

UNIVERSIDAD HISPANOAMERICANA

ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

Diseño de un sistema de comunicación inalámbrico en tiempo real a larga distancia para transportar datos biométricos provenientes de un chaleco hacia una base de datos para equipos de primera respuesta.

Carlos Eduardo Mora Cubero

Tutor: Ing. Jorge Villalobos Cascante

Julio, 2019

Índice.....	ii
Lista de tablas	v
Lista de Figuras.....	vi
Declaración Jurada.....	viii
Carta de autorización de publicación.....	ix
Carta de aprobación de tutor.....	x
Carta de aprobación del lector.....	xi
Carta de aprobación de contacto de la empresa.....	xii
Carta de aprobación del filólogo.....	xiii
Dedicatoria.....	xiv
CAPÍTULO I	1
PROBLEMA DEL PROYECTO	1
1.1 Antecedentes y Justificación del Proyecto.....	2
1.1.1 Antecedentes del Contexto de la Empresa.....	2
1.1.2 Justificación del Proyecto	3
1.2 Definición del Problema	5
1.3 Objetivos de la investigación	7
1.3.1 Objetivo General.....	7
1.3.2 Objetivos Específicos.....	7
1.4 Alcances y limitaciones	8
1.4.1 Alcances.....	8
1.4.2 Limitaciones.....	9
CAPITULO II	11
MARCO TEORICO	11
2.1 Servicios de Emergencia.....	12
2.1.1 Policía	12
2.1.2 Bomberos	12
2.1.3 Servicios Médicos.....	13
2.2 Teoría relacionada a Cardiopatías.....	13
2.2.1 Corazón	13
2.2.2 Enfermedades Cardiovasculares	14
2.2.3 Fatiga.....	16
2.2.4 Miocardiopatía Dilatada.....	17
2.2.5 Insuficiencia Cardíaca.....	18
2.2.6 Ataques y Paros Cardiacos.....	19
2.3 Biotelemedicina.....	21
2.4 Raspberry Pi Zero W	22
2.4.1 Características	23
2.5 Internet de las Cosas (IoT).....	25
2.6 Teoría de Comunicaciones.....	26
2.6.1 Comunicación Serial y Paralela.....	27
2.6.2 Comunicación Inalámbrica	30
2.6.3 Redes.....	31
2.6.4 Xbee	34

2.6.5 Bluetooth.....	36
2.6.6 Wifi	38
2.6.7 Antenas	39
CAPITULO III.....	43
MARCO METODOLÓGICO.....	43
3.1 Tipo de Investigación.....	44
3.1.1 Enfoque de la investigación	44
3.1.2 Dimensión Temporal	45
3.1.3 Marco	46
3.1.4 Naturaleza	47
3.2 Fuentes de Información.....	48
3.2.1 Fuentes Primarias.....	48
3.2.2 Fuentes Secundarias.....	48
3.2.3 Sujetos de Información	49
3.3 Técnicas y Herramientas.....	49
3.3.1 Entrevista	50
3.3.2 Experimentación	50
3.4 Variables de la Investigación	51
3.5 Diseño de la Investigación	53
CAPÍTULO 4.....	55
SITUACIÓN ACTUAL.....	55
4.1 Descripción de la Situación Actual.....	56
4.2 Obtención de datos.....	58
4.2.1 Entrevista	59
4.3 Propuesta.....	62
4.4 Análisis de mercado.....	66
CAPÍTULO 5.....	72
DISEÑO Y DESARROLLO DEL PROYECTO.....	72
5.1 Descripción de la propuesta	73
5.2 Diseño del prototipo.....	74
5.2.1 Microcontrolador Raspberry Pi.....	75
5.2.2 Módulos de comunicación inalámbrica Xbee.....	77
5.2.3 Base de Datos.....	81
5.2.4 Antenas	82
5.2.4.1 Tipos de Antenas.....	82
5.2.4.2 Tipos de Antenas Omnidireccionales	84
5.2.4.3 Ganancia	86
5.2.5 Protocolos de comunicación	89
5.3 Construcción del prototipo.....	93
5.3.1 Prototipo inicial.....	93
5.3.1.1 Construcción del prototipo inicial.....	93
5.3.1.2 Análisis de resultados del primer prototipo	104
5.3.2 Prototipo final	111
5.3.2.1 Construcción del prototipo final	111
5.4 Análisis de costos.....	125
CAPÍTULO 6.....	127

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	127
6.1 Conclusiones	128
6.2 Recomendaciones	130
Bibliografía	132
ANEXOS	135
Lista de Anexos.....	136

Lista de tablas

Tabla 1 Comparativa Raspberry Pi 3 B+ vs Raspberry Pi Zero W	24
Tabla 2 Ventajas y Desventajas de las redes inalámbricas	31
Tabla 3 Variables de la Investigación	52
Tabla 4 Resumen Requerimientos Mínimos.....	61
Tabla 5 Resumen Características Garmin, Polar, Catapult Sports.....	70
Tabla 6 Tabla Comparativa Microcontroladores Valorados.....	76
Tabla 7 Comparativa Modelos Xbee	79
Tabla 8 Tabla comparativa NoSQL vs SQL.....	82
Tabla 9 Resumen valores finales	124
Tabla 10 Costos asociados a materiales.....	125
Tabla 11 Costos de mano de obra.....	126

Lista de Figuras

vi

Figura 1 Diagrama Causa - Efecto.....	6
Figura 2 Anatomía del Corazón.....	14
Figura 3 Corazón normal vs Corazón dilatado	18
Figura 4 Electrocardiograma Portátil.....	22
Figura 5 Raspberry Pi 3 y Raspberry Pi Zero W	23
Figura 6 Telégrafo.....	27
Figura 7 Comunicación Serie.....	28
Figura 8 Comunicación Paralela.....	29
Figura 9 Topología de Redes	34
Figura 10 Modelos Xbee.....	36
Figura 11 Conectividad Bluetooth	37
Figura 12 Conexión Wifi	38
Figura 13 Ejemplos Patrones de Radiación	40
Figura 14 Antena Dipolo	42
Figura 15 Escalas de tiempo planteadas	54
Figura 16 Muertes según edad y causa en los Estados Unidos durante el año 2017	57
Figura 17 Diagrama de Flujo General	62
Figura 18 Diagrama de Flujo de Etapas.....	63
Figura 19 Propuesta de integración junto equipo de protección.....	64
Figura 20 Propuesta de sistema receptor	65
Figura 21 Catapult Sports OptimEye S5 y ClearSky T6	67
Figura 22 Polar Vantage V	68
Figura 23 Garmin Forerunner 945	69
Figura 24 Diagrama para primera prueba	74
Figura 25 Patrones de radiación antena omnidireccional vs direccional.....	83
Figura 26 Antenas seleccionadas para pruebas.....	88
Figura 27 Topología tipo estrella.....	90
Figura 28 Topología y tipos de nodo Zigbee y DigiMesh	92
Figura 29 Elementos del receptor	95
Figura 30 Elementos transmisores	96
Figura 31 Módulo Xbee detectado por XCTU	97
Figura 32 Configuración de propiedades de red.....	98
Figura 33 Configuración de seguridad e interfaz serial	99
Figura 34 Direcciones i2c y puerto serial	100
Figura 35 Valores Iniciales	101
Figura 36 Lectura temperatura RTC.....	102
Figura 37 Lazo de lectura y envío de datos	102
Figura 38 Definición puerto serial en lenguaje C	103
Figura 39 Lectura y escritura de los datos	104
Figura 40 Niveles de ruido dentro de residencia con antena 2dBi	105
Figura 41 Niveles de ruido en parqueo con antena 2dBi	106
Figura 42 Niveles de ruido en oficinas con antena 2dBi	106
Figura 43 Distancia máxima en residencia con antena 2dBi	108
Figura 44 Distancia máxima en parqueo con antena 2dBi	109

Figura 45 Distancia máxima en oficinas con antena 2dBi.....	109
Figura 46 Velocidad máxima y promedio obtenida.....	110
Figura 47 Selección de firmware DigiMesh	112
Figura 48 Configuración de Xbee como coordinador.....	113
Figura 49 Módulo como coordinador en XCTU.....	113
Figura 50 Módulos detectados en la misma red DigiMesh.....	114
Figura 51 Consola en receptor desde XCTU	115
Figura 52 Consola transmisor #1 y #2	115
Figura 53 Consola transmisor #1 replicando mensaje	116
Figura 54 Velocidad 115200,57600 y 9600 baudios	117
Figura 55 Modos de operación de Xbee	117
Figura 56 Paquete de datos en formato JSON	118
Figura 57 Validación de formato	119
Figura 58 Hardware para módulo de recepción	120
Figura 59 Niveles de ruido con antena de 8dBi en residencia	121
Figura 60 Niveles de ruido con antena de 8dBi en parqueo	122
Figura 61 Niveles de ruido con antena de 8dBi en oficinas	122
Figura 62 Distancia máxima en parqueo con antena 8dBi	123
Figura 63 Distancia máxima en oficinas con antena 8dBi.....	123

Declaración Jurada

DECLARACIÓN JURADA

Yo Carlos Eduardo Mora Cubero, mayor de edad, portador de la cédula de identidad número 1-1477-0664 egresado de la carrera de Ingeniería Electrónica de la Universidad Hispanoamericana, hago constar por medio de este acto y debidamente apercibido y entendido de las penas y consecuencias con las que se castiga en el Código Penal el delito de perjurio, ante quienes se constituyen en el Tribunal Examinador de mi trabajo de tesis para optar por el título de Bachillerato en Ingeniería Electrónica, juro solemnemente que mi trabajo de investigación titulado: Diseño de un sistema de comunicación inalámbrico en tiempo real a larga distancia para transportar datos biométricos provenientes de un chaleco hacia una base de datos para equipos de primera respuesta, es una obra original que ha respetado todo lo preceptuado por las Leyes Penales, así como la Ley de Derecho de Autor y Derecho Conexos número 6683 del 14 de octubre de 1982 y sus reformas, publicada en la Gaceta número 226 del 25 de noviembre de 1982; incluyendo el numeral 70 de dicha ley que advierte; artículo 70. Es permitido citar a un autor, transcribiendo los pasajes pertinentes siempre que éstos no sean tantos y seguidos, que puedan considerarse como una producción simulada y sustancial, que redunde en perjuicio del autor de la obra original. Asimismo, quedo advertido que la Universidad se reserva el derecho de protocolizar este documento ante Notario Público.

En fe de lo anterior, firmo en la ciudad de Belén, a los 30 días del mes de junio del año dos mil diecinueve.

Carlos Mora C.
Firma del estudiante

1-1477-0664
Cédula

Carta de autorización de publicación

ix

**UNIVERSIDAD HISPANOAMERICANA de Costa Rica
CENTRO DE INFORMACION TECNOLOGICO (CENIT)
CARTA DE AUTORIZACIÓN DE LOS AUTORES PARA LA CONSULTA, LA
REPRODUCCION PARCIAL O TOTAL Y PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA
DE LOS TRABAJOS FINALES DE GRADUACION**

San José, 6 de agosto de 2019

Señores:
Universidad
Centro de Información Tecnológico (CENIT)

Estimados Señores:

El suscrito (a) Carlos Eduardo Mora Cubero con número de identificación 1-1477-0664 autor (a) del trabajo de graduación titulado **“Diseño de un sistema de comunicación inalámbrico en tiempo real a larga distancia para transportar datos biométricos provenientes de un chaleco hacia una base de datos para equipos de primera respuesta.”**, presentado y aprobado en el año 2019 como requisito para optar por el título de Bachillerato en Ingeniería Electrónica; (S) / NO) autorizo al Centro de Información Tecnológico (CENIT) para que con fines académicos, muestre a la comunidad universitaria la producción intelectual contenida en este documento.

De conformidad con lo establecido en la Ley sobre Derechos de Autor y Derechos Conexos N° 6683, Asamblea Legislativa de la República de Costa Rica

Cordialmente,


Firma y Documento de Identidad

Carta de aprobación de tutor

X



CARTA DEL TUTOR

San José, 3 de julio del 2019

Señores
Departamento de Registro
Universidad Hispanoamericana

Estimados señores:

El estudiante Carlos Eduardo Mora Cubero, cédula de identidad número 1-1477-0664, me ha presentado, para efectos de revisión y aprobación, el trabajo de investigación denominado "*Diseño de un sistema de comunicación inalámbrico en tiempo real a larga distancia para transportar datos biométricos provenientes de un chaleco hacia una base de datos para equipos de primera respuesta*", el cual ha elaborado para optar por el grado académico de Bachillerato.

En mi calidad de tutor, he verificado que se han hecho las correcciones indicadas durante el proceso de tutoría y he evaluado los aspectos relativos a la elaboración del problema, objetivos, justificación; antecedentes, marco teórico, marco metodológico, tabulación, análisis de datos; conclusiones y recomendaciones.

De los resultados obtenidos por el postulante, se obtiene la siguiente calificación:

Tabla 1 Calificación del proyecto

#	Rubro	% Teórico	% Asignado
a	Original del tema.	10	10
b	Cumplimiento de entrega de avances de avances.	20	19
c	Coherencia entre los objetivos, los instrumentos aplicados y los resultados de la investigación.	30	29
d	Relevancia de las conclusiones y recomendaciones.	20	19
e	Calidad, detalle del marco teórico.	20	19
Total:		100	96

En virtud de la calificación obtenida, se avala el traslado al proceso de lectura.

Atentamente,

Ing. Jorge Villalobos Cascante. Msc.
Cédula de identidad: 1-1185-0467
Carné colegio profesional: IEL-22656

Carta de aprobación del lector

xi



CARTA DEL LECTOR

San José, 1 de agosto de 2019

Departamento de Registro
Universidad Hispanoamericana

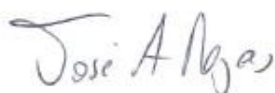
Estimado señor:

El estudiante **Carlos Eduardo Mora Cubero**, cédula de residencia número **1-1477-0664**, me ha presentado, para efectos de revisión y aprobación, el trabajo de investigación denominado: **"Diseño de un sistema de comunicación inalámbrico en tiempo real a larga distancia para transportar datos biométricos provenientes de un chaleco hacia una base de datos para equipos de primera respuesta."**, el cual ha elaborado para optar por el grado académico de Bachillerato en Ingeniería Electrónica.

He revisado y analizado el contenido, particularmente, lo relativo a la coherencia entre el marco teórico y el análisis de datos; la consistencia de los datos recopilados y la coherencia entre estos y las conclusiones; asimismo, la aplicabilidad y originalidad de las recomendaciones, en términos de aporte de la investigación.

Por consiguiente, este trabajo cuenta con mi aval para ser presentado en la defensa pública.

Atentamente.



Ing. José Alejandro Rojas López
Cédula identidad 1 1079 0035
Carné Colegia Profesional N°: IEL-15888

Carta de aprobación de contacto de la empresa

xii

28 de junio de 2019

Señores Universidad Hispanoamericana:

Por medio de la presente hago constar que el señor Carlos Eduardo Mora Cubero, cédula 1-1477-0664 desarrolló satisfactoriamente el proyecto titulado: **Diseño de un sistema de comunicación inalámbrico en tiempo real a larga distancia para transportar datos biométricos provenientes de un chaleco hacia una base de datos para equipos de primera respuesta**, el cual cumple con todos los requerimientos solicitados inicialmente.

Atentamente:



Andre Solis Barrantes

Carta de aprobación del filólogo

xiii

5 de agosto de 2019

A quien corresponda

Leí y corregí el Trabajo Final de Graduación denominado: *Diseño de un sistema de comunicación inalámbrico en tiempo real a larga distancia para transportar datos biométricos provenientes de un chaleco hacia una base de datos para equipos de primera respuesta*, elaborado por el estudiante Carlos Eduardo Mora Cubero para optar por el Grado de Bachillerato en Ingeniería Electrónica.

Corregí el trabajo en aspectos tales como: construcción de párrafos, vicios del lenguaje que se trasladan a lo escrito, ortografía, puntuación y otros relacionados con el campo filológico, y desde ese punto de vista considero que está listo para ser presentado como trabajo final de graduación, por cuanto cumple con los requisitos establecidos por la Universidad Hispanoamericana.

Se suscribe cordialmente,



Carlos Díaz Chavarría

4- 0155- 0936 Teléfono: 83 - 26 - 28 – 65

Escritor - Profesor universitario - Filólogo

Máster en Literatura Latinoamericana (UCR)

Comentarista del programa PANORAMA (CANARA)

Presentador de la sección *Cuestiones del idioma* (XperTV, Teletica)

Premio Internacional Pergamino de Honor al Mérito 2015

Premio Micrófono de Oro a la Excelencia Comunicativa 2015

Personaje Cultural 2013

Premio Mundial a la Excelencia Literaria 2019

Premio Internacional Quijote de Oro 2019

Dedicatoria

xiv

Dedicado a mis padres y amigos, quienes me han apoyado y motivado a lo largo de mi vida.

CAPÍTULO I

PROBLEMA DEL PROYECTO

1.1 Antecedentes y Justificación del Proyecto

1.1.1 Antecedentes del Contexto de la Empresa

La Corporación Intel fue fundada en 1968 en Santa Clara, California por dos ex empleados de FairChild Semiconductors, Gordon Moore y Robert Noyce. Actualmente es la segunda empresa más grande del mundo y la segunda con más valor en el mercado de los semiconductores, solo detrás de Samsung y se encuentra en el lugar 46 según Fortune 500 en la lista de empresas estadounidenses por ganancias totales. El nombre de Intel viene de las palabras en inglés Integrated Electronics (Electrónica Integrada).

Intel abrió sus puertas en Costa Rica en el año de 1997 con la planta de Ensamble y Prueba en el cantón de Belén de la provincia de Heredia, posteriormente incluyó entre sus operaciones un Centro de Diseño al igual que Servicios Corporativos. La empresa cuenta con 2100 empleados luego del cierre del área de manufactura debido a una reestructuración global en donde se decidió que Costa Rica cumpliera con funciones de más valor agregado para la compañía, como lo es el área de investigación y desarrollo.

Como parte de estos cambios, en el 2011 Intel inaugura el Centro de Innovación, un espacio con el cual se busca promover el desarrollo de proyectos tecnológicos en conjunto con otras empresas o individuos que tengan alguna idea en mente y que deseen soporte de la compañía. Los proyectos propuestos deben poder aplicar al Internet de las cosas, inteligencia artificial o realidad aumentada, y que este pueda beneficiar las partes involucradas.

Dentro de los esfuerzos del Centro de Investigación están las actividades de voluntariado para incentivar a los niños y jóvenes a que estudien carreras relacionadas con las ingenierías y ciencias, al igual que colaborar con universidades del país a entender cuáles son las necesidades de la industria para así mejorar la posibilidad de empleo para los estudiantes del país.

1.1.2 Justificación del Proyecto

Según un estudio elaborado por Denise Smith de la Universidad de Skidmore (Smith, 2018), el 42% del total de muertes relacionadas a labores realizadas por el cuerpo de bomberos en los Estados Unidos fueron causadas por ataques cardíacos.

La Universidad de Edimburgo en el Reino Unido (Amanda L. Hunter, 2017) analizó una muestra de 19 bomberos saludables con los cuales se realizó una prueba física de entrenamiento con una simulación de incendio durante la cual se midieron algunos datos como lo son el flujo sanguíneo y la activación de plaquetas, donde se demostró que el calor extremo combinado con el esfuerzo físico durante la atención de la emergencia vuelve la sangre más espesa, lo que puede provocar un infarto.

Asociado a estos cambios fisiológicos durante la exposición a los factores antes mencionados, se ha detectado que los bomberos se ven afectados por enfermedades coronarias, como la hipertrofia ventricular y el aumento del tamaño del corazón, todo esto puede llegar a provocar la muerte incluso cuando la persona se encuentra fuera de servicio, ya se han dado casos en Costa Rica de muertes por estos motivos.

Debido a estas razones se considera que el monitoreo de los signos vitales de los miembros de los equipos que atienden incendios podría reducir los factores que pueden originar una enfermedad cardíaca y a su vez prevenir que se llegue a un punto crítico para el cuerpo que pueda provocar la muerte

Se ha consultado las diferentes ofertas en los catálogos disponibles en las páginas web de diferentes marcas de equipo deportivo dentro de los cuales se revisó si cuentan con algún sistema que permita obtener las variables identificadas para su análisis en la prevención de accidentes de equipos de primera respuesta, sin embargo, ninguna de las empresas contactadas cuenta actualmente con una plataforma con estas características.

Las empresas que se investigaron cuentan, entre otros, con equipos que permiten tomar medidas de ritmo cardíaco y volumen de oxígeno en la sangre, sin embargo, se identificaron otras variables adicionales que son necesarias para prever los percances señalados y que no se miden. Estos sistemas además cuentan con un rango de comunicación limitado y requieren que las personas tengan conexión permanente a Internet, lo que en el caso de un equipo de respuesta no se puede garantizar.

El sistema que se requiere para analizar esta información necesita ser independiente de las redes celulares y ser de largo alcance, ya que en las peores situaciones de emergencia no se tendría acceso a estas redes de comunicación lo que inhabilitaría el funcionamiento del sistema.

El proyecto constará de 3 etapas, las cuales se definieron en obtención de datos, comunicación inalámbrica y por último el almacenaje y procesamiento de estos. Es

importante mencionar que estas etapas serán realizadas por diferentes personas dentro de un equipo que está desarrollando el prototipo.

En este documento solo se incluirán las secciones pertinentes a la comunicación inalámbrica y los factores que afectan la misma, a pesar de ser un segmento del prototipo final es necesario colaborar con las demás etapas para lograr una integración sencilla y evitar problemas con los datos a través de todo el proceso hasta su etapa final la cual es la prevención de los accidentes en los cuerpos de rescate.

1.2 Definición del Problema

Son varias las causas de accidentes laborales en los miembros de los equipos de primera respuesta, estas van desde situaciones sencillas como un golpe hasta otras más complejas, como la extenuación.

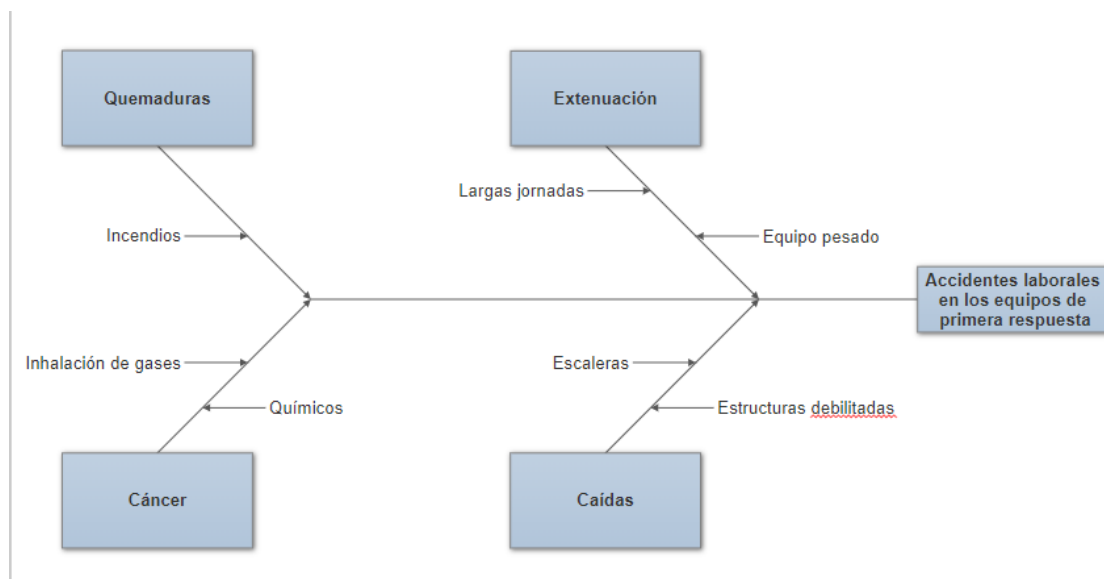
Se entiende que por la naturaleza de las labores realizadas existe un alto riesgo de sufrir lesiones para estos individuos, sin embargo, hay maneras de prevenir o reducir la cantidad de incidentes que suceden en la atención de emergencias.

