



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA  
SEDE QUITO**

**CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**DISEÑO DE UNA ANTENA DIPOLO DE 6 GHZ EN LA BANDA 5G PARA LA  
MEDICIÓN DEL SAR**

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

AUTORES: Jhonny Alexander Mejía Cabezas

Edison Fabricio Morocho Criollo

TUTOR: Lenin Wladimir Aucatoma Guamán

Quito-Ecuador

2023

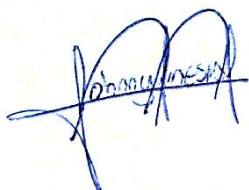
## CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Jhonny Alexander Mejía Cabezas con documento de identificación N° 1719385104 y Edison Fabricio Morocho Criollo con documento de identificación N° 1721736468; 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, 20 de Junio del año 2023

Atentamente,



---

Jhonny Alexander Mejía Cabezas  
1719385104



---

Edison Fabricio Morocho Criollo  
1721736468

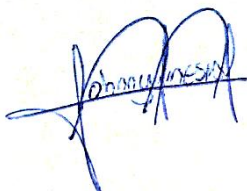
## **CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Nosotros, Jhonny Alexander Mejía Cabezas con documento de identificación No. 1719385104 y Edison Fabricio Morocho Criollo con documento de identificación No. 1721736468, 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 de una antena dipolo de 6 GHz en la banda 5G para la medición del SAR”, 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, 20 de Junio del año 2023

Atentamente,



---

Jhonny Alexander Mejía Cabezas  
1719385104



---

Edison Fabricio Morocho Criollo  
1721736468

## 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 DE UNA ANTENA DIPOLO DE 6 GHZ EN LA BANDA 5G PARA LA MEDICIÓN DEL SAR, realizado por Jhonny Alexander Mejía Cabezas con documento de identificación N° 1719385104 y por Edison Fabricio Morocho Criollo con documento de identificación N° 1721736468, 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, 20 de Junio del año 2023

Atentamente,



---

Ing. Lenin Wladimir Aucatoma Guamán, MSc  
1717985830

## **DEDICATORIA**

A mis padres Edison y Blanca, quienes fueron mi pilar fundamental en todo el camino universitario ya que siempre estuvieron ahí en cada momento de dificultad con palabras de aliento y nunca me dejaron que me rinda, además por sus consejos para ser una persona de bien.

A mi hermano Jorge, quien fue un ejemplo a seguir por su perseverancia y lograr todo lo que se proponía además de ser una persona de bien.

A mi hermano que no tuve la oportunidad de conocerle pero que desde el cielo siempre está presente cuando más lo necesitaba te quiero mi ángel de la guarda.

A mi sobrino Ariel, quien con sus travesuras da alegría a la familia.

### **Edison Fabricio Morocho Criollo**

En primer lugar, dedicarle este trabajo a mi familia, a mis padres Silvia y Johnni los cuales siempre estuvieron a mi lado apoyándome y guiándome en este camino difícil con malos y buenos momentos, siempre dándome palabras de aliento y esperanzadoras buscando un gran futuro para mí.

A mi hermana Poleth, una de las personas que siempre estuvo ahí conmigo diciéndome que yo podía dar mucho más de lo que la gente esperaba y apoyándome en mis caídas y en mis aciertos, también a su familia mi cuñado y mis sobrinos que siempre me han apoyado, sacándome sonrisas y tendiéndome la mano para cualquier ocasión.

A mi hermana María José, la pequeña de la casa siempre dándome ánimos, aunque somos muy parecidos sabemos que con una sola palabra o un abrazo nunca nos dejaremos caer y siempre ha estado cuando la he necesitado.

A mis amigos y hermanos del alma Alexander, Stalin, Erik y mi primo Sebastián, personas que la vida puso en mi camino y que siempre estaré agradecido con ellos, cuando he tenido problemas han sido con las que he podido conversar y me han dado consejos para crecer como persona.

### **Jhonny Alexander Mejía Cabezas**

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios por la vida y por permitirme lograr un objetivo más en mi formación académica.

A mis padres por su apoyo incondicional cuando más los necesitaba y siempre estuvieron presentes para que nunca me falte nada.

A mi tutor Ing. Lenin Aucatoma quien con sus conocimientos brindados fue fundamental en el desarrollo de nuestro trabajo de titulación.

A la Ing. Berenice Arguero gracias por sus correcciones para mejorar nuestro artículo académico.

A mis compañeros quienes desde principio a fin compartimos grandes momentos además de grandes anécdotas.

A los docentes quienes nos brindaron sus conocimientos para ser buenos profesionales.

**Edison Fabricio Morocho Criollo**

A Dios por permitirme lograr los objetivos que me planteé desde el principio cuando elegí esta carrera universitaria.

