



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

ANÁLISIS DEL SAR DE UNA ANTENA MICROSTRIP EN LA BANDA DE 6 GHZ

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

AUTORES: Franklin Paúl Guamán Muzo

Ramiro Daniel Galarza Cerón

TUTOR: Lenin Wladimir Aucatoma Guamán

Quito-Ecuador

2023

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Franklin Paúl Guamán Muzo con documento de identificación N° 1750774745 y Ramiro Daniel Galarza Cerón con documento de identificación N° 1750306860; 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, 26 de septiembre del año 2023

Atentamente,



Franklin Paúl Guamán Muzo
1750774745



Ramiro Daniel Galarza Cerón
1750306860

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

Nosotros, Franklin Paúl Guamán Muzo con documento de identificación No. 1750774745 y Ramiro Daniel Galarza Cerón con documento de identificación No. 1750306860, 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 una antena Microstrip en la banda de 6 GHz”, 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, 26 de septiembre del año 2023

Atentamente,



Franklin Paúl Guamán Muzo

1750774745



Ramiro Daniel Galarza Cerón

1750306860

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: ANÁLISIS DEL SAR DE UNA ANTENA MICROSTRIP EN LA BANDA DE 6 GHZ, realizado por Franklin Paúl Guamán Muzo con documento de identificación No.1750774745 y Ramiro Daniel Galarza Cerón con documento de identificación No. 1750306860, 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, 26 de septiembre del año 2023

Atentamente,



Ing. Lenin Wladimir Aucatoma Guamán MSc.

1717985830

ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN	5
ABSTRACT.....	6
INDICE DE CONTENIDO.....	7
1 Introducción	8
2 Diseño de la antena Microstrip.....	8
2.1 Configuración del SAR.....	9
3 Análisis y Resultados.....	12
4 Conclusiones	17
5 Referencias.....	18

RESUMEN

El presente artículo engloba el análisis del efecto de la Tasa de Absorción específica (SAR) de una antena microstrip utilizando el software de simulación ANSYS HFSS. Para lo cual se realizó el diseño de una antena microstrip que trabaja a 6 GHz, identificando los parámetros del coeficiente de reflexión (S_{11}) y la relación de onda estacionaria (VSWR), para la evaluación del SAR sobre el modelo del tejido de un modelo estandarizado del fantoma que es una parte de la cabeza humana. Se analiza el SAR en referencia a la distancia de dicha antena al cuerpo humano, demostrando que el diseño modelado resulta ser nocivo para la salud puesto a que los valores obtenidos del SAR no están dentro de los límites establecidos.

Palabras clave: Antena microstrip, banda 6GHz, parámetros de dispersión, SAR.

ABSTRACT

This article includes the analysis of the effect of the Specific Absorption Rate (SAR) of a microstrip antenna using the ANSYS HFSS simulation software. For which the design of a microstrip antenna that works at 6 GHz was carried out, identifying the parameters of the reflection coefficient (S_{11}) and the standing wave ratio (VSWR), for the evaluation of the SAR on the model of the tissue of a model standardized of the phantom which is a part of the human head. The SAR is analyzed in reference to the distance of said antenna from the human body, demonstrating that the modeled design turns out to be harmful to health since the values obtained from the SAR are not within the established limits.

Keywords: Microstrip antenna, 6GHz band, dispersion parameters, SAR.

1. Introducción

En la actualidad existe una saturación del espectro radioeléctrico lo que genera que las comunicaciones inalámbricas tengan la necesidad de utilizar antenas planas [1]. La antena Microstrip es una de las más comunes para cubrir esta necesidad, sin embargo, la utilización de este tipo de antenas preocupa, debido a que se ha demostrado que tiene efectos negativos sobre el cuerpo humano, lo que conllevará en un futuro a influencia negativa en la calidad de vida de las personas, ya que la radiación que esta antena emite interactúa involuntariamente con los tejidos del cuerpo humano; todo esto por la cercanía de operación de los dispositivos inalámbricos con respecto al usuario [2].

Para esto se ha considerado varios estudios previos, como [3] presenta el diseño de una antena de parche microstrip portátil para detectar tumores cerebrales, ya que hoy en día es la tercera causa de muerte, esta antena trabaja en la banda Industrial científica y Médica (ISM). Para garantizar la seguridad del paciente, se presenta un modelo de fantoma estandarizado de parte de la cabeza humana, la cual consta de seis capas homogéneas, que son cerebro, líquido cefalorraquídeo (LCR), duramadre, cráneo, grasa y piel. La antena es colocada sobre el fantoma analizando sin tumor un coeficiente de reflexión (S_{11}) de -22.299953 dB, con un SAR de 0.03101 W/kg en 10 gramos de tejido que indica un mejor rendimiento de la antena. Cambiando la posición de tumor canceroso se obtiene valores diferentes del SAR, por lo que el uso de esta antena puede ayudar a los pacientes en la detección de tumores cerebrales, ayudando a estos pacientes en la toma de un tratamiento temprano para poder sobrevivir.