Algunas de las principales causas de muerte pueden ser controladas con un control médico adecuado si son detectadas a tiempo como lo son la hipertensión, y la miocardiopatía dilatada, sin embargo, en la mayoría de los casos se desconoce si se padece de alguna enfermedad cardiovascular y al someterse a grandes esfuerzos físicos se vuelve crítico contar con un sistema que nos permita detectar anomalías antes de que suceda un evento que pueda causar la muerte.

Por lo tanto, surge la pregunta: ¿Es posible diseñar un sistema de comunicación inalámbrica que obtenga y almacene información biométrica de un miembro de un equipo de primera respuesta para prevenir accidentes laborales relacionados al desgaste físico?

Como se detalla en la siguiente figura, se expone el diagrama causa-efecto de los accidentes laborales durante la atención de emergencias, dentro de los cuales se mencionan varios tipos de lesiones y sus causas, además de aquellos factores que llevan a los ataques cardiacos que son los que se pretenden prevenir con este proyecto.

Figura 1 Diagrama Causa - Efecto



Fuente: Elaborado por el autor

1.3 Objetivos de la investigación

1.3.1 Objetivo General

1. Diseñar un sistema de comunicación inalámbrico en tiempo real a larga distancia para transportar datos biométricos provenientes de un chaleco hacia una base de datos para unidades de primera respuesta.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Determinar los factores físicos a monitorear médicamente necesarios para prevenir los arrestos cardíacos en los usuarios.
- Determinar los parámetros de importancia para la transmisión de datos biométricos.
- Identificar los factores físicos externos que pueden interferir directa o indirectamente con la comunicación.
- Recopilar recomendaciones de dimensiones físicas del prototipo que permitan que los usuarios puedan completar las labores sin interferencia.
- Realizar una comparación de parámetros relevantes a la transmisión inalámbrica entre los protocolos disponibles en el mercado.
- Diseñar una red de comunicación que permita identificar múltiples usuarios simultáneamente.
- Construir un prototipo que cumpla con los parámetros de comunicación y que permita la identificación de múltiples usuarios.

- Documentar las características y limitaciones de transmisión del prototipo implementado.
- Evaluar costo beneficio (costo de inversión) del proyecto.

1.4 Alcances y limitaciones

1.4.1 Alcances

El enfoque de este proyecto es el diseño de una red inalámbrica, que permita el envío de datos biométricos independientemente de los servicios brindados por terceros como lo son las redes 3G o servicios de Internet inalámbrico.

El sistema deberá ser lo suficientemente cómodo y portátil para ser utilizado durante la atención de emergencias sin interrumpir las labores de rescate, por lo que se integraran elementos de IoT (Internet de las Cosas), con un bajo consumo de energía y de dimensiones reducidas.

Se ha definido una distancia de cobertura mínima durante la entrevista realizada tomando como referencia la ubicación del dispositivo receptor de datos con los que debe cumplir la conexión los cuales son de cien metros tanto en interiores como en campo abierto, al igual que debe permitir la conexión de hasta cien usuarios simultáneos.

Para efectos del prototipo presentado para este proyecto se diseñará una red escalable y se realizarán las pruebas necesarias con dos transmisores, con los cuales se simularán las condiciones más pertinentes.

Aunque el enfoque del proyecto es la comunicación inalámbrica y el diseño de la red, durante el desarrollo se trabajará en conjunto con las etapas de obtención de datos y su almacenamiento para realizar las pruebas requeridas y definir las mejores acciones a tomar en el tema de la transmisión y recepción de datos.

1.4.2 Limitaciones

Aunque el proyecto requiera la obtención, almacenamiento y procesamiento de datos biométricos, el enfoque del proyecto será sólo asegurar la transmisión y recepción de estos de forma segura y se garantice que en caso de una emergencia esta pueda ser atendida de la manera más pronta.

Se trabajará de forma conjunta con las etapas de recolección de datos para definir algunos parámetros como lo son la frecuencia con la que se enviarán estos, la forma en la que se construirán los paquetes de datos y qué decisiones tomar en caso de que por alguna razón paquetes de información se pierdan, sin embargo, no se intervendrá en cuales sensores se usarán o en su funcionamiento.

Al igual que con la obtención de datos, se brindará la ayuda necesaria a la etapa de almacenamiento y procesamiento de estos, facilitando la forma de recibir la enorme cantidad de información que va a ser enviada hacia la base de datos, sin embargo, no se tomarán decisiones sobre el formato de la base de datos o el tipo de alarmas que deseen generarse, aunque si se propondrán soluciones para permitir la comunicación de estas alarmas hacia los dispositivos portátiles.

Adicionalmente, al ser solo un prototipo, que se pretende deba permitir el uso de cien usuarios, se convierte en una tarea muy compleja la obtención de esta cantidad de

materiales, por lo que para este proyecto solo se simularán las condiciones con dos dispositivos transmisores, los cuales permitirán obtener suficientes datos para la escalabilidad posterior del sistema.

CAPITULO II

MARCO TEORICO

A continuación, se explicarán diferentes conceptos relevantes para la comprensión de este proyecto, para tener un mejor entendimiento de este documento es necesario abarcar tópicos no solo pertinentes a la ingeniería electrónica, sino que además se debe mencionar materia relacionada a la medicina ya que este primero busca brindar una solución a un problema que afecta directamente la salud.

2.1 Servicios de Emergencia

Los servicios de emergencia o servicios de rescate son organizaciones que se encargan de mantener segura a la población atendiendo y previniendo emergencias. Algunas de estas instituciones atienden solo situaciones específicas mientras otras cubren una amplia cantidad de problemas. Principalmente son tres, policía, bomberos y servicios médicos.

2.1.1 Policía

El cuerpo policial es una institución la cual se encarga de ejercer la ley, proteger las libertades y las posesiones de la ciudadanía al igual que prevenir el crimen y el desorden. La mayor parte de los miembros de este equipo se les conoce como uniformados y se encargan de atender a los llamados de emergencia y realizar patrullajes para prevenir incidentes.

2.1.2 Bomberos

El Departamento o Brigada de Bomberos es una organización cuya principal función es la de atender incendios, sin embargo, sus funciones no se limitan a esto también incluyen la atención de materiales peligrosos, servicios médicos o rescates. Estos se encuentran

separados en estaciones las cuales se encargan de atender llamados en sectores específicos.

2.1.3 Servicios Médicos

Los servicios médicos también son conocidos como servicios de ambulancia o paramédicos se encargan de atender lesiones que requieren atención urgente, estos proveen atención y transporte hacia un hospital donde puedan atenderse mejor las situaciones.

2.2 Teoría relacionada a Cardiopatías

En esta sección se incluye la explicación de diferentes conceptos médicos relacionados al corazón, a diferentes cardiopatías y sus causas los cuales son importantes para comprender la justificación del problema y la solución propuesta.

2.2.1 Corazón

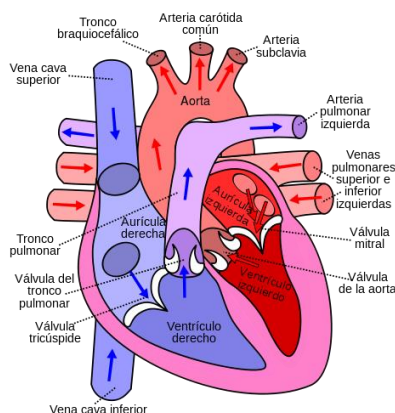
(Iván José Sastre Pérez)El corazón es el órgano clave del aparato circulatorio. La principal función de esta bomba muscular hueca es bombear sangre a todo el cuerpo. Generalmente, late entre 60 y 100 veces por minuto, pero de ser necesario, puede hacerlo mucho más rápido. (p. 18)

El corazón es un órgano que forma parte del sistema cardiovascular, su principal función es la de bombear sangre por todo el organismo. Este está compuesto por un conjunto de músculos y vasos sanguíneos, el grupo principal grupo muscular se llama miocardio y se

caracteriza por funcionar de forma automática. En su interior este se encuentra dividido en cuatro secciones, llamadas aurículas y ventrículos, separadas en dos mitades la izquierda y la derecha.

La mitad izquierda recoge la sangre arterial es decir que es rica en oxígeno la cual es enviada por la aorta hacia los órganos, mientras que la parte derecha recibe la sangre de las venas la cual ha cedido los nutrientes y el oxígeno. Durante un funcionamiento normal el corazón es capaz de entregar en promedio cinco litros por minuto al cuerpo, aunque este valor puede incrementarse significativamente durante un esfuerzo.

Figura 2 Anatomía del Corazón



Fuente: (Educatose en Línea, s.f.)

2.2.2 Enfermedades Cardiovasculares

“La denominación de enfermedades cardiovasculares hace referencia a un conjunto de enfermedades que afectan al corazón y vasos sanguíneos” (Antonio López Farré, 2009, p. 101) Según la Organización Mundial de la Salud (2018), estas son la principal causa de

defunción en todo el mundo y cada año mueren más personas por esta razón que por cualquier otra causa.

Dentro de los principales factores de riesgo se encuentran la hipertensión arterial, la diabetes, el sedentarismo, la obesidad y la enfermedad celiaca, además de que ciertas prácticas alimenticias o el uso de algunas drogas pueden generar algunos de estos problemas.

Algunas de los trastornos más comunes del sistema cardiaco incluyen la insuficiencia cardiaca, las trombosis, el infarto de miocardio o cardiopatía coronaria y la cardiomiopatía dilatada. Estas pueden provocar la muerte repentinamente o causar graves daños al cuerpo, aunque si son detectadas a tiempo pueden ser tratadas.

Algunas personas por las labores que realizan se encuentran expuestos a un mayor riesgo de desarrollar algunas de estas enfermedades antes mencionadas, a pesar de que sigan las recomendaciones de salud como lo son la dieta y realizar ejercicio.

Según (Amanda L. Hunter, 2017) en un estudio realizado con un grupo de bomberos en un ambiente controlado se observó la relación entre algunos factores como el esfuerzo físico extremo y la exposición a altas temperaturas y la aparición de estas enfermedades cardiovasculares. Debido a esto es necesario seguir un control médico estricto en estos grupos vulnerables ya que incluso se observó que estos individuos seguían siendo afectados hasta cuatro horas luego de terminar sus labores.

2.2.3 Fatiga

La fatiga muscular se puede definir como la disminución o pérdida de la capacidad de un músculo para generar fuerza. Esta es causada principalmente por un exceso de actividad que supera los límites del cuerpo, la cual causa una serie de alteraciones en el estado general del cuerpo.

Dentro de las causas que pueden facilitar la aparición de la fatiga muscular se pueden mencionar:

- Esfuerzos prolongados
- Falta de sueño o poco tiempo de descanso
- Alta intensidad de trabajo
- Cambios en temperatura
- Pérdida de peso

Se puede observar que los miembros de los equipos de rescate se encuentran expuestos a todas estas causas, debido a la naturaleza de las acciones que realizan, estas además se dan sobre largos periodos de tiempo y en condiciones de altas temperaturas en el caso de un incendio además del peso adicional del equipo de protección que deben cargar.

Según (José Miguel Antuan Melendez López, 2018) la fatiga laboral se encontró en más del 60% de la población estudiada, y agrega que las condiciones laborales que mantienen los bomberos incrementan la aparición de estos síntomas. En el mismo estudio se comparan los datos obtenidos con otros en países más desarrollados donde se observa una

mayor incidencia en México, en donde aún no se realizan controles sobre estas condiciones.

2.2.4 Miocardiopatía Dilatada

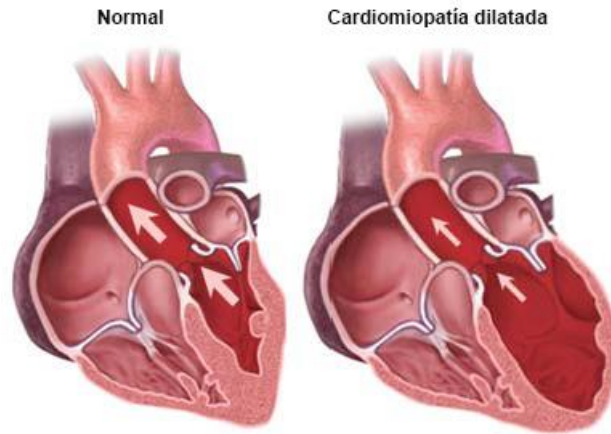
La miocardiopatía dilatada es una enfermedad que afecta al miocardio, en el cual el musculo cardiaco se agranda, pero a su vez este pierde la capacidad de bombear sangre a la misma velocidad que la que requiere el cuerpo, lo que lleva a otros problemas como lo es la insuficiencia cardiaca. “La MCD (miocardiopatía dilatada) es la causa más frecuente de insuficiencia cardiaca y trasplante cardiaco, tanto en adultos como en niños.” (M.M. Rodríguez Vázquez del Rey, p. 644)

Entre las principales causas de esta enfermedad se encuentran:

- Infecciones
- Obesidad
- Problemas genéticos hereditarios
- Frecuencia cardiaca acelerada por tiempo prolongados.

La mayoría de personas no presenta síntomas sino hasta que se presenta una insuficiencia cardiaca la cual se caracteriza por presentar dificultad para respirar, fatiga o acumulación de líquidos en las extremidades.

Figura 3 Corazón normal vs Corazón dilatado



Fuente: (Boston Scientific, 2018)

2.2.5 Insuficiencia Cardíaca

La insuficiencia cardíaca es cuando el corazón no puede satisfacer la necesidad de sangre del cuerpo, es decir ya no puede bombear el volumen de sangre normal. Es importante aclarar que insuficiencia no indica paro cardíaco, este es un proceso que va progresando conforme el corazón se va debilitando, y durante este es visible el aumento de tamaño en un esfuerzo por bombear a mayor velocidad.

“La alteración primaria en el síndrome de insuficiencia cardíaca es la falla en la función de bomba, definida como la incapacidad para mantener adecuadamente la circulación de acuerdo con los requerimientos metabólicos en reposo y en esfuerzo del organismo...”

(Therier, 2014, p. 6)

El cuerpo tiene diferentes mecanismos para compensar la falta de sangre en el sistema, algunas de ellas son:

- Liberación de hormonas
- Crecimiento de las paredes musculares
- Disminución de agua y sal retenida en los riñones

Algunas de las causas más comunes de insuficiencia cardiaca son:

- Arritmias
- Infartos previos
- Anemia
- Esfuerzos físicos

Según qué mitad del corazón está siendo afectada por la insuficiencia se presentan diferentes síntomas dentro de los cuales están la dificultad para respirar, dolor en el pecho, pulso rápido o irregular o agitación. Existen diferentes formas en las cuales los médicos pueden diagnosticar una insuficiencia, los más comunes son la exploración física constatando si el pulso es débil y acelerado, o utilizando métodos de imágenes computarizadas para comprobar el tamaño del corazón.

2.2.6 Ataques y Paros Cardiacos

Un ataque cardiaco es cuando el corazón detiene sus funciones, causando que el flujo de sangre se detenga a través del cuerpo, impidiendo la correcta oxigenación de los órganos

lo que puede provocar la muerte si no se trata de manera pronta. Este es conocido por algunos otros nombres como infarto de miocardio.

El ataque cardiaco es causado por un problema en el corazón cuando el flujo de sangre hacia el músculo se bloquea repentinamente, un paro cardiaco se produce cuando el corazón sufre un problema en las señales eléctricas lo que causa que este comience a temblar en lugar de latir normalmente.

Algunas personas presentan síntomas antes de sufrir un ataque o paro cardiaco:

- Ritmo cardiaco acelerado
- Mareos
- Sudor frío
- Fatiga
- Náuseas, indigestión
- Ansiedad

(Antonio López Farré, 2009)“Las manifestaciones del infarto aparecen de forma súbita, y el riesgo de muerte o complicaciones graves a corto plazo es elevado. Además, la eficacia del tratamiento va a depender, en gran medida, del tiempo transcurrido desde el inicio de los síntomas hasta su administración.” (p. 259)

La trombosis es un factor que puede provocar un ataque cardíaco si el coagulo se desprende y logra bloquear el flujo sanguíneo, (Amanda L. Hunter, 2017) indica en su estudio que los bomberos sufren un incremento en la formación de trombos, y una

disminución en la función vascular los cuales pueden llevar a un paro o ataque cardíaco.

”La enfermedad que subyace tras el infarto agudo de miocardio es, de forma casi invariable, la arteriosclerosis avanzada en las arterias” (Antonio López Farré, 2009, p. 259)

2.3 Biotelemedicina

La telemetría se define como la medición remota de variables o magnitudes físicas hacia un centro de control en donde la información es almacenada y procesada. La biotelemedicina se refiere al uso de técnicas de telemetría para el estudio de variables relacionadas al comportamiento y la fisiología de seres vivos.

(Poblet, 1988)” La biotelemedicina es la medida a distancia de variables biológicas, siendo su objetivo principal la monitorización de animales o de seres humanos, evitando perturbar lo mínimo posible su actividad normal”

Actualmente estos sistemas se crean con el fin de tener un control continuo sobre pacientes, debido a que se utiliza en su mayoría conexiones inalámbricas esto conlleva a una mayor comodidad para el paciente, y una facilidad para colocar estos instrumentos.

Con el auge de las tecnologías del Internet de las Cosas se han miniaturizado muchos sensores, han surgido más señales que pueden analizarse y con más fiabilidad, con mayor frecuencia estos sistemas se utilizan en personas diabéticas o con problemas cardíacos y son analizados en el sitio. Aunque están surgiendo alternativas con mayores capacidades que permiten que el paciente sea monitoreado desde su hogar.

La biotelemedicina data de la época de la carrera espacial cuando se enviaban datos de los animales o pasajeros humanos desde el espacio hacia la tierra para ser analizadas, actualmente en países como los Estados Unidos se ha designado un espacio de radio frecuencias exclusivo para el uso de dispositivos con uso médico.

Figura 4 Electrocardiograma Portátil



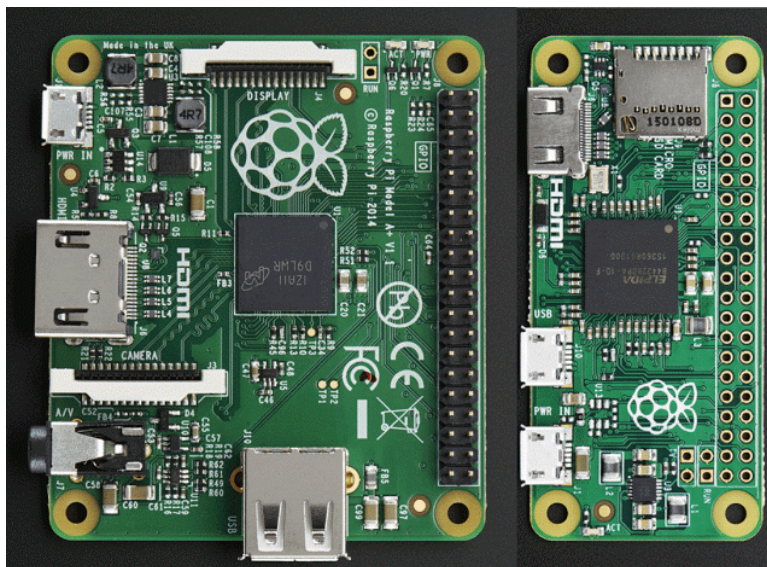
Fuente: (Medical Expo, 2018)

2.4 Raspberry Pi Zero W

El Raspberry Pi es un computador de bajo costo desarrollada en el Reino Unido, con el fin de facilitar el acceso en centros de educativos a instrumentos para el desarrollo del interés en la informática y la electrónica. El primer modelo fue lanzado en 2012, desde entonces diferentes modelos han sido lanzados con mejores características, pero siempre manteniendo un precio accesible.

En 2017 se lanza al mercado el Raspberry Pi Zero W, la cual cuenta con menos potencia, en un tamaño más pequeño y a un precio más bajo. A pesar de contar con menos potencia la tarjeta cuenta con las mismas funciones que el Raspberry Pi 3, incluyendo las conexiones WiFi y Bluetooth sin agregar módulos adicionales.

Figura 5 Raspberry Pi 3 y Raspberry Pi Zero W



Fuente: (VidaGNU, 2019)

2.4.1 Características

Dentro de algunas características que hacen a los Raspberry Pi una opción ampliamente utilizada son su bajo coste, la posibilidad de utilizar varios pines de entradas y salidas, tener integrados módulos de WiFi y Bluetooth y que al utilizar un sistema operativo similar al de un computador normal se puede programar en diferentes lenguajes. Además,

en el caso del modelo Zero W, todo esto se encuentra en una tarjeta de un tamaño considerablemente menor que el modelo 3.

A continuación, se detalla una tabla comparativa de las características de ambos modelos.

Tabla 1 Comparativa Raspberry Pi 3 B+ vs Raspberry Pi Zero W

	Raspberry Pi 3 B+	Raspberry Pi Zero W
Precio	\$35	\$10
Dimensiones	85.6mm x 56.5mm x17mm	30mm x 65mm x 5mm
Peso	45g	9g
Procesador	Cortex-A53 64-bit Quad Core	ARM1176JZF-S Single Core
RAM	1Gb	512Mb
WiFi	2.4GHz and 5GHz 802.11 b/g/n/ac	802.11n
Bluetooth	4.2, BLE	4.1
Puertos USB	4xUSB 2.0	micro & micro OTG
Consumo	1.13A	180mA
Sistemas Operativos	Linux, Android Things, Windows 10 IoT	Linux

Fuente: (Social Compare, 2019)

Como se puede observar en la Tabla 1 el Raspberry Pi Zero W presenta muchas ventajas en cuanto a tamaño, peso y consumo energético lo cual lo hace una mejor solución para proyectos integrados en prendas, además que al costar un tercio del modelo 3 se pueden mantener costos mucho más bajos que los hacen accesibles. Sin embargo, al contar con solo un núcleo de procesamiento no puede realizar multitarea lo cual presenta una limitación en caso de requerir esta función, pero este procesador más pequeño permite obtener una mejor autonomía lo cual se vuelve de suma importancia es proyectos en donde no podemos estar pendientes de los niveles de carga de una batería.

Se puede concluir de estas características que ambos modelos tienen sus ventajas y desventajas, y que debe elegirse la opción que mejor se adapte a las necesidades del proyecto que desea realizarse, ya que ninguna de las opciones es perfecta.

2.5 Internet de las Cosas (IoT)

El Internet de las cosas o IoT por sus siglas en inglés, se refiere a la nueva tendencia tecnológica en la cual cualquier objeto cotidiano es capaz de recopilar información y enviarla a una red inteligente desde donde pueden tomarse acciones sin la interferencia humana.

El Internet de las cosas abarca cualquier objeto, persona o incluso animales actualmente en el mercado se encuentran desde luces inteligentes, sistemas de monitoreo de salud en hospitales hasta rastreadores para especies en peligro de extinción. Según varios expertos en el tema si pudiéramos conectar todos los dispositivos a una red inteligente, sin depender del factor humano se reducirían los gastos ampliamente ya que nunca se

extraviarían los objetos, las partes serían reemplazadas en el momento exacto y no se tendrían faltantes en inventario como ejemplos en la industria.

Uno de los campos de aplicación de los sistemas de IoT es simplificar la vida a las personas, en algunos hospitales se utilizan cámaras que detectan si las camas están ocupadas, también se utilizan sensores que hacen seguimiento de los signos vitales y pueden determinar la dosis de medicamento que se administra al paciente.

Debido a esto existe mucha investigación en cuanto al tema de privacidad de la información si nuestros signos vitales, historial médico y otros datos biométricos se encuentran en una red, como se puede garantizar el uso de correcto de estos datos y que solo las personas autorizadas puedan ver estos datos. Lamentablemente la tecnología cambia muy rápido y el auge de los sistemas de IoT no ha podido ser regulados en la gran mayoría de países por lo que aún existe resistencia de algunos sectores en implementar estas tecnologías.

