

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO



FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA DE ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

**Proyecto de Investigación previo a la obtención del título de Ingeniero en
Electrónica y Telecomunicaciones**

TRABAJO DE TITULACIÓN

**“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA ANTENA TEXTIL PORTABLE
PARA MONITOREO DE SEÑALES BIOMÉDICAS MEDIANTE UN SISTEMA
DE COMUNICACIONES ”**

Autores:

Paola Alexandra Pillajo Garcia

Tutor:

Carlos Ramiro Peñafiel Ojeda

Riobamba – Ecuador

Año 2021

Los miembros del tribunal de graduación del proyecto de investigación de título: **“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA ANTENA TEXTIL PORTABLE PARA MONITOREO DE SEÑALES BIOMÉDICAS MEDIANTE UN SISTEMA DE COMUNICACIONES ”**, presentado por: **Paola Alexandra Pillajo Garcia**, y dirigida por el Docente **Carlos Ramiro Peñafiel Ojeda**.

Una vez revisado el informe final del proyecto de investigación con fines de graduación escrito en la cual consta el cumplimiento de las observaciones realizadas, remite la presente para uso y custodia en la Biblioteca de la Facultad de Ingeniería de la UNACH.

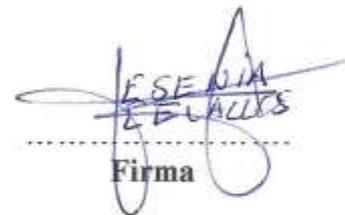
Para constancia de lo expuesto firman:

PhD. Leonardo Rentería
Presidente del Tribunal



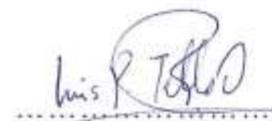
Firma

PhD. Yesenia Cevallos
Miembro del Tribunal



Firma

PhD. Luis Tello
Miembro de Tribunal



Firma

DECLARACIÓN EXPRESA DE TUTORÍA

En calidad de tutor del tema de investigación: **"DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA ANTENA TEXTIL PORTABLE PARA MONITOREO DE SEÑALES BIOMEDICAS MEDIANTE UN SISTEMA DE COMUNICACIONES "**. Realizada por la Señorita **Paola Alexandra Pillajo Garcia**, para optar por el título de Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones, considero que reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sustentada públicamente y evaluada por el jurado examinador que se designe.

Riobamba, abril 2021



Mgs. Carlos Peñañiel
DOCENTE TUTOR

AUTORÍA DE INVESTIGACIÓN

La responsabilidad del contenido de este proyecto de investigación titulado, “**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA ANTENA TEXTIL PORTABLE PARA MONITOREO DE SEÑALES BIOMÉDICAS MEDIANTE UN SISTEMA DE COMUNICACIONES**” corresponde exclusivamente a Paola Alexandra Pillajo Garcia, Carlos Ramiro Peñafiel Ojeda y el patrimonio intelectual de la misma a la Universidad Nacional de Chimborazo.



Paola Alexandra Pillajo Garcia
060515147-1

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi madre por haberme forjado como la persona que soy en la actualidad, por su apoyo, ser el motor en mi vida y enseñarme que con esfuerzo y sacrificio se llegan a cumplir los sueños, dándome así el impulso para continuar siempre.

Paola Pillajo G.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradezco a Dios y mi madre Hilda Garcia por ser el pilar fundamental en mi vida, ya que con su apoyo y esfuerzo he logrado finalizar mis estudios.

Agradezco a mi hermana y sobrinos por brindarme palabras de aliento y motivación para que continúe con mis metas.

A mi tutor Carlos Peñafiel quien me brindó sus conocimientos y amistad siendo una guía que hicieron de este proyecto una investigación de realce académico.

A Ronald Alcívar por siempre estar apoyándome incondicional y desinteresadamente a lo largo de este camino, brindándome su amistad de una forma única y jamás darme la espalda.

Paola Pillajo G.

ÍNDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I.....	3
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
1.2. OBJETIVOS.....	5
1.2.1. OBJETIVO GENERAL	5
1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	5
CAPÍTULO II.....	6
2.1. ESTADO DEL ARTE	6
2.2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	8
2.2.1. ANTENAS.....	8
2.2.2. PARÁMETROS DE LA ANTENA.....	12
2.2.3. DISPOSITIVOS DE COMUNICACIÓN.....	13
CAPÍTULO III.....	15
3. METODOLOGÍA	15
3.1. TIPO DE ESTUDIO.....	15
3.2. MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN.....	15
3.3. POBLACIÓN.....	16
3.5. FUENTES DE INFORMACIÓN.....	16
3.6. INSTRUMENTOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	17
3.7. OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES.....	17
3.8. PROCEDIMIENTO Y ANÁLISIS	17
3.8.1. DISEÑO DE LA ANTENA.....	17
3.8.2. FABRICACIÓN DE LA ANTENA	20
3.8.2.1. Especificaciones de los materiales.....	20
3.8.2.2. Método de fabricación.....	21
3.8.3. SISTEMA DE COMUNICACIÓN	23

CAPÍTULO IV	26
4. RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	26
4.1. ANÁLISIS DE ANTENA DISEÑADA SOBRE SEDA (VERSIÓN 1).....	26
4.2. ANÁLISIS DE ANTENA DISEÑADA SOBRE FIELTRO (VERSIÓN 2).....	34
4.3. FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA PARA MONITOREO DE FRECUENCIA CARDÍACA Y TEMPERATURA	43
CAPÍTULO V.....	52
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	52
5.1. CONCLUSIONES.....	52
5.2. RECOMENDACIONES	53
BIBLIOGRAFÍA.....	54
COSTOS DE IMPLEMENTACIÓN.....	58
ANEXOS	59

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Cuadro de materiales aptos para sustrato	11
Tabla 2. Operacionalización de variables.....	17
Tabla 3: Dimensiones y parámetros de la antena.	19
Tabla 4: Costos de implementación del proyecto.	58

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Principio de funcionamiento del sistema	4
Figura 2. Configuración de una antena microstrip	9
Figura 3. Representación de una antena sobre un textil.	9
Figura 4. Representación de un Diagrama de radiación. (a) Vista en 3D y, (b) Vista en 2D.....	12
Figura 5. Vista frontal de la antena propuesta.....	19
Figura 6. Molde de la antena en madera	21
Figura 7. Serigrafía con método Screen Printed para la tela de fieltro.....	22
Figura 8. Serigrafía con método Screen Printed para la tela de seda	22
Figura 9. Serigrafía con método Screen Printed vista posterior.....	22
Figura 10. Unión de los materiales a la antena.....	23
Figura 11. Diagrama de bloques general del sistema de comunicación.....	23
Figura 12. Etapa de transmisión del sistema de comunicación	24
Figura 13. Diagrama de flujo general del sistema de comunicación.....	25
Figura 14. Coeficiente de reflexión de la antena simulada en seda.....	26
Figura 15. Parte imaginaria de la impedancia en la antena propuesta V.1.....	27
Figura 16. Diagrama de radiación 3D, vista frontal de la antena propuesta V.1.....	28
Figura 17. Representación de los diagramas de radiación en coordenadas polares a 2.4GHz. (a) Ganancia y, (b) Directividad.	28
Figura 18. Eficiencia de la antena propuesta en la V.1.	29
Figura 19. Representación de los campos. (a) Eléctrico y, (b) Magnético.....	29

Figura 20. Corrientes totales mostrados en la superficie de la antena.....	29
Figura 21. Calculadora de las propiedades dieléctricas.....	30
Figura 22. Configuración de las capas que representan la piel, la grasa y el músculo (a) Vista lateral y, (b) Vista en 3D.....	30
Figura 23. Coeficiente de reflexión de la antena simulada en seda con presencia del cuerpo humano.....	31
Figura 24. Parte real de la impedancia en la antena propuesta V.1. con presencia del cuerpo humano.....	31
Figura 25. Diagrama de radiación 3D, vista frontal de la antena propuesta V.1. en presencia del cuerpo humano.	32
Figura 26. Representación de los diagramas de radiación en coordenadas polares a 2.4GHz. (a) Ganancia y, (b) Directividad.	32
Figura 27. Eficiencia de la antena propuesta en la V.1. con parámetros del cuerpo humano	33
Figura 28. Corrientes totales mostrados en la superficie de la antena.....	33
Figura 29. Gráfico comparativo de la antena simulada de forma aislada y la antena simulada en presencia del cuerpo humano.	34
Figura 30. Coeficiente de reflexión de la antena simulada en fieltro.....	34
Figura 31. Parte real de la impedancia en la antena propuesta V.2.....	35
Figura 32. Diagrama de radiación 3D, vista frontal de la antena propuesta V.2. a una frecuencia de (a) 2.49GHz, (b) 2.54GHz.....	35
Figura 33. Representación de los diagramas de radiación en coordenadas polares a 2.49GHz. (a) Ganancia y, (b) Directividad.	36
Figura 34. Representación de los diagramas de radiación en coordenadas polares a 2.54GHz. (a) Ganancia y, (b) Directividad.	36
Figura 35. Eficiencia de la antena propuesta en la V.2.	37
Figura 36. Corrientes totales mostrados en la superficie de la antena a 2.49GHz y 2.54GHz....	37
Figura 37. Gráfico comparativo de la antena de forma aislada simulada y la antena de forma aislada implementada.....	38
Figura 38. Calculadora de las propiedades dieléctricas.....	38
Figura 39. Coeficiente de reflexión de la antena simulada en fieltro en presencia del cuerpo humano.....	39

Figura 40. Parte real de la impedancia en la antena propuesta V.2, en presencia del cuerpo humano	39
Figura 41. Diagrama de radiación 3D, vista frontal de la antena propuesta V.2. a una frecuencia de (a) 2.484GHz, (b) 2.536GHz.....	40
Figura 42. Representación de los diagramas de radiación en coordenadas polares a 2.484GHz. (a) Ganancia y, (b) Directividad.....	40
Figura 43. Representación de los diagramas de radiación en coordenadas polares a 2.536GHz. (a) Ganancia y, (b) Directividad.....	41
Figura 44. Eficiencia de la antena propuesta en la V.2.....	41
Figura 45. Corrientes totales mostrados en la superficie de la antena a 2.484GHz y 2.536GHz.....	42
Figura 46. Gráfico comparativo de la antena simulada y la antena implementada en presencia del cuerpo humano	42
Figura 47. Montaje de los sistemas.....	43
Figura 48. Visualización de los datos. (a) Configuración, (b) Almacenamiento de datos frecuencia cardíaca, y (c) Almacenamiento de datos temperatura corporal.....	43
Figura 49. Gráfica comparativa para el primer caso. (a) Frecuencia cardíaca entre el dispositivo de monitoreo versus un reloj inteligente, y (b) Temperatura corporal entre el dispositivo de monitoreo versus un termómetro.....	44
Figura 50. Gráfica comparativa para el segundo caso. (a) Frecuencia cardíaca entre el dispositivo de monitoreo versus un reloj inteligente, y (b) Temperatura corporal entre el dispositivo de monitoreo versus un termómetro.....	45
Figura 51. Gráfica comparativa para el tercer caso. (a) Frecuencia cardíaca entre el dispositivo de monitoreo versus un reloj inteligente, y (b) Temperatura corporal entre el dispositivo de monitoreo versus un termómetro.....	46
Figura 52. Gráfica comparativa para el cuarto caso. (a) Frecuencia cardíaca entre el dispositivo de monitoreo versus un reloj inteligente, y (b) Temperatura corporal entre el dispositivo de monitoreo versus un termómetro.....	47
Figura 53. Gráfica comparativa para el quinto caso. (a) Frecuencia cardíaca entre el dispositivo de monitoreo versus un reloj inteligente, y (b) Temperatura corporal entre el dispositivo de monitoreo versus un termómetro.....	48
Figura 54. Tabla de la frecuencia cardíaca para el valor bilateral.....	49
Figura 55. Tabla de estadísticas de la Media, Desviación estándar y Error promedio.....	49
Figura 56. Tabla correlación de la frecuencia cardíaca entre el dispositivo de monitoreo y el reloj	

inteligente.....	50
Figura 57. Diagrama de caja de la frecuencia cardíaca para el dispositivo y el reloj.....	50
Figura 58. Tabla de la temperatura corporal para el valor bilateral.	50
Figura 59. Tabla correlación de la temperatura corporal entre el dispositivo de monitoreo y el termómetro.	51
Figura 60. Diagrama de caja de la temperatura corporal para el dispositivo y el termómetro....	51

RESUMEN

En los últimos años, el interés en los textiles inteligentes ha crecido mucho. Es interesante el hecho de poder integrar la electrónica de manera discreta en cualquier tipo de vestimenta. Sin embargo, representa un verdadero reto de diseño para la ingeniería.

En el presente documento se describe el diseño e implementación de una antena textil para monitoreo de señales biomédicas mediante un sistema de comunicación. La antena ha sido diseñada y simulada en el software CST Studio, la cual opera a un rango de frecuencia de 2GHz a 3GHz, se diseña sobre un sustrato de permitividad dieléctrica $\epsilon_r=1.22$ (fieltro) y $\epsilon_r=4.6$ (seda), integrada a una prenda de vestir. El sistema de comunicación consta de tarjetas comerciales que permiten adquirir y procesar los datos de las señales biomédicas (señales de frecuencia cardíaca y temperatura) emitidas por el cuerpo humano. Una vez obtenidos los datos de frecuencia cardíaca y temperatura, la información será visualizada en tiempo real en la plataforma FireBase.

El presente trabajo consta de 5 capítulos. El primer capítulo abarca el planteamiento del problema y los objetivos a alcanzar en la investigación. A continuación, en el segundo capítulo se abordan temas que enfatizan el estado actual de la investigación, como la fundamentación teórica esencial, y procesos utilizados para el desarrollo de esta. Luego, en el tercer capítulo se explica el procedimiento utilizado para el diseño, implementación de la antena, además del sistema de monitoreo y almacenamiento de datos en tiempo real. En el cuarto capítulo se presentan los resultados y funcionamiento del sistema. Finalmente, en el quinto capítulo se describen las conclusiones y recomendaciones.

Palabras clave: Antena textil, Permitividad dieléctrica, Señales biomédicas.

ABSTRACT

In recent years, interest in smart textiles has grown a lot. It is interesting to be able to integrate electronics discreetly in any clothing. However, it represents a real design challenge for engineering.

This document describes the design and implementation of a textile antenna for monitoring biomedical signals through a communication system. The antenna has been designed and simulated in the CST Studio software, which operates at a frequency range from 2GHz to 3GHz, it is designed on a substrate with dielectric permittivity $\epsilon_r = 1.22$ (felt) and $\epsilon_r = 4.6$ (silk), integrated into a piece of clothing. The communication system consists of commercial cards that allow acquiring and processing the data of the biomedical signals (heart rate and temperature signals) emitted by the human body. Once the heart rate and temperature data have been obtained, the information will be displayed in real-time on the FireBase platform.

The present work consists of 5 chapters. The first chapter covers the statement of the problem and the objectives to be achieved in the investigation. Next, the second section addresses issues that emphasize the current state of research, such as the essential theoretical foundation and processes used for its development. Then, in the third chapter, the procedure used for the design and implementation of the antenna is explained, and the monitoring system and data storage in real-time. The fourth chapter presents the results and operation of the system. Finally, the fifth chapter describes the conclusions and recommendations.

Keywords: Textile antenna, Dielectric permittivity, Biomedical signals.

Reviewed by:

Mgs. Lorena Solís Viteri

ENGLISH PROFESSOR

c.c. 0603356783

INTRODUCCIÓN

En los últimos años, con el fin de respaldar el creciente interés en la investigación de antenas para sistemas de comunicación a través del cuerpo humano, se ha establecido el grupo de estandarización IEEE 802.15 destinado a la comunicación dentro y fuera del cuerpo (Averos Vargas, 2017). El diseño de antenas textiles requiere una comprensión de las propiedades electromagnéticas, como la constante dieléctrica ϵ_r y la tangente de pérdidas δ de los materiales textiles. Los textiles conductores tales como el Zelt, Electrón y tafetán de poliéster de cobre puro se utilizan a menudo como elementos radiantes, mientras que los textiles no conductores como la seda, el fieltro y la lana se utilizan como sustratos (Lima Lema, 2018).

Las antenas textiles son uno de los campos de investigación más interesantes y de vanguardia de los tiempos modernos, los avances en las comunicaciones y la tecnología electrónica han permitido el desarrollo de dispositivos de antenas inteligentes, compactos que pueden colocarse o implantarse en el cuerpo humano (Abolade, Konditi, & Dharmadhikary, 2021). La miniaturización de la microelectrónica y otras tecnologías permite que estas antenas se integren en la ropa, allanando el camino para el desarrollo de dispositivos inalámbricos portátiles (Sanchez Torres, Herrera, & Restrepo, 2019).

Es así como un sistema de antena-textil se puede utilizar en una variedad de aplicaciones, incluidos los sistemas de medición fisiológica en tiempo real y una solución más conveniente para el monitoreo de la frecuencia del pulso durante el ejercicio. También pueden mantener un registro continuo de la salud del usuario mediante el seguimiento de los signos vitales del usuario (Pambaquishpe Álvarez, 2017).

En general, todas las aplicaciones modernas tienen requisitos para antenas portátiles que requieren poco peso, bajo costo y casi ningún mantenimiento e instalación. Hay varias ocupaciones profesionales que aplican sistemas de comunicación centrados en el cuerpo, como el personal médico, los bomberos y el ejército. Además, las antenas portátiles también pueden ser utilizadas por niños, ancianos y deportistas para monitorear las condiciones de salud sin afectar las actividades de las personas (Abohmra, y otros, 2019).

Considerando las necesidades que surgen en una sociedad que cada vez es más dependiente de la tecnología y sus aplicaciones, se pretende diseñar una antena textil portable que permita transmitir información para monitorear señales biomédicas del cuerpo humano mediante un sistema de comunicación.

CAPÍTULO I

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

¿Cómo diseñar una antena textil portable para integrarla a un sistema de comunicación que permita el monitoreo de señales biomédicas?

En la mayoría de los dispositivos biomédicos portables usados en el cuerpo humano, se han integrado sistemas de adquisición y procesamiento de señales, concentrando toda la información obtenida por los sensores en una unidad interna, muy pocas veces enviadas hacia un elemento externo en tiempo real (Paracha, Abdul Rahim, Soh, & Khalily, 2019). Para aquellos dispositivos en los que se envía información hacia el exterior, la etapa de comunicación es uno de los puntos más críticos debido a la necesidad de movilidad, obligando así, a que los sistemas de radiación deban cumplir con ciertas características tales como, tamaño reducido y bajo costo (Navarro Pérez, 2020). Sin embargo, para el escenario en el que el sistema de radiación forma parte de una prenda de vestir, no solo deberán ser considerados el tamaño y el costo, sino también dichas antenas portables deberán ser delgadas, livianas y resistentes a los ciclos de lavado y uso diario. Por otro lado, se ha demostrado que la capacidad de las fibras textiles para absorber la humedad afecta significativamente las prestaciones, provocando un desplazamiento de la frecuencia de resonancia y reduciendo el ancho de banda de la antena (Francés, Morer, Rodriuez, & Cazón, 2018).

El objetivo de este proyecto es diseñar una antena portable adaptada a un textil, que juntamente con sensores biomédicos comerciales serán integrados a un sistema de comunicaciones para monitorear señales biomédicas del cuerpo humano. Estas señales biomédicas serán visualizadas en tiempo real en la nube.