En [4] se diseña una antena microstrip en el rango de operación de 3.5 GHz a 6 GHz utilizando el simulador ANSYS HFSS para la evaluación del SAR en tejidos humanos, como la piel la que comprende la epidermis 0.4 mm y la dermis 1.4 mm de grosor. Las antenas a frecuencias de operación 3.52 GHz y 6.01 GHz se ubican sobre la piel a 0.2 cm de distancia para la geometría rectangular generando rangos del SAR de 0.9591 W/kg hasta 1.0471 W/kg y para la antena circular se generaron rangos del SAR de 1.0029 W/kg a 1.0705 W/kg, evidenciándose un aumento en el promedio SAR en la frecuencia de 6.01 GHz en un 1.35%.

En los últimos años se han presentado problemas de salud debido a la interacción entre los campos electromagnéticos y el ser humano, todo el entorno se encuentra contaminado con radiación electromagnética por el incremento del uso de redes y antenas inalámbricas, por lo que el estudio de la fuerza electromagnética (EMF) y sus efectos en el tejido humano es de gran importancia. Para esto la Tasa de Absorción específica (SAR) es un parámetro útil para la determinación de la potencia electromagnética absorbida por los tejidos humanos [5]. Se han realizado varios estudios, donde se calcula el SAR en diferentes escenarios, por ejemplo en [6], se calcula para la exposición humana y el impacto sobre los diferentes tipos de tejidos en caso de exposición a campos electromagnéticos de radiofrecuencia producidos por sistemas de comunicaciones móviles. En [7] se estudia la tasa de absorción específica para modelos de la cabeza humana a 890 MHz.

Por lo antes expuesto esta investigación se basa en subir los rangos de frecuencia para el análisis en la banda de 6 GHz, la antena microstrip es diseñada mediante simulación numérica utilizando el software ANSYS HFSS, donde se presenta el efecto de la Tasa de Absorción Específica para la evaluación del impacto de radiación sobre los tejidos del modelo del fantoma estandarizado de una parte de la cabeza, para verificar que dichos valores se encuentren en el rango de la normativa establecida por el ICNIRP, determinando los efectos nocivos que puede provocar la radiación emitida por la antena sobre los tejidos humanos.

En la sección II, se presenta el diseño de la antena microstrip en la banda de 6GHz y la configuración para el análisis del SAR. La sección III, describe el análisis de los resultados obtenidos para analizar el efecto de la Tasa de Absorción Específica, en base a la simulación numérica realizada en el software ANSYS HFSS, para posteriormente presentar las conclusiones obtenidas de la investigación.

2. Diseño de la antena Microstrip

Se analiza la antena microstrip rectangular tipo Patch con línea de transmisión, que se compone de un sustrato dieléctrico, un parche que integra una línea de transmisión y una tierra. Dicha antena se considera como una cavidad de pared magnética, donde las ondas estacionarias entre las paredes eléctricas y magnéticas, que conducen a una impedancia de entrada reactiva, la cual no aporta a la emisión de potencia [8].

Dentro del diseño de esta antena es importante tomar en cuenta los parámetros de dispersión ya que esto ayudará a la descripción del comportamiento lineal de los sistemas, los cuales varían de acuerdo a la frecuencia utilizada [9] [10]. La relación de onda relacionada (VSWR) es una característica propia de la antena que ayuda a la determinación del nivel de acople existente entre la línea de transmisión y la carga, el coeficiente de reflexión (S_{11}) expresa la relación entre la onda incidente y la onda reflejada producidos por la antena, el patrón de radiación presenta la forma geométrica generada por las ondas electromagnéticas, que son radiadas al espacio [11].

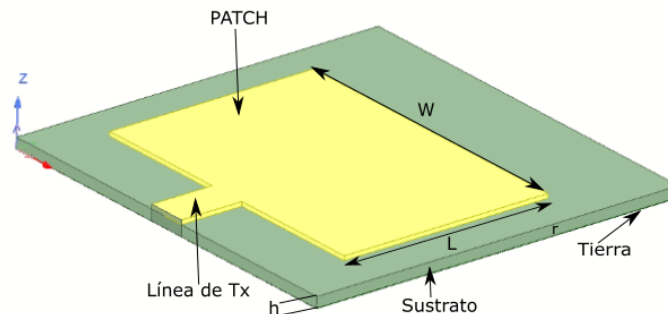


Figura 1: Componentes de la antena microstrip tipo Patch con línea de transmisión.

