



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

**CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN
AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL**

**TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO ELECTRÓNICO EN
AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL**

**TEMA: “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN DISPOSITIVO
ELECTRÓNICO CON COMUNICACIÓN A UN TELÉFONO
MÓVIL PARA EL DESPLAZAMIENTO DE PERSONAS CON
DISCAPACIDAD VISUAL”**

AUTOR: CEVALLOS RON, RUBÉN IGNACIO

DIRECTOR: PROAÑO ROSERO, VÍCTOR GONZALO

SANGOLQUÍ

2017



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, "DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN DISPOSITIVO ELECTRÓNICO CON COMUNICACIÓN A UN TELÉFONO MÓVIL PARA EL DESPLAZAMIENTO DE PERSONAS CON DISCAPACIDAD VISUAL" realizado por el señor **CEVALLOS RON RUBÉN IGNACIO**, ha sido revisado en su totalidad y analizado por el software anti-plagio, el mismo cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, por lo tanto me permito acreditarlo y autorizar al señor **CEVALLOS RON RUBÉN IGNACIO** para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, 14 de septiembre del 2017

ING. VICTOR GONZALO PROAÑO ROSERO
DIRECTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL

AUTORIA DE RESPONSABILIDAD

Yo, **CEVALLOS RON RUBÉN IGNACIO**, con cédula de identidad N° 1719569442, declaro que este trabajo de titulación **"DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN DISPOSITIVO ELECTRÓNICO CON COMUNICACIÓN A UN TELÉFONO MÓVIL PARA EL DESPLAZAMIENTO DE PERSONAS CON DISCAPACIDAD VISUAL"** ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se ha respetado los derechos intelectuales de terceros considerándose en las citas bibliográficas.

Consecuentemente declaro que este trabajo es de mi autoría, en virtud de ello me declaro responsable del contenido, veracidad y alcance de la investigación mencionada.

Sangolquí, 14 de septiembre del 2017

RUBÉN IGNACIO CEVALLOS RON

C.C.1719569442



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL

AUTORIZACIÓN

Yo, **CEVALLOS RON RUBÉN IGNACIO**, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar en la biblioteca Virtual de la institución el presente trabajo de titulación "**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN DISPOSITIVO ELECTRÓNICO CON COMUNICACIÓN A UN TELÉFONO MÓVIL PARA EL DESPLAZAMIENTO DE PERSONAS CON DISCAPACIDAD VISUAL**" cuyo contenido, ideas y criterios son de mi autoría y responsabilidad.

Sangolquí, 14 de septiembre del 2017

RUBÉN IGNACIO CEVALLOS RON

C.C.1719569442

DEDICATORIA

Este proyecto se lo dedico con todo cariño a mi padre Holger Cevallos y mi madre Jaqueline Ron por haberme brindado su apoyo en todo momento y guiarme durante mi carrera profesional, a mis hermanas Stephanie y Karen por siempre aconsejarme y cuidarme. A mi familia en general por siempre estar preocupados y pendientes de mí y darme ánimos en mi carrera. A los profesores de la Universidad de las Fuerzas Armadas por exigirme de la mejor manera y enseñarme a lo largo de mi crecimiento profesional. A mis compañeros de carrera quienes han estado presentes en todo momento a lo largo del trayecto estudiantil y hemos compartido grandiosas experiencias. Para todos ustedes mi más sincero agradecimiento y cariño.

Rubén Cevallos Ron.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por guiarme y cuidarme en este largo camino, por permitirme salir adelante en mi vida universitaria dándome enseñanzas que he aprendido a valorar y me han formado la persona que soy hoy en día y por poner en mi camino a grandes personas que me han acompañado a lo largo de la carrera.

A mi madre Jaqueline Ron y mi padre Holger Cevallos que han sido un pilar fundamental en mi vida y me han apoyado en todo y siempre creyeron en mí, por haberme inculcado valores que me han hecho crecer como persona. Me siento orgulloso de ser su hijo.

Agradezco a mis hermanas Karen y Stephanie por brindarme su amistad y cuidarme siempre, por ser mis consejeras y confiar en mí.

Agradezco al Sr. Julio Villalba, quien siempre mostró interés en el proyecto y apoyó para que este pueda ser desarrollado con el objetivo de ayudar a personas con discapacidad visual.

Agradezco a la Universidad de las Fuerzas Armadas por poner en mi camino universitario todas las experiencias vividas, por brindar un alto nivel académico a través de los profesores quienes me han proporcionado sus conocimientos y exigido para formarme en mi vida profesional.

Finalmente quiero dar un sincero agradecimiento al Ing. Víctor Proaño por ser un excelente profesor, por confiar en el proyecto y brindar sus conocimientos y recomendaciones para que proyecto pueda ser desarrollado de la mejor manera.

Rubén Cevallos Ron.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICADO	ii
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD	iii
AUTORIZACIÓN (PUBLICACIÓN BIBLIOTECA VIRTUAL)	iv
DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	vi
RESUMEN	xiii
ABSTRACT	xiv
CAPÍTULO I	1
INTRODUCCIÓN	1
1.1 Antecedentes	1
1.2 Justificación e importancia	2
1.3 Alcance del proyecto	4
1.4 Objetivos	5
CAPÍTULO II	7
ESTADO DEL ARTE	7
2.1 Discapacidad visual	7
2.1.1 Ceguera	7
2.1.2 Causas de ceguera	7
2.1.3 Desafíos de la discapacidad visual.....	8
2.2 Técnicas de movilidad de personas con discapacidad visual	9
2.2.1 Técnicas de protección personal	9
2.2.2 Movilidad con bastón blanco	9
2.2.3 Técnicas de desplazamiento con guía vidente	10
2.2.4 Seguimiento al tacto	10
2.2.5 Adiestramiento en el uso de planos y mapas en relieve.....	11
2.2.6 Perros guía.....	11
2.3 Dispositivos electrónicos para personas con discapacidad visual existentes en el mundo	11
2.3.1 HandEyes	11
2.3.2 SmartCane	12
2.3.3 Eyesynth.....	13

2.4	Identificación de Hardware	14
2.4.1	Sensores ultrasónicos para la detección de obstáculos	14
2.4.2	Microcontroladores Atmega328p.....	16
2.4.3	Módulo para la comunicación Bluetooth	17
2.4.4	Sensor tipo brújula digital	19
2.4.5	Baterías con tecnología LIPO	19
2.5	Identificación de Software.....	21
2.5.1	Software de desarrollo de aplicaciones móviles - Eclipse Java	21
2.5.2	Software para el diseño de prototipos 3D - SketchUp	22
2.5.3	Software de programación de controladores – IDE Arduino.....	23
CAPÍTULO III.....		24
DISEÑO DE HARDWARE DEL DISPOSITIVO ELECTRÓNICO		24
3.1	Introducción.....	24
3.2	Descripción general del proyecto	24
3.3	Descripción del hardware del dispositivo electrónico.....	25
3.4	Sensores ultrasónicos	29
3.5	Diseño del circuito electrónico de control.....	31
3.6	Diseño del sistema de carga del dispositivo electrónico	34
3.7	Diseño 3D de la carcasa	35
3.8	Diseño del sistema de comunicación inalámbrica.....	38
CAPÍTULO IV		39
DISEÑO DE SOFTWARE DEL DISPOSITIVO ELECTRÓNICO		39
4.1	Introducción.....	39
4.2	Diseño del programa de control	39
4.3	Diseño de la aplicación móvil	48
CAPÍTULO V.....		52
CONSTRUCCIÓN DEL DISPOSITIVO ELECTRÓNICO		52
5.1	Introducción.....	52
5.2	Implementación del circuito electrónico de control	52
5.3	Conexión múltiple de sensores LV-MaxSonar-EZ0	53
5.4	Implementación del módulo Bluetooth	54
5.5	Implementación de la carcasa del dispositivo	58
5.6	Sistema de carga del dispositivo electrónico.....	60
5.7	Implementación de la aplicación móvil.....	62

5.7.1	Conexión de la aplicación móvil con el dispositivo electrónico.....	71
CAPÍTULO VI		74
PRUEBAS Y RESULTADOS		74
6.1	Pruebas de funcionamiento	74
6.2	Análisis de Resultados.....	81
6.2.1	Resultados de la detección de obstáculos.....	81
6.2.2	Resultados de los tiempos de respuesta del sistema.....	84
6.2.3	Resultados del hardware del dispositivo electrónico	85
6.2.4	Resultados de la encuesta a la persona con discapacidad visual.....	86
6.3	Trabajos Futuros	86
CAPÍTULO VII		88
ANÁLISIS ECONÓMICO		88
CAPÍTULO VIII		91
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		91
8.1	Conclusiones	91
8.2	Recomendaciones	92
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		93

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tabla comparativa de sensores de proximidad	30
Tabla 2. Mensajes de respuesta de las funciones del dispositivo.....	51
Tabla 3. Comandos AT para la configuración del módulo Bluetooth	56
Tabla 4. Funciones para enviar datos por Bluetooth.....	57
Tabla 5. Distancias de detección de obstáculos	82
Tabla 6. Tiempos de respuesta de las funciones del sistema	84
Tabla 7. Características de peso del dispositivo.....	85
Tabla 8. Características del sistema de carga del dispositivo	85
Tabla 9. Costos comparativos de materiales	88
Tabla 10. Costo de servicios nacionales	89
Tabla 11. Tabla comparativa de precios de dispositivos en el mercado	90

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Dispositivo HandEyes	12
Figura 2. Dispositivo SmartCane	13
Figura 3. Sistema Eyesynth.....	14
Figura 4. Sensor ultrasónico LV-MaxSonar	15
Figura 5. Microcontrolador Atmega328p	16
Figura 6. Módulo Bluetooth HC-05	18
Figura 7. Sensor HMC5883L.....	19
Figura 8. Batería LIPO de 7.4V-700mAh.....	21
Figura 9. Diagrama de bloques del dispositivo electrónico	24
Figura 10. Hardware del dispositivo electrónico	26
Figura 11. Haz de detección de sensores ultrasónicos	27
Figura 12. Ubicación de los sensores ultrasónicos.....	27
Figura 13. Botonera de accionamiento del dispositivo electrónico	28
Figura 14. Ubicación del switch y puerto USB del dispositivo	29
Figura 15. Alcance medido desde la parte frontal del transductor.....	31
Figura 16. Diagrama de distribución de componentes de la tarjeta de control.....	32
Figura 17. Esquema eléctrico del circuito de control.....	33
Figura 18. Diseño de la tarjeta electrónica de control.....	33
Figura 19. Visualización 3D de la tarjeta electrónica	34
Figura 20. Diagrama de bloques del sistema de carga.....	35
Figura 21. Carcasa frontal del prototipo	36
Figura 22. Tapa del prototipo.....	36
Figura 23. Base de soporte del prototipo	37
Figura 24. Carcasa del prototipo	37
Figura 25. Diagrama del sistema de comunicación inalámbrica.....	38
Figura 26. Diagrama de flujo del proceso de navegación del sistema.....	40
Figura 27. Diagrama de flujo del proceso de detección de obstáculos	42
Figura 28. Diagrama de flujo del proceso de orientación	43
Figura 29. Diagrama de flujo del proceso de recepción de señales de aplicación	44
Figura 30. Diagrama de flujo de detección de obstáculos de aplicación	45
Figura 31. Diagrama de flujo del proceso de localización de la aplicación móvil	46
Figura 32. Diagrama de flujo del proceso de orientación de la aplicación móvil.....	47
Figura 33. Diagrama de flujo del proceso de llamadas de la aplicación.....	48
Figura 34. Formato de pantalla de la aplicación móvil.....	50
Figura 35. Proceso de funcionamiento de la aplicación móvil	50
Figura 36. Vista frontal de la placa de control	53
Figura 37. Vista posterior de la placa de control	53
Figura 38. Configuración de conexión de múltiples sensores ultrasónicos	54
Figura 39. Diagrama de conexión del módulo Bluetooth a la tarjeta Arduino	55
Figura 40. Impresión 3D de la carcasa frontal	59
Figura 41. Impresión 3D de la tapa.....	59

Figura 42. Impresión 3D de la base de soporte	59
Figura 43. Instalación del dispositivo en el chaleco	60
Figura 44. Montaje del switch en la parte lateral izquierda del dispositivo.....	61
Figura 45. Montaje de la placa USB en la parte lateral derecha del dispositivo.....	61
Figura 46. Cargador de pared y balanceador conectados al dispositivo electrónico. 62	
Figura 47. Interfaz gráfica de la aplicación móvil	64
Figura 48. Ciclo de vida del servicio	66
Figura 49. Activación de permisos de la aplicación móvil	71
Figura 50. Ícono de la aplicación móvil.....	72
Figura 51. Mensaje para la activación del servicio de Bluetooth	72
Figura 52. Capacitación del dispositivo a la persona con discapacidad visual.....	75
Figura 53. Reconocimiento de la posición de botones y sensores	75
Figura 54. Detección de obstáculo frontal en el desplazamiento.....	76
Figura 55. Detección de obstáculo inferior en el desplazamiento	76
Figura 56. Adquisición de datos de sensores en la detección de obstáculo frontal ...	77
Figura 57. Adquisición de datos de sensores en la detección de obstáculo inferior ..	77
Figura 58. Adquisición de datos de sensores en la detección de obstáculo superior .	78
Figura 59. Adquisición de datos de sensores tipo brújula digital	79
Figura 60. Datos obtenidos del sistema GPS	79
Figura 61. Ubicación actual del usuario al momento de las pruebas de localización	80
Figura 62. Datos obtenidos de la aplicación móvil en comunicación Bluetooth.....	80
Figura 63. Señal de sensores ultrasónicos al detectar obstáculo frontal	82
Figura 64. Señal de sensores ultrasónicos al detectar obstáculo inferior.....	83
Figura 65. Señal de sensores ultrasónicos al detectar obstáculo superior.....	84

RESUMEN

El presente proyecto “Diseño y construcción de un dispositivo electrónico con comunicación a un teléfono móvil para el desplazamiento de personas con discapacidad visual”, se basa en la integración de conocimientos adquiridos en la carrera de Ingeniería Electrónica en Automatización y Control, con la finalidad de brindar un mejor estilo de vida a las personas con discapacidad visual. El proyecto tiene como objetivo principal desarrollar un dispositivo electrónico que, a diferencia de otros, funciona de forma integral con una aplicación móvil para así cumplir específicamente con funciones de ayuda en el desplazamiento de personas con discapacidad visual. Este sistema brinda la detección y alerta de obstáculos presentes en las calles por medio de comandos de audio y también cuenta con funciones que brindan información de localización, orientación y asistencia de llamadas de emergencia, contribuyendo en el bienestar de este grupo social. El proyecto comprende la integración de distintos componentes a nivel de hardware, como tarjeta de control, sensores, módulos de comunicación y batería, además de la utilización de softwares como Eclipse Java, SketchUp y IDE Arduino. Al finalizar la implementación del dispositivo, se realizaron pruebas de funcionamiento con la colaboración de una persona con discapacidad visual para analizar y comprobar su desempeño a través de una encuesta en la cual se validó al dispositivo como una herramienta confiable, segura, cómoda, funcional y fácil de usar en el desplazamiento.

PALABRAS CLAVE:

- DISCAPACIDAD VISUAL
- DESPLAZAMIENTO
- DETECCIÓN
- LOCALIZACIÓN
- ORIENTACIÓN

ABSTRACT

The current project entitled "Design and construction of an electronic device with communication to a mobile phone for the displacement of persons with visual disability", is based on the integration of knowledge acquired during the career of Electronic Engineering in Automation and Control, with the purpose of provide a better lifestyle for people with visual impairment. The main project objective is to develop an electronic device which, unlike others, works in an integral way with a mobile application to fulfill helping functions of people movement with visual disabilities. This system provides an alert and detection of obstacles in the streets via audio commands, also has functions that provides location, guidance, and emergency calls assistance, contributing to the welfare of this social group. The project includes the integration of different components at hardware level, such as control card, sensors, communication modules, and battery, as well as the use of software such as Eclipse Java, SketchUp and Arduino IDE. At the end of the implementation of the device, performance tests were carried out with the collaboration of a person with visual impairment to analyze and check their performance through a survey in which the device was validated as a reliable, safe, convenient, functional, and easy to use when displacement.

KEYWORDS:

- VISUAL DISABILITY
- DISPLACEMENT
- DETECTION
- LOCATION
- ORIENTATION

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

En los últimos años, el desarrollo de dispositivos inteligentes ha permitido un sinnúmero de aplicaciones enfocadas a la ayuda social; de esta manera, las sociedades se han ido desarrollando gracias al avance de la tecnología.

Las personas con discapacidad visual total o con poca visión comúnmente cuentan con dificultades para desenvolverse en entornos desconocidos. El desplazamiento es uno de los principales retos para las personas invidentes, es por esto, que caminar por vías transitadas es un gran desafío. De esta manera, las personas con discapacidad visual cuentan con técnicas de movilidad para su desplazamiento las cuales involucran la asistencia de herramientas auxiliares y guías videntes con la finalidad de brindar mayor seguridad al momento de encontrarse en lugares desconocidos.

Durante los últimos años, en el país han existido diferentes tipos de proyectos destinados a este grupo de personas que buscan facilitar su vida cotidiana, como por ejemplo Handeyes, un asistente robótico para personas con discapacidad visual creado por estudiantes de la Universidad de las Fuerzas Armadas. Este trabajo propone la ayuda y el entretenimiento a través de ondas vibratorias e interfaces audibles (Reyes, 2016) .

También se encuentra el proyecto “Diseño y construcción del prototipo de un sistema electrónico por ultrasonido para medir distancias aplicada a un bastón blanco” desarrollado por Eddy Ayala Cruz de la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca. Este trabajo brinda ayuda en la detección de obstáculos mediante el uso de un sensor de ultrasonido ubicado en el bastón blanco (Ayala, 2011).

El proyecto “Construcción de un bastón electrónico para personas no videntes” creado por estudiantes de la Escuela Politécnica Nacional en Quito, presenta una estructura con cinco ruedas, a la cual se le han incorporado tres sensores ultrasónicos para la detección de obstáculos y brinda alertas audibles mediante un módulo de voz (Analuisa & Jaramillo,P, E,J, 2011).

RunaTech (Humano Tecnológico), es un traje que se compone de siete sensores y una tarjeta electrónica que advierte al usuario la presencia de obstáculos mediante señales vibratorias cuya intensidad depende de la cercanía de los obstáculos, desarrollado por Inti Condo, estudiante de la Universidad San Francisco de Quito (Condo, 2011).

A nivel de software se encuentran proyectos como “Voz - Touch Gps”, una aplicación Android de navegación para personas con discapacidad visual. La aplicación contiene una interfaz gráfica de fácil uso que mediante el GPS, permite al usuario conocer su localización, paradas de buses, las rutas, realizar llamadas y enviar mensajes de su ubicación actual (Rodríguez, 2015).

De la misma manera, se encuentran varios proyectos innovadores a nivel internacional relacionados con este ámbito, como es el caso de SmartCane, un bastón Inteligente creado por estudiantes indios del Instituto Tecnológico Indio de Delhi. El dispositivo sirve como una mejora del bastón blanco ya que brinda la detección de obstáculos ubicados en partes superiores a la rodilla del cuerpo humano ayudando a la prevención de accidentes (Assistech, 2005).

Eyesynth es un sistema de comprensión visual para invidentes desarrollado en España por la empresa Eyesynth. Consiste en unas gafas que registran el espacio que rodea a la persona en 3 dimensiones. Un micro-ordenador procesa la información y la convierte en audio comprensible para el usuario (Quesada, 2016).

