



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

**ANÁLISIS DEL EFECTO DEL SAR PROVOCADO POR UNA ANTENA
MICROSTRIP EN ONDA MILIMÉTRICA**

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

AUTORES: Jhonny Xavier Llumiquinga Bungacho
Fredy Alexander Olmedo Garcés

TUTORA: Johanna Berenice Arguero Tello

Quito-Ecuador
2022

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

Nosotros, Jhonny Xavier Llumiyinga Bungacho, con documento de identificación No. 1721023297 y Fredy Alexander Olmedo Garcés, con documento de identificación No. 1751400027; 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, 29 de julio del año 2022.

Atentamente,

Jhonny Xavier Llumiyinga Bungacho
1721023297

Fredy Alexander Olmedo Garcés
1751400027

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

Nosotros, Jhonny Xavier Llumiquinga Bungacho, con documento de identificación No. 1721023297 y Fredy Alexander Olmedo Garcés, con documento de identificación No. 1751400027, 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 efecto del SAR provocado por una antena microstrip en onda milimétrica”, 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, 29 de julio del año 2022.

Atentamente,

Jhonny Xavier Llumiquinga Bungacho
1721023297

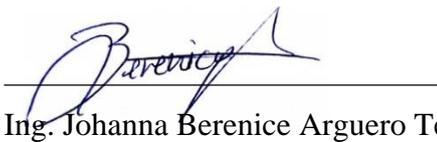
Fredy Alexander Olmedo Garcés
1751400027

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Johanna Berenice Arguero Tello con documento de identificación No. 1723989149 docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: ANÁLISIS DEL EFECTO DEL SAR PROVOCADO POR UNA ANTENA MICROSTRIP EN ONDA MILIMÉTRICA, realizado por Jhonny Xavier Llumiquinga Bungacho con documento de identificación No. 1721023297 y por Fredy Alexander Olmedo Garcés con documento de identificación No. 1751400027, 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, 29 de julio del año 2022

Atentamente,



Handwritten signature of Johanna Berenice Arguero Tello in blue ink, written over a horizontal line.

Ing. Johanna Berenice Arguero Tello MSc.

1723989149

DEDICATORIA

Dedico este trabajo principalmente a Dios, por haberme dado la vida y permitirme el haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional.

A mis Padres:

Martha, por ser el pilar fundamental más importante en vida y por demostrarme siempre su cariño y apoyo. A mi padre Pio el que nunca me dejo decaer y cada consejo que me daba era por mi bien, juntos nunca me soltaron de la mano, hasta poder culminar este proceso tan importante. Es un orgullo y privilegio ser su hijo, son los mejores padres que Diosito me envió.

A mis hermanas, Andrea y Natalia les dedico con mucho amor este esfuerzo realizado, a mi novia Luz por siempre motivarme a salir adelante y ser un apoyo incondicional.

Jhonny Llumiuinga

El presente trabajo es dedicado especialmente a mis padres Fredy y Lucila quienes han sido el pilar fundamental en el cual me llene de inspiración para no defraudarlos, su apoyo incondicional durante todo este tiempo me ha permitido no dar marcha atrás sino mirar para el frente. Ellos son quienes me dieron muchas enseñanzas a lo largo de todo este proceso de formación.

De igual manera se lo dedico a mis hermanas Andrea y Jhoselyn que con sus palabras de aliento me permitieron seguir con mi proceso de formación, a mis sobrinos Emilio, Benjamín y Martín que sin ellos esto no hubiese tenido sentido todo esto, cada uno aporta en mi mucha felicidad y espero contar siempre con su apoyo incondicional.

Fredy Olmedo

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por protegerme durante todo mi camino y darme fuerzas para superar obstáculos y dificultades a lo largo de toda mi vida.

A mi madre y a mi padre, que con su demostración de padres ejemplares me han enseñado a no desfallecer ni rendirme ante nada y siempre perseverar a través de sus sabios consejos.

A todos los docentes de la carrera de Ingeniería Electrónica, que impartieron sus conocimientos, para desarrollarme profesionalmente, mediante principios y valores que son fundamentales para crecer como persona.

A la Ing. Berenice Arguero, tutora de tesis, por su valiosa guía y asesoramiento a la realización de la misma.

Gracias a todas las personas que ayudaron directa e indirectamente en la realización de este proyecto.

Jhonny Llumiquinga

Agradezco a Dios inmensamente por su manera de bendecirme cada día, dándome fortaleza, sabiduría y esa virtud de poder cumplir lo que me propongo de igual manera por sostenerme en mis luchas diarias cuando me he sentido que ya no puedo más. Gracias Dios mío por estar conmigo siempre eso me hace fuerte y me permite darlo todo cada día, por eso el tiempo de Dios es perfecto.

A mi familia por apoyarme siempre y brindarme todo ese amor, su comprensión y palabras de aliento para no desfallecer.

A mi tutora la Ing. Berenice Arguero por haberme ayudado en cada tutoría, esa paciencia que la caracteriza mucho se ha visto reflejado en cada paso de este proceso, todo esto se lo debemos por ser la guía y apoyo de la culminación de este trabajo.

