



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

**ANÁLISIS DEL SAR DE UN ARREGLO 2X1 DE UNA ANTENA DIPOLO
DOBLE EN LA BANDA 5G**

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

AUTORES: Hugo Armando Bastidas Crespo
Juana Mireya Mera Huera

TUTOR: Lenin Wladimir Aucatoma Guamán

Quito-Ecuador

2023

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Hugo Armando Bastidas Crespo, con documento de identificación No. 1718918749 y Juana Mireya Mera Huera, con documento de identificación No. 0401954847 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, 06 de noviembre del año 2023

Atentamente,



Hugo Armando Bastidas Crespo
1718918749



Juana Mireya Mera Huera
0401954847

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

Nosotros, Hugo Armando Bastidas Crespo, con documento de identificación No. 1718918749 y Juana Mireya Mera Huera con documento de identificación No. 0401954847 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: “Análisis del SAR de un arreglo 2x1 de una antena dipolo doble 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, 06 de noviembre del año 2023

Atentamente,



Hugo Armando Bastidas Crespo
1718918749



Juana Mireya Mera Huera
0401954847

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Lenin Wladimir Aucatoma Guamán con documento de identificación No. 1717985830 docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: ANÁLISIS DEL SAR DE UN ARREGLO 2X1 DE UNA ANTENA DIPOLO DOBLE EN LA BANDA 5G, realizado por Hugo Armando Bastidas Crespo con documento de identificación No. 1718918749 y por Juana Mireya Mera Huera con documento de identificación No. 0401954847, 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, 06 de noviembre del año 2023

Atentamente,



Ing. Lenin Wladimir Aucatoma Guamán, MSc.
1717985830

DEDICATORIA

El presente trabajo está dedicado de forma especial a los pilares que sostienen mi vida mis padres Iván y Mayra, quienes siempre y en cualquier circunstancia están conmigo. Con su apoyo, esfuerzo y amor incondicional hicieron posible poder llegar a cumplir con esta meta. Este logro es para ustedes y quiero que sepan que les amo.

A mi hermana Vanessa, quien siempre está apoyándome de una u otra manera, dándome muestras que por más complicada que se ponga la vida, se puede conseguir ser lo que uno se propone.

A mi hijo Stalyn, el cual con su existencia me cambia la vida, es mi fuente de inspiración, me da fuerzas y es una razón más para seguir adelante. Espero con este logro servirte de ejemplo y ser siempre quien guíe cada uno de tus pasos que te lleven a lograr tus pasiones y sueños.

A mi hermano perruno Toby, quien con sus demostraciones diarias de amor verdadero hace que los días se transformen, llenando de felicidad a nuestra familia.

A mis abuelitos Hugo, Clara, Jorge y Rosario, aunque no están físicamente siempre estarán en mi corazón, un día les prometí culminar con este sueño, este logro es en su honor porque siempre creyeron en mí.

Hugo Armando Bastidas Crespo

Este trabajo en primer lugar va dedicado a Dios y a la Virgencita de la Caridad quienes me guiaron por el buen camino, dándome la sabiduría y la fortaleza necesaria para sobresalir durante cada uno de los problemas que se me presentaban y enseñándome a encarar las adversidades de cada uno de ellos. Para poder seguir adelante durante este trayecto de mi vida.

A mis padres Medardo y Esperanza que con su amor incondicional, paciencia, consejos y apoyo en todo momento me ayudan siempre a cumplir las metas que me propongo en la vida, ellos son el pilar fundamental para mi sabiéndome guiar por el camino correcto y así festejando conmigo cada uno de mis logros y de la misma manera corrigiéndome en cada equivocación, pero sobre todo nunca me dejaron sola.

A mis hermanos Marxuri, Marlon y Lesly siendo el ejemplo claro de la perseverancia y la lucha por los sueños que uno se propone, demostrándome que la familia es todo en la vida por ser un apoyo incondicional y siempre apoyarme en cada una de las decisiones que he tomado.

A Blanquita mi abuelita una guerrera, su fuerza me inspira mucho que aunque la vida se ponga dura debemos luchar para cumplir nuestros sueños. Ella que con su cariño incondicional y sus palabras hacen que cada día sea mejor.

A Bryan Torres mi lugar seguro y sobre todo mi complemento, gracias por estar conmigo en mis peores momentos por tu apoyo incondicional y tu amor infinito por acompañarme en mis noches de desvelo, porque a pesar de la distancia siempre llegaste alentarme y darme los ánimos necesarios para no desfallecer ante este logro "Toda Una Vida".

Juana Mireya Mera Huera

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por darme salud, vida, fortaleza y sabiduría para poder lograr los objetivos trazados en mi vida. Por todas sus bendiciones que guían mi camino, porque sin él nada fuera posible.

Gracias a mis padres por ser mi guía, por su paciencia, por criarme con valores, puesto que con sus virtudes y su gran corazón son el ejemplo y cimiento principal para el crecimiento de mi vida personal y profesional.