A mis padres que siempre me han apoyado, han estado en los malos y buenos momentos y nunca han dejado que me falte nada.

A mi tutor Ing. Lenin Aucatoma gracias por brindarnos el apoyo necesario e impartirnos los conocimientos necesarios para poder culminar nuestro trabajo de titulación.

A los docentes que nos brindaron conocimiento desde el primer semestre hasta el último para poder ser en el futuro buenos profesionales.

**Jhonny Alexander Mejía Cabezas**

# DISEÑO DE UNA ANTENA DIPOLO DE 6 GHZ EN LA BANDA 5G PARA LA MEDICIÓN DEL SAR

Jhonny Alexander Mejía Cabezas  
Departamento de Ingeniería  
Electrónica y Telecomunicaciones  
Universidad Politécnica Salesiana  
Quito, Ecuador  
jmejiac3@est.ups.edu.ec

Edison Fabricio Morocho Criollo  
Departamento de Ingeniería  
Electrónica y Telecomunicaciones  
Universidad Politécnica Salesiana  
Quito, Ecuador  
emorocho3@est.ups.edu.ec

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

*Resumen* — En este artículo se presenta el diseño y análisis del SAR de una antena dipolo en ANSYS HFSS. La antena dipolo propuesta opera a una frecuencia de 6 GHz. Esta antena está diseñada con una fuente, una impedancia característica de 73 ohm que está conectada a dos conductores los cuales serán de tres materiales cobre, acero inoxidable y aluminio. El VSWR de la antena dipolo es de 1.2571 siendo este el valor con el cual la antena trabajará para la simulación. Una vez realizado el diseño de la antena dipolo se realizó la medición de la Tasa de Absorción Específica (SAR), mediante los valores de la Comisión Internacional de Protección contra la Radiación No Ionizante (ICNIRP) correspondiente a 10g, teniendo como valor máximo del SAR de 0.46 [W/kg], así como la Comisión Federal de Comunicaciones (FCC) correspondiente a 1g, teniendo como valor máximo del SAR de 0.53 [W/kg], para equipos de comunicación. Obteniendo en esta investigación los valores máximos del SAR de 0.00022, 0.000124 y 0.00022 [W/kg] para 1g y 0.000134, 0.000035 y 0.000132 [W/kg] para 10g, demostrando que los materiales utilizados no provocan excesiva radiación al tejido humano, estando dentro de los valores del SAR avalados por la OMS.

*Palabras Clave* – Antena Dipolo; 5G; SAR.

*Abstract* — This article presents the design and SAR analysis of a dipole antenna in ANSYS HFSS. The proposed dipole antenna operates at a frequency of 6 GHz. This antenna is designed with a source, a characteristic impedance of 73 ohms that is connected to two conductors which will be made of three materials: copper, stainless steel and aluminum. The VSWR of the dipole antenna is 1.2571, this being the value with which the antenna will work for the simulation. Once the design of the dipole antenna was carried out, the measurement of the Specific Absorption Rate (SAR) was carried out, using the values of the International Commission on

Protection against Non-Ionizing Radiation (ICNIRP) corresponding to 10g, having the maximum value of SAR of 0.46 [W/kg], as well as the Federal Communications Commission (FCC) corresponding to 1g, with a maximum SAR value of 0.53 [W/kg], for communication equipment. Obtaining in this investigation the maximum SAR values of 0.00022, 0.000124 and 0.00022 [W/kg] for 1g and 0.000134, 0.000035 and 0.000132 [W/kg] for 10g, demonstrating that the materials used do not cause excessive radiation to human tissue, being within the SAR values endorsed by the OMS.

*Keywords* – Dipole antenna; 5G; SAR.

## I. INTRODUCCIÓN

En los últimos años se ha realizado un análisis de la tecnología 5G a medida que la comunicación inalámbrica se ha extendido a segmentos relacionados como las telecomunicaciones, la infraestructura y las aplicaciones inteligentes, donde la complejidad seguirá aumentando y la búsqueda de soluciones eficaces será el desafío más importante que enfrentarán los profesionales, la banda 5G es el estudio del uso de señales ha alta frecuencia, ubicada en el rango milimétrico de la longitud de onda ofreciendo la ventaja de poder establecer un mayor ancho de banda para la transmisión de video e información multimedia a mayor velocidad y en la más alta calidad [1]. Para proteger a los usuarios de la exposición peligrosa a la radiación electromagnética de teléfonos móviles, se ha propuesto un parámetro conocido como tasa de absorción específica (SAR) para medir el porcentaje que los tejidos biológicos absorben la energía electromagnética [2].