En conclusión, existen una gran cantidad de investigaciones y proyectos tecnológicos enfocados a la ayuda de las personas con discapacidad visual con el objeto de brindarles la posibilidad de un desplazamiento más seguro y, por ende, un mejor estilo de vida.

1.2 Justificación e importancia

De acuerdo a la Organización Mundial de la Salud (OMS), manifiestan que a nivel mundial existen aproximadamente 285 millones de personas con discapacidad visual, 39 millones padecen de ceguera y 246 millones sufren de baja visión (OMS, 2010). En el Ecuador, de acuerdo a la información del Instituto Ecuatoriano de

Estadísticas y Censos (INEC), aproximadamente 362,000 personas tienen discapacidad visual, de las cuales cerca de 49,000 tienen ceguera (INEC, 2013).

Las personas con discapacidad visual viven diariamente con la dificultad de moverse sin saber la distancia de los objetos que obstaculizan su desplazamiento, ya que están privadas de uno de los sentidos del ser humano. Es así, que la detección tardía de gradas, postes, paredes u otros obstáculos provocarían accidentes que atentan a su integridad física. Además, la poca colaboración por parte de la sociedad y la falta de infraestructura en las calles hacen que estas personas no cuenten con la seguridad necesaria para poder desplazarse.

La herramienta comúnmente utilizada en el Ecuador para la movilidad es el bastón blanco, el cual les brinda una detección de obstáculos limitada por el largo del bastón y por la ubicación de los obstáculos, especialmente los objetos ubicados en posiciones superiores al nivel de la cintura, pues el bastón no les brinda una seguridad total.

La discriminación es otro de los problemas que las personas con discapacidad visual sufren; por ejemplo, al no permitirles ingresar con sus perros guías a lugares públicos como restaurantes, tiendas de autoservicio, transporte público e instituciones bancarias, etc, lo que hace que su desplazamiento en las calles sea un verdadero reto de movilidad (CONAPRED, 2015).

Otra de las dificultades para este grupo social es la de no poder visualizar nombres de calles y lugares que les permita reconocer la ubicación y orientación en la que se encuentran. Hoy en día, la tecnología GPS se ha visto presente en una gran cantidad de dispositivos, sobre todo en lo que respecta a teléfonos móviles, que permite realizar distintas funcionalidades de localización para poder conocer el lugar de ubicación de forma rápida y segura (Importancia, 2017).

Tomando en cuenta lo antes mencionado, se ha planteado la idea de desarrollar un dispositivo inteligente que, a diferencia de otros, funcionará de forma integral con una aplicación móvil para así cumplir específicamente con funciones de ayuda en el desplazamiento de personas con discapacidad visual. Este sistema brindará la detección y alerta de obstáculos presentes en las calles por medio de comandos de

audio y también contará con funciones que brinden información de localización, orientación y asistencia de llamadas de emergencia, contribuyendo en el bienestar de este grupo social.

1.3 Alcance del proyecto

El desarrollo del proyecto tiene la finalidad de brindar ayuda a personas con discapacidad visual, dándoles la oportunidad de un mejor estilo de vida mediante un dispositivo electrónico inteligente capaz de realizar funciones que cubran sus necesidades de desplazamiento.

El dispositivo inteligente se presenta como un complemento al bastón blanco y contará con sensores ultrasónicos de proximidad para la detección de obstáculos; las alertas audibles dependerán de la cercanía de los objetos, de tal forma que el usuario podrá interpretar a qué distancia se encuentran. Además, un sensor tipo brújula digital podrá implementar funciones de orientación. La alimentación viene dada por una batería con tecnología LIPO que brinda características de duración de 5 horas aproximadamente de uso del dispositivo. Para la comunicación, un módulo Bluetooth conectado al teléfono móvil y una botonera de accionamiento, permitirá al usuario acceder a las diferentes funciones del dispositivo. Finalmente, este dispositivo será comandado por una tarjeta central de control.

Se desarrollará una aplicación móvil para que el usuario pueda recibir información sobre su localización, orientación y alertas de obstáculos presentes en su trayecto a través de mensajes de audio, haciendo uso de auriculares con micrófono y control de volumen incluido. Además, en esta aplicación se incluirá un asistente telefónico que permitirá realizar llamadas de emergencia. La aplicación móvil podrá ser controlada vía Bluetooth a través de la botonera de accionamiento ubicada en el dispositivo electrónico, la misma que constará de cuatro botones ubicados en distintas posiciones para que el usuario pueda elegir cada función en el dispositivo.

El dispositivo tendrá cuatro funciones principales las mismas que se describen a continuación:

1. Detección de obstáculos.- el dispositivo contará con un programa para la detección y alerta de obstáculos presentes en el desplazamiento por medio de comandos de audio.
2. Localización.- a través del sistema de posicionamiento global (GPS), la persona con discapacidad visual podrá conocer su ubicación actual.
3. Orientación.- la integración de una brújula digital permitirá informar al usuario la dirección a la que se dirige (norte, sur, este, oeste).
4. Llamadas de emergencia.- un asistente telefónico permitirá al usuario realizar llamadas a un contacto de emergencia.

Al finalizar la implementación del dispositivo, se realizarán pruebas de funcionamiento con la colaboración de una persona con discapacidad visual para analizar y comprobar su desempeño.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Desarrollar un dispositivo electrónico para cubrir las necesidades de desplazamiento de personas con discapacidad visual.

1.4.2 Objetivos específicos

- Diseñar un prototipo electrónico que funcione de forma integral con una aplicación móvil para cumplir con funciones de ayuda en el desplazamiento de personas con discapacidad visual.
- Desarrollar un programa para la detección de obstáculos presentes en el entorno de estas personas.
- Implementar un dispositivo que brinde una detección de obstáculos a 1.5 metros de distancia del usuario mediante el uso de sensores ultrasónicos de proximidad.
- Desarrollar una aplicación móvil que brinde información necesaria al usuario sobre su localización, orientación, asistencia telefónica y alertas de obstáculos a través de mensajes de voz.

- Establecer una comunicación inalámbrica entre el dispositivo electrónico y el teléfono móvil para el envío y recepción de datos del sistema.
- Realizar pruebas de funcionamiento del dispositivo mediante la colaboración de una persona con discapacidad visual para analizar y comprobar su desempeño.

CAPÍTULO II

2. ESTADO DEL ARTE

2.1 Discapacidad visual

2.1.1 Ceguera

La característica de las personas que carecen de visión total o que no pueden distinguir entre la oscuridad y la luz se la conoce como ceguera. Esta impide la adquisición de conocimiento a través de la visión, y se presenta en el nacimiento o en el transcurso del tiempo (Arteaga, 2007).

Según la clasificación de Delfour se definen tres tipos de ceguera (Arteaga, 2007):

- Poca afectación: rango de agudeza visual es de 5/10 - 3/10
- Mayor afectación: rango de agudeza visual es de 3/10 - 1/20
- Grave afectación: rango de agudeza visual es de 1/20 - 1/50

2.1.2 Causas de ceguera

Las principales causas de la ceguera son (Hesperian, 2013):

- La xeroftalmia: Se produce cuando un niño no recibe suficiente vitamina A, que se encuentra en numerosas frutas y verduras, así como también en la carne, huevos y leche.
- El tracoma: Es una de las causas más comunes de la ceguera, se presenta en niños y puede durar hasta años. Si no es tratada a tiempo puede causar ceguera. La transmisión se da a través del contacto y es más común en zonas con bajas condiciones de higiene.
- La gonorrea o clamidia: Es una enfermedad que al presentarse en los ojos puede provocar ceguera si no es tratada a tiempo. Produce enrojecimiento e hinchazón en la zona de los ojos.
- La ceguera del río: Es muy común en las zonas de África y América Latina. Su transmisión se debe al mosquito Simulium, un pequeño insecto que se reproduce en ríos.

- Sarampión: Se presenta como una causa común de la ceguera y afecta a la superficie de los ojos, es más común en niños desnutridos en las zonas de África.
- Daño cerebral: Junto con parálisis cerebral u otras discapacidades puede producir ceguera. El daño se puede presentar antes, durante o después del parto.
- Heridas en los ojos: La pérdida de vista puede ser causada por la mala manipulación de objetos puntiagudos, fuegos artificiales, ácido, la lejía y bombas de dinamita.

2.1.3 Desafíos de la discapacidad visual

2.1.3.1 Desafío Social

Las personas con discapacidad visual presentan desafíos sociales relacionados comúnmente a las tareas que dificultan la participación por parte de la persona invidente. Frecuentemente la ceguera impide que estas personas realicen varios trabajos, limitando de esta manera las oportunidades de empleo, por lo cual afecta al desarrollo económico de la persona y su autoestima. Además la ceguera causa inconvenientes en la participación de actividades fuera del ámbito laboral, como son las académicas y deportivas. Muchos de estos desafíos sociales no permiten la capacidad de conocer a otras personas, contribuyendo de esta manera a la baja autoestima (WAB, 2012).

2.1.3.2 Desafío Tecnológico

La tecnología es un desafío para las personas con discapacidad visual. Este grupo social presenta dificultades al realizar actividades que involucran a la tecnología como leer la información de una página web. Hoy en día existen plataformas de ayuda como los programas de asistencia de lectura que dan a conocer la información de páginas web a través de mensajes de audio, no obstante el aprendizaje de estos procesos requiere bastante tiempo. Este desafío no solamente afecta a las personas que padecen de ceguera sino también a aquellas que tienen baja visión dificultándoles el uso de páginas de internet, dado a que la mayoría de sitios cuentan

con íconos y fuentes de tamaño pequeño, en este caso es necesario el uso de herramientas especiales que permiten aumentar el tamaño de la pantalla considerablemente. Los reproductores de música y los mensajes de texto son otro tipo de tecnología que recurre al uso de la vista, representando también un desafío para las personas con discapacidad visual (WAB, 2012).

2.2 Técnicas de movilidad de personas con discapacidad visual

2.2.1 Técnicas de protección personal

Al momento de desplazarse las personas con discapacidad visual pueden emplear su cuerpo utilizando distintas técnicas que les permite mantener la línea de dirección en superficies y al mismo tiempo la protección personal. Existen dos técnicas:

- Protección personal alta: Con esta técnica se logra la protección alta del cuerpo, hombros y cara a través del antebrazo.
- Protección personal baja: Con esta técnica se logra la protección de la zona media del cuerpo situando el brazo inclinado delante del cuerpo.

Ambas técnicas se las pueden utilizar de forma selectiva con cualquiera de los dos brazos, proporcionando una protección segura en su desplazamiento sin necesidad de herramientas guías (Pérez, 2010).

2.2.2 Movilidad con bastón blanco

El bastón blanco es un instrumento auxiliar de movilidad que sirve para que el desplazamiento de las personas con discapacidad visual presente mayor autonomía y brinde seguridad en su vida cotidiana, al funcionar como informador, distintivo y protección.

El bastón puede ser manipulado con la mano derecha o con la izquierda, dependiendo de la comodidad de la persona, además alcanza como mínimo un metro delante de la persona invidente.

El correcto manejo del bastón blanco implica la utilización de un conjunto de técnicas para que las personas invidentes puedan desplazarse con mayor seguridad. Una de las técnicas más habituales es la técnica rítmica de contacto de dos puntos, la cual consiste en que la punta del bastón describe un arco levemente superior al ancho del cuerpo del usuario.

El bastón blanco es considerado como la herramienta de movilidad más eficaz en el desplazamiento de personas con discapacidad visual (Pérez, 2010).

2.2.3 Técnicas de desplazamiento con guía vidente

La técnica de guía vidente tiene como objetivo brindar a la persona con discapacidad visual un desplazamiento seguro y eficaz en diferentes ambientes, mediante la compañía de un guía vidente.

La técnica consiste en que el guía brinde información necesaria a través de su posición del cuerpo y sus movimientos. La persona con discapacidad coloca su mano en el brazo del guía, y se sujeta a él por encima del codo, ubicando el dedo pulgar en la parte exterior del brazo del guía y debe mantener su brazo en un ángulo de 90 grados. Es necesario que la persona invidente tenga un claro conocimiento de su cuerpo y del guía, la postura, los movimientos y los planos corporales (Lafuente, 2007).

2.2.4 Seguimiento al tacto

Las personas con discapacidad visual suelen utilizar superficies guías que marcan la línea de su desplazamiento. Esta técnica consiste en que el brazo más próximo a la pared (superficie guía) se adelanta situándolo a la altura de la pelvis permitiendo a la persona caminar paralelamente a la superficie guía. Esta técnica se la puede utilizar en combinación con la técnica de protección personal alta de tal manera que la persona evite colisiones con objetos situados en la línea de desplazamiento (Lafuente, 2007).

2.2.5 Adiestramiento en el uso de planos y mapas en relieve

Los planos de movilidad y mapas en relieve son herramientas que sirven como complemento para facilitar el desplazamiento de personas con discapacidad visual. Permiten a la persona crear una imagen mental del área en la cual se encuentran. Estas herramientas son desarrolladas mediante varios materiales que pueden ser percibidos por el tacto y se elaboran en relieve (Lafuente, 2007).

2.2.6 Perros guía

Un perro guía, es el animal entrenado para guiar a las personas invidentes brindándoles ayuda en su desplazamiento.

El perro posee la capacidad de rastrear peligros eventuales para la persona en su trayecto, requiriéndose de un nivel de entrenamiento avanzado y una gran capacidad de inteligencia en el animal.

Actualmente se han implementado iniciativas para entrenar a perros de diferentes razas, con el objetivo de solucionar dos problemas sociales a la vez: utilizar a perros de las protectoras de animales y entrenarlos para ayudar a las personas con cualquier discapacidad (BOE, 2017).

2.3 Dispositivos electrónicos para personas con discapacidad visual existentes en el mundo

2.3.1 HandEyes

HandEyes es un dispositivo electrónico de ayuda para personas con discapacidad visual desarrollado en Ecuador. Este dispositivo puede ser instalado en el bastón, gorra, gafas, o camisa de la persona, y tiene el objetivo de evitar varios accidentes a través de la creación de mapas mentales en el entorno en el que se encuentre. La presencia de obstáculos se transmite a través de señales sonoras variables que permiten reconocer la cercanía de objetos en el trayecto del usuario. En la Figura 1 se muestra el dispositivo HandEyes.



Figura 1. Dispositivo HandEyes

Fuente: (Handeyes, 2017)

El desarrollo del dispositivo HandEyes involucra la Ecolocalización, que es la habilidad que poseen algunos animales para ubicar objetos y crear mapas mentales del entorno (León, 2016).

2.3.2 SmartCane

SmartCane es un dispositivo electrónico desarrollado en la India que sirve de ayuda en el desplazamiento de personas con discapacidad visual ubicándose en el mango del bastón blanco. SmartCane se presenta como un complemento del bastón blanco detectando obstáculos desde la altura de la rodilla hasta la cabeza. Los objetos son detectados mediante el uso de ondas sonoras y su presencia es localizada a través de vibraciones intuitivas. Su alimentación se lleva a cabo con una batería LIPO recargable y se lo puede utilizar en zonas exteriores o interiores. Su diseño se realizó con el objetivo de implementarse en diversos tipos de agarraderas de bastones que son utilizadas por personas con discapacidad visual. En la Figura 2 se muestra el dispositivo SmartCane.



Figura 2. Dispositivo SmartCane

Fuente: (Assistech, 2005)

El dispositivo permite a los usuarios navegar de forma independiente sin necesidad de asistencia visual, incluso en entornos no estructurados. Se lo considera un dispositivo extremadamente útil para evitar colisiones indeseadas, encontrar formas en vías estrechas e incluso detectar movimientos de seres humanos y animales. Varios usuarios consideran que SmartCane es un dispositivo de fácil adaptación, fácil uso, ergonómico (Assistech, 2005).

2.3.3 Eyesynth

Eyesynth es un sistema de comprensión visual para personas con discapacidad visual. Consiste en unas gafas que identifican el espacio que nos rodea en 3 dimensiones. El micro-ordenador se encarga de procesar la información y la convierte en audio comprensible para la persona. En la Figura 3 se ilustra el sistema Eyesynth.



Figura 3. Sistema Eyesynth

Fuente: (Quesada, 2016)

Las gafas transmiten imágenes al micro-ordenador y las procesa en tiempo real, el usuario obtiene una respuesta instantánea. El entorno es detectado en 3D, por lo que es capaz de brindar información acerca de la profundidad. Finalmente, el ordenador modifica todos los datos en una serie de sonidos que permiten interpretar obstáculos, formas y espacios abiertos (Quesada, 2016).

Existen 3 características fundamentales en Eyesynth:

- Funcionamiento en 3 dimensiones. La persona identifica formas y espacios, y tiene la capacidad de medir la profundidad y localizar objetos con precisión.
- El sonido es abstracto. El lenguaje utilizado es innovador y el cerebro lo puede automatizar.
- Audio coclear. El sonido se transmite a través de los huesos de la cabeza, por lo que los oídos quedan libres para escuchar, evitando fatiga del oído.

2.4 Identificación de Hardware

2.4.1 Sensores ultrasónicos para la detección de obstáculos

Los sensores ultrasónicos son detectores de proximidad que tienen el propósito de detectar objetos a una determinada distancia. Estos sensores se encuentran conformados por transductor para el envío y recepción de señales sonoras de alta frecuencia. Al momento de que un objeto ingresa al haz, la señal es reflejada de

vuelta al sensor, produciendo la medida del tiempo que la señal demora en regresar. Estos sensores pueden detectar objetos con diferentes formas, materiales, superficies y colores.

En el mercado existen varios modelos de sensores ultrasónicos entre ellos se encuentra el sensor LV-MaxSonar que brinda una detección de objetos desde 0 hasta 6,45 m con un 1mm de resolución. A diferencia de otros sensores, el LV-MaxSonar no tiene prácticamente ninguna zona muerta.

El sensor consta de tres interfaces de salida, que se encuentran activas simultáneamente: Ancho de pulso, tensión analógica y serie asíncrona. En la Figura 4 se muestra el sensor LV-MaxSonar (MaxBotix, LV-MaxSonar-EZ Products, 2017).



Figura 4. Sensor ultrasónico LV-MaxSonar

Fuente: (MaxBotix, LV-MaxSonar-EZ Products, 2017)

Las características técnicas que presenta el sensor LV-MaxSonar son las siguientes:

- Su resolución es de 1 mm
- Posee una velocidad de lectura de 10 Hz
- Dispone de compensación interna de temperatura
- Presenta varios modos de lectura de salidas del sensor: Ancho de pulso, RS232 y voltaje analógico
- No presenta zona muerta
- Su rango de detección es de 0 m a 6,45 m
- El sensor es tolerante a fuentes de ruido externas
- El rango de voltaje de operación es de 2.5V-5.5V

- Presenta un bajo consumo de corriente
- Presenta un módulo pequeño y de peso ligero
- La temperatura de funcionamiento es de -15 C a 65 C

2.4.2 Microcontroladores Atmega328p

El Atmega328p es un chip microcontrolador desarrollado por la empresa Atmel y pertenece a la serie megaAVR. En la Figura 5 se ilustra el microcontrolador Atmega328p.



