

**DESARROLLO DE UN SISTEMA DE ALERTA PARA LA PREVENCIÓN DE
ACCIDENTES DOMÉSTICOS EN NIÑOS MENORES DE 2 AÑOS**



**UNIVERSIDAD
AUTÓNOMA
DEL CARIBE**
Barranquilla, Atlántico

**CRISTIAN DAVID HENAO GUEVARA
RAMIRO ANDRÉS PAJARO POLO**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL CARIBE
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA
BARRANQUILLA - COLOMBIA
2020**

**DESARROLLO DE UN SISTEMA DE ALERTA PARA LA PREVENCIÓN DE
ACCIDENTES DOMÉSTICOS EN NIÑOS MENORES DE 2 AÑOS**

**CRISTIAN DAVID HENAO GUEVARA
RAMIRO ANDRÉS PAJARO POLO**

**TRABAJO DE GRADO PRESENTADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO MECATRÓNICO**

**ASESORES DISCIPLINARES:
ING. SAÚL ANTONIO PÉREZ PÉREZ, Msc.
ING. FREDDY ARTURO BRICEÑO DIAZ, DrsC.**

**UNIVERSIDAD AUTONÓMA DEL CARIBE
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA
BARRANQUILLA**

2020

Nota de aceptación

Firma del jurado 1

Firma del jurado 2

DEDICATORIA

Este trabajo de grado lo dedicamos primeramente a Dios todopoderoso, por la salud y la fortaleza. A nuestros padres por su apoyo incondicional y aliento. A la Universidad Autónoma del Caribe, a la facultad de ingeniería y específicamente al programa de ingeniería mecatrónica por darnos las herramientas y el conocimiento para alcanzar nuestra meta de conseguir el título como ingenieros mecatrónicos.

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a Dios, por ser mi fuente de salud, vida y la fortaleza para alcanzar este importante objetivo de obtener mi título como ingeniero mecatrónico. Por el gran regalo de mi familia la cual ha sido el pilar de mi formación en valores y como profesional.

A mi madre Paola Polo Araujo, por su apoyo y amor incondicional, por sus palabras de aliento y de motivación. Su ejemplo de lucha y superación fue mi motor para alcanzar esta importante meta y superar los retos que se me presentaron a lo largo de mi etapa como estudiante.

A mi padre Ramiro Samuel Pajaro Castro, por sus consejos, por compartir su experiencia para guiarme en la toma de decisiones y superar de la mejor manera los obstáculos a lo largo de mi carrera. También agradecerle por su apoyo y contribución para la consecución de este proyecto.

A mi hermano Pedro Luis Pajaro Polo, por su apoyo incondicional, por ser un amigo con el que siempre puedo contar y compartir mis experiencias de vida, con el que he compartido muchos momentos de felicidad y de superación.

A mis abuelos Luis Pajaro y Amelia Castro, por ser ese ejemplo a seguir, por la hermosa familia que han construido y por inculcarnos los mejores valores. De forma especial recalco la participación activa de mi abuela para las pruebas realizadas sobre el sistema desarrollado.

Por ultimo y no menos importante al Ing. Saúl Pérez, por compartir su idea de proyecto con nosotros, por su compromiso y atención al mismo, siendo nuestro asesor y guía para poder culminar exitosamente nuestro trabajo de grado.

Ramiro Andrés Pajaro Polo

Agradecer a Dios por la oportunidad de permitirnos haber estudiado en la Universidad Autónoma del Caribe y salir adelante con nuestro trabajo.

A mi madre Margarita Rosa Guevara Solís, por todo el apoyo incondicional que me ha brindado, por todas las veces que estuvo para mi cuando los momentos no eran los mejores y alentarme para seguir adelante, por su gran amor y dedicación para formar no solo un profesional, sino una persona íntegra.

A mi padre Argemiro Antonio Henao Zurbarán, por ser una inspiración para mí, por encaminarme para ser un profesional, y haciéndome saber que no hay trabajo fácil, pero si una gran recompensa, por su guía, sus muchos consejos, su ayuda para la tomar de decisiones, y también para seguir mis sueños y esforzarme por ello.

A mi hermano Alberto Mario Henao Guevara, por ser un gran ejemplo, por estar conmigo incondicionalmente, por ser mi ayuda y brindarme tranquilidad para seguir adelante.

Y por último me gustaría agradecerle al Ing. Saúl Pérez, pero su ayuda, quien fue la inspiración de nuestro proyecto, por todos los años que nos brindó su ayuda como docente desde los primeros semestres y también como un amigo para orientándonos como excelentes ingenieros.

Cristian David Henao Guevara

TABLA DE CONTENIDO

LISTA DE FIGURAS.....	I
LISTA DE TABLAS.....	III
GLOSARIO.....	IV
RESUMEN.....	VI
ABSTRACT.....	VII
INTRODUCCIÓN.....	1
1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
1.1 ANTECEDENTES.....	2
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	4
1.3 JUSTIFICACIÓN Y ALCANCE.....	4
2 OBJETIVOS.....	6
2.1 OBJETIVO GENERAL.....	6
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	6
3 MARCO DE REFERENCIA.....	7
3.1 ESTADO DEL ARTE.....	7
3.2 MARCO TEÓRICO.....	10
3.2.1 FACTORES DE RIESGO DENTRO DE UNA VIVIENDA.....	10
3.2.2 REDES DE SENSORES INALÁMBRICOS (WIRELESS SENSOR NETWORK, WSN).....	12
3.2.3 RADIOTRANSMISIÓN.....	15
3.2.4 TECNOLOGÍAS INALÁMBRICAS.....	17
3.2.4.1 IEEE 802.11/Wi-Fi.....	18
3.2.4.2 BLUETOOTH DE BAJA ENERGÍA (BLE).....	22
3.2.4.3 BEACON.....	24
3.2.4.3.1 iBEACON.....	25
4 PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO.....	28
4.1 METODOLOGÍA.....	28
4.1.1 RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN.....	28
4.1.2 SELECCIÓN DE TECNOLOGÍAS WIRELESS.....	29
4.1.3 SELECCIÓN DE COMPONENTES.....	31
4.1.3.1 ESP32.....	31
4.1.3.2 ESP8266.....	33
4.1.3.3 BLE iBeacon BC037S.....	35
4.1.3.4 BATERÍA.....	36
4.1.3.5 MÓDULO DE CARGAR.....	37

4.1.3.6	REGULADOR DE BAJA CAIDA LDO	38
4.1.3.7	DISPLAY	39
4.1.3.8	MÉTODOS DE ALERTA.....	40
4.1.4	LÓGICA DEL SISTEMA	41
4.1.4.1	CONFIGURACIÓN DEL IBEACON BC037S	42
4.1.4.2	LÓGICA DEL ROUTER	43
4.1.4.3	LÓGICA DEL GATEWAY	46
4.1.5	DISEÑO DE DISPOSITIVOS.....	48
4.2	TIPO DE ESTUDIO	49
4.3	CRONOGRAMA – PLAN DE TRABAJO.....	50
5	PRESUPUESTO	52
5.1	PRESUPUESTO GENERAL	52
5.2	PERSONAL CIENTÍFICO Y DE APOYO	53
5.3	CONSULTORIA ESPECIALIZADA.....	53
5.4	MATERIALES, INSUMOS Y EQUIPOS.....	54
6	PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	56
6.1	DISEÑO DE PROTOTIPOS	56
6.2	DISEÑO DISPOSITIVO FINAL.....	59
6.3	MATERIALES.....	61
6.4	RECOLECCIÓN DE DATOS	63
6.4.1	MUESTRA POBLACIONAL	66
6.5	ANÁLISIS DE RESULTADOS	69
6.5.1	ANÁLISI DE LAS PRUEBAS REALIZADAS POR EL PROTOTIPO.....	69
6.5.1.1	DETECCIÓN DEL iBEACON BC037S.....	69
6.5.1.2	FILTRADO DE RSSI.....	70
6.5.1.3	CALIBRACIÓN EN EL ENTORNO DE DESPLIEGUE	73
6.5.1.4	SEÑAL DE ALERTA	75
6.5.2	ANÁLISIS DE LAS PRUEBAS REALIZADAS POR EL DISPOSITIVO FINAL 77	
6.6	MANUAL DE USUARIO	81
6.6.1	INTRODUCCIÓN DE MANUAL DE USUARIO	81
6.6.2	NODO FINAL.....	82
6.6.3	GATEWAY	83
6.6.1	ROUTER	86
6.6.2	DESPLIEGUE DEL SISTEMA	88
	CONCLUSIONES.....	89
	RECOMENDACIONES.....	92

BIBLIOGRAFÍA.....	93
ANEXOS.....	99
ANEXO N.º 1: PLANOS NODO FIJO.....	99
ANEXO N.º 2: PLANOS GATEWAY	100
ANEXO N.º 3: NODO FINAL.....	101

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Áreas del hogar con mayor índice de accidentalidad.	2
Figura 2. Índice de accidentes más comunes.	3
Figura 3. Riesgo de quemadura ante la cercanía a la estufa.	3
Figura 4. Componentes de un nodo de una WSN.	13
Figura 5. Topología en estrella.	14
Figura 6. Topología en malla.	14
Figura 7. Topología en árbol.	15
Figura 8. Topología híbrida.	15
Figura 9. Transmisión y recepción de ondas.	16
Figura 10. Ondas de radio en el espectro electromagnético.	16
Figura 11. 802.11 en el modelo OSI.	19
Figura 12. Canales disponibles en, EE. UU, Europa y Japón.	19
Figura 13. Hosts inalámbricos.	21
Figura 14. Puntos de acceso.	21
Figura 15. Enlaces inalámbricos.	21
Figura 16. Infraestructura de una red 802.11.	22
Figura 17. Canales de publicidad y canales de datos.	23
Figura 18. Salto de frecuencia.	23
Figura 19. Logo iBeacon de Apple.	26
Figura 20. Formato de paquetes de iBeacon.	26
Figura 21. Fases metodológicas para el desarrollo del proyecto.	28
Figura 22. Opciones de topología BLE.	31
Figura 23. Placa ESP32 WROOM32 DevKit.	33
Figura 24. Distribución de pines del módulo ESP32 WROOM32 DevKit.	33
Figura 25. Placa ESP-01.	34
Figura 26. Distribución de pines del módulo ESP-01.	35
Figura 27. iBeacon BC037S.	36
Figura 28. Batería LiPo de 1200 mAh 3.7 V.	37
Figura 29. Módulo Cargador Batería de LiPo 1A Micro Usb 5V – TP4056.	37
Figura 30. MCP1700-3302E características.	38
Figura 31. Display OLED 0.91" 128×32 I2C.	39
Figura 32. Motor Vibrador 610.	40
Figura 33. Zumbador Magnético.	40
Figura 34. Topología de red para el sistema de alerta.	41
Figura 35. Configuración del iBeacon BC037S.	43
Figura 36. Diagrama de flujo Router (ESP32).	45
Figura 37. Diagrama de flujo Router (ESP8266).	46
Figura 38. Diagrama de flujo Gateway.	47
Figura 39. Esquemático, circuito electrónico del Router.	48
Figura 40. Esquemático, circuito electrónico del Gateway.	49
Figura 41. Prototipo de carcasas desarrollado.	56
Figura 42. Rieles superior e inferior.	57
Figura 43. Tapa inferior.	57
Figura 44. Tapa superior.	58
Figura 45. Adaptador para el dispositivo IBEACON BC037.	58
Figura 46. Caja de adaptador para el dispositivo IBEACON BC037.	58
Figura 47. Tapa del adaptador tipo reloj para el dispositivo IBEACON BC037.	59
Figura 48. Prototipo de carcasas desarrollado.	59

Figura 49. Rieles superior e inferior.	60
Figura 50. Tapa Superior.	60
Figura 51. Ensamble Nodo Final.	61
Figura 52. Ensamble Gateway.	62
Figura 53. Ensamble Router.	62
Figura 54. Ensamble PCB Gateway.	63
Figura 55. Ensamble PCB Router.	63
Figura 56. Encuesta diseñada para identificar los principales factores de riesgo presentes en una vivienda.	64
Figura 57. Encuesta diseñada para identificar los principales factores de riesgo presentes en una vivienda.	65
Figura 58. Encuesta diseñada para identificar los principales factores de riesgo presentes en una vivienda.	65
Figura 59. Porcentaje de padres encuestados con hijos menores de 2 años de edad.	66
Figura 60. Porcentaje de hijos que sufrieron un accidente doméstico durante su infancia.	66
Figura 61. Porcentaje de factores de riesgos atribuidos a la ocurrencia de un domestico en los hijos de los padres encuestados.	67
Figura 62. Porcentaje de factores de riesgos presentes en los hogares de los padres encuestados que pueden ocasionar un accidente en niños menores de 2 años.	67
Figura 63. Paquete de datos anunciado por el dispositivo iBeacon BC037.	69
Figura 64. Ejemplo extracción de parámetros: RSSI, Tx Power, Length, Manufacturer ID y Proximity UUID del iBeacon BC037S.	69
Figura 65. Condiciones anidadas para la detección del nodo final (iBeacon BC037S).	70
Figura 66. Influencia de la distancia en la estimación de la proximidad.	70
Figura 67. Influencia de los objetos y de los humanos en la estimación de la proximidad.	71
Figura 68. Gráfica mediciones RSSI a 1m, filtro de Kalman (línea roja) vs sin filtro (línea azul).	73
Figura 69. Metodología para la caracterización de señales RSSI.	74
Figura 70. Actualización del set point de RSSI a 1 m en el router.	75
Figura 71. Mensaje de soporte función de caracterización.	75
Figura 72. Set point de RSSI a 1 m, función de caracterización.	75
Figura 73. Solicitud GET recibida por el gateway set point sobrepasado.	76
Figura 74. Solicitud GET recibida por el gateway set point.	76
Figura 75. Alerta en display del gateway.	77
Figura 76. Alerta en display del gateway pulsador de retardo.	77
Figura 77. Pruebas del sistema, instalación de router.	77
Figura 78. Pruebas del sistema, función de caracterización habilitada.	78
Figura 79. Pruebas del sistema, metodología para establecer el set point de distancia.	79
Figura 80. Pruebas del sistema, set point de señales RSSI.	79
Figura 81. Pruebas del sistema, conexión entre el gateway y el router.	80
Figura 82. Pruebas del sistema, señale de alerta hacia el gateway.	81
Figura 83. Partes del Nodo Final.	82
Figura 84. Encendido del Nodo Final.	83
Figura 85. Partes del Gateway vista alzada.	84
Figura 86. Partes del Gateway vista lateral izquierda.	84
Figura 87. Portabilidad de Gateway como llavero.	85
Figura 88. Estados de carga del dispositivo Gateway.	86
Figura 89. Partes del Router vista alzada.	86
Figura 90. Partes del Router vista lateral izquierda.	86
Figura 91. Instalación del Router.	87

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Principales factores de riesgo dentro de una vivienda.....	10
Tabla 2. Bandas de uso no regulado.	17
Tabla 3. Protocolos 802.11 a / b / g / n.	19
Tabla 4. Principales características de Bluetooth LE.....	23
Tabla 5. Comparativa de tecnologías Wireless ventajas y desventajas.	29
Tabla 6.Comparativa de frecuencia, alcance y duración de la batería de tecnologías Wireless.....	30
Tabla 7. Listado de librerías implementadas.....	41
Tabla 8. Cronograma – Plan de trabajo.	50
Tabla 9. Presupuesto general.	52
Tabla 10. Costo personal científico.	53
Tabla 11. Costo personal de apoyo.	53
Tabla 12. Costo consultoría especializada y servicios técnicos externos.	53
Tabla 13. Costo de materiales e insumos.	54
Tabla 14. Costo de equipos usados.....	55
Tabla 15. Datos estadísticos señales RSSI sin filtro	72
Tabla 16. Datos estadísticos señales RSSI filtro de Kalman.....	72

GLOSARIO

AP: Punto de acceso (Access Point).

APP: Aplicación (Application).

ADC: Conversor analógico a digital (Analog-to-Digital Converter).

Beacon: Dispositivo transmisor de bajo consumo, que emite una señal broadcast.

BLE: Bluetooth de Baja energía (Bluetooth Low Energy).

COM: Puerto de Comunicación (Communication Port).

CSMA/CA: Acceso Múltiple con Prevención de Portadora y Colisiones (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance).

dBm: Decibelio Milivatio, es una unidad de medida de potencia expresada en decibelios (dB) relativa a un milivatio (mW).

GATT: Perfil de Atributo Genérico (Generic Attribute Profile).

GPIO: Entrada/Salida de Propósito General (General Purpose Input/Output).

HZ: Hercio o Hertz, es una unidad de medida de la frecuencia en el Sistema Internacional de Unidades.

HTTP: Protocolo de Transferencia de Hipertexto (Hypertext Transfer Protocol).

IDE: Entorno de Desarrollo Integrado (Integrated Development Environment).

I2C: Estándar que facilita la comunicación entre microcontroladores, sólo requiere de dos líneas de señal y un común.

IoT: Internet de las cosas (Internet of Things).

IEEE: Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (Institute of Electrical and Electronics).

ISM: Industrial, Scientific and Medical (Banda ISM).

IPS: Sistema de Posicionamiento en Interiores (Indoor Position System).

IP: Protocolo de Internet (Internet Protocol).

LAN: Red de Área Local (Local Area Network).

LDO: Regulador de Baja Caída (Low-Drop Regulator).

MAC: Capa de Control de Acceso al Medio (Medium Access Control Layer).

OSI: Modelo de Interconexión de Sistemas Abiertos (Open System Interconnection).

OLED: Diodo Orgánico de Emisión de Luz (Organic Light-Emitting Diode).

PCB: Tarjeta de Circuito Impreso (Printed Circuit Board).

PHY: Capa Física (Physical Layer).

RF: Radio Frecuencia (Radio Frequency).

RFID: Identificación por Radiofrecuencia (Radio Frequency Identification).

RSSI: Indicador de Potencia de Señal Recibida (Received Signal Strength Indicator).

Tx: Transmisión.

TCP/IP: Protocolo de Control de Transmisión/Protocolo de Internet (Transmission Control Protocol/Internet Protocol).

USB: Bus Universal Serial (Universal Bus Serial).

UUID: Identificador Único Universal (Universally Unique Identifier).

URL: Localizador de Recursos Uniforme (Uniform Resource Locator)

WSN: Red de Sensores Inalámbricos (Wireless Sensor Network).

Wi-Fi: Fidelidad Inalámbrica (Wireless Fidelity).

WLAN: Red de Área Local Inalámbrica (Wireless Local Area Network).

RESUMEN

El presente documento obedece al cumplimiento que el proyecto tuvo como objetivo desarrollar de un sistema de alerta para la prevención de accidentes domésticos en niños menores de 2 años. Este nació de la necesidad que experimentan los padres de monitorizar y conocer el estado de su hijo en todo momento, ya que, ante la fragilidad del infante y debido a que estos carecen de experiencia para evitar el riesgo y el peligro, pueden enfrentarse a entornos y situaciones que pueden afectar su integridad física y psicológica dentro del hogar.

El sistema desarrollado consistió en una red de sensores inalámbricos (WSN), la cual a través de las tecnologías inalámbricas (Wireless) WiFi y Bluetooth Low Energy (BLE), contó con la capacidad de detectar la cercanía del infante a zonas de riesgo dentro una vivienda, mediante la medición del indicador de potencia de señal recibida (RSSI).

Con la implementación de dicho sistema se buscó brindar una alternativa innovadora, mediante la cual se puedan mitigar los factores de riesgo presentes en una vivienda, para reducir el índice de accidentalidad en niños menores de dos años, aprovechando el desarrollo y la evolución de las WSN y del internet de las cosas (IoT).

Palabras claves: WiFi, WSN, BLE, RSSI, IoT.

ABSTRACT

This document is based on the project's objective of developing an alert system for the prevention of domestic accidents in children under 2 years of age. It was born out of the parents need to monitor and know the state of their child at all times, because, given the fragility of the infant, and because they lack experiences to avoid risk and danger, they may face environments and situations within the home that may affect their physical and psychological integrity.

The developed system consisted of a wireless sensor network (WSN), which, through wireless technologies as WiFi and Bluetooth Low Energy (BLE), had the ability to detect the infant's proximity to risk areas within the home by measuring the received signal strength indicator (RSSI).

With the implementation of this system, an attempt was made to provide an innovative alternative, through which the risk factors present in a dwelling can be mitigated, in order to reduce the accident rate in children under two years of age, taking advantage of the development and evolution of the WSN and the internet of things (IoT).

Keyword: WiFi, WSN, BLE, RSSI, IoT.

INTRODUCCIÓN

En Colombia, los accidentes domésticos constituyen uno de los motivos de consulta en los servicios de urgencias más frecuentes, siendo la población infantil la más vulnerables. El Instituto Colombiano de Bienestar Familiar (ICBF), considera este tipo de hechos como una forma de violencia no intencional, ya que estos suceden por factores de riesgo que son evitables, los cuales genera afectaciones físicas, psicológicas e incluso la muerte en niños y niñas.

Durante la primera infancia, es decir de 0 a 2 años, los niños carecen de la percepción de los riesgos. Por esta razón y ante la fragilidad del infante, muchas son las medidas de seguridad que se deben implementar, para garantizar la seguridad y bienestar del niño dentro del hogar. Sin embargo, las condiciones del entorno físico dentro de las viviendas hacen que los ambientes presenten riesgos, lo cual genera en los padres la necesidad de monitorizar y conocer el estado de su hijo en todo momento.

Por otro lado, Las redes de sensores inalámbricos (WSN) y el internet de las cosas (IoT) han evolucionado desde la convergencia de las tecnologías inalámbricas. Esta revolución tecnológica ha impulsado el desarrollo de proyectos que integran las tecnologías Wireless (inalámbrico o sin cables), para dar soluciones a problemáticas relacionadas con la monitorización y la obtención de información en tiempo real.

Por todo lo citado anteriormente, el presente proyecto tiene como objetivo desarrollar un sistema de alerta basado en una red de sensores inalámbricos para la prevención de accidentes domésticos en niños menores de 2 años, mediante el cual se pretende mitigar los factores de riesgo presentes en una vivienda, contribuyendo a reducir el índice de accidentalidad infantil.

1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 ANTECEDENTES

En Bogotá, del total de la morbilidad por lesiones de causa externa atendidas en la red pública y privada del Distrito Capital, más del 20% están asociadas a accidentes en el hogar, y según la Secretaría Distrital de Salud (SDS) los accidentes domésticos en particular constituyen uno de los tres motivos de consulta de urgencias más frecuentes [1].

En el año 2016 fueron atendidos más de 6.600 accidentes caseros en Bogotá, lo cual representó un aumento del 16% respecto al año 2015, en el cual se recibieron 5.723 reportes [2]. Según la SDS, hasta mayo del pasado 2018 hubo 3.492 atenciones por accidentes caseros, en promedio 23 cada día. Según la Secretaría, las zonas más comunes donde ocurren los incidentes fueron la cocina y el baño, siendo los menores de edad los más vulnerables [3]. En la figura 1 se presenta a manera de gráfica los lugares donde se presentaron los mayores índices de accidentalidad en los hogares bogotanos.

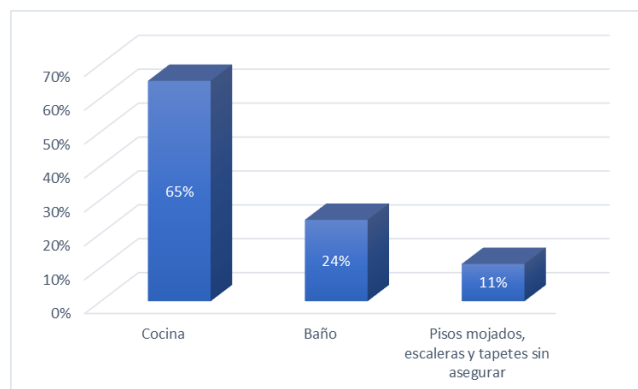


Figura 1. Áreas del hogar con mayor índice de accidentalidad.

Fuente: Tomado de [2].

Las estadísticas señalaron, además, que los accidentes más comunes fueron: traumas 76,40%, fracturas 4,70%, heridas por objetos cortopunzantes 3,30%, intoxicaciones 1,70%, caídas 3,60% y quemaduras 2,40% como se observa e la figura 2.