En la Figura 1 se representa el principio de funcionamiento del sistema; este consta de 3 bloques: (1) adquisición y transmisión de señales, (2) estación base, y (3) bloque de visualización.

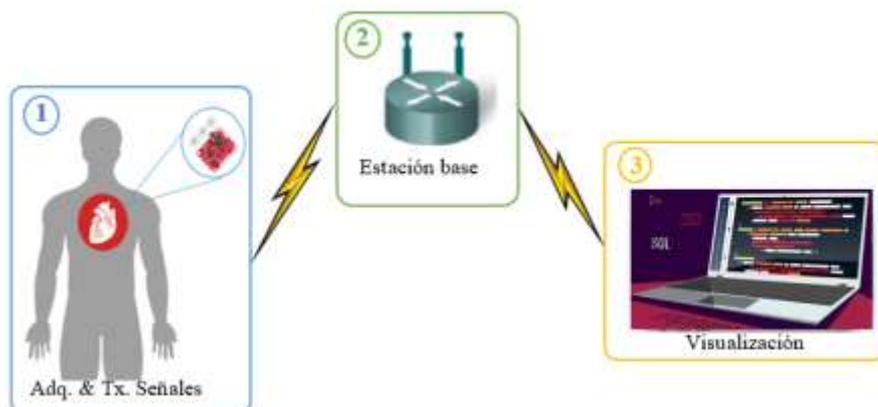


Figura 1. Principio de funcionamiento del sistema

Fuente: Autor

El primer bloque representa la etapa de adquisición y transmisión de señales, mismo que será subdividido en 2 etapas:

1. Adquisición y procesamiento.
2. Acoplamiento y transmisión.

En la etapa de adquisición y procesamiento de señales se utilizan dispositivos comerciales, entre ellos se usan: Tarjeta Arduino, chip ESP-8266, Sensores de frecuencia cardíaca y temperatura. La implementación de estos dispositivos fueron un complemento para la adquisición y transmisión de señales biomédicas, por tal razón el estudio de la etapa no se encuentra dentro de los objetivos de la tesis y no será detallado a profundidad.

El trabajo de investigación propuesto se centra en el diseño, desarrollo e integración de una antena textil hacia la etapa de adquisición y procesamiento, en donde se describe el funcionamiento de la antena textil.

Por otro lado, en el bloque (2), se recibe la información enviada desde el primer bloque usando la tarjeta ESP-8266, esta información será almacenada en la nube, la misma que estará disponible para su visualización en tiempo real tal como se aprecia en el bloque (3).

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. OBJETIVO GENERAL

- Diseñar e implementar una antena portable adaptada a un textil para monitorear señales biomédicas a través de un sistema de comunicaciones.

1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Desarrollar una antena integrada a un textil usando un simulador electromagnético e implementar la antena diseñada utilizando telas de seda y fieltro.
- Incorporar la antena diseñada a un sistema de comunicación para el monitoreo de temperatura y frecuencia cardíaca.
- Almacenar y visualizar los resultados de las señales biomédicas adquiridas en tiempo real en el servidor o nube.

CAPÍTULO II

En el presente capítulo, se describe el estudio de trabajos preliminares sobre antenas textiles, indagando en sus aplicaciones, materiales y estructuras empleadas, así como también se detalla la fundamentación teórica asociada al presente proyecto. Se empieza desde los parámetros principales que describen el comportamiento de una antena, posibles materiales para su fabricación, hasta los dispositivos de comunicación que se puede utilizar para la transmisión de información entre la antena textil y la estación base.

2.1.ESTADO DEL ARTE

La aparición de antenas en textiles viene originada por varios factores que han impulsado una tecnología capaz de adaptarse a las necesidades de los usuarios de las nuevas redes de comunicación. Entre estos factores se encuentran la evolución de las redes de área personal (Personal Area Network, PAN) hacia las nuevas redes de área corporal llamadas (Wireless Body Area Networks, WBAN) (Zhang , Tian, Marindra, Sunny, & Zhao, 2017). Junto con la evolución de las redes aparecen también nuevos protocolos como pueden ser Bluetooth, Wi-Fi, WiMax o UWB que conllevan un notable incremento en las aplicaciones inalámbricas (Mohamadzade, y otros, 2019).

Los sistemas de telecomunicaciones integrados en prendas de vestir y productos portátiles son métodos por los cuales los dispositivos médicos están teniendo un impacto en la mejora de las disposiciones de atención médica durante todo el día (Rahim, Samsuri, & Salim, 2019). Estas prendas, cuando estén completamente desarrolladas, serán capaces de alertar y exigir atención cuando sea necesario, junto con minimizar los recursos hospitalarios y la mano de obra (Matin & Zaman, 2019). Además, pueden desempeñar un papel importante en enfermedades preventivas, irregularidades de salud y trastornos cardíacos o cerebrales imprevistos en individuos aparentemente sanos. Los llamados sistemas textiles portátiles, tienen como objetivo mejorar nuestra calidad de vida al mejorar las funcionalidades de la ropa a través de una combinación de textiles y electrónica (Othman, Samsuri, Rahim, & Kamardin, 2018).

Es importante agregar que esta nueva generación de prendas tiene la capacidad de monitorear las señales biológicas del usuario y comunicar estos datos al entorno para proporcionar información continua sobre el estado de salud de una persona (Hassan &

Attiya, 2019). El monitoreo en general es una actividad necesaria en entornos riesgosos como la minería, el buceo, el alpinismo, acciones militares y de seguridad (Subhedar, 2020). Sin embargo, se considera que el monitoreo médico es específicamente necesario para transferir y transmitir datos para pacientes hospitalizados, en el hogar para pacientes confinados o incluso pacientes ambulatorios (Seman, Dahlan, Alam, Khirotdin, & Mahadzir, 2018). Por lo tanto, todas estas aplicaciones de monitoreo se pueden lograr mediante el uso de antenas portátiles que no obligan al usuario a abandonar su zona de confort con materiales tan compactos y duraderos (Saradhi & Swetha, 2021).

Recientemente, han surgido posibilidades de conectar aparatos independientes con el textil. Sin embargo, el éxito total se logrará solo cuando las antenas y todos los componentes relacionados se conviertan por completo en materiales 100% textiles (Aspé, 2020). Por lo tanto, al incorporar antenas e interconexiones en las prendas, se puede obtener un traje independiente y fácil de usar. Además, el uso de componentes textiles incrustados garantiza el lavado del traje y, en consecuencia, su reutilización (Januszkiewicz, Skrzetuska, & Oleksy, 2020).

Tal es el caso que grandes marcas de ropa están firmando acuerdos con empresas dedicadas a la tecnología de la información y comunicación (TIC). Por ejemplo, Levi's con Google modificaron el modelo de la chaqueta Levi's Commuter y lo equiparon con sensores y un chip en la manga para enviar información al celular. La zona de contacto está hecha de tejido inteligente Jacquard (Kumar, y otros, 2019). La tela está hecha de hilo conductor y no se ve afectado por el lavado o los líquidos. El sensor detecta el movimiento en la manga y notifica las instrucciones de Google Maps, incluso cuando está lejos del teléfono, puede identificar pérdidas u olvidos (Karam & Goncalves, 2020).

Así también, la marca Nevano UV Protect presenta un prototipo de trajes de baño con sensores que notifican cuando se exponga al sol durante demasiado tiempo. Los sensores enviarán advertencias al celular cuando la persona tenga que utilizar bloqueador solar dependiendo el tipo de piel (Xudong, Chen, Wang, Zhang , & Hu, 2021).

Además, un equipo de la Universidad de Ohio ha desarrollado antenas de radio cosidas en la ropa para uso militar, su propósito es mejorar la estabilidad de la comunicación y la movilidad de los soldados. El prototipo se completó con una máquina de coser ordinaria

utilizando un sustrato de plástico e hilo metálico (Santos, 2019). Cumpliendo con los requisitos de los dispositivos electrónicos portátiles como: consumir una pequeña cantidad de energía, ser cómodo de usar y de tamaño compacto (Memon, 2021).

2.2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

El elemento más significativo en un sistema de comunicación es la antena, misma que se ha convertido en un tema de gran interés en las instituciones de investigación, proponiéndose desarrollar dispositivos electrónicos integrados en textiles los cuales deben contar con antenas para el intercambio de información (Corchia, Monti, & Tarricone, 2019). Estos sistemas permiten obtener y enviar datos como: ubicación GPS, monitorización cardíaca, temperatura. También deben poseer elementos que se puedan integrar en la ropa sin interferir con las actividades o movimientos de las personas (Corchia, Monti, & Tarricone, 2019). Por lo tanto, en el presente apartado se describe un enfoque teórico de los parámetros característicos de las antenas, se incluye además conceptos acerca de antenas textiles, material textil.

2.2.1. ANTENAS

Una antena es un elemento capaz de transformar la energía eléctrica en electromagnética, puede funcionar como un elemento transmisor o receptor según la necesidad de la aplicación. Existe una amplia variedad de antenas con diferentes características y funcionamiento. Por lo que, las antenas de nuestro interés son las que trabajan con tecnología microstrip ya que son las más usadas porque están sujetas al principio de reducción del tamaño de las antenas y líneas de transmisión; estos diseños se pueden acoplar fácilmente a cualquier dispositivo y aplicaciones donde la miniaturización es muy importante, tales como dispositivos móviles, satélites, aplicaciones de misiles, aviación, y comunicaciones inalámbricas (Pozar D. , 2011).

Las antenas microstrip están formadas por un parche, un dieléctrico y un plano de masa, tal como se observa en la Figura 2. Algunas de las ventajas que puede aportar este tipo de antena son: la tendencia a la miniaturización mediante la implementación de dispositivos cada vez más pequeños y componentes livianos, fácil integración en superficies planas y no planas, producción en masa de ahí el costo puede ser muy alto o bajo (Cardama Aznar, Roca, Casals, Romeu , & Blanch, 2004).

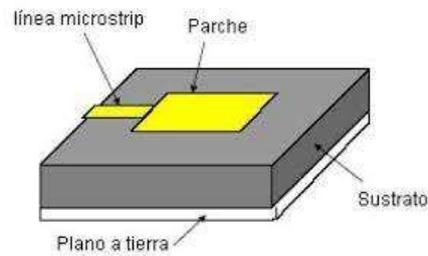


Figura 2. Configuración de una antena microstrip

Fuente: (Cardama Aznar, Roca, Casals, Romeu , & Blanch, 2004)

Generalmente para la realización de las antenas microstrip se utiliza materiales rígidos, pero debido al tipo de aplicación que se desea obtener se requiere que el material sea suave, flexible y ligero, utilizando así materiales textiles para la realización de la antena. Entonces, las antenas textiles son antenas hechas de materiales derivados de textiles convencionales o industriales. Son aquellas en las que el plano de diseño (conductor) se encuentra montado sobre un material textil con una constante dieléctrica específica. Por lo tanto, para que este tipo de antenas funcionen en óptimas condiciones, la antena requiere ser diseñada e implementada de manera adecuada teniendo en cuenta el material que debe ser delgado, flexible y de fácil integración con el cuerpo humano permitiendo moverse libremente (Sabban, 2018). Por ejemplo, en la Figura 3, se observa la implementación de múltiples antenas sobre un material textil hecho de lana.



Figura 3. Representación de una antena sobre un textil.

Fuente: (Sabban, 2018)

De igual forma, se debe considerar al momento del diseño que la tela tiene una estructura interna complicada, además de una superficie irregular, porque está llena de poros y pequeñas protuberancias, lo cual hace difícil entender con precisión las propiedades eléctricas de estos materiales. Por lo que, para el diseño se considera valores aproximados que provocarán un desfase en frecuencia. Conocer las propiedades de los materiales como la conductividad y la permitividad no es fácil, especialmente cuando varían con la frecuencia en la que se está trabajando (Ahmed, Ahmed, & Shaalan, 2017).

Sin embargo, algunas empresas han tratado de diseñar materiales con parámetros constantes para su uso como electro-textiles, materiales como: Electronr, Shielditr, Narar o Cordurar (Agbor, Mahbub, & Biswas, 2018). Por otra parte, algunos materiales no están diseñados para utilizarlos como electro-textiles, pero pueden cumplir con los requerimientos, estos materiales incluyen polímeros flexibles, tejidos sumergidos en varios metales (como níquel, plata o cobre), tintas y aerosoles conductores para rociar materiales textiles. También existen materiales no conductores específicamente diseñados para lograr esta función, como Nomexr, Rhocellr o Vecror, así como materiales relativamente habituales de uso diario, como lana, seda, fieltro y tejido 100% poliéster (Almohammed, Ismail, & Sali, 2021).

Es de vital importancia la elección del material con el cual estará fabricado el sustrato y conductor de la antena. Es necesario determinar las características que conducen a un buen rendimiento. A continuación, se detallan algunas de las principales características que se deben considerar en los materiales (Sabban, 2018).

- Los materiales de alta calidad deben tener bajas pérdidas para mejorar la eficiencia de la antena cuando está cerca del cuerpo humano.
- Para las antenas portátiles también se busca la flexibilidad, por lo que es más fácil adaptarse al cuerpo humano.
- La constante dieléctrica baja también es ideal, porque esto permite que la antena obtenga mayor ganancia y eficiencia.
- El grosor de la tela.

Por otra parte, una de las características que se debe tener en cuenta al momento de elegir el material es la elasticidad. Generalmente, cuanto más elástica sea la tela, más problemas surgirán, porque cuando la fibra conductora se estira, su constante dieléctrica y su grosor cambiarán, lo que hará que cambie la frecuencia de la antena. Además, se dificulta la adhesión de otros materiales al tejido. En la literatura se proponen diversos materiales que pueden cumplir la función del sustrato, algunos de los cuales se describen a continuación: (Loss, Gonçalves, Pinho, & Salvado, 2020).

- Fielto: Fibra sintética fabricada con fibra de poliéster. Tiene una textura lisa y suave, por lo que su mayor desventaja es que es fácil de comprimir. Absorbe el agua con

facilidad y se seca rápidamente.

- Lana (polar): Fibra sintética fabricada con fibra de poliéster. Muy suave y confortable en contacto con la piel. Es lo suficientemente gruesa como para hacer un sustrato bastante ancho. La constante dieléctrica baja es su mayor ventaja, puede traer enormes beneficios y eficiencia.
- Seda: Fibra natural proteica con textura suave y lisa que posee buena absorción de la humedad, buenas cualidades de caída, alta resistencia, hipoalergénica.
- Delinova 200: Tejido con fibra Cordura, que es una fibra polimérica hecha de nailon y membrana Gore-Tex. Buena resistencia al agua y resistencia mecánica extremadamente alta. Se debe principalmente a que es muy fino, lo que dificulta la fabricación de un sustrato con altura suficiente.
- Denim: Tejido bordado principalmente con fibras de algodón. Comparado con otros materiales, tiene buena resistencia mecánica y puede producir sustratos de alta calidad. Su principal desventaja es el contacto con la humedad.
- Espuma de poliestireno: Su principal característica es su baja constante dieléctrica. Tiene una superficie suave y lisa que puede proporcionar a los usuarios una protección adicional. Es fácil de deformar y cambiar su ancho, lo que no es una característica positiva.

La Tabla 1 resume las propiedades de algunos de los materiales más comunes para el diseño de antenas textiles.

Tabla 1. Cuadro de materiales aptos para sustrato

Fuente: (Guerra, febrero 2018)

Material	ϵ_r	Humedad	Elasticidad	Ancho constante	Resistencia
Fieltro	1.38	X	X	Si	Si
Lana	1.98	Si	X	Si	Si
Seda	4.6	Si	X	X	Si
Delinova 200	1.17	X	Si	Si	Si
Denim	1.4	X	Si	Si	Si
Espuma de Poliestireno	1.02	Si	Si	X	X

Entonces, para describir el comportamiento de las antenas, es necesario conocer los parámetros de las antenas.

2.2.2. PARÁMETROS DE LA ANTENA

Cada antena tiene propiedades que se utilizan para caracterizarla, estas propiedades son conocidas como los parámetros de las antenas, entre los parámetros más comunes se tiene:

- El Coeficiente de reflexión también conocido como parámetro S_{11} , es la medida de acoplamiento de la impedancia de la antena y la impedancia característica de la línea de transmisión. Está relacionado con la frecuencia de resonancia del sistema (Anguera & Andújar, 2018).
- Otro parámetro importante es la impedancia, esta se describe a través de la tensión de corriente a la entrada de la antena. Consta de dos partes, la parte real que representa el poder que irradia dentro de la antena y la parte imaginaria representa la energía que se almacena en el campo cercano a la antena, se dice que una antena es resonante cuando la impedancia en su parte imaginaria es $X_m(Z) = 0\Omega$ y la impedancia en la parte real es $R_e(Z) = 50\Omega$ (Gómez-Torrijos Pérez, 2017).
- Por otro lado, el diagrama de radiación de una antena se define como una representación gráfica de las características de radiación que varían con respecto a la dirección angular. Por lo general, se representan en 3D o 2D, tal como se aprecia en la Figura 4 (Aldaz Samaniego, 2019).

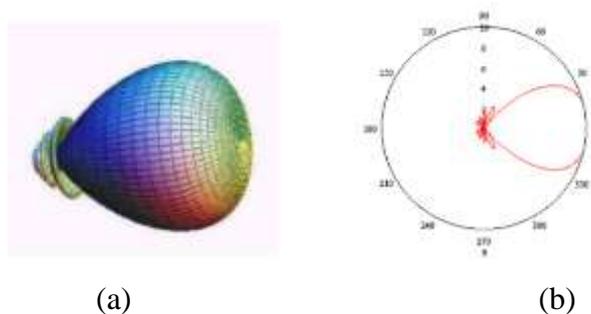


Figura 4. Representación de un Diagrama de radiación. (a) Vista en 3D y, (b) Vista en 2D.

Fuente: (Aldaz Samaniego, 2019)

- Así mismo, la ganancia y la directividad es otro de los parámetros más comunes de una antena, la relación entre la potencia radiada (Ganancia) y la potencia entregada (Directividad) a una determinada frecuencia de trabajo representa la eficiencia (Aldas Samaniego , 2019).

$$\eta = \frac{G}{D} \quad (1)$$

2.2.3. DISPOSITIVOS DE COMUNICACIÓN

Para la realización del sistema de comunicación se utiliza dispositivos comerciales como: Arduino Uno, tarjeta ESP-8266 y sensores corporales. Arduino es una plataforma de desarrollo libre basada en placas electrónicas de hardware, que facilita la programación de la electrónica. Así también la tarjeta ESP-8266 es un chip de bajo costo que agrega capacidad de conectividad Wi-Fi permitiendo conexiones de red local o a internet. Por otra parte, los sensores son los responsables de recolectar los parámetros corporales dados en diversos ámbitos con el fin de brindar información. Se utiliza dos clases de sensores que se detallan a continuación:

- El sensor de temperatura corporal es un dispositivo que se utiliza principalmente para medir la temperatura de una persona (Melo, 2018). La temperatura corporal se puede utilizar para evaluar la eficiencia de la regulación térmica del cuerpo humano de acuerdo con el cambio de la temperatura ambiente y la intensidad de las actividades realizadas (da Silva Júlio & Parente Ribeiro, 2020)
- De igual manera, el sensor de frecuencia cardíaca se utiliza para obtener fácilmente lecturas de frecuencia cardíaca en tiempo real. Tiene una etapa de amplificación y un filtro de ruido para hacer que su señal de salida sea confiable y estable. Se basa en un led luminoso y un sensor receptor de intensidad, y la cantidad de luz reflejada cuando pasa un flujo sanguíneo define la salida del sensor (Urgilés Cantos, Campoverde Carrasco, Dután Criollo, & Suárez Jadán, 2020).