Figura 5. Microcontrolador Atmega328p

Fuente: (Electronicoscaldas, 2014)

Entre las principales características se encuentran las siguientes:

- La arquitectura del microcontrolador es de 8 bits
- Dispone de 23 pines I/O
- Contiene una memoria flash de 32 kB
- Contiene memoria SRAM de 2 kB
- Contiene memoria EEPROM de 1 kB
- Tiene un oscilador externo de 20 MHz
- El rango de voltaje de operación es de 1.8 V a 5.5 V
- Posee un convertidor análogo digital de 10 bits y 6 canales
- Se compone de 6 canales PWM
- Es compatible con la comunicación I2C

- Tiene un comparador análogo
- Posee varias fuentes de interrupción
- Cumple con las directivas de restricción de ciertas sustancias peligrosas en aparatos eléctricos y electrónicos (RoHS)
- Su encapsulado es el PDIP de 28 pines

Hoy en día el ATmega328 es utilizado en un sin número de proyectos y sistemas autónomos que requieren de un microcontrolador de bajo consumo, simple y bajo costo. La implementación de este microcontrolador se presenta en los modelos Nano y Uno de la plataforma Arduino (Electronicoscaldas, 2014).

Arduino es una plataforma electrónica de código abierto basada en software y hardware flexibles y de fácil uso. Su desarrollo tiene el objetivo de facilitar la utilización de la electrónica en la implementación de proyectos. Arduino dispone de una amplia gama de placas y shields que se pueden utilizar dependiendo de las necesidades (Crespo, 2016).

2.4.3 Módulo para la comunicación Bluetooth

Hoy en día existen módulos de comunicación Bluetooth que son muy útiles para aplicaciones con microcontroladores como es el caso del módulo HC-05. Este dispositivo es económico y se lo puede insertar fácilmente en un protoboard y cablearlo directamente a un microcontrolador sin necesidad de soldaduras.

El módulo HC-05 se define como un módulo Esclavo-Maestro, esto quiere decir que puede recibir instrucciones desde una computadora y también tiene la capacidad de generar órdenes hacia otros dispositivos Bluetooth, permitiendo así generar una conexión bidireccional punto a punto entre dos módulos Bluetooth. En la Figura 6 se ilustra el módulo HC-05 (Biendicho, 2015).



Figura 6. Módulo Bluetooth HC-05

Fuente: (Anvarelectronics, 2016)

Las principales características del módulo HC-05 son las siguientes:

- Su configuración puede realizarse como esclavo y maestro mediante comandos AT
- Se compone del chip de radio CSR BC417143
- Presenta una frecuencia de operación de 2.4 GHz
- Presenta una antena de PCB
- Su potencia de emisión es menor a 4 dBm
- Presenta un alcance de 5 m a 10 m
- Tiene una velocidad sincrónica de 1 Mbps y asincrónica de 2.1 Mbps
- Contiene un código de seguridad (el código por defecto es 1234)
- Puerto serial Bluetooth
- Se compone de 6 pines de conexión (GND, VCC, RXD, TXD, KEY y status LED)
- Presenta un bajo consumo de corriente
- Los niveles lógicos de operación son de 3.3 V.
- El rango de voltaje de operación es de 3.6 V a 6 V
- El rango de operación de temperatura es de -20 C a +75 C

2.4.4 Sensor tipo brújula digital

Este sensor es un magnetómetro capaz de medir el campo magnético terrestre y presentarlo en 3 componentes cartesianas, indica un valor para cada eje X, Y y Z, de esta forma se puede obtener datos muy precisos de orientación del sensor respecto al polo Norte. Por estas características son muy utilizados en drones. En el mercado existen varios modelos de este tipo de sensores como es el caso del sensor HMC5883L que se ilustra en la Figura 7. Es una brújula digital de 3 ejes cuya comunicación es simple y se la realiza por medio de una interfaz I2C (Puig, 2016).



Figura 7. Sensor HMC5883L

Fuente: (SparkFun, 2016)

Las características que presenta el sensor HMC5883L son:

- Es compatible con la interfaz I2C
- Tiene un voltaje de operación de 2.2 a 3.6 VDC
- Presenta un bajo consumo de corriente

2.4.5 Baterías con tecnología LIPO

Las baterías de polímero de litio (LIPO) son un tipo de baterías recargables que se utilizan generalmente en sistemas eléctricos de radiocontrol, como son los helicópteros, multicópteros y aviones. Estas baterías presentan 3 ventajas importantes con respecto a otras baterías recargables:

- 1) Son ligeras y se pueden hacer de cualquier forma y tamaño.

- 2) Tienen gran capacidad lo que significa que tienen una gran energía en un tamaño reducido.
- 3) Las baterías LIPO tiene una tasa de descarga alta para alimentar los sistemas eléctricos más exigentes.

Generalmente se encuentran compuestas de células secundarias idénticas en paralelo para incrementar la capacidad de descarga de corriente y el voltaje total disponible.

Los voltajes de carga de las baterías LIPO que se encuentran comúnmente en el mercado son:

- Batería de 3.7 V (1 celda)
- Batería de 7.4 V (2 celdas)
- Batería de 11.1 V (3 celdas)
- Batería de 14.8 V (4 celdas)
- Batería de 18.5 V (5 celdas)
- Batería de 22.2 V (6 celdas)

La capacidad que indica cuánta energía puede mantener la batería se presenta en miliamperios hora (mAh). Esta es una manera de representar la cantidad de carga medida en miliamperios que se dispone en la batería durante 1 hora para que ésta se descargue completamente (ErleRobotics, 2014).

En la Figura 8 se observa la batería LIPO de 7.4V-700mAh seleccionada para el presente proyecto.



Figura 8. Batería LIPO de 7.4V-700mAh

Fuente: (Amazon, 2014)

2.5 Identificación de Software

2.5.1 Software de desarrollo de aplicaciones móviles - Eclipse Java

Eclipse se define como una plataforma de desarrollo de código abierto basada en el lenguaje Java. Fue desarrollada por la empresa IBM la cual dispuso del código fuente de la plataforma a los usuarios. Eclipse se compone de un conjunto de herramientas que a partir de componentes conectados (plug-in) permiten realizar un entorno de desarrollo. Existen componentes para el desarrollo de Java (JDT Java Development Tools) así como también para el desarrollo en otros lenguajes como C/C++, COBOL, etc, (Gutierrez, 2004).

Características de Eclipse:

- Se compone de un editor de texto donde se visualiza el contenido del fichero de trabajo.
- Tiene una lista de tareas.
- Brinda una compilación en tiempo real.
- Se encuentra integrado con asistentes (wizards) para la creación de test, clases, proyectos, etc.

Hoy en día el entorno Eclipse es muy aprovechado para el desarrollo de aplicaciones móviles con el plug-in de Android mediante el complemento del SDK (Android Software Development Toolkit). El SDK facilita el desarrollo de

aplicaciones a través de numerosas y completas librerías (API's) (CCIA, 2013). Las principales características son:

- Brinda un desarrollo y distribución gratuita.
- Permite acceder a componentes hardware de dispositivos como GPS, WiFi y Bluetooth, y también brinda la posibilidad de recibir y realizar llamadas y mensajes de texto.
- Permite un completo control de las funciones de multimedia.
- Dispone de librerías para el control de sensores del dispositivo como brújula y acelerómetros.
- Permite la comunicación entre procesos (IPC).
- Se conforma de almacenes de datos compartidos, sistema de gestión de bases de datos SQLite.
- Permite el desarrollo de aplicaciones y procesos en segundo plano.
- Dispone de componentes (Widget) para la implementación de la pantalla de inicio.
- Permite la utilización de mapas y su control desde la aplicación.

2.5.2 Software para el diseño de prototipos 3D - SketchUp

SketchUp es una herramienta desarrollada por Google que permite modelar rápidamente volúmenes y formas arquitectónicas en 3D. El software fue diseñado con el objetivo de utilizarse de manera intuitiva y flexible, facilitando ampliamente su uso en comparación con otros programas de modelado 3D. Esta herramienta comprende un aprendizaje sencillo y es apta para cualquier persona. Además el programa incluye en sus recursos tutoriales de aprendizaje y galerías de texturas, imágenes y objetos.

SketchUp puede exportar modelos compatibles con programas de impresión 3D, permitiendo de esta manera involucrarse con esta tecnología y reproducir físicamente los diseños tridimensionales creados digitalmente (Plusesmas, 2016).

Actualmente la impresión 3D es considerada como una revolución tecnológica y está adquiriendo cada vez más relevancia en la vida de las personas ya que aportan

numerosos beneficios en distintos campos industriales. El enorme desarrollo actual, tanto de software como de hardware y la expansión de materiales, resaltan un gran futuro para esta tecnología.

2.5.3 Software de programación de controladores – IDE Arduino

El IDE Arduino (Integrated Development Environment) es un entorno de desarrollo integrado compuesto por un conjunto de herramientas de programación y consiste en la integración de un compilador, un editor de código, un depurador y un constructor de interfaz gráfica (GUI). Este IDE es gratuito y se lo considera como un entorno sencillo de usar en el cual se desarrolla el programa que se requiera para que posteriormente se cargue de forma serial a la placa Arduino y este trabaje de forma autónoma. Además el programa cuenta con un gestor de librerías que permite instalar, desinstalar y actualizar las librerías que se encuentran disponibles.

Las librerías de Arduino son trozos de código desarrollados por terceros que facilita mucho la programación y permite la abstracción haciendo que el programa sea más sencillo de hacer y de entender. Muchos fabricantes de hardware se han involucrado en el desarrollo de librerías para facilitar el uso de sus dispositivos con Arduino (Crespo, 2016).

CAPÍTULO III

3. DISEÑO DE HARDWARE DEL DISPOSITIVO ELECTRÓNICO

3.1 Introducción

En este capítulo se desarrolló el diseño de hardware que consta de distintos componentes, entre ellos se encuentra la carcasa del prototipo cuyo diseño se lo realizó mediante software de modelado 3D, también se encuentra el diseño de la tarjeta electrónica de control, la botonera de accionamiento para el control de las funciones del dispositivo y finalmente el sistema de comunicación inalámbrica entre el dispositivo y el móvil.

3.2 Descripción general del proyecto

El proyecto consiste en el desarrollo de un dispositivo electrónico capaz de realizar funciones que cubran las necesidades de desplazamiento de las personas con discapacidad visual.

En la Figura 9 se ilustra el diagrama de bloques del dispositivo electrónico:

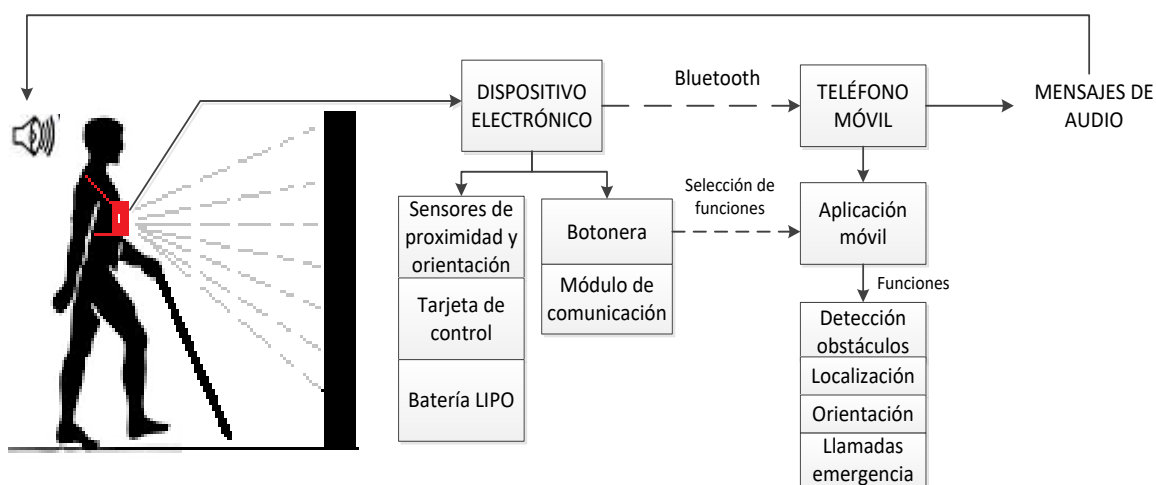


Figura 9. Diagrama de bloques del dispositivo electrónico

El dispositivo se encuentra comandado por una tarjeta central de control que integra tres sensores ultrasónicos de proximidad y un sensor tipo brújula para brindar al usuario funciones de detección de obstáculos y orientación. La alimentación viene dada por una batería LIPO que permite una alta duración de uso del prototipo. A través de un módulo Bluetooth se realiza la comunicación con el teléfono móvil y una botonera de accionamiento, permite al usuario acceder a las diferentes funciones del dispositivo.

El sistema integra una aplicación móvil para que el usuario pueda recibir información sobre su localización, orientación y alertas de obstáculos presentes en su trayecto a través de mensajes de audio.

El dispositivo está diseñado para portarlo en la zona abdominal debido a que esta parte del cuerpo brinda mayor estabilidad al momento de caminar y comodidad para su uso.

Para el diseño del proyecto se tomó en cuenta ciertos parámetros correspondientes a las características del dispositivo a fin de obtener un producto útil para el usuario. Los parámetros de diseño de hardware considerados son los siguientes:

- Las dimensiones del dispositivo electrónico deben ser menores a 15 cm para brindar comodidad al momento de portarlo en la zona abdominal.
- La tarjeta de control no debe superar los 8 cm de largo y ancho, pues el dispositivo cuenta con dimensiones pequeñas.
- Los sensores de proximidad deben permitir una distancia de detección de obstáculos mayor a 3 metros.
- El sistema de carga debe brindar una duración mayor a 5 horas de uso del dispositivo.

3.3 Descripción del hardware del dispositivo electrónico

El hardware del dispositivo se encuentra conformado por la integración de distintos componentes como tarjeta de control, sensores, módulos de comunicación y

batería. En la Figura 10 se muestra el diagrama del hardware del dispositivo electrónico.

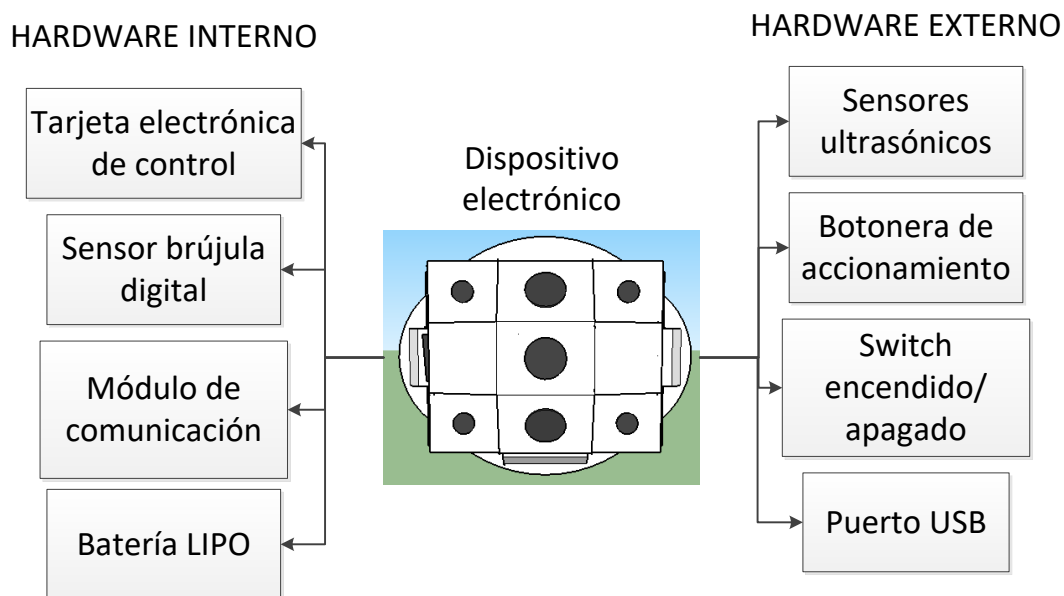


Figura 10. Hardware del dispositivo electrónico

El dispositivo electrónico se encuentra constituido por tres sensores ultrasónicos, cada uno comprende un haz de detección en forma de abanico, como se muestra en la Figura 11, por lo que son ubicados de manera vertical con diferentes inclinaciones para brindar una completa detección y alerta de los obstáculos presentes en la zona superior, frontal e inferior de la persona con discapacidad visual. En la Figura 12 se muestra la ubicación de los sensores ultrasónicos en el dispositivo.

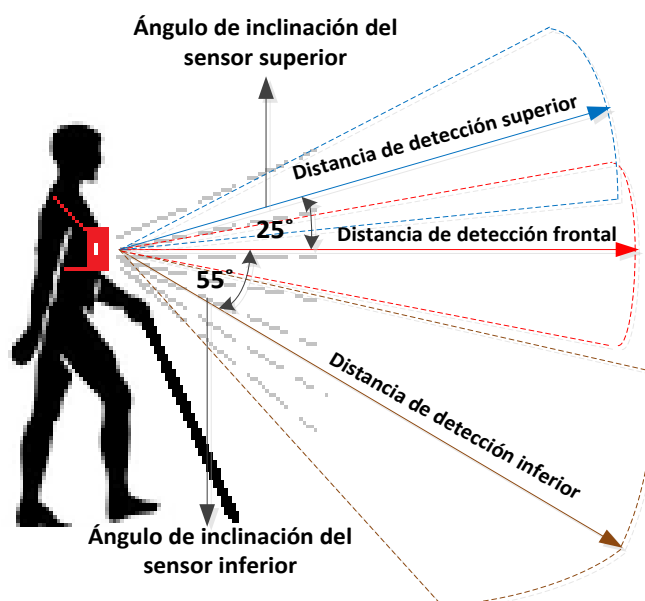


Figura 11. Haz de detección de sensores ultrasónicos

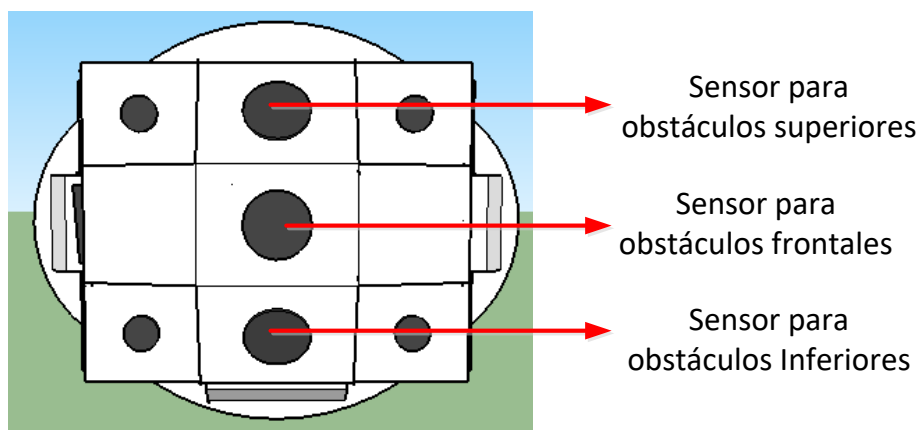


Figura 12. Ubicación de los sensores ultrasónicos

También cuenta con una botonera de control que le permite al usuario seleccionar las distintas opciones de funcionamiento del dispositivo. La botonera se muestra en la Figura 13 y consta de cuatro botones ubicados en distintas posiciones de la cara frontal del dispositivo, con la finalidad de que el usuario pueda tener un acceso fácil y rápido.