Fredy Olmedo

ANÁLISIS DEL EFECTO DEL SAR PROVOCADO POR UNA ANTENA MICROSTRIP EN ONDA MILIMÉTRICA

Jhonny X. Llumiquinga¹, Fredy A. Olmedo², Johanna B. Arguero³

Resumen

Se analizó el efecto de la Tasa de Absorción específica (SAR -Rate Absorption Specific) de una antena microstrip en la banda de onda milimétrica mediante el software ANSYS HFSS. Se realizó el diseño de la antena microstrip en la banda de 3 GHz, para posterior evaluar el SAR en la configuración mano-cabeza (fantoma) producido por las terminales móviles de 5G. Tanto para la configuración mano/cabeza, se trabajó con una potencia de 35 mW, para la simulación del fantoma se obtuvo como resultados 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 para 3.6 GHz se obtuvo 3.8367 W/Kg. Mientras que la configuración mano en la banda de 3.4 GHz se consiguió un valor de SAR de 2.3039 W/Kg, para 3.5 GHz 3.8481 W/Kg y finalmente para 3.6 GHz un valor de 3.9600 W/kg, esto demuestra que los diseños no son nocivos para la salud ya que están dentro del rango la normativa por ICNIRP (Comisión Internacional para la Protección contra las Radiaciones No Ionizantes).

Palabras claves: Antena Microstrip, fantoma, onda milimétrica, onda milimétrica, SAR.

Abstract

The effect of the Specific Absorption Rate (SAR) of a microstrip antenna in the millimeter wave band was analyzed using the ANSYS HFSS software. The design of the microstrip antenna in the 3 GHz band was carried out, to later evaluate the SAR in the hand-head configuration (phantom) produced by 5 G mobile terminals. Both for the hand/head configuration, we worked with a power of 35 mW, for the simulation of the phantom, a SAR value of 1.8205 W/Kg for the 3.4 GHz band was obtained as a result, in the 3.5 GHz band a SAR of 2.6682 W/Kg and for 3.6 GHz 3.8367 W/Kg was obtained. While the handheld configuration in the 3.4 GHz band achieved a SAR value of 2.3039 W/Kg, for 3.5 GHz 3.8481 W/Kg and finally for 3.6 GHz a value of 3.9600 W/kg, this shows that the designs are not harmful to health since they are within the range of regulations by ICNIRP (International Commission for Protection against Non-Ionizing Radiation).

Keywords: Microstrip antenna, phantom, millimeter wave, millimeter wave, SAR.

¹ Estudiante de la carrera de Ingeniería Electrónica (Mención en Telecomunicaciones) – Universidad Politécnica Salesiana - Sede Quito, Campus Sur.

² Estudiante de la carrera de Ingeniería Electrónica (Mención en Telecomunicaciones) – Universidad Politécnica Salesiana - Sede Quito, Campus Sur.

³ Docente de la Universidad Politécnica Salesiana,

1. Introducción

En los últimos años la tecnología 5G ha logrado liderar la industria tecnológica gracias a las altas velocidades y latencias bajas que manejan, por otro lado, su desarrollo ha conllevado a la saturación del espectro radioeléctrico generando que las comunicaciones inalámbricas se inclinen a la utilización de antenas planas basadas en bandas milimétricas [1]. Una antena muy común que se utiliza bajo estas características son las antenas Microstrip, sin embargo, las antenas de este tipo han traído consigo preocupación por los efectos negativos alrededor de las partes del cuerpo humano que a futuro influirán en la calidad de vida de las personas, puesto que la radiación emitida por las diferentes antenas interactúa involuntariamente con los tejidos del cuerpo humano como dermis y epidermis los cuales tienen la posibilidad de provocar traumas o secuelas negativas para el mismo en tiempos futuros. Por la cercanía en que operan los dispositivos con respecto al usuario es necesario controlar la radiación hacia este.[2]

Se han considerado estudios previos como [3] es el caso de la antena Microstrip aplicada a WBAN (Wireless Body Area Network) para la determinación del SAR con modelo de fantoma humano en el que especifica varios tipos de tejido expuestos a campos electromagnéticos, en varias distancias, para poder estimar la cantidad de energía electromagnética, a una distancia de 5 [cm] un SAR máximo de 2.85 (W/Kg), a 10 [cm] un SAR máximo de 0.58 (W/Kg) y finalmente en 15 [cm] un SAR máximo de 0.30 (W/Kg). En [4] un diseño de antena Microstrip rectangular y circular con el rango de frecuencias de 3.5 a 6 GHz ubicadas a 0.2 [cm] de la piel en el modelo rectangular se generaron rangos SAR desde 0,9591 W/Kg a 1.0471 W/Kg y para la antena circular los rangos generados fueron desde 1.0029 W/Kg a 1.0705 W/Kg.

