano humana a distancias cercanas, medianas y lejanas de la antena, con diferentes ángulos de inclinación de 0°, 90° y 270°. Los resultados obtenidos muestran que a medida que la antena se acerca más a la mano, el valor del SAR aumenta, obteniendo valores máximos de 52.6317, 9.1081, y 32.6108 [W/kg] a una distancia de 5mm y obteniendo un valor bajo los 4 [W/kg], con un ángulo de inclinación de 90° a distancias mediana y lejana con niveles de 3.3953 y 3.5931 [W/kg], tomando en cuenta que dependiendo del ángulo y la distancia que se encuentra de la mano, estos valores se pueden encontrar dentro y fuera del rango recomendado por la Comisión Internacional sobre Protección Frente a Radiaciones No Ionizantes (ICNIRP).

**Palabras Claves.** – *dipolo doblado, impedancia, SAR*

**Abstract-** *This article is based on the analysis of Specific Absorption Rate (SAR) through the design of a folded dipole antenna operating at a frequency of 6 GHz and with a characteristic impedance of 275 ohms. The goal is to determine significant SAR levels on a human hand at close, medium, and far distances from the antenna, with different inclination angles*

*of 0°, 90°, and 270°. The obtained results show that as the antenna gets closer to the hand, the SAR value increases, reaching maximum values of 52.6317, 9.1081, and 32.6108 [W/kg] at a distance of 5mm. The ideal value is obtained with an inclination angle of 90° at medium and far distances, with SAR levels of 3.3953 and 3.5931 [W/kg], respectively. It is important to note that depending on the angle and distance from the hand, these values may fall within or outside the recommended range by the International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP).*

**Key Words-** *Folded dipole, impedance, SAR*

## I. INTRODUCCIÓN

En los últimos tiempos, existe un progreso notable en el desarrollo de las redes de comunicación móvil, impulsado por la aparición de la tecnología 5G. Esta nueva generación de redes inalámbricas ofrece mejoras significativas, como una mayor velocidad de transmisión de datos, menor latencia y la habilidad de manejar simultáneamente un mayor número de dispositivos conectados. (Castillo, Calle, Pin, & Parrales, 2022)

El SAR es una métrica que indica cuánta energía de radiofrecuencia (RF) se absorbe en los tejidos del cuerpo humano cuando se utilizan dispositivos que emiten señales de radio, como los teléfonos móviles. Se presenta en vatios por kilogramo (W/kg) y representa la cantidad de

energía que se absorbe por cada kilogramo de masa corporal. El valor del SAR está influenciado por diversos factores, como la potencia de transmisión del dispositivo y la antena empleada. Se utiliza como una medida dosimétrica para establecer límites en la emisión de radiación por campos electromagnéticos no ionizantes y está relacionada con el aumento de la temperatura del cuerpo humano. (Romero, 2018).

El dipolo doblado es un tipo de antena con una configuración que ofrece una mayor eficiencia en comparación con otros diseños. Su estructura se compone de un dipolo clásico que se dobla formando una figura en "V" o "U", lo que facilita una mejor concentración del haz y una mayor ganancia. Estas cualidades hacen que el dipolo doblado sea especialmente apropiado para aplicaciones que demandan una alta resolución y sensibilidad, especialmente en la banda 5G. (Taipe Sailema, 2022).

En la franja de frecuencias de 100 kHz a 6 GHz, una exposición de todo el cuerpo no debería superar una Tasa de Absorción Específica (SAR) de 4 W/kg, ya que podría generar efectos sobre la salud. Cualquier efecto biológico de la radiación de RF por encima de este límite de exposición se debe al calentamiento de los tejidos. (Belyaev, y otros, 2022).