Se han considerado estudios previos como es el caso de las antenas Meander PIFA y Wrinkle PIFA con una

frecuencia de resonancia de 2.4 GHz obteniendo los valores máximos del SAR en un fantoma de músculo humano los cuales son 0.87 W/kg y 2.1 W/kg respectivamente [3], también en la investigación de una antena dipolo con una frecuencia de 5 GHz utilizada en telefonía móvil y simulada junto a la cabeza humana obteniendo los valores máximos del SAR de 1.46 W/kg y 2.11 W/kg [4], por último se consideró el estudio en las antenas Patch Circular y Patch Rectangular simulados a una frecuencia de 835 MHz en la zona de la cabeza humana obteniendo los valores máximos del SAR de 0.16 W/kg y 0.31 W/kg respectivamente [5]. Basados en los valores que regulan las organizaciones para la medición del SAR como son la Comisión Internacional de Protección contra la Radiación No Ionizante (ICNIRP), como la Comisión Federal de Comunicaciones (FCC) de EE. UU [6].

La antena dipolo implementada en esta investigación consta de dos polos la cual se conectan a una fuente o separación teniendo una impedancia característica de 73 ohm la cual fue diseñada para que trabaje a una frecuencia de resonancia de 6 GHz.

Inicialmente se compararon los valores máximos de regularización establecidos por las organizaciones ICNIRP y FCC, en comparación con los límites de exposición simulados. Por otro lado, se pretende dar un modelo simulado de la mano humana para cuantificar dónde se disipa la mayor parte del poder de la tecnología [7].

Finalmente se procedió a evaluar el SAR de la antena dipolo simple para determinar si dichos valores obtenidos están permitidos por la OMS.

## II. DISEÑO DE LA ANTENA

### A. Diseño de la antena dipolo

En la figura 1, se presenta el diseño de la antena dipolo. Su diseño consta de dos brazos con su respectivo radio y una fuente.

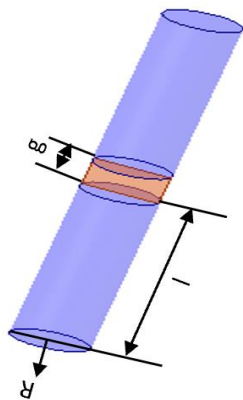


Figura 1: Diseño antena dipolo

Se realizó el diseño de la antena dipolo con una frecuencia de 6 GHz y una impedancia característica de 73 ohm. Para obtener las medidas y dimensiones de nuestra antena se utilizan las siguientes ecuaciones:

Longitud de onda:

$$\lambda = \frac{c}{f} [8] \quad (1)$$

$$c = 3 \times 10^8 \text{ m/s} [9] \quad (2)$$

Donde:

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

$f = \text{frecuencia}$

La longitud de cada brazo "l" es:

$$l = \frac{\lambda - 2g}{4} [9] \quad (3)$$

Donde:

$g = \text{separación entre brazos}$

$R = \text{radio}$

$$R = 0.0005\lambda [9] \quad (4)$$

La ecuación utilizada para la separación entre brazos es:

$$g = R * e^{\frac{|Z_0|}{120}} [9] \quad (5)$$

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

En la Tabla 1, se indica los valores y dimensiones de la antena dipolo para la implementación en el software ANSYS HFSS.

Tabla 1. Parámetros y valores del diseño de la antena dipolo obtenidos de forma matemática y sintonizada

Parámetros	Valores Matemáticos	Valores Ajustados	Desfase
Frecuencia [GHz]	6	6	---
Lambda [mm]	50	50	---
Longitud antena dipolo [mm]	25	25	---
Brazo l [mm]	12.48	10	19.87%
Radio R [mm]	0.025	0.0526	210.4%
Gap g [mm]	0.045	0.0124	72.44%

En la Tabla 2, se observa los materiales y las características con los que se va a simular el diseño de la antena.



Tabla 2. Propiedades de los materiales de la antena dipolo

Material	Conductividad a granel [Siemens/m]	Permitividad Relativa	Permeabilidad Relativa
Acero Inoxidable	1100000	1	1
Aluminio	38000000	1	1.000021
Cobre	58000000	1	0.999991

El diseño de la antena dipolo consta de dos brazos “I” los cuales se configuró con los siguientes materiales: acero inoxidable, aluminio y cobre. Además tiene una separación “g” entre brazos la cual tiene una impedancia de 73 ohm. Para la superficie de radiación utilizamos PML (Perfectly Matched Layer) la cual se crea automáticamente de acuerdo con las dimensiones de la antena [10].

Para la medición del SAR se utilizó una mano la cual fue ubicada cerca de la antena dipolo a distintas distancias 5, 10 y 15 [mm] para la obtención de valores de SAR en W/kg y se utilizó las características de la Tabla 3 [11].