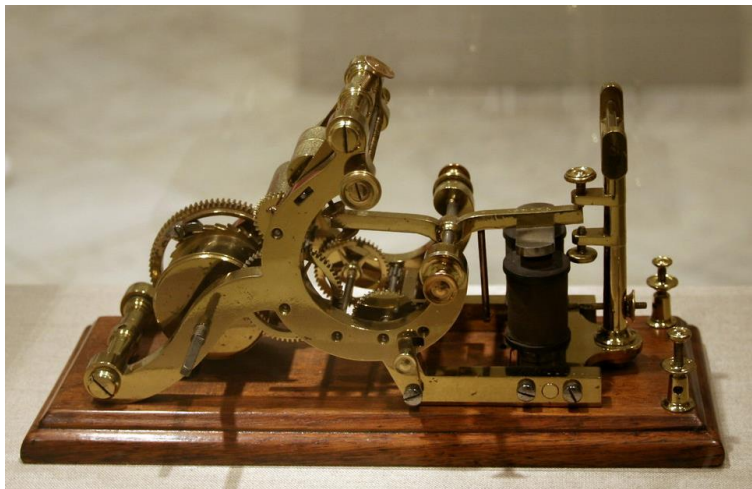
2.6 Teoría de Comunicaciones

En esta sección se desarrollan temas relacionados a la teoría de comunicaciones digitales sobre las cuales se basa la solución al problema, dentro de estos tópicos se incluyen conceptos generales, así como protocolos y hardware requeridos para el desarrollo de este proyecto.

2.6.1 Comunicación Serial y Paralela

Desde las épocas antiguas los humanos han buscado la manera más eficiente para enviar mensajes de un lugar a otro, en los inicios se utilizaban señales de humo, tambores o espejos para transmitir la información. Con la aparición de la escritura se utilizaban mensajeros en caballo o palomas mensajeras que viajaban largas distancias para hacer entrega de estos. No fue hasta la aparición del telégrafo que se transmitieron mensajes utilizando cables y la energía eléctrica, para lograr esto se creó el código Morse el cual consta de puntos y rayas para codificar la información.

Figura 6 Telégrafo



Fuente: (Cliff, 2008)

Con el nacimiento de las tecnologías digitales se adoptó el uso del sistema binario es decir la representación de la información con el uso de unos y ceros, a cada uno de los dígitos se le llamó bit, en términos de voltajes en cero es representado como la ausencia

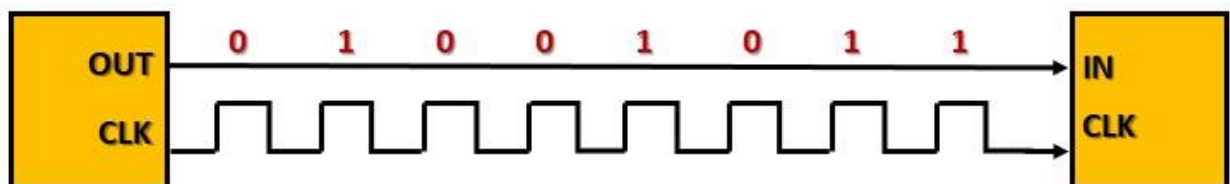
de energía y un uno como un valor de voltaje cercano al valor máximo según el cual este alimentado el circuito. A partir de los bits, se forma un byte el cual se conforma de ocho bits y es la unidad estándar con la cual se miden los datos en un computador.

La transmisión de datos se puede definir como el flujo físico de datos por un canal de comunicación, existen dos tipos de transmisión según el tipo de señal este puede ser analógico o digital, y a su vez si la transmisión es digital esta puede ser de forma paralela o serial.

El método del envío de datos de manera serial se refiere al uso de un solo pin por el cual viaja toda la información, lo que conlleva que solo se pueda enviar un bit a la vez. En este caso se requiere de solo un conductor lo que reduce el costo del cable a utilizar, pero requiere de trabajar una frecuencia alta para enviar los datos a una velocidad aceptable.

(Forouzan, 2007)“La ventaja de la transmisión serie sobre la transmisión paralela es que, al tener un único canal de comunicación, la transmisión serie reduce el coste de transmisión serie sobre la paralela en un factor de n.” (p. 127)

Figura 7 Comunicación Serie

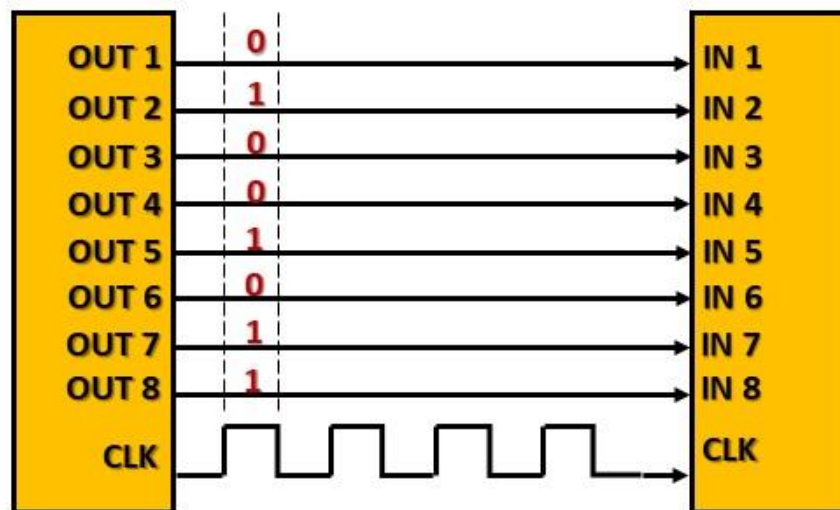


Fuente: (Meccanismo Complesso, 2019)

La comunicación de forma paralela transmite los bits de forma simultánea según el número de línea que se deseen, a esto se le llama un bus de datos. Este método es más sencillo, aunque requiere mayores costos en cuanto a cableado, esta forma actualmente es poco usada por esta razón ya que al aumentar el tamaño de los datos que se envían, se requiere duplicar la cantidad de líneas de transmisión. Debido a esto se prefiere el método serial aún si la velocidad es menor, actualmente la transferencia de datos mediante la forma serial es sumamente rápida.

(Forouzan, 2007)” La ventaja de la transmisión paralela es la velocidad. Aunque todo siga igual, la transmisión paralela puede incrementar la velocidad de transferencia en un factor n sobre la transmisión serie” (p. 127)

Figura 8 Comunicación Paralela



Fuente: (Meccanismo Complesso, 2019)

2.6.2 Comunicación Inalámbrica

La comunicación inalámbrica se refiere a aquella en la cual el transmisor y el receptor no comparten un medio físico, y utilizan ondas electromagnéticas, esto permite que dos dispositivos se comuniquen entre sí sin la necesidad de instalar un cableado que las una, esto permite enviar información a lugares de difícil acceso.

Las primeras transmisiones inalámbricas datan de 1887 cuando Hertz logró enviar electricidad a través del aire en forma de ondas electromagnéticas, aunque esta solo podía realizarse a una corta distancia, no es sino hasta 1895 cuando Alexander Popov creó una antena que le permitía aumentar el alcance.

Las primeras transmisiones inalámbricas se hicieron a partir de señales analógicas, que aún se siguen utilizando como lo son las frecuencias de radio, no es sino hasta los años noventa que se popularizó el uso de los métodos digitales con la aparición de las redes celulares de segunda generación, dando paso a una mejora sustancial en la velocidad de envío de datos.

(Forouzan, 2007)“La comunicación inalámbrica es una de las tecnologías de más rápido crecimiento. La demanda para conectar dispositivos sin el uso de cables se está incrementando en todas partes” (p. 393)

Las redes inalámbricas tienen algunas ventajas y desventajas con respecto a las redes convencionales alámbricas que se citan a continuación:

Tabla 2 Ventajas y Desventajas de las redes inalámbricas

Ventajas	Desventajas
Sencilla de Instalar	Inseguridad
Permite crear redes en lugares de difícil acceso	Velocidad reducida
Libertad de movimiento de los dispositivos	Interferencias
Escalables	Costo

Fuente: Elaborada por el autor

2.6.3 Redes

Una de red de computadora se define como un grupo de equipos interconectados entre sí por medios físicos o inalámbricos que pueden compartir información o recursos. Una red puede estar formada por dos o más dispositivos, y consta de un emisor y un receptor.

Las redes modernas constan de un sinnúmero de dispositivos como computadores hasta bombillos, el objetivo de todas las redes es la de permitir el envío de información y poder acceder a ella en otro lugar.

(Andrew S. Tanenbaum, 2012)“Muchos dispositivos ya son capaces de conectarse en red. Entre ellos tenemos a las computadoras, los dispositivos de

entretenimiento como las TV y los DVD, teléfonos y otros dispositivos electrónicos como las cámaras, aparatos como los radios, relojes e infraestructura como los medidores de servicios y termostatos.” (p. 19)

Existen diferentes maneras en las que las redes pueden clasificarse:

Por alcance:

- Red de área personal (PAN)
- Red de área local (LAN)
- Red de área amplia (WAN)

Por topología física:

- Anillo
- Estrella
- Malla

Por direccionalidad de datos:

- Unidireccional
- Semidúplex
- Dúplex

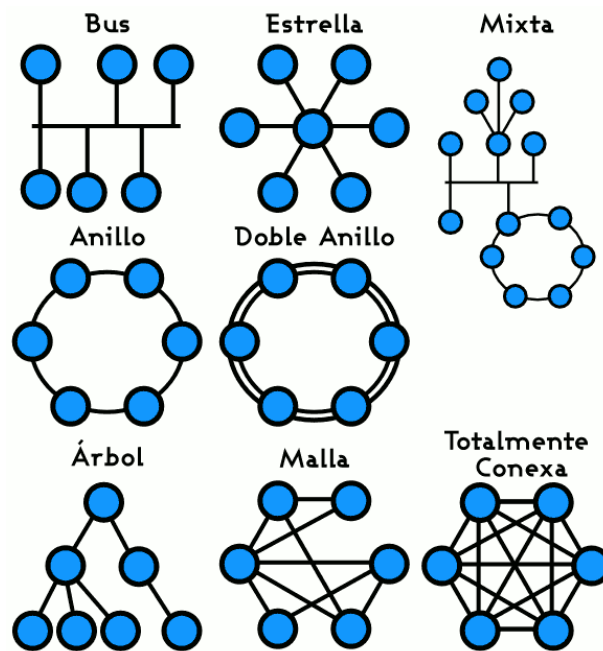
Una red en anillo, los datos viajan en una sola dirección, es decir cada nodo envía la información al nodo siguiente, este tipo de red reduce la cantidad de cableado necesario

para formar la red, sin embargo, si alguno de los nodos falla la comunicación se ve interrumpida.

Una red en estrella es aquella en la que todos los dispositivos se comunican hacia un coordinador o nodo central, de esta manera cuando se agrega un dispositivo no es necesario cambiar la estructura existente y siempre que el nodo central este funcional se puede remover otros nodos. En esta estructura todos los mensajes deben pasar por el nodo central quien es el que lo redirige hacia el dispositivo destino de ahí su nombre de coordinador.

Una red en malla es como su nombre sugiere una topología en la cual todos los nodos se conectan entre sí, de esta manera existen diferentes caminos por el cual viaja la información, de esta forma el mensaje siempre llegará a su destino sin importar si un nodo se retira de la red mientras la red esté cerrada por algún otro nodo. En esta forma no se requiere de un nodo central.

Figura 9 Topología de Redes



Fuente:(Yearofthedragon, 2019)

2.6.4 Xbee

Los Xbee son unos pequeños dispositivos capaces de establecer una red inalámbrica entre ellos de una manera sencilla, pueden ser configurados de diferentes maneras y son compatibles con varios dispositivos. Existen varios modelos según sean las necesidades y son de un precio accesible.

Existen dos series de modelos de Xbee llamados Serie 1 y Serie 2, la serie 1 fueron los primeros módulos en salir al mercado, entre sus ventajas esta que no necesitan ser configurados y pueden trabajar en forma de punto a punto o punto – multipunto.

La Serie 2 es el modelo más reciente la cual cuentan con más opciones de configuración, pero esto implica que se debe de tener conocimiento de estas funcionalidades, además estos permiten funcionar con una red tipo malla.

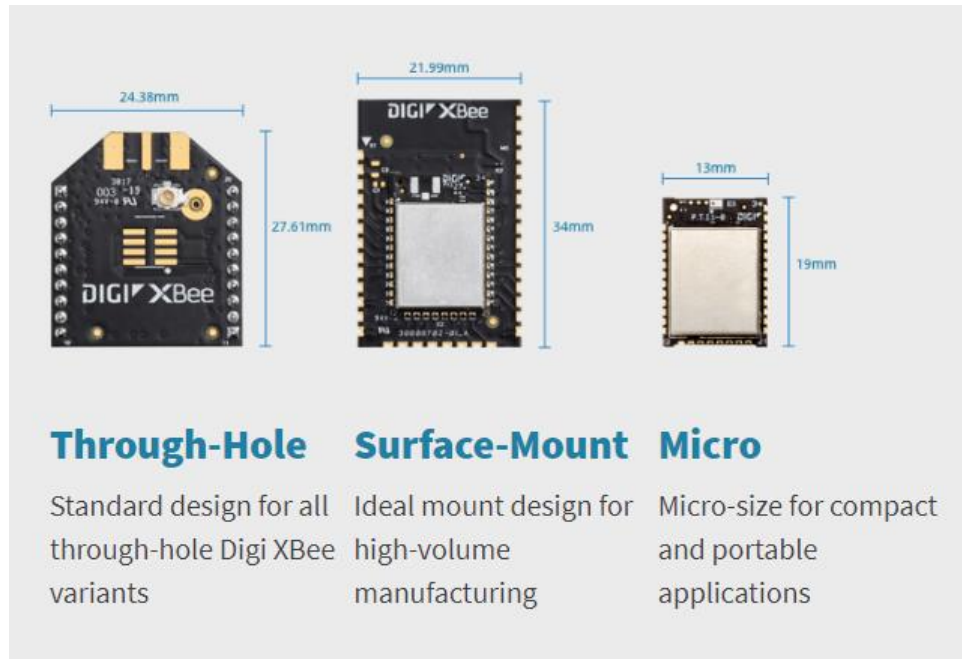
Ambas series cuentan además con diferentes opciones o características según las necesidades. Cada uno de estos puede ser utilizado con diferentes tipos de antena, como lo son antena tipo chip, antena de cable, con conector u.FI y con conector RPSMA, cada uno de estas opciones es un chip diferente por lo que es necesario conocer cual tipo de antena es la más conveniente para el uso que se le dará.

Además, existen dos versiones la llamada regular y la pro, ambas son iguales físicamente, pero difieren en potencia, la versión Pro permite hasta una milla en línea de vista, pero esto implica mayor consumo de energía, se pueden combinar modelos pro con los regulares en una misma red sin problema.

Existen también algunos modelos que trabajan a distintas frecuencias los modelos comunes operan a 2.4GHz, pero se encuentran disponibles modelos que funcionan a 900MHz lo cual permite un alcance de hasta veinticuatro millas en línea vista con una antena de alta ganancia y mayor penetración de la señal debido a su menor frecuencia, no obstante, estos módulos no están permitidos en algunos países debido a que este espectro se encuentra reservado.

Según lo que se requiere existen formas diferentes que se pueden comprar por encargo al fabricante, mostrados a continuación los diferentes tamaños de los chips.

Figura 10 Modelos Xbee



Fuente: (Digi, 2019)

2.6.5 Bluetooth

Bluetooth es un protocolo de comunicación inalámbrica de corto alcance que permite el envío de diferentes tipos de datos. Su nombre proviene del Rey noruego Harald Blåtand debido a que este unificó a las tribus de su país, algo similar pretendía esta tecnología al unir varios dispositivos bajo este estándar.

Normalmente el uso de esta tecnología está asociada a los teléfonos celulares ya que fueron los primeros en incluirlo, sin embargo, dispositivos como auriculares, impresoras, teclados y ratones se comunican utilizando este protocolo.

Este estándar de comunicación es muy popular debido a su bajo costo, bajo consumo de energía y la facilidad para establecer una red, pero su mayor desventaja es que es de poco alcance, de un máximo de cien metros.

Con el paso del tiempo se han hecho diferentes mejoras a este protocolo, desde 1994 con la versión 1.0 hasta el año 2019 con la versión 5.1 la cual incluye una mejora significativa en la transmisión de datos y de consumo de energía además de permitir conocer la ubicación de un dispositivo hasta unos centímetros de precisión.

Figura 11 Conectividad Bluetooth



Fuente: (Bluetooth, 2019)

2.6.6 Wifi

El wifi es un protocolo de red inalámbrica que permite conectar dispositivos entre sí o al Internet, su nombre proviene del inglés Wireless Fidelity o fidelidad inalámbrica. Este protocolo se encuentra bajo los estándares IEEE 802.11, este trabajo al igual que la tecnología bluetooth a 2.4 GHz, aunque recientemente también es posible transmitir a 5 GHz con algunos dispositivos capaces de funcionar a esta frecuencia para así reducir las posibles interferencias con otras tecnologías.

Las redes wifi deben contar con un enrutador el cual es el que dirige el tráfico de datos de los dispositivos hacia el internet, esta red está diseñada para trabajar a un corto alcance de un máximo de cien metros, pero permite mayores velocidades que otras tecnologías similares.

Figura 12 Conexión Wifi



Fuente: (Cspire, 2019)

2.6.7 Antenas

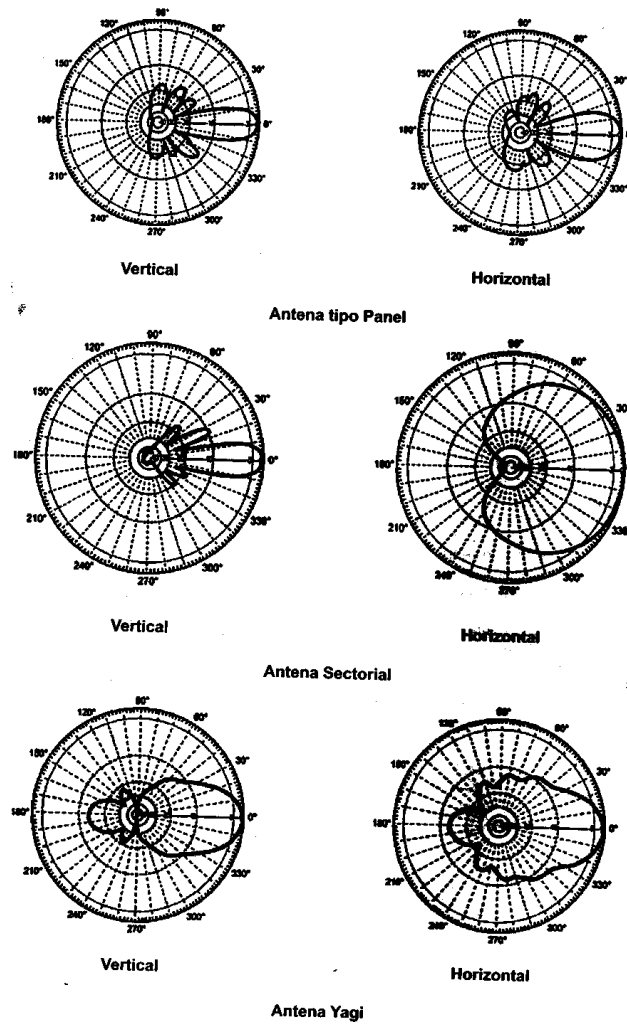
Una antena es dispositivo conductor metálico que permite recibir o transmitir ondas de radio, las antenas dependen de la relación entre sus dimensiones y la longitud de onda de la señal que se va a recibir o transmitir, además de su ubicación física.

Además, como indica (Redes Inalámbricas en los Países en Desarrollo, 2013)“Las antenas son dispositivos pasivos. No pueden añadirle potencia a la señal, sino sólo enfocarla en un área en particular.” La forma en la que una antena emite potencia a su alrededor se le conoce como patrón de radiación, algunos tipos irradian en todas las direcciones mientras solo la envían hacia un punto en específico como lo son las antenas parabólicas.

Hay que mencionar que la antena recibe la señal de la misma manera en que la envía, es decir que, para dos antenas, aunque sean distintas la potencia que recibe a un valor determinado es igual que la que envía a este mismo valor. Por lo que para obtener el máximo de lo transmitido se debe tomar en cuenta la orientación de las antenas y sus patrones de radiación.

En la siguiente figura se observan las diferencias en los patrones de radiación según el tipo de antena, tanto en el plano vertical como horizontal.

Figura 13 Ejemplos Patrones de Radiación



Fuente: (Redes Inalambricas e Internet, 2014)

Un parámetro importante de una antena es la ganancia que se define como: “La relación entre la intensidad de campo que produce una antena en un punto determinado, y la intensidad de campo que produce una antena omnidireccional (llamada isotrópica), en el mismo punto y en las mismas condiciones.” (Ruesca, 2015)

Se debe aclarar que no existe una antena perfecta para una aplicación, siempre se debe tomar en cuenta los diferentes parámetros o características de estas para elegir la que más se adapte a los requerimientos, se debe llegar a un balance entre alcanzar una gran distancia y cubrir más área.

Existen diferentes características que deben tomarse en cuenta a la hora de elegir una antena:

- Ganancia
- Patrón de radiación
- Eficiencia
- Directividad

Las antenas pueden clasificarse en diferentes tipos como:

- Antenas Dipolo
- Antenas Yagi
- Antenas de Panel Plano
- Antenas Parabólicas

Figura 14 Antena Dipolo



Fuente: (CrCibernetica, 2018)

CAPITULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1 Tipo de Investigación

Hernandez Sampieri et al., 2014 define una investigación como: “Un conjunto de procesos sistemáticos, críticos y empíricos que se aplican al estudio de un fenómeno o problema”. La investigación al ser un proceso sistemático conlleva una serie de etapas que deben seguirse según su clasificación los cuales serán detallados a continuación.

3.1.1 Enfoque de la investigación

Distintos autores utilizan términos como enfoque, modelo o tipo de investigación de manera similar para clasificar un trabajo de investigación, ya que no existe una sola manera de encasillar un trabajo y normalmente siguen estrategias combinadas.

Explica (Muñoz, 2011) que la clasificación de una tesis de acuerdo al origen de la investigación es una de las más utilizadas ya que esta atiende a la motivación que origina al desarrollo de la investigación, independientemente de la metodología a seguir, por ejemplo, el autor cita dentro de las motivaciones, el afán de conocer más, aplicar el conocimiento para ayudar a la comunidad o elevar el nivel de conocimiento de una región.

Una investigación básica es definida por (Muñoz,2011) como “Aquellos trabajos de investigación cuyo interés se centra en obtener conocimiento sólo por el hecho de investigar la realidad, sin que se persigan fines utilitarios” , también agrega que existe un segundo tipo llamada investigación aplicada fundamental que explica como: “Se caracteriza por aplicar los conocimientos que surgen de la investigación pura para

resolver problemas de carácter práctico, empírico y tecnológico para el avance y beneficio de los sectores productivos de bienes y servicios de la sociedad.”

Por último, Muñoz indica un tercer tipo de clasificación llamada de investigación tecnológica de la cual explica que “aplican un conjunto de técnicas, conocimientos y procesos, que sirven para diseñar y construir objetos que ayudarán a satisfacer las necesidades o los deseos de la sociedad.” Además, agrega que su propósito es mejorar la calidad de vida de la sociedad utilizando el conocimiento y los avances presentes en las disciplinas como la ciencia aplicada y las ingenierías.

Por lo tanto, se puede clasificar esta investigación como una del tipo tecnológica ya que busca aplicar los avances de la microelectrónica y el Internet de las Cosas para diseñar y construir un instrumento que permita mejorar la calidad de vida de un sector importante de la población como lo son los cuerpos de rescate.

3.1.2 Dimensión Temporal

La dimensión temporal se refiere al momento o los puntos en el tiempo en el cual se recolectarán datos. Hernandez Sampieri et al., 2014, clasifica la investigación en dos: transversales y longitudinales.

Las investigaciones transversales son aquella en las cuales se recolectan los datos en una sola ocasión. “Su propósito es describir variables y analizar su incidencia e interrelación en un momento dado. Es como “tomar una fotografía” de algo que sucede.” (Hernández Sampieri et al., 2014, p.154).

Una investigación evolutiva o longitudinal es aquella en la cual el autor desea analizar el cambio con el paso del tiempo de algunas variables o de la relación entre ellas.

“Recolectan datos en diferentes momentos o periodos para hacer inferencias respecto al cambio, sus determinantes y consecuencias. Tales puntos o periodos generalmente se especifican de antemano.” (Hernández Sampieri et al., 2014, p.159).

Según las definiciones antes mencionadas se clasifica esta investigación como una del tipo evolutiva ya que se hará un análisis en varios puntos del tiempo de los parámetros definidos, debido a que se está haciendo una exploración de tecnologías y es necesario realizar una comparación entre las diferentes etapas de implementación.