La figura 1 presenta los componentes de la antena microstrip tipo patch rectangular con línea de transmisión, esta antena propuesta opera en la banda de los 6 GHz, este diseño fue modelado y simulado en el software ANSYS HFSS, obteniendo y analizando los diferentes parámetros de funcionamiento de la dicha antena.

El dieléctrico de la antena fue diseñado con el material dieléctrico FR4_epoxy, con una permitividad relativa de $\epsilon_r = 4.4$, produciendo una radiación mayor y una tangente dieléctrica de pérdida de 0.02, por la resistencia al fuego y al paso de la humedad, generando una estabilidad al trabajar en altas frecuencias. Este modelo trabaja en la banda de 6 GHz con una impedancia de 50Ω , que es un rango de tensión de la corriente de entrada aceptable. Los demás parámetros de la antena microstrip como el ancho del elemento radiante, la longitud del elemento radiante entre otros parámetros son calculados aplicando las ecuaciones: 1, 2, 3, 4, 5 y 6 [8].

El ancho del elemento radiante se obtiene aplicando la ecuación presentada a continuación:

$$W_f = \frac{c}{2\epsilon_0\sqrt{\frac{\epsilon_r}{2}}} \quad (1)$$

La ecuación 2, detalla la constante dieléctrica efectiva:

$$\epsilon_{reff} = \frac{(\epsilon_r+1)(\epsilon_r-1)}{2} \left(1 + 10 \frac{h}{W}\right)^{-1/2} \quad (2)$$

La ecuación 3, indica la expresión matemática para el cálculo de la altura de la línea de transmisión:

$$\Delta L = 0.412 \frac{(\epsilon_{reff}+0.3)\left(\frac{W_f}{h}+0.246\right)}{(\epsilon_{reff}-0.258)\left(\frac{W_f}{h}+0.8\right)} \quad (3)$$

La ecuación 4, expresa el cálculo de la longitud efectiva del elemento conductor:

$$L_{eff} = \frac{c}{2\epsilon_0\sqrt{\epsilon_{reff}}} \quad (4)$$

La ecuación 5 indica el cálculo de la longitud del elemento radiante:

$$L = L_{eff} - 2L_f \quad (5)$$

Para el cálculo del ancho de banda, es necesario realizar un análisis entre la frecuencia superior e inferior, con la frecuencia central. La ecuación 6, detalla el cálculo del ancho de banda:

$$BW = \frac{f_2 - f_1}{f_0} \quad (6)$$

En la tabla 1, se presenta las dimensiones de la antena microstrip.

Tabla 1. Medidas de los parámetros del valor matemático de la antena microstrip.

	Parámetro	Medida	Unidad	Material
Línea Tx	ΔL	0.2	mm	Cobre
Patch	L	0.84	mm	
	W	1.52		
	h	0.207		
Tierra	x	1.8	mm	Cobre
	y	1.68		
	z	0.01		
Sustrato	h	0.5	mm	FR4_Expox y
	ϵ_r	4.4		
	x	1.8	mm	
	y	1.6		

Tabla 2. Medidas de los parámetros del valor sintonizado de la antena microstrip.

	Parámetro	Medida	Unidad	Material
Línea Tx	W	1.81	mm	Cobre
	ΔL	3.036	mm	
Patch	L	10.261	mm	
	W	14.24		
	h	0.202		
Tierra	h	0.01	mm	Cobre
Sustrato	h	0.5	mm	FR4_Expox y
	ϵ_r	4.4		
	L	18.236	mm	
	A	18.24		

El desfase entre el modelo matemático y el modelo sintonizado se refiere al valor del ajuste que surge de la variación de las dimensiones de la antena [12]. Se visualiza en la tabla 3 una comparación de las dimensiones tanto del modelo matemático como el sintonizado, donde se puede observar el ajuste realizado para el refinamiento de la antena, en elevados valores de desfase.

El parámetro que definió el ajuste de la antena microstrip es la altura de la línea de transmisión, donde al ser comparados los valores del modelo matemático con el sintonizado, se obtuvo un desfase de 99.993%. El diseño sintonizado se acerca a los parámetros del coeficiente de reflexión, VSWR y ganancia propuesta como objetivos de investigación, es el que mejor cumple al momento de analizar cada uno de estos parámetros, contando así con una antena microstrip que funcionalmente opera en la banda de 6 GHz.

Tabla 3. Medidas de los parámetros del valor sintonizado de la antena microstrip.