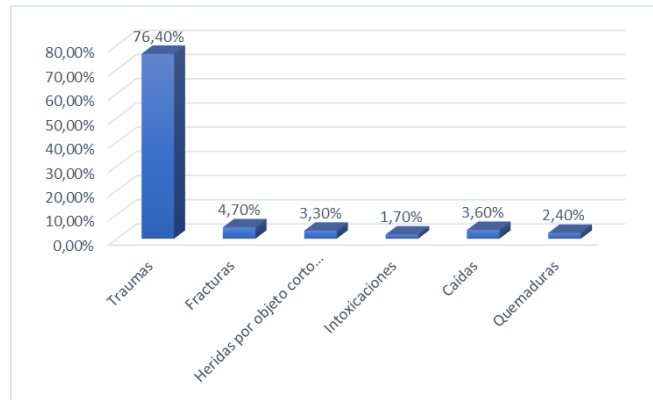


Figura 2. Índice de accidentes más comunes.

Fuente: Tomado de [2].

Por otro lado, Según un informe presentado por la organización independiente Save The Children, respaldado en cifras del Instituto Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses, entre el primero de enero y el 30 de noviembre del 2016, 2.570 menores de edad murieron en Colombia como consecuencia de accidentes prevenibles y otros 779 resultaron lesionados por causas semejantes. En el Atlántico se registraron 96 decesos y 18 lesiones prevenibles en el mismo período, según el documento que dio a conocer la ONG. En el caso de menores que estuvieron en el rango de entre 0 y 4 años, se reportaron 901 episodios [4].



Figura 3. Riesgo de quemadura ante la cercanía a la estufa.

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿De qué forma se pueden mitigar los factores de riesgo presentes en una vivienda, para reducir el índice de accidentalidad en niños menores de dos años?

1.3 JUSTIFICACIÓN Y ALCANCE

Los accidentes domésticos en los que los niños resultan seriamente afectados se presentan con mayor frecuencia de lo que se cree, estos constituyen una importante causa de morbilidad y mortalidad, que, además, pueden generar discapacidades y lesiones permanentes en los niños, llegando a tener un impacto duradero en todas las facetas de su vida: relaciones, aprendizaje y juegos.

Los niños a lo largo de su desarrollo van adquiriendo cada vez mayor movilidad, sin embargo, la etapa más crítica, y en donde se deben extremar las medidas de seguridad para evitar cualquier tipo de accidente, es durante la primera infancia, es decir, de 0 a 2 años. Durante esta etapa, los niños carecen de la percepción de los riesgos, por lo tanto, la ocurrencia de accidentes durante la misma está directamente relacionada con la percepción de los riesgos del adulto cuidador.

Debido a esta problemática, y a la necesidad que experimentan los padres de monitorizar y conocer el estado de su hijo en todo momento, este proyecto busca desarrollar un sistema de alerta para la prevención de accidentes domésticos en niños menores de 2 años.

Mediante la implementación de dicho sistema, se pretende mitigar los factores de riesgo presentes en una vivienda, disminuyendo así, la probabilidad de ocurrencia

de este tipo de calamidades domésticas, contribuyendo a mejorar la calidad de vida de los niños.

Para el desarrollo del proyecto, inicialmente se realizó un estudio sobre los accidentes domésticos, dicho estudio, abarco únicamente los principales factores de riesgo presentes una vivienda que dan origen a un accidente, además de sus causas y consecuencias, esto con el fin de entender la dinámica de estos eventos.

Seguidamente, debido a que el sistema de alerta está basado en una red de sensores inalámbricos (WSN), las cuales son ampliamente implementadas para el desarrollo de sistemas de posicionamiento en interiores (IPS), se realizó una revisión bibliográfica, mediante la cual se identificaron los dispositivos y componentes electrónicos que componen este tipo de redes; las principales topologías implementadas en las mismas; y las principales tecnologías Wireless (inalámbrico o sin cables), través de las cuales, se pueden derivar métodos de localización en interiores mediante la medición del indicador de potencia de señal recibida (RSSI).

Finalmente, sobre el sistema desarrollado, se realizaron pruebas de rendimiento para determinar cuán eficiente resulto el diseño empleado y así, mediante la evaluación de los resultados obtenidos, poder validar el funcionamiento del sistema en cuanto a la lógica de programación implementada; las comunicaciones (rápida y segura); y la autonomía del sistema.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Desarrollar un sistema de alerta basado en una red de sensores inalámbricos para la prevención de accidentes domésticos en niños menores de 2 años.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Identificar los principales factores de riesgo que existen dentro de una vivienda, para la prevención de accidentes domésticos en niños menores de 2 años.
2. Implementar el sistema de alerta basado en una red de sensores inalámbricos, para la prevención de accidentes domésticos en niños menores de 2 años.
3. Evaluar el funcionamiento del sistema desarrollado, para la prevención de accidentes domésticos en niños menores de 2 años.

3 MARCO DE REFERENCIA

3.1 ESTADO DEL ARTE

Una aplicación de las WSN y el IoT es el desarrollo de sistemas de posicionamiento en interiores (IPS). Estos sistemas consisten en una red de dispositivos interconectados, utilizados para localizar inalámbricamente objetos o personas dentro de espacios cerrados, en donde la tecnología GPS carece de precisión, como lo puede ser en este caso una vivienda. En este sentido los avances encontrados son:

- **Evaluación de modelos de aprendizaje automático para posicionamiento indoor utilizando bluetooth low energy.**

Berrios Felipe, en el año 2018, en Santiago – Chile, para su trabajo final de grado abarcó el problema del posicionamiento indoor, mediante las redes inalámbricas del protocolo Bluetooth, con las cuales, utilizando su intensidad de señal y en conjunto con algoritmos de máquinas de aprendizaje y la técnica fingerprint, se planteó una solución para lograr posicionamiento en interiores [6].

- **Desarrollo de un sistema de microlocalización y seguimiento en interiores con sensores Bluetooth LE.**

Camero Juan, en el año 2018, en Jaén – España, para su trabajo final de grado propuso una solución basada en la tecnología Bluetooth low energy en un dispositivo emisor y diversos dispositivos receptores (Raspberry pi) distribuidos en un espacio cerrado de pruebas, como alternativa para la localización en interiores [7].

- **Análisis de las tecnologías utilizadas en sistemas de posicionamiento en interiores.**

Mier Jaime, en el año 2018, en Quito – Ecuador, para su trabajo final de grado analizó las diferentes tecnologías existentes para sistemas de posicionamiento

en interiores, para brindar una solución a la problemática que conlleva la localización en interiores [8].

- **Sistema electrónico de seguridad que alerta y previene accidentes de bebés que ocurren cuando empiezan a moverse independientemente basado en la plataforma Arduino.**

Chico Inti, en el año 2017, en Ibarra - Ecuador, para su trabajo final de grado desarrolló un sistema de seguridad electrónico para bebés que comienzan a moverse de forma independiente al gatear. El sistema se conecta mediante una antena a la red Wi-Fi de su casa y puede enviar notificaciones de alerta vía internet a un celular [9].

- **Sistema de posicionamiento móvil para interiores vía wifi.**

Piedra Jesús, en el año 2016, en Cataluña – España, para su trabajo final de grado desarrolló un proceso de posicionamiento teórico basado en la ubicación física de un objeto móvil en el interior a través de un sistema de nodos de redes satelitales mediante Wi-Fi, pudiendo detectar la intensidad de la señal RSSI recibida de cada uno de ellos para poder calcular su ubicación y luego enviarla a un sistema de control [10].

- **Diseño e implementación de un prototipo de sistema de radiolocalización mediante una red de sensores inalámbricos (WSN).**

Galarza Alejandra, en el año 2016, en Sangolquí – Ecuador, diseñó e implementó un sistema de prototipo de radiolocalización, utilizando equipo MEMSIC que funciona en la banda de 2.4GHz [11].

- **Prototipo para la localización en interiores con BLE Beacons.**

Bermúdez Edison, en el año 2016, en Bogotá – Colombia, en su artículo presentó el desarrollo de un prototipo para la localización en interiores haciendo uso de Beacons BLE [12].

- **Aplicación de una red inalámbrica de sensores para detección de presencia y conteo.**

Villalba Álvaro, en el año 2015, en Sevilla – España, para su trabajo final de grado desarrolló un sistema de posición interior (IPS) implementando con éxito una red inalámbrica de sensores, mediante uso de los niveles RSSI junto a la técnica de estimación de localización de reconocimiento de patrones [13].

- **Desarrollo de un sistema domótico inteligente con posicionamiento interior utilizando Bluetooth Low Energy.**

Esteve José, en el año 2015, en València – España, para su trabajo final de máster creó un sistema domótico inteligente que, mediante el posicionamiento interior de personas, es capaz de ahorrar energía, activar la seguridad por zonas, encender luces o abrir una puerta [14].

- **Diseño y desarrollo de un sistema de localización e identificación orientado al cuidado de la salud en el ámbito del hogar inteligente.**

Castro Isaac, en el año 2009, en Madrid – España, para su trabajo final de grado diseñó y desarrolló un sistema de localización e identificación orientado al cuidado de la salud en el ámbito del hogar inteligente, permitiendo identificar en todo momento al paciente dentro de su domicilio, así como objetos de su entorno o los diversos dispositivos necesarios para su cuidado o teleasistencia [15].

3.2 MARCO TEÓRICO

3.2.1 FACTORES DE RIESGO DENTRO DE UNA VIVIENDA

Los accidentes son eventos que surgen de manera inesperada, sin embargo, no son consecuencia de hechos fortuitos ni en azar, pues suceden por factores de riesgo que son evitables y pueden generar diferentes afectaciones físicas, psicológicas e incluso la muerte en niños y niñas, por esta razón los accidentes en la primera infancia pueden ser catalogados como una forma de violencia no intencional [16].

Los principales factores que dan origen a un accidente doméstico se deben a condiciones derivadas de aspectos ambientales y humanos así:

- **Factores ambientales:** son los relacionados con las diversas condiciones del entorno físico y hacen que los ambientes presenten riesgos, tales como: características de la arquitectura, estructuras e infraestructura y estado de las viviendas [16].
- **Factores humanos:** son los relacionados con aspectos propios de la persona. En los dos primeros años de vida los niños carecen de la percepción de riesgos, por lo tanto, la ocurrencia de accidentes en la primera infancia está directamente relacionados con la percepción de los riesgos del adulto cuidador [16].

En la tabla 1 se muestra una lista de los principales factores de riesgo, las causas y sus consecuencias, presentes en una vivienda.

Tabla 1. Principales factores de riesgo dentro de una vivienda.

Factores de riesgos	Identificación de las causas	Consecuencias
---------------------	------------------------------	---------------

<p>Riesgo de ahogamiento por inmersión</p>	<p>Por acceso a cualquier almacenamiento de como mínimo 5 cm³ de agua:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Bañeras ▪ Baldes ▪ Albercas ▪ Piscinas ▪ Tanques <p>Entre otros.</p>	<p>Evento que ocasiona la disminución del aporte de oxígeno o reducción mantenida del flujo sanguíneo cerebral, ocupa una posición de importancia entre las causas de muerte en la primera infancia.</p>
<p>Riesgo de caída de altura</p>	<p>Por acceso a zonas elevadas como:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Azoteas ▪ Escaleras ▪ Balcones ▪ Paredes elevadas ▪ Ventanas cornisas <p>Entre otros.</p>	<p>Es una de las principales causas de muerte, lesiones, traumatismos craneoencefálicos y óseos permanentes en niñas y niños.</p>
<p>Riesgo de quemaduras</p>	<p>Producido por agentes externos, ya sean físicos como: sólidos calientes, planchas y estufas; líquidos como: aceite o agua, por larga exposición al sol o por fuego. Químicos, ácidos como el clorhídrico, sulfúrico, muriático; por álcalis como la soda cáustica o quemadura de las vías respiratorias por inhalación de sus vapores. Eléctricos por descargas eléctricas a diferentes voltajes y/o cualquiera de sus combinaciones.</p>	<p>Daño o destrucción de la piel o tejidos más profundos como el músculo y el hueso por calor o frío; muerte.</p>

<p>Riesgo de electrocución</p>	<p>Gran número de los accidentes relacionados con descargas eléctricas, radican en el incumplimiento del RETIE (Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas 2013) expedido por el Ministerio de Minas y Energía.</p>	<p>Al recibir una descarga puede sufrir un paro cardiorrespiratorio y la muerte; lesiones severas como quemaduras de tejidos blandos y óseos.</p>
<p>Riesgo de intoxicaciones</p>	<p>Dejar al alcance medicamentos, líquidos o sólidos de aseo, líquidos o sólidos utilizados en la construcción o en el destape de cañerías, entre otros. Los productos que generan con mayor frecuencia intoxicaciones en las niñas y los niños son medicamentos, productos de limpieza, cosméticos o productos de aseo personal, entre otros.</p>	<p>Reacción del organismo causada por exposición, ingestión, inyección o inhalación de una sustancia tóxica; según la evolución y la respuesta orgánica de cada niña o niño puede comprometer todos los sistemas, incluso causar la muerte si la atención no es rápida y adecuada, especialmente en niñas y niños que sufren reacciones alérgicas graves.</p>

Fuente: Tomado de [16].

3.2.2 REDES DE SENSORES INALÁMBRICOS (WIRELESS SENSOR NETWORK, WSN)

Una red de sensores inalámbricos (Wireless Sensor Network, WSN) es un sistema con numerosos dispositivos (denominados nodos), distribuidos espacialmente que utilizan sensores para monitorear diversas condiciones u obtener datos en distintos puntos en una región geográfica [17]. Este tipo de redes es ampliamente usado para

el desarrollo de sistemas de posicionamiento en interiores (Indoor Positioning System, IPS) gracias a que los avances en electrónica y en las comunicaciones inalámbricas han hecho viable el desarrollo de redes de sensores multifuncionales de bajo coste y bajo consumo.

Los nodos que conforman una WSN son unidades autónomas que constan de un microcontrolador, una fuente de energía (casi siempre una batería), un radio transceptor y un elemento sensor [17], como se muestra en la figura 4.

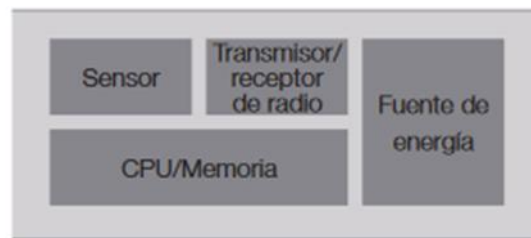


Figura 4. Componentes de un nodo de una WSN.

Fuente: Tomado de [17].

Como cualquier red, las WSN cuentan con diferentes topologías para su implementación. El termino topología se refiere a la configuración de los componentes hardware y como los datos son transmitidos a través de esa configuración [18]. Sin embargo, para entender las diferentes topologías, es necesario conocer primero los diferentes actores hardware que componen una WSN, los cuales son:

- **Nodo final:** Este dispositivo puede comunicarse con el coordinador o un Router, pero no puede transmitir información destinada a otros dispositivos. De esta forma, este tipo de nodo puede estar dormido la mayor parte del tiempo, aumentando la vida media de sus baterías [18].
- **Router:** Este tipo de dispositivos son implementados para dar cobertura a redes muy extensas, interconectando dispositivos separados en la red y limitados debido a su rango [18].

- **Coordinador:** También llamado puerta de enlace (Gateway), es el dispositivo más completo e importante, su función es recoger los datos de la red pudiendo actuar como director de esta, así como servir de enlace a otras redes [11].

Dentro de las topologías para implementar una aplicación de las WSN destacan:

- **Topología en estrella:** En esta topología de red, la información enviada solo da un salto, todos los nodos están en comunicación directa con el gateway el cual capta la información de todos ellos, de esta manera los nodos finales no intercambian información entre ellos [18], como se ilustra en la figura 5.

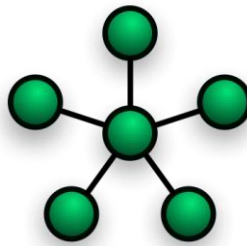


Figura 5. Topología en estrella.

Fuente: Tomado de [36].

- **Topología en malla:** En este tipo de topología, como se ilustra en la figura 6, la información da múltiples saltos, todos los nodos son routers, por lo tanto, cada uno puede enviar y recibir información del otro [18].

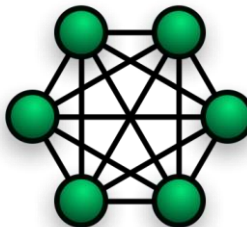


Figura 6. Topología en malla.

Fuente: Tomado de [36].

- **Topología en árbol:** En la topología en árbol (figura 7), cada nodo se conecta a un nodo de mayor jerarquía hasta llegar al gateway. Los datos son ruteados desde el nodo de menor jerarquía en el árbol hasta el gateway [11].

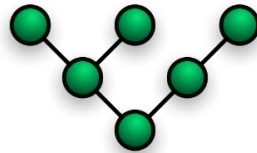


Figura 7. Topología en árbol.

Fuente: Tomado de [36].

- **Topología Híbrida:** Finalmente las topologías híbridas (figura 8), como su nombre lo indica, surgen de la combinación de dos o más topologías de red diferentes; por ejemplo: una topología híbrida estrella-malla, con el fin de combinar la simplicidad y bajo consumo de una arquitectura en estrella, así como la posibilidad de cubrir una gran extensión de la topología en malla [18]

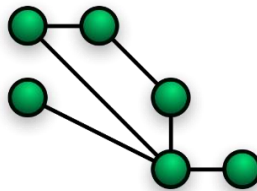


Figura 8. Topología híbrida.

Fuente: Tomado de [36].

3.2.3 RADIOTRANSMISIÓN

Cuando los electrones se mueven, crean ondas electromagnéticas que se pueden propagar por el espacio. El número de oscilaciones por segundo de una onda es su frecuencia, y se mide en Hertz (Hz). Al conectar una antena del tamaño apropiado a un circuito electrónico, las ondas electromagnéticas se pueden difundir de manera

eficiente y un receptor las puede captar a cierta distancia. Toda la comunicación inalámbrica se basa en este principio [19], como se ilustra en la figura 9.

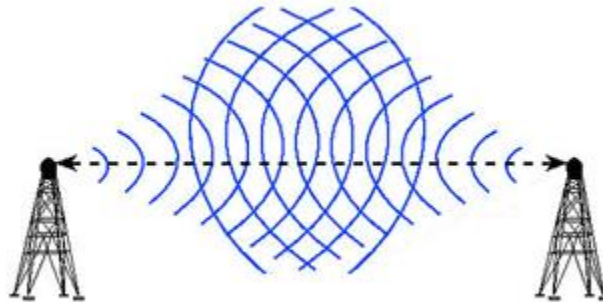


Figura 9. Transmisión y recepción de ondas.

Fuente: Tomado de [37].

Las señales de radio frecuencia (RF) son un subconjunto de la radiación electromagnética que se encuentra entre 300 Hz y 3000 GHz. Este rango del espectro electromagnético se corresponde con las frecuencias de las señales eléctricas de corriente alterna usadas para producir y detectar ondas de radio [11], ver figura 10.

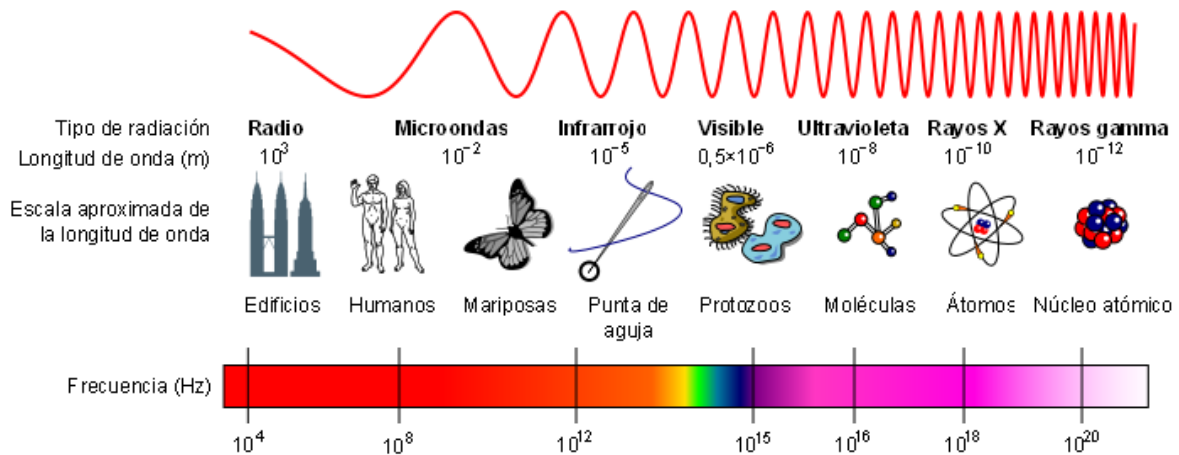


Figura 10. Ondas de radio en el espectro electromagnético.

Fuente: Tomado de [38].

A nivel mundial existen tres bandas dentro del espectro electromagnético de uso no regulado como las bandas ISM (Industriales, Científicas y Médicas, del inglés

Industrial, Scientific, and Medical) definidas por el ITU-R (Unión Internacional de Telecomunicaciones) [19].

Tabla 2. Bandas de uso no regulado.

PHY	Banda (MHZ)	Lugar	Canales
868MHZ	868-868,8	Europa	Permite un canal de comunicación (versión de 2003), extendido a tres en la revisión de 2006.
915 MHz	902-928	Norte América	Permite hasta diez canales (2003) extendidos a treinta (2006).
2.4 GHz	2400-2483,5	Todo el mundo	Uso en todo el mundo, hasta dieciséis canales (2003, 2006).

Fuente: Tomado de [11].

Las ondas de RF son fáciles de generar, de modo que son muy utilizadas en la comunicación tanto en interiores como en exteriores. Las propiedades de estas dependen de la frecuencia. A bajas frecuencias las ondas de radio cruzan bien los obstáculos, pero la potencia se reduce drásticamente a medida que se aleja de la fuente, a esta atenuación se le conoce como pérdida de trayectoria. A frecuencias altas, las ondas de radio tienden a viajar en línea recta y rebotan en los obstáculos, a este fenómeno se le conoce como reflexiones [19].

Estas propiedades pueden conducir a una latencia variable de la transferencia de datos, lo que afecta directamente el rendimiento de la aplicación, sin embargo, con una fase previa de calibración, se pueden derivar métodos de localización basados en comparación de patrones de radiación (huella o fingerprinting) o bayesianos, lo cual hace que esta tecnología presente varias ventajas respecto a otras en el mercado [6].

3.2.4 TECNOLOGÍAS INALÁMBRICAS

Nuestra era ha dado origen a personas que necesitan estar todo el tiempo en línea. Para estos usuarios móviles no son de utilidad medios de transmisión guiados como: el par trenzado, el cable coaxial ni la fibra óptica. Necesitan obtener datos sin tener que estar atados a la infraestructura de la comunicación terrestre. Para estos usuarios las tecnologías Wireless (inalámbrico o sin cables) surge como respuesta [19].

3.2.4.1 IEEE 802.11/Wi-Fi

IEEE 802.11 es un protocolo que permite extender una red IP Ethernet para operar por radiotransmisión, en otras palabras, IEEE 802.11 es una colección de protocolos que reemplazan un cable Ethernet. A menudo se usan IEEE 802.11 y Wi-Fi como sinónimos, sin embargo, su diferencia radica en que, IEEE 802.11 se refiere al conjunto de estándares para implementar redes inalámbricas de área local (WLAN), creado y mantenido por el Comité de Estándares de IEEE, mientras que Wi-Fi es una marca comercial propiedad de Wi-Fi Alliance, una asociación comercial de la industria que promueve la tecnología WLAN y certifica los productos si cumplen con ciertos estándares de interoperabilidad [20].

IEEE 802.11 está basado en el modelo de interconexión de sistemas abiertos, más conocido como “modelo OSI”, (en inglés, Open System Interconnection), ver figura 11. es un conjunto de protocolos que cuenta con una capa de enlace de datos (MAC) y física (PHY). La capa MAC es responsable de la transferencia confiable de datos de enlace a enlace: acceso al canal (CSMA / CA), direccionamiento, validación de trama (gestión, datos, tramas de control), detección de error y mecanismos de seguridad, mientras que la capa física (PHY), define el medio por el cual se transmiten los datos, en este caso “en el aire” (radiotransmisión) [21].