3.1.3 Marco

El marco de la investigación se define como el alcance o el impacto que esta tendrá a su alrededor, y se clasifica en tres niveles, mega, macro y micro.

- **Mega:** El nivel mega se refiere a los sistemas de Internet de las Cosas enfocados en datos biométricos, en su análisis para fines médicos y en su aplicación para mejorar la calidad de vida de la sociedad.
- **Macro:** El nivel macro hace énfasis en el uso de esta tecnología para almacenar, procesar y analizar datos médicos en tiempo real de miembros de equipos de rescate en emergencias en Costa Rica.
- **Micro:** Este nivel indica al proceso específico que abarcará la investigación, que es la transmisión de datos utilizando micro electrónica,

asegurando que estos permitan una pronta respuesta en caso de requerir ayuda el individuo.

3.1.4 Naturaleza

Según el enfoque de la investigación, (Hernandez Sampieri et al., 2014) las clasifica en dos: cuantitativas y cualitativas las cuales se definen a continuación.

El enfoque cuantitativo es secuencial y probatorio. Cada etapa precede a la siguiente y no podemos “brincar” o eludir pasos. El orden es riguroso, aunque desde luego, podemos redefinir alguna fase. Parte de una idea que va acotándose y, una vez delimitada, se derivan objetivos y preguntas de investigación, se revisa la literatura y se construye un marco o una perspectiva teórica. (Sampieri, 2014, pág. 4)

El enfoque cualitativo se define como:

El enfoque cualitativo también se guía por áreas o temas significativos de investigación. Sin embargo, en lugar de que la claridad sobre las preguntas de investigación e hipótesis preceda a la recolección y el análisis de los datos, los estudios cualitativos pueden desarrollar preguntas e hipótesis antes, durante o después de la recolección y el análisis de los datos. Con frecuencia, estas actividades sirven, primero, para descubrir cuáles son las preguntas de investigación más importantes; y después, para perfeccionarlas y responderlas. (Sampieri, 2014, pág. 7)

Basado en las anteriores definiciones se concluye que la investigación tiene un enfoque del tipo cualitativo ya que durante el desarrollo del prototipo se desarrollaran diferentes hipótesis y preguntas basadas en los resultados obtenidos durante la misma para así lograr los objetivos planteados.

3.2 Fuentes de Información

Se define una fuente de información a los distintos tipos de documentos de los cuales se puede obtener información relevante a la investigación.

3.2.1 Fuentes Primarias

“Las referencias o fuentes primarias proporcionan datos de primera mano, pues se trata de documentos que incluyen los resultados de los estudios correspondientes. Ejemplos de fuentes primarias son: libros, antologías, artículos de publicaciones periódicas”

(Sampieri, 2014, pág. 61)

En esta investigación el uso de fuentes primarias proviene en su mayoría de libros referentes a los temas de comunicación inalámbrica y foros o revistas que contengan información referente al Internet de las Cosas.

3.2.2 Fuentes Secundarias

“Es aquella que toma sus contenidos de las fuentes primarias para su interpretación, complemento, corrección o refutación. La investigación que utiliza información de segunda mano tiene la ventaja de que está más documentada, pues toma varias fuentes para complementar y se apoya en la seriedad metodológica.” (Razo, 2011, pág. 226)

Dentro de estas fuentes de información se incluyen los ensayos, las tesis y las antologías.

3.2.3 Sujetos de Información

Los sujetos de información son aquellos que se encuentran directamente involucrados o impactados con el desarrollo de la investigación. Estos sujetos pueden ser personas con conocimiento técnico en el área o bien miembros del público meta los cuales serán los usuarios del prototipo. Para la realización de esta investigación los sujetos de información identificados corresponden al encargado del proyecto, un médico especialista y un miembro de un equipo de atención de emergencias.

3.3 Técnicas y Herramientas

La recolección de datos se refiere al uso de diferentes técnicas y herramientas que pueden utilizarse para recopilar y analizar información relevante a la investigación.

(Rojas, 2011) Define las técnicas como: “las operaciones, procedimientos o actividades de investigación, por ejemplo, la observación y la entrevista.”, también agrega que los instrumentos “son los elementos o materiales que permiten la ejecución o aplicación de las técnicas, como sería el cuestionario en la técnica de la encuesta.”

En esta investigación se aplicarán diferentes técnicas e instrumentos para la recolección de información valiosa, como lo son las entrevistas, los cuestionarios entre otras que serán detalladas en las siguientes secciones.

3.3.1 Entrevista

Las entrevistas son una forma de recabar información de forma verbal, a través de una serie de preguntas preparadas por el investigador, destinada a los potenciales usuarios del prototipo a diseñar.

“Este sistema se emplea para la recopilación de información, cara a cara, para captar tanto las opiniones como los criterios personales, formas de pensar y emociones de los entrevistados.” (Razo, 2011, pág. 119)

Para la presente investigación se realizará una entrevista para determinar los parámetros iniciales de diseño es decir las necesidades del usuario final la cual se encuentra en el anexo 01, al igual que se consultarán detalles médicos con un cardiólogo para determinar la funcionalidad necesaria para cumplir con el fin de salvar vidas.

3.3.2 Experimentación

“Es el estudio de un fenómeno sometido a condiciones especiales conforme a las necesidades del investigador. Durante la experimentación, el fenómeno bajo estudio es susceptible de sufrir modificaciones en sus variables, con el propósito de estudiar sus conductas, comportamientos y características.” (Razo, 2011, pág. 119)

Durante esta investigación la experimentación es una de las partes más importantes del diseño ya que se tratan temas aun poco explorados donde se requiere realizar etapas progresivas hasta lograr los parámetros mínimos establecidos.

3.4 Variables de la Investigación

Una parte importante de la definición de una investigación es la definición de las variables a medir durante esta, ya que a partir de estas podemos determinar la relación entre ellas y a su vez estas forman parte de la hipótesis.

“Entendemos por variable cada una de las características o propiedades del objeto estudiado en una investigación, las cuales pueden tomar diferentes valores. El sentido de valor es amplio, cubre no sólo lo cuantitativo, sino también lo cualitativo.” (Rojas, 2011, p. 59)

“El concepto de variable se aplica a personas u otros seres vivos, objetos, hechos y fenómenos, los cuales adquieren diversos valores respecto de la variable referida. Por ejemplo, la inteligencia, ya que es posible clasificar a las personas de acuerdo con su inteligencia; no todas las personas la poseen en el mismo nivel, es decir, varían en inteligencia.” (Sampieri, 2014, pág. 105)

Según la definición anterior de una variable se adjunta una tabla con las variables a medir en esta investigación.

Tabla 3 Variables de la Investigación

Objetivo Especifico	Variable	Definición
Determinar los factores físicos a monitorear medicamente necesarios para prevenir los arrestos cardiacos en los usuarios.	Factores físicos de interés	Determinar cuáles datos se requieren enviar para prevenir y detectar problemas cardíacos.
Determinar los parámetros de importancia para la transmisión de datos biométricos.	Parámetros de Importancia	Requerimientos mínimos para cumplir requerimientos del cliente.
Identificar los factores físicos externos que pueden interferir directa o indirectamente con la comunicación.	Factores físicos externos	Factores externos que no se pueden controlar que afectan directamente el funcionamiento del prototipo.
Recopilar recomendaciones de dimensiones físicas del prototipo.	Dimensiones físicas	Dimensiones físicas del prototipo que permiten la correcta ejecución de las labores del usuario.
Comparar protocolos de comunicación con los parámetros definidos.	Comparación de parámetros	Comparación de características ideales de los protocolos con respecto a los parámetros definidos por el cliente.
Diseñar una red de comunicación que permita identificar múltiples usuarios.	Diseño de un prototipo	Diseño físico y programación de la red de comunicación.
Construir el prototipo que cumpla con los parámetros de comunicación, alimentación y que permita la identificación de múltiples usuarios.	Implementación del prototipo	Implementación y demostración del funcionamiento del prototipo.
Documentar las características y limitaciones de transmisión del prototipo implementado.	Valores de rango, ruido y velocidad máxima de transmisión.	Documentar las características de la red, y los valores óptimos de funcionamiento.
Evaluar costo beneficio (costo de inversión).	Beneficios del Proyecto	Evaluación de los beneficios del uso del proyecto.

Fuente: Elaborada por el Autor

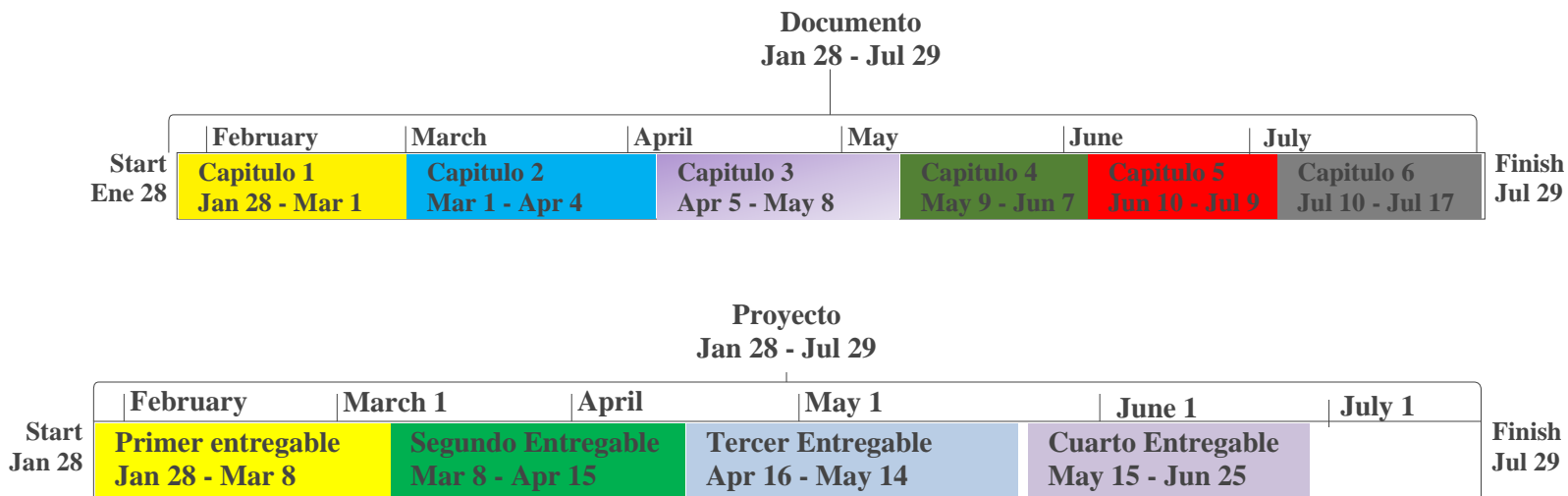
3.5 Diseño de la Investigación

Equivale a la concepción de un plan que cubra todo el proceso de investigación, en sus diversas etapas y actividades comprendidas, desde que se delimita el tema y se formula el problema hasta cuando se determinan las técnicas, instrumentos y criterios de análisis.

El diseño cubre una franja básica del plan general, que se orienta a describir de manera concreta, según cada investigación, las estrategias y procedimientos para abordar el estudio del objeto, a luz de las teorías del marco correspondiente. En otras palabras, se trata de una “serie de actividades sucesivas y organizadas, que deben adaptarse a las particularidades de cada investigación, y que nos indican las pruebas a efectuar y las técnicas a utilizar para recolectar y analizar los datos” (Sabino, 2000).

A continuación, se incluye una línea del tiempo, indicando las principales etapas de la investigación y el diseño del prototipo además de incluir su ubicación en el tiempo.

Figura 15 Escalas de tiempo planteadas



Fuente: Elaborado por el autor

CAPÍTULO 4
SITUACIÓN ACTUAL

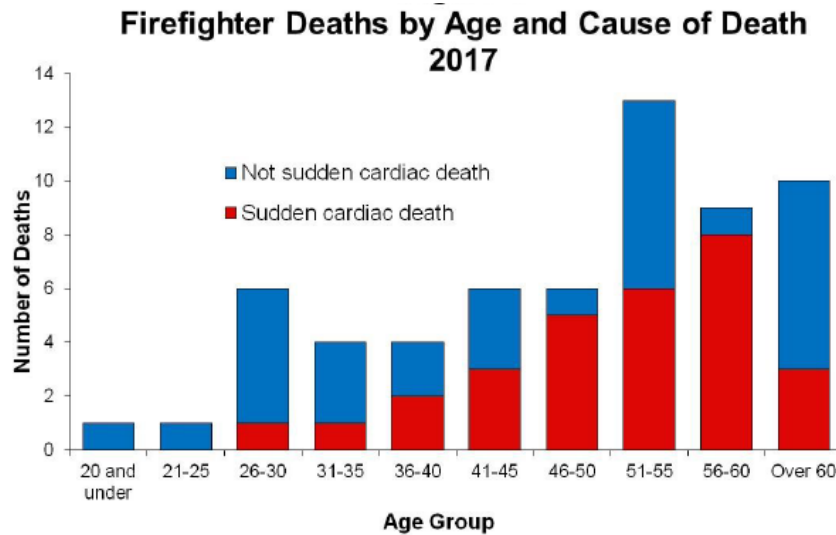
4.1 Descripción de la Situación Actual

Según un reporte brindado por la NFPA (National Fire Protection Association, Asociación Nacional de Protección contra Incendios) (Rita F. Fahy, 2017) las enfermedades cardiovasculares han sido responsables consistentemente de la mayor parte de muerte de bomberos en acción desde 1977. En el año 2003, se lanzó una campaña para la prevención de estas enfermedades en todo el personal en ese país, sin embargo, en el 2017, de un total de 60 muertes, 29 fueron causadas por problema cardiovasculares.

Desde 1977 y hasta 1986 un promedio de 60 bomberos murió por estas causas, durante los años 90 esta cifra correspondió a 44 y en la última década ha descendido a 33, aun con este descenso en números los problemas de miocardio siguen siendo la causa número uno de muerte en acción.

En la siguiente figura se muestra la distribución por edades de los fallecidos por problemas cardiacos en los Estados Unidos de América durante el año 2017.

Figura 16 Muertes según edad y causa en los Estados Unidos durante el año 2017



Fuente: (Rita F. Fahy, 2017)

Un artículo publicado en 2018 (Smith, 2018) analizó en mayor profundidad la relación entre las enfermedades cardiovasculares y la actividad que realizan los bomberos, durante este estudio se observó que el 33% de las muertes se dio durante la atención de emergencias a pesar de que sólo el 1% de la actividad anual se destina a la atención de incendios, del total de muertes en el 80% de los casos los afectados sufrían de enfermedades coronarias también conocidas como bloqueo de las arterias o sufrían de miocardiopatía dilatada.

Durante el 2017, (Amanda L. Hunter, 2017) analizó una muestra de 19 bomberos en los Estados Unidos para comprender mejor las causas que llevan a estos individuos a desarrollar estas enfermedades del miocardio. Se concluyó que durante la atención de estos siniestros el aumento de la temperatura corporal, la demanda de oxígeno y la

pérdida de peso provocaron un aumento de la formación de trombos y la activación de plaquetas, las cuales provocan una disminución del flujo de sangre hacia el corazón, razones que explican la relación entre la actividad y las enfermedades cardiovasculares observadas en los estudios.

En México se analizó una muestra en la Ciudad de Jalisco (José Miguel Antuan Melendez López, 2018) para determinar los niveles de fatiga, uno de los factores que es más fácil de controlar en las labores de atención de emergencias, en el estudio se encontró niveles de aproximadamente un 64% de fatiga inaceptable, por encima de los valores observados en otros países más desarrollados donde se tienen más recursos para la prevención del mismo.

En el caso de Costa Rica no se cuenta con estadísticas detalladas de las muertes causadas por esta enfermedad, ni se lleva un control médico de los miembros de los equipos de primera respuesta con el cual se pueda determinar cuál es la afectación de las sobrecargas en la salud de estos, aunque si existen casos conocidos de muertes causadas por fallos cardiacos.

4.2 Obtención de datos

Debido a que este proyecto se encuentra enfocado en brindar una solución a un problema de salud recurrente en los miembros de los equipos de primera respuesta, se decidió realizar una entrevista semiestructurada a la persona que expuso su problema ante los miembros responsables del desarrollo de este diseño. El fin de la entrevista es el de comprender la justificación del proyecto, la situación actual de estas organizaciones, así

como documentar los requerimientos mínimos y las limitaciones las cuales afectan directamente el diseño y que podrían entorpecer las labores de rescate.

4.2.1 Entrevista

En esta investigación se aplicó una entrevista semiestructurada dirigida al señor Guido Mora Vargas, el cual fue quien se acercó a la compañía en busca de ayuda para el problema que detectó, él cuenta con veinte años de experiencia en el Cuerpo de Bomberos de Costa Rica donde ha cumplido labores desde maquinista hasta estar a cargo de la salud ocupacional en la academia de bomberos, donde fue testigo de diferentes casos en los cuales el sistema pudo evitar una tragedia, además de conocer de primera mano los requisitos con las cuales se debe cumplir para tener un prototipo que no interfiera con las labores diarias. La entrevista completa puede encontrarse en el anexo número uno, de la misma se extrae la principal información relevante a la etapa de comunicación inalámbrica y se expone seguidamente.

Existen tres casos de muertes por ataques cardiacos conocidos por el señor Mora Vargas de primera mano, los cuales fueron los que lo llevaron a presentar el problema a la compañía debido a que no existe actualmente un sistema con el que se lleve un control de salud antes, durante y después de las jornadas laborales. Al presente, la jornada laboral del cuerpo de bomberos de Costa Rica no se está rigiendo con los estándares internacionales, al no tener un registro de las incapacidades y de otros problemas médicos que sufren los miembros de los equipos es complejo reducir las cargas laborales que a su vez son causantes de problemas más graves.

El objetivo del sistema es el de obtener los datos biométricos de los individuos en tiempo real para permitir el monitoreo remoto y detectar problemas de salud antes de que se conviertan en algo más peligroso, como lo podría ser un paro o ataque cardíaco. Para esto se determinaron algunos parámetros corporales que deben ser leídos, al igual que la cobertura mínima que debe tener los dispositivos a utilizar en el prototipo con respecto al receptor, ya que este se desea incluir dentro de los vehículos de rescate.

Además, se afirmó que en estos momentos no existen equipos capaces de prevenir accidentes médicos para ningún equipo de emergencias, y que el objetivo principal del sistema es el de ayudar a evitar lesiones o muertes, no el de documentar cada actividad de los individuos para así resguardar la privacidad de estos, a pesar de que la información deba ser utilizada aún cuando no se encuentren en un turno activo.

Como parte de las limitaciones del proyecto se enfatizó en que éste no debe interferir en las labores de emergencia, ya sea por peso, dimensiones o bien que el dispositivo requiera pasos complejos para integrarlo al equipo de protección actual, por lo que se debe pensar en soluciones pequeñas y compactas que puedan introducirse en un tipo de chaleco liviano y cómodo.

En la siguiente tabla se resumen los requerimientos y limitaciones extraídas de la entrevista con el fin de generar una lista con la cual se evaluarán las características del prototipo con respecto a lo esperado por el señor Mora Vargas.

Tabla 4 Resumen Requerimientos Mínimos

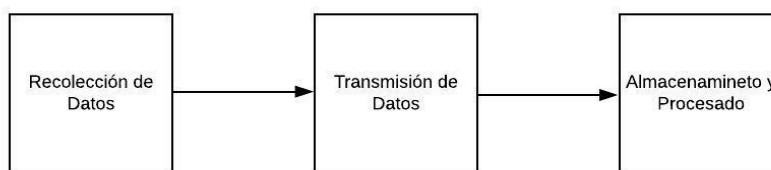
Requerimientos	Detalle
Sensores	Oximetría Frecuencia Cardíaca Frecuencia Respiratoria Hidratación Temperatura Corporal
Cobertura	100 metros interiores/exteriores
Dimensiones	Lo más compacto posible, capaz de ser portado en algo similar a un chaleco. Que no interfiera en las labores.
Tecnología	Libre, evitar el uso de tecnologías que requieran comprar un servicio a terceros como lo es tecnología celular (3G, 4G), internet inalámbrico, espectro de radio.
Otros	Permitir el envío de alarmas. Funcionar en tiempo real. Identificar cada dispositivo.

Fuente: Elaborado por el autor

4.3 Propuesta

Como se observa en la Figura 16, a partir de la entrevista realizada se puede determinar un diagrama de flujo general para el producto completo, el cual se divide en tres etapas claramente definidas.

Figura 17 Diagrama de Flujo General

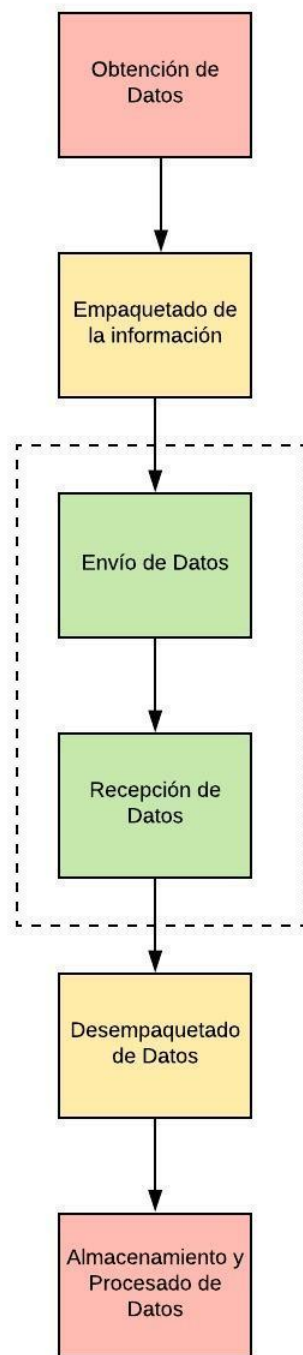


Fuente: Elaborado por el autor

Según se especificó en los alcances de este proyecto, se desarrollará el prototipo enfocado en la etapa de la transmisión de datos dentro de un sistema..., a continuación, se detalla en un diagrama las etapas requeridas para cumplir con los requerimientos definidos durante la entrevista, al igual que las condiciones que deben coordinarse en conjunto con las otras fases para asegurar una correcta integración.

En la Figura 17 se puede observar en detalle las etapas con las que deberá contar el proyecto y la interacción entre ellas, las etapas señaladas en rojo son las totalmente independientes a la etapa de transmisión, mientras que las amarillas indican las que requieren una coordinación entre las diferentes secciones para asegurar un correcto enlace, por último, las marcadas en un recuadro apuntan al enfoque de este proyecto.

Figura 18 Diagrama de Flujo de Etapas



Fuente: Elaborado por el autor

En las siguientes figuras se ilustran posibles soluciones de la integración de los sistemas propuestos, en la Figura 19 se observa que se desea incluir los sensores, el micro controlador y el transmisor inalámbrico junto con el equipo de protección actualmente utilizado, intentando mantener al mínimo la adición de elementos sin perder de vista la comodidad del usuario y que de ninguna manera haya interferencia con la realización normal de sus labores.

Figura 19 Propuesta de integración junto equipo de protección.



Fuente: Elaborado por el autor

En la Figura 20 se detalla la propuesta de sistema receptor, la cual se integrará a la unidad móvil que se utiliza en la atención de emergencias, en esta se propone agregar el receptor inalámbrico junto a un computador o tableta que permita almacenar y procesar los datos, de igual manera que cuente con una forma de desplegar los datos recibidos en el sitio o remotamente desde una central o puesto de control. En esta etapa no se cuenta con tantas limitaciones de tamaño o de posicionamiento de los elementos requeridos debido a que éste no será portado por ninguna persona y se mantendrá estático en el camión.

Figura 20 Propuesta de sistema receptor



Fuente: Elaborado por el autor

4.4 Análisis de mercado

Según los requerimientos determinados durante la entrevista se estudiaron diferentes soluciones actualmente disponibles en el mercado, comparando las características que ofrecen al igual que el costo de estos.

La NIST en los Estados Unidos durante el año 2015, reconoció la necesidad de contar con un sistema portable para los equipos de emergencia con el cual se pueda monitorear la actividad de las personas y del ambiente, teniendo en cuenta que esta solución fue solo una propuesta para los equipos estadounidenses y que aún no se encuentra disponible, se conocen detalles de su funcionamiento o de sus características, este sólo se menciona en esta sección ya que no se puede realizar un análisis real para determinar su viabilidad.