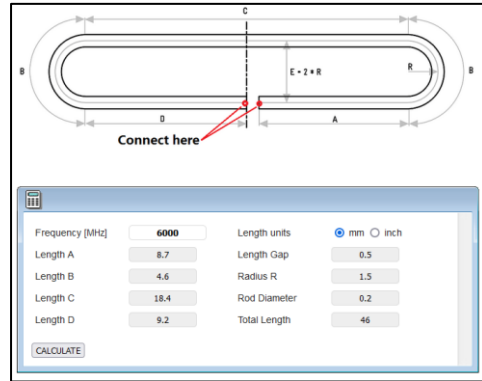
Es por esta razón que queremos identificar si el modelo de la antena propuesto puede regirse bajo las recomendaciones de SAR para la frecuencia de 6 GHz, misma que se estipula dentro del marco de desarrollo de 5G. (Comisión Internacional sobre Protección contra la Radiación No Ionizante (ICNIRP), 2020).

## II. DISEÑO Y CONFIGURACIÓN

El diseño de la antena dipolo doblado para la frecuencia 6 GHz se fundamenta en las propiedades electromagnéticas inherentes a este tipo de antena, lo cual posibilita una mejor adaptación de impedancia y una mayor eficiencia de radiación en la frecuencia objetivo. A nivel general, se detalla los diversos parámetros considerados en el diseño y configuración de la antena

En cuanto al material conductor utilizado, se suele optar por PEC como material para la

simulación. Estos materiales ofrecen una baja pérdida de energía y una mayor eficiencia de radiación, lo que resulta fundamental para el rendimiento de la antena.



**Fig. 1.** Calculadora de antena dipolo doblado (Folded Dipole Calculator).

La longitud de onda se representa mediante la siguiente ecuación:

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

Para el cálculo del brazo más largo de la antena denominado L, se hizo mediante la ecuación:

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

Para el cálculo de los brazos laterales o dipolos 11 y 12 se utilizó la ecuación:

$$L = \frac{\lambda}{4} \quad (3)$$

Considerando el diámetro  $\phi$  calculado por la calculadora se implementa la ecuación:

$$R = \phi - 0.5 \quad (4)$$

El cálculo para B se determinó mediante la siguiente ecuación

$$B \leq 0.05 \lambda \quad (5)$$



El parámetro S para la fuente se calculó mediante la ecuación:

$$S = 0.02 \lambda \quad (6)$$

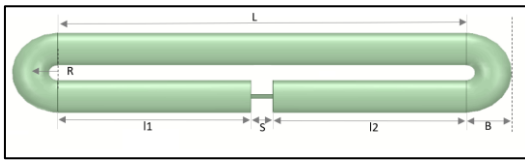


Fig. 2. Diseño de la antena Dipolo Doblado.

Tabla 1. Dimensiones de la antena

DESCRIPCIÓN	VALORES [mm]
LONGITUD DE ONDA $\lambda$	50
LONGITUD B	2,5
LONGITUD L	25
LONGITUD l1	12,5
LONGITUD l2	12,5
LONGITUD S	1
RADIO R	1,5

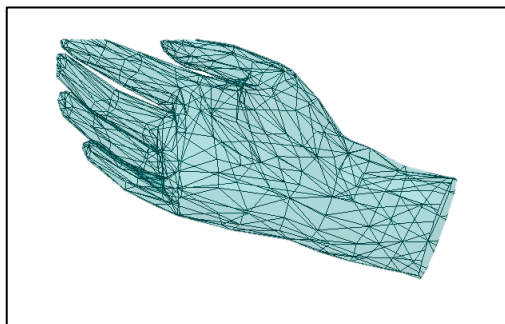


Fig. 3. Modelado de mano.

Tabla2. Características de la mano

Capas	Grosor [mm]
Piel	1.5
Grasa	8
Músculo	10
Hueso	5.4

### III. ANÁLISIS Y DISCUSIONES DE RESULTADOS

Como primer paso se necesita modelar una antena que se tenga un valor de S11 bajo los -10dB, además que el valor de VSWR de esta antena esté entre 1 y 1.5.

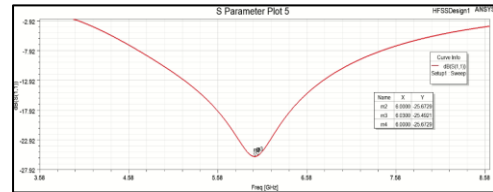


Fig. 4. Resultado parámetro S(1,1) de la antena dipolo.