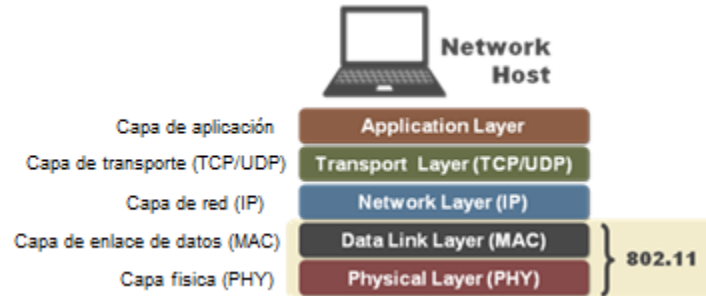


Figura 11. 802.11 en el modelo OSI.

Fuente: Tomado de [21].

El protocolo IEEE 802.11 opera en dos bandas espectrales principales: la banda ISM que cubre 2.4 GHz - 2.485 GHz de espectro y la banda de 5 GHz. La banda ISM se divide en 14 canales a diferentes frecuencias. Las frecuencias centrales están separadas por 5 MHz (es decir, 2412, 2417, 2422, etc.) [22]. La ubicación geográfica determina qué canales se pueden usar, ver figura 12.

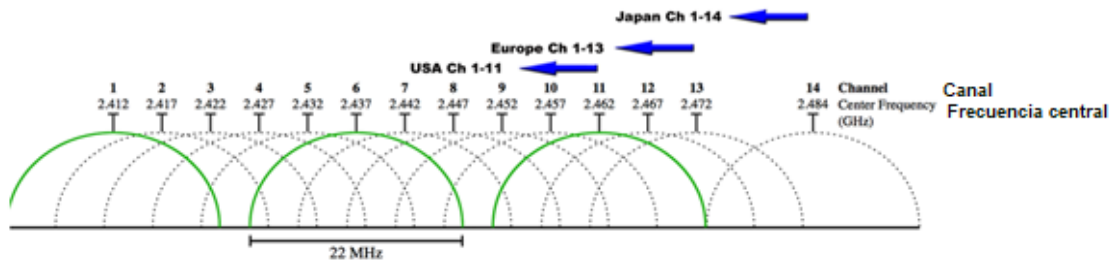


Figura 12. Canales disponibles en, EE. UU, Europa y Japón.

Fuente: Tomado de [22].

A continuación, en la tabla 3 están contenidas las diferentes versiones para el estándar 802.11.

Tabla 3. Protocolos 802.11 a / b / g / n.

Protocolo	Frecuencia	Modulación	Banda	Tasas de datos	Comentarios
802.11			ancha	(Mb/s)	

a	5 GHz	OFDM	20 MHz	6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54	802.11 a se utiliza para aislar redes y evitar espectros de 2,4 GHz.
b	2.4 GHz	DSSS	20 MHz	1, 2, 5.5, 11	Los dispositivos que utilizan 802.11b pueden experimentar interferencias con otros productos que funcionan en la banda de 2,4 GHz.
g	2.4 GHz	OFDM & DSSS	20 MHz	6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54	802.11 g es una radio eficiente energéticamente que es totalmente compatible con las redes básicas 802.11n.
n	2.4 GHz & 5 GHz	OFDM	20 MHz & 40 MHz	7.2, 14.4, 21.7, 28.9, 43.3, 57.8, 65, 72.2	802.11 n es útil para aplicaciones de alto rendimiento de datos.

Fuente: Tomado de [23].

Las redes 802.11 consisten en hosts inalámbricos, puntos de acceso (AP) y enlaces inalámbricos (como se ilustra en la figura 16), donde:

- **Hosts inalámbricos:** Ejecutan aplicaciones, pueden ser portátiles, tabletas, teléfonos IP, microcontroladores, entre otros. Pueden ser estacionario o móvil [24], como se ve en la figura 13.



Figura 13. Hosts inalámbricos.

Fuente: Tomado de [24].

- **Puntos de acceso (AP):** Normalmente están conectados a una red cableada y es el responsable de enviar paquetes entre la red cableada y los hosts inalámbricos en su área haciendo la función de conmutador y enrutador [24], ver figura 14.



Figura 14. Puntos de acceso.

Fuente: Tomado de [24].

- **Enlaces inalámbricos:** Este tipo de enlaces se usan para conectar dispositivos móviles al punto de acceso. El protocolo de acceso múltiple CSMA / CA coordina el acceso al enlace. Varias velocidades de datos, distancias de transmisión [24], ver figura 15.



Figura 15. Enlaces inalámbricos.

Fuente: Tomado de [24].

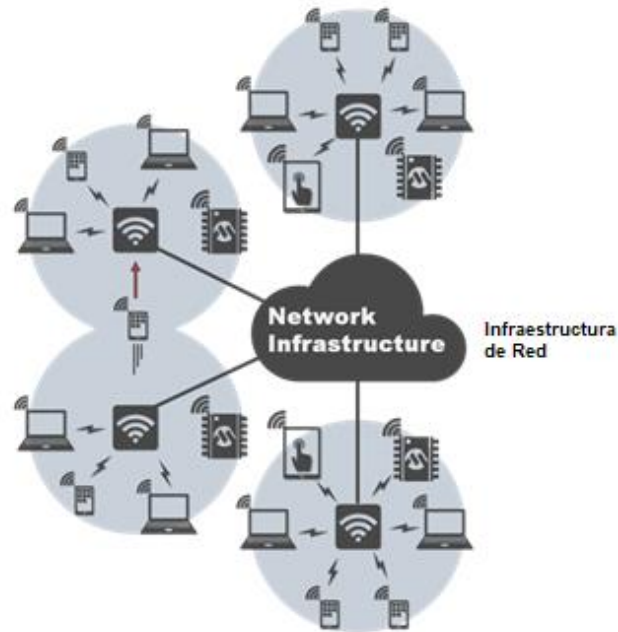


Figura 16. Infraestructura de una red 802.11.

Fuente: Tomado de [24].

3.2.4.2 BLUETOOTH DE BAJA ENERGÍA (BLE)

Bluetooth de baja energía (Low Energy, LE) está destinado a admitir aplicaciones de Internet de las cosas (Internet of Things, IoT). Además, está diseñado para un funcionamiento a muy baja potencia.

Opera en la banda ISM para comunicarse. Para permitir un funcionamiento confiable en la banda de frecuencia de 2.4 GHz, utiliza 40 canales divididos en intervalos de 2 MHz desde 2.4000 GHz a 2.4835 GHz [25]. Estos se dividen en dos tipos:

- **Canales de publicidad:** Los canales de publicidad están destinados para la transmisión de difusión y establecer una conexión [25]. Corresponden a los canales 37, 38 y 39 (ver figura 17).

- **Canales de datos:** Los canales de datos permiten la comunicación bidireccional entre dispositivos conectados [25]. Estos van desde el canal 0 al 36, como se ilustra a continuación en la figura 17.

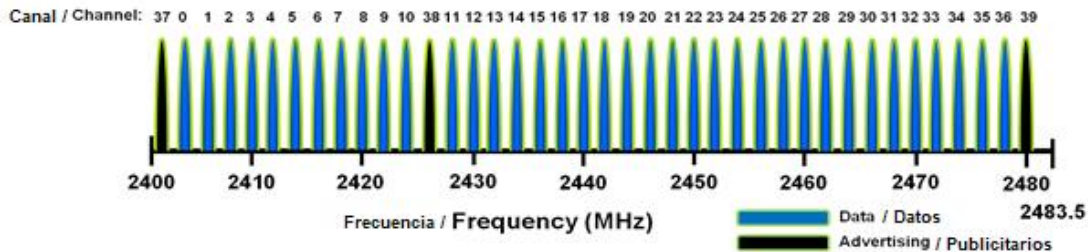


Figura 17. Canales de publicidad y canales de datos.

Fuente: Tomado de [25].

Esta extensión de Bluetooth implementa un algoritmo de salto de frecuencia para recorrer los 37 canales de datos, como se ilustra en la figura 18. Este mecanismo lo utiliza la capa de enlace para reasignar un paquete dado de un canal defectuoso conocido a un canal bueno conocido para reducir la interferencia de otros dispositivos (es decir, Wi-Fi) [25].

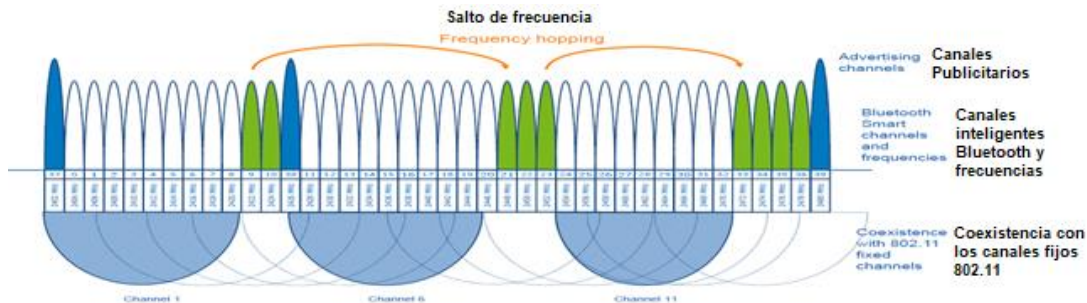


Figura 18. Salto de frecuencia.

Fuente: Tomado de [25].

A continuación, en la tabla 4 se muestran las principales características de Bluetooth LE.

Tabla 4. Principales características de Bluetooth LE.

Bluetooth de baja energía (LE)

Optimizado para	Transmisión de datos de ráfaga corta
Banda de frecuencia	Banda ISM de 2.4GHz (2.402 - 2.480 GHz utilizados)
Canales	40 canales con espaciado de 2 MHz (3 canales publicitarios / 37 canales de datos)
Uso del canal	Espectro de expansión de salto de frecuencia (FHSS)
Modulación	GFSK
Consumo de energía	~ 0.01x a 0.5x de referencia (dependiendo del caso de uso)
Velocidad de datos	LE 2M PHY: 2 Mb/s LE 1M PHY: 1 Mb/s LE Coded PHY (S=2): 500 Kb/s LE Coded PHY (S=8): 125 Kb/s
Max Tx Power	Clase 1: 100 mW (+20 dBm) Clase 1.5: 10 mW (+10 dBm) Clase 2: 2.5 mW (+4 dBm) Clase 3: 1 mW (0 dBm)
Topologías de red	Punto a punto Malla De difusión

Fuente: Tomado de [26].

3.2.4.3 BEACON

Los Beacons (en español balizas) son pequeños transmisores de baja potencia que se comunican con dispositivos inteligentes dentro de un radio predefinido. Estos dispositivos vinculan la ubicación física con la ejecución de determinadas acciones como la entrega de contenido, activar el envío de mensajes, entre otros [27].

A nivel de hardware los beacons cuentan con un microcontrolador, un chip de radio BLE (generalmente fabricado por Texas Instruments o Nordic Semiconductor) y una batería (por lo general de tipo celda). En lo que a firmware respecta, cada proveedor

proporciona un firmware específico que permite el control sobre el hardware para el correcto funcionamiento del beacon [28].

Dentro de los parámetros más importantes de un beacon están:

- **Potencia de Transmisión (Tx Power):** Este parámetro define cuán lejos puede llegar la señal transmitida por un beacon. Los beacons transmiten una señal con una potencia fija. A medida que la señal viaja en el aire la intensidad de la señal va disminuyendo con la distancia. Entre más grande sea el tx power la señal puede viajar distancias más largas, lo que significa mayor consumo de batería, al contrario, un tx power pequeño se traduce en un menor rango de alcance, pero un menor consumo de batería [28].
- **Advertising Interval:** Este parámetro se mide en milisegundos (ms) y representa la frecuencia con la que un beacon emite un paquete de datos. Cuando este parámetro aumenta la duración de la batería se prolonga, pero la capacidad de respuesta del dispositivo receptor disminuye. Dependiendo de la aplicación, si se necesita una baja latencia se deben elegir intervalos más bajos, en cambio los que necesiten mayor duración de la batería necesitan implementar intervalos mayores [29].

Cada proveedor de beacons ofrece su propia forma de configurar el hardware y los parámetros asociados. Algunos proveedores proporcionan su propia aplicación para configurar los beacons. Otros beacons proporcionan una interfaz abierta a través de cualquier cliente GATT [28].

3.2.4.3.1 iBEACON

Introducido en iOS 7, iBeacon es una tecnología registrada por Apple Inc. Esta permite nuevas posibilidades de reconocimiento de ubicación para el desarrollo de aplicaciones. Utilizando la tecnología Bluetooth Low Energy (BLE), un dispositivo

con tecnología iBeacon se puede utilizar para establecer una región alrededor de un objeto, esto permite que otro dispositivo con Bluetooth LE, determine cuándo ha entrado o salido de la región, junto con una estimación de la proximidad a una baliza [30].



Figura 19. Logo iBeacon de Apple.

Fuente: Tomado de [29].

Un paquete de datos anunciado por un dispositivo que implementa la tecnología iBeacon proporciona la siguiente información (ver figura 19):

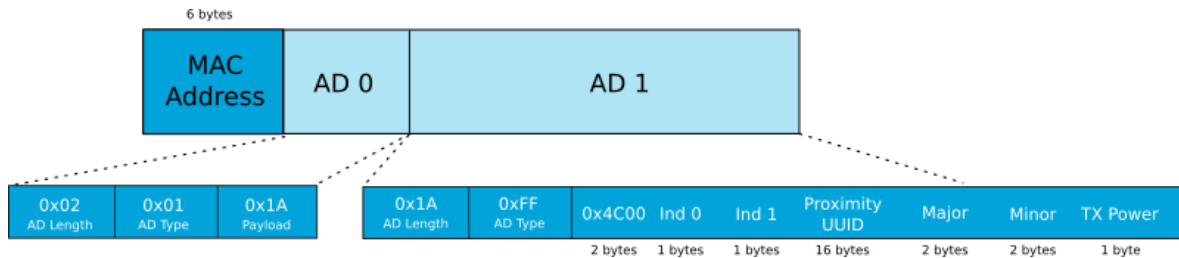


Figura 20. Formato de paquetes de iBeacon.

Fuente: Tomado de [29].

El iBeacon Prefix se desglosan de la siguiente manera:

- El primer byte 0x1A indica la longitud de bytes específicos del fabricante (26 bytes).
- 0x004C corresponde al identificador de la compañía (Bluetooth Sig de Apple).

- 0x02 es un ID secundario que denota un beacon de proximidad el cual es utilizado por todos los iBeacons.
- 0x15 define la longitud de los datos restante como 21 bytes (16+2+2+1).
- El Proximity UUID identifica de forma exclusiva el iBeacon. Es una cadena de 16 bytes (128 bits).
- Major identifica un subgrupo de beacons dentro de un grupo más grande. Minor identifica a un beacon específico. Son valores enteros sin signo entre 1 y 65535 (2 bytes).

4 PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO

4.1 METODOLOGÍA

Para lograr el objetivo general planteado en este proyecto, a continuación, en la figura 20, se muestra en un diagrama de bloques las fases metodológicas llevadas a cabo durante el desarrollo de este.

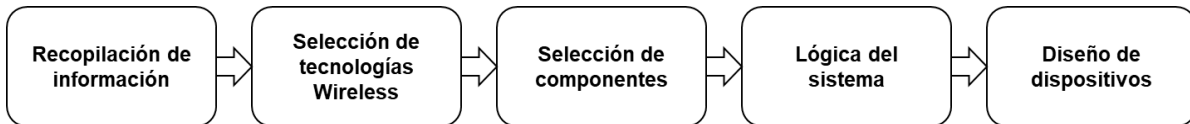


Figura 21. Fases metodológicas para el desarrollo del proyecto.

Fuente: Los Autores.

4.1.1 RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN

Inicialmente, a través de fuentes secundarias, se recolectó toda la información y/o datos disponibles para describir la problemática sobre los accidentes domésticos que se presentan durante la primera infancia en Colombia.

Se encontró que el ICBF con el fin de realizar una apropiada gestión de riesgos de accidentes que pueden afectar a las niñas y niños durante la primera infancia, mediante un *Protocolo para la Gestión de los Riesgos en la Primera Infancia*, identificó los siguientes factores de riesgos más frecuentes en las modalidades de atención:

- Riesgo de ahogamiento por inmersión
- Riesgo de caída de altura
- Riesgo de quemadura
- Riesgo de electrocución
- Riesgo de intoxicación

Mediante una encuesta realizada a un grupo de padres, se buscó conocer a nivel local cuáles de esos factores de riesgos están presentes en sus hogares, de ser así, si han sido la causa de algún accidente doméstico durante la infancia de sus hijos, de lo contrario a que otros factores de riesgo se debió la ocurrencia de dicho accidente. Esto permitió identificar los principales factores de riesgos que se pueden encontrar en la mayoría de las viviendas.

Para plantear una solución con un enfoque tecnológico, se realizó una revisión bibliográfica sobre las redes de sensores inalámbricos. Esto permitió identificar las tecnologías Wireless (inalámbrico o sin cables) más utilizadas, así como las diferentes topologías que se implementan, para el desarrollo de sistemas de posicionamiento *Indoor* (IPS), los cuales permiten estimar la cercanía entre un dispositivo emisor y otro receptor de RF, permitiendo detectar así la cercanía del infante a las zonas de riesgo dentro de la vivienda.

Finalmente, se definieron los componentes, dispositivos, tecnologías wireless y la topología que se implementó para el desarrollo del sistema de alerta con el fin de garantizar una solución óptima y viable, teniendo en cuenta sus características técnicas, disponibilidad en el mercado local y el coste de implementación.

4.1.2 SELECCIÓN DE TECNOLOGÍAS WIRELESS

Para la selección de las tecnologías Wireless implementadas en este proyecto, se tuvieron en cuenta aspectos como: la estabilidad, versatilidad, robustez, consumo energético, alcance y coste de implementación. A continuación, en la tabla 5 se presenta una comparativa entre las principales ventajas y desventajas de cada una de las tecnologías destacadas, seguidamente en la tabla 6, se presenta una comparativa en cuanto a frecuencia, alcance y duración de las baterías.

Tabla 5. Comparativa de tecnologías Wireless ventajas y desventajas.

Tecnología	Ventajas	Desventajas
-------------------	-----------------	--------------------

Wi-Fi	<ol style="list-style-type: none"> 1. Alta tasa de transmisión. 2. Bajo coste en instalación. 3. Amplio rango de cobertura. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Alto consumo de energía de los dispositivos. 2. Irradian mucha energía RF. 3. Comunicaciones inseguras.
Bluetooth	<ol style="list-style-type: none"> 1. Amplio despliegue en dispositivos comerciales. 2. Buen rango de cobertura. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Impreciso. 2. Debido a su imprecisión requiere una gran cantidad de celdas receptoras incrementando su coste.
ZigBee	<ol style="list-style-type: none"> 1. Bajo consumo de energía. 2. Comunicaciones seguras. 3. Amplio rango de cobertura. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Coste relativamente alto de sus dispositivos. 2. Este sistema necesita de tres tipos de dispositivos, coordinador ZigBee, router ZigBee y dispositivo final.
RFID	<ol style="list-style-type: none"> 1. Los tags RFID-Pasivos cuentan con un bajo coste, un tamaño reducido, y no necesitan baterías. 2. Los tags RFID-Activos poseen un amplio rango de cobertura. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Los tags RFID-Pasivos cubren un rango limitado de lectura. 2. Los tags RFID-Activos normalmente son más grandes y costosos que los tags RFID-pasivos. 3. Para su implementación es necesaria la utilización de otras tecnologías de soporte incrementando su costo.

Fuente: Los Autores.

Tabla 6. Comparativa de frecuencia, alcance y duración de la batería de tecnologías Wireless.

Parámetros	RFID-Pasivo	RFID-Activo	Bluetooth	ZigBee	Wi-Fi
Frecuencia	125 KHz-2.45 GHz	433 MHz-5.8 GHz	2.45 GHz	868/915 MHz, 2.45 GHz	2.4 GHz, 4.9 GHz, 5 GHz
Alcance	10cm-1m	10-500 m	3-10 m	10-75 m	100 m
Duración batería	Sin batería	2-10 años	1 día-6 meses	Días - meses	Días - meses

Fuente: los Autores.

Para la implementación del proyecto se optó por desarrollar un sistema que integra las tecnologías Wi-Fi y Bluetooth 4.0. Por un lado, la tecnología Wi-Fi permite la interconexión inalámbrica de dispositivos electrónicos con un mayor alcance y

ancho de banda que otras tecnologías como ZigBee y RFID, además, a nivel comercial se pueden encontrar una amplia variedad de microcontroladores y dispositivos que soportan este protocolo a un costo relativamente bajo, lo cual hizo de esta tecnología una opción atractiva y viable.

Por otro lado, aunque Bluetooth 4.0 es una tecnología de comunicación inalámbrica de corto alcance, y su tasa de transferencia es inferior en comparación con las tecnologías ZigBee y RFID, este está diseñado para un funcionamiento confiable y a muy baja potencia en la banda de frecuencia de 2.4 GHz, por lo que proporciona a los desarrolladores una gran flexibilidad, además de que admite múltiples topologías de red entre las cuales una es utilizada para servicios de ubicación (Mesh, como se ve en la figura 21).

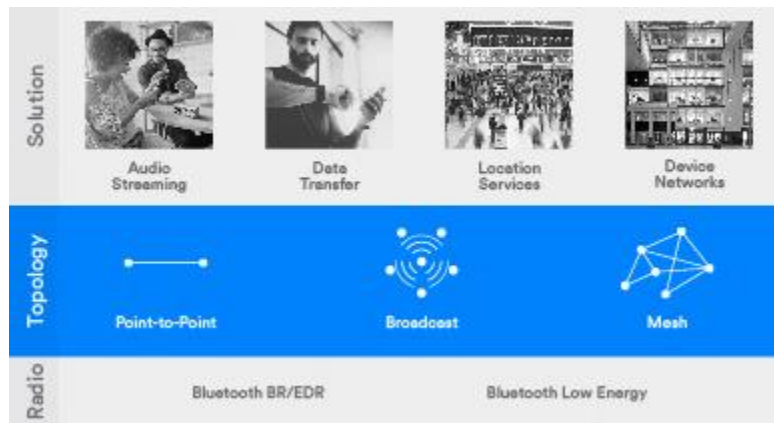


Figura 22. Opciones de topología BLE.

Fuente: Tomado de [30].

4.1.3 SELECCIÓN DE COMPONENTES

Una vez definidas las tecnologías Wireless a implementar, durante esta fase, se procedió con la selección de componentes que integran a los tres dispositivos de la WSN.

4.1.3.1 ESP32

El ESP32 es un chip que combina las tecnologías Wi-Fi en todas sus variantes y Bluetooth v4.2 BR/EDR y BLE. Está diseñado para lograr la mejor potencia y rendimiento de RF, mostrando robustez, versatilidad y confiabilidad en una amplia variedad de aplicaciones móviles, electrónicas portátiles e Internet de las cosas (Internet-of-Things, IoT).

Este fue seleccionado como microcontrolador principal para los dispositivos router y gateway del sistema, dentro de sus especificaciones incluye:

- Voltaje de Alimentación: 3.3V DC (2.7~ 3.6V)
- Corriente de Operación: ~80mA (fuente superior a 500mA)
- Voltaje lógico (Entradas/Salidas): 3.3V
- Procesador dual Core Xtensa® LX6 de 32 bits
- Es compatible Arduino IDE
- Velocidad de reloj: Entre 160 Mhz y 240 Mhz
- 520 KByte SRAM
- 448 KByte ROM
- QSPI Flash/SRAM, 4 MBytes
- WiFi: 802.11 b/g/n/ (802.11n @ 2.4 GHz hasta 150 Mbit/s)
- Bluetooth 4.2; 2.4 Ghz; BT 2.0 y 4.0 BLE
- 36 GPIO pins
- 6 x Analog-to-Digital Converter (ADC) de 12 bits de resolución
- 2 x Digital to Analog Converter DAC de 8 bits
- Hasta 16 canales de PWM
- 2 x UART o puertas serie
- 2 x I2C channels y 4 x SPI channels

La placa de desarrollo ESP32 WROOM32 DevKit consta con unas dimensiones de 5.4 × 3 × 1.8 cm y un peso de 0.01 kg. En la figura 22 se muestra una imagen del módulo físico, así como la distribución de pines correspondiente a dicho módulo en la figura 23.