Gracias a mi hermana y hermano perruno, por compartir alegrías, tristezas y ser partícipe de este camino universitario, por estar a mi lado en mis noches de desvelo.

Gracias a mi hijo y mi familia, porque siempre estuvieron presentes como una luz en mi camino, con sus palabras y demostraciones de aprecio no permitieron que decaiga durante diferentes circunstancias que se presentaron en las etapas de este trayecto de mi vida.

Gracias a mi tutor Ing. Lenin Aucatoma por ser el apoyo y guía profesional para la realización de este trabajo, pero sobre todo por su excelente calidad de persona, por su confianza y su amistad.

Hugo Armando Bastidas Crespo

Agradecer primeramente a Dios por la salud y la fortaleza día a día y por ser el principal autor de todo este logro por darme la fuerza y la inteligencia necesaria para sobrellevar todo este proceso.

A mis padres por su amor, paciencia, y consejos en los momentos difíciles y por ayudarme con los recursos necesarios para poder estudiar, me han dado todo lo que soy como persona, mis valores, mis principios y mi fuerza para conseguir mis objetivos.

A mis hermanos Marxuri, Marlon y Lesly por todas las palabras de aliento para sobrellevar cada una de las etapas de mi vida por sus consejos sus enseñanzas y cada uno de los momentos vividos en familia.

A mi abuelita Blanca que en estos momentos está cruzando por un momento difícil en su vida y está siendo muy fuerte para sobrellevar las cosas de la mejor manera que con

cada una de sus sonrisas me da las fuerzas necesarias para tener el ánimo necesario y disfrutar de todos estos momentos memorables en mi vida.

A mi novio por demostrarme su amor infinito en todo momento por su esfuerzo y sobre todo por el apoyo incondicional en cada uno de los procesos para este logro, gracias por estar conmigo en todo momento y por enseñarme que en cada paso que dé, tomará mi mano y lograremos todo juntos .

A nuestro tutor de tesis Ing. Lenin Wladimir Aucatoma Guamán por su apoyo en este trayecto por su orientación, dedicación y sus consejos profesionales.

Juana Mireya Mera Huera

Agradecemos a la Universidad Politécnica Salesiana por brindarnos una formación personal y profesional, mediante los diferentes docentes que nos impartieron sus conocimientos y ayudaron con el desarrollo de habilidades que nos servirán durante toda nuestra vida.

Los Autores

Análisis del SAR de un arreglo 2x1 de una antena dipolo doble en la banda 5G

1st Bastidas Crespo Hugo A.
Ing. Electrónica
Universidad Politécnica Salesiana
Quito, Ecuador
hbastidas@est.ups.edu.ec

2nd Mera Huera Juana M.
Ing. Electrónica
Universidad Politécnica Salesiana
Quito, Ecuador
jmerah@est.ups.edu.ec

3rd Aucatoma Guamán Lenin W.
Ing. Electrónica
Universidad Politécnica Salesiana
Quito, Ecuador
laucatoma@ups.edu.ec

Keywords— *2x1 array, 5G band, double dipole antenna, dispersion parameters.*

Resumen— Este artículo presenta el análisis del efecto de la Tasa de Absorción específica (SAR – Rate Absorption Specific) de un arreglo 2x1 de una antena dipolo doble mediante el software de simulación ANSYS HFSS. Para esto se realizó el diseño del arreglo 2x1 de una antena dipolo doble que trabaja a 6 GHz, para luego evaluar el SAR sobre el modelo del tejido de la mano y el modelo estandarizado del fantoma de la cabeza humana. Para esto se analiza en referencia a los giros en grados de la antena y la distancia de la misma al cuerpo humano, demostrando que este diseño no es nocivo para la salud debido a que se encuentra dentro del rango establecido por la normativa dictada por la ICNIRP (Comisión Internacional para la Protección contra las Radiaciones no Ionizantes).

Palabras clave— *Arreglo 2x1, banda 5G, antena dipolo doble, parámetros de dispersión.*

Abstract— *This paper presents the analysis of the effect of the Specific Absorption Rate (SAR – Rate Absorption Specific) of a 2x1 arrangement of a double dipole antenna using the ANSYS HFSS simulation software. For this, the design of the 2x1 arrangement of a double dipole antenna that works at 6 GHz was carried out, to later evaluate the SAR on the tissue model of the hand and the standardized model of the phantom of the human head. For this, it is analyzed in reference to the turns in degrees of the antenna and its distance from the human body, demonstrating that this design isn't harmful to health because it is within the range established by the regulations issued by the ICNIRP. (International Commission for Non-Ionizing Radiation Protection).*

I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad la tecnología 5G es líder en la industria tecnológica, por trabajar a altas velocidades y poseer latencia baja. La saturación del espectro radioeléctrico, provoca que las comunicaciones inalámbricas se inclinen en el uso de antenas que trabajen en las ondas milimétricas [1]. La antena dipolo es una de las más conocidas por su facilidad en su construcción, ya que reciben señales balanceadas [2].