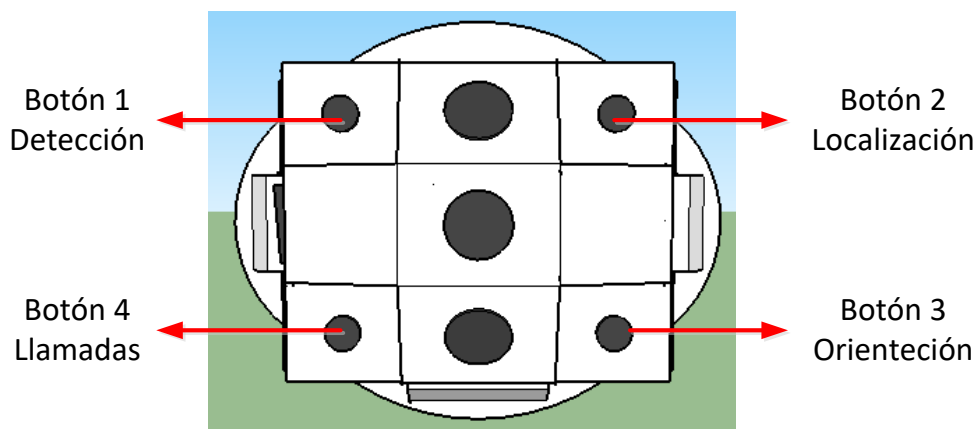


Figura 13. Botonera de accionamiento del dispositivo electrónico

El sistema cumple con cuatro funciones principales las mismas que se describen a continuación:

- 1) **Detección de obstáculos.**- el dispositivo brinda la detección y alerta de obstáculos presentes en el desplazamiento por medio de comandos de audio indicando el lugar y la distancia a la cual se encuentra el objeto.
- 2) **Localización.**- a través del sistema de posicionamiento global (GPS), la persona con discapacidad visual puede conocer su ubicación actual.
- 3) **Orientación.**- la integración de una brújula digital permite informar al usuario la dirección a la que se dirige (norte, sur, este, oeste).
- 4) **Llamadas de emergencia.**- un asistente telefónico permite al usuario realizar llamadas a un contacto de emergencia registrado en el teléfono móvil.

Además el dispositivo cuenta con un switch de encendido/apagado y un puerto USB para proporcionar la carga de la batería, como se muestra en la Figura 14.

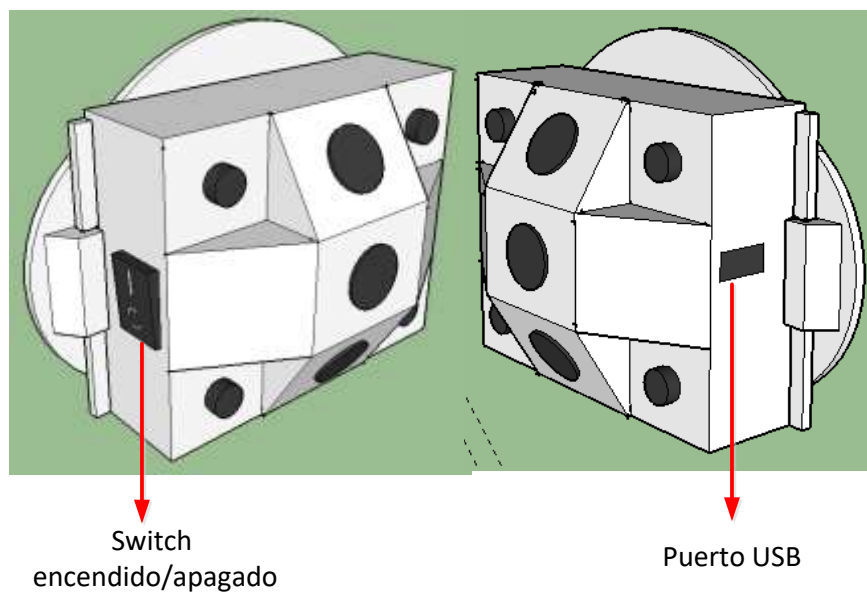


Figura 14. Ubicación del switch y puerto USB del dispositivo

En el hardware interno del dispositivo se encuentra la tarjeta electrónica de control, un módulo de comunicación Bluetooth, un sensor tipo brújula digital y finalmente una batería LIPO que brinda características de alta duración de uso del dispositivo.

3.4 Sensores ultrasónicos

En el mercado existen varios tipos de sensores de proximidad que tienen un único propósito que es percibir la presencia de un objeto sin la necesidad de estar en contacto con él. Algunos sensores están hechos para ser utilizados en la vida cotidiana, mientras que otros han estado facilitando la investigación y el campo de la ingeniería.

Para la implementación del proyecto inicialmente se realizaron pruebas de funcionamiento con tres tipos de sensores de proximidad que son:

- Sensor fotoeléctrico Sharp GP2Y0A02YK
- Sensor ultrasónico HC-SR04
- Sensor LV-MaxSonar-EZ0

Se realizó pruebas de funcionamiento de los tres tipos de sensores con el objetivo de conocer cuál sería el ideal para la implementación del dispositivo electrónico. En la Tabla 1 se muestra un cuadro comparativo donde se detallan las características importantes de cada sensor.

Tabla 1.
Tabla comparativa de sensores de proximidad

Sensor	Sharp GP2Y0A02YK	HC-SR04	LV-MaxSonar-EZ0
Tipo	Óptico	Ultrasónico	Ultrasónico
Rango de detección	20cm a 150cm	2cm a 400cm	0cm a 645cm
Voltaje	2.7V-5.5V	4.5V- 5.5V	2.5V-5.5V
Zona muerta	SI	SI	NO
Precisión	±10cm	±3cm	±2.54cm
Objeto detectable	Detección afectada por materiales/colores del objeto	Detección no afectada por materiales/colores del objeto	Detección no afectada por materiales/colores del objeto

De acuerdo a los datos obtenidos en la Tabla 1 se concluyó que el sensor LV-MaxSonar-EZ0 es el ideal para el proyecto ya que posee un mayor rango de detección, mayor precisión, no posee zonas muertas en su funcionamiento y su detección no se ve afectada por materiales y colores de los objetos.

El sensor LV-MaxSonar-EZ0 consiste en la integración del transmisor y receptor en un solo módulo y posee un patrón de radiación ancho y sensible haciéndola una excelente opción donde se requiera una gran sensibilidad.

El LV-MaxSonar-EZ0 reporta el rango a blancos distantes desde el frente del sensor como se presenta en la Figura 15.

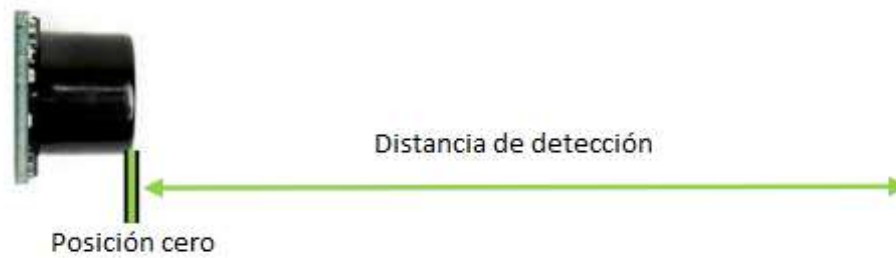


Figura 15. Alcance medido desde la parte frontal del transductor.

Fuente: (MaxBotix, LV-MaxSonar-EZ Products, 2017)

En general, el LV-MaxSonar-EZ0 reporta el rango al borde delantero del objeto detectable más vulnerable. La detección del blanco se ha caracterizado en los patrones del haz del sensor.

Una de las ventajas de usar este sensor es la disponibilidad de tres interfaces de salida, las cuales son simultáneamente activadas: salida digital por Ancho de Pulso (PW), salida analógica de voltaje (AN), y salida digital serial asíncrona (RX, TX). Para el presente proyecto se usó el puerto digital por Ancho de Pulso para la lectura de objetos.

3.5 Diseño del circuito electrónico de control

El diseño de la tarjeta electrónica de control se realizó mediante el software Ares Proteus permitiendo el diseño del plano eléctrico del circuito con todos sus componentes para la fabricación de la placa.

La tarjeta central se compone de un microcontrolador que procesa toda la información del dispositivo. También cuenta con cuatro botones que conforman la botonera de accionamiento para la selección de funciones del dispositivo, tres sensores de ultrasonido para la detección de obstáculos, un sensor tipo brújula que permite implementar funciones de orientación y un módulo Bluetooth para la comunicación con el teléfono móvil. En la Figura 16 se presenta la distribución de los componentes que conforman la tarjeta de control.

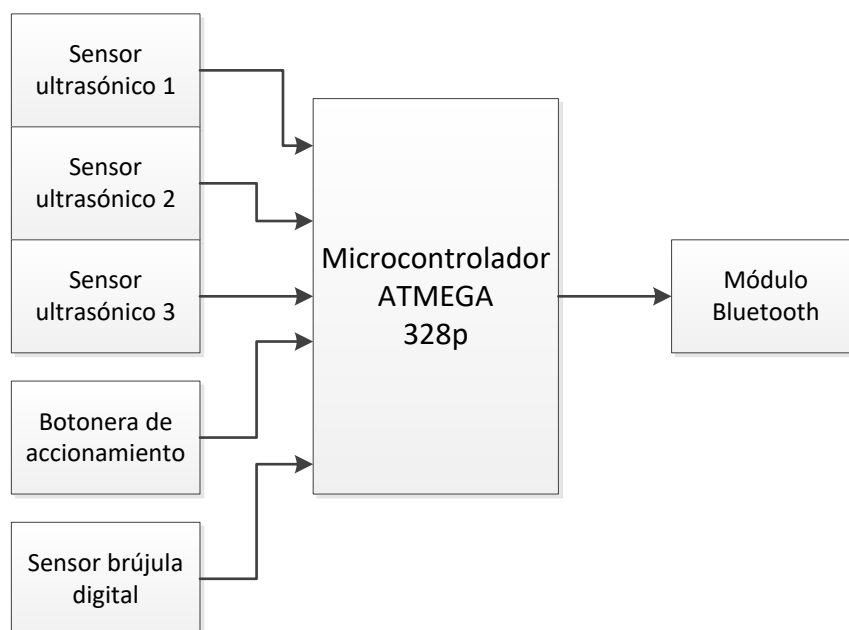


Figura 16. Diagrama de distribución de componentes de la tarjeta de control

En la Figura 17 se muestra el esquema eléctrico del circuito de control a través del cual se representa gráficamente la instalación de los componentes y la interconexión entre ellos.

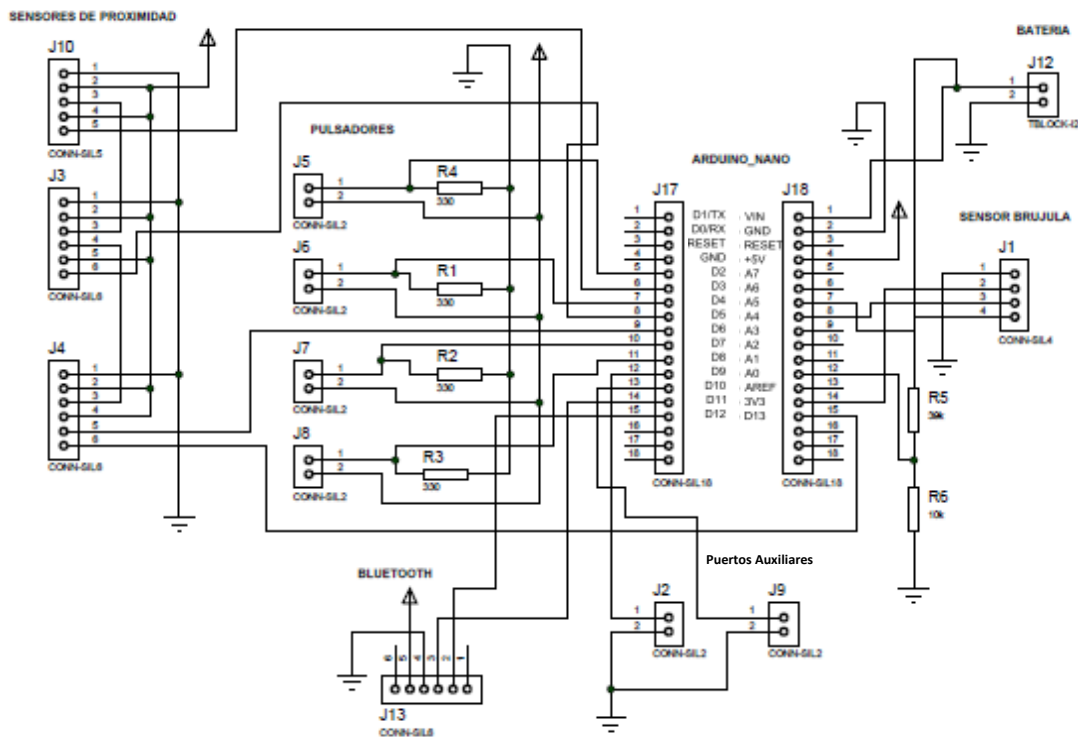


Figura 17. Esquema eléctrico del circuito de control

En la Figura 18 se muestra el diseño de la tarjeta electrónica de control del dispositivo.

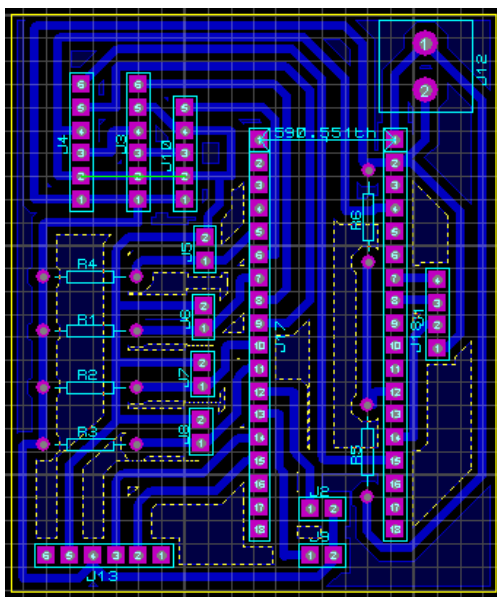


Figura 18. Diseño de la tarjeta electrónica de control

En la Figura 19 se presenta la visualización 3D de la tarjeta electrónica de control del dispositivo.

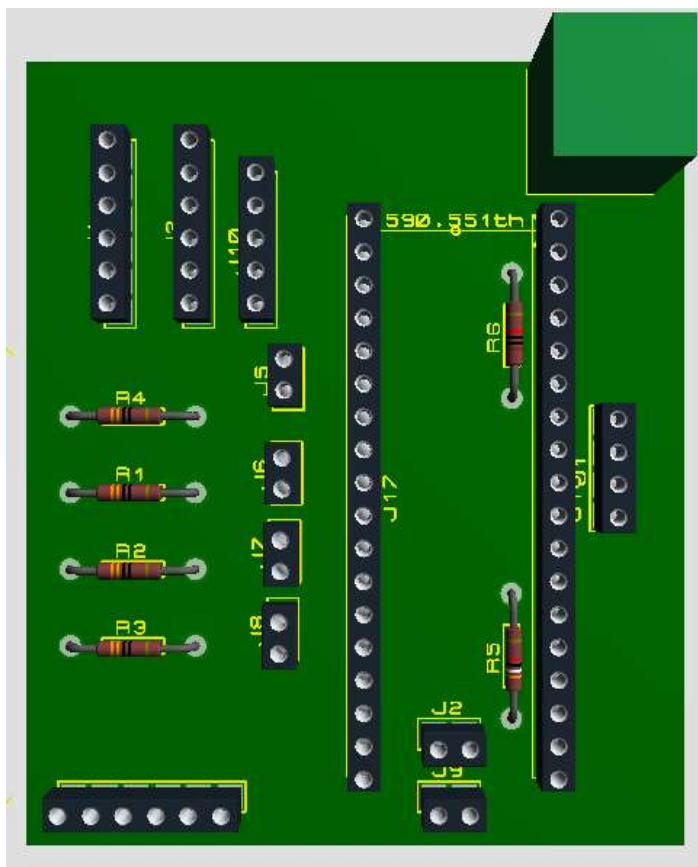


Figura 19. Visualización 3D de la tarjeta electrónica

La placa de control cuenta con las siguientes dimensiones:

- Largo: 6.35 cm
- Ancho: 5.33 cm

3.6 Diseño del sistema de carga del dispositivo electrónico

El dispositivo electrónico cuenta con un sistema de carga que se compone de los siguientes elementos:

- Batería LIPO 7.4V-700mah
- Switch de encendido/apagado
- Placa USB de carga
- Cargador de pared

- Módulo de equilibrio

En la Figura 20 se presenta el diagrama de bloques del sistema de carga del dispositivo.

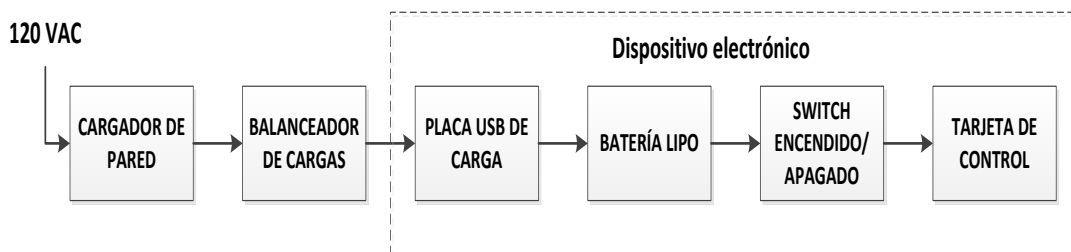


Figura 20. Diagrama de bloques del sistema de carga

3.7 Diseño 3D de la carcasa

El diseño 3D de la carcasa del dispositivo se lo realizó mediante el software SketchUp con la finalidad de obtener precisión en el desarrollo de la carcasa buscando funcionalidad y estética en su diseño.

La carcasa se conforma de tres partes: la carcasa frontal, la tapa y la base de soporte.

En la Figura 21 se presenta el diseño 3D de la carcasa frontal del prototipo.

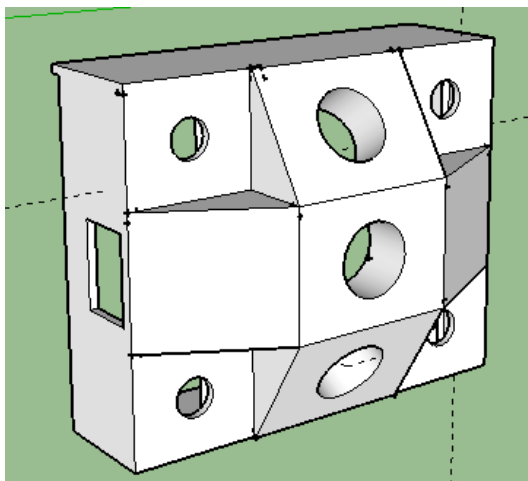


Figura 21. Carcasa frontal del prototipo

En la Figura 22 se presenta el diseño 3D de la tapa del prototipo.

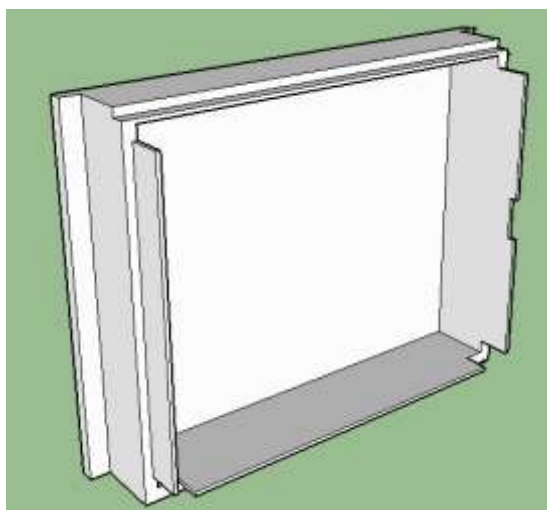


Figura 22. Tapa del prototipo

En la Figura 23 se presenta el diseño 3D de la base de soporte del prototipo.