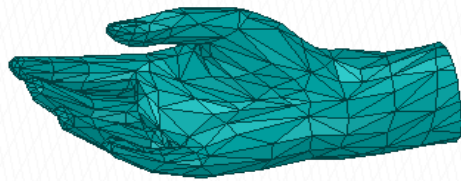


Figura 2: Modelo simulado de la mano en ANSYS HFSS

Tabla 3. Características de la mano

Capas	Grosor [mm]
Piel	1.6
Músculo	10
Grasa	8
Hueso	5.4

### III. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En la Figura 3 se observa el VSWR de la antena dipolo con un valor de 1.2571, en la Figura 4 se indica el parámetro S (1,1) de -22.8249 dB y en la Figura 5 se identifica el patrón de radiación y ganancia de la antena de  $G_{\text{máx}}: 2.01 \text{ dB}$ , con una frecuencia de 6 GHz siendo sometida a distancias de 5, 10 y 15 [mm] entre la mano y la antena para obtener los valores máximos de la Tasa de Absorción Específica (SAR), estos valores están establecidos de la siguiente manera para 1g de tejido humano su valor es de 0.53 W/kg establecido por la FCC (Comisión Federal de Comunicaciones), y para 10g de tejido humano tiene un valor de 0.46 W/kg establecido por la ICNIRP (Comisión Internacional de Protección de Radiación no Ionizante) [12].