Por la cercanía de los dispositivos móviles, con respecto al usuario, es necesario valorar

posibles efectos en la salud, causados por la radiación de los mismos, uno de los parámetros empleados para evaluar la radiación absorbida por el tejido biológico del usuario es el SAR (Specific Absorption Rate) el cual se encuentra regulado por estándares nacionales e internacionales, cuyo fin es evitar riesgos de enfermedades. Por este motivo en el presente trabajo se evaluará y analizará el impacto de la radiación de una antena Microstrip que opera en las bandas de ondas milimétricas mediante simulación numérica, observando el efecto que tiene la antena microstrip de onda milimétrica en la telefonía celular para la evaluación del impacto de la radiación mediante el modelo cabeza y mano, y la verificar el cumplimiento de la normativa de exposición electromagnética y determinar los efectos perjudiciales para la salud en la frecuencia de telefonía celular en onda milimétrica.[5]

En la sección II, se describe el diseño de las antenas para las frecuencias de 3.4 ,3.5 y 3.6 GHz y la configuración del SAR. La Sección III, presenta el análisis de los resultados obtenidos mediante la simulación numérica. Y finalmente, se presentan las conclusiones.

2. DISEÑO Y CONFIGURACIÓN.

2.1 Diseño de la antena Microstrip

Para el estudio del SAR se diseñó una antena Microstrip de parche rectangular con línea de transmisión con material de cobre con una conductividad de 5.813×10^7 [S/m] [4], con un sustrato dieléctrico FR4 cuya permitividad relativa es $\epsilon_r = 4.4$ [F/m], con espesor de 1.5 [mm] y una tangente de pérdida de 0.003, este tipo de material trabaja altas frecuencias [6][7] y un plano de tierra con material conductor de cobre. Modelados en el software ANSYS HFSS como se observa en la Figura 1 que operan en banda de 3 GHz (3.4, 3.5 y 3.6 GHz), que es una banda fundamental del espectro para despliegue de 5G [8] [4], que busca velocidades ultra altas y bajas latencias que requiere un elemento radiante en los

terminales móviles por su tamaño la gran facilidad de integración, buen control de la radiación y por lo tanto alta eficiencia y bajo costo características de Microstrip. [9]

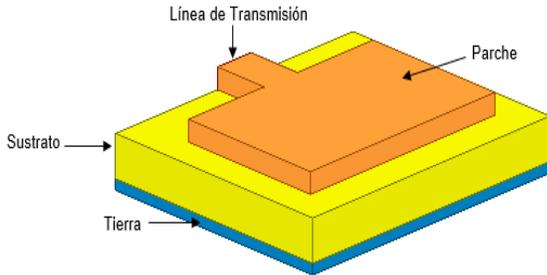


Figura 1. Componentes de la antena Microstrip tipo parche rectangular

En la Figura 2 se especifican las dimensiones de los elementos que forman la antena, que comprende por un parche metálico rectangular de cobre sobre un sustrato FR4 eléctricamente delgado y una capa inferior del sustrato cubierta con un plano de tierra y además cuenta con una línea Microstrip de cobre para la alimentación.

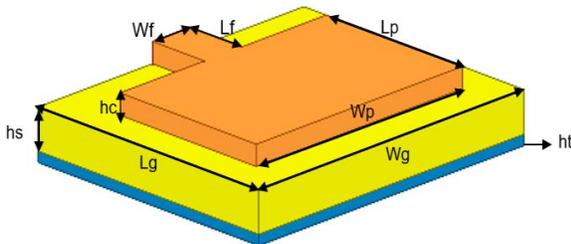


Figura 2. Parámetros del diseño de la antena Microstrip

Para el diseño y modelado matemático de las componentes de la antena se utilizaron las fórmulas expuestas en [10],[11].

En la Tabla 1 se muestran las medidas de los parámetros geométricos y las dimensiones corresponden a los valores de ajuste de la antena Microstrip en el software ANSYS HFSS. Estos modelos obtuvieron los mejores resultados para los parámetros S11 por debajo de -10dB y $VSWR \leq 2$, para la frecuencia de 3.4 se obtuvo un S11 -24.229dB, y VSWR de 1.1278, para la frecuencia de 3.5GHz se obtuvo un S11 -25.0929 dB, y VSWR de 1.1178 y finalmente para una frecuencia de 3.6 GHz se obtuvo un S11 -20.6291 y VSWR de 1.2051.

Tabla 1. Dimensiones de la antena Microstrip en 3.4, 3.5 y 3.6 GHz

Parámetro	Unidad [mm]	3.4 GHz	3.5 GHz	3.6 GHz
Parche	Lp	mm	19	18.49
	Wp	mm	34.4	33.5
	hc	mm	0.035	0.035
Línea de transmisión	Wf	mm	3.036	3.036
	Lf	mm	6	4.8
Sustrato	Lg	mm	29.8	29.8
	Wg	mm	36	36
	hs	mm	2.5	2
Tierra	Lg	mm	29.8	29.8
	Wg	mm	36	36
	ht	mm	0.1	0.1

El material dieléctrico que se empleó fue la fibra de vidrio (FR4), que es un elemento más usado en este tipo de antenas [12].