La cercanía de los dispositivos móviles existente con respecto al usuario, hace necesario el estudio de los posibles efectos en la salud, para evaluar la radiación absorbida por el tejido biológico del usuario se utiliza el parámetro SAR (Specific Absorption Rate) regulado por estándares nacionales e internacionales, para evitar riesgos de enfermedades [3].

En [3] se analiza el efecto SAR de una antena microstrip en la banda de onda milimétrica utilizando el software ANSYS HFSS para la configuración mano/cabeza, trabajando a una potencia de 35 mW, se obtuvo un valor de SAR de 1.8205 W/Kg para la banda de 3.4 GHz, en la banda de 3.5 GHz un SAR de 2.6682 W/Kg y por último para la banda 3.6 GHz se obtuvo 3.8367 W/Kg. Para la configuración de la mano se obtiene en la banda de 3.4 GHz un valor de SAR de 2.3039 W/Kg, para 3.5 GHz un valor 3.8481 W/Kg, para 3.6 GHz 3.9600 W/Kg, resultando estos diseños en ninguno de los casos se encuentran por encima del límite recomendado, debido a que se encuentran dentro de los rangos establecidos por la normativa de la Comisión Internacional para la Protección contra las Radiaciones no Ionizantes (ICNIRP).

En [4] se analiza el efecto SAR para una mujer embarazada de 43 años con un bebé de 24 semanas, el modelo está expuesto a antenas dipolo radiantes que operan en frecuencias Wifi y LTE. Las simulaciones se realizan en el software CST con una potencia radiada de 23 dBm. El SAR calculado para el tiempo suponiendo que la madre sostiene el celular en sus manos muy cerca de su vientre, mientras trabaja con LTE a una frecuencia de 1.8 GHz es de 0.11 W/Kg, para el router Wifi a una frecuencia de 5 GHz y a una distancia de 1m del vientre se obtiene 1.22 W/Kg, donde en ambos casos los valores del SAR están muy por debajo del valor estándar que es de 2 W/Kg.

El análisis del efecto SAR en la [5] permite una mejora en las antenas para varios escenarios de implantación y aplicaciones biomédicas, donde el rendimiento de la F-antena invertida planar miniaturizada con estrategia serpenteante ha sido analizado para el modelo fantoma de la cabeza, donde al verificar los resultados obtenidos se concluye que la antena propuesta es segura para ser probada en el modelo humano, los resultados del efecto SAR muestra que esta antena proporcionará una gran perspectiva en el futuro para la investigación de detección de tumores cerebrales, parálisis y cáncer cerebral.

Para la detección de tumores cerebrales existen varias investigaciones, una de ella se plasma en el artículo [6] donde se diseña una antena parche microstrip portátil para detectar tumores cerebrales que es la tercera causa de muerte, esta antena está diseñada en base a un sistema de imágenes de microondas que opera en la banda ISM con una frecuencia resonante de 2.424 GHz con un ancho de banda de 1.6 GHz y una pérdida de retorno de -22.299953 dB que indica un mejor rendimiento de la antena. Por motivos de seguridad al colocar la antena en la superficie de la cabeza humana, se obtiene un SAR de 0.586 W/Kg para 10 gramos de tejido a la frecuencia 2.424 GHz. Esta antena puede ayudar a los pacientes a detectar tumores cerebrales, ayudándolos a tomar un tratamiento temprano para sobrevivir, pues el tumor canceroso se convierte en cáncer cerebral.

Por ello nuestra investigación se centra en subir los rangos de frecuencia para analizar en la banda de 6 GHz, para análisis comparativos posteriores. La antena dipolo doble que opera en la banda de los 5 GHz mediante simulación numérica a través del

software ANSYS HFSS, donde se observa el efecto que posee esta antena para evaluar el impacto de radiación utilizando el modelo de la mano y el fantoma de la cabeza, para la verificación de que se cumpla la normativa establecida por el ICNIRP, determinando así los efectos negativos que pueden provocar en la salud.

En la sección II, se describe el diseño del arreglo 2x1 de la antena dipolo doble que trabaja en la banda de los 5G, así como la configuración del SAR. La siguiente sección indica la discusión de los resultados, para posteriormente presentar las conclusiones de esta investigación.

II. DISEÑO DE LAS ANTENAS

El diseño del arreglo de 2x1 de la antena dipolo doble se basa en la investigación desarrollada en [7], debido a que la forma del diseño es aproximada a los objetivos de este estudio, mediante relaciones de proporciones de medidas, se logró llegar a las medidas idóneas para la frecuencia de 6 GHz ya que la investigación antes mencionada trabaja a una frecuencia de 60 GHz.

Los elementos del arreglo 2x1 de la antena dipolo doble diseñada se muestra en la figura 1, la cual está diseñada con un sustrato, tierra, la excitación de la misma, está dada por un puerto agrupado (lumped port) y un cilindro que conecta a dos dipolos simples situados en la parte superior de la placa Patch.