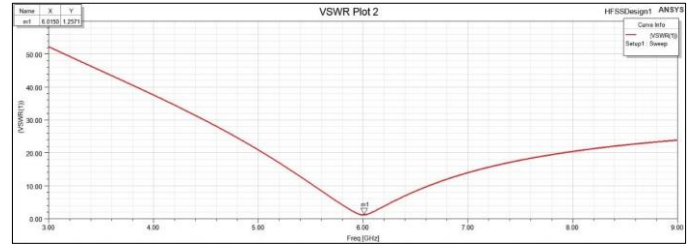


Figura 3: Resultado VSWR de la antena dipolo

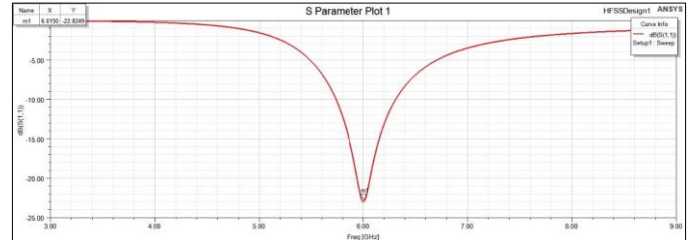


Figura 4: Resultado parámetro S (1,1) de la antena dipolo

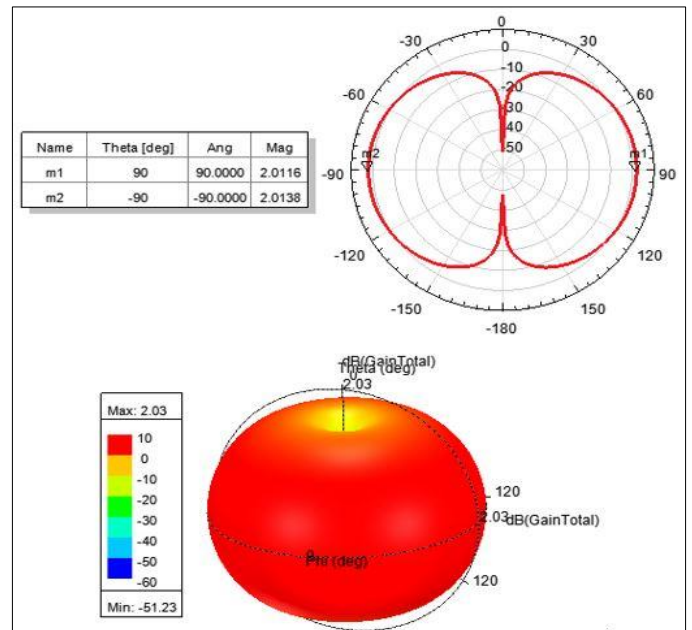


Figura 5: Resultado del patrón de radiación y ganancia de la antena dipolo

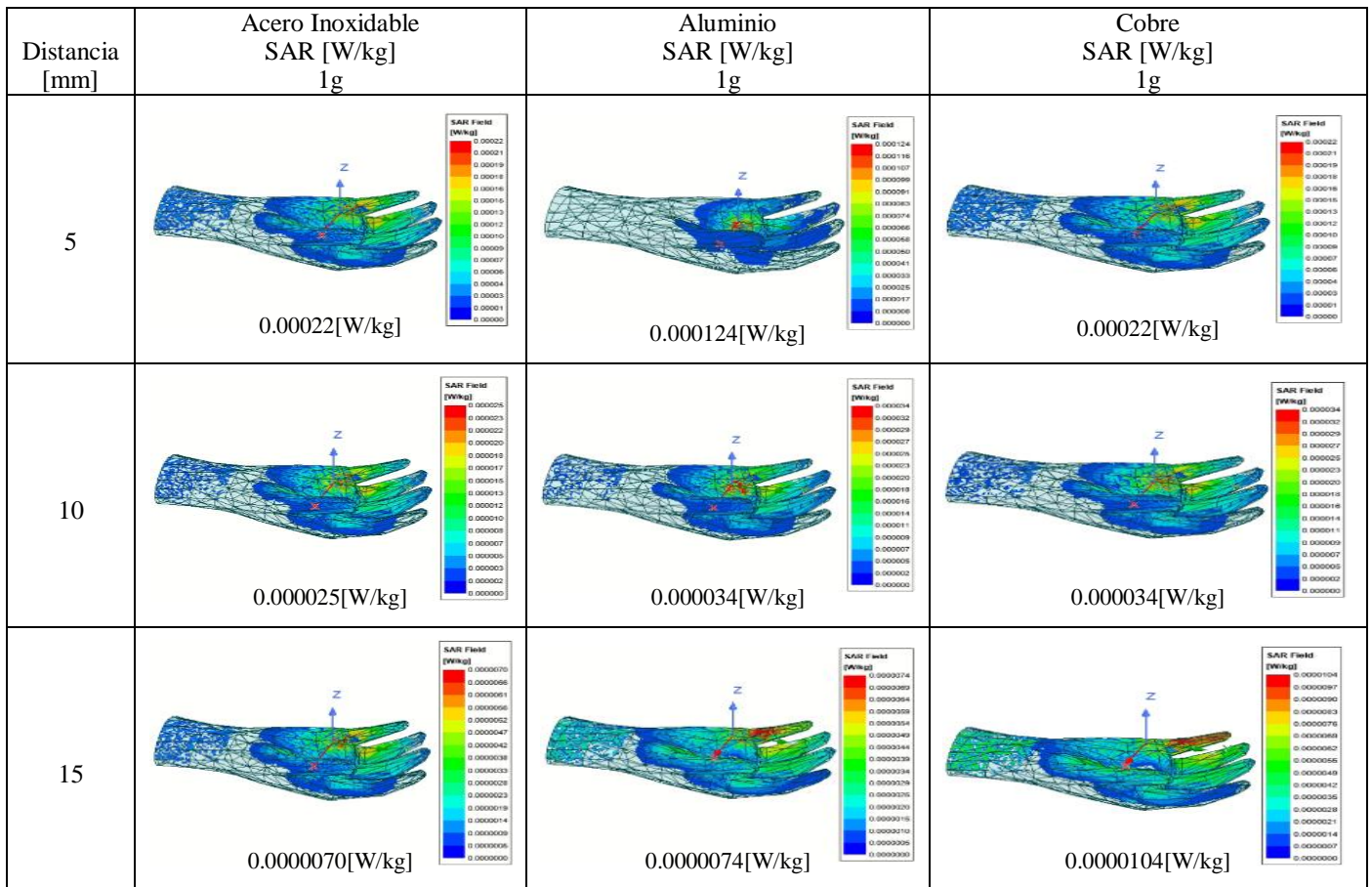
#### A. Resultados del SAR en 1g y 10g de tejido humano

En la Tabla 4 se observa los resultados del SAR a distancias de 5, 10 y 15 [mm] y en la Tabla 5 se indica los valores máximos obtenidos del SAR en 1g de tejido humano con valores en W/kg, en la Tabla 6 se muestra los valores máximos obtenidos del SAR en 10g de tejido humano con valores en W/kg, los materiales utilizados son Acero Inoxidable, Aluminio y Cobre donde el color rojo indica el valor máximo y el color azul el valor mínimo de radiación que emite la antena hacia la mano, dando como resultado que el diseño de la antena así como el cambio de materiales en la misma no son nocivos para la salud dado que dichos materiales no provocan una radiación excesiva en el tejido humano y los valores máximos del SAR obtenidos de estas variaciones se encuentran por debajo de los valores estándares emitidos por la OMS.