Además de esta propuesta, no existe aún un sistema creado para cumplir estas necesidades ya que los productos desarrollados hasta el momento se enfocan en análisis de deportistas por lo que se seleccionaron tres de las marcas más reconocidas en este ámbito y de sus modelos más capaces que serán explicados a continuación.

El primer análisis se realizó con la marca Catapult Sports, marca que trabajo con distintos equipos y deportes en varios países del mundo, su especialidad es el monitoreo de la actividad de deportistas de alto rendimiento, cuentan con distintos productos con diferentes rangos de precios. Sus mejores equipos permiten obtener datos de frecuencia cardiaca, calorías quemadas, desplazamiento, velocidad máxima y promedio, todo esto utilizando monitores con GPS/GLONASS o con un conjunto de sensores instalados en los estadios, además de acelerómetros y giroscopios. Estos cuentan con alcance de 250m

y se pueden monitorear hasta 100 deportistas simultáneamente, sin embargo, requieren de un equipo de especialistas para analizar los datos y tiene un costo aproximado de \$100,000 por equipo, además de que se necesita un sistema propietario para almacenar los datos.

Figura 21 Catapult Sports OptimEye S5 y ClearSky T6



Fuente: (Sports, 2019)

Como segundo producto se encuentra la marca Polar, la cual fabrica relojes inteligentes que cuentan con una gran gama de modelos, su modelo Vantage V, cuenta con una cantidad significativa de valores que se miden, al igual que la marca Garmin ofrece su modelo Forerunner 945, ambos con un precio de alrededor de \$500. Los dos productos cumplen con la mayoría de los requerimientos determinados a un costo mucho menor que las soluciones de Catapult Sports, pero requieren ser emparejados con un teléfono celular o un PC mediante tecnología bluetooth, y no permite que se generen alertas a otras

personas en tiempo real, adicionalmente se requiere una conexión a Internet para acceder a los datos desde otro dispositivo remoto. Estos dos productos son fáciles de configurar y no requieren de un equipo de especialistas para analizar los datos ni para colocar los sensores.

Figura 22 Polar Vantage V



Fuente: (Polar, 2019)

Figura 23 Garmin Forerunner 945



Fuente: (Garmin, 2019)

En la siguiente tabla se resumen las características más importantes de los dispositivos anteriormente mencionados, y sus hojas completas se encuentran en los anexos 02 y 03.

Tabla 5 Resumen Características Garmin, Polar, Catapult Sports

Características	Garmin	Polar	OptimEye S5	Clear Sky
Dimensiones	47mm x 47mm	46mm x 46mm	96mm x 52mm	55mm x 43mm
Peso	50 gramos	66 gramos	-	-
Cobertura	Requiere de un teléfono celular	Requiere de un teléfono celular	250 metros	Requiere instalación de receptores alrededor del lugar (12-15 receptores)
Duración Batería	10 horas hasta 2 semanas	40 horas hasta 7 días	5 horas	4 horas
Sensores	Barómetro Giroscopio Brújula Termómetro Oximetría Acelerómetro Pulso Cardíaco	Pulso Cardíaco Sueño Acelerómetros	Acelerómetros Magnetómetros Giroscopio Pulso Cardíaco	Acelerómetros Magnetómetros Giroscopio Pulso Cardíaco
Conectividad	Bluetooth + WiFi	Bluetooth	Bluetooth	Bluetooth
Cantidad máxima de dispositivos	1	1	100	120
Alertas	Sí, siempre que exista conexión a un celular	No	No	No
Precio	\$599.99	\$499.95	\$100000	\$100000

Fuente: Elaborado por el autor

Como se puede observar en la tabla 5, la oferta actual en el mercado de dispositivos biométricos se encuentra en un rango de precios superior a los \$500 por unidad, el producto de la marca Garmin es el más completo en cuanto a sensores se refiere, pero aun así no cuenta con todos los requisitos solicitados, y en todos los casos se requiere de una conexión a internet o bien a un teléfono celular para acceder a los datos.

Se puede inferir del análisis realizado que una solución a la medida es necesaria para poder cumplir con los requerimientos deseados por el señor Mora Vargas, ya que las opciones en el mercado tienen un precio elevado y a pesar de que algunas obtienen la mayoría de los datos solicitados siempre requieren de un dispositivo conectado a Internet, no generan alarmas o requieren de un equipo completo especializado para su configuración.

Es por estos motivos que se requiere diseñar una red de comunicación inalámbrica a la medida que se ajuste a los requerimientos mínimos determinados a un bajo costo y que sea capaz de funcionar en lugares sin acceso a Internet o señal celular permitiendo el envío de alarmas y el monitoreo de todos los miembros de los equipos de atención de emergencias.

CAPÍTULO 5

DISEÑO Y DESARROLLO DEL PROYECTO

5.1 Descripción de la propuesta

Según el análisis realizado de los capítulos anteriores en donde se realizaron entrevistas y un análisis de mercado, se concluyó que es necesario el diseño de una red inalámbrica a la medida que sea independiente de otros servicios (WiFi, 2G/3G/4G), ya que en caso de una emergencia las redes de uso común se saturan o pueden dejar de funcionar, lo que inhabilitaría al sistema.

Es por esto que se desarrolló una propuesta que consiste en el uso de módulos de comunicación inalámbrica en conjunto con un microprocesador para los transmisores y una computadora portátil para el receptor, de esta manera se puede realizar las pruebas y demostrar el funcionamiento según se requiera aun cuando las etapas previas y posteriores a esta, que no serán desarrolladas en este proyecto no se encuentren completas.

Durante el diseño de esta propuesta se simularon las condiciones de funcionamiento de la etapa de sensores, utilizando las herramientas disponibles para así obtener resultados cercanos a las condiciones sobre las cuales funciona, de la misma manera el formato con el cual se reciben los datos en la etapa de almacenamiento se ha coordinado con el fin de facilitar la integración de todas las etapas.

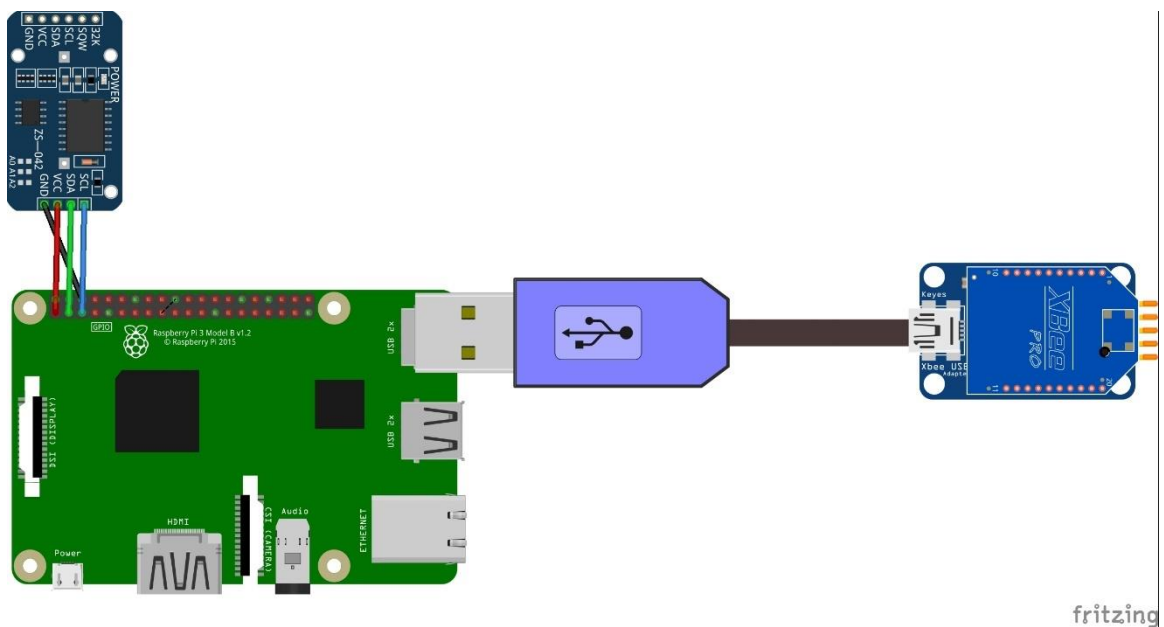
Durante el desarrollo de este capítulo se amplía la selección de componentes, protocolos de comunicación, configuración y programación, con el fin de explicar en detalle el porqué de la selección de estos y cómo se ajustan a los requerimientos definidos anteriormente.

5.2 Diseño del prototipo

Según el análisis realizado del problema planteado, se definieron algunos componentes para la realización de un primer prototipo con el fin de realizar pruebas de campo e identificar posibles áreas de mejora hacia el desarrollo del producto final. Es necesario disponer de un microprocesador que cuente con varias formas de comunicación, tanto cableada como inalámbrica, ya que se utilizarán distintos tipos de protocolos para enviar información de los sensores. Para el primer prototipo se acordó utilizar un sensor de temperatura, un microprocesador y una computadora para elaborar el intento inicial de comunicación.

A continuación, se detalla mediante un diagrama la conexión a realizarse:

Figura 24 Diagrama para primera prueba



Fuente: Elaborada por el autor

En esta etapa del prototipo se utilizaron el RTC DS3231 como sensor de temperatura para simplificar la extracción de información, ya que este se conecta a través del puerto I2C, durante esta prueba solo se usó un sensor ya que el enfoque es encontrar un microcontrolador y módulo idóneo que cumpla los requisitos para la transmisión inalámbrica de datos biométricos.

5.2.1 Microcontrolador Raspberry Pi

Se decidió utilizar un Raspberry Pi 3 B+ para realizar el primer prototipo, sin embargo, se migró el código realizado hacia un Raspberry Pi Zero Wireless para poder cumplir con los requerimientos de tamaño y de consumo, tomando en cuenta el criterio de portabilidad y comodidad que debe brindarse al usuario, para efectos de pruebas el Raspberry Pi 3 B+ es un equivalente para la realización de tests de transmisión.

Se contempló el uso del Arduino Pro Mini ya que este cuenta con características similares en cuanto a dimensiones y consumo de corriente, pero se desechó la idea debido a que éste requiere el uso de módulos adicionales de Bluetooth y WiFi. Además, el Raspberry Pi permite el almacenamiento de archivos de texto para monitorear sus funciones, la configuración como servidor y el acceso de manera remota a una interfaz gráfica, que su contraparte de Arduino no provee de manera amigable para el usuario.

En la siguiente tabla se detallan las características principales de los microcontroladores valorados para la realización del prototipo:

Tabla 6 Tabla Comparativa Microcontroladores Valorados

	Raspberry Pi 3 B+	Raspberry Pi Zero W	Arduino Pro Mini
Precio	\$35	\$10	\$12
Dimensiones	85.6mm x 56.5mm x17mm	30mm x 65mm x 5mm	18mm x 33mm
Peso	45g	9g	2g
Procesador	Cortex-A53 64-bit Quad Core	ARM1176JZF-S Single Core	Atmega328p
RAM	1Gb	512Mb	2Kb
WiFi	2.4GHz and 5GHz 802.11 b/g/n/ac	802.11n	-
Bluetooth	4.2, BLE	4.1	-
Puertos USB	4xUSB 2.0	micro & micro OTG	-
Consumo	1.13A	180mA	200mA
Sistemas Operativos	Linux, Android Things, Windows 10 IoT	Linux	-

Fuente: Elaborada por el autor

5.2.2 Módulos de comunicación inalámbrica Xbee

La transmisión de datos biométricos es una de las partes más críticas del proyecto, debido a que requiere ser independiente de algún servicio de un tercero, debe cumplir con al menos 100 metros de cobertura en interiores y permitir la conectividad de 100 usuarios simultáneos. Para esto fue necesario realizar una comparativa entre protocolos de comunicación existentes en el mercado, entre los cuales se tomó WiFi, Bluetooth y los módulos Xbee.

Dentro de estos protocolos se compararon parámetros como distancia máxima de cobertura, máxima velocidad de transferencia de datos, costo, dimensiones físicas y facilidad de configuración, entre otros.

A pesar de que las tecnologías más comunes para la transmisión de datos son las ampliamente conocidas Bluetooth y WiFi, estas tienen algunas limitantes para este proyecto, por ejemplo, su amplio uso implica que las frecuencias y canales que utilizan estos protocolos se encuentran en todas partes por lo que para que la información que se debe transmitir en este caso se debe competir con el espacio espectral de otros elementos, esto conlleva a que se tenga una menor cobertura y mayor cantidad de ruido.

Estas tecnologías además cuentan con cobertura limitada, por ejemplo, Bluetooth permite una conexión de alrededor de 100 metros al igual que WiFi, en condiciones ideales, esto es el máximo alcance posible, si se desea aumentar el alcance es necesario incrementar significativamente la potencia de transmisión o utilizar repetidores de señal, los cuales se venden por precios bastante elevados.

Es importante destacar que no se incluyeron para el análisis el uso de tecnologías de comunicación celular como 3G o GSM, debido a que para utilizar estos métodos se requiere contar con un proveedor de servicio, que implicaría negociar con una empresa externa costos adicionales de paquetes de datos, además que estos servicios no cuentan con cobertura en un 100% del país y se encuentran ocupados por los usuarios regulares de servicio telefónico, por la criticidad de la información que se requiere monitorear sería inaceptable que la transmisión falle durante una emergencia y negociar una preferencia sobre la banda que se requiere elevaría los costos.

En el análisis de una posible alternativa se halló los módulos de comunicación Xbee, estos dispositivos permiten realizar comunicaciones de datos a largo alcance en interiores a 100 metros y en exteriores hasta 3.2 kilómetros, incluso algunos de sus modelos permiten un rango de hasta 14 kilómetros. Estos dispositivos permiten realizar conexiones en 2 frecuencias según el modelo, 2.4GHz o 900MHz, los de menor frecuencia permiten un mayor alcance sacrificando velocidad de transferencia, sin embargo, para este prototipo se decidió utilizar el modelo a 2.4GHz debido a su menor precio y mayor facilidad para conseguir en el mercado local, cabe destacar que estos módulos requieren de algunos componentes adicionales para su configuración.

A pesar de que el modelo seleccionado utilice el espectro de frecuencias de 2.4GHz el cual es un rango no licenciado y se encuentra en uso por otras tecnologías anteriormente mencionadas, las herramientas de configuración de los módulos permite analizar los niveles de ruido para seleccionar los canales con menor interferencia y asegurar un buen funcionamiento. Además, el uso de una frecuencia de este tipo ofrece ventajas

adicionales como lo son evitar la compra de un espacio de radiofrecuencia dedicado, la gran cantidad de elementos compatibles con esta frecuencia como lo son las antenas, por este motivo y como será demostrado en las secciones posteriores de este documento estos son una opción viable y funcional para cumplir con los objetivos de este proyecto.

Una de las ventajas de estos módulos es que se venden en diferentes tamaños según su aplicación, para este prototipo se utilizó el modelo más grande ya que es el único que se encuentra en el país, sin embargo, este es portable y no impide ningún tipo de movilidad en el usuario. Los módulos también cuentan con modelos con diferentes tipos de antenas, algunos de estos permiten el uso de antenas uFl o RP-SMA, que son estándares de conectores, esto permite modificar la ganancia de las antenas y aumentar la distancia de transmisión, además de que al ser estándares se facilita la búsqueda de alternativas, incluso permite diseñar una antena que cumpla con la portabilidad y comodidad necesaria para el diseño de este proyecto.

En la siguiente tabla comparativa se puede visualizar los diferentes modelos de módulos XBee disponibles en el mercado.

Tabla 7 Comparativa Modelos Xbee

Xbee	Rango	Consumo	Frecuencia	Velocidad de Transferencia	Antena
XBee Pro 900 XSC U.FL	15 millas	256mA	900MHz	9.6kbps	Externa
XBee Pro 50mW U.FL Connection - Series 2	1 Milla	259mA	2.4GHz	250kbps	Externa

XBee Pro 900 XSC S3B Wire	28 Millas	214mA	900MHz	10/20 Kbps	Cable
XBee 2mW U.FL Connection - Series 2	200 pies	40mA	2.4GHz	250 Kbps	Externa

Fuente: Elaborada por el autor

Otra de las justificaciones para utilizar estos módulos es que permiten hasta 3 diferentes protocolos de comunicación, dentro de los cuales se encuentran ZigBee, DigiMesh y el 802.15.4. Esto posibilita configurar la red de comunicación según sea necesario, en el caso de este proyecto se utilizó la configuración DigiMesh debido a que habilita utilizar a los módulos como replicadores de señal, permitiendo así crear una malla de conexión multiplicando el alcance de máximo que se puede obtener, a diferencia de otras tecnologías donde esto no es posible de realizar o se requieren componentes adicionales.

Una de las principales ventajas es que estos dispositivos cuentan con un software que permite configurar todos sus parámetros desde un computador y un adaptador con conexión USB. Algunos de los parámetros que se pueden modificar son el protocolo de comunicación deseado, encriptar la transmisión con el protocolo AES 128 y el uso de bits de paridad para la verificación de integridad de información.

Esta facilidad de configuración, además de la amplia gama de opciones que existen en el mercado de estos módulos y que permiten obtener todos los requerimientos de alcance, consumo y portabilidad, fueron los que influyeron en la elección de estos componentes para la transmisión de datos.

5.2.3 Base de Datos

La base de datos que se utilizó es MongoDB, la cual es una base de tipo NoSQL, gratuita, que cuenta con una amplia cantidad de servicios. Esta base de datos se encuentra enfocada hacia los servicios de IoT (Internet de las Cosas), lo que la hace ideal para el proyecto.

Dentro las principales características es que es una base de datos del tipo NoSQL, lo que permite realizar cambios de la estructura de datos de una manera ágil, en las primeras etapas del proyecto se definieron algunos parámetros iniciales de medición, sin embargo, cabe la posibilidad de realizar cambios en etapas posteriores, debido a esto el uso del tipo tradicional de base de datos supondría un esfuerzo mayor al tener que rediseñar gran parte de esta.

Este tipo de base de datos, permite almacenar la información en diferentes formatos según sea conveniente, no requiere que se siga el formato de tablas del modelo tradicional SQL lo que ayuda a tener más versatilidad y opciones de manejo de datos en el proyecto. Es necesario agregar que la escalabilidad es un factor importante a la hora de escoger MongoDB, aunque aún no se cuenta con una gran cantidad de tráfico de información debido a que se trata de un prototipo, se debe considerar la cantidad de usuarios simultáneos que usarán el producto final, en este sentido, este tipo permite agregar servidores en paralelo para distribuir cargas de tráfico de una manera sencilla, a diferencia de una base de datos regular, donde la solución más simple sería migrar a un servidor con mayor capacidad.

Tabla 8 Tabla comparativa NoSQL vs SQL

SQL	NoSQL
Datos estructurados guardados en tablas	Datos no estructurados guardados en formato BSON – binary JSON
Requiere downtimes en algunos casos	Automático, no requiere interrupción
Utiliza tablas	Utiliza documentos
Esquemas definidos	Esquemas Cambiantes
Mayor velocidad para consultas constantes	Mejor manejo de grandes cantidades de datos

Fuente: Elaborada por el autor

5.2.4 Antenas

5.2.4.1 Tipos de Antenas

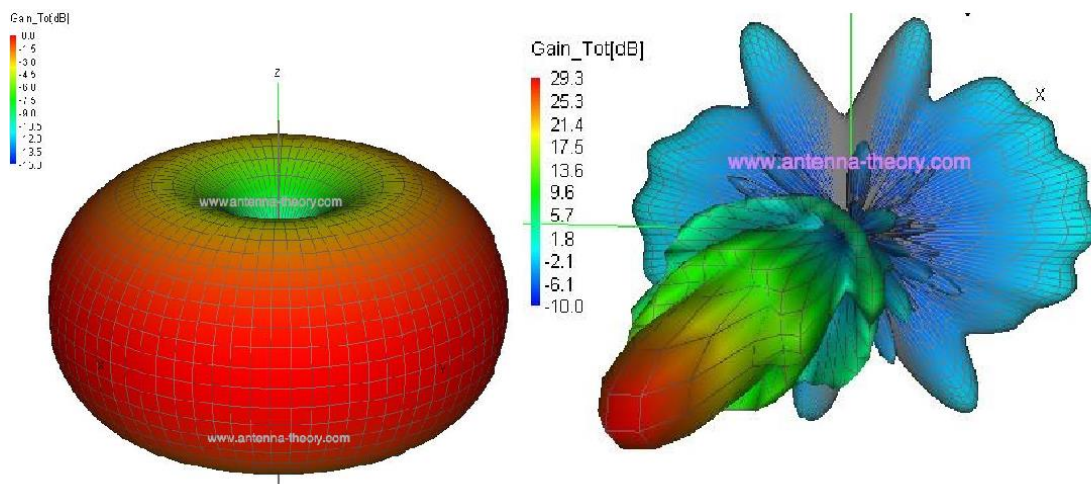
Como se definió anteriormente una antena es un elemento pasivo que no agrega ninguna potencia adicional a la señal que se desea transmitir, esta simplemente redirige la energía hacia el espacio. Se debe tomar en cuenta que las antenas tienen múltiples propiedades que las diferencian, y que deben ser analizadas detalladamente para elegir la opción que se adapta mejor a la aplicación en donde se desea implementar.

Las antenas pueden separarse en dos grandes grupos según la manera en la que envían la energía hacia el espacio, las cuales son las omnidireccionales y las direccionales. Las

primeras tienen un patrón similar a una esfera, es decir que irradian por igual en todas las direcciones, mientras que las direccionales concentran la señal hacia un punto específico.

En la siguiente figura se puede observar la diferencia en los patrones de radiación de ambos tipos de antenas.

Figura 25 Patrones de radiación antena omnidireccional vs direccional



Fuente: (Antenna Theory, 2019)

Según la aplicación podemos definir cuál de estos tipos nos funcionan, en el caso de tener una conexión punto a punto como sería el caso de conectar dos edificios se recomienda el uso de una antena direccional ya que estas permiten enviar la señal una mayor distancia al costo de perder área de cobertura, en este caso en particular si ambas antenas se alinean no tendremos ningún problema con la conexión.

Si requerimos una red de uno a muchos o viceversa, la antena omnidireccional es la más adecuada ya que vamos a tener dispositivos desde diferentes sectores enviando o

recibiendo la señal, aunque se debe tomar en cuenta que el patrón de radiación de estas es un tipo dona, por lo que directamente arriba y abajo no tenemos ningún tipo de radiación.

En el caso de este proyecto, se tiene un tipo de conexión multipunto de muchos a uno, además los elementos transmisores van a encontrarse en movimiento constante en cualquier dirección alrededor del receptor, debido a esto se eligió analizar los tipos de antenas omnidireccionales, debido a estas características sería extremadamente difícil lograr una alineación de todas las antenas, y si se utilizara un conjunto de antenas de direccionales para cubrir los 360 grados los costos se elevarían demasiado.

5.2.4.2 Tipos de Antenas Omnidireccionales

Una vez seleccionado que la aplicación requiere una antena de tipo omnidireccional es necesario analizar la distinta construcción de estas ya que no existe solo una, en esta sección se ampliarán las diferentes opciones analizadas, sus diferencias y cuál es la adecuada para este proyecto.

Una de las antenas más comunes es la conocida como látigo la cual consiste en una varilla metálica flexible, son ampliamente utilizadas en radios portátiles y hasta hace algún tiempo era la encontrada en los automóviles para recibir señales AM y FM.

Las antenas de espira están construidas como su nombre lo indica por al menos una curva de un material conductor, esta se considera como dipolo. Se pueden considerar omnidireccionales ya que en todo el plano de la espira irradia energía, pero en el plano perpendicular a esta no tiene mucha cobertura.

Las antenas comúnmente utilizadas en equipos de WiFi son del tipo dipolo de media onda, el cual consiste en dos elementos conductores de igual longitud y tienen un patrón de radiación relativamente circular. En el mercado existen diferentes modelos disponibles con cubiertas plásticas y de diferentes dimensiones.

Con el auge del IoT en el mercado han comenzado a aparecer antenas diseñadas específicamente para ser utilizadas en prendas, están construidas de materiales flexibles y livianos, de dimensiones pequeñas, pero sin sacrificar rendimiento, debe considerarse que el cuerpo humano al estar cerca de una antena genera distorsiones en el comportamiento de estas. Estas pueden ser diseñadas para operar a distintas frecuencias y con los conectores requeridos para adaptarlas a cualquier elemento transmisor.