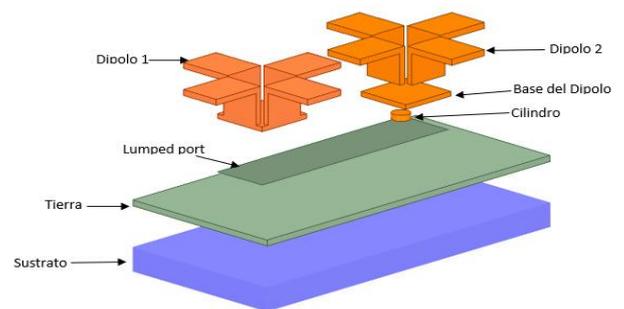


Figura 1. Elementos del arreglo 2x1 de la antena dipolo doble.

Las capas que posee el arreglo 2x1 de la antena dipolo doble se pueden observar en la figura 2, donde el sustrato tiene una base cuadrada de 2.035 mm de altura, 60.36 mm de largo y 27.52 mm de ancho; la tierra es de forma cuadrada de 1.017 mm de altura; el lumped port es una interfaz de 38.15

mm de largo y 9.15 mm de ancho; el cilindro es de 1.037 mm de diámetro.

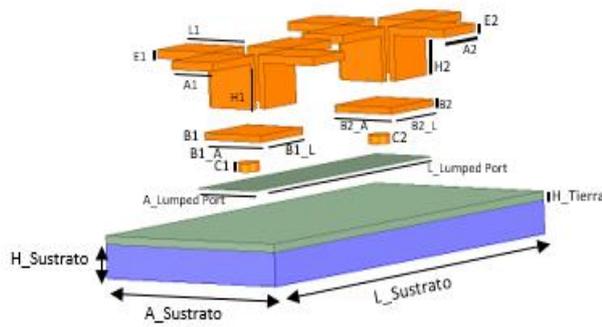


Figura 2. Capas del arreglo 2x1 de la antena dipolo doble.

Se presentan las dimensiones del arreglo 2x1 de la antena dipolo doble en la Tabla 1.

Tabla 1. Dimensiones del arreglo 2x1 de la antena dipolo doble.

Capa	Parámetro	Medida [mm]
Dipolo 1	L1	8.52
	A1	6.71
	H1	5.44
	E1	1.017
Dipolo 2	L2	8.52
	A2	6.71
	H2	5.44
	E2	1.017
Base 1	B1_A	9.15
	B1_L	9.15
	B1	0.814
Base 2	B2_A	9.15
	B2_L	9.15
	B2	0.814
Cilindro	C1	1.037
	C2	1.037
Lumped Port	L_Lumped Port	38.15
	A_Lumped Port	9.15
Tierra	H_TIERRA	1.017
Sustrato	A_SUSTRATO	28
	L_SUSTRATO	60
	H_SUSTRATO	2.035

Configuración del SAR

Para la determinación de la cantidad de energía absorbida por el cuerpo del ser humano por cada

kilogramo en la masa corporal, emitida por la antena, según ICNIRP en el rango de los 10 MHz a 10 GHz para el SAR en extremidades a 4 W/Kg y para la cabeza 2 W/Kg [8]. El valor del SAR está influenciado por las posiciones de la antena en relación con el cuerpo humano, los patrones de radiación, potencia radiada y tipos de antenas [9].

Para el análisis del efecto SAR se empleó el software de simulación numérica ANSYS HFSS basado en un modelo estandarizado de cabezamano, para la verificación de la absorción de los campos electromagnéticos. Para evaluar el impacto del cuerpo humano, la radiación y el comportamiento de la antena propuesta en contacto directo con el cuerpo y se simula en el espacio libre. En la Figura 3 se indica el modelo de tejido humano multicapa que imita la cabeza humana, con una dimensión de 120 mm × 120 mm × 20 mm. Este modelo consta de cuatro capas que representan piel, grasa, hueso y cerebro.

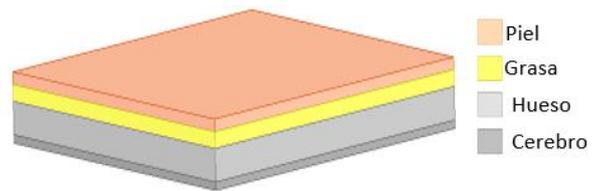


Figura 3. Ejemplo del estándar del fantoma de la cabeza.

Para diseñar el modelo del fantoma de la cabeza se toma en cuenta la permitividad dieléctrica de las diferentes capas de la piel. Se presentan las propiedades del tejido y espesor de las cuatro capas que conforman el fantoma de la cabeza en la tabla mostrada a continuación [10].

Tabla 2. Propiedades del tejido y espesor de las cuatro capas del fantoma de la cabeza.