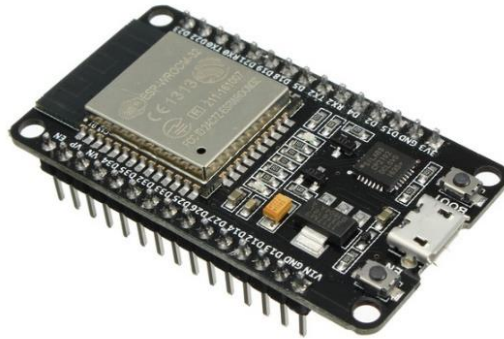
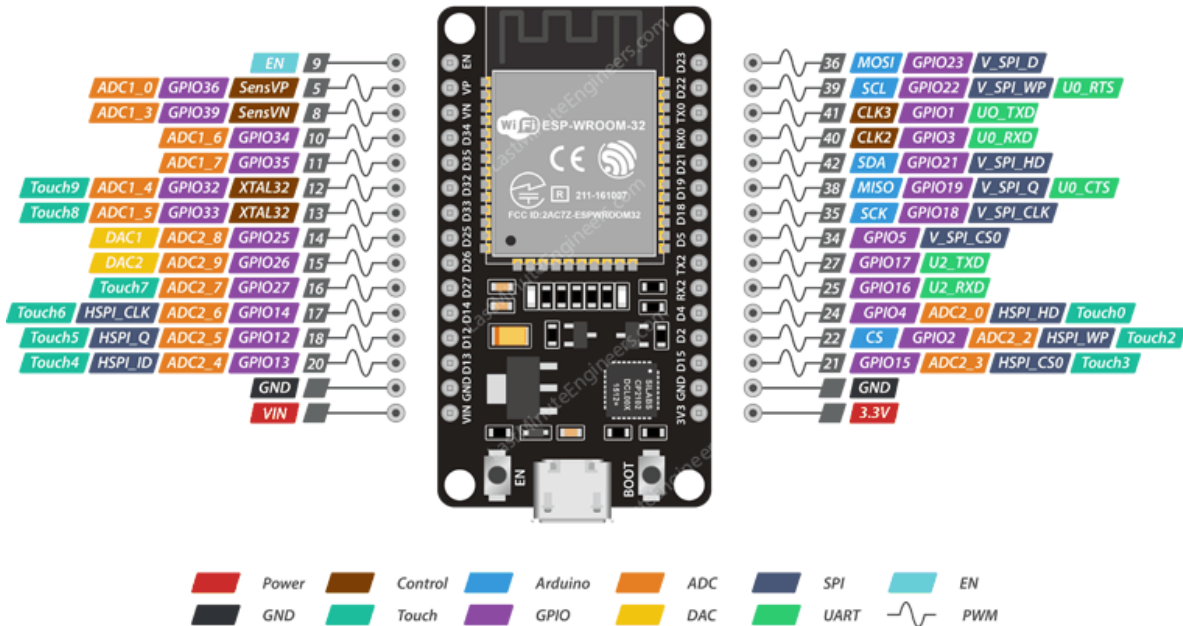


Figura 23. Placa ESP32 WROOM32 DevKit.

Fuente: Tomado de [39].



ESP32 Dev. Board Pinout



Figura 24. Distribución de pines del módulo ESP32 WROOM32 DevKit.

Fuente: Tomado de [40].

4.1.3.2 ESP8266

El ESP8266 es un chip Wi-Fi de bajo coste que funciona mediante el protocolo TCP/IP. Existen varios modelos basados en este chip. En este caso, el ESP-01 es una variación versátil y económica de este microcontrolador.

Este fue seleccionado como microcontrolador de soporte para el dispositivo gateway, dentro de sus especificaciones incluye:

- Voltaje de Alimentación: 3.3V DC (2.6~ 3.6V)
- Corriente de Operación: ~50mA (fuente superior a 200mA)
- 32-bit RISC CPU: Tensilica Xtensa LX106 a 80MHz (hasta 160MHz)
- Es compatible Arduino IDE
- 64 KiB de RAM para instrucciones y 96 KiB de RAM para datos
- IEEE 802.11 b/g/n Wi-Fi
- SPI e I2C
- Un convertidor Analógico-Digital (ADC) de 10 bit
- Memoria flash BG25Q80A
- 8 pines

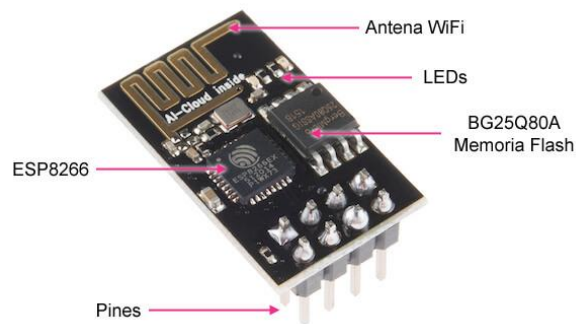


Figura 25. Placa ESP-01.

Fuente: Tomado de [41].

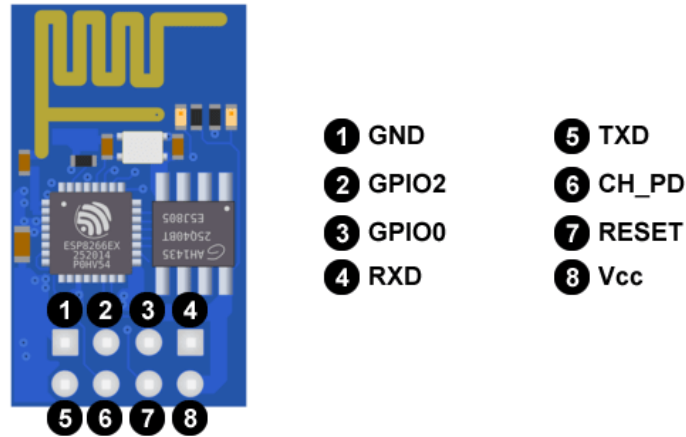


Figura 26. Distribución de pines del módulo ESP-01.

Fuente: Tomado de [41].

4.1.3.3 BLE iBeacon BC037S

El iBeacon BC037S (figura 26) corresponde al nodo final dentro de la WSN y representa al infante dentro de la misma, es una baliza que transmite en formato iBeacon. Los parámetros como el nombre de la baliza, el UUID, intensidad de señal TX, intervalo de transmisión y el apartado mayor / menor se pueden personalizar a través de la aplicación gratuita tanto para Android como iPhone.

Dentro sus especificaciones cuentan con las siguientes características:

- Transmisión: Formato iBeacon
- Batería: CR2032 (incluida)
- Cantidad de baterías: 1
- Duración de la batería: 300 días (especificación del fabricante)
- Tamaño: 36 mm x 36 mm x 6 mm
- Peso: 8.6 g incluyendo batería
- Impermeabilización: No
- Contraseña para configurar: Sí
- Rango de potencia: -23 a +4 dBm
- Interruptor de apagado: Sí

- Chip: TI CC2640
- Distancia de transmisión: 50 m
- Aplicación de Android y iOS



Figura 27. iBeacon BC037S.

Fuente: Tomado de [32].

4.1.3.4 BATERÍA

Como fuente de alimentación se optó por usar baterías de polímero de iones de litio (también conocido como 'lipo' o 'LiPoly'), ya que estas son delgadas, ligeras y recargables, brindando así una gran autonomía a los dispositivos router y gateway.

Para la selección de las baterías, se tuvo en cuenta la demanda energética de cada uno de los microcontroladores dependiendo de los modos de transmisión RF, de esta forma, según la configuración de los ESP32 y del ESP8266, se implementaron baterías LiPo de 1200 mAh 3.7 V - 4,5 Wh (figura 27), para satisfacer dicha demanda energética, estas cuentan con las siguientes características:

- Salida: 1200mAh a 3.7V nominal
- Conector JST-PH
- Peso: 23g
- Dimensiones: 34mm x 62mm x 5mm / 1.3" x 2.4" x 0.2"
- Salida: 1200mAh a 3.7V nominal

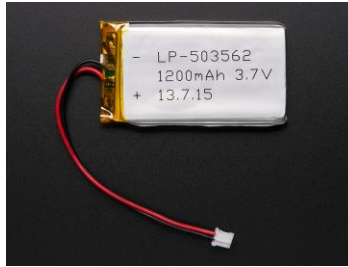


Figura 28. Batería LiPo de 1200 mAh 3.7 V.

Fuente: Tomado de [42].

4.1.3.5 MÓDULO DE CARGAR

Para recargar las baterías se implementó el módulo cargador de batería TP4056 (figura 28). Este módulo está basado en el chip TP4056 y cuenta con un conector micro Usb 5V lo que lo hace ideal para la carga de baterías LiPo de una sola celda de 3.7V 1 Ah. Sus características son:

- Módulo de carga lineal
- Corriente de 1A ajustable
- Precisión de carga: 1.5%.
- Voltaje de Entrada: 4.5V-5.5V.
- Voltaje de carga full: 4.2V.
- Led indicador: Rojo (Cargando), Azul (Cargado completamente).
- Micro USB
- Temperatura de trabajo: -10°C to +85°C.
- Polaridad inversa: NO.
- Tamaño: 25 x 19 x 10 mm.



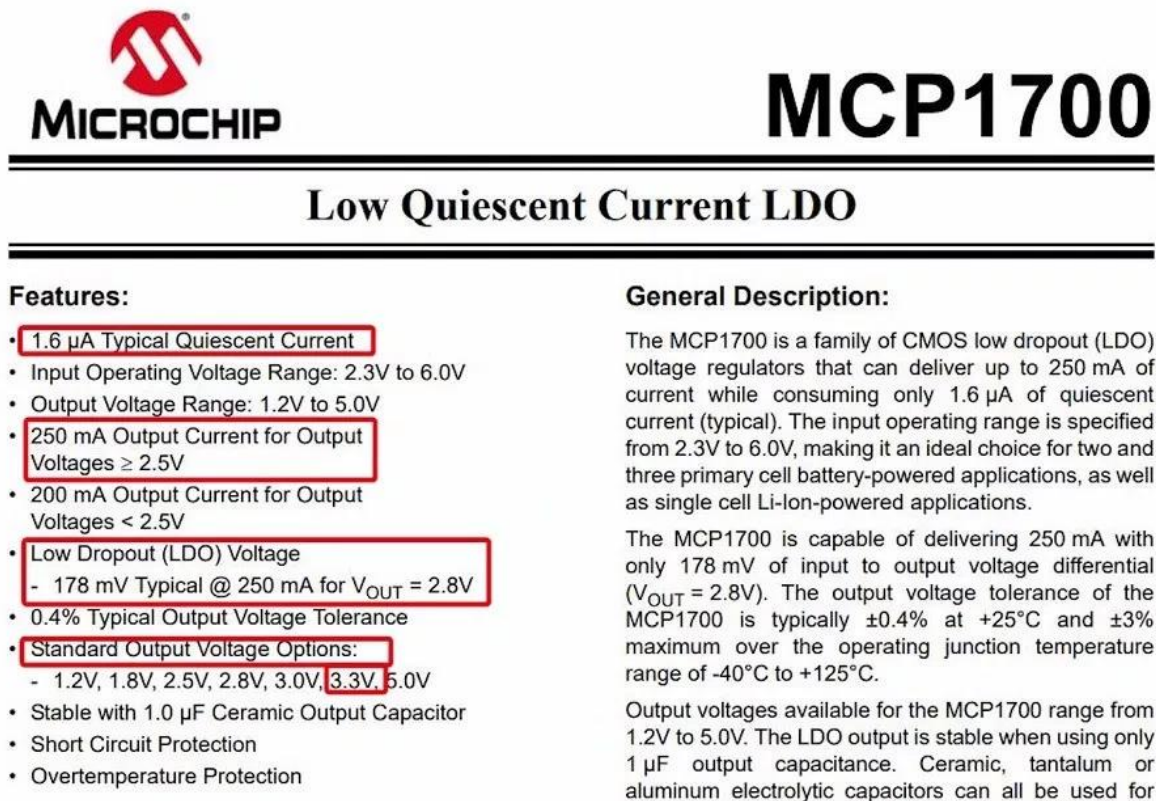
Figura 29. Módulo Cargador Batería de LiPo 1A Micro Usb 5V – TP4056.

Fuente: Tomado de [43].

4.1.3.6 REGULADOR DE BAJA CAIDA LDO

Los microcontroladores ESP32 y ESP8266 operan con un voltaje de 3.3 V, por lo cual cada dispositivo (router y gateway) integran un circuito regulador de voltaje para garantizar un voltaje de 3.3 V a la salida del módulo TP4056.

Usar un regulador de voltaje lineal típico para bajar el voltaje de 4.2 V a 3.3 V no es una buena idea, ya que a medida que la batería se descarga a por ejemplo 3.7V, este tipo de regulador de voltaje dejaría de funcionar ya que tienen un alto voltaje de corte. Por lo cual, para bajar el voltaje de manera eficiente, se implementó un regulador de baja caída o LDO, concretamente el MCP1700-3302E.



MICROCHIP **MCP1700**

Low Quiescent Current LDO

Features:

- 1.6 μA Typical Quiescent Current
- Input Operating Voltage Range: 2.3V to 6.0V
- Output Voltage Range: 1.2V to 5.0V
- 250 mA Output Current for Output Voltages $\geq 2.5\text{V}$
- 200 mA Output Current for Output Voltages $< 2.5\text{V}$
- Low Dropout (LDO) Voltage
 - 178 mV Typical @ 250 mA for $V_{\text{OUT}} = 2.8\text{V}$
- 0.4% Typical Output Voltage Tolerance
- Standard Output Voltage Options:
 - 1.2V, 1.8V, 2.5V, 2.8V, 3.0V, 3.3V, 5.0V
- Stable with 1.0 μF Ceramic Output Capacitor
- Short Circuit Protection
- Overtemperature Protection

General Description:

The MCP1700 is a family of CMOS low dropout (LDO) voltage regulators that can deliver up to 250 mA of current while consuming only 1.6 μA of quiescent current (typical). The input operating range is specified from 2.3V to 6.0V, making it an ideal choice for two and three primary cell battery-powered applications, as well as single cell Li-Ion-powered applications.

The MCP1700 is capable of delivering 250 mA with only 178 mV of input to output voltage differential ($V_{\text{OUT}} = 2.8\text{V}$). The output voltage tolerance of the MCP1700 is typically $\pm 0.4\%$ at $+25^\circ\text{C}$ and $\pm 3\%$ maximum over the operating junction temperature range of -40°C to $+125^\circ\text{C}$.

Output voltages available for the MCP1700 range from 1.2V to 5.0V. The LDO output is stable when using only 1 μF output capacitance. Ceramic, tantalum or aluminum electrolytic capacitors can all be used for

Figura 30. MCP1700-3302E características.

Fuente: Tomado de [35].

4.1.3.7 DISPLAY

Para generar mensajes de soporte, tanto el router como el gateway integran un display OLED (Organic Light-Emitting Diode). El display OLED 0.91" 128×32 I2C (figura 30) cuenta con un controlador SSD1306, este tiene una resolución de 128 x 32, es totalmente compatible con Arduino IDE y su voltaje de alimenta está en el rango de 3V ~ 5V DC con un ultra-bajo consumo de energía (0.08W). Dentro de sus especificaciones este cuenta con:

- Sin luz de fondo, la unidad puede ser auto-luminosa
- Alta resolución: 128 x 32
- Ángulo de visión: > 160 °
- Soporta muchos tipos de control: totalmente compatible con Arduino, MSP430, STM32 / 2, etc.
- Ultra-bajo consumo de energía: 0.08W pantalla totalmente iluminada, 0.06W visualización normal a pantalla completa de caracteres tipo texto
- Amplio rango de voltaje de alimentación: 3V ~ 5V DC
- Temperatura de trabajo: -30 °C ~ 70 °C
- Dimensiones: 36 x 12.5 (mm)
- Comunicación IIC / I2C
- Controlador: SSD1306



Figura 31. Display OLED 0.91" 128×32 I2C.

Fuente: Tomado de [44].

4.1.3.8 MÉTODOS DE ALERTA

Como métodos de alerta se han definido dos:

- **Motor vibrador 610:** Este pequeño motor, como se ve en la figura 31, es empleado para darle la opción de vibrar al dispositivo gateway, se optó por esta opción debido a su tamaño reducido y bajo consumo de corriente lo que lo hace ideal para esta función.

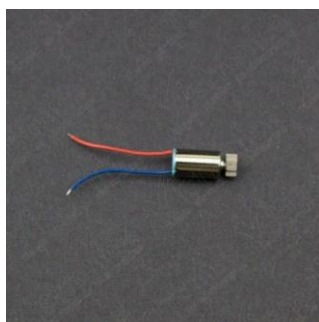


Figura 32. Motor Vibrador 610

Fuente: Tomado de [45].

- **Zumbador Magnético:** Este zumbador magnético, como se puede apreciar en la figura 32, cuenta con un empaque plástico SOT, tiene una larga vida útil y un funcionamiento estable, dentro de sus características tiene un tamaño de D9.6mm*H5.0mm, opera desde 3.7 a 7 VDC con una corriente máxima de 30mA y una salida de sonido de 8db a 5 VDC.



Figura 33. Zumbador Magnético.

Fuente: Tomado de [46].

4.1.4 LÓGICA DEL SISTEMA

Como ya se ha mencionado anteriormente, el sistema de alerta está compuesto por tres dispositivos diferentes. Estos están organizados en una topología tipo árbol, como se ilustra en la figura 33, donde en primer lugar está el gateway, este representa al adulto cuidador dentro de la red y tiene la función de recibir las señales de alerta provenientes del router. El router por su parte, es el dispositivo más robusto del sistema, tiene la función de detectar al nodo final. Por último, el nodo final representa al niño dentro del sistema, corresponde al nodo de menor jerarquía dentro del sistema, está constantemente emitiendo anuncios bajo el protocolo iBeacon.



Figura 34. Topología de red para el sistema de alerta.

Fuente: Los Autores.

La programación de los microcontroladores ESP32 y ESP8266 se realizó mediante el entorno de programación de Arduino IDE, el cual es un software de código abierto, bastante intuitivo a la hora de escribir y subir código a las placas, sin embargo, fue necesario instalar dichas placas dentro de Arduino IDE para la programación de estas mediante esta plataforma.

Una vez instaladas las placas, se procedió con la instalación de las librerías con las funciones necesarias para las tareas programadas, a continuación, en la tabla 7 se enlistan el conjunto de librería implementadas, así como su función.

Tabla 7. Listado de librerías implementadas.

Librería	Función
----------	---------

BLEAdvertisedDevice.h	Cuando realizamos una exploración BLE, el resultado será un conjunto de dispositivos que son publicitarios. Esta clase proporciona un modelo para la representación de un dispositivo publicitario BLE encontrado por un escaneo.
BLEDevice.h	Mediante esta librería se configura el ESP32 como dispositivo cliente o servidor-
BLEScan.h	El escaneo está asociado con un cliente BLE que intenta localizar servidores BLE. Esta librería permite Realizar y administrar escaneos BLE.
BLEUtils.h	Esta librería contiene un conjunto de utilidades de BLE generales.
BLEBeacon.h	Esta librería incluye las funciones para la representación de un Beacon y extraer dicha información
BLEUUID.h	Mediante esta librería se puede crear un UUID a partir de una cadena (string).
WiFi.h	Esta librería incluye las funciones requeridas para permitir el soporte del Wifi en el ESP32.
ESP8266WiFi.h	Esta corresponde a la librería WiFi para el ESP8266.
Wire.h	Librería para la comunicación con dispositivos I2C / TWI.
Adafruit_SSD1306.h	Librería para OLEDs basados en controladores SSD1306
Adafruit_GFX.h	Librería de gráficos (puntos, líneas, círculos, etc.) para pantallas Adafruit.

Fuente: Los Autores.

4.1.4.1 CONFIGURACIÓN DEL IBEACON BC037S

Para cambiar la configuración del beacon, se usó la aplicación Eddystone para conectarse a la baliza. Después de conectarse con la baliza, se procedió a cambiar

los parámetros como el UUID, Major, Minor, Period y TxPower como se ilustra en la figura 34.

Modify	
UUID:	426C7565436861726D426561636F6E73 32/32
Major:	3838
Minor:	4949
Period:	600 ms
TxPower:	0 dbm
Name:	pBeacon_n
password:	Please input the password
<input type="button" value="modify"/>	

Figura 35. Configuración del iBeacon BC037S.

Fuente: Los autores.

Finalmente, se ingresó la contraseña de la baliza para modificar y guardar los cambios, la baliza se apaga automáticamente y una vez encendida de nuevo, la baliza BLE funcionan de forma totalmente independiente del teléfono y seguirá transmitiendo bajo el protocolo iBeacon.

4.1.4.2 LÓGICA DEL ROUTER

El dispositivo router es el más robusto del sistema. Este integra un ESP32 configurado como scanner de dispositivos BLE, esto quiere decir que tiene la capacidad de identifica dispositivos Bluetooth de baja energía que emiten anuncios, en este caso al nodo final, es decir al IBEACON BC037S, con el fin de extraer de esos anuncios información potencialmente útil como por ejemplo el nombre del dispositivo, su dirección Mac, el proximity UUID, y para la estimación de proximidad, el indicador de fuerza de la señal recibida RSSI (por las siglas del inglés Receiver Signal Strength Indicator).

Inicialmente, en el ESP32 del router, se dispuso de un pulsador mediante el cual se accede a una función de caracterización, para poder acceder dicha función, el usuario deberá mantener pulsado dicho pulsador durante 2s, esto con el fin de evitar rebotes en la lectura digital del pin GPIO 15 correspondiente a la entrada del pulsador.

En la función de caracterización el usuario podrá ajustar el set point de distancia en relación con el parámetro RSSI. Una vez se ha accedido esta función, el ESP32 se mantendrá en un escaneo activo de dispositivos BLE por un periodo de 60s, si este detecta el proximity UUID del nodo final, entonces almacenará las señales RSSI durante dicho periodo de tiempo, seguidamente realiza un promedio de estas y finalmente cambiará el set point.

Una vez establecido el set point deseado, ya sea mediante la función de caracterización o el establecido por defecto en el código, el ESP32 se mantendrá en un escaneo activo durante periodos de 0.6s, este periodo corresponde con el periodo configurado en el IBEACON BC037S (ver figura 35, *Period*), de esta forma, cuando el ESP32 detecte al nodo final y el parámetro RSSI sobrepase el set point, el GPIO 18 se pondrá en HIGH indicándole al ESP8266 la cercanía del nodo final al router, de lo contrario, si el set point no es sobrepasado, entonces dicha salida se mantendrá en LOW.

A continuación, en la figura 35 se muestra el diagrama de flujo correspondiente a la lógica implementada en el ESP32 del dispositivo router.

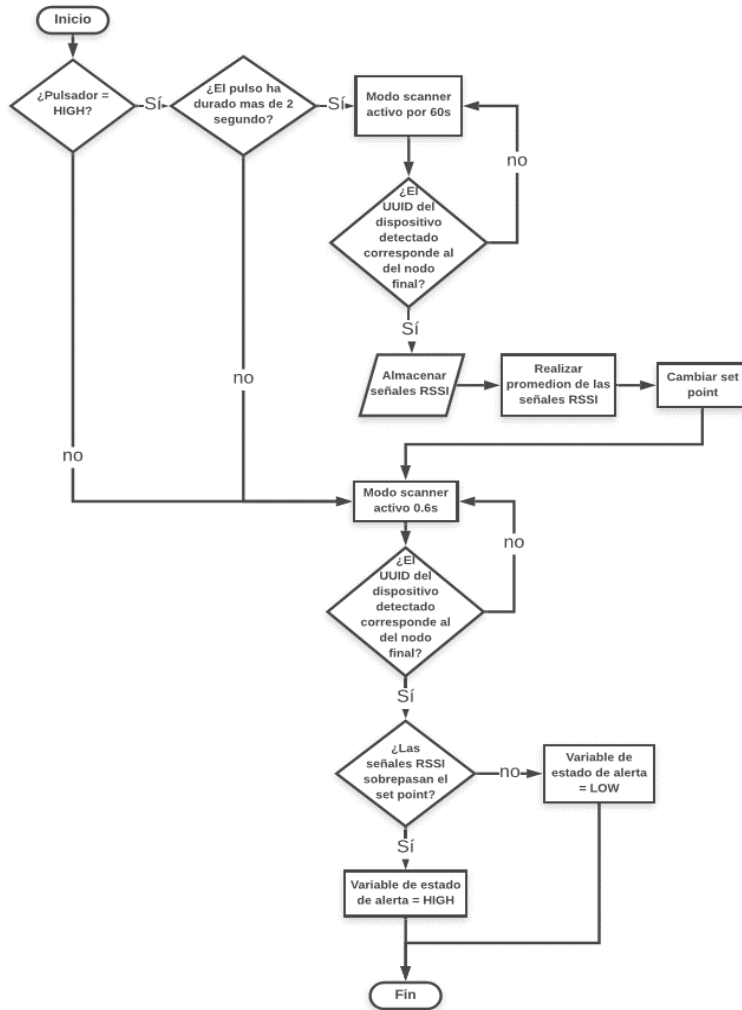


Figura 36. Diagrama de flujo Router (ESP32).