Parámetros		Valor Matemático (VM)	Valor Sintonizado (VS)	% de Desfase
Línea Tx	ΔL [mm]	0.2	3.036	99.993%
Patch	L[mm]	0.84	10.261	99.991%
	W[mm]	1.52	14.24	89.326%
	h[mm]	0.207	0.202	2.4753%
Tierra	h[mm]	0.01	0.01	0%
Sustrato	L[mm]	1.8	18.236	99.990%
	A[mm]	1.6	18.24	91.228%
	h[mm]	0.5	0.5	0%

Se obtuvo los parámetros de dispersión de la antena microstrip, donde se obtienen los valores indicados en las figuras 2, 3 y 4 presentadas a continuación. Donde se pretende llegar a 6GHz con pérdidas de retorno (S_{11}) por debajo de los -20 dB, además de un valor de VSWR que se encuentre en el rango de 1 a 1.5, con una ganancia mayor a 2 dB.

El valor del coeficiente de reflexión es la relación presente entre los puertos del sistema eléctrico de la entrada y salida del mismo, es decir, la relación entre la onda incidente y la onda reflejada que son producidas por la antena; por lo que la frecuencia de resonancia, que viene a ser donde mejor comportamiento dispone la antena, además la pérdida de retorno se logran calcular a partir de la curva S_{11} obtenida a partir de la antena microstrip tipo parche rectangular [13]. Se tiene un valor de S_{11} de -23.46 dB que se encuentra por debajo del límite establecido de -20 dB, que no es más que una relación de 1/100 de lo transmitido por la antena con lo perdido, siendo un rango aceptable para el correcto funcionamiento de la antena.

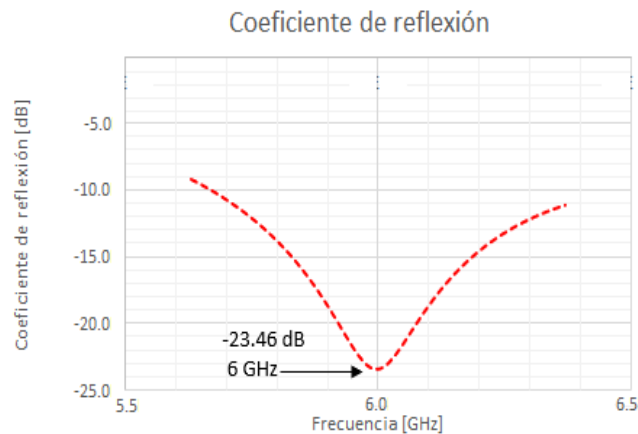


Figura 2: Coeficiente de reflexión de la antena microstrip.

Se obtuvo un valor de 1.16 de VSWR lo que indica que el acoplamiento de impedancias de la línea de transmisión de la antena microstrip es factible, reduciéndose las pérdidas por acoplamiento de materiales de la antena, siendo así un diseño eficiente.

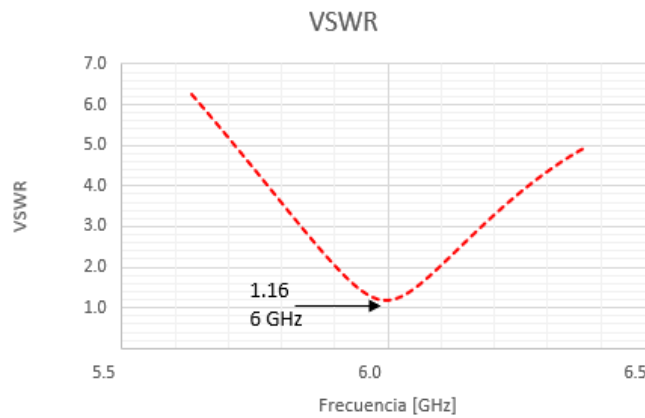


Figura 3: Relación de onda estacionaria de la antena microstrip.

El patrón de radiación es una representación gráfica de las variables de radiación de la antena, en la figura 4 se presenta los lóbulos de radiación de la antena microstrip, con un corte en ángulo $\Phi = 0^\circ$, la gráfica en 2D permite identificar el lóbulo principal y posterior, teniendo una ganancia total de 2.65 dB.