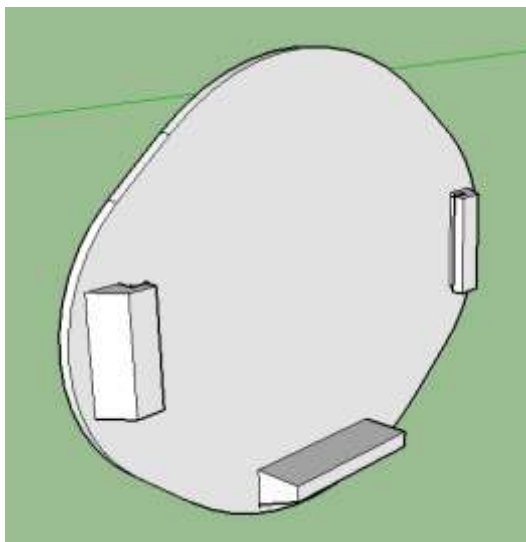


Figura 23. Base de soporte del prototipo

La base de soporte es la pieza que se montará en un chaleco para que el usuario pueda desplazarse con el dispositivo.

Finalmente en la Figura 24 se presenta el diseño 3D de las tres piezas ensambladas.

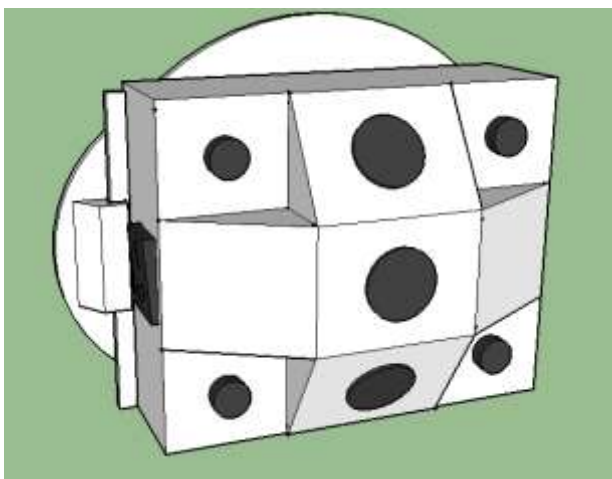


Figura 24. Carcasa del prototipo

El diseño de la carcasa del dispositivo tiene las siguientes dimensiones:

- Largo: 10 cm
- Alto: 8 cm
- Ancho: 5 cm

- Espesor de paredes: 3 mm

3.8 Diseño del sistema de comunicación inalámbrica

El dispositivo inteligente funciona de forma integral con una aplicación móvil por lo que cuenta con un módulo Bluetooth con la finalidad de establecer una comunicación inalámbrica entre el dispositivo electrónico y el teléfono móvil.

El sistema de comunicación se define como un esquema Maestro-Esclavo, esto significa que el dispositivo electrónico además de recibir órdenes desde el teléfono móvil, también es capaz de enviar instrucciones hacia otros dispositivos Bluetooth, permitiendo así establecer una conexión bidireccional punto a punto entre los dos dispositivos, de esta manera la aplicación móvil puede ser controlada a través de la botonera de accionamiento del dispositivo electrónico, tal como se observa en la Figura 25.

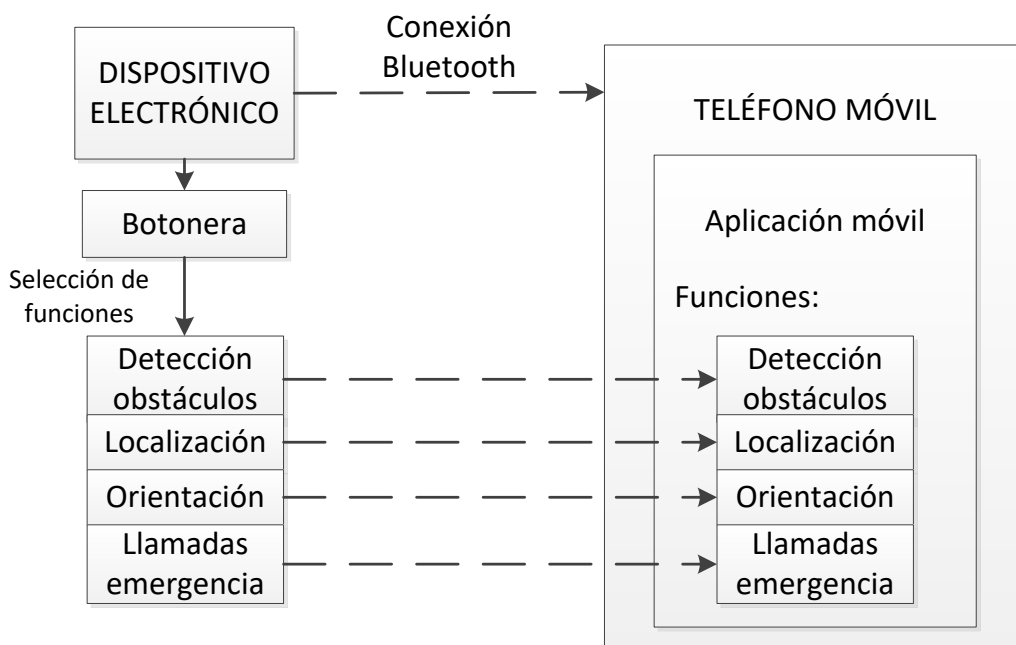


Figura 25. Diagrama del sistema de comunicación inalámbrica

CAPÍTULO IV

4. DISEÑO DE SOFTWARE DEL DISPOSITIVO ELECTRÓNICO

4.1 Introducción

El sistema del dispositivo electrónico cuenta con dos etapas de software, la primera consiste en el software que se encuentra en el microcontrolador central del dispositivo y la segunda consiste en el software correspondiente a la aplicación móvil. Las dos etapas se encuentran conectadas bidireccionalmente con la finalidad de realizar el control del dispositivo electrónico.

4.2 Diseño del programa de control

El software correspondiente al microcontrolador central consiste en un sistema de navegación que permite al usuario seleccionar cuatro opciones de funcionamiento a través de una botonera de accionamiento. Además es el responsable de realizar la adquisición y procesamiento de señales provenientes de los distintos sensores del dispositivo electrónico. Una vez procesadas las señales el sistema envía de forma serial la información a la aplicación móvil por comunicación Bluetooth.

Los diagramas de flujo que corresponden al programa del microcontrolador central se indican a continuación:

En la Figura 26 se muestra el diagrama de flujo correspondiente al proceso de navegación del sistema entre los cuatro modos de funcionamiento del dispositivo electrónico que son:

- 1) Detección de obstáculos
- 2) Localización
- 3) Orientación
- 4) Llamadas de emergencia

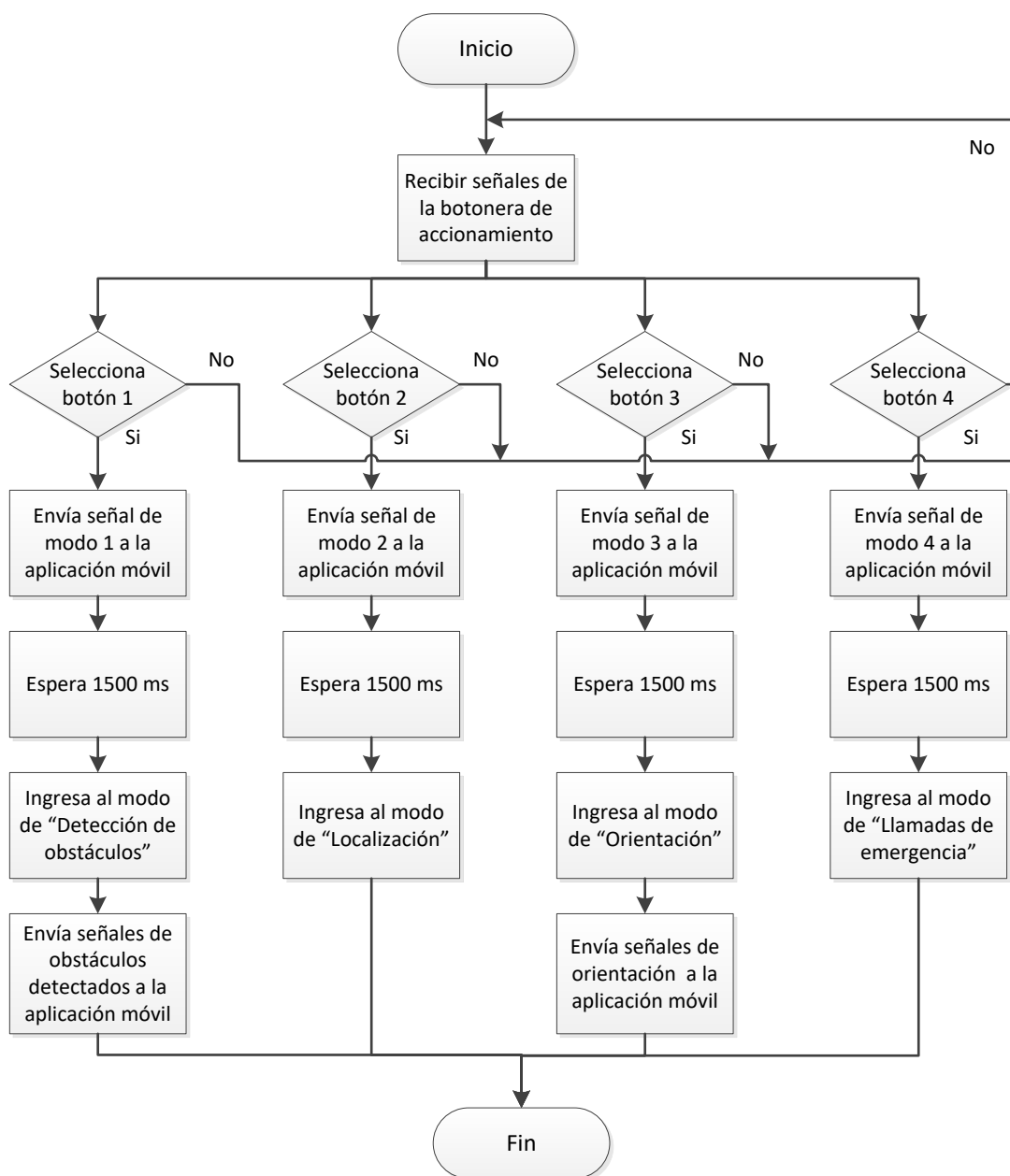


Figura 26. Diagrama de flujo del proceso de navegación del sistema

El proceso de detección de obstáculos indica la distancia de aproximación a un objeto a través de pasos, para lo cual, se tomó en cuenta el rango estandarizado de un paso que se encuentra entre 20 y 60 cm. Por lo tanto, se consideró una distancia de 20 a 50 cm para obstáculos frontales, de 20 a 75 cm para la detección de obstáculos inferiores y una distancia de 20 a 50 cm para obstáculos superiores.

Cuando la distancia de detección sea a dos pasos, se estableció valores aproximados al doble de las distancias detalladas anteriormente para cada sensor.

En la Figura 27 se muestra el diagrama de flujo correspondiente al proceso de detección de obstáculos que consiste en la adquisición y procesamiento de las señales provenientes de los sensores ultrasónicos del dispositivo.

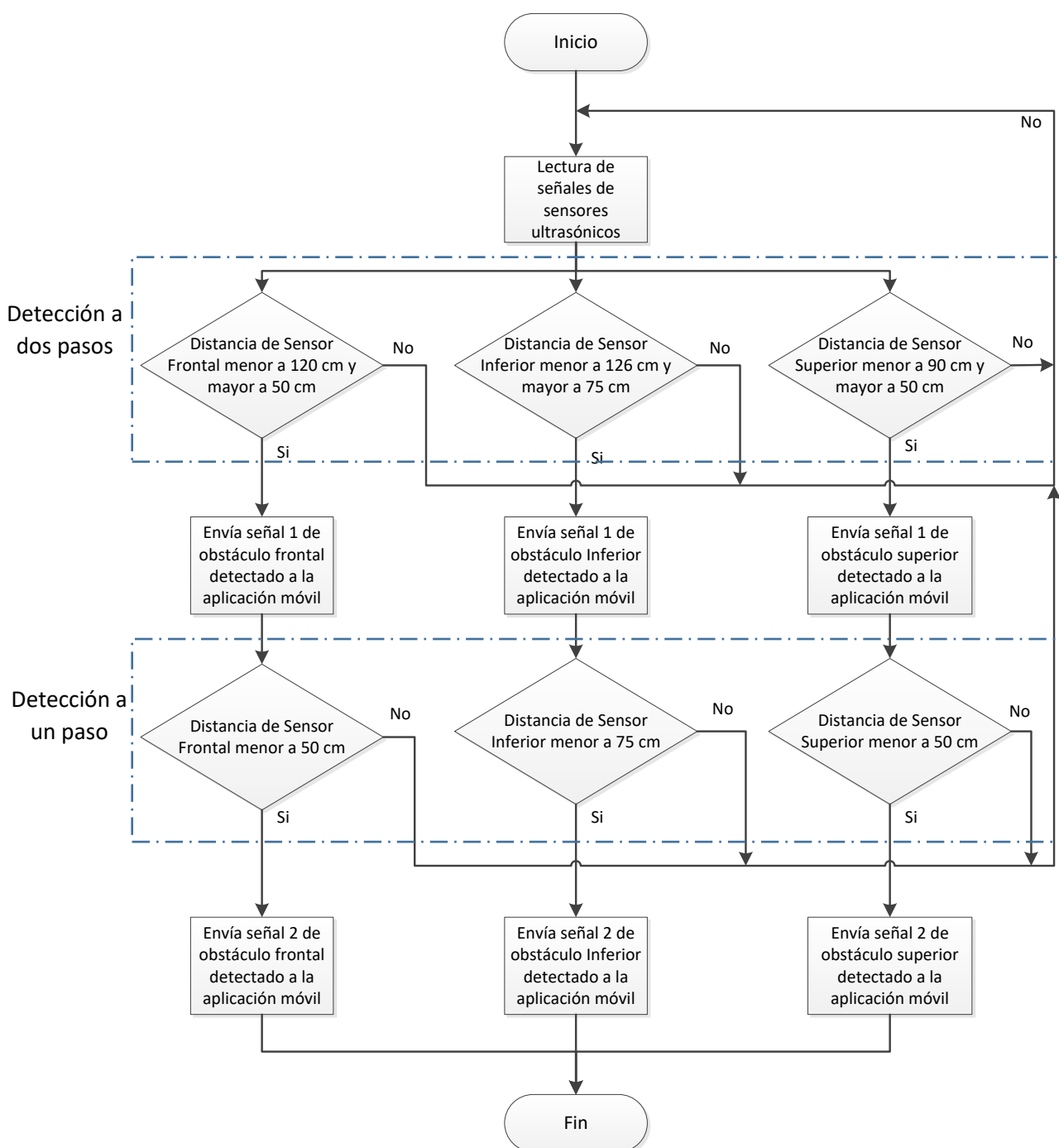


Figura 27. Diagrama de flujo del proceso de detección de obstáculos

El diseño del proceso de orientación se realizó tomando en cuenta los rangos angulares estandarizados respecto al Polo Norte para cada uno de los puntos cardinales: Norte, Sur, Este y Oeste. El Norte se define en el rango de -40° a 40° , el Oeste en el rango de 225° a 320° , el Este de 40° a 135° y el Sur de 135° a 225° . En

este proceso no se consideró puntos cardinales intermedios, con el fin de evitar confusión en el usuario al momento de su desplazamiento.

En la Figura 28 se muestra el diagrama de flujo correspondiente al proceso de orientación que consiste en la adquisición y procesamiento de las señales provenientes del sensor tipo brújula digital del dispositivo.

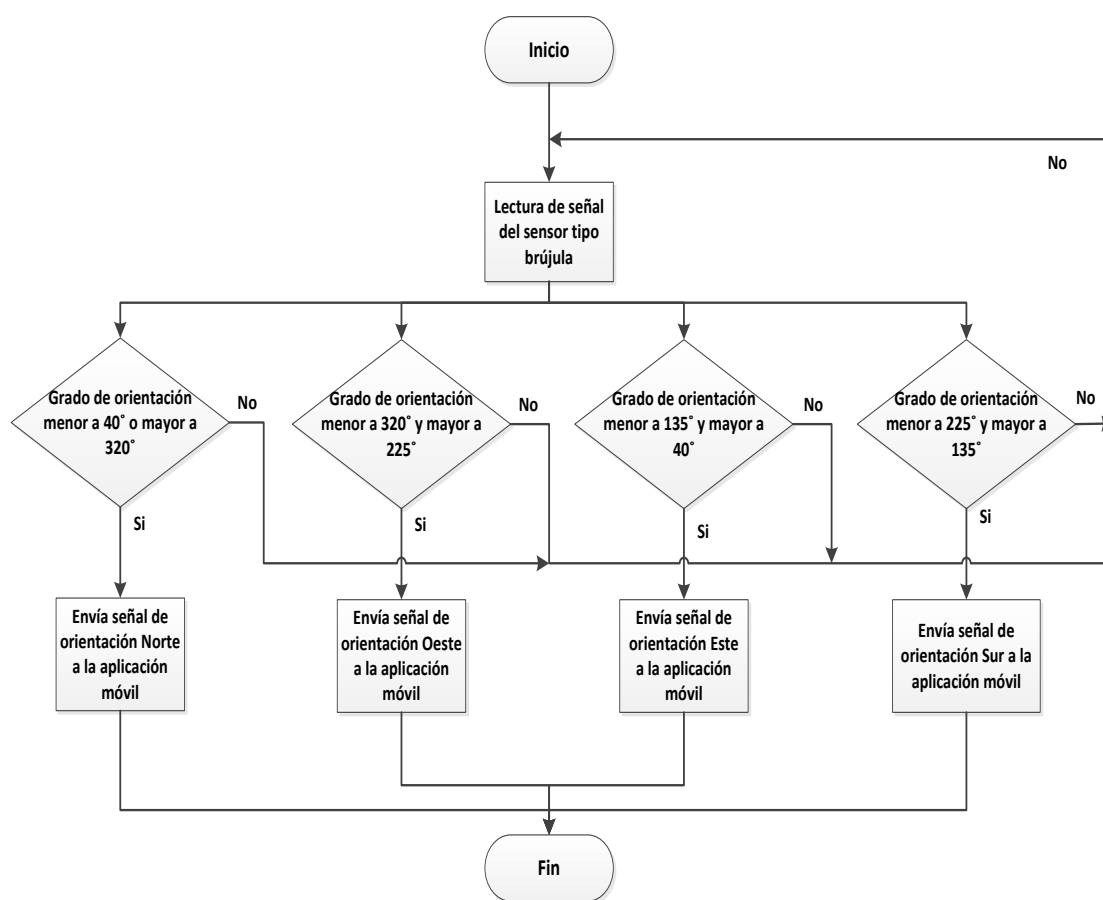


Figura 28. Diagrama de flujo del proceso de orientación

El software de la aplicación móvil consiste en la recepción de las señales provenientes del dispositivo electrónico e interpretación de la información a través de comandos de audio que serán transmitidos al usuario.

Los diagramas de flujo que corresponden al programa de la aplicación móvil se indican a continuación:

En la Figura 29, se muestra el diagrama de flujo del proceso de recepción de las señales correspondientes a los cuatro modos de funcionamiento del dispositivo electrónico.