La figura 4, representa un coeficiente de reflexión de -25.67 dB, trabajando a una frecuencia de 6 GHz, lo cual es un indicador de bajas pérdidas por reflexión.

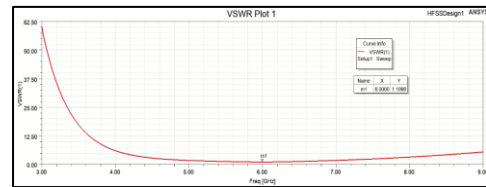


Fig. 5. Resultado VSWR de la antena dipolo doblado.

En la figura 5, se observa la gráfica VSWR 1.10, este valor indica que se acerca a un acoplamiento ideal ya que se encuentra cercano al valor de 1.

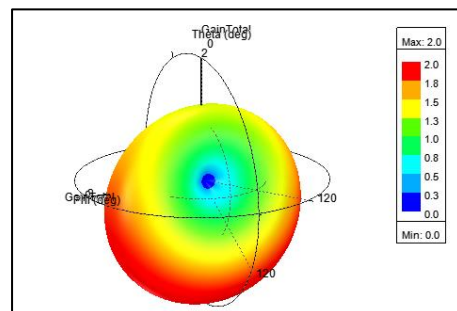
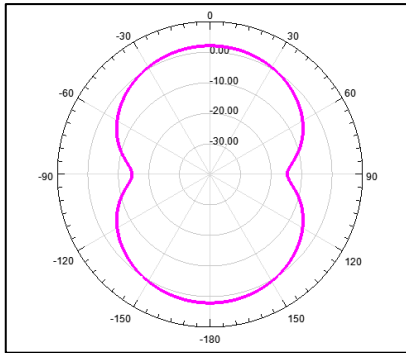


Fig. 6. Directividad de la antena 3D

En la Figura 6 se puede apreciar la ganancia de la antena, tiene un valor de ganancia máxima de 2 dB.



**Fig. 7.** Patrón de radiación de la antena.

En la figura 7 se observa un patrón de radiación con corte en el plano E, el mismo que muestra omnidireccional en la disposición de la energía.

### Análisis de SAR

En el modelo propuesto, podemos observar que los valores de SAR sobrepasar los límites recomendados por el ICNIRP. En la tabla 3 y en la tabla 4 se muestran los valores referenciales del ICNIRP y los valores medidos para nuestro modelo de antena respectivamente.

**Tabla 3.** Niveles recomendados por el ICNIRP.

Exposición	Rango frecuencia	SAR en Cuerpo [W/Kg]	SAR en miembro local [W/Kg]
Ocupacional	100 KHz a 6GHz	0.4	20
Público General		0.8	4

**Tabla 4.** Resultados obtenidos de valores SAR a diferentes ángulos y a distancias de 5,10 y 15 [mm].

	Distancia (mm)	SAR Mínimo [W/Kg]	SAR Máximo [W/Kg]
Ángulo de inclinación 0°	5	3.5088	52.6317
	10	1.0658	15.9867
	15	0.8865	13.2969
Ángulo de inclinación 90°	5	0.6073	9.1081
	10	0.2264	3.3953
	15	0.9582	3.5931
Ángulo de inclinación 270°	5	2.1741	32.6108
	10	0.3394	5.0889
	15	0.2659	3.9862