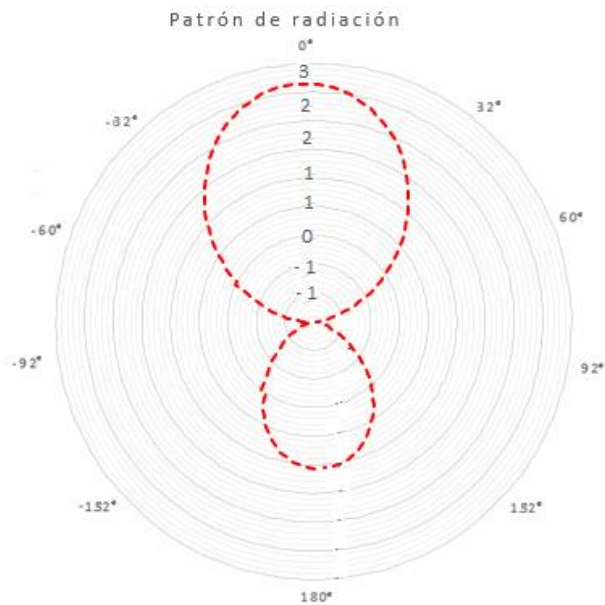
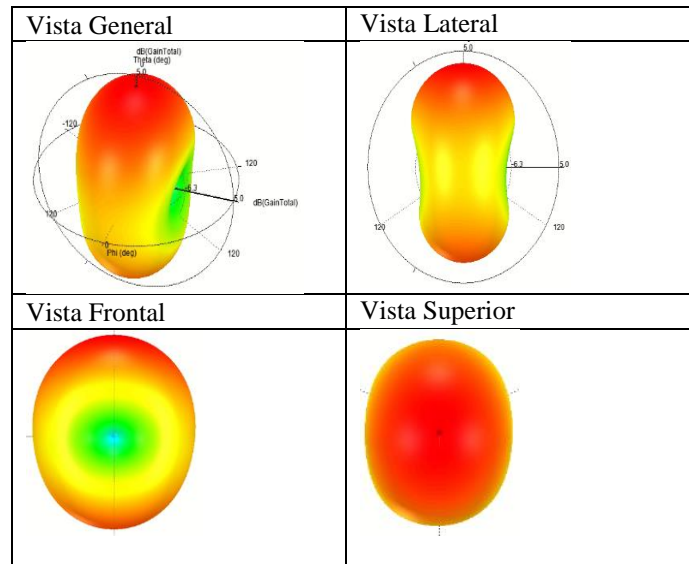


Figura 4: Patrón de radiación de la antena microstrip.

Las gráficas tridimensionales se presentan en la tabla 4, donde se puede observar que este parámetro es omnidireccional, además se apega a la forma de “dona” en el plano E, siendo un comportamiento ideal de la antena microstrip, debido a que los lóbulos de radiación se expanden de forma progresiva en la frecuencia de resonancia de 6 GHz, hasta llegar a una directividad máxima de 90° y -90° , y a una directividad mínima entre 0° y 180° [8]. Para la antena microstrip el espesor del sustrato modifica la forma del patrón de radiación de la antena.

Tabla 4. Patrón de radiación 3D de la antena microstrip en la banda de 6 GHz.



2.1. Configuración del SAR

Para determinar la cantidad de energía que es absorbida por los tejidos del cuerpo humano por cada kilogramo de masa corporal, emitido por una antena, es necesario establecer una medida de los campos electromagnéticos no ionizantes [14]. Para realizar la medición del SAR, se empleó el software ANSYS HFSS que se rige bajo el modelo estandarizado del fantoma de la cabeza, realizada mediante una simulación numérica, en la cual se verifica la absorción de los campos electromagnéticos.

Para el análisis de la tasa de absorción específica (SAR) en los tejidos humanos y cumplir con los objetivos propuestos de investigación, se diseñó las diferentes capas de la piel, que comprende la dermis y epidermis, las dimensiones de dichas capas se seleccionaron tomando en cuenta a lo especificado por el Instituto Iberoamericano de Cosmetología, el cual indica que el grosor de la epidermis se especifica en el rango de 0.4mm a 1.5mm, por otro lado, la dermis tiene un grosor de 4mm.

Para el diseño del fantoma de la cabeza se toma en consideración lo indicado por la Fundación para la Investigación sobre las Tecnologías de la Información (Foundation for Research on Information Technologie) que especifica que la piel a la frecuencia de 6GHz la permitividad tiene un valor de 34.9. Tomando en cuenta lo establecido por ambas entidades se procede al diseño y simulación de la piel.

En el modelo de la piel de la cabeza humana se implementó la simulación de un fantoma, que es una parte del modelo de la piel con un grosor de 1.2 mm y una dimensión de 50 x 50 mm, como se puede observar en la figura 5.

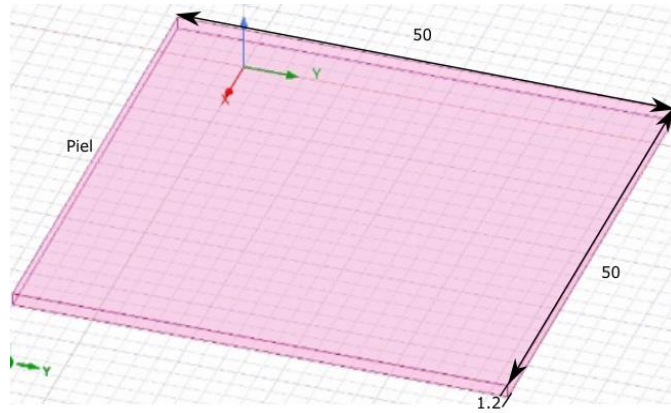


Figura 5: Modelo estandarizado del fantoma de la cabeza.