Para que la antena permita transmitir información juntamente con dispositivos electrónicos debe existir un estándar de comunicación que establezca normas para el

intercambio de información. Es por ello por lo que el uso de la tarjeta ESP-8266 forma parte esencial del sistema de comunicación ya que simplifica y facilita el uso del estándar IEEE 802.11n por su amplia compatibilidad con estándares de versiones anteriores.

El estándar IEEE contribuye al desarrollo de equipos eléctricos y electrónicos. Crean y mantienen estándares que intervienen en una amplia variedad de campos, como salud, energía, telecomunicaciones y redes para lograr la máxima compatibilidad y facilidad de manejo (Mengíbar Rosales, 2018).

IEEE 802.11, es un estándar de red inalámbrica definido por el Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos. Define el modo de interconexión entre estaciones en un área limitada que utiliza el aire como medio de transmisión, constituyendo uno de los estándares más interesantes para el desarrollo de las tecnologías de interconexión en áreas locales (Caiza Páez & Lara Cueva, 2019).

IEEE 802.11n, es una modificación de los estándares de versiones anteriores (802.11b y 802.11g). Mejora el rendimiento de la red con un aumento de 600Mbps en la velocidad de transmisión, puede trabajar en las bandas de frecuencia de 2.4GHz y 5GHz (Botella-Campos, Parra, Sendra, & Lloret, 2020).

CAPÍTULO III

En el tercer capítulo se explicará la metodología aplicada al realizar la investigación, el tipo de estudio, la población y muestras adquiridas, fuentes de información utilizadas, así como también instrumentos de investigación aplicados en la elaboración del proyecto. De la misma manera se profundizará en el procedimiento de diseño, construcción y método de fabricación que se utilizó al realizar la antena textil.

El propósito del presente capítulo es comprender cuáles son las necesidades al trabajar con una antena textil. Finalmente, se concluirá cuáles serán los materiales utilizados para la investigación y las razones de su elección.

3. METODOLOGÍA

3.1. TIPO DE ESTUDIO

El trabajo propuesto en este documento se basa en una investigación adaptativa, ya que se parte de trabajos preliminares en los cuales se presentan que las características de las antenas son robustas, grandes e incómodas. Por lo que en este trabajo se pretende cambiar los parámetros y características para que la antena sea liviana, pequeña y cómoda.

3.2. MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN

En el presente proyecto se aplicó el método adaptativo. Para la realización del diseño de la antena se tomó como base la antena microstrip, se diseñó en el simulador CST studio suite y posteriormente se integró a un textil utilizando la tela de seda y fieltro.

La incorporación de la antena al sistema de comunicación se realizó con tarjetas comerciales programables tales como: ESP-8266 (Isaac, 2019), Arduino Uno (Badamasi, 2014), sensor de frecuencia cardíaca AD8232 (KananI & Padole, 2018), sensor de temperatura (López, Vargas, & Mosquera, 2018), mismas que sirvieron en la etapa de adquisición y procesamiento de señales. Estas tarjetas fueron elegidas por ser más económicas y encontrarse disponibles en el mercado local; sin embargo, revisando las funciones cumplen eficazmente la tarea de una tarjeta de alta gama.

3.3. POBLACIÓN

Debido a la situación actual que se encuentra pasando el país a causa del COVID-19, la población de estudio se formó por 300 datos generados al testear a cinco personas del entorno familiar durante 60 segundos.

3.4. MUESTRA

$$n = \frac{z_{\frac{\alpha}{2}}^2(p * q)}{\alpha^2 + \frac{(z^2(p * q))}{n}} \quad (2)$$

Donde:

n = Tamaño muestral

α = 5% nivel de significancia

Es el riesgo que aceptamos de equivocarnos al presentar los resultados, el nivel habitual de confianza es del 95%.

$z_{\frac{\alpha}{2}}$ = 1.96 valor crítico

p= Población con las características deseadas de éxito

q= Población sin las características deseadas (fracaso)

$$n = \frac{1.96^2(0.5 * 0.5)}{0.05^2 + \frac{(1.96^2(0.5 * 0.5))}{300}}$$

La muestra fue tomada mediante muestreo aleatorio de la población en estudio, la muestra se halló de forma probabilística obteniendo 168 datos generados por la fórmula de tamaño muestral.

3.5. FUENTES DE INFORMACIÓN

Se realizó una revisión sistemática de documentos considerando varias bases de datos científicas tales como IEEE Xplore, Scopus, SCIMAGO, Google Scholar. Se obtuvo información sobre artículos en revistas, publicaciones en congresos, proceedings, todas dedicadas al análisis de una antena portable adaptada a un textil. También se analizaron tesis doctorales que respalden la viabilidad del proyecto.

3.6. INSTRUMENTOS DE LA INVESTIGACIÓN

Los instrumentos de investigación aplicados en la elaboración del presente proyecto de tesis hacen referencia al uso de dos categorías, observación directa y análisis de documentos.

- Observación directa: básicamente es la selección explícita de aquello que se desea analizar por medio de la visualización a detalle de una o varias situaciones que permitan llegar a cumplir los objetivos propuestos inicialmente.
- Análisis de documentos: son en su mayoría publicaciones científicas, revistas, y manuales de dispositivos electrónicos, a fin de fundamentar la viabilidad de proyecto

3.7. OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES

Tabla 2. Operacionalización de variables

Fuente:(Autor)

VARIABLES	CONCEPTO	INDICADORES	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS
INDEPENDIENTE			
Rango de frecuencias	Frecuencias de trabajo	Frecuencias entre 2.4MHz – 3GHz	Analizador de redes vectoriales
DEPENDIENTE			
Parámetros de antena en modo transmisión	Características y comportamiento de la antena	Variación de permitividad dieléctrica	Software CST Studio Suite

3.8. PROCEDIMIENTO Y ANÁLISIS

En este apartado se presenta el proceso de diseño y fabricación de la antena, se describe también la forma de la comunicación que permite visualizar la información de las señales biomédicas obtenidas a través del sistema de sensores.

3.8.1. DISEÑO DE LA ANTENA

La antena propuesta en este trabajo de titulación se ha inspirado en una antena microstrip con un parche circular, para ello, el primer paso a realizar es obtener las dimensiones del

área del círculo. La frecuencia de resonancia f_r de la estructura es de 2.4 GHz, y el material usado para el diseño de la primera antena es el fieltro con una permitividad dieléctrica $\epsilon_r = 1.22$ y una altura $h = 1.4mm$. Por otro lado, la segunda opción usada es la seda, con $\epsilon_r = 4.6$ y $h = 0.9mm$. El parche y el plano de masa se diseñan con una pintura conductora denominada "bare conductive", que tiene una conductividad $\sigma = 0.018$

Entonces, para el cálculo del parche se utiliza la formulación descrita en (Cardama Aznar, Roca, Casals, Romeu , & Blanch, 2004), tal como se ve a continuación:

$$F = \frac{8.79 \times 10^9}{fr\sqrt{\epsilon_r}} = 3.32 \quad (3)$$

$$R = \frac{F}{\left\{1 + \frac{2h}{\pi * \epsilon_r * F} \left[\ln \left[\frac{\pi F}{2h}\right] + 1.7726\right]\right\}^{\frac{1}{2}}} = 0.0256 m \quad (4)$$

Donde:

F = Constante

fr = Frecuencia de resonancia

ϵ_r = Constante dieléctrica del material.

h = altura del sustrato

R = radio del círculo

La excitación viene dada por una línea de transmisión con una impedancia de entrada de 50Ω , acorde a la formulación descrita en (Pozar D. , 2011). Sin embargo, para generar novedad en el diseño, la línea de transmisión de ingreso ha sido optimizada, su forma física se ha modificado pero la impedancia sigue siendo un valor aproximado a los 50Ω .

Para el diseño de la antena se utilizó el simulador electromagnético CST Studio Suite. La vista frontal y los parámetros de diseño de la estructura propuesta se muestran en la Figura 5, y el resumen de cada una de las dimensiones se ha descrito en la Tabla 3.

3.8.2. FABRICACIÓN DE LA ANTENA

3.8.2.1. Especificaciones de los materiales

Para la construcción de la antena, nuestro estudio se centra en varios materiales escogidos de acuerdo con sus propiedades, los cuales se detallan a continuación:

- Tela de fieltro y seda como material de sustrato, la tela de fieltro utilizada para la investigación tiene una especie de superficie lisa y firme con la característica adicional de ser un material de superficie esponjoso que ayuda a caracterizar con precisión el efecto de los materiales textiles. La seda al igual que el fieltro es suave, lisa y posee una alta resistencia.
- El material conductor utilizado es la pintura "Bare Conductive" compuesta de carbono con agua soluble de espesor 0,05 mm. No es tóxica y funciona muy bien en numerosos materiales como el papel, el plástico, textiles y la electrónica. De acuerdo con las especificaciones del fabricante, esta pintura conductora garantiza una resistencia y conductividad elevada.
- El conector utilizado es el Conector SMA hembra de 50Ω de impedancia nominal y trabaja a una frecuencia entre 0 a 6 GHz.
- Cinta conductora de cobre es resistente al calor, posee un adherente conductor adecuado para proyectos que requieren mayor exactitud. Se utilizó esta cinta por las complicaciones obtenidas al momento de colocar el conector en la antena textil, ya que no permitía tener un punto de soldadura y no se adhería correctamente.
- Cable coaxial para transmitir señales eléctricas de alta frecuencia y evitar el ruido eléctrico y la interferencia de la señal. Tiene dos conductores:
 - Conductor central (núcleo): Se encarga de la transmisión de información.
 - Conductor externo (trenza): Se utiliza como referencia de tierra y corriente de retorno.

Hay una capa de aislamiento dieléctrico entre los conductores, y la calidad del cable depende principalmente de las características de la capa de aislamiento (Hispanast, 2014). Se utilizó este cable para la conexión de la antena textil y la tarjeta ESP-8226.

3.8.2.2.Método de fabricación

El uso de pinturas con propiedades conductoras se ha utilizado anteriormente para fabricar elementos radiantes en antenas.

Para la fabricación de la antena se aplicó el método Screen Printed (Pantalla impresa) se basa en el uso de una “máscara”, que se utiliza como molde al pintar, dejando la forma que se desea en el sustrato. Este proceso solicita una máscara para cada forma que se desee pintar, por lo que este enfoque no es tan práctico cuando se necesita fabricar más de un tipo de antena. Cabe señalar que las técnicas de fabricación no son procesos complicados, pero debido a los tipos de materiales utilizados, no pueden proporcionar una alta precisión en la fabricación de antenas pequeñas y la fabricación manual de estas antenas, lo que involucra errores humanos (Mohamadzade, y otros, 2019).

El proceso de fabricación de la antena textil se describe a continuación:

- En primer lugar, se diseñó un molde en madera con las dimensiones de la antena obtenidas del software CST como se aprecia en la Figura 6.



Figura 6. Molde de la antena en madera

Fuente: Autor

- A continuación, se observa en la Figura 7 y 8 la implementación de la antena con el método “Screen Printed” en la tela de fieltro y seda, teniendo en cuenta que este proceso se realiza varias veces hasta tener una cobertura uniforme.



Figura 7. Serigrafía con método Screen Printed para la tela de fieltro

Fuente: Autor



Figura 8. Serigrafía con método Screen Printed para la tela de seda

Fuente: Autor

- Así mismo, en la Figura 9 se observa la serigrafía del plano de masa.

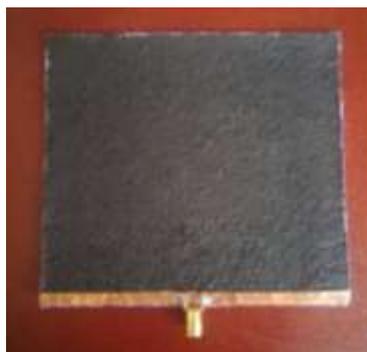


Figura 9. Serigrafía con método Screen Printed vista posterior

Fuente: Autor

- Ahora bien, una vez seca la pintura se colocó la cinta de cobre en la parte inferior de la antena y del plano de masa para posteriormente soldar el conector a la antena y conectar el cable SMA, tal como se observa en la Figura 10.



Figura 10. Unión de los materiales a la antena

Fuente: Autor

3.8.3. SISTEMA DE COMUNICACIÓN

En la Figura 11, se presenta el diagrama de bloques del sistema de comunicación el cual consta de tres bloques, el primer bloque adquiere los datos emitidos por los sensores biomédicos corporales mediante la programación en la tarjeta Arduino.

Posteriormente en el segundo bloque para transmitir la información hacia la estación base se utilizará el chip ESP-8266 acoplada a la antena diseñada en material textil, su acoplamiento partió de la conexión del puerto de entrada (conector SMA hembra) de la antena textil, hacia un extremo del cable coaxial (conector SMA macho), el otro extremo del cable coaxial se conecta a la tarjeta ESP-8266 que con la frecuencia de resonancia de 2.4 GHz permite una mayor compatibilidad con los protocolos TCP implementados para su posterior envío, almacenamiento y visualización de información en el bloque 3 del sistema de comunicación.



Figura 11. Diagrama de bloques general del sistema de comunicación

Fuente: Autor

En la Figura 12, se presenta la gráfica de la etapa de transmisión del sistema de comunicación, donde la red LAN 1 realiza la toma de información local por medio de la tarjeta ESP-8266 con el estándar 802.11n, posteriormente se envía los datos a través de la comunicación de internet utilizando así el protocolo TCP que permite la transmisión de información segura de datos y sin pérdidas, misma que da paso a un sistema capaz de enviar datos a la LAN 2 o estación base para su respectiva visualización.

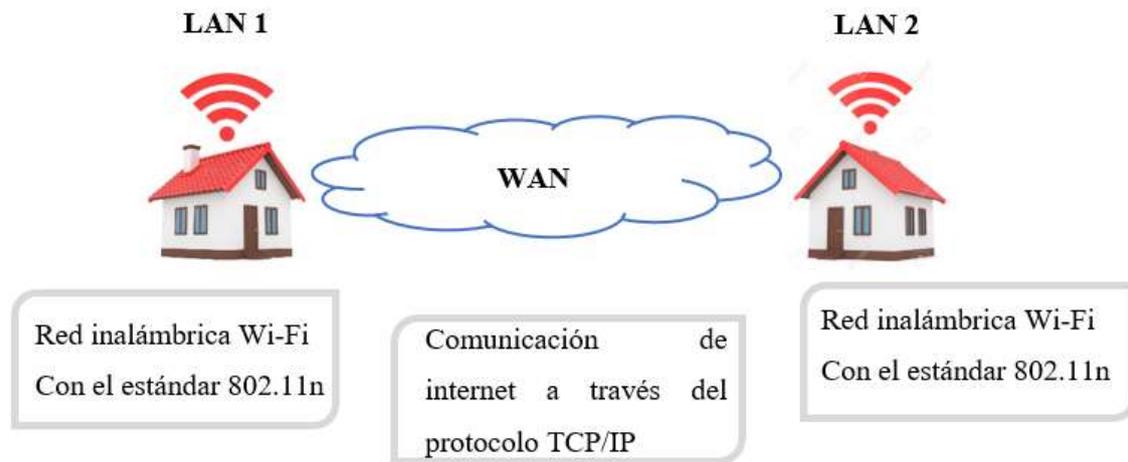


Figura 12. Etapa de transmisión del sistema de comunicación

Fuente: Autor

Además, se muestra en la Figura 13 el diagrama de flujo del sistema de comunicación, se observa el proceso realizado desde el momento que se obtuvo la lectura de datos de los sensores hasta la visualización de la misma en tiempo real.

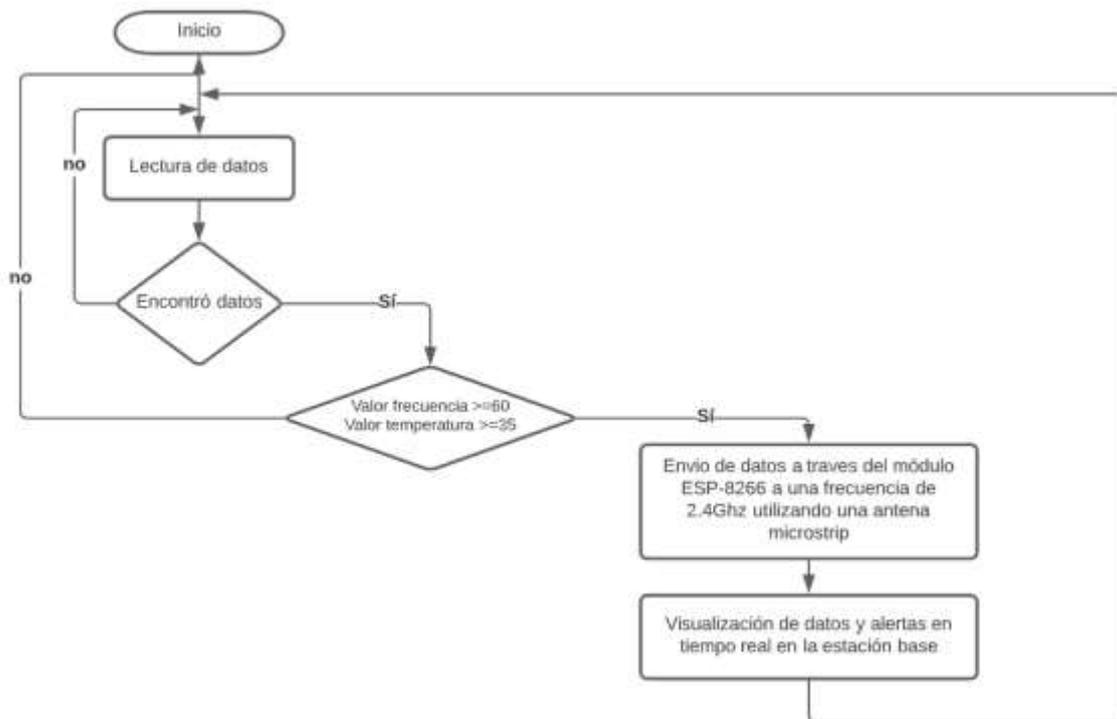


Figura 13. Diagrama de flujo general del sistema de comunicación

Fuente: Autor

CAPÍTULO IV

El capítulo cuatro presenta los resultados obtenidos del diseño de la antena realizados en CST Studio Suite con dos tipos de material como sustrato y con dos escenarios diferentes, así como también los resultados obtenidos de la antena textil implementada y caracterizada mediante un analizador de redes vectoriales.

4. RESULTADOS Y DISCUSIONES

Los resultados que se muestran y analizan en esta sección serán: el coeficiente de reflexión, impedancia, diagramas de radiación, ganancia, directividad y la eficiencia. Para ello, la antena será diseñada usando dos tipos de material de sustrato con diferente valor de permitividad relativa (Seda, Fieltro), y una tinta especial como material conductor. Por otro lado, la antena se ha analizado bajo dos entornos diferentes, el primero de forma aislada y el segundo en presencia del cuerpo humano (una muestra de piel, grasa y músculo).