Tabla 4. Resultados obtenidos de valores máximos del SAR en 1g y 10g de tejido en Acero Inoxidable, Aluminio y Cobre, a distancias de 5, 10 y 15[mm]

	Distancia [mm]	Acero Inoxidable [W/kg]	Aluminio [W/kg]	Cobre [W/kg]
1g	5	0.00022	0.000124	0.00022
	10	0.000025	0.000034	0.000034
	15	0.0000070	0.0000074	0.0000104
10g	5	0.000134	0.000035	0.000132
	10	0.0000148	0.000018	0.000020
	15	0.0000043	0.0000049	0.0000072

Tabla 5. Valores del SAR en los materiales de Acero Inoxidable, Aluminio y Cobre en 1g de tejido humano



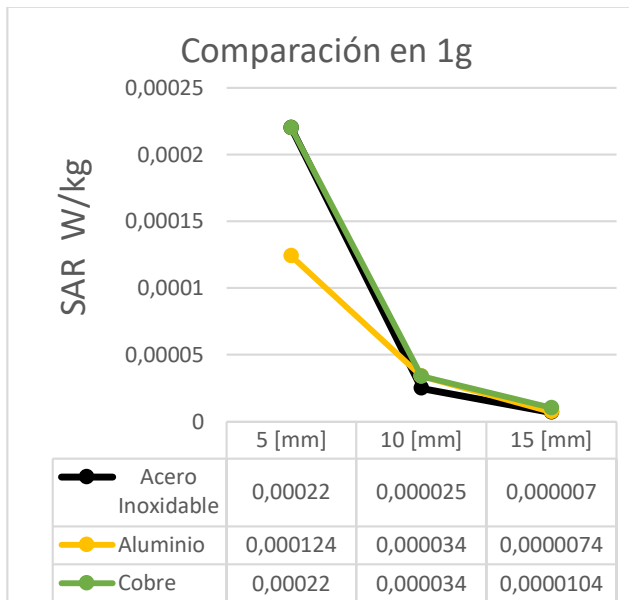


Figura 6: Variación del SAR en 1g

En la Tabla 5 se obtiene el resultado del SAR en los materiales de Acero Inoxidable, Aluminio y Cobre con los valores máximos de 0.00022 [W/kg], 0.000124 [W/kg] y 0.00022 [W/kg] respectivamente, el valor estándar es de 0.53 W/kg establecido por la FCC para 1g, observando que la utilización de los 3 materiales pueden establecerse adecuadamente en el diseño de la antena, el cambio de materiales influye en el porcentaje de radiación emitida por la misma, en los resultados de la Figura 6 se puede apreciar como el material de Aluminio tiene el porcentaje más bajo a comparación con los otros materiales.

En la Figura 6 se observa el comportamiento de los valores máximos del SAR a diferentes distancias y diferentes materiales donde se puede notar que a mayor distancia el SAR disminuye y a menor distancia el SAR aumenta, obteniendo una comparación entre los tres materiales, en las distancias 10 y 15 [mm] el SAR no varía significativamente, pero en la distancia de 5 [mm] el comportamiento del SAR con el material de Aluminio varía en 0.000096 respecto a los materiales de Acero Inoxidable y Cobre los cuales tienen el mismo valor máximo de SAR de 0.00022 [W/kg].

Tabla 6. Valores del SAR en los materiales de Acero Inoxidable, Aluminio y Cobre en 10g de tejido humano

Distancia [mm]	Acero Inoxidable SAR [W/kg] 10g	Aluminio SAR [W/kg] 10g	Cobre SAR [W/kg] 10g
5	<p>0.000134[W/kg]</p>	<p>0.000035[W/kg]</p>	<p>0.000132[W/kg]</p>
10	<p>0.000148[W/kg]</p>	<p>0.000018[W/kg]</p>	<p>0.000020[W/kg]</p>
15	<p>0.000043[W/kg]</p>	<p>0.000049[W/kg]</p>	<p>0.000072[W/kg]</p>