Debido a la aplicación de este proyecto en el cual se debe mantener un bajo costo y además de ser capaz de integrar las antenas en un elemento cómodo y pequeño que pueda utilizarse durante la atención de una emergencia, se consideró el uso de antenas diseñadas para *wearables*, sin embargo, existe el problema de escasez en el mercado local y los distribuidores en el extranjero no trabajan con cantidades pequeñas, al ser un prototipo aún no se cuentan con diseños finales y se trabaja con pocos elementos.

Todas estas razones llevaron a elegir las antenas dipolo para dispositivos WiFi, las cuales permiten cumplir con los requisitos del diseño, operan a la frecuencia a utilizar por Xbee y se encuentran fácilmente a bajo costo, además de que existe literatura de los módulos transmisores y el uso de estas antenas en diferentes fuentes.

5.2.4.3 Ganancia

Como se ha mencionado anteriormente una antena no aumenta la potencia de una señal, solo la redirige hacia alguna dirección, la ganancia puede definirse como la relación entre la potencia máxima en un punto con respecto a una antena isotrópica es decir una antena que irradia de igual manera en todos los puntos a su alrededor. Es importante recalcar que esta medición no implica que la potencia total de la transmisión aumentó, solo se incrementó en una o más direcciones, y se debilitó en algunas otras.

Es por este motivo que conforme se aumenta la ganancia de una antena se incrementa el alcance de esta, pero se reduce el área de cobertura total de ella, en el caso de una antena direccional se observaría una disminución en el ancho del haz lo que llevaría a tener que mejorar la alineación entre ellas, para las omnidireccionales al tener una forma de dona, implicaría que achate el patrón, si se estuviera en un edificio los pisos superiores e inferiores verían una disminución en la potencia de señal recibida.

En este proyecto se deben de tomar en cuenta diferentes factores para escoger la ganancia de las antenas a utilizar, erróneamente se asocia mayor ganancia con mejor rendimiento, pero se debe de tomar en cuenta las condiciones sobre las cuales se realizan las transmisiones, en este caso se consideraron algunas situaciones específicas para analizar la teoría y comparar con lo obtenido a la realidad para elegir la opción más adecuada.

Para las pruebas realizadas se midieron los siguientes parámetros, alcance máximo en varios puntos alrededor del receptor, niveles de ruido en los canales de 2.4GHz,

velocidad máxima transferencia y pérdida de paquetes de datos, todo esto sin dejar de lado las dimensiones físicas y el costo.

Las pruebas se realizaron en tres situaciones diferentes las cuales fueron en un parqueo para simular un campo abierto con pocos obstáculos e interferencias, en segundo lugar un área de oficinas para tener algunos obstáculos y altos niveles de ruido debido a replicadores, enrutadores, computadores y otros dispositivos trabajando en las mismas frecuencias, y por último en una zona residencial colocando transmisores dentro de una casa, consiguiendo así obstáculos de paredes de concreto y niveles moderados de ruido con electrónicos encontrados comúnmente en un hogar, los resultados de estas pruebas se encuentran detallados en las siguientes secciones del documento.

Debido a que una de las prioridades fue mantener un bajo costo, se realizó un análisis previo a la compra de modelos para realizar las pruebas, primeramente, se decidió utilizar antenas con ganancia de 2dBi en todos los elementos para establecer una línea de comparación base debido a que estas fueron las utilizadas según las hojas de datos de los módulos Xbee.

Según las hojas de datos de Digi cuando los elementos no se encuentran en línea de vista se recomienda el uso de antenas de ganancia media, darán mejor rendimiento que las que tengan un valor mucho mayor, esta sugerencia se da debido a que la señal logra atravesar los obstáculos pero al hacerlo el ángulo de salida difiere al de entrada generando así que al tener menor área de cobertura la onda pase por los puntos ciegos y obtengamos el efecto contrario al deseado es decir empeoremos la distancia de cobertura.

Por estas razones, se decidió realizar las pruebas con antenas de 2,6 y 8 dBi los cuales cumplen con las recomendaciones del fabricante de Xbee y con las cuales se puede buscar un equilibrio entre distancia y área de cobertura, teniendo siempre en consideración que los elementos no son estáticos. Además, así como una antena de mayor ganancia envía y recibe la señal deseada, esta se vuelve más sensible a otras transmisiones que sucedan a su alrededor lo que puede comprometer la integridad de los datos.

En la siguiente imagen se incluyen las antenas elegidas para realizar las pruebas.

Figura 26 Antenas seleccionadas para pruebas



Fuente: Elaborada por el autor

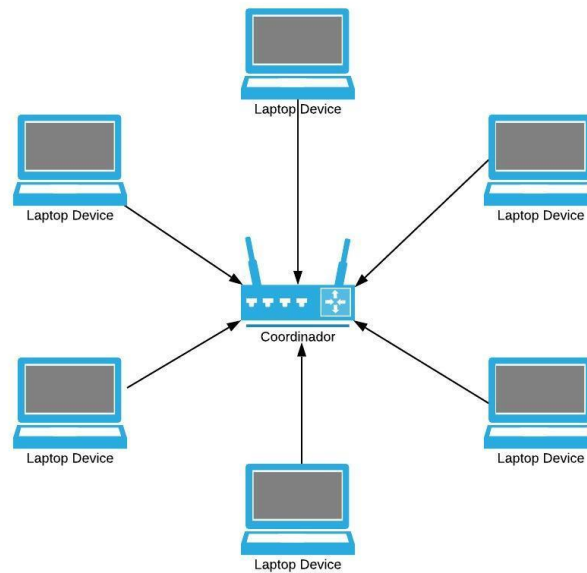
5.2.5 Protocolos de comunicación

Los módulos de transmisión Xbee permiten trabajar sobre tres protocolos de comunicación diferentes, los cuales son DigiMesh, ZigBee y 802.15.4, cuál de estos protocolos utilizar dependerá de la aplicación. En esta sección se analizarán las opciones disponibles, y las razones sobre cuál protocolo es el más conveniente para este proyecto.

En el caso del protocolo 802.15.4, define la base para las topologías tipo mesh, en si este se utiliza en la llamada estrella, la cual funciona con un nodo central coordinador y a su alrededor los transmisores que se comunican con el pero no pueden hacerlo entre ellos, por esto se utiliza en conexiones del tipo punto a punto. Cuando se usa esta si el coordinador falla toda la red se pierde y si algún transmisor se sale del rango no hay forma de comunicarse con él hasta que entre de nuevo en la cobertura. Debido a esto y según los requerimientos del proyecto no es una buena opción, principalmente por tener movilidad en los elementos y dada la importancia de mantener los datos llegando a la central no se puede correr el riesgo de perder a un transmisor de la red.

En la siguiente figura se ilustra esta topología y sus principales elementos:

Figura 27 Topología tipo estrella



Fuente: Elaborada por el autor

Por las razones previas se analizó el uso de Zigbee y DigiMesh, aunque ambos protocolos son similares, tienen algunas diferencias que debían de analizarse antes de elegir cual es el óptimo para la aplicación. A continuación, se explican los detalles de ambos y como estos se adaptan al diseño de la red y sus requerimientos.

Los dos protocolos de comunicación se basan en el estándar 802.15.4, pero estos utilizan una topología del tipo mesh o malla, Zigbee es un estándar definido por la Zigbee Alliance y por lo tanto está disponible en dispositivos de diferentes compañías que son compatibles entre ellos. En este modelo existen tres tipos de nodos definidos, los cuales son el coordinador, el enrutador y el dispositivo final, en una red debe existir siempre un coordinador y no pueden definirse más de uno de este tipo, su labor es la mantener la red

estable, además de que puede enviar y recibir datos; al ser quien maneja la estructura si esta falla toda colapsa y se pierde la conexión entre los dispositivos.

Los enrutadores son opcionales, en una red son intermediarios y replican los datos entre dispositivos funcionando como puentes, de la misma manera que un coordinador si surge algún problema con ellos el camino de comunicación falla, por esto en ninguno de los casos los dispositivos pueden ser operados por baterías.

En el caso de los End Devices o dispositivos finales solo envían datos a un enrutador o coordinador y no entre ellos, pueden ponerse en un estado de reposo y se conectan con baterías sin problemas debido a esta capacidad.

Para el protocolo de DigiMesh, este provee algunas mejoras sobre ZigBee, como lo es que solo se requiere un tipo de nodo, es decir que todos los nodos pueden ser coordinadores, routers o dispositivos finales, cualquiera puede enviar y transmitir los mensajes y pueden entrar en el modo de reposo. Esto da una mayor flexibilidad a la red y permite realizar la configuración de los dispositivos de una manera más sencilla.

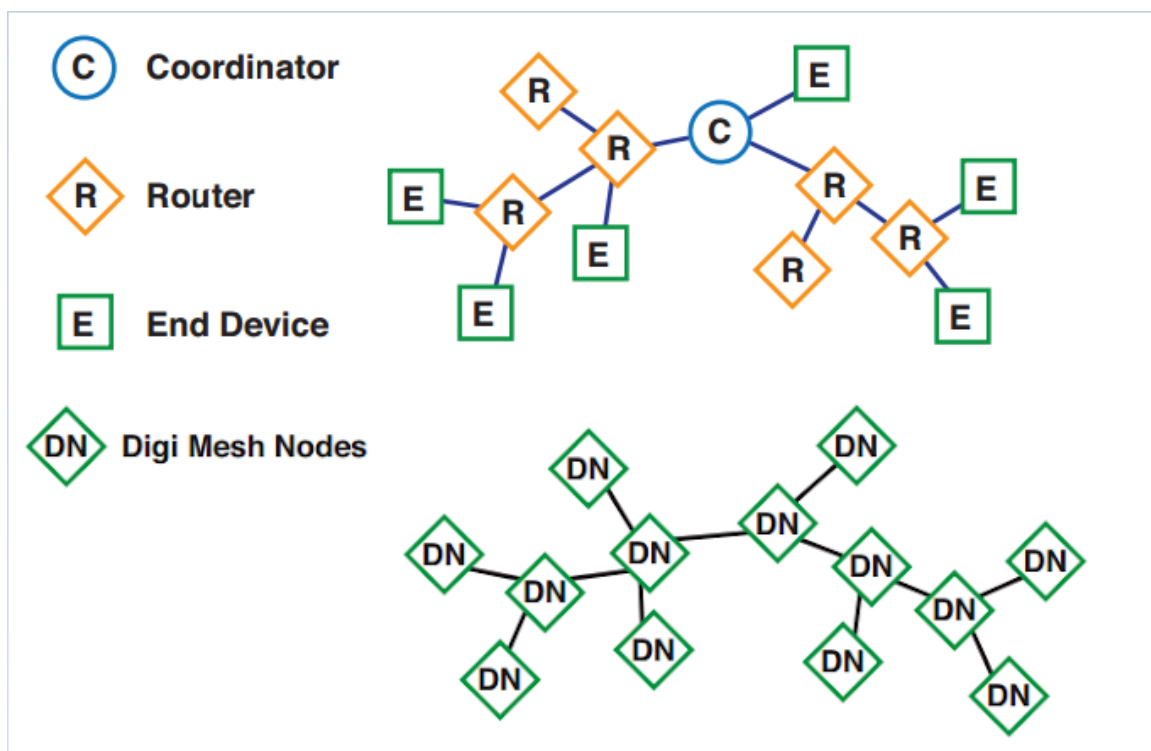
Dicho esto, DigiMesh tiene algunas desventajas con respecto a ZigBee, principalmente es que al ser un protocolo propietario solo se encuentra disponible para los dispositivos de la marca Digi, así que si se requiere enlazar con diferentes proveedores no es una opción.

En el caso de este proyecto, DigiMesh proporciona las características que se necesitan, es por eso que se implementó esta configuración en los módulos, con este se puede asegurar que al tener transmisores móviles todos capaces de comunicarse entre ellos y con la

habilidad de encontrar el camino hacia el nodo central, es posible extender el rango obtenido con las antenas, asegurar la integridad de los datos para no tener caídas en la red y tener la capacidad de analizar los datos sin requerir de acceso a Internet u otras tecnologías según se definió en los requerimientos. En las siguientes secciones se detalla la configuración específica para utilizar esta topología.

En la siguiente imagen se muestran el tipo de nodos y la topología para cada uno de los protocolos mencionados.

Figura 28 Topología y tipos de nodo Zigbee y DigiMesh



Fuente: Elaborada por el autor

5.3 Construcción del prototipo

En la siguiente sección se detallan los procedimientos, configuraciones y pruebas realizadas con los componentes seleccionados, para cumplir con los requerimientos se realizó primero un diseño base para poder comprobar las funciones básicas de los componentes y tener una línea de comparación para la realización de las pruebas de distintas configuraciones y realizar un análisis de los resultados, los cuales llevaron a un segundo prototipo final, el cual cumple con las peticiones determinadas anteriormente.

5.3.1 Prototipo inicial

El objetivo de este prototipo inicial era el de realizar una primera comunicación con los dispositivos y configuraciones según la hoja de datos de los módulos Xbee, para comparar los valores ideales contra los obtenidos en la práctica y establecer una base sobre la cual analizar el impacto de distintas configuraciones tanto en software como en elementos físicos.

5.3.1.1 Construcción del prototipo inicial

Para la creación del prototipo se utilizó un microcontrolador Raspberry Pi 3 B+, un módulo Xbee Pro Serie 2 con conexión de antena Ufl, su respectivo adaptador USB y un RTC para obtener una lectura de temperatura ambiente. Se eligió el módulo Xbee Pro Serie 2 de 2.4 GHz con antena Ufl debido a sus características de transmisión en cuanto a alcance y velocidad de transferencia, el conector Ufl requiere un conector especial para

las antenas RPSMA que se utilizaron en el diseño, pero esto permite una mejor colocación de la antena ya que el adaptador es flexible.

Para esta etapa se realizaron pruebas con antenas de tipo RPSMA omnidireccionales con una ganancia de 2dBi, esto por su facilidad de obtener en el mercado y su bajo precio, ya que al tratarse de una prueba para los módulos se definió reducir los costos de esta maqueta. Es por este mismo motivo que se utilizaron los modelos a 2.4GHz y del tipo de conexión con pines, ya que los accesorios requeridos para funcionar se encuentran en el mercado local a bajo precio.

Se debe mencionar que, aunque los modelos de la Serie 1 son de menor costo, estos no cuentan con la propiedad de ser configurados en diferentes protocolos de comunicación, en el caso del proyecto, el alcance es una de las principales restricciones para ser considerado funcional, la serie 2 al permitir trabajar con el protocolo Mesh permite extender el alcance.

Para esta primera prueba se utilizó un microcontrolador Raspberry Pi 3 B+, a pesar de su tamaño debido a que el objetivo de este primer intento era explorar la función de transmisión de datos, al tener este modelo ya en posesión se pudo realizar parte del código para la lectura del sensor de temperatura sin aún tener todos los sensores y transmisores disponibles.

La segunda sección del prototipo consta de un computador portátil, un módulo Xbee Pro Serie 2 y los mismos accesorios utilizados para la primera parte del proyecto. Es en este computador es donde se realiza la configuración requerida para los módulos y la

colección de datos obtenidos por el microcontrolador, además de encargarse de la conexión hacia la base de datos. Es importante mencionar que se planea utilizar una plataforma similar en el prototipo final ya que esta no será portada por ninguna persona y estará colocada en un lugar con acceso a Internet, para este caso se utilizó la misma antena con ganancia de 2dBi que en la parte móvil por facilidad, sin embargo, en esta parte se dio libertad de utilizar antenas con un mayor tamaño.

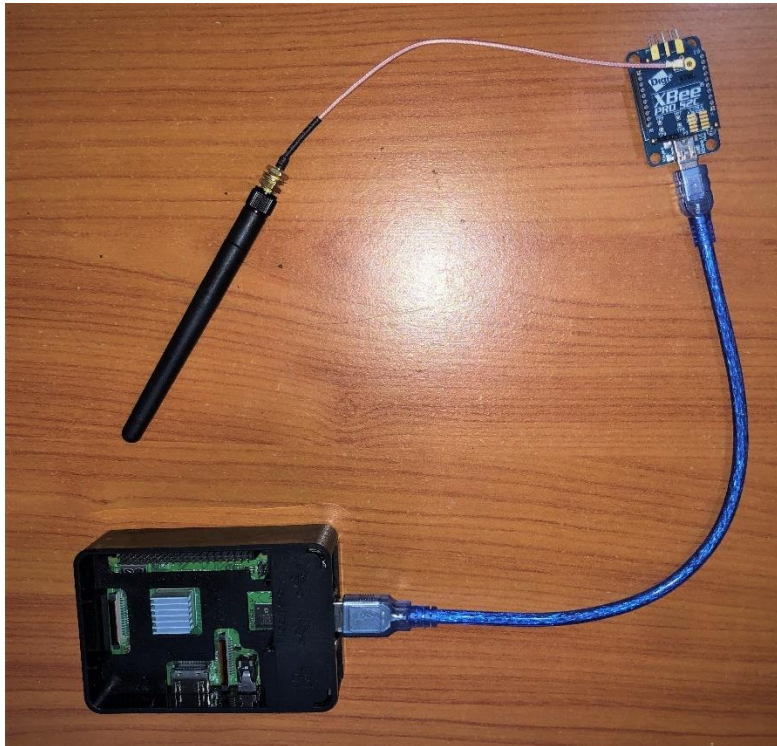
En las siguientes figuras se observan los elementos utilizados en el receptor y transmisor, así como las conexiones requeridas para su funcionamiento.

Figura 29 Elementos del receptor



Fuente: Elaborada por el autor

Figura 30 Elementos transmisores



Fuente: Elaborada por el autor

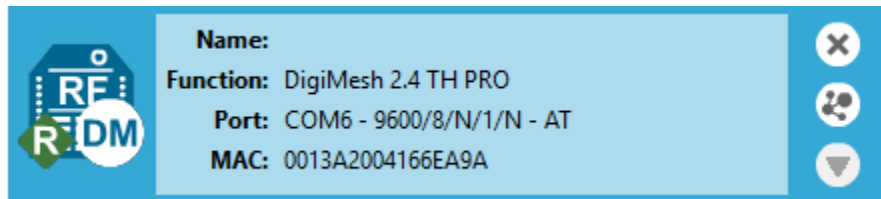
Para permitir el envío de información entre dos módulos Xbee es necesario configurar algunos parámetros desde el software XCTU que se encuentra de manera gratuita en el sitio del proveedor de Xbee. Los parámetros requeridos son el canal, el ID de red y la velocidad de transmisión, algunos parámetros como la paridad, la encriptación y la potencia de transmisión son opcionales, en este caso estos últimos se mantuvieron en sus valores por defecto, pero deberán ser ajustados en etapas posteriores.

Para realizar esta configuración debe contarse con un adaptador que permita la conexión por el puerto USB del computador, para este prototipo se utilizó un conector de Xbee a

USB, existen diferentes en el mercado con la misma función, este se está utilizando por disponibilidad.

En la siguiente imagen se muestra el dispositivo ya detectado por el software.

Figura 31 Módulo Xbee detectado por XCTU















Fuente: Elaborada por el autor

Para este módulo se utilizó el canal C, y el ID de red 7FFF, los cuales son valores por defecto, en la potencia de transferencia se configuró al nivel 4 o máximo, a pesar de que esto implica más consumo de corriente, para cumplir los requerimientos es necesario obtener el máximo alcance; no obstante, el consumo de potencia a este nivel es de 120mA, lo cual está considerado como bajo consumo, así que no representa una mayor restricción para el proyecto.

En la figura 32 se observa la configuración de red y seguridad utilizados para los módulos Xbee.

Figura 32 Configuración de propiedades de red

▼ Networking & Security
Modify networking settings

i	CH Channel	<input type="text" value="C"/>	 
i	ID Network ID	<input type="text" value="7FFF"/>	 
i	MT Broadcast Multi-Transmits	<input type="text" value="3"/>	 
i	PL TX Power Level	<input type="text" value="Highest [4]"/>	 
i	RR Unicast Retries	<input type="text" value="A"/> Retries	 
i	CA CCA Threshold	<input type="text" value="0"/> -dBm	 

Fuente: Elaborada por el autor

En cuanto a velocidad de transferencia se mantuvo en 9600 baudios y sin paridad al igual que no se está encriptando la información, esto se mantuvo en valores por defecto dado que aún no se están enviando datos sensibles ni una gran cantidad de ellos, el módulo es capaz de encriptar la información utilizando el protocolo AES 128 bits, y permite elegir bits de paridad par o impar para asegurar un correcto envío de datos.

La velocidad máxima de transferencia es de 230400 baudios, este valor se ajustó en etapas posteriores tomando en cuenta los resultados obtenidos con este prototipo inicial, es importante destacar que una velocidad mayor no siempre es mejor, ya que a mayor velocidad es más probable que se pierdan paquetes o es posible saturar el buffer, por lo que lo ideal es utilizar una velocidad que permita optimizar los recursos según la cantidad de información y la frecuencia con la que se hará la comunicación.

Es importante que todos los módulos se configuren de la misma manera, de lo contrario, no podrán comunicarse entre ellos.

En la figura 33 se muestra la configuración de las secciones de seguridad y de interfaz serial dentro del software XCTU para ambos módulos Xbee.

Figura 33 Configuración de seguridad e interfaz serial

The screenshot displays the configuration interface for an Xbee module, divided into two main sections: Security and Serial Interfacing. Each section contains several parameters that can be configured via dropdown menus or text input fields. To the right of each parameter row are two circular icons: a refresh icon and a help icon.

Section	Parameter	Value
Security Change Security Parameters	EE Encryption Enable	Disabled [0]
	KY AES Encryption Key	[Empty Field]
Serial Interfacing Change module interfacing options	BD Baud Rate	9600 [3]
	NB Parity	No Parity [0]
	RO Packetization Timeout	3 * character times
	FT Flow Control Threshold	51 Bytes
	AP API Enable	Transparent Mode [0]
	AO API Options	API Rx Indicator - 0x90 [0]

Fuente: Elaborada por el autor

El módulo permite ser conectado a través del puerto UART del Raspberry Pi, sin embargo, una de las ventajas del adaptador de Xbee a USB es que permite realizar la comunicación por medio de este protocolo, así que no es necesario realizar ningún cableado adicional, sólo se requiere conectar el adaptador a cualquier puerto USB del microcontrolador.

Para esta primera prueba el objetivo fue el de obtener una medida de temperatura ambiente utilizando el RTC y enviar el dato cada segundo por el puerto USB hacia el módulo Xbee junto con ID de dispositivo hexadecimal de 2 dígitos, es decir, estará dentro de un rango de 00 a FF, lo que permitirá identificar hasta 255 dispositivos, este formato se utilizó ya que el requisito es que sean alrededor de 100 usuarios los que estarán aproximadamente utilizando el equipo en una emergencia de gran tamaño, al tener hasta 255 se puede incluir a más del doble de usuarios si la situación lo requiere sin realizar ningún cambio al código.

Para desarrollar este código se utilizó el lenguaje de programación Python en el Raspberry Pi debido a su facilidad de uso y de lectura, además es el lenguaje recomendado para la programación de este microprocesador. Para iniciar el código primero se definieron 2 variables importantes: la dirección i2c del RTC y el puerto serial donde se conectó el Xbee, estos valores se encuentran fácilmente a través de comando de consola, además al definir el puerto serial se debe incluir la velocidad de transmisión, que debe ser igual a la configurada previamente desde el computador para los Xbee.

En la siguiente figura se observa la sección del código Python referente a la definición del puerto serial y dirección del sensor RTC.

Figura 34 Direcciones i2c y puerto serial

```
address = 0x68
ser = serial.Serial("/dev/ttyUSB0",baudrate=9600)
```

Fuente: Elaborada por el autor

Luego se definen algunos valores iniciales como el ID, y el valor de temperatura en 0, al igual una variable llamada paquete que contendrá toda la información y será el valor enviado hacia el computador.

En la siguiente figura se puede observar como se definen los valores iniciales, y el identificador del dispositivo llamado ID.

Figura 35 Valores Iniciales

```
ID = "00"  
Packet = ""  
Celsius = 0
```

Fuente: Elaborada por el autor

Se definió una función para leer los registros 11 y 12 del RTC, los cuales contienen la información de la temperatura y se almacena en la variable Celsius, estos datos están divididos en dos partes, el registro 0x11 contiene la parte entera mientras que la segunda parte contiene los decimales con una resolución de 0.25 grados.