Ancho Del Parche (Wp)

$$W_p = \frac{c}{2 * fr * \sqrt{\frac{(\epsilon_r + 1)}{2}}} \quad \text{Ec. (1)}$$

Donde:

c: Velocidad de la luz (3×10^8) [m/s]

fr: Frecuencia de resonancia [Hz]

ϵ_r : constante dieléctrica relativa del sustrato

Constante dieléctrico efectivo (ϵ_{reff})

$$\epsilon_{reff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} * \left(1 + 12 * \frac{h}{W}\right)^{-\frac{1}{2}} \quad \text{Ec. (2)}$$

ϵ_r : constante dieléctrica relativa del sustrato

h: Altura del Sustrato [mm]

W: Ancho del Parche [mm]

Longitud efectiva (L_{eff})

$$L_{eff} = \frac{c}{2 * fr * \sqrt{\epsilon_{reff}}} \quad \text{Ec. (3)}$$

Donde:

c: Velocidad de la luz ($3 * 10^8$ [m/s])

ϵ_{reff} : constante dieléctrica efectivo

fr: Frecuencia de resonancia [Hz]

Incremento de la longitud (ΔL)

Ec. (4)

$$\Delta L = 0.412 * h * \frac{(\epsilon_{\text{reff}} + 0.3) * \left(\frac{W_p}{h} + 0.264\right)}{(\epsilon_{\text{reff}} - 0.258) * \left(\frac{W_p}{h} + 0.8\right)}$$

Donde:

ϵ_{reff} : Constante dieléctrico efectivo

W_p : Ancho Del Parche [mm]

h : Altura del Sustrato [mm]

Longitud del Parche (L_p)

$$L_p = L_{\text{eff}} - 2 * \Delta L \quad \text{Ec. (5)}$$

Donde:

L_{eff} : longitud efectiva

ΔL : incremento de la longitud [mm]

El ancho del sustrato (W_g)

$$W_g = 6 * h + W_p \quad \text{Ec. (6)}$$

Donde:

h : Altura del Sustrato [mm]

W_p : Ancho Del Parche [mm]

f_r : Frecuencia de resonancia [Hz]

Conductancia (G_1)

Ec. (7)

$$G_1 = \frac{W_p}{120 * \lambda} * \left[1 - \frac{1}{24} * \left(\frac{2 * \pi}{\lambda} * h \right)^2 \right]$$

Impedancia de entrada (R_{in})

$$R_{in} = \frac{1}{2 * G_1} \quad \text{Ec. (8)}$$

Ancho de la línea de transmisión (W_f)

$$W_f = \frac{5.98 * h}{0.8 * e^{\left(\frac{R_{in} * \sqrt{\epsilon_r + 1.141}}{87} \right)}} \quad \text{Ec. (9)}$$

Longitud de la línea de Transmisión (L_f)

Ec. (10)

$$L_f = \frac{L_g - L_p}{2}$$

Configuración del SAR.

Para determinar la cantidad de energía que absorbe el cuerpo humano por cada kilogramo de masa corporal, que emite una antena. Se requiere establecer una medida de los campos electromagnéticos no ionizantes que va desde 10 MHz hasta 10 GHz para el SAR localizado en extremidades a 4 (W/Kg) y 2 W/kg para la cabeza valores límites máximos impuesto por el estándar ICNIRP [13]. Para la prueba de medición del SAR, se utilizó el software ANSYS HFSS bajo un modelo estandarizado de cabeza-mano mediante simulación numérica, donde se verificará la absorción de los campos electromagnéticos. En el modelo de la piel de la cabeza se realizó la simulación de un fantoma, que no es más que una parte del modelo de la piel que está compuesto por cuatro capas con un grosor de 25 mm y una dimensión de 100 x 100 mm, como se puede observar en la figura 3.

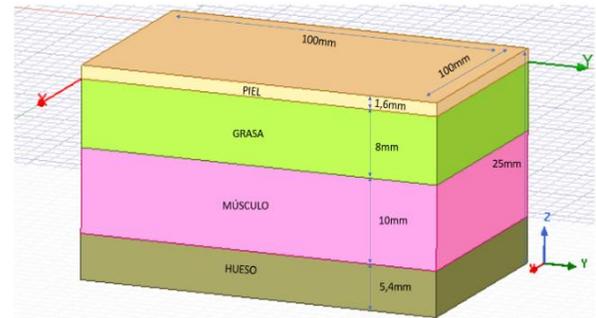


Figura 3. Modelo del fantoma de la cabeza

En el diseño del fantoma de la cabeza se ha considerado en la permitividad dieléctrica en las diferentes capas de la piel, en la tabla 2 se observan las propiedades dieléctricas de los tejidos de la piel con respecto a la frecuencia [14],[15].

Tabla 2. Propiedades dieléctricas de las capas de la piel con respecto a la frecuencia.

Capas	Permitividad		
	3.4 GHz	3.5Ghz	3.6Ghz
Piel	37.1	37	36.9
Grasa	10.5	10.5	10.5
Músculo	51.6	51.4	51.3
Hueso	17.5	17.4	17.3

Para obtener un impacto en las simulaciones se aplica dos variables, uno de ellos es la rotación con pasos de 90° y otra variable es la distancia de la antena con respecto a la mano o cabeza. Con una potencia de radiación a la antena 35 mW [16], para la configuración del grosor del tejido humano de 1 g/cm³.