4.1. ANÁLISIS DE ANTENA DISEÑADA SOBRE SEDA (VERSIÓN 1)

El primer prototipo que ha sido diseñado y analizado a través de el simulador electromagnético tiene un material dieléctrico (seda) con las siguientes propiedades: $\epsilon_r=4.6$ y una altura de $h = 0.9$ mm. En la Figura 14, se muestra el coeficiente de reflexión, claramente la antena se encuentra en resonancia a una frecuencia de 2.4 GHz, con un ancho de banda estrecho, típico de una antena microstrip.

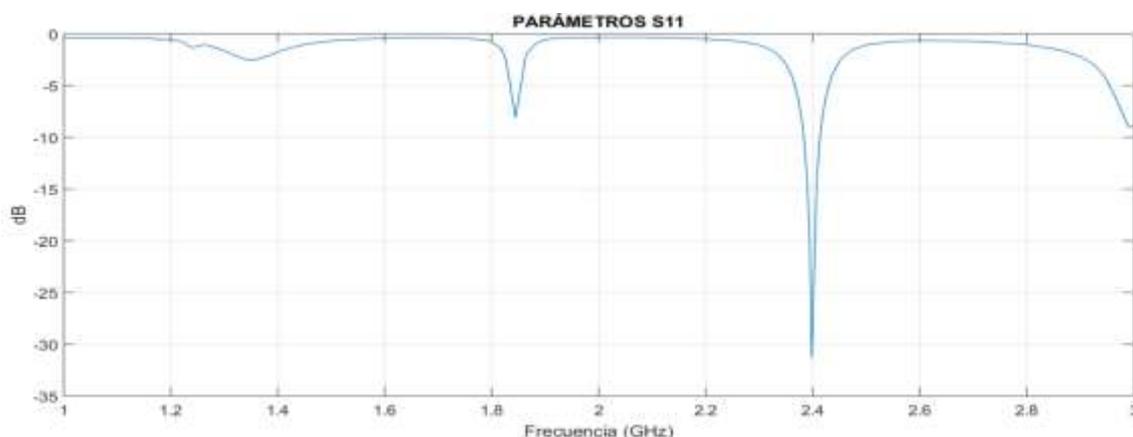


Figura 14. Coeficiente de reflexión de la antena simulada en seda

Fuente: Autor

En cuanto a la impedancia, la antena consta de dos componentes: la parte real y parte imaginaria.

La parte real de la impedancia muestra que existen 5 frecuencias en donde se pueden conseguir un acoplamiento de la estructura a 50Ω , a 1.31 GHz, 1.36 GHz, 2.36 GHz, 2.39 GHz y 2.85 GHz como se muestra en la Figura 14. Por otro lado, la impedancia en su parte imaginaria muestra varias resonancias y antiresonancias (ver Figura 15), los valores que son igual a 0 de las pendientes que van de valores negativos a positivos se denominan resonancias (a 1.05 GHz y 1.35 GHz) y las pendientes que van desde lo positivo a lo negativo como antiresonancias (1.34 GHz, 2.4 GHz y 2.94 GHz). Entonces la antena propuesta funciona en una zona de antiresonancia a 2.4 GHz con unos valores de impedancia $Z = 50 - j 2.7 \Omega$.

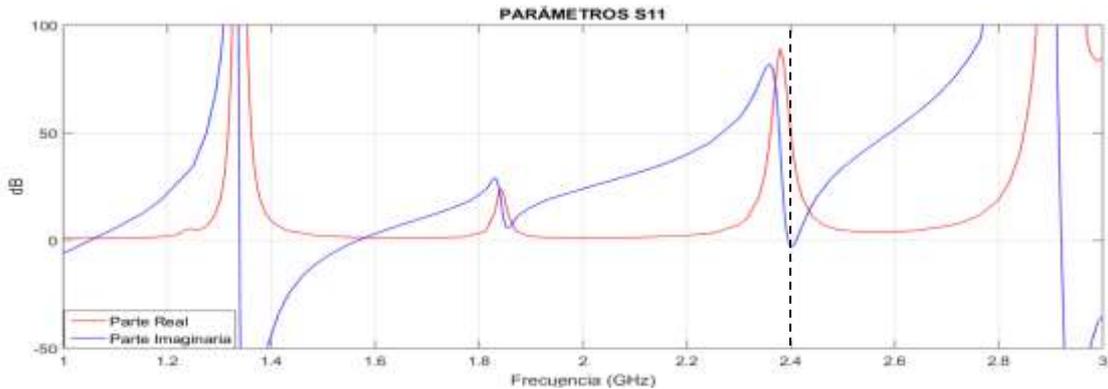


Figura 15. Parte imaginaria de la impedancia en la antena propuesta V.1.

Fuente: Autor

En la Figura 16, se puede apreciar el diagrama de radiación desde una vista frontal de la antena de forma aislada, se tiene como resultado una antena que trabaja a una frecuencia de 2.4GHz que presenta un diagrama de radiación unidireccional en dirección broadside con respecto a la estructura.

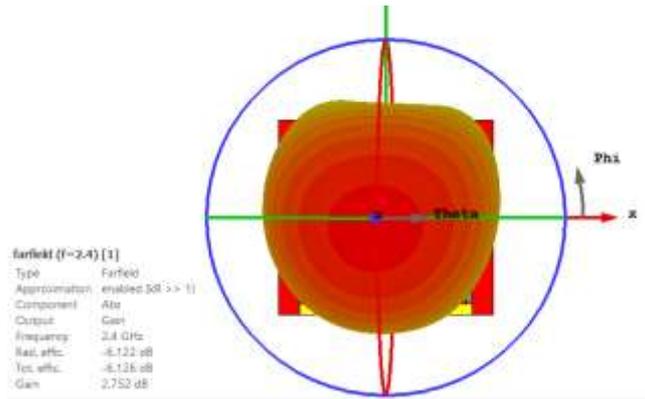


Figura 16. Diagrama de radiación 3D, vista frontal de la antena propuesta V.1.

Fuente: Autor

En la Figura 17, se puede evidenciar los diagramas de radiación en 2D en coordenadas polares, la relación entre el lóbulo principal y lóbulos secundarios de cada una de las gráficas demuestran la unidireccionalidad antes descrita. Los resultados obtenidos de ganancia a una frecuencia de 2.4GHz es 2.75 dB, mientras que el valor de la directividad es 8.87 dBi.

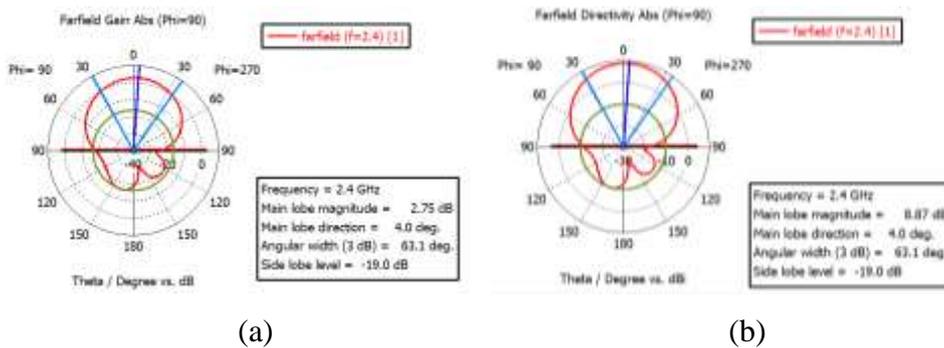


Figura 17. Representación de los diagramas de radiación en coordenadas polares a 2.4GHz. (a) Ganancia y, (b) Directividad.

Fuente: Autor

A partir de la información que proporcionan los diagramas de radiación, fácilmente se puede obtener la ganancia y la directividad de la antena de forma aislada. La relación entre la ganancia y la directividad dan lugar a la eficiencia de la antena η tal como se expresa en la ecuación (5).

$$\eta = \frac{G}{D} = \frac{1.88}{7.78} = 0.24 \quad (5)$$

En la Figura 18, se aprecia que la eficiencia es $\eta = 0.24$ para una frecuencia de 2.4 GHz,

de esta forma se puede comprobar que los valores calculados y mostrados por el simulador son iguales.

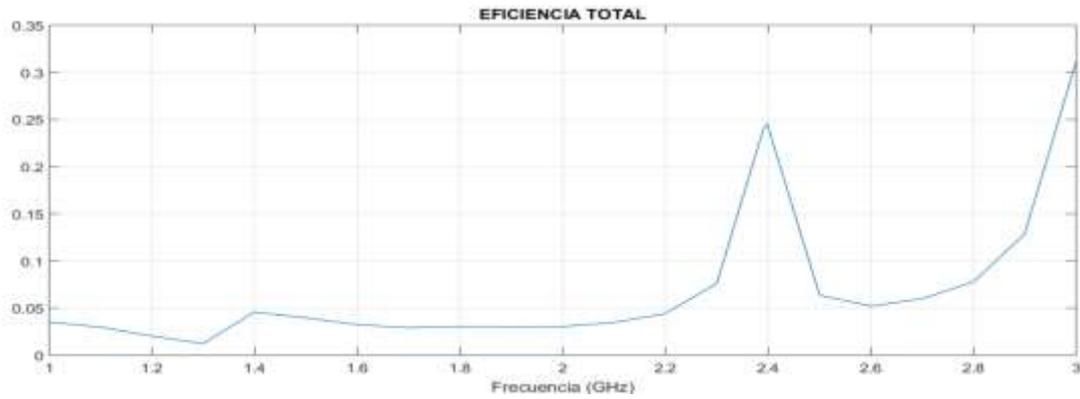


Figura 18. Eficiencia de la antena propuesta en la V.I.

Fuente: Autor

Por otro lado, los campos eléctricos, campos magnéticos y las corrientes superficiales se muestran en la Figura 19 y Figura 20. A través de la distribución de las corrientes totales se puede describir que la estructura resuena cuando la longitud más larga entre el punto de alimentación y el parche circular es aproximadamente 3λ a la frecuencia de resonancia.

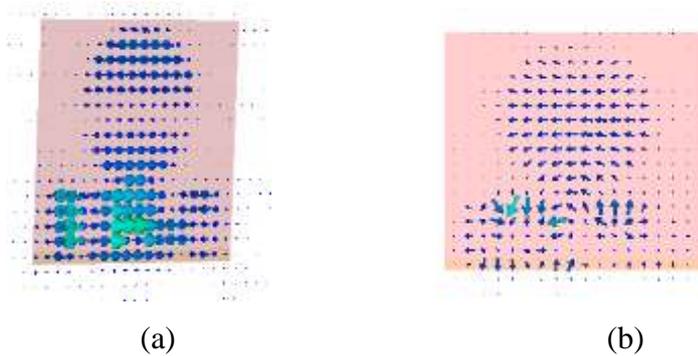


Figura 19. Representación de los campos. (a) Eléctrico y, (b) Magnético.

Fuente: Autor

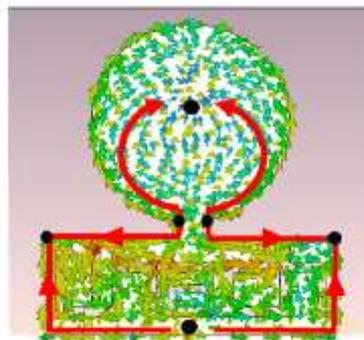


Figura 20. Corrientes totales mostrados en la superficie de la antena.

Fuente: Autor

Luego de haber realizado el análisis de la antena de forma aislada, en la parte posterior de la antena se han colocado múltiples capas que representan la piel, la grasa y músculo. Cada una de estas capas tienen una permitividad dieléctrica específica para la frecuencia de diseño (2.4GHz). Los valores de las propiedades dieléctricas del tejido de la piel y el músculo se obtienen a partir de los estudios realizados por la fundación para la investigación sobre las tecnologías de la información (“Foundation for Research on Information Technologies”). Por lo tanto, los valores de los materiales que se utilizarán son: 5.28, 1.08 y 3.81 tal como se observa en la Figura 21.

Tissue	Source	Permittivity	Elec. Cond. (S/m)
Skin	Skin (Dry)	3.81E+1	1.44E+0
Muscle	Muscles	5.28E+1	1.71E+0
SAT (Subcutaneous Fat)	Fat (Average Infiltrated)	1.08E+1	2.61E-1

Figura 21. Calculadora de las propiedades dieléctricas

Fuente: (Technologies, 1996)

La configuración de las capas que representan la piel, la grasa y el músculo se muestra en la Figura 22. Acorde al documento (Casula, 2018) las alturas utilizadas para cada una de las capas son: $h_1=1.5\text{mm}$, $h_2=20\text{mm}$, $h_3=30\text{mm}$.

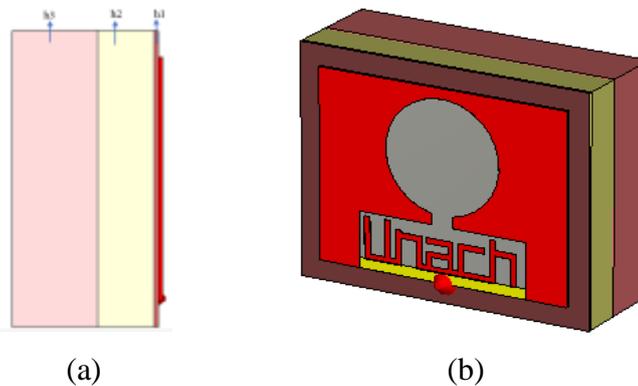


Figura 22. Configuración de las capas que representan la piel, la grasa y el músculo (a) Vista lateral y, (b) Vista en 3D

Fuente: Autor

A continuación, se presenta el análisis de la antena diseñada sobre seda bajo la presencia del cuerpo humano. En la Figura 23, tal como en el caso de la antena sin presencia del cuerpo humano, el coeficiente de reflexión presenta un acoplamiento a una frecuencia de 2.398 GHz, manteniendo el ancho de banda estrecho.

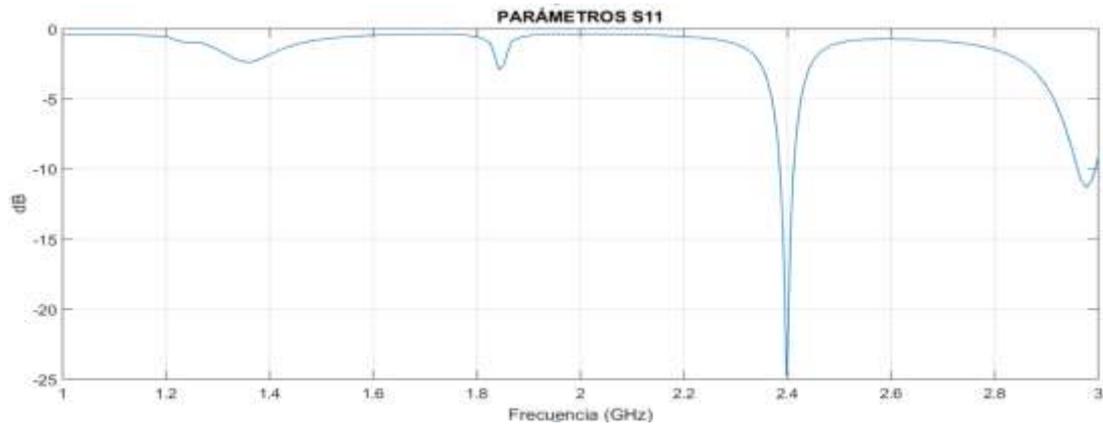


Figura 23. Coeficiente de reflexión de la antena simulada en seda con presencia del cuerpo humano
Fuente: Autor

La presentación de la Figura 24 en su parte real y parte imaginaria describe un comportamiento similar al que se obtuvo con la antena de forma aislada, por lo tanto, como la frecuencia de interés es a 2.4 GHz se considera los valores que se obtuvieron en ese punto teniendo un acoplamiento a 49.5Ω con una resonancia a $5.64j \Omega$.

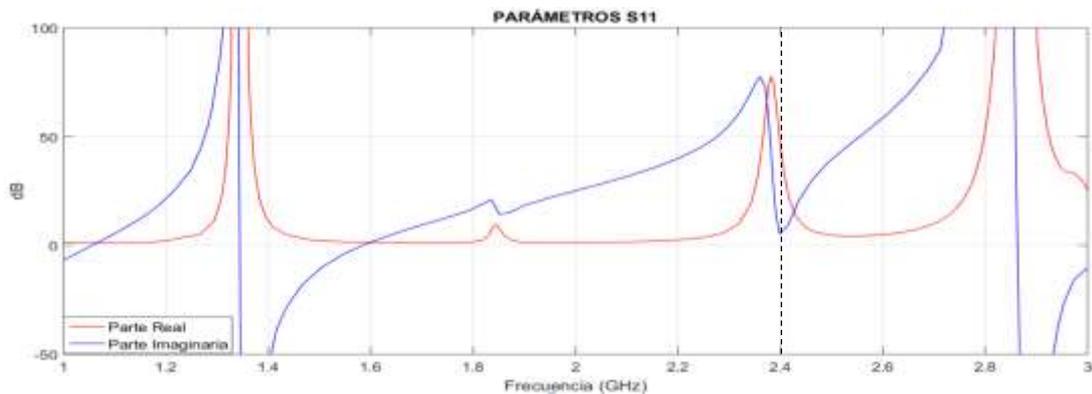


Figura 24. Parte real de la impedancia en la antena propuesta V.1. con presencia del cuerpo humano
Fuente: Autor

El diagrama de radiación bajo la presencia del cuerpo humano trabajando a una frecuencia de 2.4 GHz, muestra como resultado un diagrama unidireccional normal a la estructura, tal como se ve en la Figura 25.

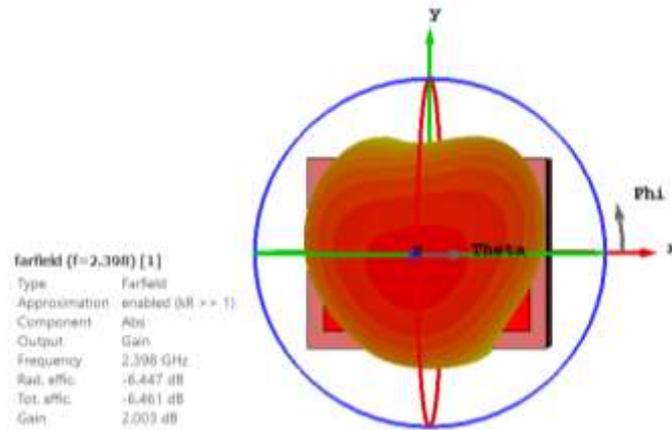


Figura 25. Diagrama de radiación 3D, vista frontal de la antena propuesta V.I. en presencia del cuerpo humano.

Fuente: Autor

Así mismo para la ganancia y directividad se toma los valores obtenidos del diagrama en coordenadas polares, teniendo valores para la ganancia de 2.02 dB y para la directividad es 8.47 dBi, en una frecuencia de 2.4 GHz. Tal como se observa en la Figura 26.