Fuente: Los autores.

En paralelo al ESP32, el router integra un ESP8266 configurado como cliente WiFi, este es el encargado de enviar las señales de alerta hacia el gateway. Al iniciar el ESP8266, este se conectará con el gateway mediante el *ssid* y el *password* del mismo, una vez establecida dicha conexión, este verificará el estado del pin de entrada que indica la alerta de proximidad del nodo final al router, para el caso del ESP8266 corresponde al GPIO 3, si la lectura digital de dicho pin es igual a HIGH entonces la variable de estado de alerta será igual a uno, de ser igual a LOW entonces la variable de estado pasara de a ser igual a cero, seguidamente se crea la URL que contendrá la dirección MAC del ESP8266 y la variable de estado de

alerta para finalmente ser transmitida hacia el gateway mediante el método *GET*, ver figura 36.

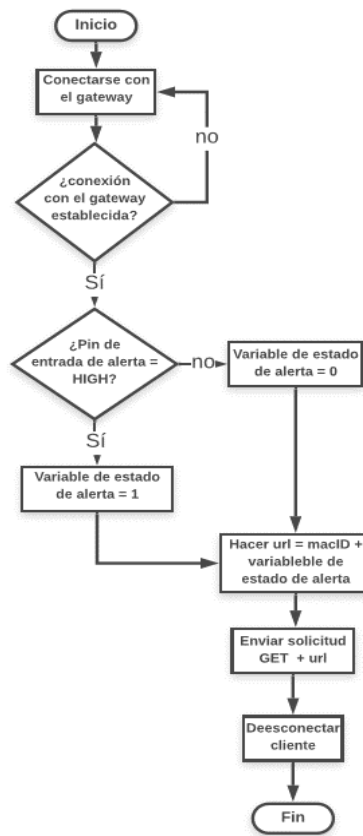


Figura 37. Diagrama de flujo Router (ESP8266).

Fuente: Los autores.

4.1.4.3 LÓGICA DEL GATEWAY

El gateway integra un ESP32 configurado como servidor y punto de acceso. Este tiene la función de alertar al adulto cuidador cuando el nodo final este próximo al router, por lo tanto, controla los métodos de alerta (motor vibrador y zumbador). A continuación, en la figura 37, está ilustrado mediante un diagrama de flujo, la lógica implementada en el ESP32 del dispositivo router.

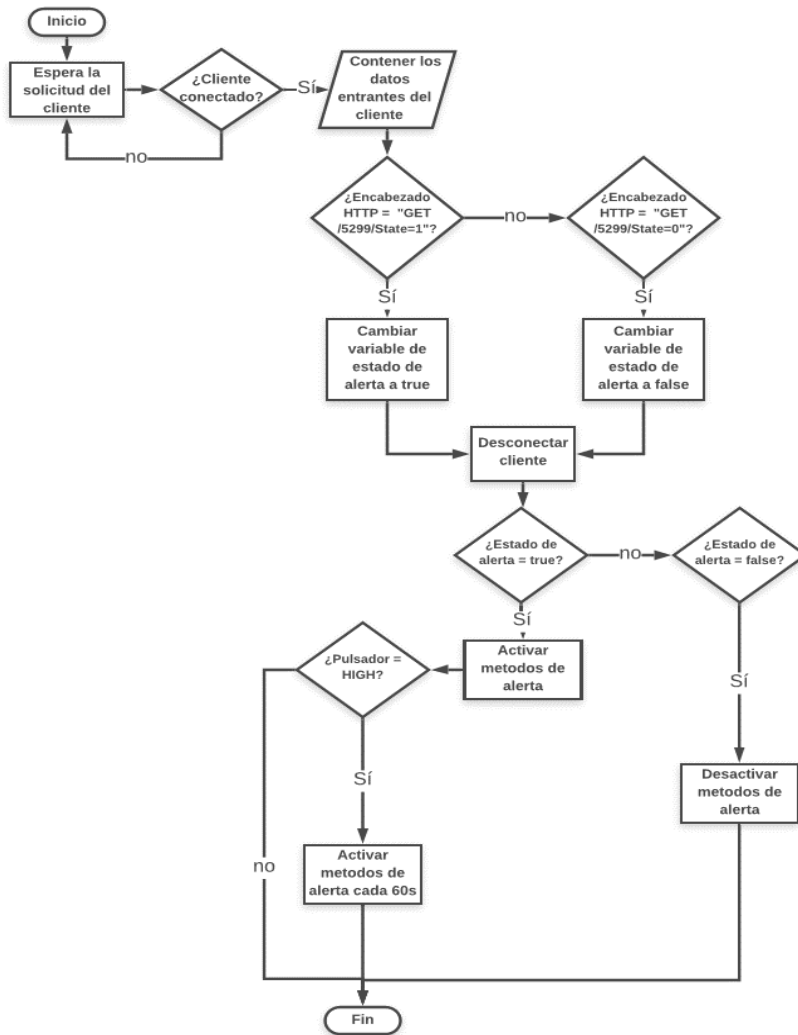


Figura 38. Diagrama de flujo Gateway.

Fuente: Los autores.

Inicialmente el ESP32 del gateway siempre está a la espera de establecer una conexión con el dispositivo cliente, en este caso el ESP8266 que integra el router. Una vez que el ESP8266 se ha conectado, cuando el gateway recibe una solicitud *GET* del cliente, este guarda los datos provenientes de la cadena de consulta y dependiendo del encabezado *HTTP* recibido, la variable de estado de alerta dentro del gateway cambia a *true* o *false*. Si la variable de estado de alerta es igual a *true*, entonces se activan los métodos de alerta, si, por el contrario, la variable de estado de alerta es igual a *false*, entonces se desactivan los métodos de alerta o simplemente se mantienen apagados, además, una vez a recibida la notificación

mediante un pulsador el adulto cuidador puede retardar la activación de los métodos de alerta cada 60 segundos, mientras acude al auxilio de infante.

4.1.5 DISEÑO DE DISPOSITIVOS

Para la primera etapa del diseño de los dispositivos, primero se hicieron pruebas en protoboard de las conexiones de cada uno de los componentes de los dispositivos del sistema (router y gateway), una vez validado el funcionamiento, se procedió con el diseño de los diagramas esquemáticos mediante el software open-source Fritzing, como lo muestran las figuras 38 y 39 el cual, además, facilito el diseño de los circuitos impresos (PCB).

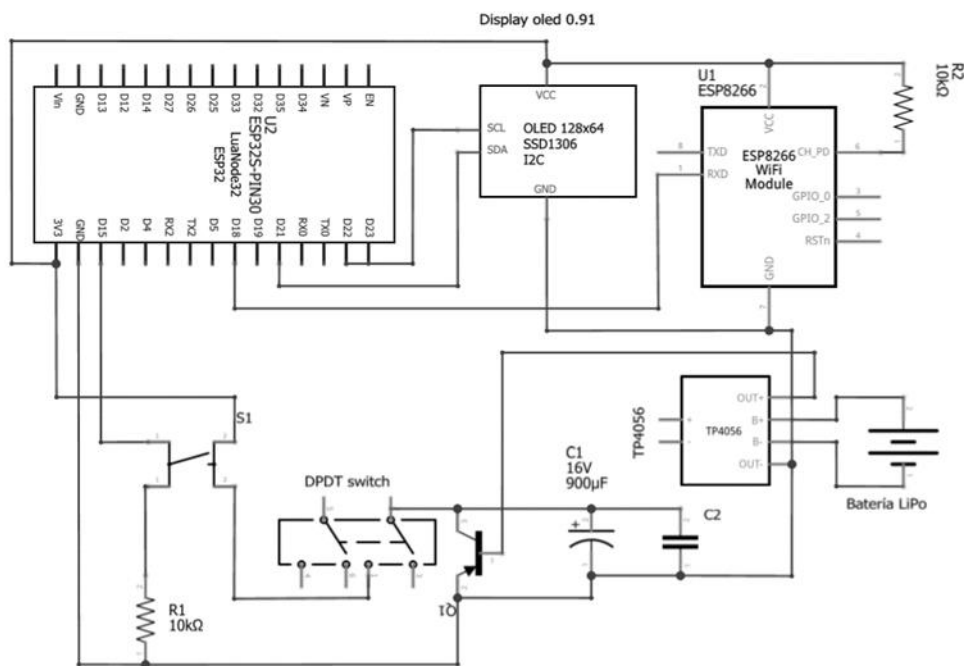


Figura 39. Esquemático, circuito electrónico del Router.

Fuente: Los autores.

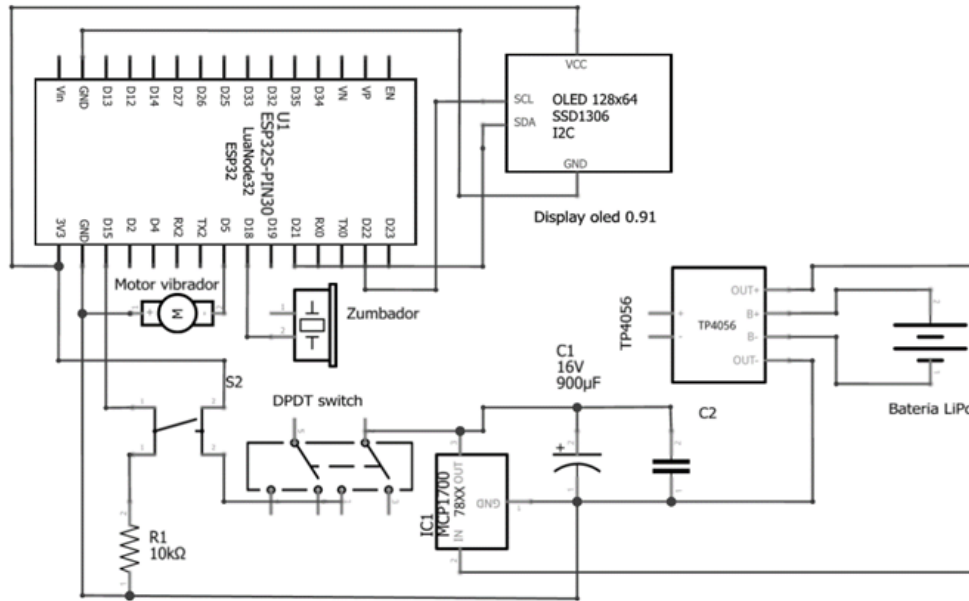


Figura 40. Esquemático, circuito electrónico del Gateway.

Fuente: Los autores.

Por otro lado, como premisa de diseño, se estableció que los dispositivos debían ser lo más compactos posible. La estructura base o carcasa, es el soporte de todo el sistema eléctrico de los dispositivos, además de ser el elemento mediante el cual se lleva a cabo la fijación del router a las zonas de riego, y en caso del gateway, permitiendo la portabilidad por parte del adulto cuidador. por otro lado, para que el infante pueda llevar el dispositivo IBEACON BC037S con facilidad, se diseñó un adaptador con forma de reloj. Lo anterior evidenciado en el capítulo 6.

4.2 TIPO DE ESTUDIO

El presente proyecto se realizó bajo el enfoque de una investigación de tipo exploratoria - aplicada, ya que, inicialmente se abordó la problemática de los accidentes domestico ocurridos durante la primera infancia en Colombia, esto con el fin de tener un panorama general y conocer la realidad de las situaciones, eventos y personas que influyen en la ocurrencia de los mismos, para finalmente, plantear una solución tecnológica orientada a disminuir los factores de riesgos presentes en

una vivienda y reducir el índice de accidentalidad en niños menores de dos años de edad.

4.3 CRONOGRAMA – PLAN DE TRABAJO

Tabla 8. Cronograma – Plan de trabajo.

Componentes	Descripción	Fecha Inicio	Fecha Final
OBJETIVO 1	Identificar los principales factores de riesgo que existen dentro de una vivienda, para la prevención de accidentes domésticos en niños menores de 2 años	21/02/2019	18/03/2019
Entregable #1	Recopilación de información y datos estadísticos sobre accidentes domésticos	21/02/2019	28/02/2019
Actividad 1	Investigar acerca de accidentes domésticos	21/02/2019	22/02/2019
Actividad 2	Investigar sobre los lugares donde se presentan el mayor número de accidentes domésticos	25/02/2019	26/02/2019
Actividad 3	Investigar sobre los tipos de accidentes más comunes	26/02/2019	28/02/2019
Entregable #2	Registro de los principales factores de riesgos presentes en las viviendas	04/03/2019	18/03/2019
Actividad 4	Identificar los tipos de factores de riesgo	04/03/2019	05/03/2019
Actividad 5	Identificar los principales factores de riesgo	13/03/2019	13/03/2019
Actividad 6	Identificar las causas y consecuencias de los factores de riesgos	17/03/2019	18/03/2019
OBJETIVO 2	Implementar el sistema de alerta basado en una red de sensores inalámbricos, para la prevención de accidentes domésticos en niños menores de 2 años	08/04/2019	18/10/2019
Entregable #3	Selección de tecnología wireless	08/04/2019	23/05/2019
Actividad 7	Investigar sobre las principales tecnologías wireless de las WSN	08/04/2019	19/04/2019
Actividad 8	Comparar de las características y prestaciones de las tecnologías encontradas	22/04/2019	30/04/2019
Actividad 9	Selección de las tecnologías wireless a implementar	01/05/2019	10/05/2019
Actividad 10	Selección de microcontroladores	13/05/2019	24/05/2019
Entregable #4	Lógica de operación del sistema	29/07/2019	23/08/2019
Actividad 11	Definir la plataforma de programación	29/07/2019	02/08/2019

Actividad 12	Instalar las librerías requeridas para la programación en la plataforma	05/08/2019	09/08/2019
Actividad 13	Programación de dispositivos	12/08/2019	23/08/2019
Entregable #5	Diseño de los dispositivos del sistema	26/08/2019	04/10/2019
Actividad 14	Definir materiales y componentes	26/08/2019	06/09/2019
Actividad 15	Diseño de circuitos electrónicos	09/09/2019	20/09/2019
Actividad 16	Diseño en software CAD	23/09/2019	04/10/2019
Entregable #6	Prototipo funcional	07/10/2019	18/10/2019
Actividad 17	Prueba y detalles de programación	07/10/2019	11/10/2019
Actividad 18	Prueba y detalles de diseño	14/10/2019	18/10/2019
OBJETIVO 3	Evaluar el funcionamiento del sistema desarrollado, para la prevención de accidentes domésticos en niños menores de 2 años	21/10/2019	31/10/2019
Entregable #7	Validación de prototipo funcional	21/10/2019	31/10/2019
Actividad 19	Montaje de los nodos del sistema	21/10/2019	22/10/2019
Actividad 20	Caracterización de las señales RSSI dentro de la vivienda	21/10/2019	22/10/2019
Actividad 21	Puesta en marcha del sistema de alerta	23/10/2019	25/10/2019
Actividad 22	Verificación y validación del funcionamiento del sistema	28/10/2019	31/10/2019


Fuente: Los autores.

5 PRESUPUESTO

En la presente sección se presenta de manera detallada el presupuesto general del proyecto, así como el desglose de los costos por conceptos de personal científico, personal de apoyo, servicios técnicos externos, materiales e insumos y equipos usados.

5.1 PRESUPUESTO GENERAL

Tabla 9. Presupuesto general.

	FORMATO DE PRESUPUESTO PARA PRESENTACIÓN DE PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN EN CONVOCATORIAS INTERNAS				GI-02-PR-03-F02
					Versión 1
					12/06/2019
PRESUPUESTO GENERAL DEL PROYECTO					
RUBROS	Fuentes de Financiamiento				Total
	Vicerrectoría de Investigaciones y transferencia	INVESTIGADORES	Otras fuentes Externas	Contrapartida UAC	
1. Personal Científico	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 4.883.184	\$ 4.883.184
2. Personal de Apoyo	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 267.720	\$ 267.720
3. Consultoría especializada y Servicios Técnicos externos	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 130.000	\$ 0,00	\$ 130.000
4. Materiales e Insumos	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 355.999	\$ 0,00	\$ 355.999
5. Trabajo de Campo	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00
6. Equipos	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 5.259.500	\$ 0,00	\$ 5.259.500
7. Bibliografía	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00
8. Material de difusión y Promoción de resultados	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00
9. Viajes	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 69.000	\$ 0,00	\$ 69.000
TOTAL, PRESUPUESTO DEL PROYECTO	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 5.784.499	\$ 5.150.904	\$ 10.965.403

Fuente: Los autores.

5.2 PERSONAL CIENTÍFICO Y DE APOYO

Tabla 10. Costo personal científico.

1. PERSONAL CIENTÍFICO									
Nombres y Apellidos	Tipo de Contrato	Función dentro del Proyecto	Valor Hora (\$)	Dedicación Horas/semana	No. de Semanas	Fuentes de Financiamiento			
						Vicerrectoría de Investigaciones y transferencia	INVESTIGADORES	Contrapartida UAC	SUB-TOTAL
1. SAUL PÉREZ PÉREZ	Investigador. Principal	Instructor	\$ 33.911	3	16			\$ 1.627.728	\$ 1.627.728
2. FREDDY ARTURO BRICEÑO DIAZ	Co-Investigador	Instructor	\$ 33.911	3	16			\$ 1.627.728	\$ 1.627.728
3. NATALY KAFRUNI JÚBIZ	Co-Investigador	Instructor	\$ 33.911	3	16			\$ 1.627.728	\$ 1.627.728
SUB-TOTAL								\$ 4.883.184	\$ 4.883.184

Fuente: Los autores.

Tabla 11. Costo personal de apoyo.

2. PERSONAL DE APOYO									
Nombres y Apellidos	Tipo de Vinculación	Función dentro del Proyecto	Valor Hora (\$)	Dedicación Horas/semana	No. de Semanas	Fuentes de Financiamiento			
						Vicerrectoría de Investigaciones y transferencia	INVESTIGADORES	SUB-TOTAL	
1. CRISTIAN DAVID HENAO GUEVARA	Aux. Investigación	Practicante	\$ 2.231	3	20		\$ 133.860	\$ 133.860	
2. RAMIRO ANDRÉS PARAJO POLO	Aux. Investigación	Practicante	\$ 2.231	3	20		\$ 133.860	\$ 133.860	
SUB-TOTAL							\$ 267.720	\$ 267.720	

Fuente: Los autores.

5.3 CONSULTORIA ESPECIALIZADA

Tabla 12. Costo consultoría especializada y servicios técnicos externos.

3. CONSULTORIA ESPECIALIZADA Y SERVICIOS TECNICOS EXTERNOS				
Descripción	Justificación	Fuentes de Financiamiento		
		Vicerrectoría de Investigaciones y transferencia	INVESTIGADORES	SUB-TOTAL
1. Impresión de circuitos Impresos	Servicio de impresión de circuitos PCB		\$ 50.000	\$ 50.000
2. Impresión 3D	Servicio de impresión de piezas 3D		\$ 80.000	\$ 80.000
<i>SUB-TOTAL</i>			\$ 130.000	\$ 130.000

Fuente: Los autores.

5.4 MATERIALES, INSUMOS Y EQUIPOS

Tabla 13. Costo de materiales e insumos.

4. MATERIALES E INSUMOS					
Descripción	Justificación	Fuentes de Financiamiento			
		Vicerrectoría de Investigaciones y transferencia	INVESTIGADORES	Contrapartida UAC	SUB-TOTAL
1. ESP32	Microcontrolador BLE/WiFi principal para los dispositivos router y gateway del sistema		\$ 86.000		\$ 86.000
2. Blue Charm BC037 iBeacon	Dispositivo Beacon para identificar al infante dentro de la WSN		\$ 121.599		\$ 121.599
3. ESP8266 – ESP-01	Microcontrolador WiFi de soporte para dispositivo router		\$ 16.000		\$ 16.000
4. Display OLED 0.91	Pantallas para la visualización de mensajes		\$ 29.000		\$ 29.000
5. Batería LiPo de 1200 mAh 3.7 V	Batería LiPo como fuente de alimentación de para los dispositivos router y gateway		\$ 79.000		\$ 79.000
6. Módulo Cargador Batería de LiPo 1A Micro Usb 5V - TP4056	Módulo para recargar baterías LiPo		\$ 9.800		\$ 9.800
7. Componentes electrónicos	LDO MCP1700-3302E, capacitor electrolítico, capacitor cerámico, resistencia, pulsador, switch		\$ 14.600		\$ 14.600
<i>SUB-TOTAL</i>			\$ 355.999		\$ 355.999

Fuente: Los autores.

Tabla 14. Costo de equipos usados.

6. EQUIPOS						
Descripción	Justificación	Cantidad	Fuentes de Financiamiento			
			Vicerrectoría de Investigaciones y transferencia	INVESTIGADORES	Contrapartida UAC	SUB-TOTAL
1. Portátil Xiaomi notebook air 13	Equipo requerido para la programación y documentación del proyecto	1		\$ 2.800.000		\$ 2.800.000
2. Portátil ACER - Aspire F 15	Equipo requerido para el diseño y la documentación del proyecto	1		\$ 2.400.000		\$ 2.400.000
3. Multímetro digital	Equipo requerido para realizar mediciones de tensión y continuidad	1		\$ 30.000		\$ 30.000
4. Fuente de Alimentación para Protoboard 3.3V y 5V	Equipo requerido para alimentación del circuito en Protoboard	1		\$ 8.000		\$ 8.000
5. Programador USB CH340 a modulo wifi ESP8266	Equipo requerido para flashear el microcontrolador ESP8266 - ESP01	1		\$ 9.500		\$ 9.500
6. Cautín tipo lápiz 30W	Equipo requerido para realizar la soldadura de los componentes a PCB	1		\$ 12.000		\$ 12.000
SUB-TOTAL				\$ 5.259.500		\$ 5.259.500

Fuente: Los autores.

6 PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

En esta sección se presentarán los resultados obtenidos de las pruebas realizadas sobre el sistema. Para la realización de estas, se contó con dos nodos móviles (nodo final y gateway) y un nodo fijo (correspondiente al router). El objetivo de estas pruebas fue evaluar la capacidad del sistema para detectar al infante (nodo final) a partir de un nodo fijo (router) y enviar la señal de alerta hacia el padre o adulto cuidador (gateway).

6.1 DISEÑO DE PROTOTIPOS

El diseño CAD de las carcasas, para los dispositivos router y gateway del sistema, inicialmente constaba de 4 piezas, como se muestra en la figura 41. Para el diseño de las mismas, se tuvieron en cuenta las medidas de las placas PCB, así como la de los componentes electrónicos de cada uno de los dispositivos.

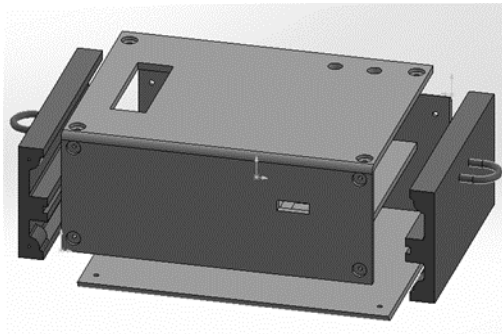


Figura 41. Prototipo de carcasas desarrollado.

Fuente: Los autores.

En primera instancia se diseñaron los rieles superior e inferior, con el propósito de sostener las placas PCB, como se puede ver en la figura 42.