PROPIEDADES DEL TEJIDO Y ESPESOR DE CUATRO CAPAS			
Tejido	Permitividad (er)	Conductividad [S/m]	Espesor [mm]
Piel	3.49E+01	3.80E+00	3
Grasa	9.80E+00	8.72E-01	4
Hueso (cráneo)	9.59E+00	1.20E+00	8
Cerebro	3.20E+01	3.66E+00	5

Para analizar el efecto SAR se diseñó un arreglo de 2x1 de una antena dipolo doble que trabaja a 6

GHz. En la figura 4 y 5 se muestra los gráficos del coeficiente de reflexión S_{11} y la relación de onda estacionaria VSWR.

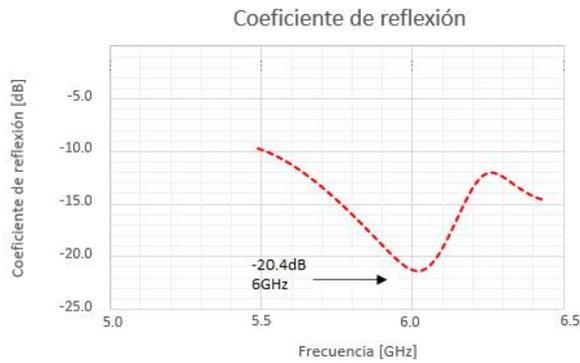


Figura 4. Coeficiente de reflexión del arreglo 2x1 de la antena dipolo doble.

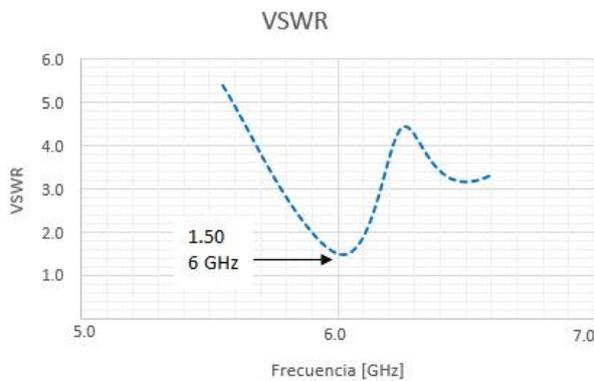


Figura 5. Relación de onda estacionaria del arreglo 2x1 de la antena dipolo doble.

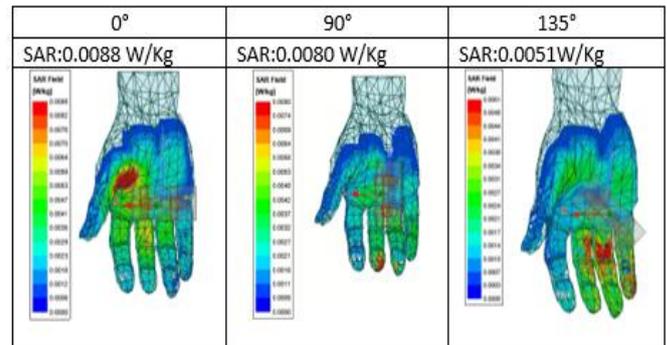
El valor del parámetro VSWR se encuentra entre 1 y 1.5, al acercarse a 1 significa que en la línea de transmisión el acoplamiento de impedancias es factible, al superar el valor de 1.5 la onda tiende a generar rebotes provocando interferencias y pérdidas en la calidad de servicio, por otro lado, el valor teórico máximo de VSWR es 2, en caso de presentar valores cercanos a este el diseño de la antena es ineficiente.

Por otro lado, el coeficiente de reflexión que presenta este diseño es de -20.4 dB que se encuentra bajo el parámetro establecido -10 dB.

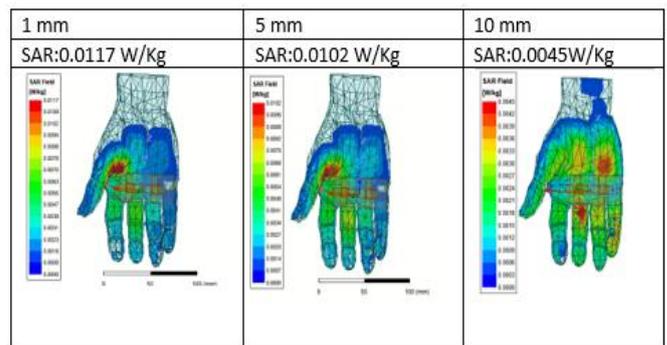
III. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Con el fin de establecer un impacto en el resultado se aplica dos variables, la rotación en

grados y la distancia de la antena con respecto al modelo de la mano o el fantoma de la cabeza, utilizando una potencia de radiación a la antena de 35 mW [11]. Es decir, que a la antena se la sometió a alejamientos y acercamientos, utilizando distancias en proporción de cerca, medianamente lejos y muy lejos, siendo estas distancias 1 mm, 5 mm y 10 mm; además a giros en grados, de 0°, 90° y 135°.



a) Resultados SAR a distintos ángulos de la antena.



b) Resultados SAR a distintas distancias de la antena.