3. Análisis de resultados

La Tasa de Absorción Específica (SAR) es un parámetro establecido para la evaluación de la absorción de energía en el tejido humano, para lo cual los niveles del SAR no deben exceder las pautas de exposición. El límite de SAR establecido en el estándar IEEE C95.1:205 es 2 W/kg en una masa promedio de 10g, lo cual es compatible al límite especificado en las directrices de la ICNIRP (Comisión Internacional para la Protección contra las Radiaciones No Ionizantes) [15].

Para tener un impacto en las simulaciones se analiza la variable distancia de la antena microstrip con respecto al fantoma de la cabeza, analizando las distancias de 0.6 mm, 1 mm y 2 mm.

La figura 6 indica los resultados de los niveles del SAR con una distribución en 3D colocando la antena a diferentes distancias del fantoma de la cabeza. Se muestra una escala de colores, la cual indica el nivel máximo, medio y mínimo del SAR, siendo el color rojo la representación del nivel máximo, el color verde es la intensidad media y el color azul representa el nivel mínimo de intensidad de absorción del SAR [16].

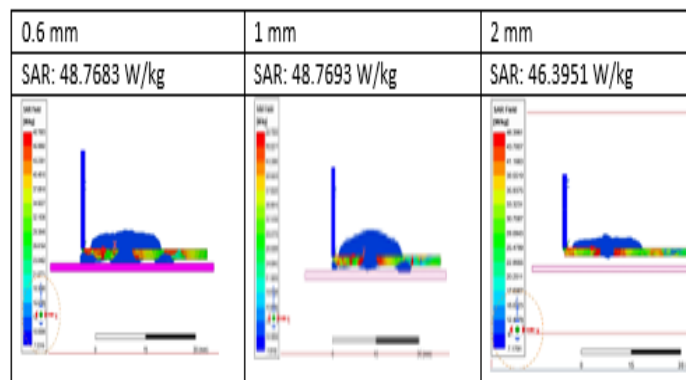


Figura 6: Resultados del SAR a distintas distancias de la antena.

A la distancia de 0.6 y 1 mm la absorción de energía producida por la antena microstrip en el tejido de la piel del fantoma es alta debido a que es donde se concentra la mayor cantidad de energía, pues se encuentra mucho más cercano a la antena, por otro lado a la distancia de 2 mm se presenta una absorción de energía baja propagándose en el interior del tejido del fantoma disminuyendo de forma gradual a comparación de los otros niveles del SAR, los cuales se presentan en la tabla 5, donde se puede evidenciar que los valores de SAR simulado para el fantoma de la cabeza exceden los niveles de SAR máximo de tolerancia, que es 2 W/Kg impuesto por la ICNIRP.

Tabla 5. Resultados de los niveles del SAR de la antena microstrip, en base a la distancia de la antena para el fantoma de la cabeza.

Distancia [mm]	0.6	1	2
SAR Simulado [W/Kg]	48.7683	48.7693	46.3951
SAR Estándar [W/Kg]	2	2	2
Diferencia [W/Kg]	Excede el estándar	Excede el estándar	Excede el estándar

Dichas variaciones se producen ya que el fantoma de la cabeza se encuentra expuesta al conductor, cuando se aumenta la distancia se aleja provocando que la tierra se apegue en mayor distancia al fantoma. Se aprecia que a medida que aumenta la distancia decrece los niveles del SAR, ya que tienen una relación inversamente proporcional, esto por la presencia de atenuación de la potencia radiada existente entre la separación de la antena microstrip y el fantoma de la cabeza.

Según la distancia a la que se encuentra la antena microstrip y los tejidos del fantoma, se observa que a mayor distancia el nivel de SAR disminuye, pues a 2 mm el valor del SAR simulado es 48.7683 W/kg, mientras que para las distancias de 1 y 0.6 mm el valor del SAR exceden este valor, teniendo más niveles de radiación, además de provocar efectos negativos en la salud del ser humano producto de estos niveles de radiación.

En general, el valor del SAR se encuentra influenciado por varios parámetros como lo es la posición de la antena en relación al cuerpo humano, los patrones de radiación de la antena, la potencia radiada por la antena y los tipos de antenas.