En la siguiente figura se detalla la función programada para obtener los datos de temperatura del RTC.

Figura 36 Lectura temperatura RTC

```
def getTemp(address):
    byte_tmsb = bus.read_byte_data(address,0x11)
    byte_tlsb = bin(bus.read_byte_data(address,0x12))[2:].zfill(8)
    return byte_tmsb+int(byte_tlsb[0])*2**(-1)+int(byte_tlsb[1])*2**(-2)
```

Fuente: Elaborada por el autor

Posteriormente, se forma el paquete que será enviado, este es la unión del ID del dispositivo y separado por un guion bajo el valor de la variable Celsius, que luego es enviado al puerto serial y se imprime en la consola para poder verificar que lo recibido es en efecto el valor que se está enviando, esta operación se realiza cada segundo. A continuación, se ilustra el código realizado para la lectura y envío de datos.

Figura 37 Lazo de lectura y envío de datos

```
while True:
    Celsius = getTemp(address)
    Packet = ID + '_' + str(Celsius)
    ser.write(str(Packet))
    ser.write("\r\n")
    print Celsius, "*C"
    print Packet
    time.sleep(1)
```

Fuente: Elaborada por el autor

En el computador también se utilizó el adaptador Xbee a USB y este es el único hardware adicional al computador que se requiere, se utilizó el software de Visual Studio 2017 y el lenguaje C++ debido a que permite leer un puerto serial virtual o COM de una manera

más sencilla, además existe gran cantidad de recursos disponibles para el uso de bases de datos y manejo de información.

Al igual que en el código del Raspberry Pi, se debió definir algunos valores iniciales, en este caso se debe indicar en cuál puerto van a ingresar los datos, el software XCTU brinda esta información, además se debe agregar la velocidad de transmisión, la cual debe ser igual a la que se ingresó en código de transmisión.

Figura 38 Definición puerto serial en lenguaje C

```
_serialPort->PortName = "COM6";  
_serialPort->BaudRate = 9600;  
_serialPort->Open();  
_continueSerial = true;  
readThread->Start();
```

Fuente: Elaborada por el autor

Como se observa en la figura 38, en el computador se hará la lectura del puerto serial virtual, en este caso el COM6 y su información se almacenará en una variable llamada XbeeMessage, que será también copiada en un documento de texto, este mensaje deberá ser dividido en 2 partes, por lo cual requiere que se le aplique la función de Split, donde el separador es el guion bajo, este permitirá separar los valores del paquete enviado por el Raspberry Pi y asociarlo a nuevas variables para agregar a la base de datos.

En la figura 39 se observa la sección del código realizado para las funciones de lectura y escritura de datos en el computador.

Figura 39 Lectura y escritura de los datos

```
try  
{  
    XbeeMessage = _serialPort->ReadLine();  
}
```

```
StreamWriter^ sw = File::AppendText(Environment::GetFolderPath(Environment::SpecialFolder::MyDocuments) + "\\XbeeCapture.txt");
```

Fuente: Elaborada por el autor

Esta información será desplegada en pantalla para así poder tener una manera sencilla de verificar la información, sin consultar la base de datos.

5.3.1.2 Análisis de resultados del primer prototipo

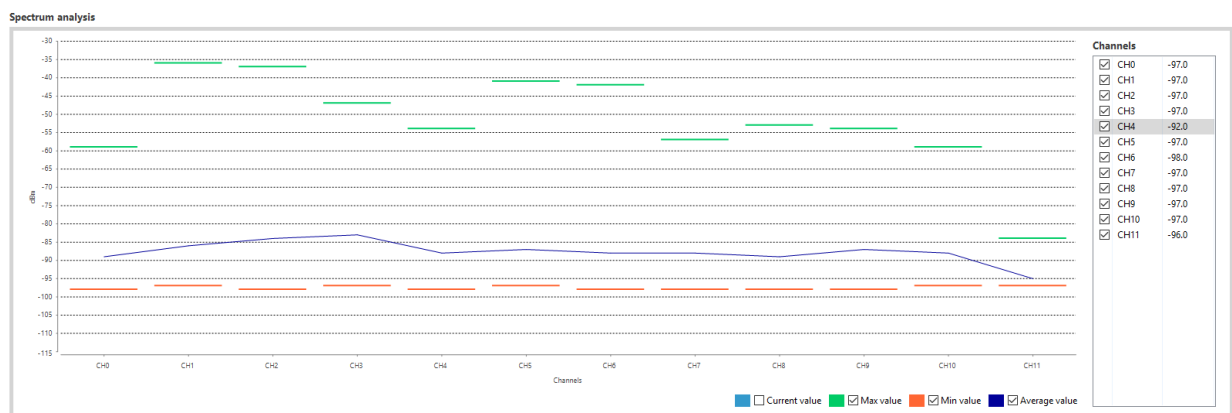
En esta sección se describen las pruebas realizadas y los resultados obtenidos para el primer prototipo, como ya se mencionó, el objetivo de estas pruebas fue documentar algunos parámetros definidos en la hoja de datos del fabricante de Xbee para tener una base de comparación y así realizar ajustes en el prototipo final.

Para este diseño se realizaron las siguientes pruebas, la más importante fue la de distancia máxima de cobertura, además se documentaron datos de velocidad de transferencia, niveles de ruido y cantidad de paquetes perdidos durante un periodo de tiempo de 100 segundos cerca de la zona más lejana donde se obtuvo cobertura, esto con el fin de obtener una distancia en la cual se opere de mejor manera. Estas fueron realizadas dentro de una residencia, en un área de oficinas y en un parqueo abierto.

La primera prueba realizada fue la de niveles de ruido en todas las locaciones, los cuales mostraron los resultados esperados, donde se obtuvo altos niveles de ruido en todos los canales disponibles en el área de oficinas esto debido a que en estas zonas se colocan muchos repetidores de WiFi, y existen una gran cantidad de dispositivos bluetooth. En la residencia se observaron niveles mucho menores excepto en canales específicos donde se obtuvo valores muy similares a las oficinas relacionado a la configuración de los enrutadores presentes, y en el parqueo se detectaron niveles inferiores, aunque siempre existe alguna cantidad ya que siempre hay señales en el ambiente.

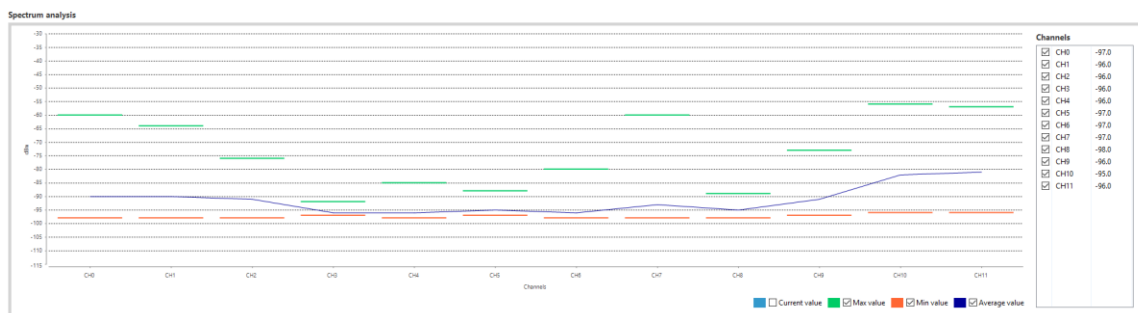
En las siguientes figuras se observan los valores obtenidos en las tres ubicaciones obtenidos dentro del software de XCTU con antenas de 2dBi.

Figura 40 Niveles de ruido dentro de residencia con antena 2dBi



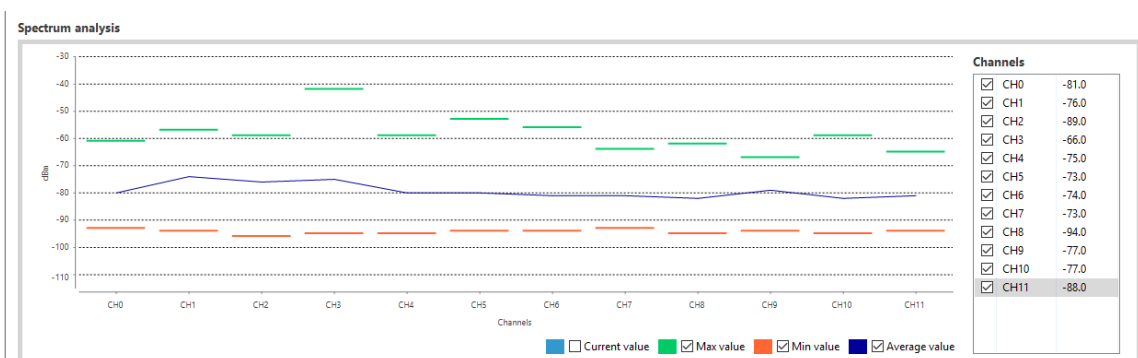
Fuente: Elaborada por el autor

Figura 41 Niveles de ruido en parqueo con antena 2dBi



Fuente: Elaborada por el autor

Figura 42 Niveles de ruido en oficinas con antena 2dBi



Fuente: Elaborada por el autor

Como segunda prueba, se documentó la distancia máxima de cobertura, lo que se realizó moviendo el dispositivo transmisor hasta un punto en el que el receptor dejara de captar los datos enviados, además, una vez obtenido este dato se procedió a encontrar un punto sobre el cual los datos llegaran de manera fluida aunque no se tuviera en cien por ciento de fiabilidad y conociendo que el patrón de radiación de una antena según la teoría cubre

360 grados se intentaron detectar puntos ciegos girando el receptor sobre su propio eje ya que de esta manera se simplificó el proceso.

La mejor distancia se obtuvo en el parqueo, llegando a tener un máximo de 120 metros y una zona donde el 80% de los paquetes enviados fueron recibidos de manera correcta en 100 metros, estas fueron constantes en todas las direcciones. En el área de oficinas se observó una disminución de estos valores los cuales fueron de 100 y 80 metros estos cambios son esperados debido a una mayor interferencia y cantidad de obstáculos presentes.

En el caso de la residencia el impacto de las paredes de concreto afectó de gran manera, llegando a un valor máximo de 30 metros y una zona de 15 metros en los cuales funciona con alta fiabilidad, es importante mencionar que en este caso se buscó el camino más alejado y con mayor cantidad de objetos sólidos entre los dos módulos con el fin de obtener un valor pesimista, pero más apegado a la realidad que buscar una línea de vista sin obstáculos.

Se debe indicar que el criterio para determinar la zona de operación de alrededor de 20% de pérdidas de paquetes se tomó según observación con pruebas de velocidad, a partir de este punto se concluyó que la transmisión de datos se vuelve inestable y se da una inestabilidad donde la información llega a un ritmo muy bajo y luego recupera por un periodo corto de tiempo antes de volver a tener pérdidas, aunque si llegan algunos datos se hace la diferencia entre estas distancias para parametrizar las zonas sobre las que se

asegura un correcto funcionamiento y un máximo sobre el cual aún tendremos conexión aunque no de una manera que cumpla todos los requisitos.

En las siguientes figuras se muestran las distancias tomadas desde mapas satelitales en las cuales se realizaron las pruebas y los puntos máximos de conexión.

Figura 43 Distancia máxima en residencia con antena 2dBi



Fuente: Elaborada por el autor

Figura 44 Distancia máxima en parqueo con antena 2dBi



Fuente: Elaborada por el autor

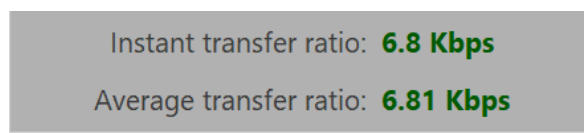
Figura 45 Distancia máxima en oficinas con antena 2dBi



Fuente: Elaborada por el autor

Por último, se realizó la prueba de velocidad en un punto sin pérdidas de paquetes y para determinar el área de cobertura máxima en donde esta se mantuviera en un valor similar al obtenido inicialmente, para estas pruebas se obtuvo un valor instantáneo de 6.8Kbps (Kilobits por segundo) y un promedio de 6.81Kbps, esta se mantuvo constante hasta la distancia mencionada en los apartados anteriores luego de los puntos mencionados osciló entre valores cercanos a la mitad y hasta ser nula en algunos instantes. En la siguiente imagen se muestra el resultado de la prueba según el software XCTU para los valores máximos y promedio con cero pérdidas.

Figura 46 Velocidad máxima y promedio obtenida



Fuente: Elaborada por el autor

Según los resultados obtenidos con este primer prototipo podemos observar que se requería realizar ajustes a la configuración de los módulos de comunicación Xbee, de igual manera, aunque en espacios abiertos las antenas de 2dBi cumplieron con la distancia requerida, es espacios cerrados no permiten a la señal cubrir suficiente área debido a los obstáculos. Dadas estas razones se procedió a realizar un segundo prototipo con el que se modificó las opciones para cumplir los requisitos identificados.

5.3.2 Prototipo final

En las siguientes secciones se detallan las configuraciones finales para los módulos del receptor y transmisores, para esta etapa del diseño y de acuerdo con los resultados obtenidos en la etapa inicial se decidió utilizar la topología tipo DigiMesh y antenas de mayor ganancia.

Además, se acordó el uso de la base de datos MongoDB, lo que llevó a definir un protocolo de comunicación personalizado siguiendo el formato JSON para facilitar el proceso en el computador.

De la misma manera se diseñó una caja para contener el receptor para permitir adaptarlo fácilmente a la etapa de almacenamiento, para la etapa de sensores se coordinó que esta fuera capaz de conectarse de manera satisfactoria y que los elementos a utilizar permitieran ser integrados al diseño de esta etapa.

5.3.2.1 Construcción del prototipo final

Para iniciar la construcción del prototipo final el primer cambio requerido que se identificó fue el de utilizar la topología DigiMesh, para esto fue necesario la incorporación de un nuevo dispositivo Xbee con el fin de poder realizar las pruebas de repetición de la señal.

Según se explicó previamente, este tipo de red no requiere la definición de un coordinador, ya que esta es capaz de seleccionar alguno de los integrantes para que cumpla esta función, no obstante, para esta aplicación sí se debe definir el receptor como

tal, ya que se tiene definido quién va a ser el destino final del mensaje para todas las ocasiones y hacia quién debe de buscarse el enlace en caso de que alguien salga de cobertura.

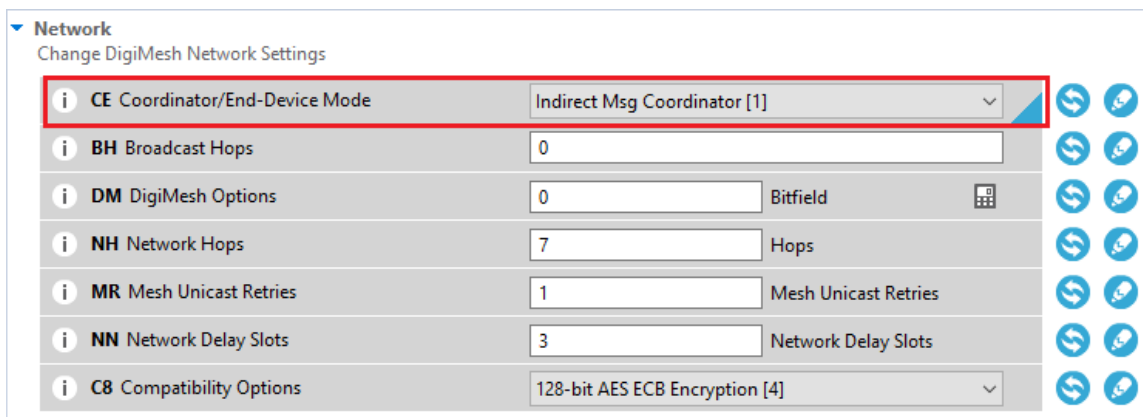
En la siguiente figura se muestra la configuración necesaria para cambiar el dispositivo a coordinador, en este caso se requiere seleccionar el firmware DigiMesh como se muestra en la figura 47 y luego modificar el parámetro mostrado ya que las otras opciones no requieren ajustes en esta etapa del prototipo, una vez realizado el cambio en la figura 49 se observa como el software presenta al módulo agregando una C.

Figura 47 Selección de firmware DigiMesh

Product family	Function set	Firmware version
XBP24C	802.15.4 TH PRO DigiMesh 2.4 TH PRO ZIGBEE TH PRO	9002 (Newest) 9000

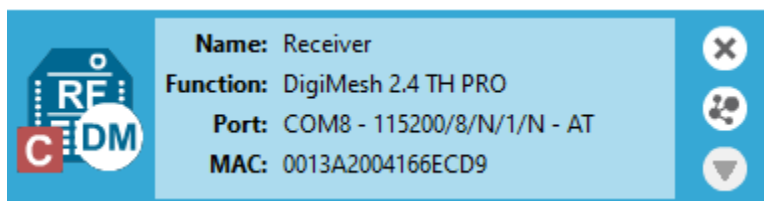
Fuente: Elaborada por el autor

Figura 48 Configuración de Xbee como coordinador



Fuente: Elaborada por el autor

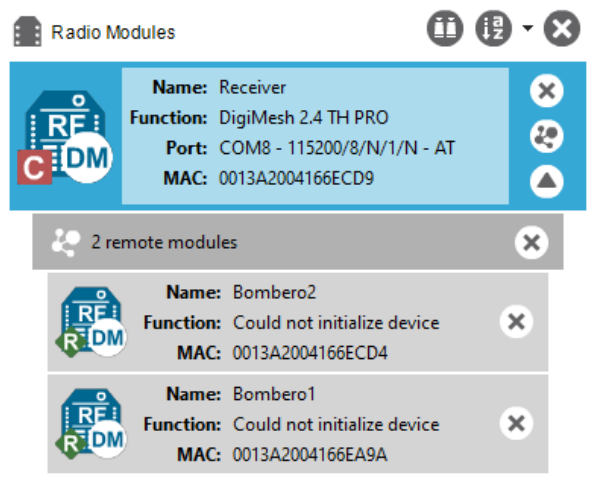
Figura 49 Módulo como coordinador en XCTU



Fuente: Elaborada por el autor

En los módulos transmisores no es necesario realizar ningún cambio, solo se debe asegurar que tengan el mismo firmware de tipo DigiMesh y su respectiva versión, además de asegurar que la configuración de red sea idéntica en todos. Si estos se encuentran dentro de la misma podrán ser detectados por el software que se muestra en la siguiente imagen.

Figura 50 Módulos detectados en la misma red DigiMesh



Fuente: Elaborada por el autor

Para confirmar que la configuración es correcta se realizó una prueba enviando un paquete de datos desde cada uno de los transmisores y corroborando que estos llegaran al receptor, para luego mover uno fuera del área de cobertura y ser capaces de seguir recibiendo la información.

En las siguientes figuras se muestra el paquete de prueba, en este caso se utilizó la consola dentro de XCTU en la cual las letras azules muestran el dato enviado y las letras en rojo el mensaje recibido.

Figura 51 Consola en receptor desde XCTU



Fuente: Elaborada por el autor

Figura 52 Consola transmisor #1 y #2



Fuente: Elaborada por el autor

Figura 53 Consola transmisor #1 replicando mensaje

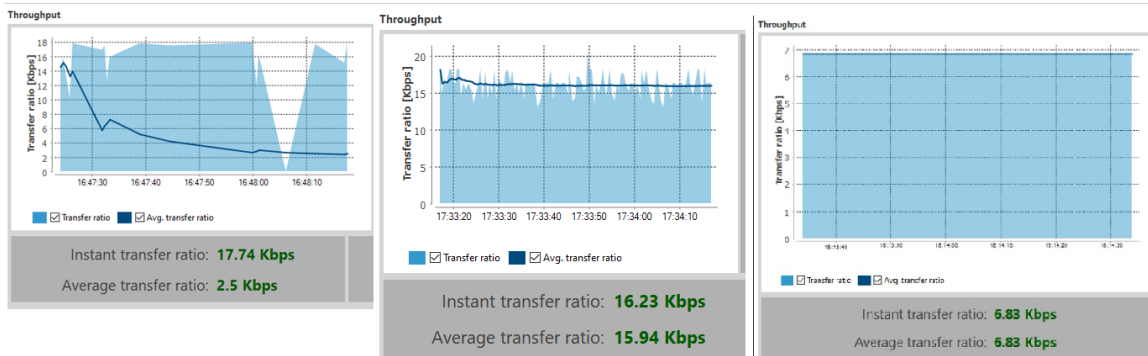


Fuente: Elaborada por el autor

Una de las mayores preocupaciones durante el diseño de la red fue el de la cantidad de datos a manejar, por lo que se intentó obtener la máxima velocidad de transferencia de información sin sacrificar la fiabilidad de la misma, para esto se obtuvo el valor más alto y promedio durante sesenta segundos a diferentes velocidades de baudios. Durante estas pruebas se observó que con la velocidad de 115200 baudios se llega a un límite en donde se detectan inestabilidades en la conexión en puntos cercanos y aumentan según se incrementa la distancia, la cual, adicionalmente se ve afectada por el paso de personas u otros obstáculos en la línea de vista.

En las siguientes imágenes se muestran los resultados obtenidos en 3 velocidades, 9600, 115200 y 57600, esta última fue la seleccionada finalmente debido a mostrar mejores valores. Se puede observar que a menor velocidad se da una mayor estabilidad, en los baudios más bajos fue constante, mientras conforme se incrementa se dan caídas o pérdidas de paquetes.

Figura 54 Velocidad 115200,57600 y 9600 baudios

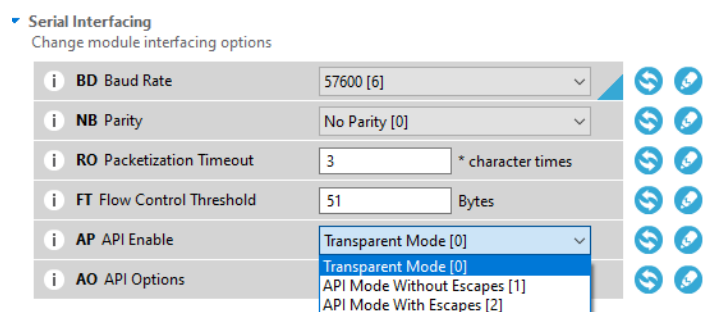


Fuente: Elaborada por el autor

Los módulos de comunicación Xbee permiten elegir dos modos de empaquetar datos, el modo transparente y el modo API. En el primer modo los datos que entran por el puerto serial salen de la misma manera y viceversa, mientras que en el modo API la información se empaqueta de una manera estándar, la cual conocen los módulos a nivel interno, lo que les permite interactuar con lo recibido sin pasar a un modo de configuración.

En la siguiente figura se muestran las opciones posibles de configuración en XCTU.

Figura 55 Modos de operación de Xbee



Fuente: Elaborada por el autor

En esta aplicación debido a que se definió un protocolo propio a seguir con formato JSON, se utilizó el modo transparente ya que este nos brinda la flexibilidad para manejar los datos y no es necesario realizar cambios de configuración constantes, por lo que las ventajas que ofrece el modo API se pueden aplicar con el formato definido por los requerimientos.

Se definió el uso del formato JSON con el fin de facilitar el procesamiento de datos en la siguiente etapa, ya que MongoDB lee la información siguiendo este estándar y debido a la facilidad de uso en modo transparente para Xbee se decidió optar por enviar los datos de este modo desde el Raspberry ya que en el transmisor no se requirió ninguna modificación mayor al código, dado que este ya genera una sola línea de información y redujo el tiempo que tarda el computador en procesar datos ya que sólo debe almacenarlos y no debe realizar ninguna otra manipulación.

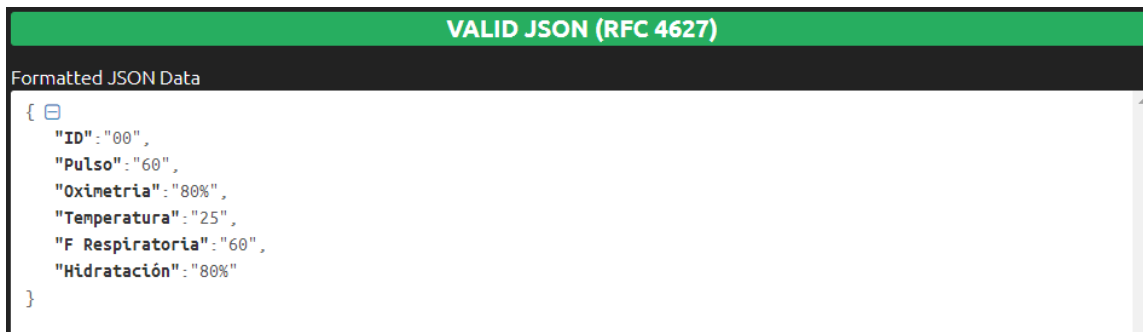
En la siguiente imagen es muestra un ejemplo del paquete como se definió y su respectiva validación online para asegurar que sigue un formato válido.