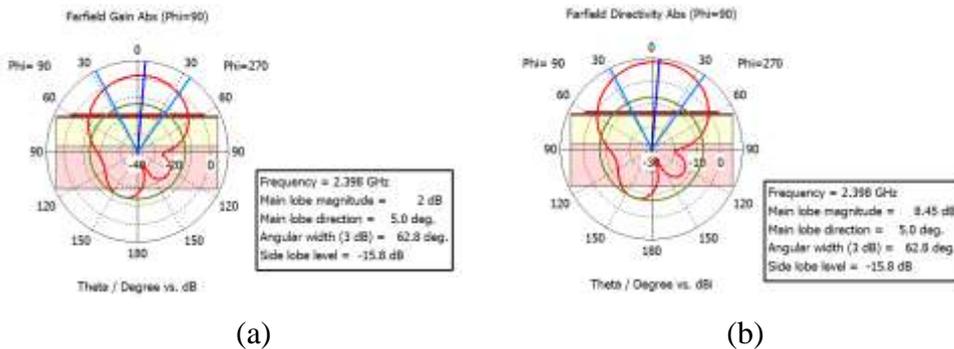


Figura 26. Representación de los diagramas de radiación en coordenadas polares a 2.4GHz. (a) Ganancia y, (b) Directividad.

Fuente: Autor

Por otra parte, para hallar la eficiencia se toma los valores anteriormente encontrados de la ganancia y directividad como se expresa en la ecuación (6). A su vez en la Figura 27, se verifica los resultados obtenidos con el simulador en CST, donde se muestra una eficiencia de $\eta = 0.226$ para una frecuencia de trabajo a 2.4 GHz.

$$\eta = \frac{G}{D} = \frac{1.58}{6.99} = 0.226 \quad (6)$$

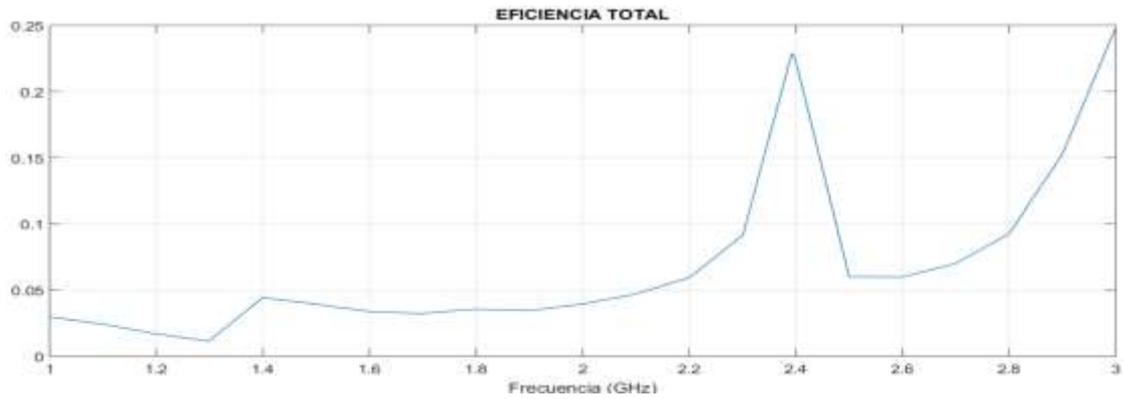


Figura 27. Eficiencia de la antena propuesta en la V.I. con parámetros del cuerpo humano

Fuente: Autor

Las corrientes obtenidas en presencia del cuerpo humano presentan la distancia máxima por donde circula las corrientes desde el punto de alimentación hasta el centro del parche circular, formando la resonancia en la cual se encuentra trabajando la antena, así como se visualiza en la Figura 28.

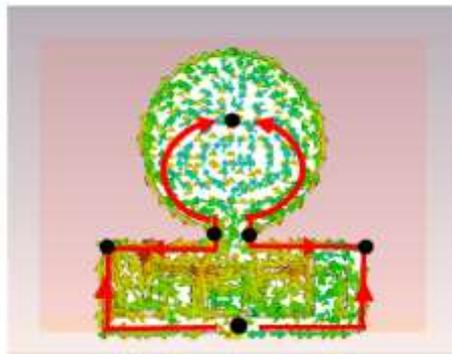


Figura 28. Corrientes totales mostrados en la superficie de la antena.

Fuente: Autor

Se puede apreciar en la Figura 29, la comparación de la antena de forma aislada y la antena en presencia del cuerpo humano. Demostrando que la antena en presencia del cuerpo humano no muestra variación ya que las antenas microstrip funcionan con respecto al plano de masa, lo cual no afecta el funcionamiento de la misma. Por lo tanto, las dos antenas se encuentran trabajando a una frecuencia de 2.4 GHz conservando su ancho de banda estrecho.

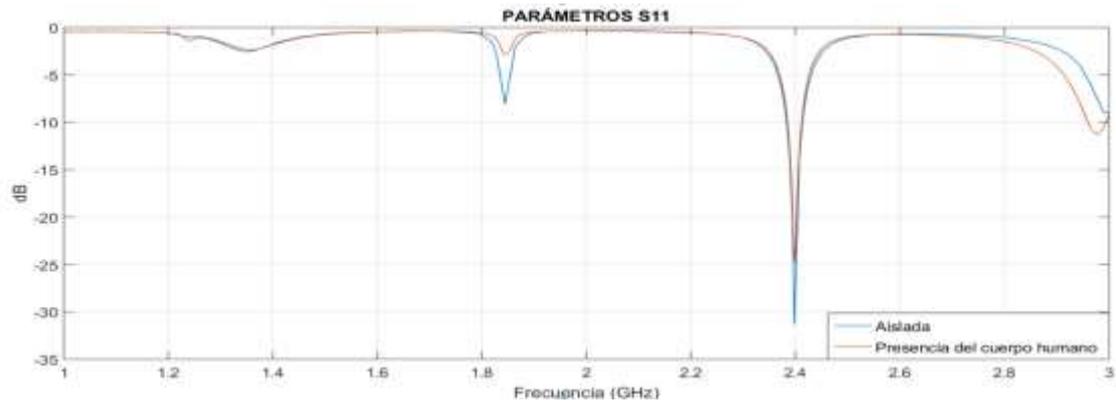


Figura 29. Gráfico comparativo de la antena simulada de forma aislada y la antena simulada en presencia del cuerpo humano.

Fuente: Autor

4.2. ANÁLISIS DE ANTENA DISEÑADA SOBRE FIELTRO (VERSIÓN 2)

El segundo prototipo ha sido diseñado y analizado por medio de un simulador electromagnético, se requiere un material dieléctrico (fieltro) con las siguientes propiedades: $\epsilon_r = 1.22$ y una altura de $h = 1.4$ mm. En la Figura 30 se visualiza el coeficiente de reflexión de la antena de forma aislada que forma múltiples resonancias debido a las características propias del material implementado. Con esto se obtiene un rango de frecuencias que varía desde 2.49 GHz hasta 2.54 GHz.

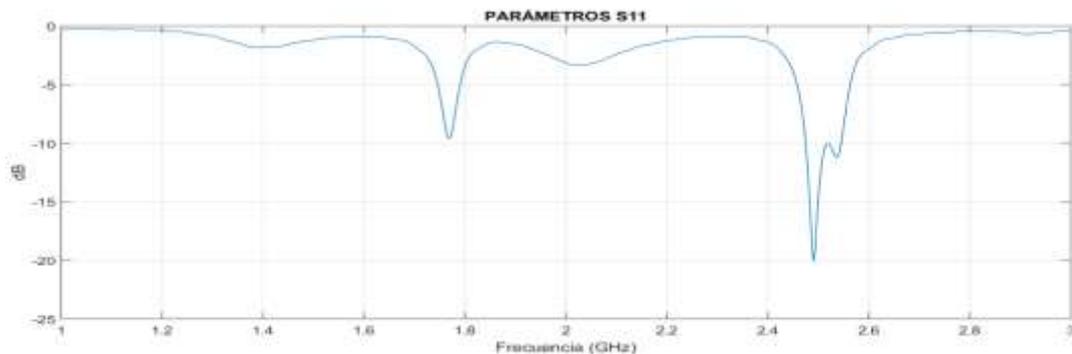


Figura 30. Coeficiente de reflexión de la antena simulada en fieltro

Fuente: Autor

En la Figura 31 se describe el comportamiento de la impedancia, se muestra que para una frecuencia de 2.49 GHz se obtiene en el componente real un acoplamiento a 50Ω y en el componente imaginario un valor de $-9.7j \Omega$, mientras que para una frecuencia de 2.54 GHz se tiene un valor de 28Ω en el componente real y $3.17j \Omega$ en el componente imaginario.

De los valores obtenidos se concluye que la antena presenta un mayor margen de trabajo a una frecuencia de 2.49GHz, resultado del acoplamiento de la impedancia que presenta dicha frecuencia.

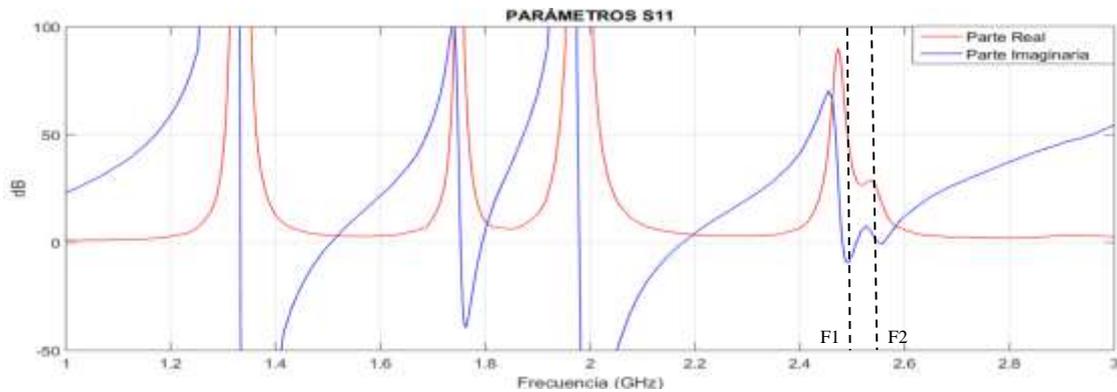


Figura 31. Parte real de la impedancia en la antena propuesta V.2.

Fuente: Autor

El diagrama de radiación presentó un comportamiento similar a la antena cuyo material de uso fue la seda, conservando un comportamiento unidireccional con dirección al exterior de la antena para las frecuencias de 2.49GHz y 2.54GHz. Como se observa en la Figura 32.

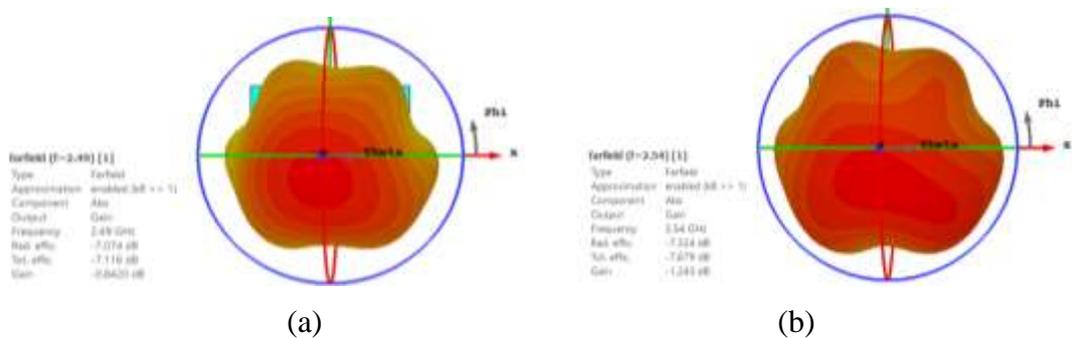


Figura 32. Diagrama de radiación 3D, vista frontal de la antena propuesta V.2. a una frecuencia de (a) 2.49GHz, (b) 2.54GHz.

Fuente: Autor

A partir del diagrama de radiación, podemos obtener la ganancia y directividad de la antena. En la Figura 33 y Figura 34 se visualiza un contraste de tamaño de sus lóbulos, consiguiendo una ganancia de -1.73 dB y una directividad de 5.35 dBi para una frecuencia de 2.49GHz y a su vez un valor de ganancia de -2.51dB y 4.82dBi para su directividad a una frecuencia de 2.54GHz.

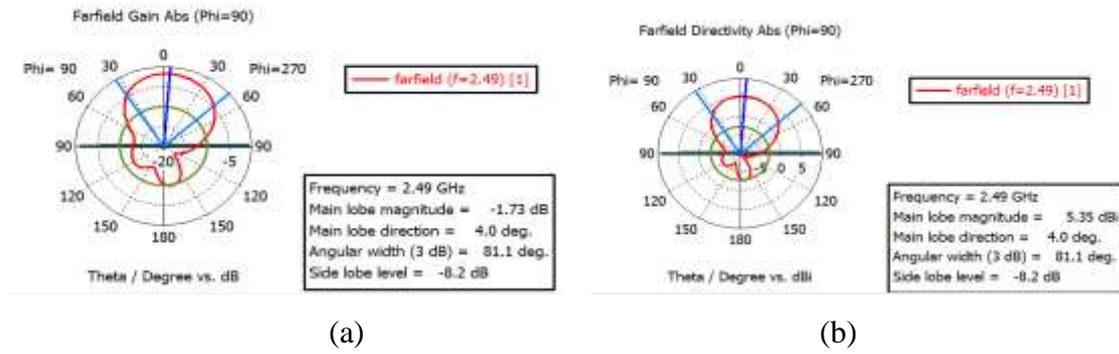


Figura 33. Representación de los diagramas de radiación en coordenadas polares a 2.49GHz. (a) Ganancia y, (b) Directividad.

Fuente: Autor

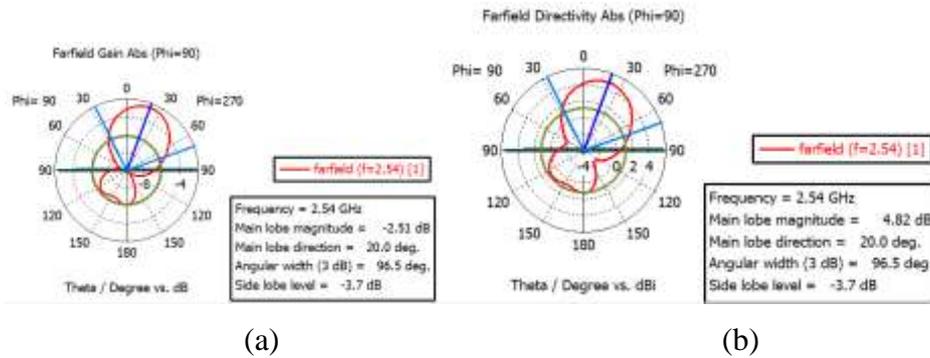


Figura 34. Representación de los diagramas de radiación en coordenadas polares a 2.54GHz. (a) Ganancia y, (b) Directividad.

Fuente: Autor

Al ver la Figura 35, se identifica la eficiencia en los puntos resonantes de la antena obtenidos anteriormente, alcanzando como resultados el valor de $\eta = 0.19$ para la frecuencia 2.49 GHz y subsecuentemente para la frecuencia de 2.54 GHz una eficiencia de $\eta = 0.18$. Estos datos también se pueden obtener mediante procesos matemáticos a través de la ecuación (7) y ecuación (8).

$$\eta = \frac{G}{D} = \frac{0.67}{3.42} = 0.19 \quad (7)$$

$$\eta = \frac{G}{D} = \frac{0.57}{3.06} = 0.18 \quad (8)$$

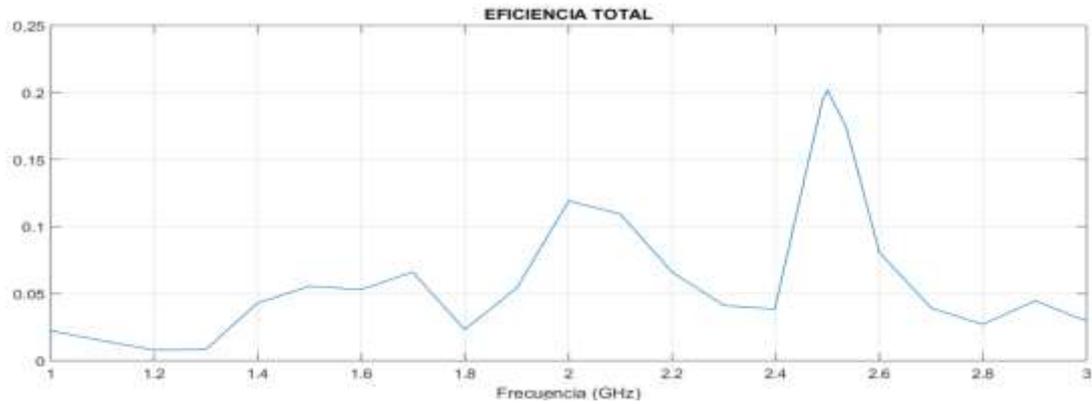


Figura 35. Eficiencia de la antena propuesta en la V.2.

Fuente: Autor

Los campos magnéticos, campos eléctricos y corrientes se mueven en diferentes direcciones hasta alcanzar la trayectoria que comprende desde la parte inferior del parche rectangular hasta la parte superior del parche circular tal y como se demuestra en la Figura 36.

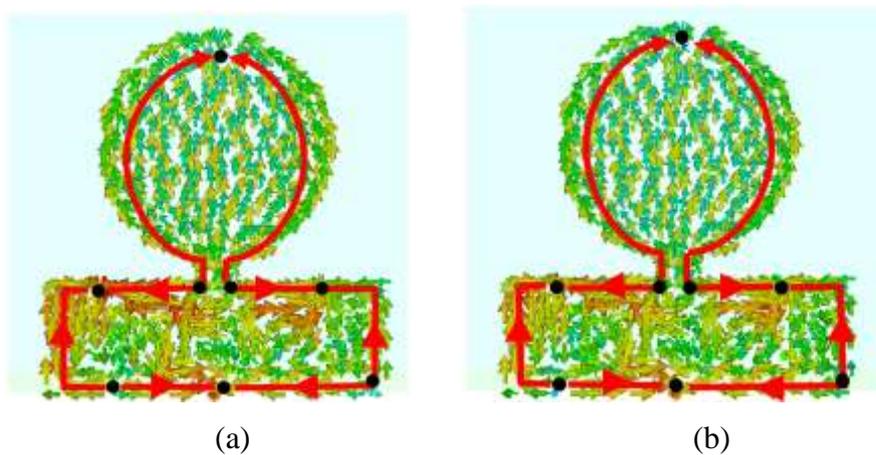


Figura 36. Corrientes totales mostrados en la superficie de la antena a 2.49GHz y 2.54GHz.

Fuente: Autor

Para comprobar el funcionamiento de la antena diseñada sobre fieltro, la antena ha sido caracterizada con el dispositivo miniVNA Tiny. Se logra observar en la Figura 37, de forma comparativa los parámetros S_{11} de la antena simulada y la antena medida de forma aislada. Se corrobora que la antena implementada con respecto a la antena simulada tiene un mayor rango de frecuencias debido al tipo de material y método de fabricación utilizado. La antena implementada se encuentra trabajando en un rango de frecuencias de 1.9 Ghz a 2.7Ghz.