3. Resultados y discusiones

Se diseñaron 3 antenas Microstrip con frecuencias de 3.4, 3.5 y 3.6 GHz que serán expuestas directamente sobre la masa 1g promedio SAR de tejido humano de una mano y un fantoma de parte de la cabeza que están expuestos a una emisión de radiación, para obtener los resultados de la Tasa de Absorción Específica (SAR) ya que es una herramienta importante para determinar la máxima exposición posible a la energía de RF (Radio frecuencia) emitida por una antena ,los cuales están definidos para el rango de frecuencias de 10 MHz-10 GHz deben ser inferiores a 4 W/kg para extremidades y 2 W/kg para la cabeza valores límites máximos impuesto por el estándar ICNIRP [13].

La Figura 4 muestra los resultados del efecto del SAR antena mano para las frecuencias de 3.4, 3.5, 3.6 GHz con una distribución en 3D situando la antena a diferentes distancias de la mano. Se observa una escala de colores que indica el nivel máximo, medio y mínimo de la absorción del

tejido de la piel, donde el color rojo representa el máximo nivel de absorción de la intensidad del SAR que existe, el color verde la intensidad media de absorción del SAR y el mínimo nivel de intensidad está representado por el color azul [4], [17].

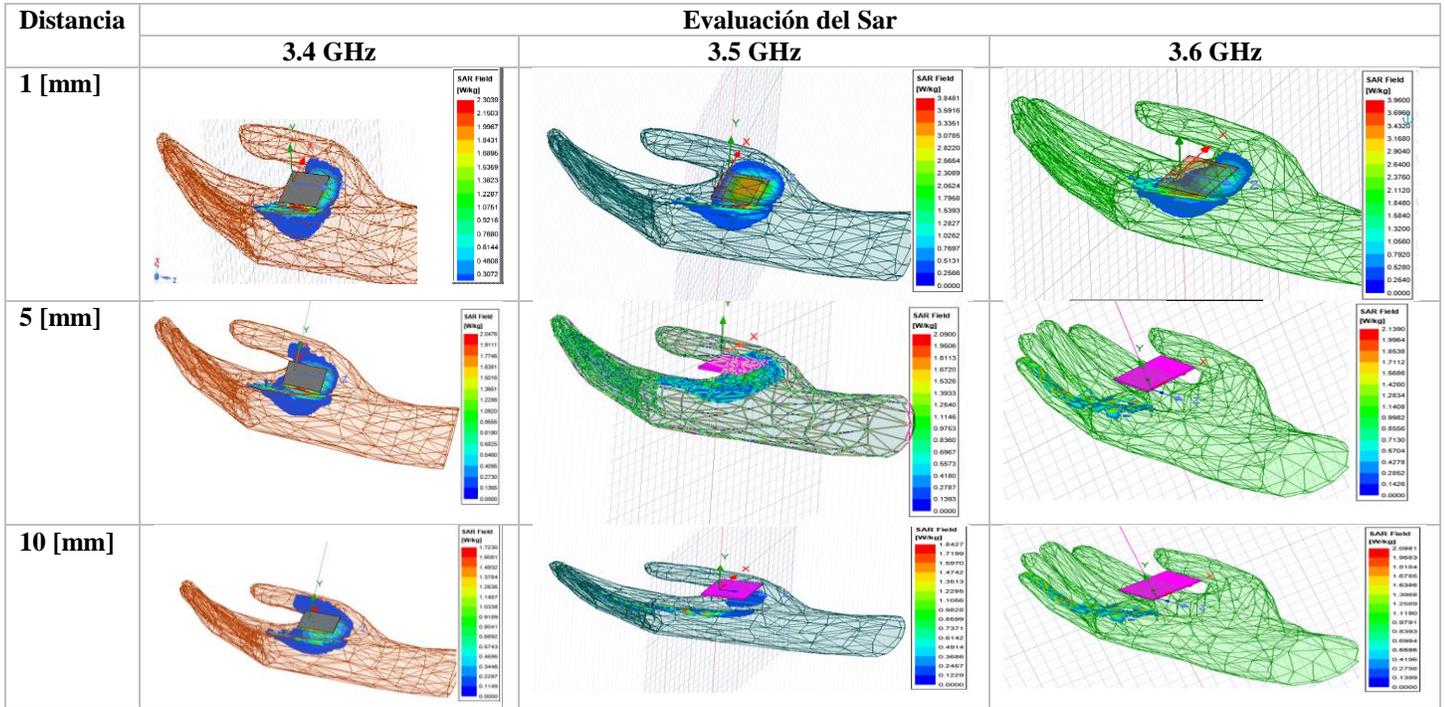
En la distancia de 1 [mm] la absorción de energía que produce la antena Microstrip en el tejido de la mano es alta puesto que se concentra la mayor cantidad de energía por la cercanía que tiene con la antena, mientras que a partir de 5 a 10 [mm] presenta una absorción de energía baja a medida que se propaga en el interior del tejido de la mano disminuye gradualmente los valores del SAR, donde se obtuvo los siguientes valores. En la tabla 3 se muestra los resultados de la diferencia entre los valores de SAR estándar con los valores de SAR simulado de la antena y la mano donde se observa que los valores se encuentran bajo los niveles máximos de tolerancia.