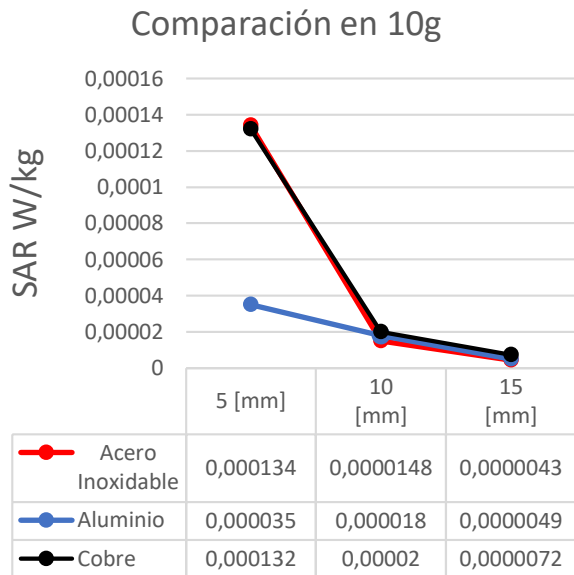


Figura 7: Variación del SAR en 10g

En la Tabla 6 se obtiene el resultado del SAR en los materiales de Acero Inoxidable, Aluminio y Cobre con los valores máximos de 0.000134 [W/kg], 0.000035 [W/kg] y 0.000132 [W/kg] respectivamente, el diseño de la antena tiene un comportamiento semejante entre los tres materiales donde los valores máximos se encuentran dentro del valor permitido por la OMS siendo el valor de 0.46 W/kg establecido por la ICNIRP para 10g, el fenómeno observado en el diseño de la antena con la variación de los tres materiales es la diferencia de porcentaje de los valores máximos del SAR, dando como resultado que el material de Aluminio tenga el porcentaje más bajo de radiación absorbida por la mano siendo el valor de 0.000099 con diferencia de los otros dos materiales.

En la Figura 7 se puede observar la variación entre los tres materiales y la diferencia entre los valores máximos del SAR a diferentes distancias, pero con la misma frecuencia de 6 GHz dando como resultado que el material más apropiado para el diseño de la antena sería el Aluminio por su baja radiación.

En el diseño de la antena dipolo se utilizó la sintonización para 1g y 10g ya que nos aportaba los valores exactos para poder obtener una frecuencia de 6 GHz y de esta manera den los valores máximos del SAR para la frecuencia establecida, mientras que los valores matemáticos para el diseño de la antena no nos daban la frecuencia de 6 GHz y nos aportaban valores más altos de frecuencia.

### B. Comparación del SAR estándar y simulado en 1g y 10g de tejido humano

Tabla 7. SAR Estándar y SAR Simulado

	Material	SAR Estándar [W/kg]	SAR Simulado [W/kg]
1g	Acero Inoxidable	0.53	0.00022
	Aluminio	0.53	0.000124

	Cobre	0.53	0.00022
10g	Acero Inoxidable	0.46	0.000134
	Aluminio	0.46	0.000035
	Cobre	0.46	0.000132

En la Tabla 7 se indica los valores máximos simulados del SAR el cual está dentro del valor máximo permitido de 0.53 W/kg para 1g y de 0.46 W/kg para 10g lo cual indica que el SAR de la antena mediante la simulación, señala que la irradiación provocada por la antena y los diferentes materiales de diseño refleja que no son perjudiciales para la salud y se puede implementar en la parte de las telecomunicaciones con la frecuencia de 6 GHz.

Tabla 8. Tabla general valores máximos SAR y diferencia con valores estándares

	Distancia [mm]	Acero Inoxidable [W/kg]	Aluminio [W/kg]	Cobre [W/kg]
1g	5	0.00022	0.000124	0.00022
	<b>Valor Regulado</b>	0.53	0.53	0.53
	<b>Diferencia</b>	0.52978	0.529876	0.52978
	10	0.000025	0.000034	0.000034
	<b>Valor Regulado</b>	0.53	0.53	0.53
	<b>Diferencia</b>	0.529975	0.529966	0.529966
	15	0.0000070	0.0000074	0.0000104
10g	<b>Valor Regulado</b>	0.53	0.53	0.53
	<b>Diferencia</b>	0.529993	0.5299926	0.5299896
	5	0.000134	0.000035	0.000132
	<b>Valor Regulado</b>	0.46	0.46	0.46
	<b>Diferencia</b>	0.459866	0.459965	0.459868
	10	0.0000148	0.000018	0.000020
	<b>Valor Regulado</b>	0.46	0.46	0.46
<b>Diferencia</b>	0.4599852	0.459982	0.45998	
15	0.0000043	0.0000049	0.0000072	
10g	<b>Valor Regulado</b>	0.46	0.46	0.46
	<b>Diferencia</b>	0.4599957	0.4599951	0.4599928

En la Tabla 8 se observan todos los valores máximos del SAR así como los valores regulados para 1g y 10g, dando como resultado la diferencia entre los valores de cada material y tejido humano, obteniendo la distancia que existe entre el resultado de la simulación y el valor regulado.

#### IV. CONCLUSIONES

Se determinó que en 1g y 10g de tejido humano, la tasa de absorción específica obtenida en la antena dipolo sintonizada a 6 GHz, la irradiación provocada en la antena de Acero Inoxidable obtuvo un SAR máximo en 1g y 10g de 0.00022 W/kg y 0.000134 W/kg, para la antena de Aluminio se obtuvo un SAR máximo en 1g y 10g de 0.000124 W/kg y 0.000035 W/kg y finalmente para la antena de cobre se obtuvo un SAR máximo en 1g y 10g de 0.00022 W/kg y 0.0001325 W/kg respectivamente, a una distancia de 5 [mm] de la mano ubicada sobre la capa de la piel para determinar la cantidad de energía que puede absorber el tejido humano siendo estos los valores máximos, se puede observar que a menor distancia mayor el SAR, determinando así que los valores obtenidos están dentro de los valores estándares permitidos evitando que no sean nocivo para la salud.