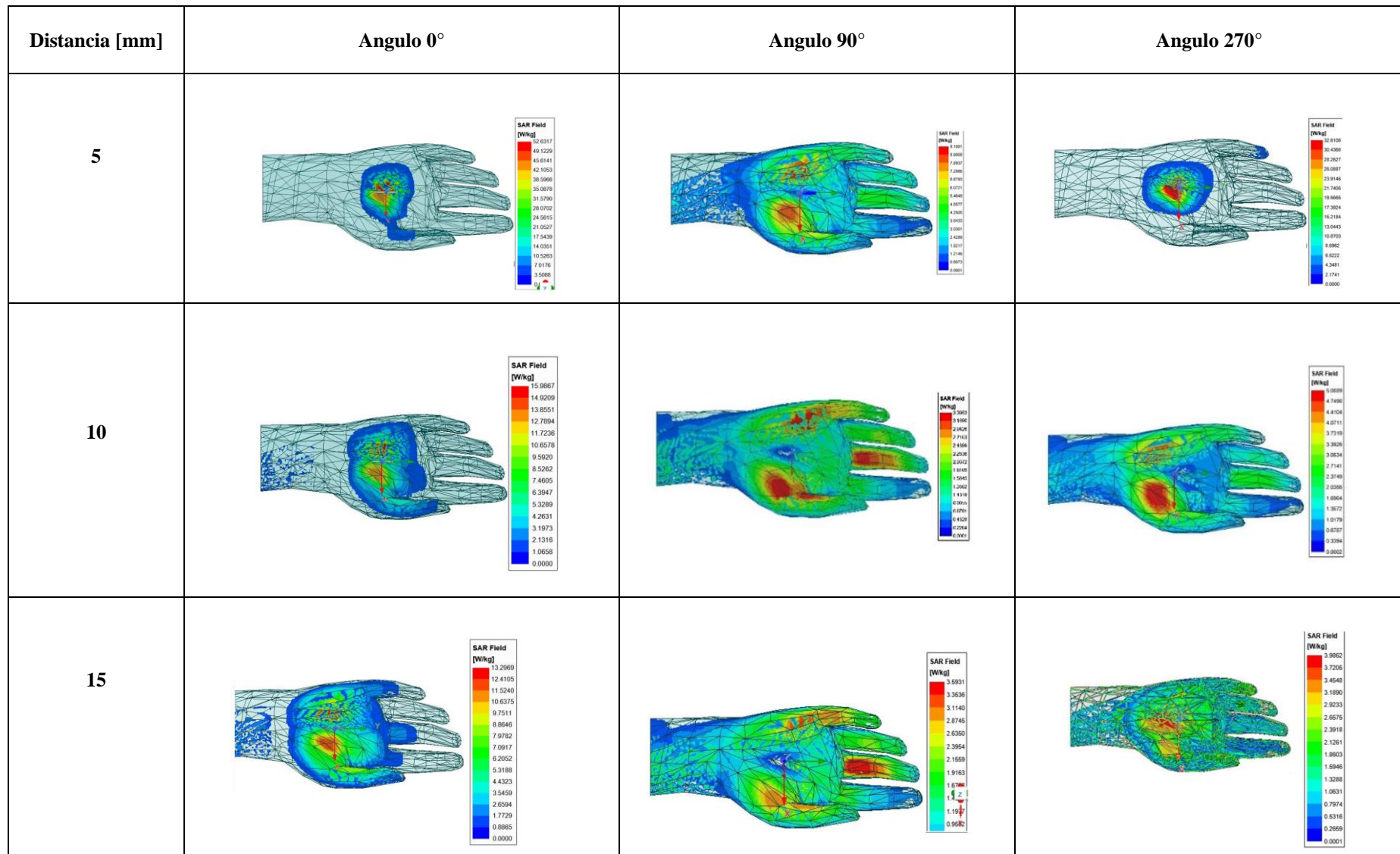


Fig.8. Valores del SAR obtenidos con ángulos de inclinación de 0°, 90°, y 270°.

Como se puede observar en la figura 8 la zona menos radiada de la mano se encuentra representado por el color azul en la palma de la mano siendo estos los valores mínimos del SAR a una distancia lejana de 15 mm (lejana) niveles de 0.8865, 0.9582, y 0.2659 [W/Kg], para ángulo de 0°, 90°, y 270° respectivamente, siendo esto un indicativo de que se encuentra dentro de los niveles aconsejables del ICNIRP.