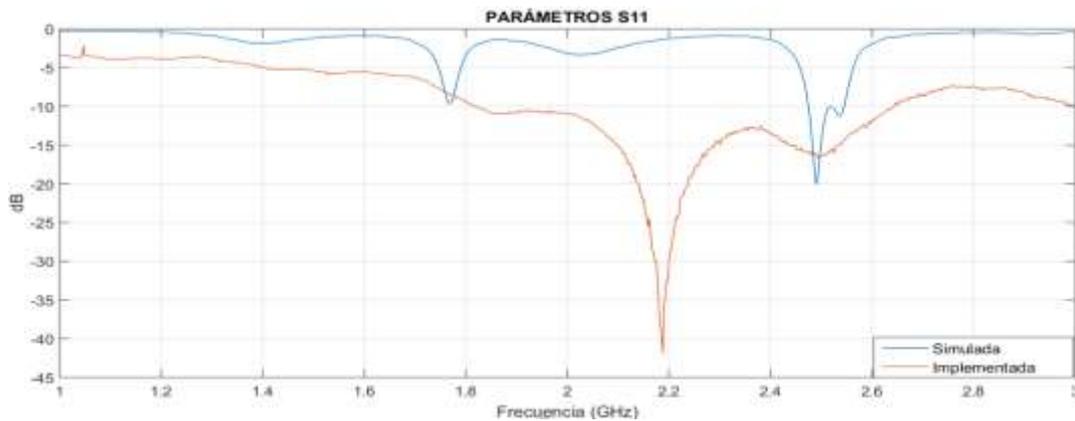


Figura 37. Gráfico comparativo de la antena de forma aislada simulada y la antena de forma aislada implementada

Fuente: Autor

Para la antena en presencia del cuerpo humano se añadió múltiples capas que simulan la piel, grasa y músculo, con un valor único de permitividad dieléctrica para cada ítem mencionado. Estos valores se obtienen de la investigación descrita en (Technologie, 2010), los valores utilizados son respectivamente 3.80, 5.27 y 1.08 tal como se observa en la Figura 38. La configuración de las capas es la misma que se observa en la Figura 22.

Tissue	Source	Permittivity	Elec. Cond. (S/m)
Skin	Skin (Dry)	3.80E+1	1.48E+0
Muscle	Muscles	5.27E+1	1.76E+0
SAT (Subcutaneous Fat)	Fat (Average Infiltrated)	1.08E+1	2.72E-1

Figura 38. Calculadora de las propiedades dieléctricas

Fuente: (Technologie, 1996)

Al igual que la antena de forma aislada, el coeficiente de reflexión presenta múltiples resonancias en un rango de frecuencias entre los valores de 2.484 GHz a 2.536 GHz. Tal como se observa en la Figura 39.

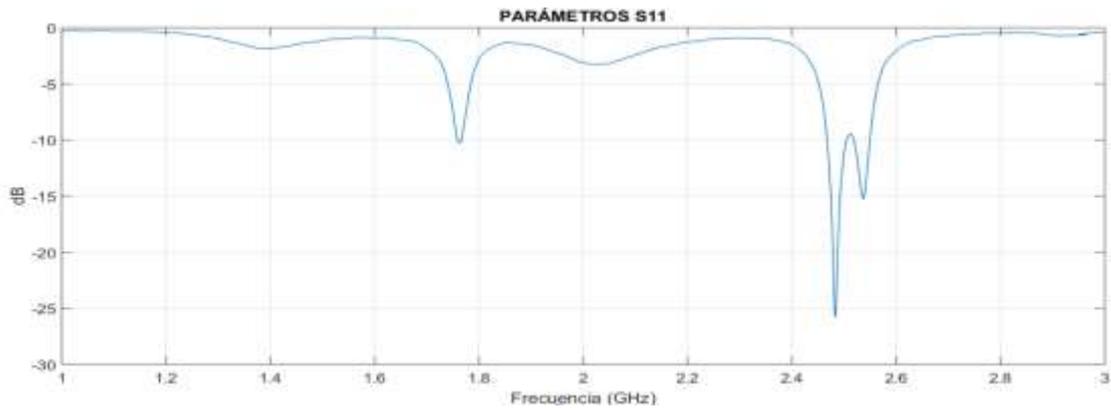


Figura 39. Coeficiente de reflexión de la antena simulada en fieltro en presencia del cuerpo humano

Fuente: Autor

La impedancia presente en este caso se asemeja al procedimiento de obtención de valores de la antena de forma aislada recopilando la información presente en la Figura 40, se logra extraer los valores de 50Ω para el componente real y el valor de $-4.5j \Omega$ para su contraparte imaginaria pertenecientes a la frecuencia de 2.48GHz. Análogamente para la frecuencia de 2.536 GHz se estima mediante la gráfica que los valores pertenecientes a la impedancia son de 36Ω para su componente real y $5.936j \Omega$ para su componente imaginaria. Estableciendo que la frecuencia óptima para el funcionamiento de la antena es a 2.48 GHz.

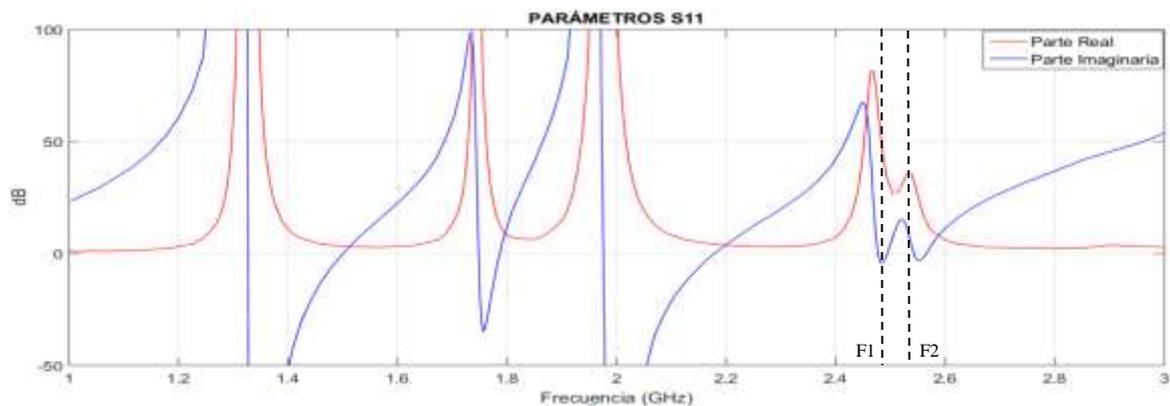


Figura 40. Parte real de la impedancia en la antena propuesta V.2, en presencia del cuerpo humano

Fuente: Autor

De la misma manera que en los casos anteriores, el diagrama de radiación tridimensional en presencia del cuerpo humano cumple con las mismas características de funcionamiento al tener una radiación unidireccional en sentido frontal a la antena, demostrado en la

Figura 41.

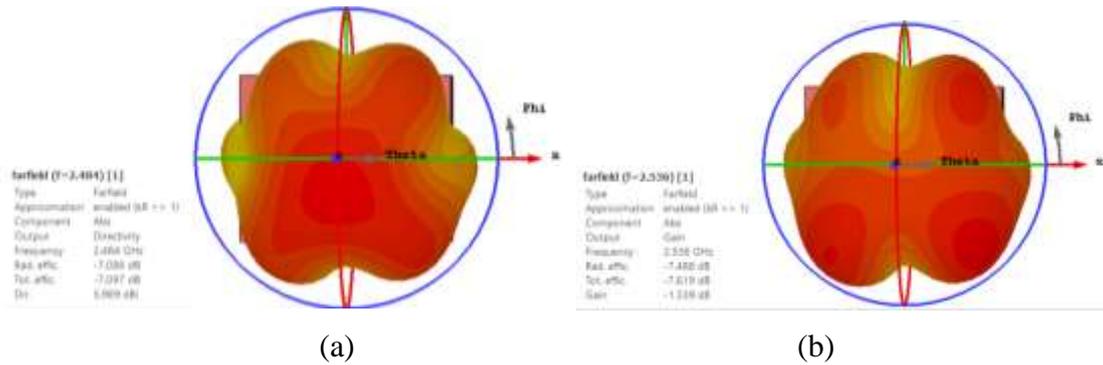


Figura 41. Diagrama de radiación 3D, vista frontal de la antena propuesta V.2. a una frecuencia de (a) 2.484GHz, (b) 2.536GHz.

Fuente: Autor

Para la antena analizada sobre capas del cuerpo humano a la frecuencia de 2.484 GHz, se obtiene un lóbulo principal que refleja un valor de ganancia de -1.44 dB, de la misma forma para la directividad su lóbulo principal refleja un valor de 5.65 dBi, tal y como se aprecia en la Figura 42. Además, se tiene un valor de -2.43dB para la ganancia a la frecuencia de 2.536 GHz y una directividad de 5.06 dBi tal como se detalla en la Figura 43.

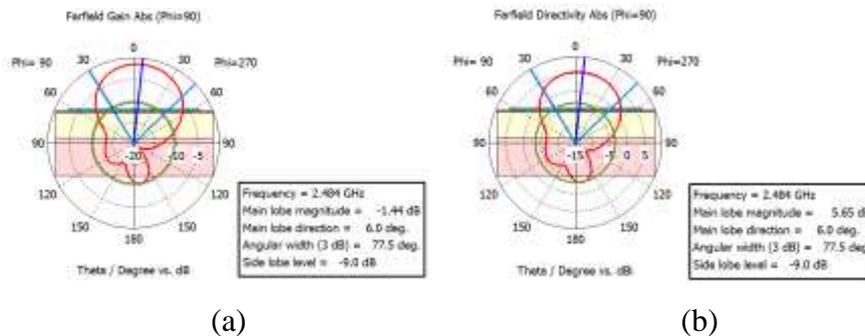


Figura 42. Representación de los diagramas de radiación en coordenadas polares a 2.484GHz. (a) Ganancia y, (b) Directividad.

Fuente: Autor

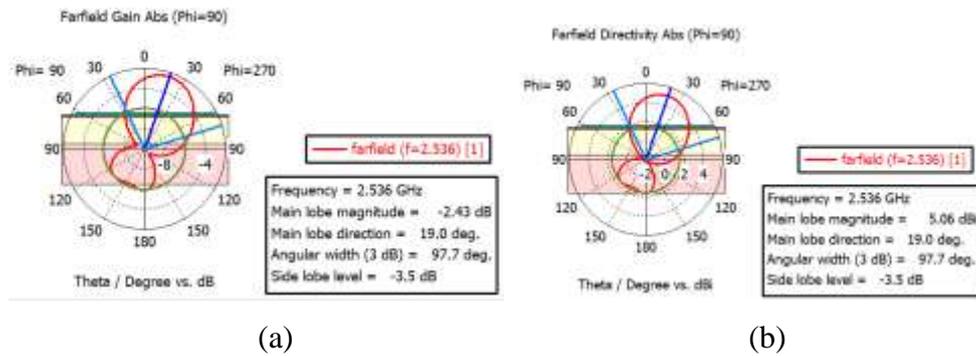


Figura 43. Representación de los diagramas de radiación en coordenadas polares a 2.536GHz. (a) Ganancia y, (b) Directividad.

Fuente: Autor

Por otra parte, para verificar los valores obtenidos de la eficiencia se realizaron dos pruebas de comprobación de resultados. La primera, obteniendo los valores generados por el simulador a la frecuencia de 2.484 GHz con una eficiencia de $\eta=0.19$, y para una frecuencia de 2.536 GHz una eficiencia de $\eta = 0.17$ tal y como se muestra en la Figura 44. Subsecuentemente la segunda prueba se realizó por medio de la ecuación de la eficiencia tal como se expresa en la ecuación (9) y ecuación (10).

$$\eta = \frac{G}{D} = \frac{0.71}{3.67} = 0.19 \quad (9)$$

$$\eta = \frac{G}{D} = \frac{0.56}{3.18} = 0.17 \quad (10)$$

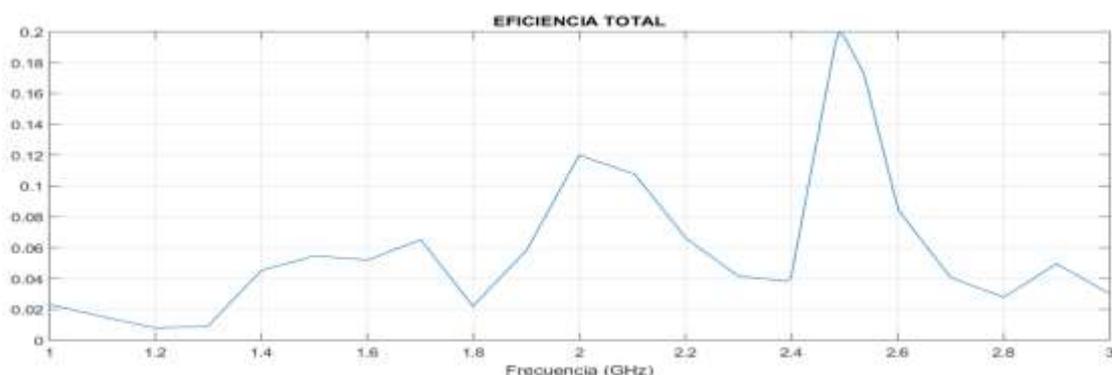


Figura 44. Eficiencia de la antena propuesta en la V.2.

Fuente: Autor

De forma indispensable también se considera la distribución de las corrientes para el funcionamiento de la antena. Las distancias entre los cambios de direcciones se determinan por cuatro pares de longitudes, dichas longitudes mencionadas forman la

frecuencia resonante de antena, como se ve en la Figura 45.

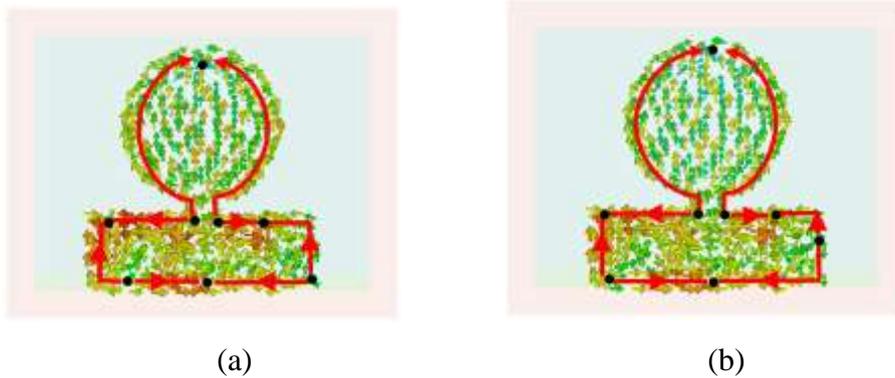


Figura 45. Corrientes totales mostrados en la superficie de la antena a 2.484GHz y 2.536GHz.

Fuente: Autor

Finalmente se presenta un gráfico comparativo de los coeficientes de reflexión de la antena simulada y la antena implementada en presencia del cuerpo humano, como se ve en la Figura 46. El funcionamiento de la antena implementada ha sido comprobado por medio del analizador de redes vectoriales, donde se puede evidenciar que la antena presenta múltiples resonancias con un ancho de banda más amplio que la antena simulada. La antena implementada se encuentra trabajando en un rango de frecuencias de 1.85GHz a 2.68GHz.

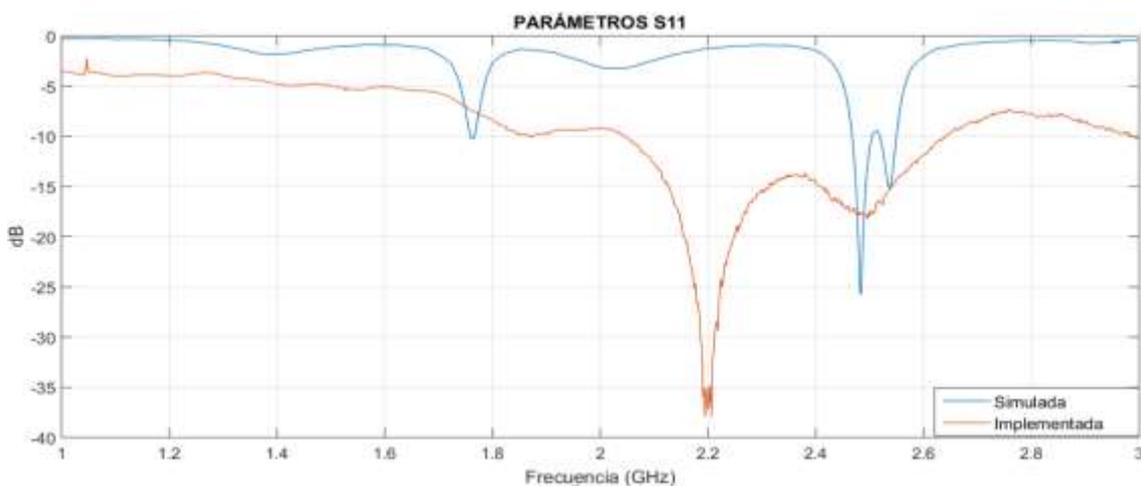


Figura 46. Gráfico comparativo de la antena simulada y la antena implementada en presencia del cuerpo humano

Fuente: Autor

4.3.FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA PARA MONITOREO DE FRECUENCIA CARDÍACA Y TEMPERATURA

Una vez acoplada la antena textil al sistema de comunicaciones se procedió a comprobar el monitoreo de las señales y la visualización de los datos en la nube. En la Figura 47, se aprecia el diseño de una faja que consta de diferentes divisiones, obteniendo así la facilidad de montar y desmontar el sistema de comunicación y la antena.



Figura 47. Montaje de los sistemas.

Fuente: Autor

La recolección de muestras fue tomada por medio de sensores (frecuencia cardíaca y temperatura) colocados en el cuerpo de las personas, los datos recolectados a su vez fueron transmitidos hacia la nube en la plataforma FireBase, mismos que son visualizados y almacenados, tal como se muestra en la Figura 48.



Figura 48. Visualización de los datos. (a) Configuración, (b) Almacenamiento de datos frecuencia cardíaca, y (c) Almacenamiento de datos temperatura corporal.