Se analizó la tasa de absorción específica en la antena dipolo con los 3 diferentes materiales: Acero Inoxidable, Aluminio y Cobre a una distancia de 15 [mm] a 1g y 10g con el valor estándar del SAR avalado por la OMS de 0.53 W/kg y 0.46 W/kg respectivamente, siendo la antena de Acero Inoxidable la cual provoca el SAR más bajo en 1g y 10g de tejido humano de 0.0000070 W/kg y 0.0000043 W/kg de tal manera que la irradiación no provoca ninguna afección y está dentro de los estándares FCC y ICNIRP dando como resultado que se pueda implementar la antena.

Se observó que los parámetros del diseño de la antena no varían cuando se utilizan diferentes materiales en este caso el Acero Inoxidable, Aluminio y Cobre, dándonos como resultado en la simulación valores máximos del SAR inferiores al valor estándar emitidos por la OMS, estos valores se lograron ya que la frecuencia es de 6 GHz y aún está en vigencia a diferencia de frecuencias en onda milimétrica donde el SAR será superior a los valores encontrados en esta simulación, también se los puede utilizar con materiales homogéneos como los materiales antes mencionados.

#### V. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] C. J. Sánchez Núñez y N. A. Zamora Cedeño, «Caracterización de las ondas milimétricas para determinar su,» Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, Guayaquil, 2018.
- [2] H. H. Zhang, G. G. Yu, Y. Liu, Y. X. Fang, G. Shi y S. Wang, «Design of Low-SAR Mobile Phone Antenna: Theory and Applications,» in IEEE Transactions on Antennas and Propagation vol. 69, no. 2,» IEEE, 2021, pp. 698-707.
- [3] R. Kumar, L. Singh Solanki y S. Singh, «SAR Analysis of Antenna Implanted inside Homogeneous Human Tissue Phantom,» Sant Longowal Institute of Engineering and Technology, Punjab, 2019.
- [4] H. Zhou, A. Pal, A. Mehta, D. Mirshekar Syahkal y H. Nakano, «Smart Sticker Including Split Square Rings for Adapting Mobile Phone Radiation Pattern to Lower SAR,» College of Engineering, Swansea University, Swansea, 2018.
- [5] A. Singla, A. Marwaha y S. Marwaha, «Reduction of specific absorption rate (SAR) for human head using circular patch antenna,» Electronics & Communication Engg, Punjab, 2020.
- [6] H. H. Zhang, X. Z. Liu, G. S. Cheng, Y. Liu, G. M. Shi y K. Li, «Low-SAR Four-Antenna MIMO Array for 5G Mobile Phones Based on the Theory of Characteristic Modes of Composite PEC-Lossy Dielectric Structures,» in IEEE Transactions on Antennas and Propagation vol. 70, no. 3,» IEEE, 2022, pp. 1623-1631.
- [7] R. Portalea, C. Juan y G. David, «CARACTERIZACIÓN COMPUTACIONAL DE LA POTENCIA ELECTROMAGNÉTICA ABSORBIDA EN EL CUERPO HUMANO A FRECUENCIAS DEL SISTEMA 5G,» Escuela Politécnica Superior Universidad Autónoma de Madrid, Madrid, 2020.
- [8] D. Almagro, «ANÁLISIS DE UN ARREGLO LINEAL DE ANTENAS DIPOLO SIMPLE PARA ONDA MILIMÉTRICA,» p. 7, 2022.
- [9] F. López y I. De La Torre, «Comparación de los parámetros de dispersión de la Antena Dipolo de Media Onda en las frecuencias de 60,67 y 74 GHz,» p. 9, 2021.
- [10] ANSYS, «HFSS Help,» de ANSYS, Inc, 2021, p. 2170.
- [11] J. Llumiquinga, F. Olmedo y J. Arguero, «ANÁLISIS DEL EFECTO DEL SAR PROVOCADO POR UNA ANTENA MICROSTRIP EN ONDA MILIMÉTRICA,» Universidad Politécnica Salesiana, Quito, 2022.
- [12] Nokia, «Bienvenido a tu Nokia 106,» Edición 1.2 ES-LAM, pp. 33-34-35-36.
- [13] A. Romero, «MASKANA,» 5 12 2015. [En línea]. Available: <https://publicaciones.ucuenca.edu.ec/ojs/index.php/maskana/article/view/705>. [Último acceso: 3 3 2023].