Figura 6. Resultados SAR liberaría de la mano a) a distintos ángulos de la antena y b) a distintas distancias de la antena.

Los resultados del efecto SAR antena mano con una distribución en 3D se presenta en la figura 6, donde se sitúa a la antena a distintos grados y distancias de la mano. La escala de colores identifica el valor mínimo, medio y máximo de la absorción del tejido de la piel, para lo cual el color rojo viene representando el nivel máximo nivel de absorción de la intensidad del SAR existente, el color verde es el nivel medio de absorción del SAR y el color azul es la intensidad mínima de absorción del SAR [12].

Se analiza el efecto SAR a diferentes ángulos de la antena dipolo doble, donde a 0° y 90° la energía producida por esta antena en el tejido de la mano es mayor a comparación de un ángulo de 135° que es baja, a mayor ángulo va disminuyendo el nivel del SAR. El nivel del SAR para el tejido de la mano a diferentes ángulos del arreglo 2x1 de la antena dipolo doble y la diferencia existente entre el valor del SAR estándar y el simulado, se presenta en la tabla 3, verificando que el nivel del SAR simulado se encuentra bajo los niveles máximos que indica el estándar. Para el ángulo de 0° se tiene una diferencia de 3.9912 W/Kg, para el ángulo de 90° un valor de 3.9920 W/Kg y a 135° la diferencia es 3.9949 W/Kg, comprobándose que estos valores obtenidos se encuentran en el rango establecido por el estándar, que para el tejido de la mano es de 4 W/Kg, donde al aumentar el grado de la antena disminuye el SAR. Estas variaciones se deben a que el fantoma está más expuesto al conductor, al momento de girar se aleja haciendo que la tierra sea la que más se apega al fantoma.

Tabla 3. Diferencia del SAR estándar y simulado de un arreglo 2x1 de una antena dipolo doble, en base al ángulo de la antena para la librería de la mano.

Ángulo [°]	0	90	135
SAR Estándar [W/Kg]	4	4	4
SAR Simulado [W/Kg]	0.0088	0.0080	0.0051
Diferencia [W/Kg]	3.9912	3.9920	3.9949



Figura 7. Comparación del nivel del SAR vs. los distintos ángulos para la mano.

Para la distancia de 1 y 5 mm el nivel del SAR en la mano es alta, esto debido a que a una distancia cercana se concentra la mayor cantidad de energía, en cambio a la distancia de 10 mm la antena presenta un nivel de SAR baja a media que es propagada en la mano, por lo que a una mayor distancia se va disminuyendo de forma gradual los valores del SAR. Se presentan los resultados obtenidos del SAR para la mano a diferentes distancias en la tabla 4, verificándose que los valores simulados del nivel del SAR se encuentran bajo los niveles máximos de aceptación establecidos.

Para la distancia de 1 mm se obtiene una diferencia de 3.9883 W/Kg, para la distancia de 5 mm se tiene una diferencia de 3.9898 W/Kg y para la distancia de 10 mm una diferencia de 3.9955 W/Kg del SAR, se establece que estos valores se encuentran en el rango de la normativa del SAR para extremidades que el nivel máximo de tolerancia es 4 W/Kg, al disminuir la distancia de la antena se incrementa los valores del nivel de SAR.

Tabla 4. Diferencia del SAR estándar y simulado de un arreglo 2x1 de una antena dipolo doble, en base a la distancia de la antena para la librería de la mano.

Distancia [mm]	1	5	10
SAR Estándar [W/Kg]	4	4	4
SAR Simulado [W/Kg]	0.0117	0.0102	0.0045
Diferencia [W/Kg]	3.9883	3.9898	3.9955

La gráfica del SAR vs. la distancia es presentada en la figura 8, en donde se evidencia que al aumentar la distancia existe un decrecimiento del nivel del SAR, existiendo una relación inversamente proporcional entre estos dos parámetros, esto porque la atenuación presente en la potencia radiada existente en la separación entre la mano y la antena.