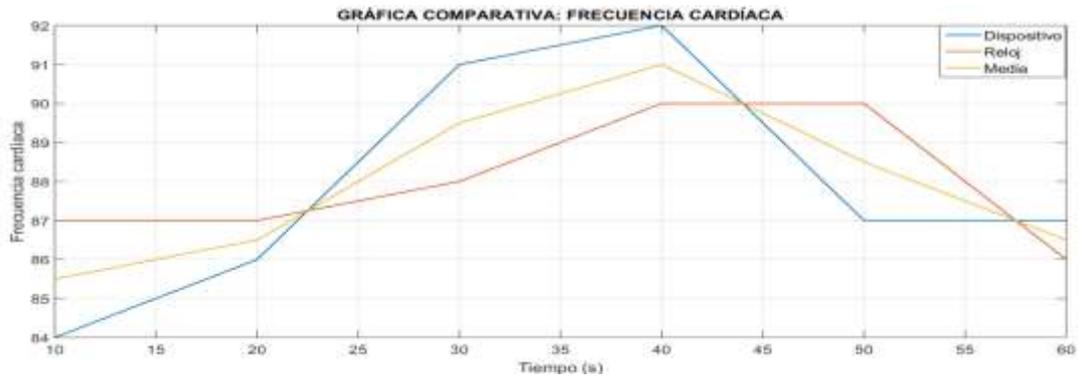
Fuente: Autor

El monitoreo de la frecuencia cardíaca y temperatura se realizó en 5 personas en un lapso de 60 segundos. Para contrastar las variables de temperatura y frecuencia cardíaca se ha utilizado un reloj inteligente, un termómetro digital y el dispositivo propuesto. Los datos recolectados se tomaron en distintos casos tal como se observa a continuación:

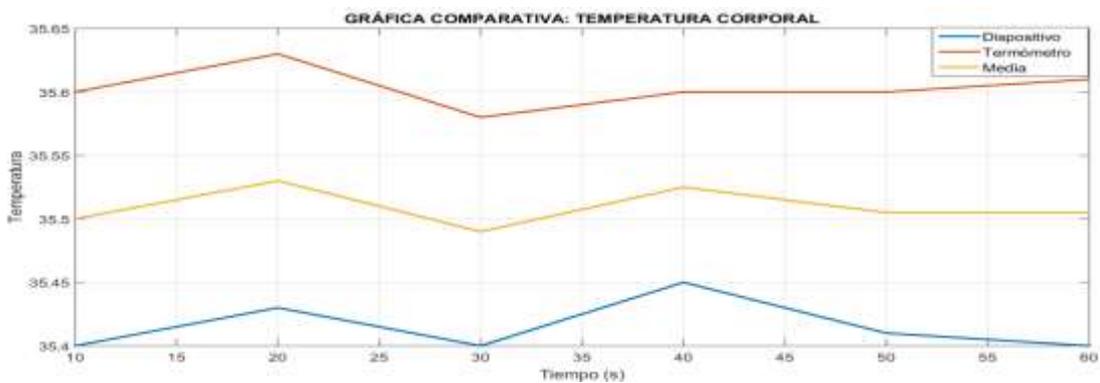
Primer caso

En la Figura 49 (a), se puede observar la gráfica comparativa de la frecuencia cardíaca cuando la persona estuvo en un estado de reposo (sentada). Los datos fueron graficados cada 10 segundos, obteniendo una frecuencia cardíaca de 84 Hz como primer dato para el dispositivo de monitoreo, mientras pasa el tiempo va variando la frecuencia hasta marcar el primer minuto que tiene una frecuencia cardíaca de 87 Hz, de igual manera con el reloj inteligente se puede evidenciar que la frecuencia cardíaca empieza en 87 Hz hasta llegar al primer minuto que se encuentra en 86 Hz.

Del mismo modo se realizó para la temperatura corporal, donde se puede observar que la temperatura tiene pequeñas variaciones conforme pasa el tiempo, tal como se ve en la Figura 49 (b).



(a)



(b)

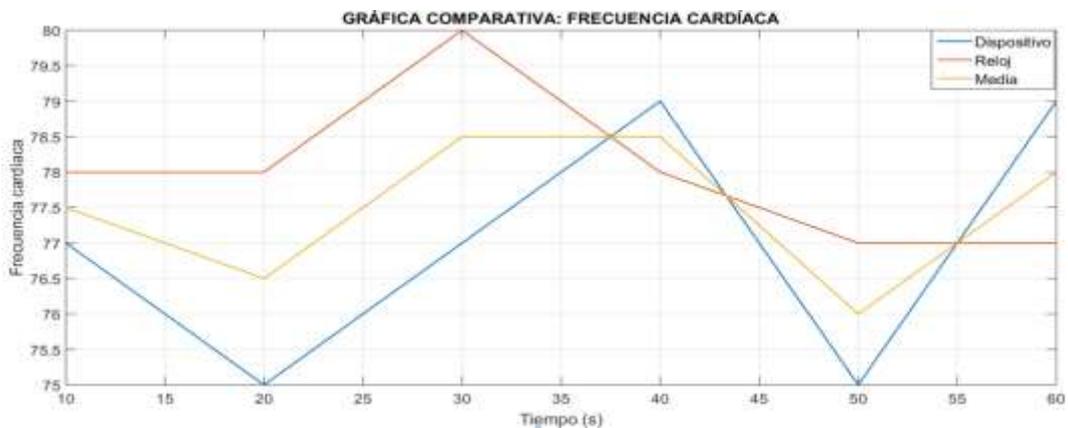
Figura 49. Gráfica comparativa para el primer caso. (a) Frecuencia cardíaca entre el dispositivo de monitoreo versus un reloj inteligente, y (b) Temperatura corporal entre el

dispositivo de monitoreo versus un termómetro.

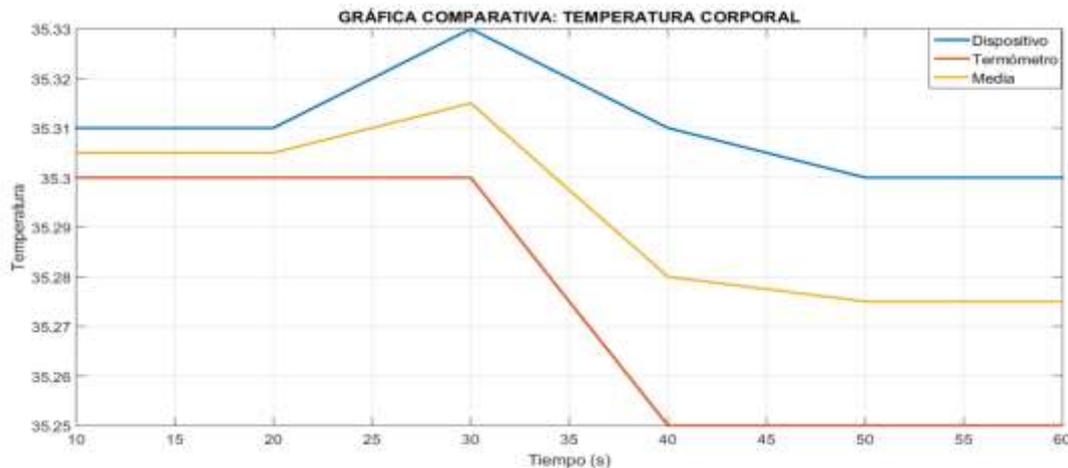
Fuente: Autor

Segundo caso

En el segundo caso se realiza la recolección de datos cuando la persona se encuentra en un estado de inactividad (parado). Como se observa en la Figura 50 (a), la frecuencia cardíaca varía conforme va pasando el tiempo en un rango de 75 Hz a 80 Hz. De la misma manera sucede con la temperatura corporal ya que las variaciones que poseen no sobrepasan el 1°C, tal como se muestra en la Figura 50 (b).



(a)



(b)

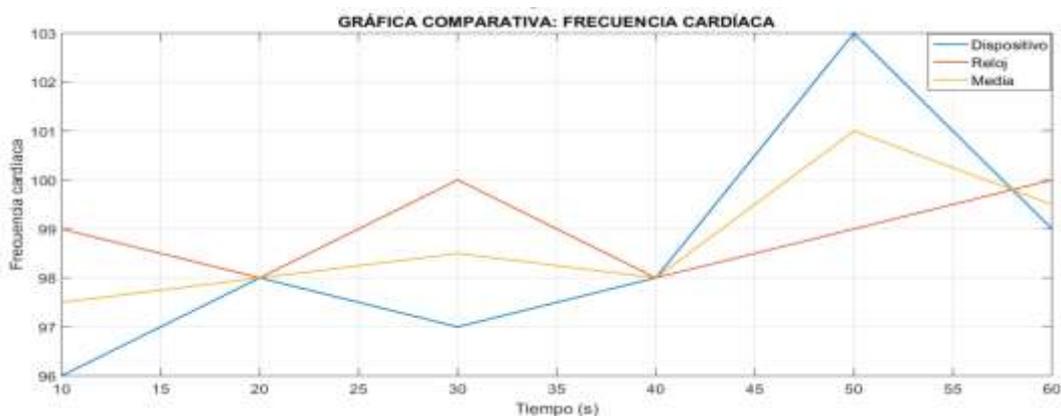
Figura 50. Gráfica comparativa para el segundo caso. (a) Frecuencia cardíaca entre el dispositivo de monitoreo versus un reloj inteligente, y (b) Temperatura corporal entre el dispositivo de monitoreo versus un termómetro.

Fuente: Autor

Tercer caso

Se muestra en la Figura 51 (a), la comparación de datos de la frecuencia cardíaca entre el dispositivo de monitoreo y un reloj inteligente, se realizó la toma de datos cuando la persona se encuentra caminando. De acuerdo con la descripción anteriormente mencionada se observa que los datos del dispositivo de monitoreo y del reloj inteligente varían dependiendo de la actividad que va realizando la persona.

Para la temperatura corporal se realizó en el mismo escenario que la frecuencia cardíaca, existiendo poca variación, por lo que se puede concluir que el dispositivo de monitoreo trabaja en óptimas condiciones, como se observa en la Figura 51 (b).



(a)



(b)

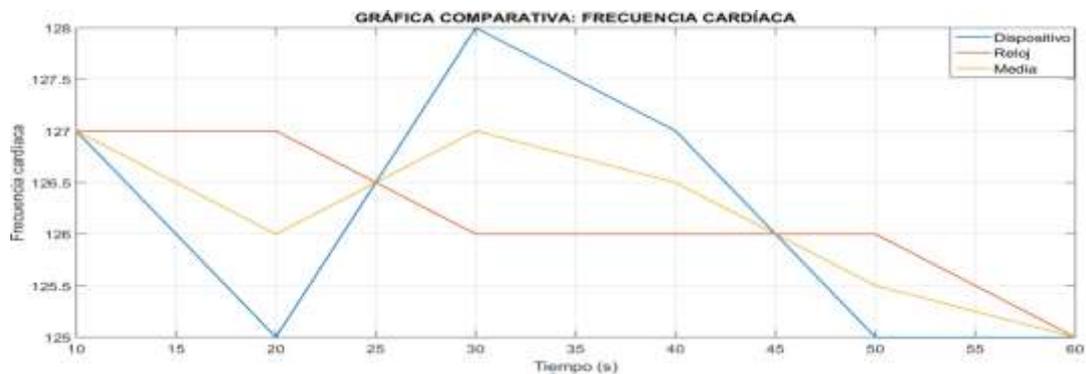
Figura 51. Gráfica comparativa para el tercer caso. (a) Frecuencia cardíaca entre el dispositivo de monitoreo versus un reloj inteligente, y (b) Temperatura corporal entre el dispositivo de monitoreo versus un termómetro.

Fuente: Autor

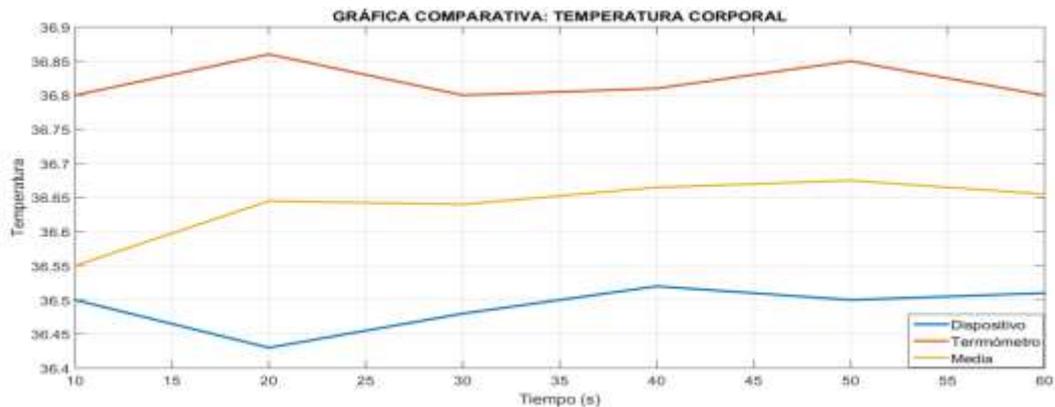
Cuarto caso

En la Figura 52 (a), se presenta los datos recolectados de la frecuencia cardíaca cuando una persona terminó de caminar. Se observa que los datos obtenidos del dispositivo de monitoreo empiezan en una frecuencia cardíaca de 127 Hz y mientras pasa el tiempo varía la frecuencia hasta llegar al primer minuto donde baja la frecuencia cardíaca a 125 Hz, de la misma manera sucede con el reloj la frecuencia cardíaca empieza en 127 Hz hasta llegar al primer minuto que se encuentra en 125 Hz.

En la Figura 52 (b), se observa la gráfica de la temperatura tomada mediante un termómetro y se observa que la temperatura varía a un valor de 36.8°C , mientras que con el dispositivo de monitoreo la temperatura varía a un valor de 36.5°C.



(a)



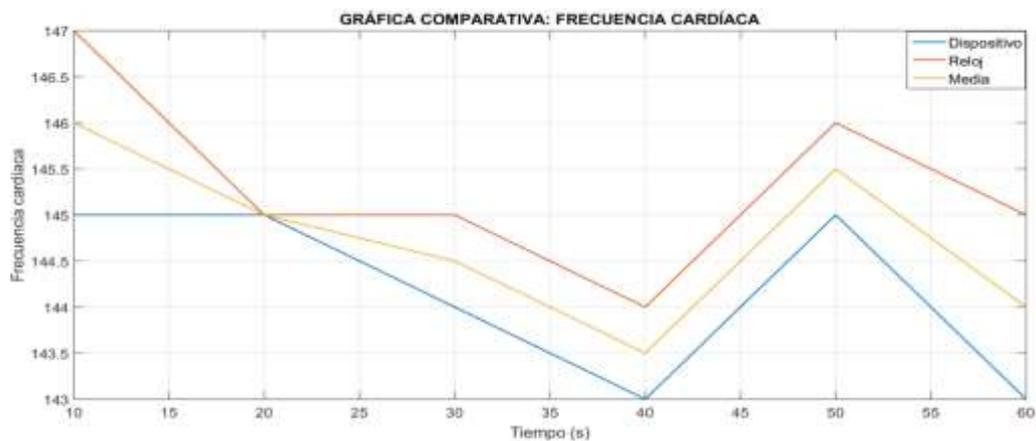
(b)

Figura 52. Gráfica comparativa para el cuarto caso. (a) Frecuencia cardíaca entre el dispositivo de monitoreo versus un reloj inteligente, y (b) Temperatura corporal entre el dispositivo de monitoreo versus un termómetro.

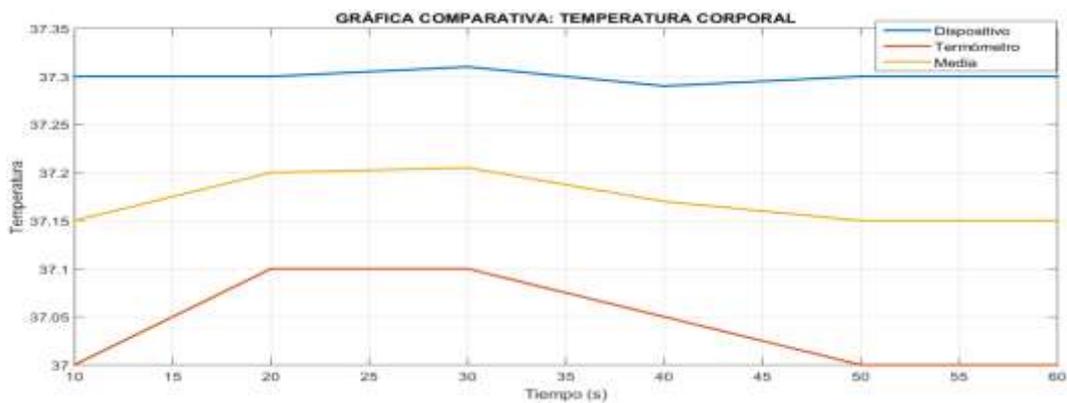
Quinto caso

La toma de datos se adquirió cuando la persona terminó de realizar su actividad física. En la Figura 53 (a), se evidencia que los datos de la frecuencia cardíaca van bajando conforme pasa el tiempo, sucediendo el mismo comportamiento para el dispositivo de monitoreo y el reloj inteligente.

De igual forma en la Figura 53 (b), se muestra la gráfica comparativa de la temperatura corporal entre el dispositivo de monitoreo y un termómetro, obteniendo valores mínimos de variación en lo que concierne dentro de la gráfica.



(a)



(b)

Figura 53. Gráfica comparativa para el quinto caso. (a) Frecuencia cardíaca entre el dispositivo de monitoreo versus un reloj inteligente, y (b) Temperatura corporal entre el dispositivo de monitoreo versus un termómetro.

Fuente: Autor

Prueba de hipótesis

Se procede a crear una base de datos usando el programa IBM SPSS STATISTICS con 168 datos escogidos aleatoriamente por medio del programa (alazar). Para hallar la prueba

de hipótesis se toma en cuenta los siguientes datos:

Datos:

$H_0: \mu_d = \mu_r$ el promedio de la frecuencia de la población tomada por el dispositivo es igual al promedio de frecuencia de la población tomadas por el reloj.

$n_D = 168$ $n_R = 168$

$\alpha = 0.05$

Distribución de probabilidad usada: t-student, descrita en (Sánchez Turcios, 2015).

Según la Figura 54, el valor de la significación bilateral es igual a 0.968 y este es mayor que 0.05 entonces no se rechaza H_0 , es decir que el promedio de frecuencia hallado con el dispositivo es significativamente igual al promedio que el reloj.

Prueba de muestras independientes										
		Prueba de Levene de igualdad de varianzas				prueba t para la igualdad de medias				
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
									Inferior	Superior
FRECUENCIA CARDIACA	Se asumen varianzas iguales	.436	.509	.040	334	.968	.11310	2.79433	-5.38361	5.60980
	No se asumen varianzas iguales			.040	333,813	.968	.11310	2.79433	-5.38362	5.60981

Figura 54. Tabla de la frecuencia cardíaca para el valor bilateral.

Fuente: Autor

Observando la Figura 55, se puede verificar que los valores obtenidos de la media, desviación estándar y error promedio son similares entre el dispositivo de monitoreo y el reloj inteligente.

Estadísticas de grupo						
		TIPO DE MONITOREO	N	Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio
FRECUENCIA CARDIACA	Dispositivo		168	107,9405	25,91204	1,99916
	Reloj		168	107,8274	25,30532	1,95235

Figura 55. Tabla de estadísticas de la Media, Desviación estándar y Error promedio.

Fuente: Autor

Como se ve en la Figura 56, en el coeficiente de correlación de Pearson cuadrado existe una fuerte correlación entre las variables de estudio, es decir la variable frecuencia cardíaca con el dispositivo y la variable frecuencia cardíaca con el reloj indicándose que el comportamiento es significativamente similar.

Correlaciones

		FRECUENCIA A CARDIACA	TIPO DE MONITOREO
FRECUENCIA CARDIACA	Correlación de Pearson	1	,985**
	Sig. (bilateral)		,000
	N	168	168
TIPO DE MONITOREO	Correlación de Pearson	,985**	1
	Sig. (bilateral)	,000	
	N	168	168

** La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

Figura 56. Tabla correlación de la frecuencia cardíaca entre el dispositivo de monitoreo y el reloj inteligente.

Fuente: Autor

Además, en la Figura 57 se muestra el diagrama de caja el cual indica que la dispersión con el dispositivo es equivalente a la dispersión con el reloj es decir que los dos aparatos funcionan de manera similar.