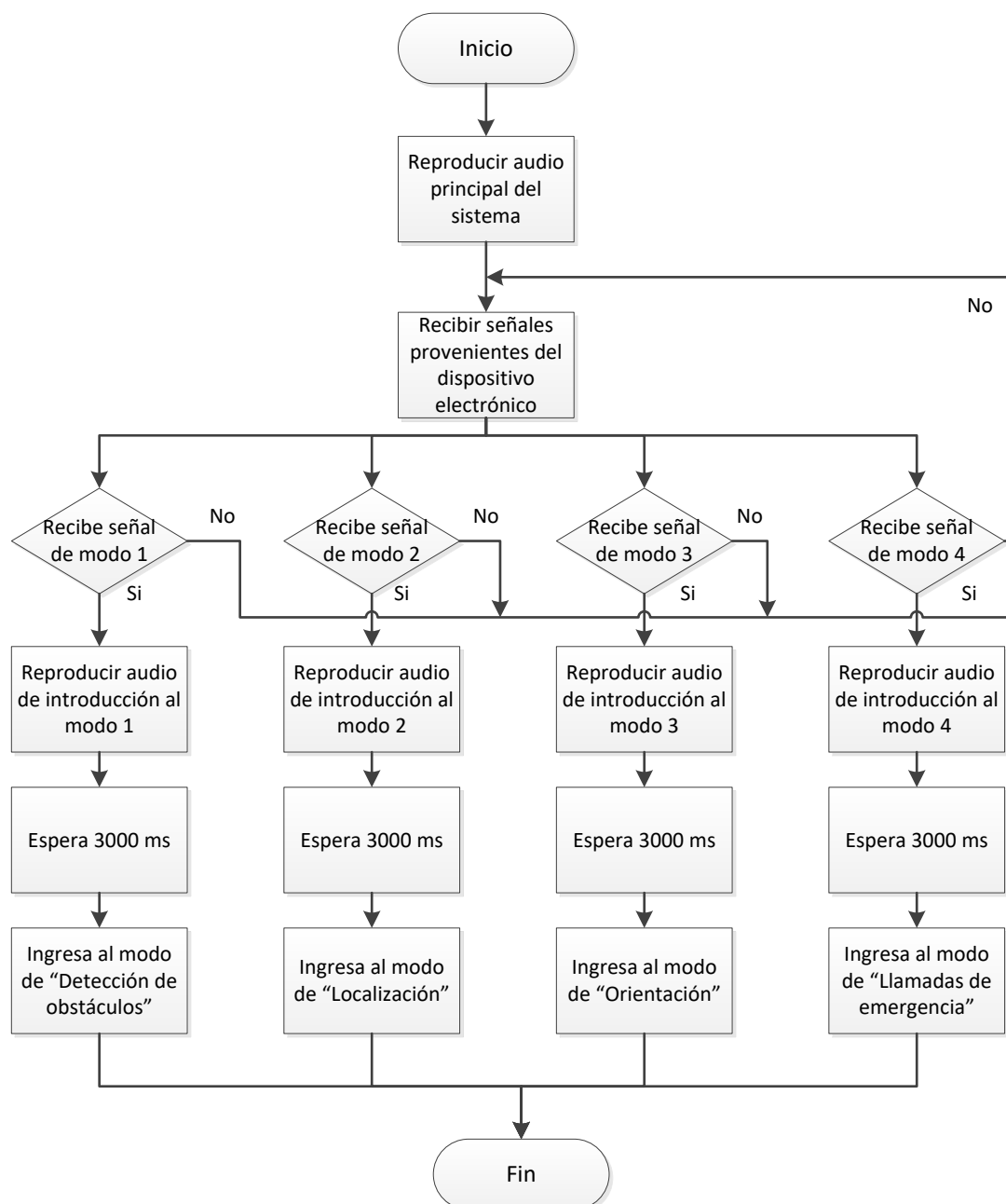


Figura 29. Diagrama de flujo del proceso de recepción de señales de aplicación

En la Figura 30, se muestra el diagrama de flujo del proceso correspondiente a la interpretación de las señales de detección de obstáculos a través de mensajes de audio.

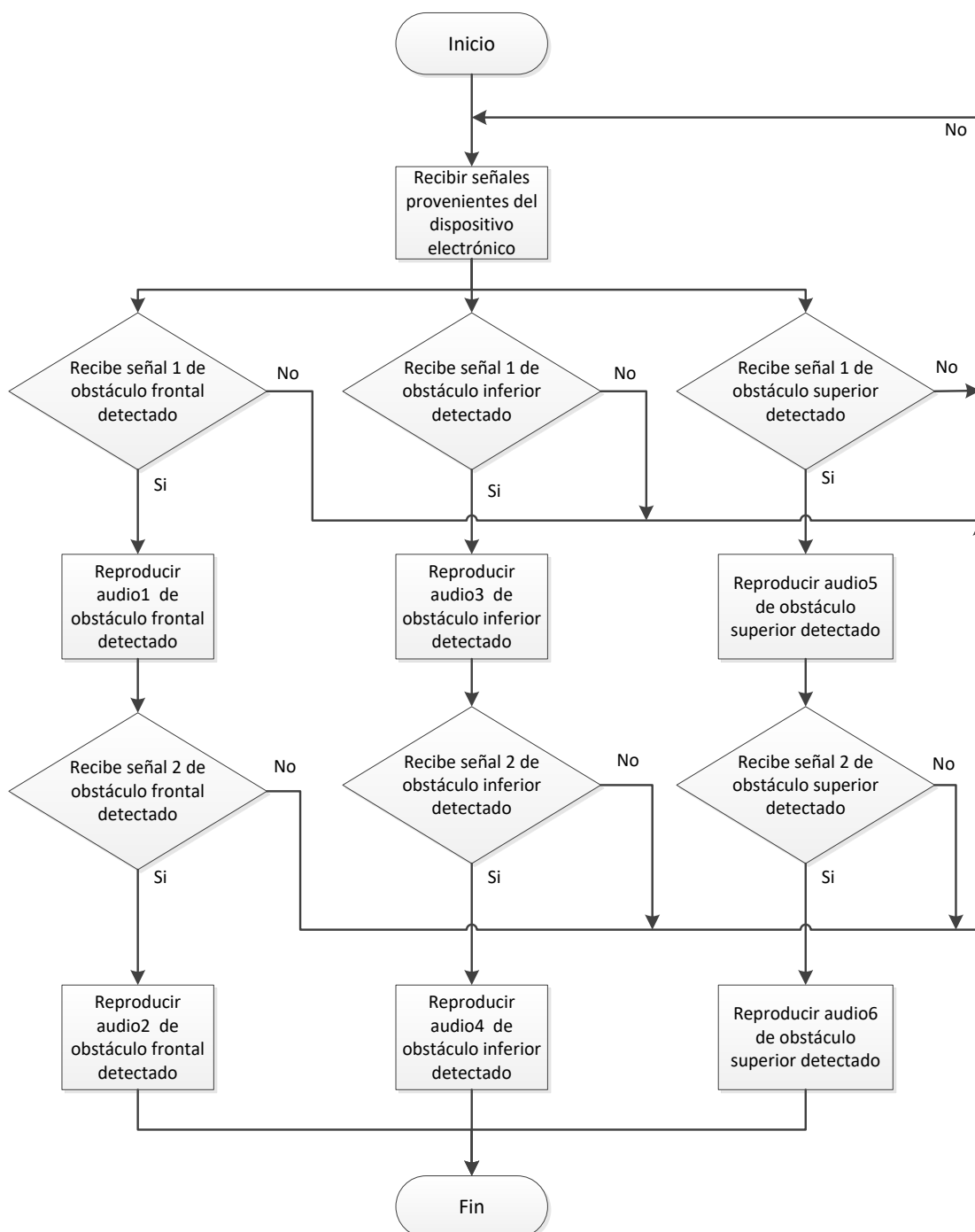


Figura 30. Diagrama de flujo de detección de obstáculos de aplicación

En la Figura 31, se muestra el diagrama de flujo del proceso de localización, en el cual se utiliza el sistema de posicionamiento global (GPS) del teléfono móvil para que el usuario pueda conocer su ubicación actual a través de mensajes de audio.

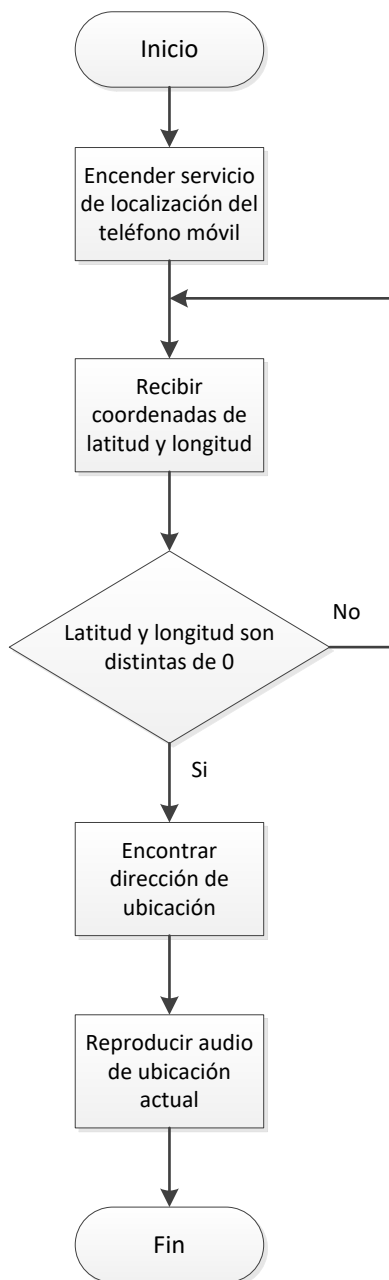


Figura 31. Diagrama de flujo del proceso de localización de la aplicación móvil

En la Figura 32, se muestra el diagrama de flujo del proceso correspondiente a la interpretación de las señales de orientación a través de mensajes de audio.

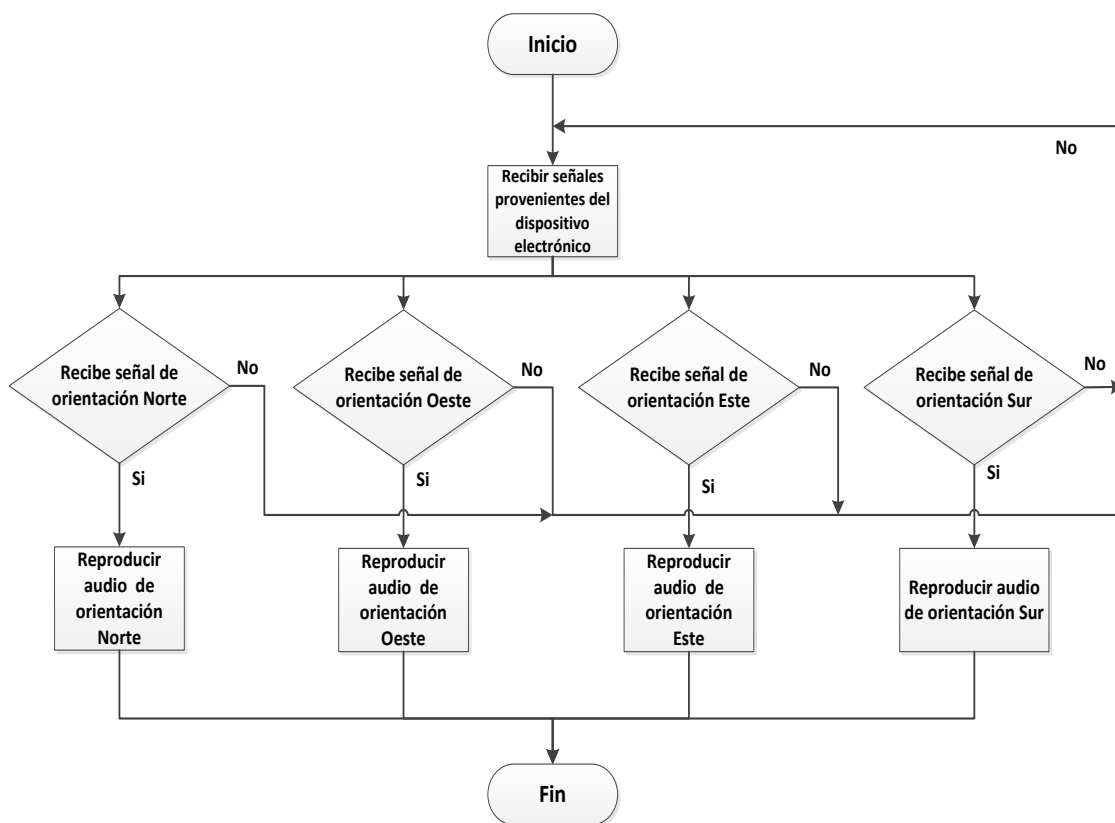


Figura 32. Diagrama de flujo del proceso de orientación de la aplicación móvil

En la Figura 33, se muestra el diagrama de flujo del proceso de llamadas de emergencia, en el cual se brinda asistencia telefónica permitiendo realizar llamadas a un contacto de emergencia registrado en el teléfono móvil.

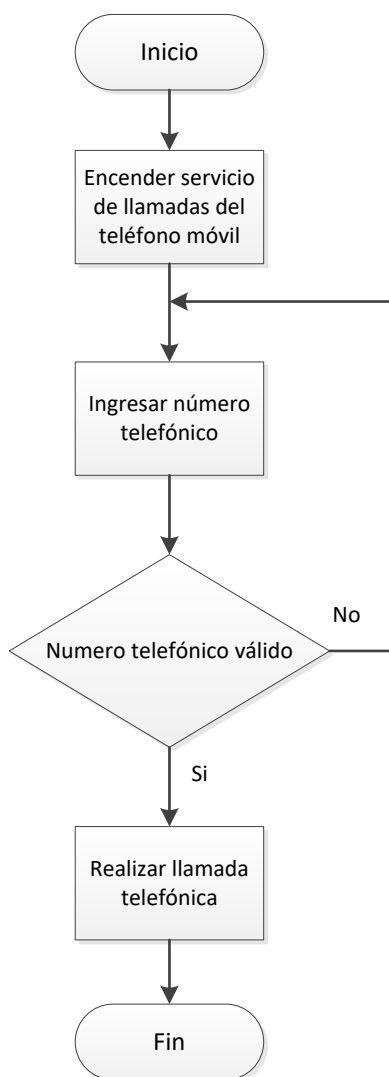


Figura 33. Diagrama de flujo del proceso de llamadas de la aplicación

4.3 Diseño de la aplicación móvil

Con el pasar de los años los teléfonos móviles han adquirido funciones importantes y de gran utilidad para el desarrollo de proyectos tecnológicos, entre ellas encontramos:

- La comunicación de voz, los teléfonos móviles permiten al usuario llamar a contactos registrados y hablar a largas distancias.
- El sistema GPS integrado en los teléfonos móviles emplea una red de 24 satélites que cubren toda la superficie de nuestro planeta, de esta manera

cuenta con una gran precisión al momento de solicitar la ubicación desde cualquier parte del mundo.

- La comunicación Bluetooth permite la transmisión de datos entre diferentes dispositivos de forma inalámbrica mediante un enlace por radiofrecuencia.
- La reproducción multimedia es capaz de mostrar un abanico de contenido audiovisual, de esta manera se busca brindar al usuario un medio de reproducción de información del sistema por medio de mensajes de audio.

Debido a esto se consideró el desarrollo de una aplicación que integre varias funciones del dispositivo móvil, con el fin de brindar al usuario un sistema de gran utilidad para su desplazamiento.

El diseño de la aplicación móvil consiste en el desarrollo de una interfaz gráfica intuitiva, funcional y de aprendizaje sencillo para las personas con discapacidad visual. La interfaz se compone de una pantalla en donde se sitúan distintos elementos como botones, campos de texto y casillas de verificación.

En la Figura 34 se muestra el formato de la pantalla donde se establece la distribución de los elementos con el objetivo de que la persona con discapacidad visual pueda identificar fácilmente su ubicación y tenga la posibilidad de manejar la interfaz de forma independiente.



Figura 34. Formato de pantalla de la aplicación móvil

La aplicación móvil brinda al usuario la posibilidad de conectarse o desconectarse al servicio del sistema del dispositivo electrónico que se encarga de reproducir toda la información por medio de audio. En la Figura 35 se muestra el proceso de funcionamiento de la aplicación móvil.

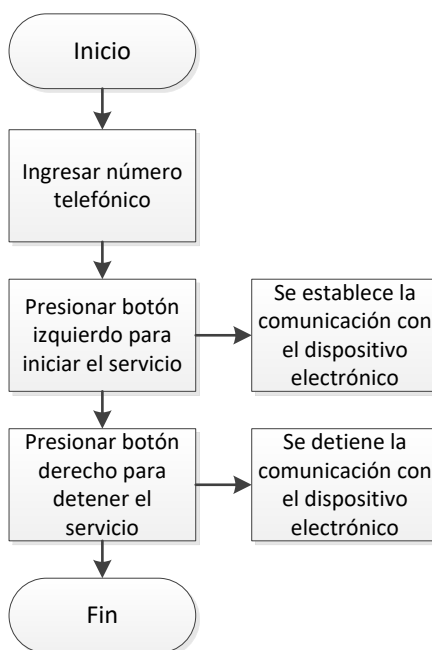


Figura 35. Proceso de funcionamiento de la aplicación móvil

En la Tabla 2 se detallan los mensajes de respuesta del dispositivo en sus distintas funciones.

Tabla 2.
Mensajes de respuesta de las funciones del dispositivo

Función	Mensaje de respuesta
Localización	“Te encuentras en ZZ”
Orientación	“Te diriges hacia el XX”
Llamadas de emergencia	“Realizando llamada telefónica”
Detección de obstáculos	“Obstáculo WW a YY ”
Estado de carga de la batería	“5% de batería”, “Batería descargada”

Donde,

- ZZ: Dirección de ubicación actual
- XX: Orientación actual (norte, sur, este, oeste)
- WW: Ubicación del obstáculo detectado (superior, frontal, inferior)
- YY: Distancia del objeto detectado (un paso, dos pasos)

CAPÍTULO V

5. CONSTRUCCIÓN DEL DISPOSITIVO ELECTRÓNICO

5.1 Introducción

La construcción del dispositivo electrónico consiste en la implementación e integración de todos sus componentes, realizando la fabricación de la carcasa, elaboración de la tarjeta de control, conexión de sensores, acoplamiento del sistema de carga del dispositivo y la implementación de la aplicación móvil.

5.2 Implementación del circuito electrónico de control

La fabricación de la tarjeta de control se basó en la tecnología de circuitos impresos considerando que es un método rápido y brinda muy buenos resultados a bajo costo. Una vez desarrollado el diseño se realizó el siguiente procedimiento:

- 1) Se procedió a imprimir en papel termotransferible con una impresora a laser.
- 2) Se realizó el recorte y limpiado de la placa
- 3) Mediante una plancha se le aplico calor a la placa para el grabado de la fotocopia
- 4) Una vez realizado el planchado se procedió a enfriar la placa y se extrajo el papel que no sirve
- 5) Se colocó a la placa en la mezcla de ácido persulfato sódico y agua para eliminar el cobre inservible de la placa.
- 6) Posteriormente se realizó el enjuague y limpieza de la placa.
- 7) Una vez listo el circuito impreso se perforó la placa para proceder a colocar los distintos componentes.
- 8) Finalmente se soldó los elementos y se realizaron pruebas de continuidad para verificar su correcta conexión.

En la Figura 36 y Figura 37 se muestra el resultado de la placa fabricada.