Para la frecuencia de 3.4 GHz se obtiene una diferencia de 1,6961 [W/kg] para el caso de 3.5 GHz produce una disminución de 0,1519 [W/kg] del SAR y para 3.6 GHz produce una disminución de 0,0400 [W/kg] del SAR Determinando valores adecuados que están dentro del rango de la normativa del SAR para extremidades que es de máximo 4 W/kg sin embargo al aumentar la frecuencia de operación aumenta el nivel de SAR.

Tabla 3. Resultado de la diferencia del SAR estándar y simulado de la antena Microstrip

Frecuencia [GHz]	3.4	3.5	3.6
SAR Estándar [W/kg]	4	4	4
SAR simulado [W/kg]	2,3039	3,8481	3,9600
Diferencia [W/kg]	1,6961	0,1519	0,0400

Figura 4 Resultados del Sar de los diseños de la antena Microstrip a frecuencias de 3.4, 3.5,3.6 GHz.



En la tabla 4 se listan los valores de las simulaciones en el software HFSS según la frecuencia de resonancia de 3.4, 3.5 y 3.6 GHz con la variación de la distancia entre la antena y los tejidos de la mano humana obteniendo así un promedio del SAR para cada distancia.

Los resultados de la simulación para la frecuencia de 3.4 GHz a una distancia de 1 mm se obtuvo un SAR de 2.3039 W/Kg, a 5mm se obtuvo 2.0475 W/Kg y 10mm se obtuvo 1.7230 W/Kg, para 3.5 GHz a una distancia de 1mm se obtuvo un SAR 3.8481 W/Kg, a 5mm se obtuvo 2.0900 W/Kg, y a 10mm se obtuvo 1.8427 W/Kg y finalmente para 3.6 GHz a una distancia de 1 mm se obtuvo un SAR 3.9600 W/Kg, a 5 mm se obtuvo 2.1390 W/Kg, y a 10mm se obtuvo 0.068 W/Kg lo que indican que la antena en la banda de 3 GHz no tiene efectos negativos al ser humano producto

de la radiación, por motivo que se encuentran los resultados, dentro de los estándares permitidos por ICNIRP (Comisión Internacional para la Protección contra las Radiaciones NoIonizantes) del SAR localizada en las extremidades, con valor máximo de 4 [w/kg].

Tabla 4. Valor del promedio del SAR de la mano humana para diferentes distancias

Frecuencia [Ghz]	Distancia [mm]		
	1	5	10
3.4	2.3039	2.0475	1.7230
3.5	3.8481	2.0900	1.8427
3.6	3.9600	2.1390	0.068

En la Figura 5, se presenta la gráfica del SAR versus la distancia, donde a medida que aumenta la distancia decrece el SAR, puesto que tiene una relación inversamente proporcional entre la distancia y los resultados del promedio SAR, debido a la atenuación de la potencia radiada en el medio en la separación que existe entre la antena y la mano.