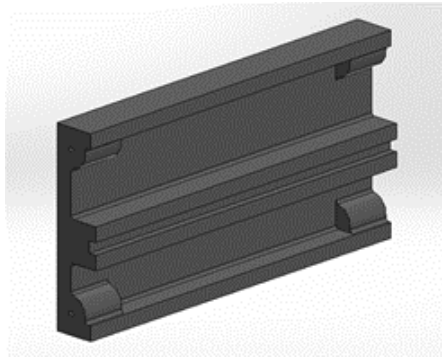


Figura 42. Rieles superior e inferior.

Fuente: Los autores.

La segunda pieza diseñada fue la tapa inferior, en esta descansarían la batería, y en caso del gateway el motor vibrador y el zumbador, ver figura 43.

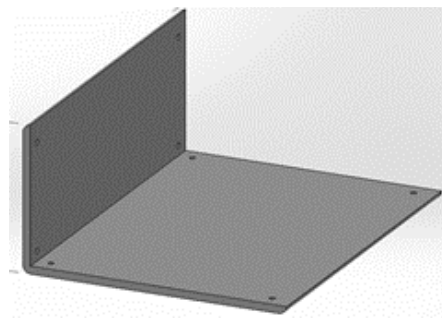


Figura 43. Tapa inferior.

Fuente: Los autores.

Finalmente, la tapa superior se diseñó para cubrir el circuito electrónico, por lo cual esta pieza contaba con las ranuras para la pantalla, el pulsador, el switch y el pin de carga, como se ilustra en la figura 44.



Figura 44. Tapa superior.

Fuente: Los autores.

Por otro lado, para que el infante pueda llevar el dispositivo IBEACON BC037S con facilidad, se diseñó un adaptador con forma de reloj, como se ilustra en la figura 43, mediante el cual el niño puede portar el dispositivo iBeacon como una pulsera.

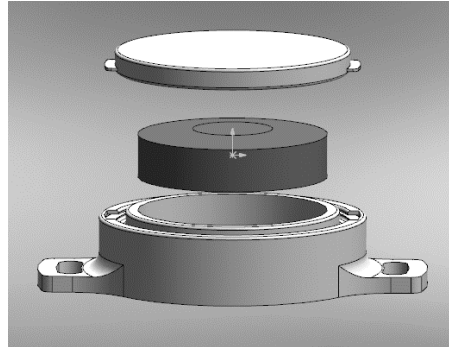


Figura 45. Adaptador para el dispositivo IBEACON BC037.

Fuente: Los autores.

El diseño mostrado en la figura anterior consta de dos piezas. La caja, como se ve en la figura 44, será donde reposará el dispositivo IBEACON BC037S y a la cual se acoplará la correa o pulsera para sujetar el dispositivo a la muñeca del infante.

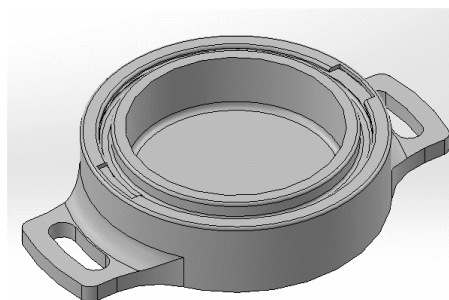


Figura 46. Caja de adaptador para el dispositivo IBEACON BC037.

Fuente: Los autores.

Finalmente, la tapa, como se ilustra a continuación en la figura 45, será la cubierta para asegurar y evitar el contacto directo del infante con el dispositivo IBEACON BC037S, esta se une a la caja mediante un mecanismo de juntas deslizantes.

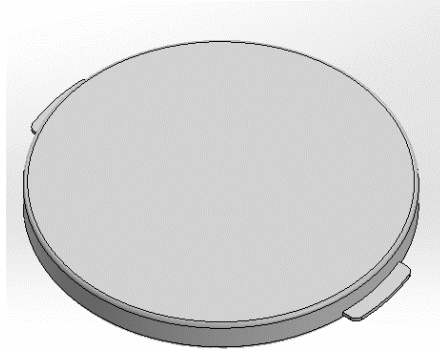


Figura 47. Tapa del adaptador tipo reloj para el dispositivo IBEACON BC037S.

Fuente: Los autores.

6.2 DISEÑO DISPOSITIVO FINAL

Mediante una revisión y evaluación de los prototipos diseñado, para los dispositivos router y gateway del sistema, al final se logró reducir el número de piezas que los conforman a 2, como se muestra en la figura 45, facilitando la tarea de ensamble de los mismos.

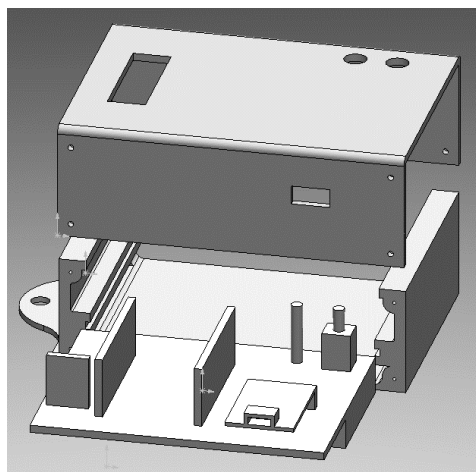


Figura 48. Prototipo de carcasas desarrollado.

Fuente: Los autores.

En primera instancia los rieles superior e inferior fueron unificados con la tapa inferior, de esta manera es diseño final cumple con el propósito de sostener las placas PCB, además de la batería, y en caso del gateway el motor vibrador y el zumbador como se ilustra en la figura 46.

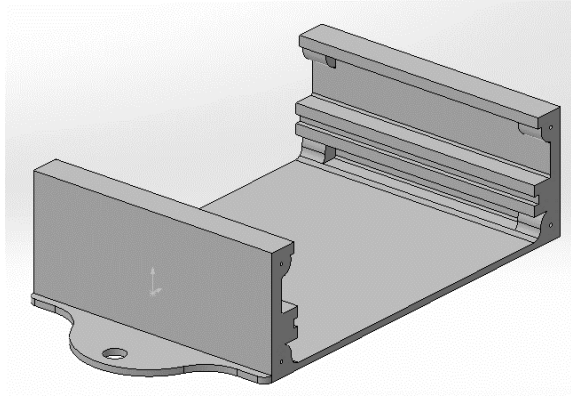


Figura 49. Rieles superior e inferior.

Fuente: Los autores.

La segunda pieza modificada fue la tapa superior, esta sigue cumpliendo con el propósito de cubrir el circuito electrónico y cuenta con las ranuras para la visualización de display, el pulsador, el switch añadiendo el pin de carga, como se ve en la figura 47.

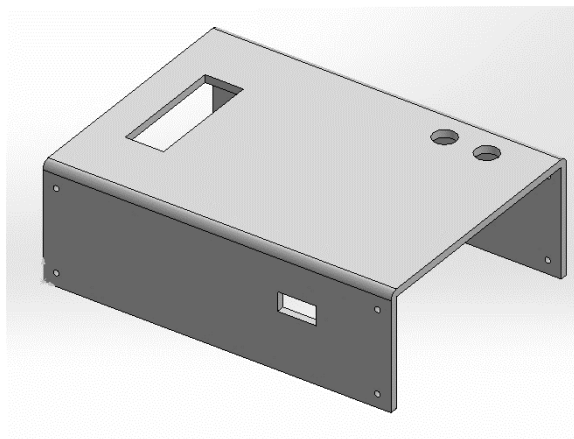


Figura 50. Tapa Superior.

Fuente: Los autores.

Por otro lado, a el adaptador tipo reloj desuñado para el dispositivo IBEACON BC037S son fue modificado, por lo cual su diseño continuó siendo el mismo, sin embargo, se le ajustaron las medidas para obtener un dispositivo final más compacto. Los planos con las medidas de los dispositivos finales se encuentran en el apartado de anexos del presente documento.

6.3 MATERIALES

Las piezas diseñadas se construyeron utilizando una impresora 3D. dicha impresión fu realizada a base de PLA (Poliácido láctico) el cual es un polímero biodegradable, mayormente utilizado en impresoras 3D, mediante el proceso FDM (Fused Deposition Modeling). Se recurrió a este tipo de impresión debido a la precisión que brinda en la creación de prototipos. A continuación, se muestra el resultado de las piezas obtenidas para los dispositivos finales.

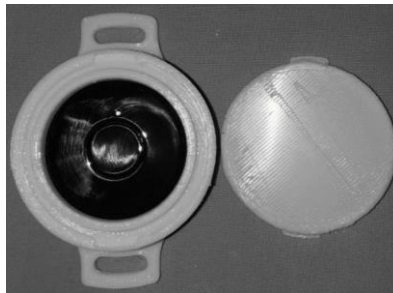


Figura 51. Ensamble Nodo Final.

Fuente: Los autores.



Figura 52. Ensamble Gateway.

Fuente: Los autores.



Figura 53. Ensamble Router.

Fuente: Los autores.

Por otro lado, para la elaboración de circuitos impresos (PCB), se implementó una máquina de fresado CNC, esto permitió reducir el tiempo y el costo de impresión de los circuitos, además de mejorar la calidad de esta, en comparación con cualquier otro método de impresión mediante un proceso químico. El material utilizado para las PCB fue una hoja de laminado revestido de cobre de politetrafluoroetileno (PTFE) de alta frecuencia para las placas de los circuitos impresos. A continuación, se muestra el resultado de las placas PCB obtenidas.

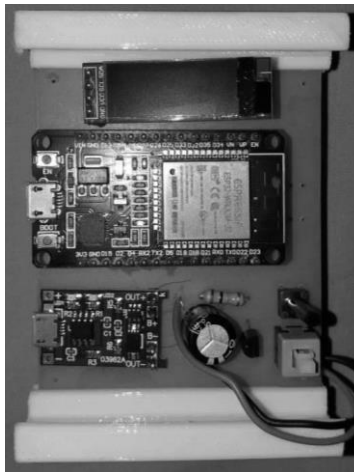


Figura 54. Ensamble PCB Gateway.

Fuente: Los autores.

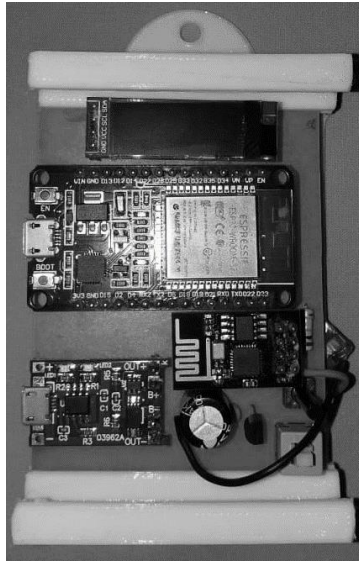


Figura 55. Ensamble PCB Router.

Fuente: Los autores.

6.4 RECOLECCIÓN DE DATOS

Como método de recolección de datos, se diseñó una encuesta digital dirigida a padres, en la plataforma de Google drive (como se muestra en las figuras de la 22 a la 24), a través de la cual se buscó determinar los principales factores de riesgos presentes en una vivienda, y a cuáles de ellos se les atribuye la ocurrencia de un accidente doméstico.



Accidentes domésticos en niños

El siguiente formulario fue diseñado con fines meramente académicos, la información aquí suministrada no representará ningún compromiso para usted y tampoco será utilizada con fines de lucro, de ante mano ¡Gracias por su participación!

Indique su nombre *

Texto de respuesta breve

Indique su edad

Texto de respuesta breve

1. ¿Tiene usted hijos? *

Si

No

Figura 56. Encuesta diseñada para identificar los principales factores de riesgo presentes en una vivienda.

Fuente: Los Autores.

2. ¿Sus hijos están en un rango de edad inferior a 2 años? *

Si

No

3. Durante la infancia, ¿su hij@ ha sufrido o sufrió algún tipo de accidente domestico? *

Si

No

4. Si contestó SI a la pregunta anterior, ¿A que factores de riesgo le atribuye dicho accidente?

Riesgo por ahogamiento o inmersión

Riesgo de caída de alturas

Riesgo de quemadura

Riesgo de electrocución

Riesgo por intoxicación

Otros

Figura 57. Encuesta diseñada para identificar los principales factores de riesgo presentes en una vivienda.

Fuente: Los Autores.

5. Si contestó NO a la pregunta 3, ¿ Dentro de su hogar, cual de los siguientes factores de riesgo cree usted que pueden ocasionar un accidente?

Riesgo por ahogamiento o inmersión

Riesgo de caída de alturas

Riesgo de quemadura

Riesgo de electrocución

Riesgo por intoxicación

Otros

6. Si en las preguntas 4 o 5 contestó otros*, por favor indique brevemente cual

Texto de respuesta breve

.....

Figura 58. Encuesta diseñada para identificar los principales factores de riesgo presentes en una vivienda.

Fuente: Los Autores.

6.4.1 MUESTRA POBLACIONAL

Mediante encuesta realizada se obtuvo una muestra de 150 padres, de dicha muestra se encontró que:

- Del total de padres encuestados el 16,6% manifestó tener hijos en un rango entre 0 a 2 años.

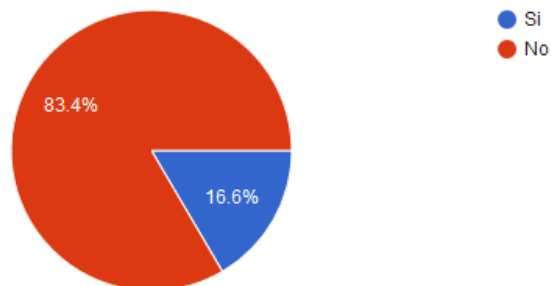


Figura 59. Porcentaje de padres encuestados con hijos menores de 2 años de edad.

Fuente: Los Autores.

- El 41,1% manifestó que su hijo sufrió algún tipo de accidente doméstico durante su infancia.

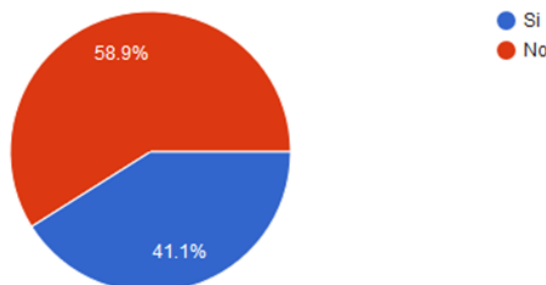


Figura 60. Porcentaje de hijos que sufrieron un accidente doméstico durante su infancia.

Fuente: Los Autores.

- El 55% de los encuestados atribuyó la causa de dicho accidente a otros factores de riesgos, la mayoría relacionados con caídas en superficies resbalosas, golpes contundentes, machucones y atragantamientos. Por otro

lado, el 24,5% de los accidentes fueron atribuidos a riesgo por quemaduras, el 16,6% a riesgo de caída de alturas, el 6,6% a riesgo por intoxicación, el 5,3% a riesgo de electrocución y el 3,3% a riesgo por ahogamiento o inmersión.

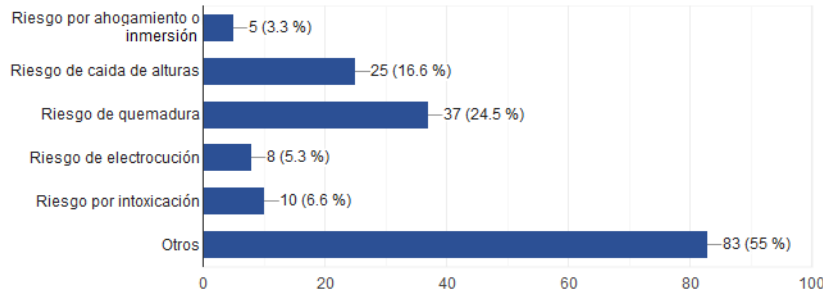


Figura 61. Porcentaje de factores de riesgos atribuidos a la ocurrencia de un doméstico en los hijos de los padres encuestados.

Fuente: Los Autores.

- También se le preguntó que, dentro de sus hogares, cuáles eran los factores de riesgo que podrían ocasionar un accidente en un niño menor de 2 años, a lo que respondieron que, en un 51% de los casos la ocurrencia de un accidente doméstico se puede atribuir a un riesgo de quemadura, en un 37,1% a un riesgo de caída de alturas, en un 34,4% a un riesgo de electrocución, en un 25,8% a un riesgo por intoxicación, en un 17,2% a un riesgo por ahogamiento o inmersión y un 18,5% a otros factores de riesgos como los mencionados anteriormente.

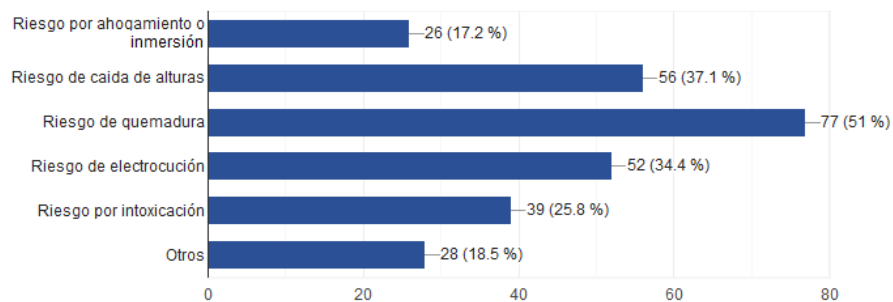


Figura 62. Porcentaje de factores de riesgos presentes en los hogares de los padres encuestados que pueden ocasionar un accidente en niños menores de 2 años.

Fuente: Los Autores.

De lo anterior, se identificó que a través de nuestro sistema se pueden mitigar los factores de riesgos relacionados con:

- Quemaduras: permitiendo controlar el acceso de los niños a la cocina, donde pueden tener contacto con estufas; líquidos como: aceite o agua calientes.
- Caídas de altura: permitiendo controlar el acceso del infante a azoteas, escaleras, balcones, paredes elevadas, ventanas cornisas, etc.
- Por intoxicaciones: permitiendo evitar la cercanía del niño a áreas donde se almacenen medicamentos, productos de limpieza, cosméticos o productos de aseo personal, entre otros.

En el caso del riesgo por electrocución y el de ahogamiento por inmersión, ambos quedarían fuera del alcance del sistema, ya que en el caso del riesgo por electrocución, este radica en el incumplimiento del RETIE, y por otro lado el riesgo de ahogamiento por inmersión, aunque puede ser mitigado evitando el acceso del infante a almacenamientos de como mínimo 5 cm³ de agua, las señales de RF se ven bastante afectadas por este líquido causando error en la detección de la proximidad del niño a estas zona.

Por otro lado, los casos donde los accidentes domésticos están relacionados con otros factores de riesgos relacionados con machucones, atragantamientos, cortada por objetos corto punzante, golpes contundentes, caídas por superficies resbalosas, y en general que estén relacionados con actividades que requieran de la compañía de los padres, y no dejar al alcance de las niñas y niños objetos que puedan afectar su integridad tanto física como psicológica, quedarían fuera del alcance del sistema.

6.5 ANÁLISIS DE RESULTADOS

A continuación, se presenta el análisis de los resultados de las pruebas realizadas al prototipo y al dispositivo final, con el fin de validar su correcto funcionamiento.

6.5.1 ANÁLISI DE LAS PRUEBAS REALIZADAS POR EL PROTOTIPO

6.5.1.1 DETECCIÓN DEL iBEACON BC037S

Para lograr el objetivo de prevenir un accidente, inicialmente el sistema debe tener la capacidad de detectar al infante. Dicha tarea está a cargo del dispositivo router. esta detección se logró mediante la extracción de una serie de parámetros contenidos en los anuncios emitidos por el dispositivo iBeacon BC037S. Dicha extracción, se realizó a través del microcontrolador ESP32 mediante la lógica de programación empleada.

```
manufacturer data: 4c000215426c7565436861726d426561636f6e730efe1355c0
```

Figura 63. Paquete de datos anunciado por el dispositivo iBeacon BC037.

Fuente: Los autores.

A través de una serie de funciones empleadas en el código, se logró extraer de dicho paquete de datos los parámetros: RSSI, Tx Power, Length, Manufacturer ID y Proximity UUID anunciados por el dispositivo iBeacon BC037S, ver figura 47.

```
|RSSI: -45 |Tx Power: -64 |Length: 25 |Manufacturer ID: 76 |ProximityUUID: 736e6f63-6165-426d-7261-684365756c
```

Figura 64. Ejemplo extracción de parámetros: RSSI, Tx Power, Length, Manufacturer ID y Proximity UUID del iBeacon BC037S.

Fuente: Los autores.

De esta forma se logró detectara única y exclusivamente al nodo final (iBeacon BC037S) mediante la implementación de una serie de condiciones anidadas, a partir

de los parámetros Length, Manufacturer ID y Proximity UUID, como se puede apreciar en la figura 48.

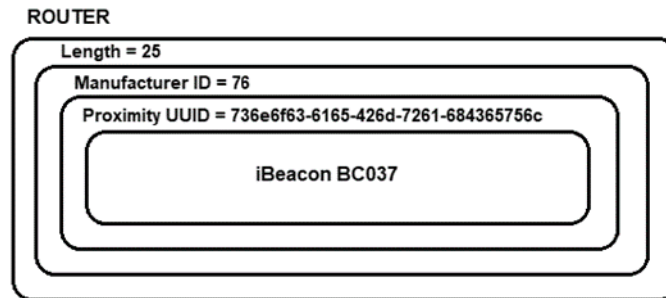


Figura 65. Condiciones anidadas para la detección del nodo final (iBeacon BC037S).

Fuente: Los autores.

6.5.1.2 FILTRADO DE RSSI

Para La detección de la proximidad entre el dispositivo router y el nodo final (iBeacon BC037S), se utilizó el indicador de fuerza de la señal recibida (RSSI), a través del cual se pueden derivar métodos para el posicionamiento en interiores.

En condiciones ideales, es decir, una línea de visión sin obstáculos entre la antena de un dispositivo y otro, cuanto más cerca estén entre ellos más preciso será el resultado. Por ejemplo, en la figura 49, la intensidad de la señal aumenta a medida que un dispositivo se acerca al router, lo que mejora la estimación de la proximidad, sin embargo, a medida que el dispositivo se aleja del router la intensidad de la señal será menor, afectando la precisión de la estimación de proximidad.

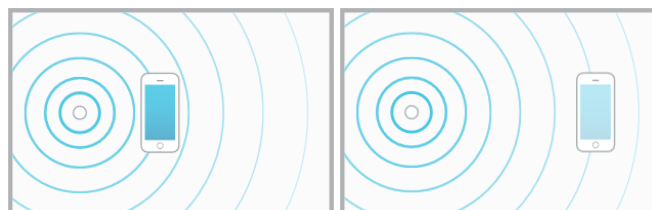


Figura 66. Influencia de la distancia en la estimación de la proximidad.

Fuente: Tomado de [30].

Los materiales físicos como las paredes, muebles e inclusive el cuerpo humano que rodean al router afectan la intensidad de la señal recibida. Esto puede hacer que el dispositivo router crea que el nodo final está más lejos de lo que realmente está, ver figura 50.

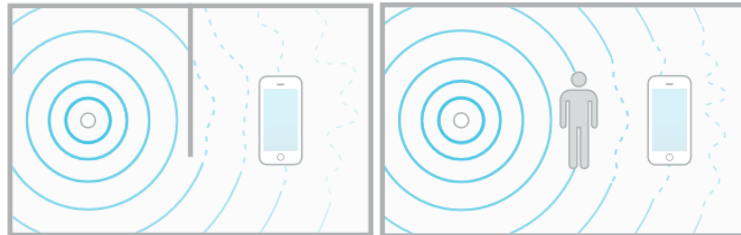


Figura 67. Influencia de los objetos y de los humanos en la estimación de la proximidad.

Fuente: Tomado de [30].

Por lo anterior y debido a fenómenos como la pérdida de trayectoria y las reflexiones, las señales RSSI contienen altos niveles de ruido. Para mitigar esta condición se implementó el filtro de Kalman, el cual es un estimador de estado que realiza una estimación de las señales RSSI teniendo en cuenta el historial de mediciones, permitiendo suavizar las señales RSSI y obtener lecturas más reales de las mismas, aumentando la precisión en la estimación de la proximidad.

La forma general del modelo de transición es la siguiente:

$$x_t = A_t x_{t-1} + B_t u_t + \epsilon_t$$

El estado actual x_t se define como una combinación del estado x_{t-1} anterior (dado alguna matriz de transformación A), una entrada de control u (esto podría ser un orden de movimiento en un robot) y ruido ϵ . Al ruido se llama el ruido del proceso (ruido causado por el propio sistema).