Figura 36. Vista frontal de la placa de control

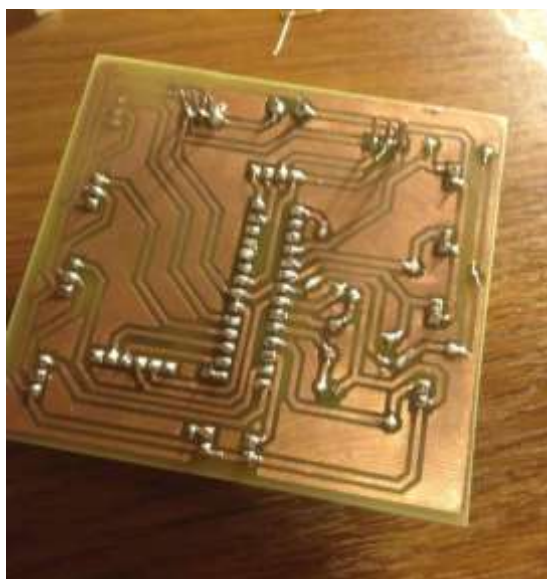


Figura 37. Vista posterior de la placa de control

5.3 Conexión múltiple de sensores LV-MaxSonar-EZ0

Cuando se utiliza un solo sensor ultrasónico, normalmente es posible dejar que varíe continuamente en modo de funcionamiento libre. Este método es fácil y funciona bien.

La operación de funcionamiento libre continuo generalmente no funcionará cuando se utiliza más de un sensor en el mismo sistema. Esto se debe a que los sensores no se encuentran sincronizados entre sí provocando desvíos de frecuencia que probablemente causarán interferencia entre los sensores para la mayoría de las aplicaciones. Además, las salidas digitales tendrán lecturas fantasmas en algunas frecuencias que se producen regularmente.

Es por esta razón que se ha identificado la configuración de conexión de múltiples sensores ultrasónicos utilizando las salidas digitales por Ancho de Pulso que se presenta en la Figura 38.

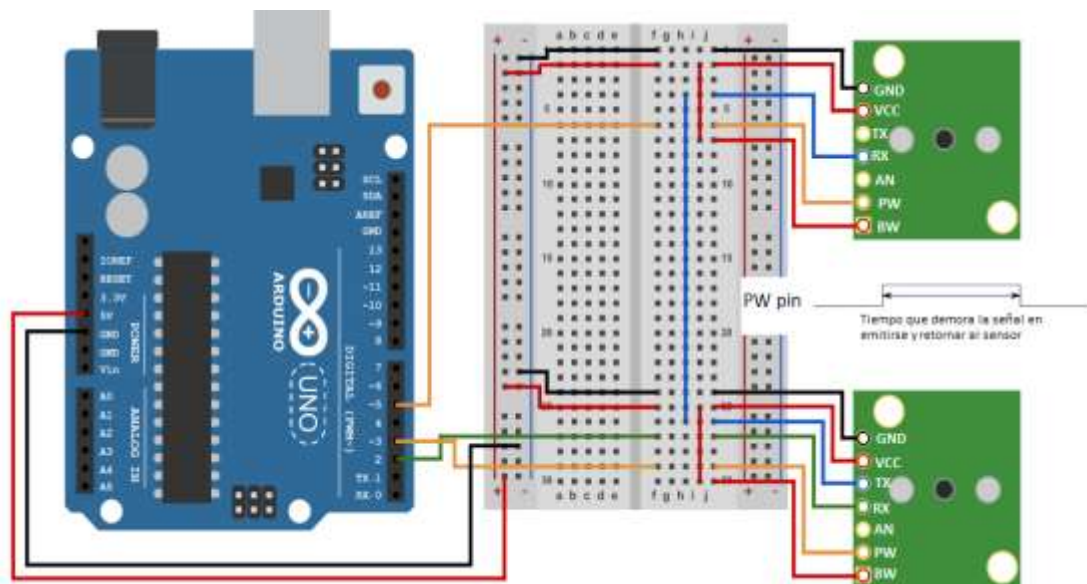


Figura 38. Configuración de conexión de múltiples sensores ultrasónicos

Fuente: (MaxBotix, Using a MaxSonar with an Arduino, 2017)

5.4 Implementación del módulo Bluetooth

El módulo Bluetooth requiere de un procedimiento inicial para su correcto funcionamiento, el cual consiste en su conexión, configuración y programación.

El módulo HC-05 se presenta como un dispositivo configurable de esta manera es posible cambiar parámetros de funcionamiento, como el modo de trabajo, velocidad de transmisión, nombre y código de vinculación, a través de comandos AT.

Para configurar el módulo es necesario realizar las conexiones y enviar los comandos AT desde una computadora por medio del monitor serial del IDE Arduino, para ello se realizó una comunicación indirecta entre la PC y el módulo Bluetooth a través de la tarjeta Arduino.

En la Figura 39 se muestra la conexión realizada entre el módulo Bluetooth y la tarjeta Arduino.

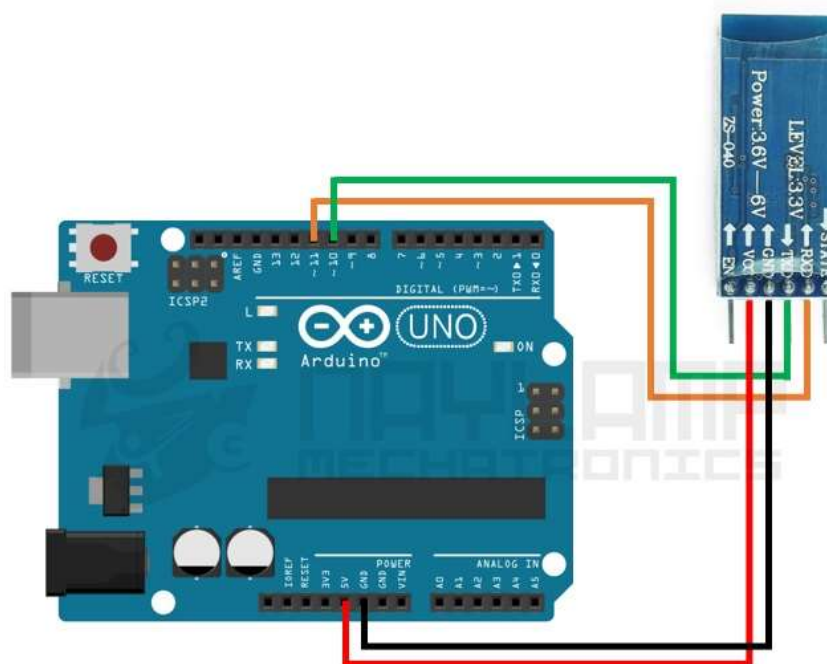


Figura 39. Diagrama de conexión del módulo Bluetooth a la tarjeta Arduino

Fuente: (NAYLAMP, 2016)

Para la comunicación se requiere colocar la alimentación (GND y VCC) y realizar la conexión de los pines de transmisión y recepción serial (TX y RX). Estos pines se deben conectar cruzados, TX Bluetooth con RX de Arduino y RX Bluetooth con TX de Arduino.

Una vez realizada la conexión se debe entrar al modo AT del módulo para el ingreso de los comandos de configuración, después de alimentar el módulo se debe presionar el botón de reset y de esta manera el módulo estará listo para su configuración.

En la Tabla 3 se muestra los comandos AT utilizados para la configuración del módulo Bluetooth.

Tabla 3.
Comandos AT para la configuración del módulo Bluetooth

Comando AT	Descripción	Ejemplo
AT+NAME=<Nombre>	Cambia nombre del módulo HC-05	AT+NAME=AYDDI
AT+PSWD=<Pin>	Cambia código de vinculación del módulo HC-05	AT+PSWD=2560
AT+UART=<Baud>,< StopBit>,< Parity>	Configura la velocidad de comunicación	AT+UART=9600,0,0
AT+ROLE=<Role>	Configura el modo para que trabaje como Maestro (0) o Esclavo (1)	AT+ROLE=0

A continuación se presenta la configuración del módulo Bluetooth realizada para el presente proyecto:

- Modo o role: Esclavo
- Nombre: AYDDI
- Código de emparejamiento: 1234
- La velocidad de transmisión (baud rate): 9600

EL módulo presenta un modo de trabajo como Esclavo, una vez que se encuentra encendido espera que un dispositivo Bluetooth maestro se conecte a él, en este caso el módulo se comunica con un celular que se comporta como el dispositivo maestro.

Una vez realizada la configuración del módulo se puede establecer la comunicación con el dispositivo Bluetooth maestro para realizar la transmisión de datos.

La comunicación Bluetooth fue implementada con el objetivo de enviar información de los diferentes sensores y mandos del dispositivo electrónico al teléfono móvil para su posterior interpretación. El envío de datos es posible realizarlo

a través de la librería “SoftwareSerial.h” que permite la comunicación serial del Arduino mediante diferentes funciones y parámetros.

A continuación se muestra la programación desarrollada para el envío de datos.

```
#include<SoftwareSerial.h>

SoftwareSerial btSerial(11, 12);

void setup()
{
  btSerial.begin(9600);
}

void loop()
{
  btSerial.write("f"); // envía carácter "f"
}
```

En la Tabla 4 se describen las funciones utilizadas en el programa.

Tabla 4.
Funciones para enviar datos por Bluetooth

Función	Descripción	Parámetros
SoftwareSerial(rxPin, txPin)	SoftwareSerial se utiliza para crear una instancia de un objeto SoftwareSerial	rxPin: el pin en que se desea recibir datos serie TxPin: el pin en el que se transmiten los datos
mySerial.begin(speed)	Configura la velocidad (baudios) para la comunicación serie. Las velocidades de transmisión admitidas son 300, 600, 1200, 2400, 4800, 9600, 14400, 19200, 28800, 31250, 38400, 57600 y 115200.	speed: la velocidad de transmisión (long)
mySerial.write(Data)	Envía carácter por el puerto serie como bytes en bruto.	Data: carácter a enviar

5.5 Implementación de la carcasa del dispositivo

La implementación de la carcasa del dispositivo se realizó en base a la tecnología de impresión 3D que hoy en día es considerada como una revolución tecnológica y está adquiriendo cada vez más relevancia en distintos proyectos a nivel industrial.

Para el presente proyecto se consideró a la impresión 3D como el método de manufactura debido a que aporta con numerosos beneficios tales como:

- Facilidad en la elaboración de prototipos
- Bajo costo de manufactura
- Flexibilidad para la fabricación de cualquier tipo de pieza
- Prototipado rápido
- Personalización de diseños

Además esta tecnología brinda una gran variedad de materiales de fabricación aditiva que son resistentes y de gran rendimiento como ABS, PLA, PET, etc.

Para la elaboración de la carcasa se utilizó el material PLA (ácido poliláctico) que es uno de los filamentos de termoplástico más utilizados en la impresión 3D, es biodegradable y normalmente se obtiene del almidón de maíz, la textura de las piezas es más resistente en comparación de otros materiales, es brillante y su impresión es más precisa. La densidad del material se encuentra entre 1,2 y 1,4 g/cm³ y su impresión debe realizarse a una temperatura de 210°C.

La carcasa se fabricó tomando en cuenta características de funcionalidad y estética acondicionándola con las cavidades para el montaje de la botonera de accionamiento, los sensores de proximidad, el switch de encendido/apagado y el puerto de carga USB.

En la Figura 40, Figura 41 y Figura 42 se muestran las impresiones 3D de las piezas que conforman la carcasa del dispositivo electrónico.



Figura 40. Impresión 3D de la carcasa frontal



Figura 41. Impresión 3D de la tapa



Figura 42. Impresión 3D de la base de soporte

El montaje de la base de soporte se la realizó en un chaleco con la finalidad de que el usuario pueda portar cómodamente el dispositivo electrónico al momento de desplazarse. En la Figura 43 se muestra la instalación del dispositivo en el chaleco.



Figura 43. Instalación del dispositivo en el chaleco

Adicionalmente el chaleco cuenta con un compartimiento para que el usuario pueda transportar el teléfono móvil.

5.6 Sistema de carga del dispositivo electrónico

La implementación del sistema de carga se llevó a cabo mediante la integración de la batería LIPO, el switch de encendido/apagado y la placa USB de carga que forman parte del dispositivo electrónico, la batería se encuentra instalada en la parte interior mientras que el switch y la placa USB se montaron en las cavidades laterales del dispositivo como se muestra en la Figura 44 y Figura 45.

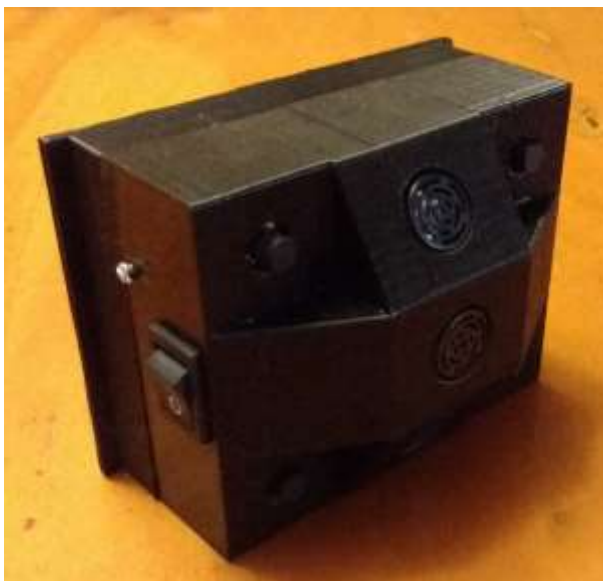


Figura 44. Montaje del switch en la parte lateral izquierda del dispositivo

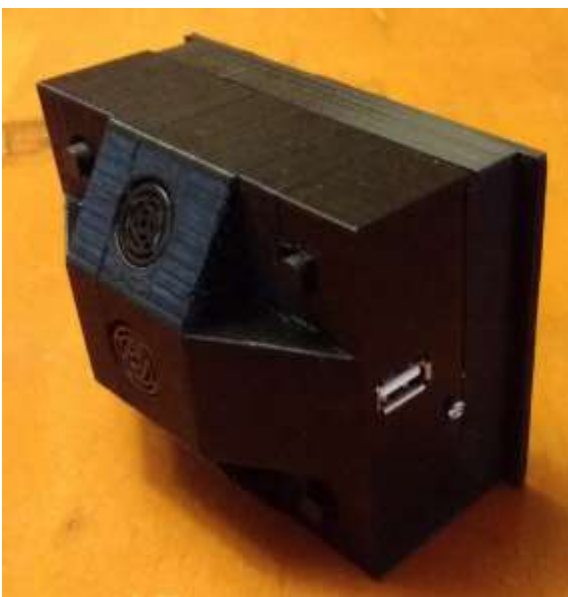


Figura 45. Montaje de la placa USB en la parte lateral derecha del dispositivo

El sistema cuenta con un balanceador que se ocupa de cargar cada una de las celdas de la batería de forma independiente lo que es fundamental para cuidar la batería y brindar una carga segura. El cargador de pared tiene una entrada AC 110V-240V a 50/60Hz y su salida es DC 10V a 800mA. En la Figura 46 se muestra el cargador de pared y balanceador conectados al dispositivo electrónico.



Figura 46. Cargador de pared y balanceador conectados al dispositivo electrónico.

Al finalizar la implementación del sistema de carga se comprobó que el dispositivo electrónico posee una alta duración de uso continuo de 15 horas aproximadamente y el tiempo de carga es de 50 minutos.

Además el dispositivo cuenta con mensajes de alerta acerca del estado de carga de la batería permitiendo al usuario conocer cuando éste necesita ser cargado.

5.7 Implementación de la aplicación móvil

La implementación de la aplicación móvil se la realizó mediante el software Eclipse-Java que es un entorno poderoso para el desarrollo de distintas aplicaciones en Android.

Android es un entorno operativo de código abierto dirigido a los dispositivos móviles. Lo que lo hace diferente es que se basa en Linux, que es un núcleo de sistema operativo multiplataforma, libre y gratuito. El sistema brinda las interfaces necesarias para el desarrollo de aplicaciones que controlen funciones del teléfono, como el Bluetooth, GPS, llamadas, etc, de una manera sencilla en un lenguaje de programación muy conocido como es Java.

Existen cuatro tipos principales de aplicaciones Android que son:

- 1) **Actividad:** Presenta la interfaz de usuario (UI) a una aplicación, junto con la asistencia de la clase vista. Esta clase es implementada con varios elementos UI, tales como etiquetas, campos de texto, botones, etc.
- 2) **Servicios:** Es una aplicación Android que no tiene interfaz de usuario y se encarga de ejecutar varios procesos de tareas "en el fondo".
- 3) **Receptores:** Es un componente de la aplicación que se encarga de recibir solicitudes para procesar las intenciones, no posee un interfaz de usuario y típicamente se encuentran registrados en el archivo `AndroidManifest.xml`.
- 4) **ContentProvider:** Es el mecanismo de Android para la abstracción del almacenamiento de datos.

La aplicación móvil desarrollada en el presente proyecto es una combinación de dos tipos de clases que son: una Actividad y un Servicio.

La Actividad es la clase principal de la aplicación y presenta una interfaz gráfica que permitirá al usuario la ejecución del Servicio. Para el desarrollo de la interfaz se tomó como referencia el diseño realizado en el apartado titulado “Diseño de la aplicación móvil” del Capítulo IV del presente documento. En la Figura 47 se muestra la interfaz gráfica implementada.



Figura 47. Interfaz gráfica de la aplicación móvil

La interfaz gráfica se encuentra compuesta por varios elementos que brindan funcionalidad en el sistema de la aplicación móvil. Entre los principales elementos se encuentra un cuadro de texto que permite ingresar el número telefónico del contacto de emergencia, un checkbox y dos botones que permiten iniciar y detener el servicio de conexión al dispositivo electrónico cuando el usuario lo requiera.

La clase Actividad se compone de métodos y objetos que permiten ejecutar distintas tareas al momento de que el usuario interactúa con la interfaz gráfica.

La interfaz de usuario para la actividad se proporcionó mediante una jerarquía de vistas, que son objetos derivados de la clase View. Cada vista controla un elemento específico dentro de la ventana de la actividad y responde a la interacción del usuario. Las vistas que se implementaron en la aplicación son los “widgets” que proporcionan elementos visuales e interactivos para la pantalla, a continuación se muestran las librerías de los widgets utilizados:

```
import android.widget.Button;  
import android.widget.CheckBox;  
import android.widget.EditText;
```

En la clase Actividad se implementó el método callback “onCreate()”, este método es invocado por el sistema cuando la actividad es creada o ejecutada. Dentro del método se inicializaron los componentes fundamentales de la actividad y se llamó al método setContentView() que permite definir el diseño de la interfaz de usuario de la actividad, como se muestra a continuación:

```
protected void onCreate(Bundle savedInstanceState) {
    super.onCreate(savedInstanceState);

    setContentView(R.layout.activity_vision);

    EditText et=(EditText) findViewById(R.id.et);
    CheckBox cb=(CheckBox) findViewById(R.id.checkBox1);
    Button arrancar = (Button) findViewById(R.id.boton_arrancar);
    Button detener = (Button) findViewById(R.id.boton_detener);
}
```

Los botones son los elementos con los cuales el usuario debe interactuar para arrancar y detener el Servicio, por lo que se estableció el método setOnClickListener() que detecta y especifica una acción cuando el usuario presiona el botón. Al momento de detectar el clic en el botón “Iniciar Servicio” se invoca la clase Servicio a través de un objeto Intent “i” y se ejecuta el Servicio por medio del método startService(i). Y al momento de detectar el clic en el botón “Detener Servicio” se destruye la ejecución del Servicio a través del método stopService(i), como se muestra a continuación:

```
arrancar.setOnClickListener(new OnClickListener() {
    public void onClick(View view) {

        Intent i =new Intent(Vision.this, ServicioVision.class);
        startService(i);
    }
});

detener.setOnClickListener(new OnClickListener() {
    public void onClick(View view) {
        stopService(i);
    }
});
```

El Servicio es el componente de la aplicación que realiza operaciones de larga ejecución en segundo plano de varios procesos de tareas relacionadas con el acceso a

las funciones del teléfono móvil, como la comunicación Bluetooth, el servicio GPS, las llamadas telefónicas y la reproducción de multimedia.