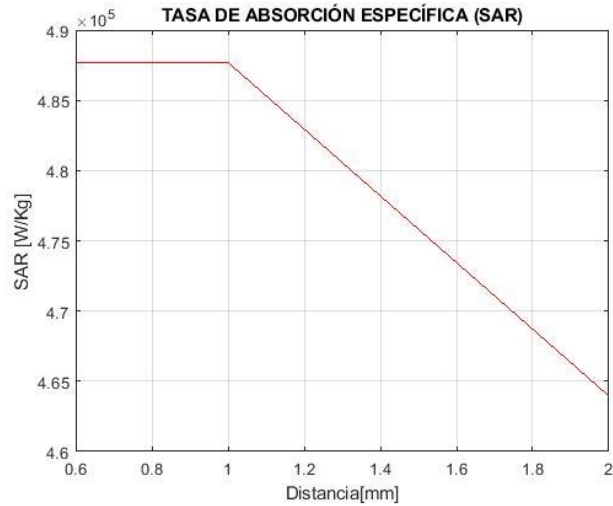


Figura 7. Comparación del nivel del SAR vs la distancia para el fantoma.

Para tener un impacto en las simulaciones se analiza la variable distancia de la antena microstrip con respecto al fantoma de la cabeza, analizando las distancias de 0.6 mm, 1 mm y 2 mm.

En la figura 7, se presenta la gráfica del SAR vs. la distancia, donde se identifica que a medida que va aumentando la distancia se va observando un decrecimiento del nivel del SAR, existiendo así una relación inversamente proporcional entre la distancia y el valor del SAR. Mientras más cerca se encuentra la antena microstrip del fantoma de la cabeza se presentan más niveles de energía que pueden tener un efecto nocivo para la salud del ser humano.

En la figura 8 y 9 se presenta los gráficos de la relación de onda estacionaria VSWR y el coeficiente de reflexión S_{11} de la antena microstrip colocada a diferentes distancias del modelo del fantoma de la cabeza.

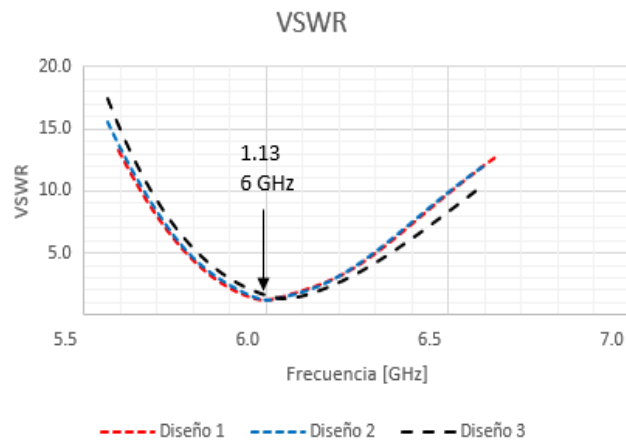


Figura 8: Relación de onda estacionaria de la antena microstrip colocada a diferentes distancias.

La relación de onda estacionaria VSWR se encuentra en el rango de 1 a 1.5, establecidos como objetivos de la investigación. En la tabla 6 se presenta los resultados de VSWR de las tres distancias a las cuales se colocó la antena microstrip con el fantoma de la cabeza, donde el acoplamiento de impedancias con la línea de transmisión de la antena es el adecuado para el mejor valor de VSWR con el valor de 1.13 obtenido a la distancia 2 mm.

Tabla 6. Resultados de VSWR de las tres distancias

Distancia [mm]	2	1	0.6
VSWR	1.13	1.15	1.53

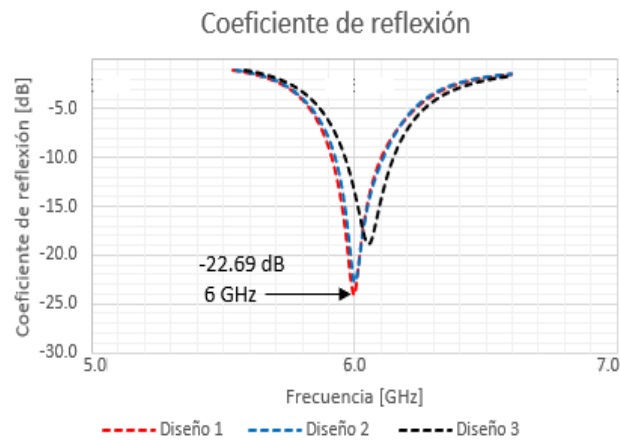


Figura 9. Coeficiente de reflexión de la antena microstrip colocada a diferentes distancias.

El valor del coeficiente de reflexión S_{11} establecido como objetivo en esta investigación va por debajo de los -20 dB, en la tabla 7 se presenta los resultados del coeficiente de reflexión de las tres distancias entre la antena microstrip y el fantoma de la cabeza, donde se puede observar que a la distancia de 2 mm se tiene un valor de -22.69 dB que es el único valor que cumple el objetivo establecido en la investigación.