Figura 56 Paquete de datos en formato JSON

```
{ "ID": "00", "Pulso": "60", "Oximetria": "80%", "Temperatura": "25", "F Respiratoria": "60", "Hidratación": "80%" }
```

Fuente: Elaborada por el autor

Figura 57 Validación de formato



The image shows a screenshot of a web-based JSON validation tool. At the top, there is a green header with the text "VALID JSON (RFC 4627)". Below the header, the text "Formatted JSON Data" is displayed. The main content area shows a JSON object with the following structure:

```
{
  "ID": "00",
  "Pulso": "60",
  "Oximetria": "80%",
  "Temperatura": "25",
  "F Respiratoria": "60",
  "Hidratación": "80%"
}
```

Fuente: Elaborada por el autor

Como parte de la presentación del proyecto y con el fin de facilitar la integración con la etapa de procesamiento de datos y la realización de pruebas, se decidió integrar el módulo Xbee en un encapsulado para proteger el módulo de agentes externos y evitar alterar algún componente interno. Debido a que se decidió utilizar un conector USB para permitir la comunicación con un computador personal, se cambió la base utilizada para reducir el uso de un cable adicional, además se dejó una sección por la cual el adaptador para la antena fuera accesible para permitir el cambio de antena en caso de requerir un ajuste.

En la siguiente figura se muestra el diseño final para el receptor.

Figura 58 Hardware para módulo de recepción



Fuente: Elaborada por el autor

Finalmente se realizaron pruebas con las antenas de 8dBi, esto con el fin de mejorar los resultados obtenidos en el primer prototipo, a pesar de que al cambiar a una topología tipo Mesh y que en condiciones de espacio abierto se cumplieron los requisitos, se decidió llevar a cabo un análisis con antenas de mayor ganancia para encontrar un mejor rendimiento en interiores y para prevenir que incluso en áreas donde se supone no hay obstáculos, puede aparecer alguno que bloquee el paso de la onda.

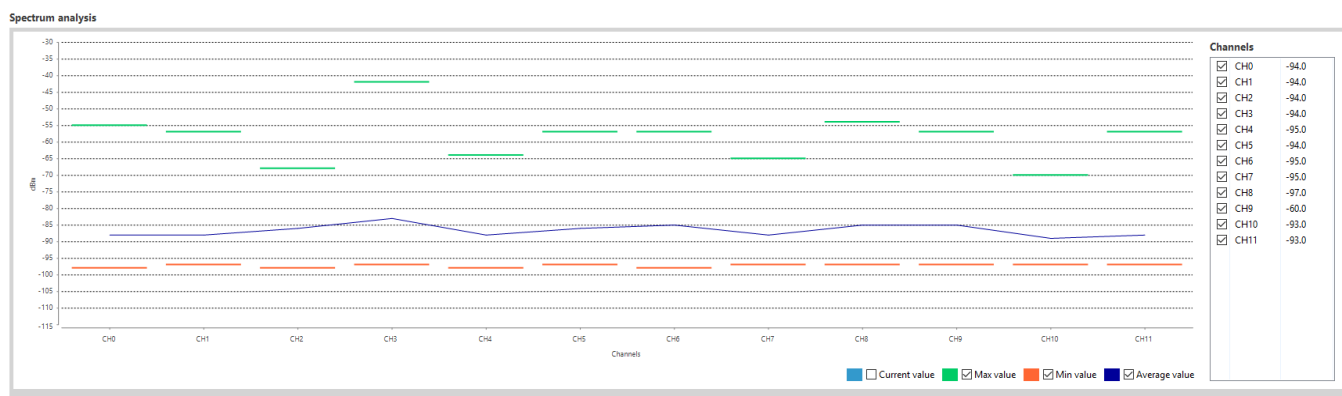
Se repitieron las mismas pruebas realizadas con las antenas de 2dBi, con unas de ganancia de 6 y 8dBi, observando una mejora notable sobre todo en interiores, en donde el alcance máximo no se amplió, pero el área donde se encontró una velocidad constante de datos llegó a los 25 metros es decir 10 metros de más que en el primer intento, en el caso de campo abierto y en oficinas se obtuvo una mejora de aproximadamente veinte metros en alcance máximo y llegando a extender en la misma medida el área de cobertura

estable. Para las pruebas realizadas con las antenas de 6dBi se obtuvo datos casi idénticos a los de 8dBi, por un aspecto físico se decidió utilizar las últimas ya que estas permiten usarse de manera más cómoda.

A pesar de observar mayores niveles de ruido con las antenas de mayor ganancia no se detectó mayores pérdidas de paquetes, y se debe mencionar que Xbee realiza una confirmación de que el dato fue entregado de manera correcta por lo que si existiera algún problema de ruido la información incorrecta sería descartada y se obtendría un paquete perdido.

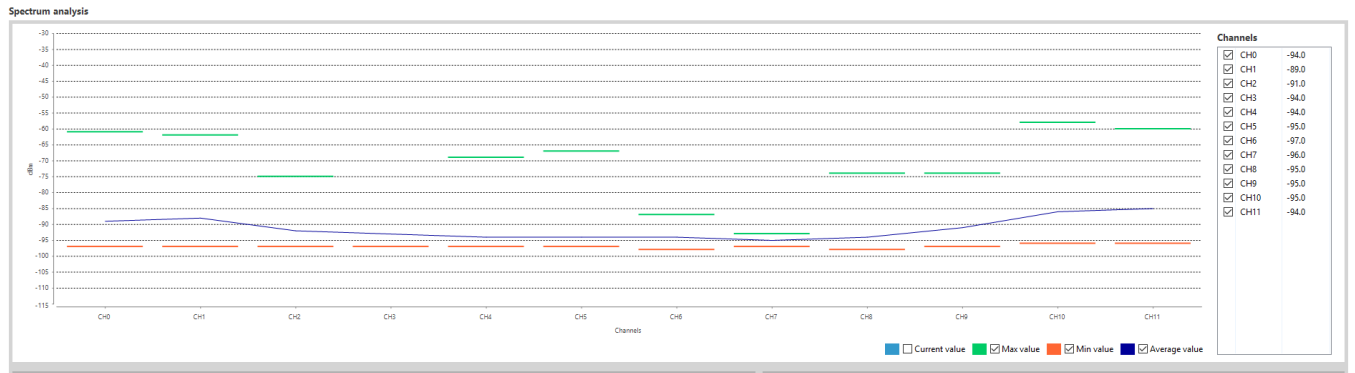
En las siguientes figuras se observan los valores detectados con las antenas de 8dBi.

Figura 59 Niveles de ruido con antena de 8dBi en residencia



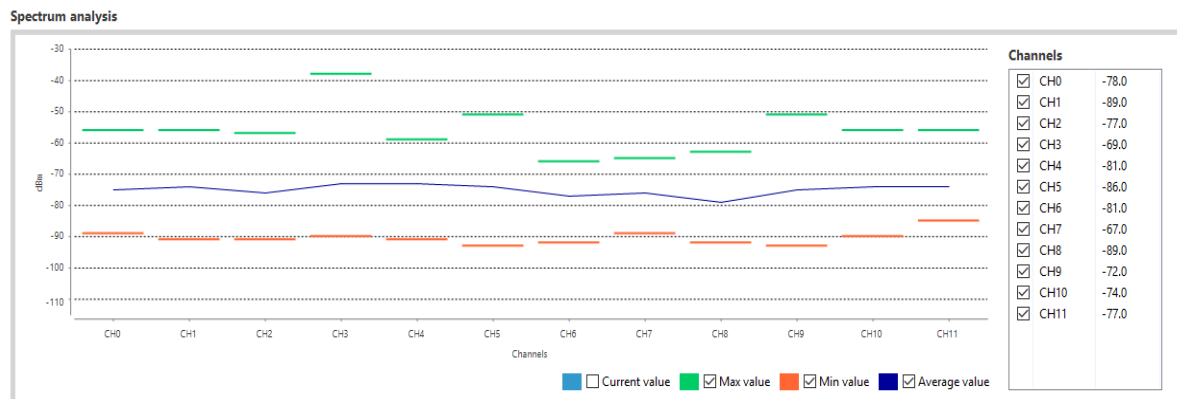
Fuente: Elaborada por el autor

Figura 60 Niveles de ruido con antena de 8dBi en parqueo



Fuente: Elaborada por el autor

Figura 61 Niveles de ruido con antena de 8dBi en oficinas



Fuente: Elaborada por el autor

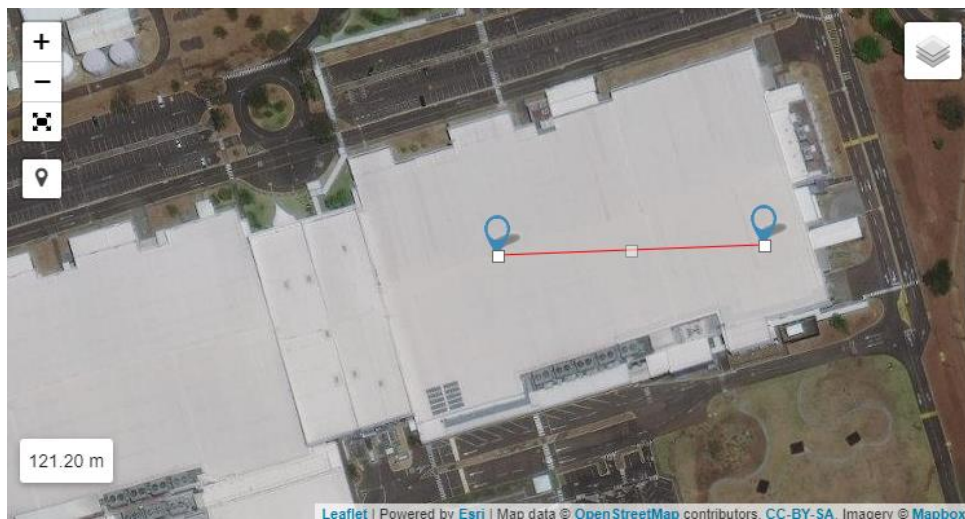
En las siguientes figuras se detallan las mejoras en alcance máximo para el área de oficinas y el parqueo.

Figura 62 Distancia máxima en parqueo con antena 8dBi



Fuente: Elaborada por el autor

Figura 63 Distancia máxima en oficinas con antena 8dBi



Fuente: Elaborada por el autor

En la siguiente tabla se resumen las características finales del diseño en los tres ambientes sobre los que se realizaron las pruebas, en esta se incluyen solo las distancias punto a punto, con el uso del DigiMesh dentro de la cobertura estable se puede asegurar que estas se multiplican a como aumenta el número de dispositivos, ya que estos encontrarán el camino hacia el coordinador pasando el dato a través de otros transmisores, se debe mencionar que aunque esto genera un retraso en la llegada de los datos fue casi imperceptible con dos transmisores y debe valorarse en etapas posteriores el efecto a una mayor escala.

Tabla 9 Resumen valores finales

Valores	Residencia	Oficina	Parqueo
Distancia Máxima	30 metros	120 metros	140 metros
Distancia Estable	25 metros	100 metros	120 metros
Velocidad de transferencia	16 Kbps	16 Kbps	16 Kbps

Fuente: Elaborado por el autor

5.4 Análisis de costos

En la siguiente sección se detallan los costos relacionados a los materiales requeridos para este prototipo, al igual que los gastos de mano de obra, para esto se tomó como referencia el promedio de horas invertidas en la investigación, diseño de la red y ejecución de las pruebas. Según el Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica para el año 2019, la hora de un ingeniero ronda los ₡3750 y el tipo de cambio a la fecha con respecto al dólar se encuentra en los ₡583 lo que equivale a \$6.43.

En la siguiente tabla se indica el costo en materiales para el primer prototipo adicionales al computador portátil, no fue necesario la compra de ningún software ya que todos los necesarios son gratuitos.

Tabla 10 Costos asociados a materiales

Artículo	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
Antena 2.4 Ghz	3	\$8.95	\$26.85
Cable Rp-SMA a uFl	3	\$3.95	\$11.85
Xbee a USB adaptador	2	\$9.95	\$19.90
Sparkfun Xbee Explorer	1	\$26.95	\$26.95
Xbee Pro S2C	3	\$38.95	\$116.85
Raspberry Pi 3 Kit	1	\$79.99	\$79.99
			Total: \$282.39

Fuente: Elaborada por el autor

Tabla 11 Costos de mano de obra

Actividad	Costo por hora	Horas	Total
Investigación	\$6.43	50	\$321.5
Diseño de red	\$6.43	40	\$257.2
Logística compra de materiales	\$6.43	15	\$96.45
Realización de pruebas	\$6.43	25	\$160.75
Total			\$835.9

Fuente: Elaborada por el autor

Dada la naturaleza del proyecto y al estar separado en tres etapas estos costos no representan los finales para el prototipo completo, aún no se puede determinar un valor de venta si se quisiera comercializar, aunque debe de mencionarse que la finalidad del proyecto no es la de obtener ganancias económicas, sino que se busca una mejora en las condiciones de trabajo, detección y prevención de problemas de salud graves los cuales puedan llevar a una incapacidad permanente o incluso la muerte de una persona.

Además, salvar a una persona que atienda una emergencia puede agilizar la atención de esta, lo que genera beneficios más allá de lo económico, si el proyecto logra salvar una vida se podrá concluir que este ha sido exitoso debido a que no existe ningún monto que pueda compensar una lesión o pérdida de un ser humano.

CAPÍTULO 6

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

Una vez terminada la practica supervisada en el diseño de un sistema de comunicación inalámbrico en tiempo real a larga distancia para transportar datos biométricos provenientes de un chaleco hacia una base de datos para equipos de primera respuesta, se concluye:

6.1.1 Según estudios realizados en el exterior y a través de la entrevista efectuada existe la necesidad de implementar un sistema capaz de analizar información biométrica de las personas que atienden emergencias, debido al poco control que existe especialmente en Costa Rica sobre las condiciones de salud de estas.

6.1.2 Dado el alto porcentaje de muertes relacionadas a enfermedades cardiovasculares y según la información obtenida del señor Mora Vargas, se determinaron los principales parámetros relacionados a la prevención de estos incidentes dentro de los cuales se mencionan el pulso cardíaco, frecuencia respiratoria, temperatura corporal e hidratación como los más importantes.

6.1.3 Para la transmisión de datos biométricos por un medio inalámbrico se debe tomar en cuenta distintos factores como lo son la distancia, los obstáculos y los niveles de ruido alrededor de los elementos, según lo observado en las pruebas la cantidad y el material de los obstáculos como paredes, degradan de manera considerable el rendimiento de la conexión, encontrar una solución a estos problemas se volvió una labor más compleja debido a los requerimientos para tener un transmisor de tipo *wearable*.

6.1.4 El uso de los protocolos más conocidos como es el caso de WiFi y bluetooth, aunque sean ampliamente utilizados en la mayoría de dispositivos, para la aplicación requerida en este proyecto no cumplieron con las características solicitadas, por lo que el uso de una tecnología diseñada para IoT como lo son los módulos Xbee, brindaron una plataforma sobre la cual se diseñó la red de comunicación inalámbrica solicitada y se brinda la posibilidad de escalar la solución hacia las siguientes etapas del proyecto.

6.1.5 Además de la selección de un protocolo de comunicación con la capacidad de cubrir las necesidades del proyecto, se debió realizar un análisis extensivo de otros parámetros que determinan el funcionamiento del prototipo como la frecuencia de la señal, el tipo de antena y la topología de red a utilizar, como se documentó durante las pruebas realizadas estas son importantes de seleccionar para poder cumplir los objetivos.

6.1.6 Los módulos Xbee permiten trabajar de dos modos distintos, el API y el transparente, aunque funcionan de manera distinta y cada uno tiene sus ventajas, el segundo se adaptó de mejor forma a las necesidades del proyecto, lo cual permitió seguir el formato JSON para empaquetar la información reduciendo el trabajo que deben realizar las etapas conjuntas a la red e incluyendo dentro de éste un identificador para cada dispositivo con el fin de reconocer el individuo que lo porta y sus datos.

6.1.7 Según los datos obtenidos durante las pruebas las antenas generaron un impacto sobre el rendimiento de la conexión, fue importante realizar un análisis de las características de estas y tomar en consideración el ambiente sobre el cual se operan, realizar un cambio de antena marcó la diferencia entre tener un producto funcional o no.

6.1.8 Dados los resultados obtenidos luego del desarrollo del prototipo final se pudo desarrollar una solución a la medida la cual logró cumplir con el objetivo planteado de cubrir una distancia de cien metros, que permite ser escalable para más de cien usuarios utilizando componentes de pequeñas dimensiones capaces de ser implementados en una prenda que permita realizar rescates sin generar incomodidades.

6.1.9 Aunque en esta etapa se pueden determinar costos parciales del proyecto ya que aún no se cuenta con los detalles de todos los elementos requeridos para elaborar un producto completo, el aporte y la intención del prototipo va más allá de un beneficio económico, su finalidad es la de evitar una posible lesión o una fatalidad sobre todo en una población expuesta constantemente al peligro y que basado en diferentes estudios están sujetas a sufrir de enfermedades cardiovasculares.

6.2 Recomendaciones

En la siguiente sección se documentan las recomendaciones para la red diseñada y las etapas posteriores al proyecto.

6.2.1 Realizar un análisis para la implementación de antenas especializadas para utilizar en prendas, con características similares a las determinadas durante esta etapa, ya que estas permiten un mejor manejo para el diseño de la prenda sobre la cual se integrará el sistema final.

6.2.2 Coordinar la implementación de la red con las etapas no desarrolladas del proyecto con el fin de asegurar la integración de estas y realizar pruebas con un sistema completo, con el fin de analizar el rendimiento de todo el producto.

6.2.3 Los módulos Xbee cuentan con un modo de bajo consumo el cual aún no se ha implementado debido a que todavía no se ha concluido la etapa de recolección de datos, sobre la cual debe recolectarse información de consumo energético, debe analizarse si el uso de esta función generara algún beneficio en este apartado.

6.2.4 Los pines de salida y entradas de los módulos pueden ser utilizados para la activación de alarmas en caso de emergencia sin el uso de un microcontrolador, aunque la red permite el uso de estos aún no existe la integración con la etapa de procesado al no estar desarrollada de manera completa.

6.2.5 Al no tener más de dos transmisores habilitados por motivo de costos las pruebas realizadas solo permiten realizar una proyección del comportamiento de la red a una mayor escala por lo que se recomienda repetir y revisar las configuraciones de los módulos con el fin de optimizar el rendimiento una vez exista mayor disponibilidad de materiales.

Bibliografía

- (2019, Junio 22). Retrieved from Antenna Theory: <http://www.antenna-theory.com/basics/radpattern.php>
- Amanda L. Hunter, A. S. (2017). Simulación de Incendios y Salud Cardiovascular en Bomberos. *Circulation*.
- Andrew S. Tanenbaum, D. J. (2012). *Redes de Computadoras*. México: Pearson Education.
- Antonio López Farré, C. M. (2009). *Libro de la Salud Cardiovascular*. Fundación BBVA.
- Bluetooth*. (2019). Retrieved from Bluetooth: <https://www.bluetooth.com/>
- Boston Scientific*. (2018). Retrieved from Boston Scientific: <http://www.bostonscientific.com/es-MX/health-conditions/cardiomyopathy/dilated--cardiomyopathy.html>
- Cliff. (2008). Retrieved from <https://www.flickr.com/photos/28567825@N03/3407786186/>
- CrCibernetica*. (2018). Retrieved from CrCibernetica: <https://www.crcibernetica.com/antenna-2-4ghz-rpsma-connector/>
- Cspire*. (2019, 6 15). Retrieved from <https://cspire5ginternet.com/support/guide-to-wifi-routers/>
- Digi*. (2019). Retrieved from Digi: <https://www.digi.com/xbee/hardware>
- Educandose en Linea*. (s.f.). Obtenido de Educandose: <https://www.educandose.com/el-corazon-humano-anatomia-funcion/>

- Forouzan, B. A. (2007). *Transmision de Datos y Redes de Comunicaciones*. McGraw Hill.
- Garmin. (2019, 6 6). *Garmin*. Retrieved from <https://buy.garmin.com/en-US/US/p/621922>
- Iván José Sastre Pérez, R. P. (n.d.). *Anatomía y fisiología del corazón*. Editorial Formación Alcalá.
- José Miguel Antuan Melendez López, E. L. (2018). Fatiga laboral, mediante la aplicación del SOFI-SM en bomberos mexicanos. *Revista Colombiana de Salud Ocupacional*.
- M.M. Rodríguez Vázquez del Rey, C. B. (n.d.). *Miocardopatía dilatada*. Madrid.
- Meccanismo Complesso*. (2019). Retrieved from Meccanismo Complesso: <https://www.meccanismocomplesso.org/en/serial-communication/>
- Medical Expo*. (2018). Retrieved from Medical Expo: <http://www.medicalexpo.com/prod/braemar/product-93827-751399.html>
- Poblet, J. M. (1988). *Introducción a la Bioingeniería*. Barcelona: Marcombo SA.
- Polar. (2019, 6 6). *Polar*. Retrieved from <https://www.polar.com/en/vantage/v>
- Razo, C. M. (2011). *Cómo elaborar y asesorar una investigación de tesis*. México: Pearson.
- Redes Inalambricas e Internet*. (2014, Marzo 28). Retrieved from <http://wirelesswifipc.blogspot.com/2014/03/patrones-de-radiacion-de-las-antenas.html>

- Redes Inalámbricas en los Países en Desarrollo*. (2013). CreateSpace Independent Publishing Platform.
- Rita F. Fahy, P. R. (2017). *Firefighter Fatalities in the United States*. NFPA.
- Rojas, V. M. (2011). *Metodología de la Investigación*. Bogotá: Ediciones de la U.
- Ruesca, P. (2015, Setiembre 25). *RadioComunicaciones*. Retrieved from <http://www.radiocomunicaciones.net/radio/teoria-de-antenas/>
- Salud, O. M. (2018). Retrieved from https://www.who.int/cardiovascular_diseases/about_cvd/es/
- Sampieri, R. H. (2014). *Metodología de la investigación*. México DF: McGraw Hill.
- Smith, D. &. (2018). The Relation of Emergency Duties to Cardiac Death Among United States Firefighters. *The American Journal of Cardiology*.
- Social Compare*. (2019). Retrieved from Social Compare: <http://socialcompare.com/en/comparison/raspberrypi-models-comparison>
- Sports, C. (2019, 6 6). *Catapult Sports*. Retrieved from <https://www.catapultsports.com/products/>
- Therier, J. (2014). *Insuficiencia Cardíaca*. Buenos Aires: Editorial Inter-Médica.
- VidaGNU*. (2019, Abril). Retrieved from VidaGNU: <https://www.vidagnu.com/diferencias-entre-raspberry-pi-3-modelo-b-y-raspberry-pi-zero/>
- Wikipedia*. (2019). Retrieved from Wikipedia: <https://en.wikipedia.org/wiki/Wi-Fi>
- Yearofthedragon. (2019). *Wikipedia*. Retrieved from Wikipedia: <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=1538912>

ANEXOS

Lista de Anexos

En el CD se puede encontrar una carpeta llamada “Anexos” en la cual pueden ser localizados los documentos de apoyo utilizados para el desarrollo de esta investigación.

- 01 – EntrevistaGuidoMora.pdf
- 02 – Anexo02 - Polar Vantage V.html
- 03 - Anexo03 - Garmin Forerunner 945.html
- 04 - Anexo04 - Línea de productos Xbee.pdf
- 05 – Cronograma.mpp
- 06 – SmartFirefightingReport.pdf
- 07 – FFF – 2017.pdf
- 08 - Anexo 08 - ClearSky-T6.pdf
- 09 - Anexo 09 - OptimEye-S5.pdf