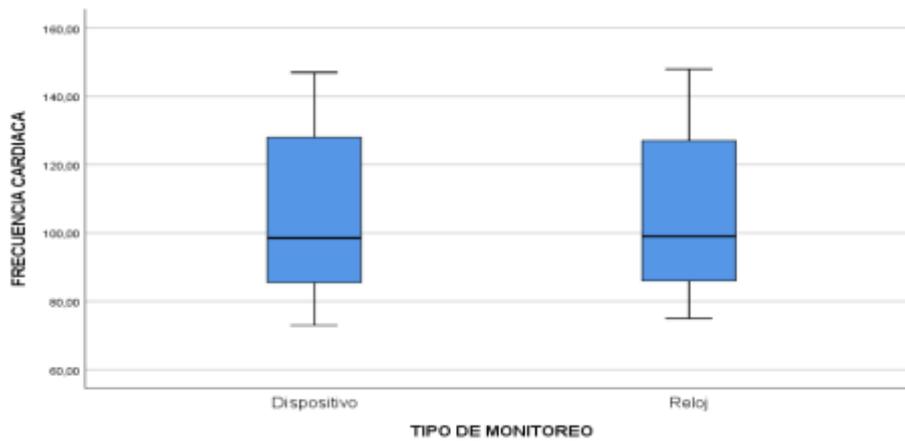


Figura 57. Diagrama de caja de la frecuencia cardíaca para el dispositivo y el reloj.

Fuente: Autor

De la misma manera que en el caso anterior, se halló la prueba de hipótesis de la temperatura corporal para el dispositivo de monitoreo y el termómetro digital, en la Figura 58 se presenta el valor de la significancia bilateral obteniéndose una hipótesis nula al ser el valor bilateral mayor que el intervalo de confianza (0.956 > 0.05).

Prueba de muestras independientes

		Prueba de Levene de igualdad de varianzas		prueba t para la igualdad de medias			95% de intervalo de confianza de la diferencia			
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	Inferior	Superior
TEMPERATURA CORPORAL	Se asumen varianzas iguales.	3,955	,050	-.055	334	<u>,956</u>	-.00448	,08122	-.16423	,15530
	No se asumen varianzas iguales.			-.055	330,462	,956	-.00448	,08122	-.16424	,15531

Figura 58. Tabla de la temperatura corporal para el valor bilateral.

Fuente: Autor

De igual forma se obtuvo la correlación de los dispositivos, en la Figura 59 se tiene un valor cercano a 1 indicando que existe una correlación positiva entre el dispositivo de monitoreo y el termómetro.

		TEMPERATURA CORPORAL	TIPO DE MONITOREO
TEMPERATURA CORPORAL	Correlación de Pearson	1	,931**
	Sig. (bilateral)		,000
	N	168	168
TIPO DE MONITOREO	Correlación de Pearson	,931**	1
	Sig. (bilateral)	,000	
	N	168	168

** La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

Figura 59. Tabla correlación de la temperatura corporal entre el dispositivo de monitoreo y el termómetro.

Fuente: Autor

Por otra parte, en la Figura 60, se muestra el diagrama de caja simple que representa una comparación de la dispersión de los valores del dispositivo en comparación con los valores del termómetro. Esta figura indica que la dispersión de los dispositivos trabaja de forma similar con pequeñas variaciones en los datos.

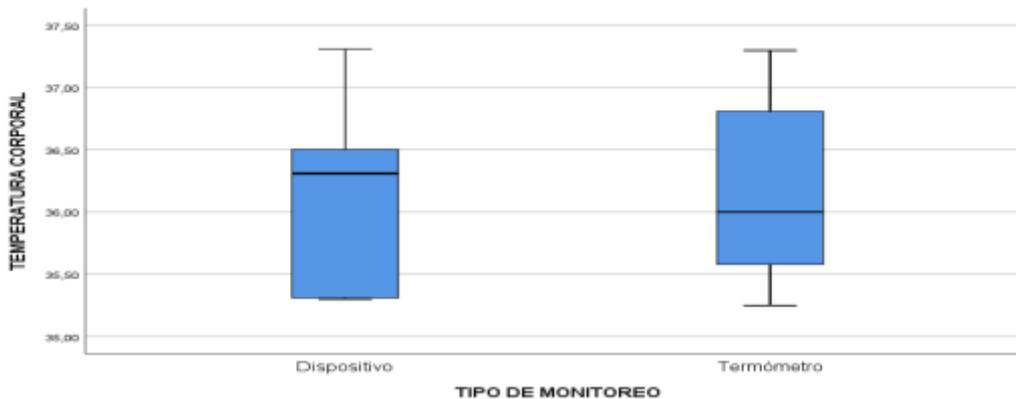


Figura 60. Diagrama de caja de la temperatura corporal para el dispositivo y el termómetro.

Fuente: Autor

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

Partiendo de nuestro principal objetivo: Diseño e implementación de una antena textil portable se ha comprobado que las antenas textiles con materiales electrónicos tienen un gran potencial para ser utilizados como antenas para transmisión en prendas de vestir. Gracias a la utilización del material de tinta conductiva y fieltro, la antena fabricada cumple con las necesidades de proporcionar al usuario un tamaño pequeño, flexible, liviano y es un dispositivo portátil atractivo.

La antena simulada en material de seda de forma aislada y en presencia del cuerpo humano, tienen el mismo comportamiento de las corrientes, diagrama de radiación y resonancias, por lo tanto, se puede concluir que las antenas simuladas no se ven afectadas cuando se encuentran bajo las condiciones del cuerpo humano. De igual manera se obtiene el mismo comportamiento con la antena simulada en material de fieltro.

Debido al rústico método de fabricación utilizado la antena implementada no obtuvo los mismos valores que la antena simulada, llegando a obtener en este caso especial variaciones en el ancho de banda que benefician a la antena implementada al obtener un mayor rango frecuencias.

Otra característica por considerar dentro del desarrollo de la antena textil es su contextura, pues esta al ser implementada en seda, siendo un material delgado, presentó inconvenientes al momento de añadir la capa de conductividad la cual afectaba las propiedades dieléctricas del sustrato.

Para el desarrollo de las antenas textiles su comunicación se basa en la interconexión de dispositivos electrónicos programables, capaces de recolectar y posteriormente enviar variables de temperatura y frecuencia cardíaca con valores y comportamientos semejantes a dispositivos comerciales como un termómetro y un reloj inteligente.

La realización de la prueba de hipótesis se basó en el estudio de la población muestral, obteniendo una hipótesis nula sin ser rechazada para la frecuencia cardíaca y temperatura

corporal consiguiendo valores superiores al intervalo de confianza, demostrando así que el dispositivo presenta un funcionamiento confiable al poseer un margen de error hasta de un 5%, por lo que el dispositivo puede reemplazar a dispositivos comerciales que cumplen la misma función.

En la construcción de antenas el uso de materiales textiles es un concepto nuevo. Debido a su naturaleza irregular resulta desafiante diseñar en este tipo de materiales, la adecuada elección del material dependerá de la aplicación u objetivo de la antena a diseñar ya que las aplicaciones que se pueden utilizar para este tipo de antenas mayormente corresponden a aplicaciones militares, médicas con el objetivo de transmitir información.

5.2. RECOMENDACIONES

Tomar en cuenta las características o propiedades técnicas del material utilizado como sustrato, debido a que no se puede tratar a la tela de la misma manera que una ropa convencional.

Se recomienda el estudio de micro y nano electrónica con el fin de simplificar el tamaño y peso del sistema de comunicación con el objetivo de dar paso a futuras líneas de investigación.

Mejorar el sistema de cableado que interconecta los sensores de modo que mejore aún más la comodidad en el usuario al momento de realizar algún tipo de actividad específica.

BIBLIOGRAFÍA

- Abohmra, A., Jilani, F., Abbas, H. T., Alomainy, A., Ur-Rehman, M., Imran, M. A., & Abbasi, Q. H. (2019, July). Flexible and wearable graphene-based terahertz antenna for body-centric applications. In *2019 Second International Workshop on Mobile Terahertz Systems (IWMTS)* (pp. 1-4). IEEE.
- Abolade, J. O., Konditi, D. B., & Dharmadhikary, V. M. (2021). Comparative study of textile material characterization techniques for wearable antennas. *Results in Materials*, 9, 100168.
- Agbor, I., Biswas, D. K., & Mahbub, I. (2018, April). A comprehensive analysis of various electro-textile materials for wearable antenna applications. In *2018 Texas Symposium on Wireless and Microwave Circuits and Systems (WMCS)* (pp. 1-4). IEEE.
- Ahmed, M. I., Ahmed, M. F., & Shaalan, A. A. (2017). Investigation and comparison of 2.4 GHz wearable antennas on three textile substrates and its performance characteristics. *Open Journal of Antennas and Propagation*, 5(3), 110-120.
- alazar. (s.f.). *Números Aleatorios y Números al Azar*. Obtenido de <http://www.alazar.info/generador-de-numeros-aleatorios-sin-repeticion>
- Aldas Samaniego, G. A. (2019). *Evaluación de pérdidas de penetración en materiales mediante parámetros de potencia en la banda de 1 a 20 GHz para ondas milimétricas* (Bachelor's thesis, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo).
- Anguera, J., & Andújar, A. (2018). Antenas: Elementos Indispensables de las Telecomunicaciones.
- Almohammed, B., Ismail, A., & Sali, A. (2021). Electro-textile wearable antennas in wireless body area networks: Materials, antenna design, manufacturing techniques, and human body consideration—A review. *Textile Research Journal*, 91(5-6), 646-663.
- Averos Vargas, J. E. (2017). *Estudio del Estándar IEEE 802.15.6 y Simulación de los Parámetros de Transmisión en una Red de Área Corporal en la Banda de Frecuencia de 2.4 GHz* (Bachelor's thesis, Quito, 2017.).
- Aznar, Á. C., Robert, J. R., Casals, J. M. R., Roca, L. J., Boris, S. B., & Bataller, M. F. (2004). *Antenas*. Univ. Politèc. de Catalunya.
- Badamasi, Y. A. (2014, September). The working principle of an Arduino. In *2014 11th international conference on electronics, computer and computation (ICECCO)* (pp. 1-4). IEEE.
- Botella-Campos, M., Parra, L., Sendra, S., & Lloret, J. (2020, October). WLAN IEEE 802.11 b/g/n Coverage Study for Rural Areas. In *2020 International Conference on Control, Automation and Diagnosis (ICCAD)* (pp. 1-6). IEEE.
- Casula, G. A. (2018, May). A design rule to reduce the human body effect on antennas for short range NF-UHF RFID systems. In *2018 2nd URSI Atlantic Radio Science Meeting (AT-RASC)* (pp. 1-4). IEEE.
- Corchia, L., Monti, G., De Benedetto, E., & Tarricone, L. (2017). Wearable antennas for remote

- health care monitoring systems. *International Journal of Antennas and Propagation*, 2017.
- Corchia, L., Monti, G., & Tarricone, L. (2019). Wearable antennas: Nontextile versus fully textile solutions. *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, 61(2), 71-83.
- da Silva Júlio, E., & Ribeiro, E. P. (2020). MONITORAMENTO REMOTO E CONTÍNUO DA TEMPERATURA CORPORAL.
- Francés, L., Morer, P., Rodríguez, M. I., & Cazón, A. (2018). Revisión de la tecnología wearable y su aplicación en guantes inteligentes. *DYNA-Ingeniería e Industria*, 93(4).
- Gite, S., & Subhedar, M. (2020). Smart Apron Using Embroidered Textile Fractal Antenna for E-Health Monitoring System. In *Advances in Electrical and Computer Technologies* (pp. 987-996). Springer, Singapore.
- Gómez-Torrijos Pérez, D. A. (2017). *Estudio de los parámetros y diseño de una antena de apertura circular* (Doctoral dissertation, Universitat Politècnica de València).
- Hassan, W. M., & Attiya, A. M. (2019, June). Dual Circular Polarization Textile Antenna for L1 and L2 GPS Applications. In *2019 Photonics & Electromagnetics Research Symposium-Spring (PIERS-Spring)* (pp. 1196-1200). IEEE.
- Januszkiewicz, Ł., Skrzetuska, E., & Oleksy, P. (2020). Antena tekstylna wykonana techniką haftu przeznaczona dla systemów IoT 5G. *Przegląd Telekomunikacyjny+ Wiadomości Telekomunikacyjne*, (7-8), 350-353.
- JacquardToolkit: enabling and exploring interactions with the Levi's jacquard jacket. In *Adjunct Proceedings of the 2019 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing and Proceedings of the 2019 ACM International Symposium on Wearable Computers* (pp. 306-307).
- Kanani, P., & Padole, M. (2018, April). Recognizing Real Time ECG Anomalies Using Arduino, AD8232 and Java. In *International Conference on Advances in Computing and Data Sciences* (pp. 54-64). Springer, Singapore.
- Karam, D. y Gonçalves, A. (julio de 2020). La tecnología como interfaz de desgaste: los wearables y la interacción irreversible hombre-computadora. En *Conferencia internacional sobre factores humanos aplicados y ergonomía* (págs. 505-509). Springer, Cham.
- Karam, D., & Gonçalves, A. (2020, July). Technology as an Interface of Wear: Wearables and the Irreversible Human-Computer Interaction. In *International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics* (pp. 505-509). Springer, Cham.
- Khurotdin, R. K., Mahadzir, M. A., Nazli, M. M. M. N., Seman, F. C., Dahlan, S. H., Alam, C. K. A. C. K., & Hassan, N. (2018). Printing of wearable antenna on textile. In *MATEC web of conferences* (Vol. 150, p. 04001). EDP Sciences.
- Kumar, A., Rudnicki, C., Chatterjee, R., Mina, K., Onyeije, O., & Starner, T. (2019, September).
- Lima Lema, T. C. (2018). *Elaboración de un tejido conductor para la fabricación de un textil inteligente* (Bachelor's thesis).
- López, A. H. A., Vargas, G. A., & Mosquera, J. M. L. (2018, August). Sistema de medición de

- temperatura corporal a través de dispositivos móviles para monitorear niveles de fiebre en niños entre los 0 y 5 años en la ciudad de Neiva. In *Memorias de Congresos UTP* (pp. 21-27).
- Loss, C., Gonçalves, R., Pinho, P., & Salvado, R. (2020). A Review of Methods for the Electromagnetic Characterization of Textile Materials for the Development of Wearable Antennas. *Wireless Power Transmission for Sustainable Electronics*, 27-56.
- Memon, A. W., de Paula, I. L., Malengier, B., Vasile, S., Van Torre, P., & Van Langenhove, L. (2021). Breathable Textile Rectangular Ring Microstrip Patch Antenna at 2.45 GHz for Wearable Applications. *Sensors*, 21(5), 1635.
- Melo, L. F. (2018). Sensores de temperatura: Termopares. *Londrina/PR: Universidade*.
- Mitchell, B. (2018). Wireless Standards 802.11 a, 802.11 b/g/n, and 802.11 ac.
- Mohamadzade, B., Hashmi, R. M., Simorangkir, R. B., Gharaei, R., Ur Rehman, S., & Abbasi, Q. H. (2019). Recent advances in fabrication methods for flexible antennas in wearable devices: State of the art. *Sensors*, 19(10), 2312.
- Mode, E. B. (2021). *Elementos de probabilidad y estadística*. Reverte.
- Navarro Pérez, A. (2020). Diseño de una antena-sensor en sustratos flexibles.
- Nus Santos, I. (2019). *Estudio y diseño de antena wearable Sigfox para aplicaciones IoT* (Bachelor's thesis, Universitat Politècnica de Catalunya).
- Othman, N., Samsuri, N. A., Rahim, M. K. A., Kamardin, K., & Majid, H. A. (2018). Meander bowtie antenna for wearable application. *Telkomnika*, 16(4), 1522-1526.
- Páez, C. S. C., & Cueva, R. A. L. (2019). Evaluación del desempeño de la tecnología wifi en concordancia con los estándares IEEE 802.11 b/g/n en el interior de una cámara anecoica para la banda de 2.4 GHz/Performance evaluation of technology Wi-Fi in conformance with IEEE 802.11 b/g/n into an anechoic chamber for the 2.4 GHz band. *RECI Revista Iberoamericana de las Ciencias Computacionales e Informática*, 8(15), 22-44.
- Pambaquishpe Álvarez, L. C. (2017). *Evolución de los textiles ultra inteligentes o de tercera generación* (Bachelor's thesis).
- Paracha, K. N., Rahim, S. K. A., Soh, P. J., & Khalily, M. (2019). Wearable antennas: A review of materials, structures, and innovative features for autonomous communication and sensing. *IEEE Access*, 7, 56694-56712.
- Peris Abad, F. (2021). *Desarrollo de materiales compuestos mediante la modificación de matrices de polipropileno por adición de nanofibras de carbono y nanotubos de carbono para su utilización en el sector textil* (Doctoral dissertation, Universitat Politècnica de València).
- Pozar, D. M. (2011). *Microwave engineering*. John Wiley & sons.
- Sánchez Turcios, R. A. (2015). t-Student: Usos y abusos. *Revista mexicana de cardiología*, 26(1), 59-61.
- Shafaet-Uz-Zaman, K., & Matin, M. A. (2019, May). Analysis of Bending and Human Body Effects on Sleeve-Badge Textile Antenna Performance. In *2019 TEQIP III Sponsored*

- International Conference on Microwave Integrated Circuits, Photonics and Wireless Networks (IMICPW)* (pp. 10-14). IEEE.
- Sabban, A. (2018, January). Small wearable antennas for wireless communication and medical systems. In *2018 IEEE radio and wireless symposium (RWS)* (pp. 161-164). IEEE.
- Saradhi, D. V., & Swetha, K. (2021). Shielding performance analysis of flexible multi-layered textile sheets based on polymer substrate. *Materials Today: Proceedings*.
- Technologie, F. f. (2010). *Fundación IT'IS*. Obtenido de <https://itis.swiss/virtual-population/tissue-properties/database/dielectric-properties/>
- Torres, L. X. S., Herrera, C., & Restrepo, M. (2019). Estudio de la aplicación de los metamateriales en el diseño de antenas textiles. *Revista Politécnica*, 15(29), 108-127.
- Urgilés Cantos, J. F., Campoverde Carrasco, E. E., Dután Criollo, E. G., & Suárez Jadán, C. N. (2020). Sistema de alerta y monitoreo de pulso cardíaco y temperatura corporal.
- Xudong, Y., Yingxue, C., Tingting, W., Yong, Z., & Jiyong, H. (2021). Effect of Stitch Structure on the Reading Performance of Fabric-Based Embroidered UHF RFID Tags. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*.
- Zhang, J., Tian, G. Y., Marindra, A. M., Sunny, A. I., & Zhao, A. B. (2017). A review of passive RFID tag antenna-based sensors and systems for structural health monitoring applications. *Sensors*, 17(2), 265.

COSTOS DE IMPLEMENTACIÓN

Tabla 4: Costos de implementación del proyecto.

Fuente:(Autor)

Ítem	Características	Cantidad	Precio por unidad	Precio total
Esp-8266	Modulo Wi-Fi	2	5	10
Arduino uno	Microcontrolador	1	15	15
ECG AD8232	Sensor de frecuencia cardíaca	1	30	30
Bare Conductive	Pintura conductora 50ml	1	120	120
Filtro	Filtro flexible 2 metros	2	2.50	5
Conectores	SMA hembra y macho	5	4	20
Cable	Coaxial 1 metro	1	15	15
Cables jumper	Macho-hembra Macho-macho	30	0.15	4.50
Sensor de temperatura	Sensor Infrarrojo	2	15	30
Electrodos	ECG	30	0.70	21
Cinta conductora	Cobre	1	20	20
Total:				\$290.50

ANEXOS

ANEXO 1

Implementación de antenas textiles.



Antenas textiles

ANEXO 2

Comprobación del funcionamiento de la antenna con el dispositivo VNA



Funcionamiento de la antenna utilizando el dispositivo VNA