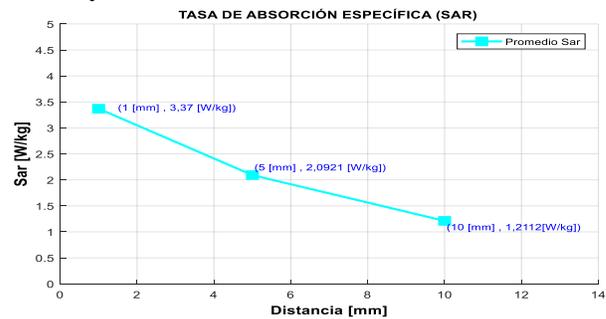


Figura 5. Comparación del promedio del SAR vs distancia

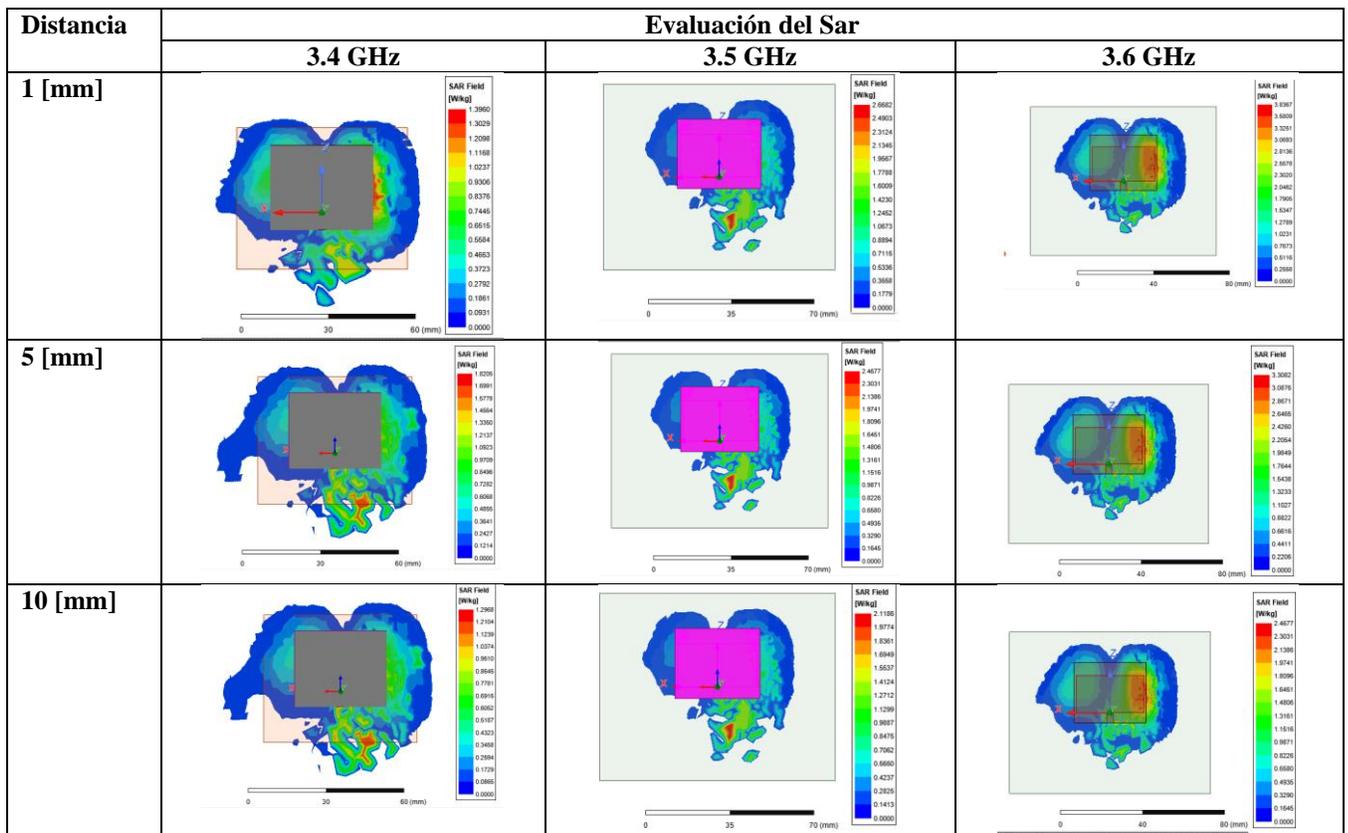


Figura 6. Resultados del Sar de los diseños de la antena Microstrip a frecuencias de 3.4, 3.5, 3.6 GHz

En la figura 6, se observa el diseño del fantoma que se asemejan a los tejidos de la piel de la cabeza junto a la antena, para mediar el efectos del SAR en el fantoma con la antena Microstrip a frecuencias de 3.4, 3.5, 3.6 GHz.

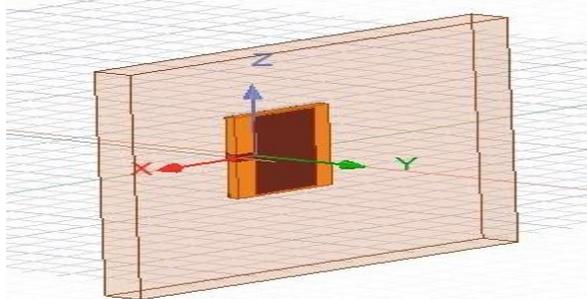


Figura 6. Diseño del fantoma rectangular junto a la antena

Los resultados de las simulaciones de los Fantomas de la cabeza con la afectación del SAR para el análisis se tomó como muestra tres diferentes distancias que van desde 1, 5 y 10mm,

para la frecuencia de 3.4 GHz la antena se colocó a 1 mm y se obtuvo un SAR máximo de 1.8205 W/Kg, la antena colocada a 5 mm se consiguió 1.3960 W/Kg, por otro lado la antena colocada a 10 mm se obtuvo como máximo 1.2968 W/Kg, para la frecuencia de 3.5GHz a distancia de 1mm y se obtuvo un SAR máximo 2.6682 W/Kg, a 5 mm se consiguió 2.4677 W/Kg, por otro lado, la antena colocada a 10 mm se logró como máximo 2.1186 W/Kg. y finalmente para la frecuencia de 3.6GHz la antena se ubicó a 1mm y se adquirió como SAR máximo 3.8367 W/Kg, la antena colocada a 5 mm se como máximo 3.3082 W/Kg, por otro lado la antena colocada a 10 mm se obtuvo como máximo 2.4677 W/Kg, los colores indican el nivel máximo, medio y mínimo de la absorción del tejido de la piel, donde el color rojo representa el máximo nivel de absorción de la intensidad del SAR que existe, el color verde la intensidad media de absorción del SAR y el azul representa el nivel mínimo nivel de intensidad.