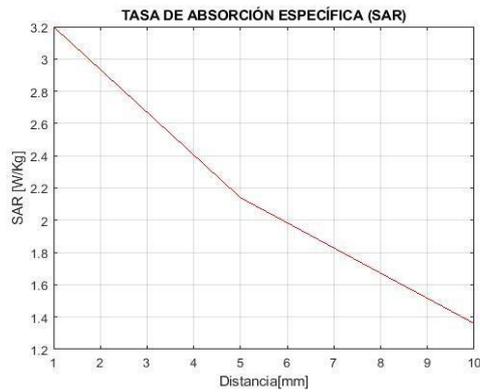
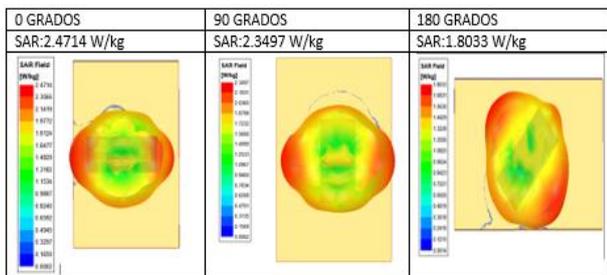
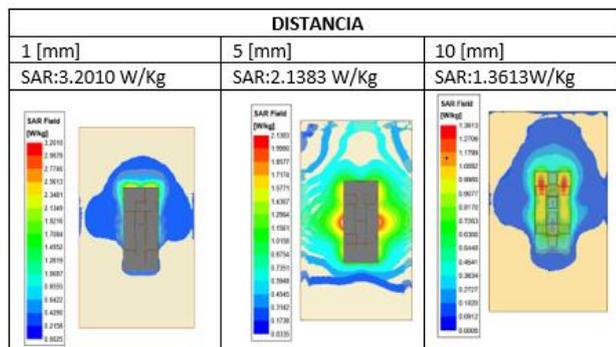


Figura 8. Nivel del SAR vs. la distancia para el modelo de la mano.

Se realiza el mismo análisis para el fantoma que es una parte del modelo de la piel que se encuentra expuesta a un nivel de radiación para la obtención de los valores del SAR.



a) Resultados SAR a distintos ángulos de la antena.



b) Resultados SAR a distintas distancias de la antena.

Figura 9. Resultados SAR fantoma de la cabeza humana

a) a distintos ángulos de la antena y b) a distintas distancias de la antena.

Los valores de las simulaciones obtenidas en el software de simulación numérica ANSYS HFSS se presenta en la tabla 5, esto según el ángulo de la antena dipolo doble, donde se puede observar que a un ángulo de 0° de la antena el valor del SAR

simulado excede al estándar establecido que es 2 W/Kg.

Tabla 5. Diferencia entre el nivel del SAR estándar y simulado de la antena dipolo doble, en base al ángulo y distancia de la antena para el fantoma de la cabeza.

Parámetro	Ángulo [°]			Distancia [mm]		
	0	90	135	1	5	10
SAR Estándar [W/Kg]	2	2	2	2	2	2
SAR Simulado [W/Kg]	2.471	2.349	1.803	3.201	2.138	1.36
Diferencia [W/Kg]	Excede	Excede	0.1967	Excede	Excede	0.639

Según la distancia de la antena dipolo doble, con el cambio de distancia, donde a mayor distancia el nivel del SAR disminuye, pues a 10 mm el valor del SAR simulado es 1.3613 W/Kg mientras que para la distancia de 1 y 5 mm el valor del SAR simulado excede el estándar, teniendo efectos negativos para el cuerpo humano por efecto de la radiación, por lo que estos resultados no están acorde al estándar establecido por el ICNIRP (Comisión Internacional para la Protección contra las Radiaciones no Ionizantes) para el SAR localizado en la cabeza humana, con un valor máximo de 2 W/Kg, lo que se puede evidenciar en la Figura 9, presentada a continuación.

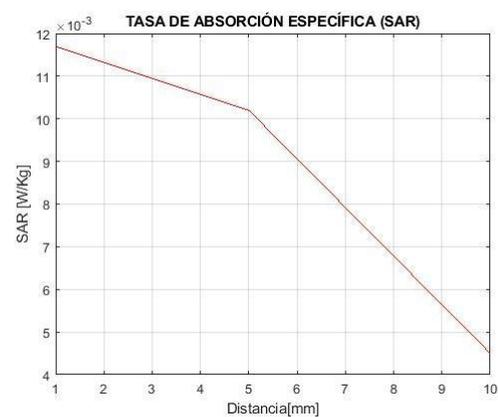


Figura 9. Comparación del nivel del SAR vs. la distancia para el fantoma de la cabeza.

Esto debido a que a menor distancia el nivel del SAR aumenta, según se plasma en la investigación [9] los resultados de la simulación demostraron que la antena dipolo produce los niveles de SAR más altos en los modelos estandarizados del fantoma de la cabeza humana.

Al girar una antena dipolo doble a distintos grados, se puede modificar el patrón de radiación, por lo que es necesario tomar en cuenta los límites normalizados por las autoridades reguladoras, ya que estos límites están diseñados para garantizar que la exposición a la radiación electromagnética no supere los niveles considerados seguros para la salud humana.

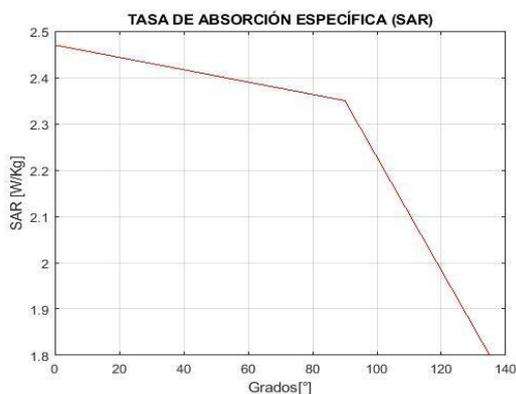


Figura 10. Comparación del nivel del SAR vs. los distintos ángulos para el fantoma de la cabeza.