En cuanto a las zonas más radiadas con niveles máximos del SAR las cuales se indican en la tabla 5 con un color rojo sobre la palma de la mano se obtuvo como resultado valores del SAR para 0° de 52.6317 [W/Kg], de 90° de 9.1081[W/Kg], y a 270° un valor de 32.6108 [W/Kg], todos a una distancia de 5mm, es decir a la distancia más cercana son altos en respecto a la recomendación de la Comisión Internacional sobre Protección Frente a Radiaciones No Ionizantes.

#### IV. CONCLUSIONES

Se evaluó la tasa de absorción específica (SAR) de una antena dipolo doblado a una frecuencia de 6GHz, a diferentes distancias de 5, 10, y 15 [mm] del cuerpo humano y a tres ángulos de inclinación (0°, 90° y 270°). Se encontró a una distancia cercana de 5mm, que los valores máximos de SAR fueron demasiado altos para los tres ángulos probados, superando el nivel recomendado por el ICNIRP en extremidades. Los niveles altos del SAR se debieron a la directividad de la antena, que irradiaba intensamente hacia un lado de la fuente (Lumped Port), lo que afectaba directamente la mano en ciertas posiciones. Sin embargo, al aumentar la distancia a 10, y 15 [mm] a 90° los niveles del SAR disminuyeron significativamente presentando niveles más bajos y seguros del SAR, dando como valores adecuados de 3.3953, y 3.5931 [W/Kg] respectivamente, cumpliendo con las recomendaciones del ICNIRP. Por lo que se recomienda considerar tanto el ángulo de inclinación como la distancia de las antenas colocadas cerca del cuerpo humano, para asegurar niveles recomendados de la tasa de absorción específica (SAR) y proteger la salud de las personas.

Se verificó en cuanto al parámetro S11, reflejó un resultado de -25.67 [dB] donde se encontraba bajo el umbral de -10 dB por lo tanto se pudo determinar que existen bajas pérdidas por reflexión, no obstante, el valor obtenido del VSWR fue de 1.10 cumpliendo con el argumento  $1 \leq \text{VSWR} \leq 1.5$  lo cual es un indicativo de un acople ideal, cabe recalcar que uno de los parámetros esenciales para este estudio fue que la antena si se encontraba trabajando a la frecuencia de trabajo establecida a 6 [GHz], por lo que los valores S11 y VSWR son los correctos.

#### V. BIBLIOGRAFÍA

[1] Taípe Sailema, G. M. (2022). *DISEÑO DE LA INFRAESTRUCTURA DE UNA RED 5G PARA LA*

Ambato. Obtenido de <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/22975>

- [2] Belyaev, I., Blackman, C., Chamberlin, K., DeSalles, A., Dasdag, S., Fernández, C., . . . S, W. (18 de Octubre de 2022). International Commission on the Biological Effects of Electromagnetic Fields (ICBE-EMF). Scientific evidence invalidates health assumptions underlying the FCC and ICNIRP exposure limit determinations for radiofrequency radiation: implications for 5G. *Environ Health*, 21(92), 46. doi:<https://doi.org/10.1186/s12940-022-00900-9>
- [3] Castillo, V. A., Calle, J. E., Pin, J. X., & Parrales, C. A. (2022). 5G tecnología inalámbrica que cambiará el mundo por completo. *UNESUM*, 6(3), 39. Recuperado el Junio de 2022, de <https://revistas.unesum.edu.ec/index.php/unesumciencias/article/view/393>
- [4] Comisión Internacional sobre Protección contra la Radiación No Ionizante (ICNIRP). (Mayo de 2020). *DIRECTRICES PARA LIMITAR LA EXPOSICIÓN A ELECTROMAGNÉTICOS*. 118(5), 43. Recuperado el Julio de 2023, de <https://www.icnirp.org/cms/upload/publications/ICNIRPrfgdl2020.pdf>
- [5] Romero, A. (2018). Protocolo de pruebas para evaluar el SAR (Tasa de Absorción Específica). *Maskana*. Recuperado el Junio de 2022