4. Conclusiones

Se determinó que, la tasa de absorción específica cuando entra en efecto en los tejidos humanos como la piel no es perjudicial para la salud, pero a futuro podría producir efectos, en este artículo se realizó un modelo de antena Microstrip, con tres frecuencias de 3.4, 3.5, 3.6 GHz ubicada sobre la capa de la piel, para determinar cantidad de energía que absorbe el cuerpo humano por frecuencia y los resultados fueron; para la frecuencia de 3.4GHz se obtuvo una tasa de absorción de 1.8205 W/Kg, para 3.5GHz se obtuvo un SAR de 2.6682 W/Kg y finalmente para 3.6 GHz se obtuvo como SAR de 3.8367 W/Kg, determinando así que los valores obtenidos, son valores elevados y no son los recomendables. Sin embargo, al aumentar la frecuencia de operación aumenta el valor de SAR.

La evaluación del impacto de la radiación que produce la antena Microstrip de parche rectangular que opera a frecuencias de 3.4, 3.5, y 3.6 GHz colocada en un modelo del tejido de la mano a distancias de 1, 5 y 10 [mm] con una potencia de entrada de 35 [mW], el valor de SAR disminuye aumentando la distancia entre el dispositivo y tejidos humanos. Donde se evidencia así que uno de los factores que influyen en los valores del SAR es la distancia en la que se encuentra la antena y la mano a mayor distancia menor será el valor del SAR por ende menor será la afectación en esa zona.

Referencias

- [1] S. Núñez, C. Javier, M. S. Z. Cedeño, and N. Armando, "Caracterización de las ondas milimétricas para determinar su posible aplicación en la Quinta generación de comunicaciones inalámbricas.," 2018.
- [2] K. Olan, "Diseño , Modelado y Caracterización de Arreglo de Antenas Microstrip para Aplicaciones del Internet de las Cosas . Karen Nallely Olan Nuñez," 2019.
- [3] H. Kaschel Carcamo, C. Lanyon Olivares, and C. Ahumada Vera, "Numerical Finite Difference Method of Electric Field Generated to determine the SAR Generated in a Microstrip Antenna Type Applied to a WBAN," *IEEE Lat. Am. Trans.*, vol. 14, no. 6, pp. 2921–2926, 2016, doi: 10.1109/TLA.2016.7555276.
- [4] B. E. R. Barrera, "Diseño Y Simulación De Una Antena Microstrip De Rango De Operación De Super Altas Frecuencia (3.5 Ghz A 6 Ghz) Para La Evaluación De La Tasa De Absorción Especifica En Tejidos Humanos.," 2019.
- [5] "Información Técnica Exposición humana a la radiación de radiofrecuencia y microondas generada por teléfonos móviles y otros dispositivos de comunicación inalámbricos," 2000.
- [6] J. Torrecillas, "Diseño de una antena de parche con ancho de banda mejorado usando técnicas de adaptación de impedancias," 2018.
- [7] E. N. El, R. Agua, D. E. J. Mundo, C. Y. Su, I. En, and E. L. Recurso, "Arrays de Antenas Inteligentes para la Captación Óptima de Energía Electromagnética.," 2014.
- [8] E. T. S. de I. de T. Fernández, Nerea Gualda, "ANTENAS PARA DISPOSITIVOS MÓVILES 5G e IoT," 2019, [Online]. Available: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/124636/Gualda - Antenas para>

- dispositivos móviles 5G e IoT.pdf?sequence=1
- [9] E. Medina Beltran, “Desarrollo de antenas miniatura UWB con aplicación en sistemas de comunicaciones móviles 5G,” pp. 1–145, 2019, [Online]. Available: <https://cicese.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1007/2995>
- [10] D. Javier, J. Granda, L. Giovanny, and Q. Rea, “Estudio, Diseño Y Construcción De Un Prototipo De Arreglo De Antenas Microstrip Para Recepción En La Banda X Comparable A La Ganancia De Una Antena Parabólica,” 2013.
- [11] P. R. G. Daniel, “Análisis comparativo de antenas tipo Patch con tecnología Microstrip en la banda X.,” 2018, [Online]. Available: <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/14099%09>
- [12] H. Joussef and M. Odiaga, “Diseño E Implementación De Una Antena Microstrip Para La Banda Celular LTE De 700 MHz,” Pontificia Universidad Católica Del Perú, 2015.
- [13] D. E. L. A. S. Telecomunicaciones and D. E. L. A. Uit, “Sector De Normalización De Las Telecomunicaciones De La UIT-T UIT Serie K,” vol. 1, 2020, [Online]. Available: https://www.itu.int/rec/dologin_pub.asp?lang=e&id=T-REC-K.Sup1-202005-S!!PDF-S&type=items
- [14] H. Kaschel and C. Ahumada, “Design of a tri-band antenna microstrip for a WBAN the low SAR [Diseño de una Antena Microstrip de tres bandas para una WBAN de bajo SAR],” *2016 IEEE Int. Conf. Autom. ICA-ACCA 2016*, 2016, [Online]. Available: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85010410439&doi=10.1109%2FICA-ACCA.2016.7778421&partnerID=40&md5=b9c0650874a557b76b2cc7d63fb41436>
- [15] C. de la T. Salceda, “Caracterización del canal corporal para transmisiones electromagnéticas entre antena y stent,” universidad de Cantabria, 2016.
- [16] M. D. Cookson and P. M. R. Stirk, “Diseño y simulación de una antena espiral para dispositivos médicos implantables,” 2019.
- [17] 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.