IV. CONCLUSIONES

En esta investigación se realizó el diseño de un arreglo 2x1 de una antena dipolo doble que trabaja a 6 GHz situada sobre la mano, para la determinación de la cantidad de energía que es absorbida por el tejido humano, resolviendo que el nivel del SAR no es perjudicial para la salud, pues los resultados obtenidos de los niveles del SAR para ninguno de los casos se supera el límite, estableciendo que estos valores obtenidos, son valores bajos y son recomendables, además están en los niveles normados por el ICNIRP, con un nivel máximo de 4 W/Kg.

El SAR es la cuantificación de radiación absorbida por el tejido del ser humano al estar expuesto a campos electromagnéticos, la cual es

una métrica para evaluar posibles efectos biológicos de la exposición a dicha radiación; al momento de realizar giros en la antena a distintos grados, es muy probable el cambio de su patrón de radiación, el cual describe la forma en el que la antena irradia o recibe energía electromagnética en el espacio circundante. En relación con el SAR, el efecto de realizar estos giros radica en cómo se distribuye la radiación electromagnética en el espacio y cómo esta interactúa con el cuerpo humano; la exposición al SAR puede variar dependiendo de la orientación de la antena y la distancia de la antena al cuerpo humano.

V. REFERENCIAS

- [1] C. Sánchez, “Caracterización de las ondas milimétricas para determinar su posible aplicación en la Quinta generación de comunicaciones inalámbricas.,” 2018.
- [2] D. Almagro, “ANÁLISIS DE UN ARREGLO LINEAL DE ANTENAS DIPOLO SIMPLE PARA ONDA MILIMÉTRICA,” pp. 1–13, 2022.
- [3] J. Llumiquinga and F. Olmedo, “ANÁLISIS DEL EFECTO DEL SAR PROVOCADO POR UNA ANTENA MICROSTRIP EN ONDA MILIMÉTRICA,” pp. 1–15, 2022.
- [4] F. Foroutan and N. Noori, “SAR Calculation of a Pregnant Woman Model Exposed to LTE and Wi-Fi Signals,” *2020 10th Int. Symp. Telecommun. Smart Commun. a Better Life, IST 2020*, pp. 207–210, 2020, doi: 10.1109/IST50524.2020.9345879.
- [5] S. Sultana, M. M. Miran, S. M. A. Uddin, M. M. Naby, and M. Haque, “Performance analysis of a modified implantable PIFA operates at MICS band for human head phantom model,” *3rd Int. Conf. Electr. Inf. Commun. Technol. EICT 2017*, vol. 2018-Janua, no. December, pp. 1–5, 2018, doi: 10.1109/EICT.2017.8275234.
- [6] S. Sinha, T. S. R. Niloy, R. R. Hasan, M. A. Rahman, and S. Rahman, “A wearable microstrip patch antenna for detecting brain tumor,” *Proc. Int. Conf. Comput. Autom. Knowl. Manag. ICCAKM 2020*, pp. 85–89, 2020, doi: 10.1109/ICCAKM46823.2020.9051494.

- [7] A. Cadena, "COMPARACIÓN DE UNA ANTENA DIPOLO CON UNA ANTENA DE DOS DIPOLOS PARA BANDA DE ONDAS MILIMÉTRICAS," *Tesis*, pp. 1–15, 2021, [Online]. Available: <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/5081/1/UPS-CYT00109.pdf>.
- [8] U. I. de Telecomunicaciones, "SERIE K: PROTECCIÓN CONTRA LAS INTERFERENCIAS," vol. 1, 2020.
- [9] L. Belhiti, F. Riouch, A. Tribak, J. Terhzaz, A. Bouyahyaoui, and A. M. Sanchez, "Comparison and Evaluation of SAR Induced in Four Human Head models for Two Types of Antennas Used in Mobile Telephones," *Int. Conf. Multimed. Comput. Syst. -Proceedings*, vol. 2018-May, pp. 1–6, 2018, doi: 10.1109/ICMCS.2018.8525956.
- [10] H. Kaschel and C. Ahumada, "Diseño de una Antena Microstrip de tres bandas para una WBAN de bajo SAR," *2016 IEEE Int. Conf. Autom. ICA-ACCA 2016*, pp. 1–8, 2016, doi: 10.1109/ICA-ACCA.2016.7778421.
- [11] J. Núñez, "Diseño y simulación de una antena espiral para dispositivos médicos implantables," Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, 2017.
- [12] Y. Li and M. Lu, "Study on SAR distribution of electromagnetic exposure of 5G mobile antenna in human brain," *J. Appl. Sci. Eng.*, vol. 23, no. 2, pp. 279–287, 2020, doi: 10.6180/jase.202006_23(2).0012.