La implementación del algoritmo de Kalman se hizo a través de la librería <Kalman.h>, para evaluar el desempeño de dicho algoritmo, se realizó una prueba, la cual consistió en medir las señales RSSI del nodo final (estático) a 1 metro de

distancia del router aplicando el filtro vs sin filtro durante un periodo de tiempo de 1 minuto.

Mediante un análisis estadístico realizado a los datos obtenidos se pudo apreciar que, para un tamaño de muestras igual a 157, las señales sin filtro arrojaron un promedio de -68.63 dBm, el rango entre el valor máximo (-61) y mínimo (-75) fue igual a 15 con una desviación estándar de 5,29, ver tabla 15.

Tabla 15. Datos estadísticos señales RSSI sin filtro

Datos RSSI Sin Filtro	
Promedio	-68,63057325
Tam. Muestra	157
Máximo	-61
Mínimo	-76
Rango	15
Varianza	28
Des. Estándar	5,291502622

Fuente: Los autores.

Por otro lado, los datos filtrados arrojaron un promedio de -68.16 dBm, el rango entre el valor máximo (-65) y mínimo (-72) fue igual a 7 con una desviación estándar de 1,41, ver tabla 16.

Tabla 16. Datos estadísticos señales RSSI filtro de Kalman.

Datos RSSI Filtro Kalman	
Promedio	-68,1656051
Tam. Muestra	157
Máximo	-65
Mínimo	-72
Rango	7

Varianza	2
Des. Estándar	1,414213562

Fuente: Los autores.

Como resultado, en la figura 51 se puede apreciar el efecto del filtro de Kalman sobre los datos RSSI. El filtro Kalman elimino una gran parte del ruido de la señal, obteniendo señales RSSI suavizadas y más estables en el tiempo, mejorando el rendimiento del proceso de estimación de la proximidad.

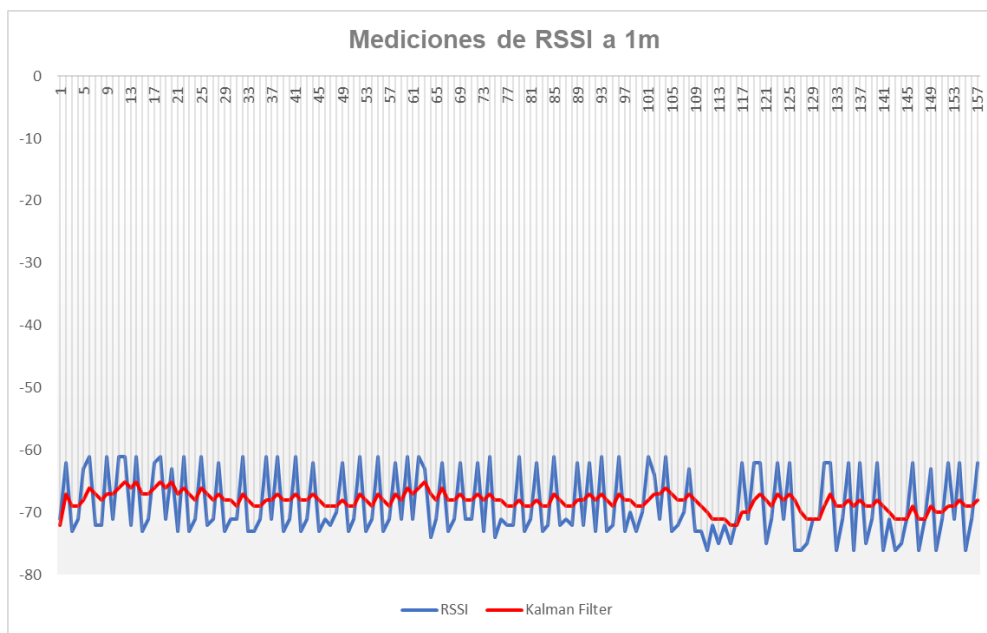


Figura 68. Gráfica mediciones RSSI a 1m, filtro de Kalman (línea roja) vs sin filtro (línea azul).

Fuente: Los autores.

6.5.1.3 CALIBRACIÓN EN EL ENTORNO DE DESPLIEGUE

Como ya se ha mencionado anteriormente las aplicaciones que implementan tecnologías wireless para el posicionamiento en interiores requieren de una fase previa de calibración. Los dispositivos iBeacon utilizan Bluetooth de baja energía para transmitir anuncios. El BLE se basa en la frecuencia de 2,4 Ghz y como tal está sujeto a atenuación por diversos materiales físicos e inclusive el cuerpo humano.

Por lo cual, es fundamental realizar la calibración en el entorno de despliegue del sistema. Para ello en el código del router se ha habilitado una función de calibración denominada “modo de caracterización”. Para acceder a dicha función se dispuso de un pulsador mediante el cual, a través de la generación de un pulso (presionando el pulsador) de 2 segundos de duración el padre o adulto cuidador puede acceder a la misma.

Dentro de la función de caracterización, el router almacena los datos RSSI en un periodo de tiempo igual a 60 segundos, de todos esos datos almacenados, el router realiza el promedio y de esta forma se establece el set point de distancia deseado con relación a las lecturas de las señales RSSI.

Debido al alcance de BLE respecto a otras tecnologías, para la fase de calibración, la medición de las señales RSSI se realizó a 1 metro de distancia del router, el nodo final (iBeacon BC037S) se movió lentamente en sentido ida y vuelta manteniendo la orientación, y permaneciendo equidistante del dispositivo de router similar a como se ilustra en la figura 52.

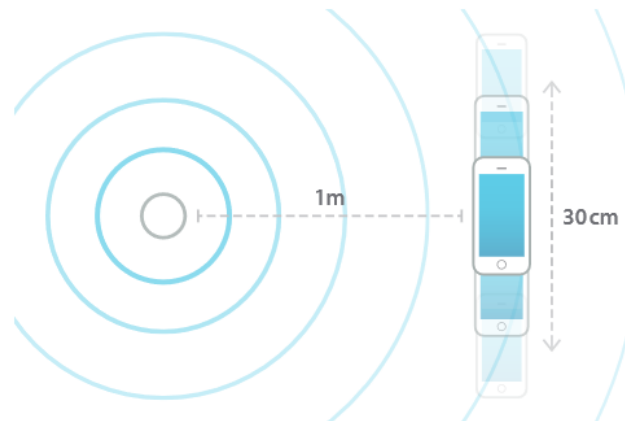


Figura 69. Metodología para la caracterización de señales RSSI.

Fuente: Tomado de [30].

Una vez culminado el tiempo de duración para el proceso de calibración, se actualiza el set point como se muestra en la figura 53.

|Promedio aprox (Set Point): -67

Figura 70. Actualización del set point de RSSI a 1 m en el router.

Fuente: Los autores.

Vía display, como se ven en las figuras 54 y 55, inicialmente se indica que la función de caracterización está en ejecución, y que luego de un minuto, habiendo realizado el procedimiento para la calibración, se muestra en pantalla el set point de las señales RSSI a 1 metro de distancia entre el nodo final y el router.

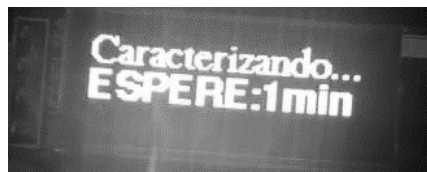


Figura 71. Mensaje de soporte función de caracterización.

Fuente: Los autores.

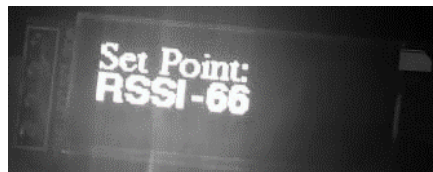


Figura 72. Set point de RSSI a 1 m, función de caracterización.

Fuente: Los autores.

6.5.1.4 SEÑAL DE ALERTA

La alerta es enviada a través del microcontrolador ESP8266 configurado como cliente WiFi que integra el router, este se conecta al ESP32 configurado como host WiFi que integra al gateway.

Cuando el router detecta que el infante (nodo final) está dentro del radio establecido en la fase de calibración, es decir, las señales RSSI detectadas son mayor o igual al set point establecido, entonces este interpreta que el infante ha superado el límite de distancia “segura” establecido por el padre (en este caso 1 metro), por lo cual

envía una señal de alertada hacia el gateway, con el fin de que el padre o adulto cuidador acuda al auxilio del niño.

Cuando el ESP32 del router detecta que el set point es sobrepasado, entonces el GPIO 15 cambia de estado a alto, es decir a HIGH, de lo contrario se mantiene en bajo (LOW), de esta forma cuando el ESP8266 detecta un estado alto en el GPIO 3, envía en una solicitud GET la señal de alerta al ESP32 del gateway a través de la URL. Dicha solicitud tiene la siguiente forma, ver figura 56.

```
New Client
GET /5299/State=1/ HTTP/1.1
Client disconnected.
```

Figura 73. Solicitud GET recibida por el gateway set point sobrepasado.

Fuente: Los autores.

GET indica el método HTTP mediante el cual el gateway solicita los datos provenientes del router. Seguidamente en la URL se envía concatenada la dirección MAC del ESP8266 (5299) esto facilita la identificación del nodo fijo (Router) de donde proviene la señal de alerta. Finalmente se envía la variable “State” la cual si es igual a 1 entonces se activan los métodos de alerta, de lo contrario si es igual 0 entonces estos se mantienen apagados (ver figura)

```
New Client
GET /5299/State=0/ HTTP/1.1
Client disconnected.
```

Figura 74. Solicitud GET recibida por el gateway set point.

Fuente: Los autores.

Mediante el display se muestra visualiza lo siguiente, ver figuras 58 y 59.

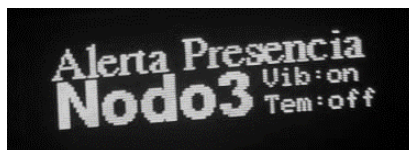


Figura 75. Alerta en display del gateway.

Fuente: Los autores.

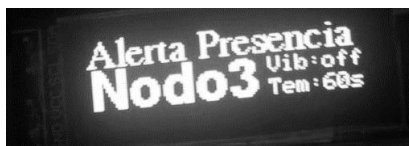


Figura 76. Alerta en display del gateway pulsador de retardo.

Fuente: Los autores.

6.5.2 ANÁLISIS DE LAS PRUEBAS REALIZADAS POR EL DISPOSITIVO FINAL

Para realizar las respectivas pruebas y evaluar el funcionamiento del sistema de alerta. Inicialmente el dispositivo router del sistema fue instalado en una zona estratégica dentro de la vivienda, como se ve en la figura 77.



Figura 77. Pruebas del sistema, instalación de router.

Fuente: Los autores.

En este caso se optó por instalar el dispositivo router a la salida de la vivienda, como se puede apreciar en la imagen anterior, una vez encendido dicho dispositivo se pueden apreciar dos indicadores led que indican que el dispositivo está encendido (led rojo) y a la espera de establecer conexión con el gateway (led azul).

Seguidamente, para procedió con la calibración en el entorno de despliegue de manera similar como en las pruebas realizadas sobre el prototipo. En primera instancia se habilitó la función de caracterización dentro del router generando de un pulso de 2 segundos de duración presionando el pulsador con el que cuenta este dispositivo, hasta por pantalla se logró visualizar un mensaje de soporte como el que se aprecia en la figura 71, ver figura 78.



Figura 78. Pruebas del sistema, función de caracterización habilitada.

Fuente: Los autores.

Después de habilitar la función de caracterización, con la ayuda de una cinta métrica, se midió aproximadamente 1,5 metros de distancia entre el router y el nodo final, como se muestra en la figura 79. Una vez transcurridos 1 minuto, por pantalla se logro apreciar un mensaje de soporte indicando el set point de señales RSSI detectadas por el router a esa distancia (para esta prueba fue de -74dBm), similar a como se aprecia en la figura 72, ver figura 80.



Figura 79. Pruebas del sistema, metodología para establecer el set point de distancia.

Fuente: Los autores.



Figura 80. Pruebas del sistema, set point de señales RSSI.

Fuente: Los autores.

Por otro lado, una vez calibrado el entorno de despliegue, se hicieron pruebas para validar la conexión entre el router y el gateway, se identificó que gracias a que esta conexión es a través de WiFi, siendo el router el dispositivo cliente mientras que el

gateway es el host de la red, se logró apreciar un amplio un rango de distancia (hasta 9 metros) entre los dispositivos, como se logra ver en la figura 81.



Figura 81. Pruebas del sistema, conexión entre el gateway y el router.

Fuente: Los autores.

Finalmente, se realizaron la prueba para la detección del nodo final y el envío de la señal de alerta hacia el gateway. Para ello se simuló la cercanía de una persona a diferentes distancias del router, se notó que por momentos la alerta era casi instantánea, siendo más precisa en una línea de visión directa, es decir sin obstáculos entre el nodo final y el router. Por otro lado, cuando la alerta se demoró más, se debió a la posición de la persona que portaba el nodo final respecto al router, de espaldas al router o cuando entre el router y el nodo final había un obstáculo físico (una pared o un mueble).

Además, se evidenció que una vez detectada la cercanía del nodo final al router, la señal de alerta hacia el gateway alcanzó amplios rangos de cobertura (hasta 9 metros) en una línea relativamente directa entre el router y el gateway, sin embargo, también alcanzó otros lugares dentro de la vivienda como un cuarto cuya línea de conexión entre los dispositivos no es directa, como se ve en la figura 82.



Figura 82. Pruebas del sistema, señal de alerta hacia el gateway.

Fuente: Los autores.

6.6 MANUAL DE USUARIO

En el siguiente capítulo se presenta el manual de usuario mediante el cual, se pretende facilitar el uso de los diferentes dispositivos que conforman el sistema de alerta desarrollad.

6.6.1 INTRODUCCIÓN DE MANUAL DE USUARIO

El presente manual tiene como objetivo principal mostrar los pasos adecuados para usar de manera correcta el sistema de alerta para la prevención de accidentes domésticos en niños menores de 2 años. Este manual está orientado a los padres o adultos cuidadores del infante, con el fin de facilitar el uso, calibración y puesta en marcha de los dispositivos que conforman el sistema.

El propósito del sistema de alerta es el de monitorear la cercanía del infante a las zonas de riesgo dentro de la vivienda, que representan un riesgo para el infante tales como:

- ✓ Cocina
- ✓ Azoteas
- ✓ Escaleras
- ✓ Balcones
- ✓ Paredes elevadas
- ✓ Ventanas cornisas
- ✓ Salidas a la calle
- ✓ Salidas a patios
- ✓ Almacenes de elementos tóxicos
- ✓ Entre otras zonas de riesgos que representen un peligro para los niños

Para ello el sistema cuenta con tres dispositivos, los cuales cumplen con unas funciones específicas como se detalla a continuación.

6.6.2 NODO FINAL

El nodo final será portado por el infante, para ello este cuenta con un elemento de acople tipo reloj el cual cuenta con un soporte de caja en donde reposará dispositivo IBEACON BC037S, el cual es el encargado de emitir las señales que más adelante serán recibidas y procesadas por el router, y finalmente por su correspondiente tapa, como se puede apreciar en la figura 77.

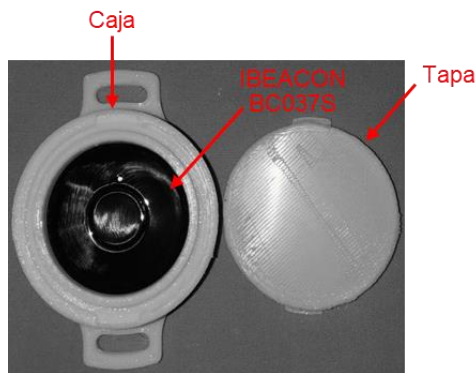


Figura 83. Partes del Nodo Final

Fuente: Los autores.

Para encender el dispositivo IBEACON BC037S, y que este empiece a transmitir, simplemente retire la tapa y mantenga pulsado el botón ON/OFF central durante 2 segundos hasta que la luz LED parpadee verde una vez en color verde, a continuación, suelte el botón. Tenga cuidado de no hacer doble clic en el botón. Una sola pulsación continua es todo lo que necesita, como se ilustra en la figura 78.



Figura 84. Encendido del Nodo Final

Fuente: Los autores.

Si desea dejar de transmitir, apague el dispositivo, manteniendo pulsado nuevamente el botón ON/OFF central durante 2 segundos hasta que la luz LED parpadee una vez en color rojo, a continuación, suelte el botón.

6.6.3 GATEWAY

El gateway será portado por el adulto cuidador, este dispositivo es el encargado de recibir las señales de alerta provenientes del router y de alertar al mismo mediante sonido, vibración y pantalla para que este acuda al auxilio del infante, para ello, en las figuras 79 y 80 se pueden apreciar cada uno de sus componentes principales.

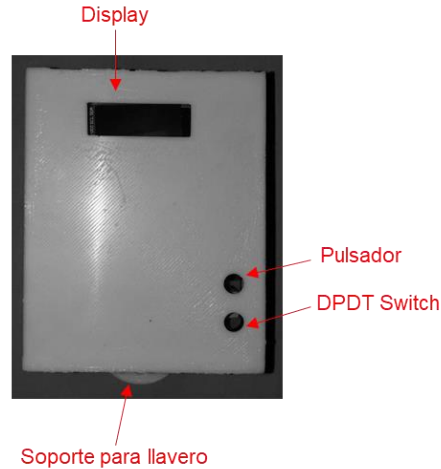


Figura 85. Partes del Gateway vista alzada.

Fuente: Los autores.

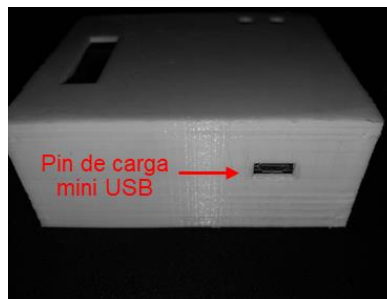


Figura 86. Partes del Gateway vista lateral izquierda.

Fuente: Los autores.

El dispositivo gateway se enciende mediante el DPDT Switch simplemente presionándolo una vez para que se mantenga cerrado (hundido), para apagarlo simplemente se debe pulsar nuevamente para que retorne a la posición inicial (abierto).

El pulsador que se muestra en la figura 79 cumple con la función de retardar la señal de alerta de vibración y sonido durante 60s mientras que adulto cuidador acude al auxilio del infante, para ello simplemente este debe mantenerse pulsado por 2 segundos hasta que por pantalla se muere un mensaje de alerta como el que se puede apreciar en la figura 76; en caso de no presionar dicho pulsador, simplemente

se mostrará un mensaje de alerta como el que se ve en la figura 75 y la señal de alerta de vibración y sonido será continua hasta que el infante se aleje de la zona de riesgo.

Para facilitar la portabilidad del dispositivo gateway, este cuenta con un soporte para llavero mediante el cual el padre podrá llevar de forma fácil y practica este dispositivo, como se muestra en la figura 81.



Figura 87. Portabilidad de Gateway como llavero.

Fuente: Los autores.

Finalmente, para cargar este dispositivo simplemente conecte al pin de carga mini usb, ubicado en la cara lateral izquierda el dispositivo, un cargador móvil el cual puede ser de celular, y espere mientras que el led de carga pase de rojo (cargando batería) a azul (batería cargada), como se muestra en la figura 82.

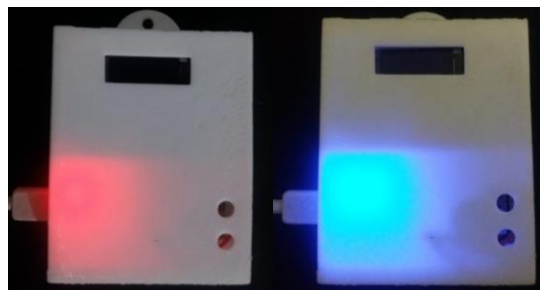


Figura 88.Estados de carga del dispositivo Gateway.

Fuente: Los autores.

6.6.1 ROUTER

El router será el dispositivo instalado en las zonas de riesgo identificadas por los padres o adultos cuidadores. Este dispositivo es el encargado de detectar al infante mediante las señales emitidas por el nodo final, y de enviar las señales de alerta hacia el gateway para que el adulto acuda al auxilio del infante, para ello, en las figuras 83 y 84 se pueden apreciar cada uno de sus componentes principales.

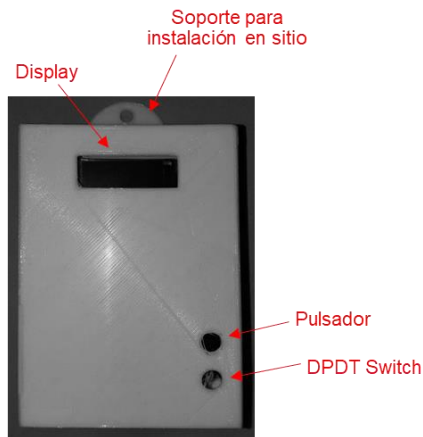


Figura 89. Partes del Router vista alzada.

Fuente: Los autores.

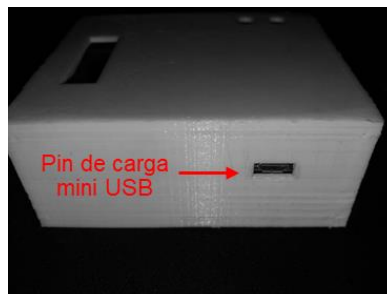


Figura 90. Partes del Router vista lateral izquierda.

Fuente: Los autores.

El dispositivo router se enciende mediante el DPDT Switch, de la misma manera que lo hace el gateway. A diferencia del gateway, en el router el pulsador que se muestra en la figura 83 cumple con la función de habilitar la función de caracterización mediante la cual el padre o el adulto cuidador podrá establecer el límite de distancia a partir de la cual se generara la señal de alerta, para acceder a esta función simplemente debe mantenerse pulsado durante 2 segundos dicho botón hasta que por pantalla se muerte un mensaje como el que se puede apreciar en la figura 71, una vez pasados 60 segundo, por pantalla se mostrara el set point de intensidad de señal a la distancia deseada, similar a como se ve en la figura 72; en caso de no presionar dicho pulsador, simplemente se mantendrá un set point establecido por defecto en el dispositivo.

Para facilitar la instalación del router en las zonas de riesgo, este cuenta con un soporte para la instalación en sitio mediante el cual, a través de elementos de fijación como clavos, tornillos, o inclusive cinta doble faz (como en la figura 85) el padre podrá instalar este dispositivo en el área dentro del hogar donde quiere controlar el acceso del infante.



Figura 91. Instalación del Router.

Fuente: Los autores.

Finalmente, la carga de este dispositivo se realiza de la misma manera que el gateway como se muestra en la figura 82.

6.6.2 DESPLIEGUE DEL SISTEMA

Para el despliegue del sistema se recomienda seguir las siguientes indicaciones:

1. Asegúrese de que el infante porte el nodo final mediante el adaptador tipo reloj.
2. Instale el dispositivo router en la zona donde se quiere controlar el ingreso del infante a través de elementos de fijación como clavos, tornillos o cinta doble faz.
3. Encienda el dispositivo gateway y verifique que se haya establecido la conexión entre el router y el gateway, corroborando que en el router solo que encendido un led rojo, de lo contrario si se visualiza un led azul intermitente debe esperar que dicha conexión se establezca automáticamente.
4. Proceda con la calibración del entorno para establecer la distancia mínima a partir de la cual se generará la señal de alerta, para ello con la ayuda de un metro, ubique al infante a máximo 1,5 metros de distancia con respecto al router y en una línea de visión directa es decir sin ningún obstáculo y espere 60s para que el router establezca el set point.
5. Finalmente, siempre que router detecte que el infante a sobrepasado la distancia segura, enviara de manera automática al gateway la señal de alerta para que el adulto cuidador acuda al auxilio del niño o la niña.

CONCLUSIONES

Este proyecto es de gran impacto social. Debido a que los accidentes domésticos son evitables y por ende prevenibles, a lo largo del desarrollo de este se buscó generar una alternativa innovadora, mediante la cual poder mitigar los factores de riesgos presentes en una vivienda, para reducir el índice de accidentalidad en niños menores de 2 años y mejorar su calidad de vida.