Tabla 7. Resultados de S_{11} de las tres distancias

Distancia [mm]	2	1	0.06
S_{11} [dB]	-22.69	-15.28	-13.55

4. Conclusiones

En el presente artículo la Tasa de Absorción Específica (SAR) se refiere a la cantidad de energía electromagnética que puede ser absorbida por el cuerpo humano, es utilizada para analizar los posibles efectos biológicos de la exposición a esta radiación; la exposición al SAR puede variar dependiendo de la distancia de la antena a los usuarios de los sistemas inalámbricos, se presenta que la reducción del valor de los niveles del SAR es proporcional, es decir, va disminuyendo acorde se va aumentando la distancia existente entre la antena microstrip y el fantoma de la cabeza.

Se diseñó una antena microstrip que trabaja en la banda de 6GHz colocada sobre el fantoma de la cabeza, para determinar la cantidad de energía absorbida por los tejidos del cuerpo humano, presentándose que la Tasa de Absorción Específica (SAR) es nociva para la salud de las personas ya que los resultados obtenidos en los tres caso superan los niveles máximos establecidos para garantizar que la salud del ser humano no se vea afectada por la radiación emitida por la antena; por otro lado también se analizó la relación de onda estacionaria VSWR y el coeficiente de reflexión S_{11} presentes a las diferentes distancias establecidas, que son 0.6 mm, 1 mm y 2 mm, donde se evidencia que a la distancia de 2 mm se presenta una mejor funcionalidad, pues el valor de VSWR es de 1.13 y el valor de S_{11} más eficaz de -22.69, los cuales cumplen los objetivos establecidos para la investigación y se comprueba que a mayor distancia el nivel del SAR va disminuyendo.

Referencias

1. J. Llumiyinga and F. Olmedo, "Análisis del efecto del SAR provocado por una antena microstrip en onda milimétrica," pp. 1–15, 2022.
2. K. N. Olan Nuñez, "Diseño, Modelado y Caracterización de Arreglo de Antenas Microstrip para Aplicaciones del Internet de las Cosas," p. 114, 2019, [Online]. Available: <https://bit.ly/3KEpfCw>.
3. 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.
4. B. E. Rodríguez 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 específica en tejidos humanos," *Prog. Retin. Eye Res.*, vol. 561, no. 3, pp. S2–S3, 2019.
5. 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.
6. O. Bejenaru, C. Lazarescu, M. Paulet, and A. Salceanu, "On the Convergence of Specific Absorption Rate Values for Human Exposure to Electromagnetic Fields Produced by Mobile Communications Systems," *2019 11th Int. Symp. Adv. Top. Electr. Eng. ATEE 2019*, pp. 1–6, 2019, doi: 10.1109/ATEE.2019.8725013.
7. M. Kozlov, N. Weiskopf, and H. E. Möller, "Evaluation of Specific Absorption Rates with High Resolution Human Head Models at 890 MHz," *2018 IEEE Antennas Propag. Soc. Int. Symp. Usn. Natl. Radio Sci. Meet. APSURSI 2018 - Proc.*, vol. 1, pp. 903–904, 2018, doi: 10.1109/APUSNCURSINRSM.2018.8608208.
8. T. T. León Castillo, "Diseño de una antena microstrip para onda milimétrica," *Tesis*, pp. 1–15, 2020, [Online]. Available: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/18503%0Ahttp://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/5081/1/UPS-CYT00109.pdf>.
9. K. M. Contero Román and E. J. Saltos Narváez, "Comparación de los parámetros de dispersión de una antena microstrip para la banda de 18 a 28 ghz," *Tesis*, pp. 1–15, 2021, [Online]. Available: <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/5081/1/UPS-CYT00109.pdf>.
10. E. J. Chalapud Patiño, "Análisis comparativo de los parámetros de dispersión de una antena microstrip para las bandas de 57-64, 64-71 y 71- 76 Ghz," *Tesis*, pp. 1–11, 2021, [Online]. Available: <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/5081/1/UPS-CYT00109.pdf>.
11. E. J. Naranjo Landeta and G. A. Ortiz Sánchez, "Comparación del funcionamiento entre una antena tipo microstrip y una antena tipo microstrip con resonador en banda de onda milimétrica," *Tesis*, pp. 1–9, 2020.
12. F. X. López Orbea and I. S. 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," *Tesis*, pp. 1–17, 2021, [Online]. Available: <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/5081/1/UPS-CYT00109.pdf>.
13. N. Ferdous, G. Chin Hock, H. A. S. Hamid, M. N. A. Raman, T. Sieh Kiong, and M. Ismail, "Design of a small patch antenna at 3.5 Ghz for 5g application," *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 268, no. 1, pp. 1–5, 2019, doi: 10.1088/1755-1315/268/1/012152.
14. COMAR, "Nota de Información Técnica Exposición humana a la radiación de radiofrecuencia y microondas generada por teléfonos móviles y otros dispositivos de comunicación inalámbricos," 2000.
15. L. Belrhiti, 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.
16. 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).001