Gracias al desarrollo que han tenido la WSN desde la convergencia de las tecnologías inalámbricas, en esta tesis se desarrolló un sistema de alerta basado en una red de sensores inalámbricos para la prevención de accidentes domésticos en niños menores de 2 años.

Se identificaron los principales factores de riesgo que existen dentro de una vivienda, los cuales pueden ser definidos como condiciones derivadas de aspectos ambientales y humanos, de tal forma que, las diversas condiciones del entorno físico que hacen que los ambientes presenten riesgos, sumado a la falta de percepción del riesgo del adulto cuidador, pueden causar accidentes en los niños y niñas.

La implementación del sistema de alerta basado en una red de sensores inalámbricos, para la prevención de accidentes domésticos en niños menores de 2 años, fue posible gracias un estudio realizado sobre las principales tecnologías wireless que se implementan en el desarrollo de las WSN, a través de las cuales se pueden derivar métodos para el posicionamiento en interiores, mediante la medición del indicador de potencia de la señal recibida (RSSI). De dicho estudio se concluyó que, por aspectos como la estabilidad, versatilidad, robustez, consumo energético, alcance y coste de implementación, el sistema integraría las tecnologías inalámbricas WiFi y BLE.

Por otro lado, la selección de los microcontroladores ESP32 y ESP8266 se dio ya que estos cuentan con unas características claves para el desarrollo de la aplicación que los hicieron atractivos frente a otras alternativas en el mercado, tales como soporte de los protocolos 802.11 b/g/n y v4.2 BR/EDR + BLE en el caso del ESP32, y solo 802.11 b/g/n en el caso del ESP8266; teniendo en cuenta además, su bajo consumo de corriente, su velocidad y capacidad de procesamiento, su capacidad de memoria y su compatibilidad con Arduino IDE.

En el caso del dispositivo iBeacon BC037S, este fue escogido gracias a su disponibilidad en el mercado local, contando además con la capacidad de emitir anuncios en el formato iBeacon a través de BLE, permitiendo la extracción de los parámetros: RSSI, Tx Power, Length, Manufacturer ID y Proximity UUID, utilizados posteriormente en la programación para la identificación y estimación de la proximidad del infante.

La lógica del sistema fue desarrollada a través de la interfaz de Arduino IDE lo que facilitó la escritura y carga del código. Al ser un software Open Source, se contó con una gran variedad de librerías con las funciones necesarias para el desarrollo de la aplicación.

Para el diseño de los dispositivos implementados en el sistema, se estableció que estos debían ser lo más compacto posible. En el caso de las carcasas, su diseño fue realizado bajo la premisa de que estas constituyen el medio mediante el cual se soportan los componentes electrónicos, además de ser el elemento que permite la fijación del router en las zonas de riesgo, y en el caso del gateway facilitando su portabilidad. Al dispositivo BC037S se le adaptó un soporte tipo pulsera permitiendo la portabilidad el mismo por parte del infante. Cabe resaltar el papel fundamental que jugó el software CAD para modelado 3D, y la tecnología de impresión 3D en el desarrollo de los prototipos.

En el caso de los circuitos impresos PCB, estos fueron realizados a través del software Open Source Fritzing, el cual ofreció una interfaz intuitiva y una amplia variedad de librerías con los componentes definidos para el diseño de los circuitos electrónicos de los dispositivos router y gateway.

Finalmente, se evaluó el funcionamiento del sistema desarrollado, para la prevención de accidentes domésticos en niños menores de 2 años, verificando que cada uno de los dispositivos del sistema cumplieran con las funciones programadas para de esta forma validar el correcto funcionamiento del sistema y así garantizar la prevención de accidentes domésticos en niños menores de 2 años.

RECOMENDACIONES

- A la hora de instalar el dispositivo router en la zona de riesgo donde se quiere controlar el acceso del infante, se haga en una parte lo más libre de obstáculos posibles, ya que como se ha mencionado, los objetos físicos causan pérdida de trayectorias y reflexiones en las ondas RF lo cual puede repercutir en una estimación de proximidad errónea.
- Debido a que los espacios y entornos físicos dentro de una vivienda son diferentes, se recomienda siempre que, cuando el router este instalado, habilitar la función de caracterización, esto para establecer el set point de las señales RSSI a 1 metro de distancia entre el dispositivo router y el infante, idealmente en una línea de visión directa, es decir sin ningún obstáculo físico o humano.
- Para verificar el alcance de la señal de alerta vía WiFi, y el tiempo que se tarda el router en enviar la notificación de alerta al adulto cuidador a través del gateway, se recomienda realizar una prueba dentro de la vivienda, mediante la cual poder estimar el nivel de señal dentro del hogar, para de esta manera validar el tiempo de respuesta del sistema ante la cercanía del infante a una zona de riesgo.
- Finalmente, a pesar de que el sistema desarrollado advierte de posibles accidentes, no se recomienda dejar solo al infante por ningún motivo, el presente proyecto muestra una posible solución para mitigar los factores de riesgos y reducir accidentes domésticos, mas no es una solución definitiva del cual fiarse.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] ID. *Mi hogar es un lugar seguro | Bogota.gov.co*. [Online]. [2014 – 2015]. Available: <http://www.bogota.gov.co/infancia/noticias/Mi-hogar-es-un-lugar-seguro>
- [2] ID. *En 2016 han sido atendidos más de 6.600 accidentes caseros en Bogotá - ELESPECTADOR.COM*. [Online]. [13/06/2016]. Available: <https://www.elespectador.com/noticias/bogota/2016-han-sido-atendidos-mas-de-6600-accidentes-caseros-articulo-637452>
- [3] ID. *No subestime los accidentes caseros: a diario se reportan al menos 23 en Bogotá - ELESPECTADOR.COM*. [Online]. [22/06/2018]. Available: <https://www.elespectador.com/noticias/bogota/no-subestime-los-accidentes-caseros-diario-se-reportan-al-menos-23-en-bogota-articulo-796044>
- [4] FORERO BARRIOS, Diego. *Accidentes prevenibles, una amenaza que dejó 96 niños fallecidos en 2016 | El Heraldó*. [Online]. [08/01/2017]. Available: <https://www.elheraldo.co/barranquilla/accidentes-prevenibles-una-amenaza-que-dejo-96-ninos-fallecidos-en-2016-317796>.
- [5] ID. *Internet Of Things Grandes Empresas*. [Online]. [27/06/2019]. Available: <https://www.orange.es/static/pdf/InternetOfThingsGrandesEmpresas.pdf>
- [6] BERRIO TOLOZA, Felipe. Ingeniero Civil Informático. Santiago, 2018, 91p. *Evaluación de modelos de aprendizaje automático para posicionamiento indoor utilizando bluetooth low energy*. Universidad Técnica Federico Santa María. Departamento de Informática.
- [7] CAMERO CHILLÓN, Juan. Ingeniería de Tecnologías de Telecomunicación. Jaén, 2018, 75p. *Desarrollo de un sistema de microlocalización y seguimiento en*

interiores con sensores bluetooth LE. Universidad de Jaén. Departamento de Ingeniería de Telecomunicación.

[8] MIER NARANJO, Jaime. Ingeniero en Electrónica y Redes de Información. Quito, 2018, 86p. *Análisis de las tecnologías utilizadas en sistemas de posicionamiento en interiores*. Universidad Udl. Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas.

[9] CHICO MORALES, Inti. Ingeniero en Electrónica y Redes de Comunicación. Ibarra, 2017, 170p. *Sistema electrónico de seguridad que alerta y previene accidentes de bebés que ocurren cuando empiezan a moverse independientemente basado en la plataforma Arduino*. Universidad Técnica Del Norte. Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas.

[10] PIEDRA VEGA, Jesús. Ingeniería Técnica de Informática de sistemas. Catalunya, 2016, 80 p. *Sistema de posicionamiento móvil para interiores vía WIFI*. Universidad Oberta De Catalunya.

[11] GALARZA HERRERA, Alejandra. Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones. Sangolquí, 2016, 152 p. *Diseño e implementación de un prototipo de sistema de radiolocalización mediante una red de sensores inalámbricos (WSN)*. Universidad De Las Fuerzas Armadas. Departamento de Eléctrica y Electrónica.

[12] BERMÚDEZ VARGAS, Edison. *Prototipo para la localización en interiores con BLE Beacons*. En: U@CSIS. Vol. 1, No. 1, 2016; p. 1-7.

[13] VILLALBA MACÍAS, Álvaro. Ingeniero de las Tecnologías de Telecomunicación. Sevilla, 2015, 120p. *Aplicación de una red inalámbrica de sensores para detección de presencia y conteo*. Universidad de Sevilla. Departamento Teoría de la Señal y Comunicaciones.

[14] ESTEVE ESTEBE, José. Máster en Ingeniería de Computadores. Valencia, 2015. 76p. *Desarrollo de un sistema domótico inteligente con posicionamiento interior utilizando Bluetooth Low Energy*. Universitat Politècnica de València.

[15] CASTRO GARCÍA, Isaac. Ingeniería de Telecomunicación. Madrid, 2009, 138p. *Diseño y desarrollo de un sistema de localización e identificación orientado al cuidado de la salud en el ámbito del hogar inteligente*. Universidad Politécnica de Madrid. Departamento de Tecnología Fotónica.

[16] ID. Protocolo para la gestión de los riesgos en la primera infancia. [Online]. [02/02/2017]. Available: https://www.icbf.gov.co/sites/default/files/procesos/pt1.pp_protocolo_para_la_gestion_de_riesgos_de_primera_infancia_v1.pdf

[17] AAKVAAG, Niels; Frey, Jan-Erik. Redes de sensores inalámbricos. ABB, 2006, nº 2, p. 39-42.

[18] FERNÁNDEZ, Roberto; ORDIERES, Joaquín; MARTÍNEZ, Francisco; GONZÁLES, Ana; ALBA, Fernando; LOSTADO, Rubén; PERNÍA, Alpha. Redes inalámbricas de sensores: teoría y aplicación práctica. Material didáctico. Ingenierías, 2009, nº 26, 95 p.

[19] TANENBAUM, Andrew; WETHERALL, David. Redes de computadoras. 5ed. México: Pearson Educación de México, S.A. 2012.

[20] ID. *What is Wi-Fi®? - Developer Help*. [Online]. [25/11/2019]. Available: <https://microchipdeveloper.com/wifi:what-is-wifi>

[21] ID. *Where does 802.11 fit in the OSI Model? - Developer Help*. [Online]. [25/11/2019]. Available: <https://microchipdeveloper.com/wifi:80211-osi>

[22] ID. *802.11 Channels - Developer Help*. [Online]. [25/11/2019]. Available: <https://microchipdeveloper.com/wifi:channels>

[23] ID. *802.11 a/b/g/n Explained - Developer Help*. [Online]. [25/11/2019]. Available: <https://microchipdeveloper.com/wifi:a-b-g-n-explained>

[24] ID. *Wireless Hosts, Access Points, and Wireless Links - Developer Help* [Online]. [25/11/2019]. Available: <https://microchipdeveloper.com/wifi:hosts-accesspoints-links>

[25] ID. *Bluetooth® Low Energy Channels - Developer Help*. [Online]. [25/11/2019]. Available: <https://microchipdeveloper.com/wireless:ble-link-layer-channels>

[26] ID. *Radio Versions | Bluetooth Technology Website*. [Online]. [01/05/2019]. Available: <https://www.bluetooth.com/bluetooth-technology/radio-versions/>

[27] ID. *Low Energy Blue tooth | bfonics Smart Beacons | BLE*. [Online]. [25/11/2019]. Available: https://web.archive.org/web/20141108070354/http://bfonics.com/what_is_beacon.php

[28] ID. *Baliza electrónica - Wikipedia, la enciclopedia libre*. [Online]. [15/11/2019]. Available: https://es.wikipedia.org/wiki/Baliza_electr%C3%B3nica#cite_note-1

[29] ID. *BLE Advertising Primer | Argenox*. [Online]. [15/11/2019]. Available: <https://www.argenox.com/bluetooth-low-energy-ble-v4-0-development/library/a-ble-advertising-primer/>

[30] ID. *Getting Started with iBeacon*. [Online]. [02/06/2014]. Available: <https://developer.apple.com/ibeacon/Getting-Started-with-iBeacon.pdf>

[31] BLACKSTONE, Austin. *Understanding the different types of BLE Beacons | Mbed*. [Online]. [24/03/2015]. Available: <https://os.mbed.com/blog/entry/BLE-Beacons-URIBeacon-AltBeacons-iBeacon/>

[32] ID. *Bluetooth BLE iBeacon (BC037S-SmoothPattern-iBeacon) – Easy to configure with Free apps for Android and Apple – Blue Charm Beacons*. [Online]. [15/11/2019]. Available: <https://bluecharmbeacons.com/product/bluetooth-ble-ibeacon-bc037s-ibeacon/>

[33] ID. *ESP32 Series Datasheet*. [Online]. [08/05/2019]. Available: https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_datasheet_en.pdf

[34] ID. *ESP8266EX Datasheet*. [Online]. [03/12/2019]. Available: https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/0a-esp8266ex_datasheet_en.pdf

[35] ID. *MCP1700 Datasheet (PDF) - Microchip Technology*. [Online]. [03/12/2019]. Available: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/552872/MICROCHIP/MCP1700.html>.

[36] SERRANO, JENN. *Topología de Red*. [Online]. [17/03/2017]. Available: <http://www.ritsasv.com/tag/topologia-de-estrella>

[37] ID. *Transmisión y Recepción de Ondas Electromagnéticas*. [Online]. [28/02/2020]. Available: <http://electromagneticas-calzadilla.blogspot.com/2012/11/transmision-y-recepcion-de-ondas.html>

[38] FERNÁNDEZ GERMÁN. *El espectro electromagnético*. [Online]. [29/22/2015]. Available: <http://www.quimicafisica.com/la-radiacion-electromagnetica.html>

[39] ID. *Board de desarrollo con módulo ESP32 WiFi+Bluetooth BLE*. [Online]. [11/05/2020]. Available: <https://electronilab.co/tienda/board-de-desarrollo-con-modulo-esp32-wifibluetooth-ble/>

[40] ID. *Insight into ESP32 Features & Using It With Arduino IDE (Easy Steps)*. [Online]. [11/05/2020]. Available: <https://lastminuteengineers.com/esp32-arduino-ide-tutorial/>

[41] DEL VALLE HERNÁNDEZ, LUIS. *Guía para configurar un ESP-01, el módulo WiFi basado en ESP8266*. [Online]. [11/05/2020]. Available: <https://programarfacil.com/podcast/como-configurar-esp01-wifi-esp8266/>

[42] ID. *Batería LiPo de 1200 mAh 3.7 V - Electronilab*. [Online]. [11/05/2020]. Available: <https://electronilab.co/tienda/bateria-lipo-de-1200-mah-3-7-v/>

[43] ID. *Módulo Cargador Batería de LiPo 1A Micro Usb 5V - TP4056 – Electronilab*. [Online]. [11/05/2020]. Available: <https://electronilab.co/tienda/modulo-cargador-bateria-de-lipo-1a-micro-usb-5v/>

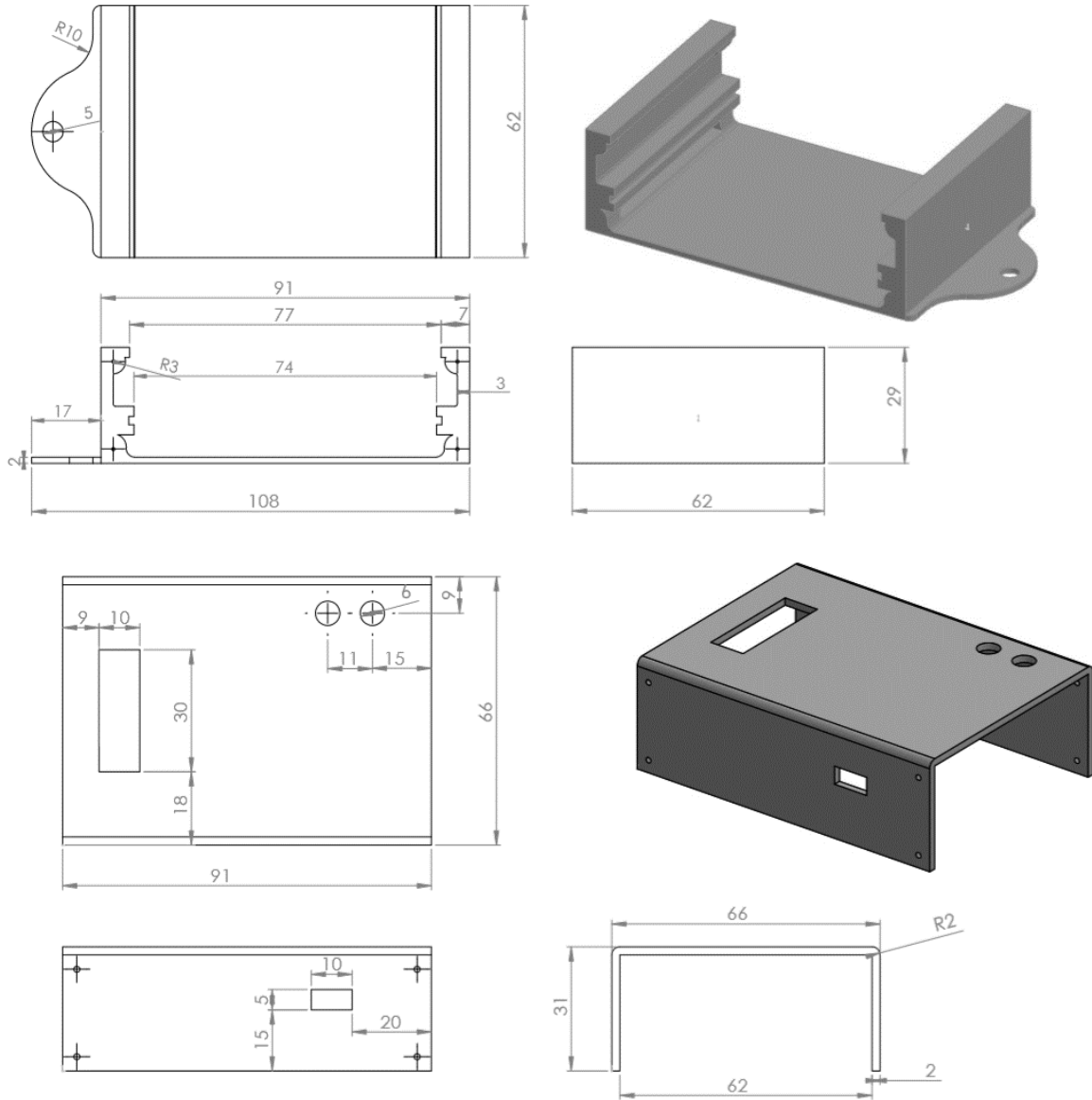
[44] ID. *Display OLED 0.91" 128x32 I2C Bajo Consumo Blanco - Electronilab*. [Online]. [11/05/2020]. Available: <https://electronilab.co/tienda/display-oled-0-91-128x32-i2c-bajo-consumo-blanco/>

[45] ID. *Motor Vibrador 610 - VISTRONICA SAS*. [Online]. [11/05/2020]. Available: <https://www.vistronica.com/robotica/motores/motor-vibrador-610-detail.html>

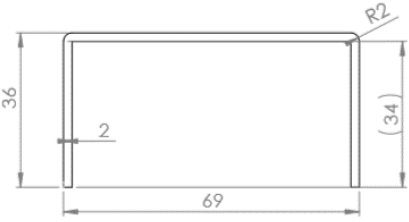
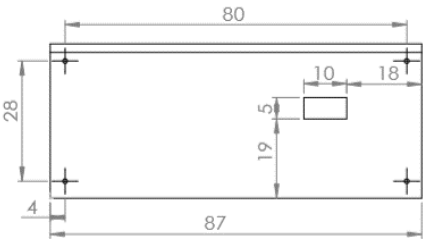
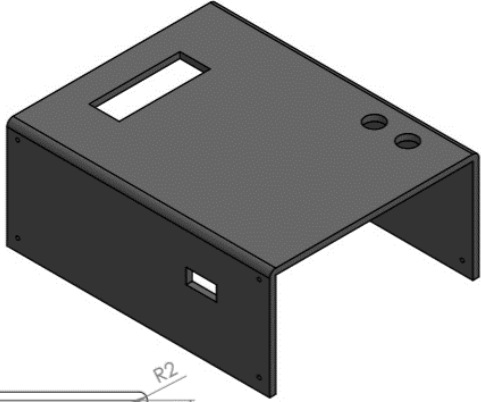
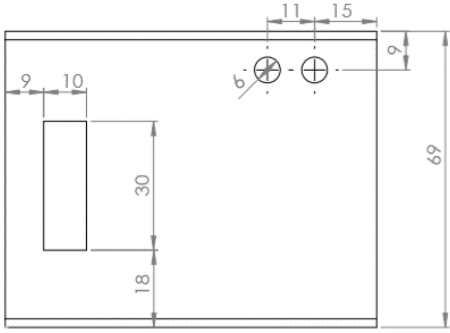
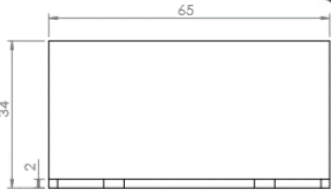
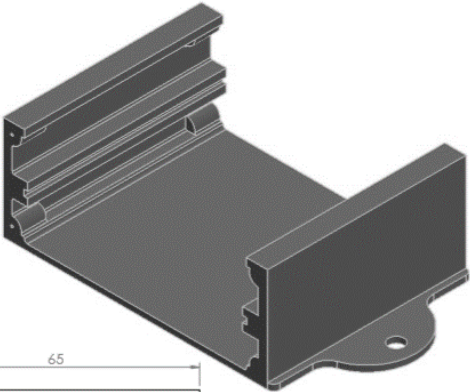
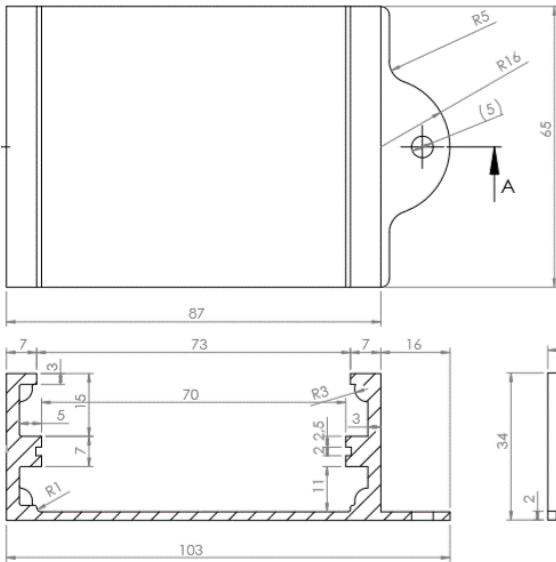
[46] ID. *Zumbador Magnético - 5V - VISTRONICA SAS*. [Online]. [11/05/2020]. Available: <https://www.vistronica.com/sensores/zumbador-magnetico-5v-detail.html>

ANEXOS

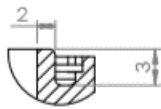
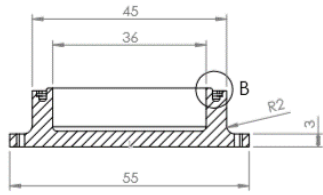
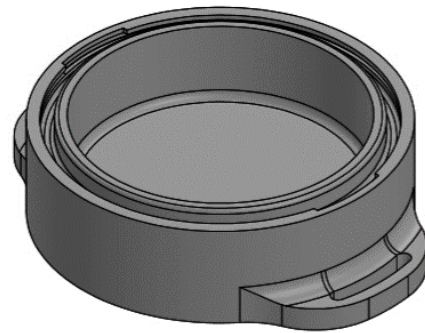
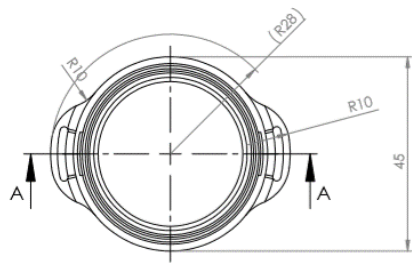
ANEXO N.º 1: PLANOS NODO FIJO



ANEXO N.º 2: PLANOS GATEWAY



ANEXO N.º 3: NODO FINAL



DETALLE B
ESCALA 2 : 1