Para la implementación del Servicio en la aplicación se tomó en cuenta el ciclo de vida que se muestra en la Figura 48.

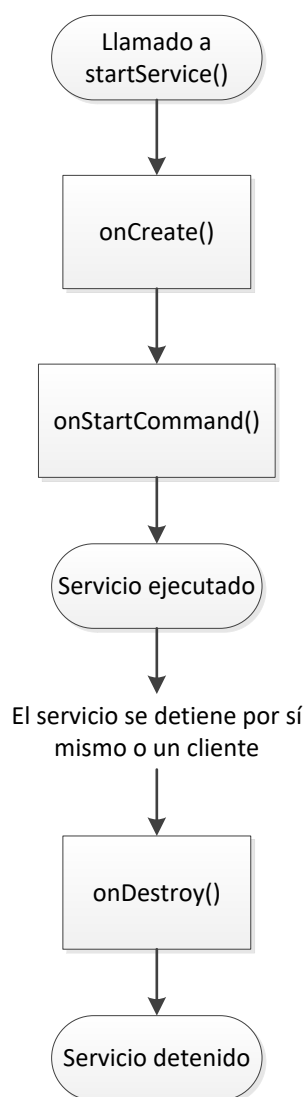


Figura 48. Ciclo de vida del servicio

Al igual que la clase Actividad el Servicio tiene algunos métodos que controlan el flujo y manejan aspectos fundamentales del ciclo de vida, entre ellos se encuentran:

- `startService()`, este método permite el inicio del servicio.

- onCreate(), el sistema llama a este método cuando se crea el servicio por primera vez, para realizar los procedimientos iniciales de configuración.
- onStartCommand(), este método es llamado cuando la actividad solicita que se inicie el servicio a través del método startService(). Una vez que se ejecuta este método, el servicio se inicia y se puede ejecutar en segundo plano de manera indefinida hasta que se decida detener el servicio.
- onDestroy(), el sistema llama a este método a través de la función stopService() de la actividad una vez que se necesite destruir el servicio.

A continuación se muestran los métodos Callback implementados en el servicio:

```
public class ServicioVision extends Service {
    @Override
    public void onCreate() {
        // El servicio se está creando
    }

    @Override
    public int onStartCommand(Intent intent, int flags, int
    idArranque) {
        // El servicio se inicia, debido a una llamada a
        startService()
        return START_NOT_STICKY;
    }

    @Override
    public void onDestroy() {
        // El servicio ya no se utiliza y está siendo destruido
    }
}
```

El Servicio se encarga de ejecutar varios procesos de tareas relacionadas con el acceso a las funciones del teléfono móvil, como la comunicación Bluetooth, el servicio GPS, las llamadas telefónicas y la reproducción de multimedia.

La implementación de la comunicación Bluetooth en la aplicación se llevó a cabo mediante las librerías de Android Bluetooth que permiten que el dispositivo móvil intercambie datos de manera inalámbrica con el dispositivo electrónico. A continuación se muestran las librerías utilizadas:

```
import android.bluetooth.BluetoothAdapter;
import android.bluetooth.BluetoothSocket;
import android.bluetooth.BluetoothDevice;
```

A fin de inicializar la conexión con el dispositivo electrónico, primero se obtuvo un objeto `BluetoothDevice` mediante el método `getRemoteDevice()` que permite realizar la búsqueda del dispositivo electrónico a través de la dirección MAC perteneciente al módulo Bluetooth, como se muestra a continuación:

```
private BluetoothAdapter btAdapter = null;
private static String MAC = "98:D3:31:20:6E:FE";
BluetoothDevice device = btAdapter.getRemoteDevice(MAC);
```

Se utilizó el objeto `BluetoothDevice` para obtener un objeto `BluetoothSocket`, que representa la interfaz de un socket de Bluetooth, para ello se llama al método `createRfcommSocketToServiceRecord(UUID)`, el identificador `UUID` debe coincidir con el `UUID` empleado por el dispositivo del servidor, como se muestra a continuación:

```
private static final UUID MY_UUID = UUID.fromString("00001101-0000-
1000-8000-00805F9B34FB");
device.createRfcommSocketToServiceRecord(MY_UUID);
```

Posteriormente se crea el socket Bluetooth mediante el método `createBluetoothSocket(device)` y se realiza la llamada al método `connect()` para inicializar la conexión.

```
try {
    btSocket = createBluetoothSocket(device);
} catch (IOException e) {
    errorExit(" Error Fatal", "fallo al crear" + e.getMessage() + ".");
}

try {
    btSocket.connect();
} catch (IOException e) {
    try {
        btSocket.close();
    } catch (IOException e2) {
        errorExit(" Error Fatal", "In onResume() and unable to close socket
during connection failure" + e2.getMessage() + ".");
    }
}
```

Una vez realizada la conexión con éxito se puede transferir datos mediante la implementación de un hilo “Handler()” y se realiza la lectura de caracteres a través de los siguientes métodos:

- (byte[]) msg.obj: Recibe los bytes del mensaje
- String(readBuf, 0, msg.arg1): Crear un String para recibir los caracteres del Bluetooth
- sb.append(strIncom): Concatena los caracteres del mensaje
- sb.indexOf("\r\n"): Determina el final del mensaje
- sb.substring(0, endOfLineIndex): Determina la cadena de caracteres completa

A continuación se muestra el hilo de lectura de caracteres implementado:

```

h = new Handler() {
    public void handleMessage(android.os.Message msg) {
        switch (msg.what) {
            case RECIEVE_MESSAGE:
                byte[] readBuf = (byte[]) msg.obj;
                String strIncom = new String(readBuf, 0, msg.arg1);
                sb.append(strIncom);
                int endOfLineIndex = sb.indexOf("\r\n");

                if (endOfLineIndex > 0) {
                    sbprint = sb.substring(0, endOfLineIndex);
                    sb.delete(0, sb.length());
                }
                break;
            }
        };
    };

```

La implementación del servicio GPS se realizó mediante las librerías de localización de Android que permiten conocer la ubicación del usuario a través de la detección de coordenadas geográficas. Entre las principales librerías se encuentran las siguientes:

```

import android.location.Geocoder;
import android.location.Location;

```

La detección de las coordenadas geográficas se realizó mediante el uso del método público “onLocationChanged()”, este método es llamado cuando la localización del dispositivo móvil cambia, y las funciones de “getLatitude()” y “getLongitude()” brindan los parámetros de longitud y latitud, como se muestra a continuación:

```
public void onLocationChanged(Location location) {
    currentLat = location.getLatitude();
    currentLon = location.getLongitude();
}
```

Una vez encontradas las coordenadas geográficas se utilizó funciones de geolocalización para conocer la dirección de la ubicación actual. La función “getFromLocation(long,lat,1)” brinda una cadena de caracteres con el nombre de calles más cercanas a la ubicación actual.

```
Geocoder geocoder = new Geocoder(this, Locale.getDefault());
int max=1;
List<android.location.Address>list=geocoder.getFromLocation(getLatitude(),getLongitude(),max);
```

El sistema de llamadas telefónicas se implementó mediante la ejecución de Intents que permiten invocar al componente de llamadas, para ello se utilizó la función “setData(Uri.parse(tel))” que actualiza el número telefónico en un objeto “Uri” y la función “startActivity(callIntent)” que se encarga de ejecutar el Intent para realizar la llamada telefónica, como se muestra a continuación:

```
callIntent = new Intent(Intent.ACTION_CALL);
callIntent.setData(Uri.parse("tel:"+tel));
this.startActivity(callIntent);
```

La instalación de la aplicación requiere de la activación de permisos de acceso a las funciones de teléfono y ubicación para su correcto funcionamiento como se presenta en la Figura 49.



Figura 49. Activación de permisos de la aplicación móvil

5.7.1 Conexión de la aplicación móvil con el dispositivo electrónico

Para establecer la comunicación de la aplicación móvil con el dispositivo electrónico, primero se debe activar el switch de encendido del dispositivo con la finalidad de que el módulo Bluetooth se encuentre habilitado para la conexión.

Posteriormente se debe ingresar a la aplicación móvil. En la Figura 50 se presenta el ícono de la aplicación.

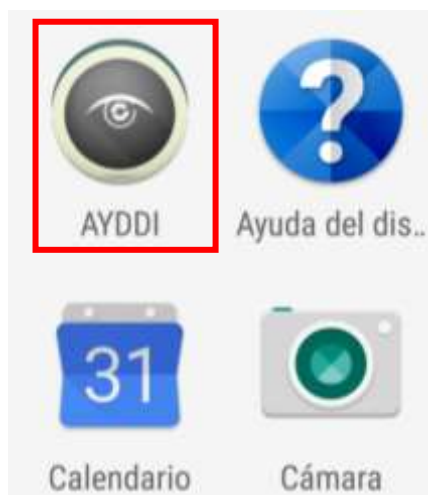


Figura 50. Ícono de la aplicación móvil

Una vez que se ha ingresado a la aplicación se debe insertar el número telefónico del contacto de emergencia y presionar el botón “Iniciar servicio”, en el caso de que el servicio de Bluetooth del teléfono móvil se encuentre habilitado se reproducirá el audio de conexión al sistema y se iniciará la comunicación con el dispositivo, caso contrario aparecerá un mensaje para la activación del servicio de Bluetooth como se presenta en la Figura 51.



Figura 51. Mensaje para la activación del servicio de Bluetooth

De esta manera la aplicación se conectará con el dispositivo electrónico y estará operativa para la reproducción de las alertas de audio cada vez que el usuario presione los pulsadores de la botonera de accionamiento.

En el caso de que el usuario quiera interrumpir la conexión deberá presionar el botón “Detener servicio” o cerrar la aplicación móvil.

CAPÍTULO VI

6. PRUEBAS Y RESULTADOS

6.1 Pruebas de funcionamiento

Las pruebas se desarrollaron con la finalidad de conocer el funcionamiento del dispositivo en el desplazamiento de las personas con discapacidad visual y de esta manera determinar los efectos del uso del dispositivo generados en el usuario.

Las pruebas se realizaron a través de una metodología dinámica la cual constó de tres fases:

- Primera fase - Capacitación para el uso del dispositivo
- Segunda fase - Pruebas en un entorno real
- Tercera fase - Encuesta a la persona con discapacidad visual

Las pruebas de funcionamiento del dispositivo se realizaron con la colaboración del Sr. Santiago Ruiz, paciente del Centro de Rehabilitación Médico Integral I, ubicado en la parroquia Conocoto, quien posee discapacidad visual total en sus dos ojos.

En la primera fase, se dio a conocer al usuario el dispositivo a través de una capacitación, la cual tuvo la finalidad de enseñar el uso y las diferentes funciones que posee el sistema del dispositivo como se muestra en las Figuras 52 y 53.



Figura 52. Capacitación del dispositivo a la persona con discapacidad visual



Figura 53. Reconocimiento de la posición de botones y sensores

Posteriormente en la segunda fase se realizaron las pruebas de funcionamiento en un entorno real con obstáculos tales como gradas, postes, sillas, árboles, letreros y

autos estacionados, como se ilustra en las Figuras 54 y 55. Esta fase se realizó en tres sesiones en las cuales se corrigió las configuraciones de funcionamiento para lograr una operación óptima del sistema.



Figura 54. Detección de obstáculo frontal en el desplazamiento



Figura 55. Detección de obstáculo inferior en el desplazamiento

En las pruebas de funcionamiento se realizó la adquisición de datos proporcionados por los distintos sensores ultrasónicos al momento del desplazamiento del usuario. Se tomó un tiempo de muestreo de 0.5 segundos.

En la Figura 56 se presenta el muestreo de datos correspondiente a los tres sensores ultrasónicos al momento de que el usuario camina hacia una pared. El mensaje del sensor frontal “SF” representa la detección del obstáculo frontal a dos pasos.

```
SensorFrontal:124...SensorInferior:127....SensorSuperior:149
SensorFrontal:124...SensorInferior:127....SensorSuperior:149
SensorFrontal:96...SensorInferior:96....SensorSuperior:129
SensorFrontal:91...SensorInferior:91....SensorSuperior:139
****SF
SensorFrontal:91...SensorInferior:91....SensorSuperior:99
```

Figura 56. Adquisición de datos de sensores en la detección de obstáculo frontal

En la Figura 57 se presenta el muestreo de datos correspondiente a los tres sensores ultrasónicos al momento de que el usuario camina hacia una silla. El mensaje del sensor inferior “SI” representa la detección del obstáculo inferior a dos pasos.

```
SensorFrontal:124...SensorInferior:127....SensorSuperior:129
SensorFrontal:139...SensorInferior:129....SensorSuperior:142
SensorFrontal:124...SensorInferior:127....SensorSuperior:147
SensorFrontal:137...SensorInferior:127....SensorSuperior:157
SensorFrontal:121...SensorInferior:109....SensorSuperior:134
SensorFrontal:114...SensorInferior:106....SensorSuperior:139
****SI
```

Figura 57. Adquisición de datos de sensores en la detección de obstáculo inferior

En la Figura 58 se presenta el muestreo de datos correspondiente a los tres sensores ultrasónicos al momento de que el usuario se camina hacia un letrero. El mensaje del sensor superior “Ss” representa la detección del obstáculo superior a dos pasos.

```
SensorFrontal:124...SensorInferior:127....SensorSuperior:137  
SensorFrontal:124...SensorInferior:127....SensorSuperior:149  
SensorFrontal:124...SensorInferior:129....SensorSuperior:185  
SensorFrontal:124...SensorInferior:129....SensorSuperior:104  
SensorFrontal:124...SensorInferior:129....SensorSuperior:55  
SensorFrontal:149...SensorInferior:127....SensorSuperior:55  
****Ss
```

Figura 58. Adquisición de datos de sensores en la detección de obstáculo superior

De la misma manera se realizó la adquisición de datos proporcionados por el sensor tipo brújula digital como se muestra en la Figura 59. Al momento de solicitar la orientación se tomaron 4 muestras para validar el ángulo final en el que se encuentra el usuario respecto al polo norte. La variable “mag” representa al vector que contiene los valores de las tres componentes cartesianas (X, Y, Z) y la variable “Grados” representa el ángulo resultante en grados, posteriormente se muestra los mensajes Norte, Sur, Este u Oeste que indican la dirección en la que se dirige el usuario. Se tomó un tiempo de muestreo de 0,5 segundos.

Orinetacion					
0	mag:	109	22	-188	Grados: 11.41
1	mag:	105	123	-162	Grados: 49.51
2	mag:	145	92	-142	Grados: 32.39
3	mag:	148	96	-140	Grados: 32.97
**Norte					
Orinetacion					
0	mag:	149	97	-140	Grados: 33.06
1	mag:	-78	206	-108	Grados: 110.74
2	mag:	-80	208	-109	Grados: 111.04
3	mag:	-77	208	-108	Grados: 110.31
**Este					
Orinetacion					
0	mag:	-76	208	-108	Grados: 110.07
1	mag:	-321	-143	22	Grados: 204.01
2	mag:	-324	-140	22	Grados: 203.37
3	mag:	-324	-138	23	Grados: 203.07
**Sur					
Orinetacion					
0	mag:	-325	-138	24	Grados: 203.01
1	mag:	-58	-318	76	Grados: 259.66
2	mag:	-57	-318	75	Grados: 259.84
3	mag:	-58	-317	73	Grados: 259.63
**Oeste					

Figura 59. Adquisición de datos de sensores tipo brújula digital

El modo de funcionamiento de localización del dispositivo se evaluó en distintas ubicaciones con la finalidad de validar la información proporcionada por el sistema. En la Figura 60 se muestra los datos obtenidos del sistema GPS al momento de solicitar la localización del usuario, se detalla una información muy precisa acerca del país, ciudad, provincia, zona, nombre de calles y código postal respecto a la ubicación actual del usuario que se indica en la Figura 61.

```

21698 21698      c... vision      ...GPS Encendido...
21698 21698      c... vision      ...Pais...Ecuador
21698 21698      c... vision      ...Locale...Pichincha
21698 21698      c... vision      ...Ciudad...Quito
21698 21698      c... vision      ...SubCiudad...Luluncoto
21698 21698      c... vision      ...Direccion...Tungas, Quito EC170145, Ecuador
21698 21698      c... vision      ...SubArea...Distrito Metropolitano de Quito

```

Figura 60. Datos obtenidos del sistema GPS

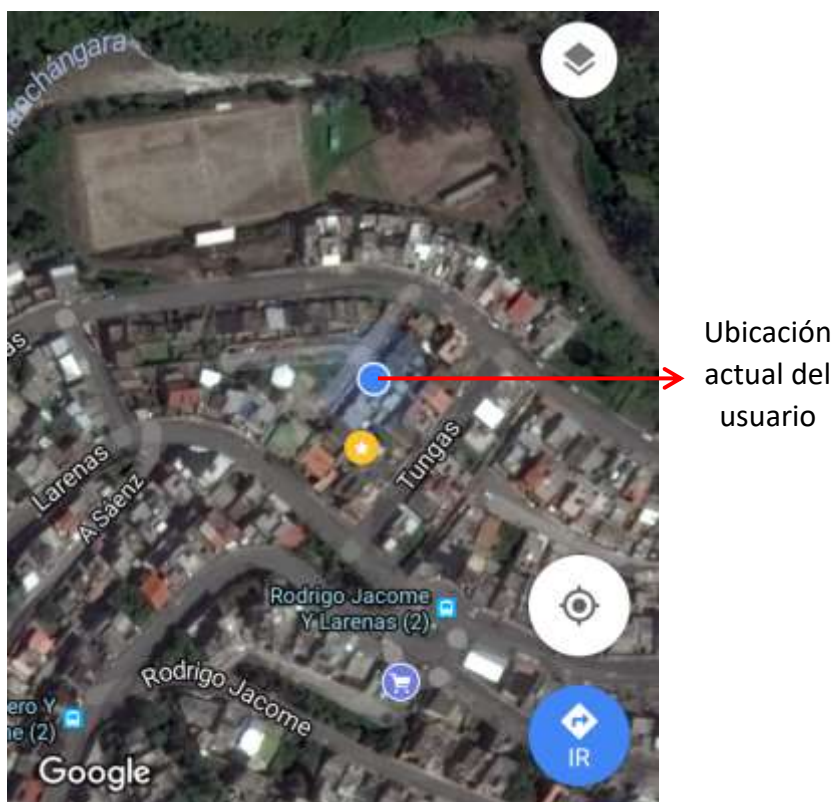


Figura 61. Ubicación actual del usuario al momento de las pruebas de localización

En la Figura 62 se muestran los datos obtenidos de la aplicación móvil al momento de realizar la comunicación Bluetooth entre el teléfono móvil y el dispositivo electrónico.

```

17224 17224      c... vision
17224 17224      c... vision
17224 17224      c... BluetoothAdapter
17224 17224      c... vision

```

```

...onResume - tratando de conectar...
...Conectando...
getBluetoothService() called with no
....Conexion ok...

```

Figura 62. Datos obtenidos de la aplicación móvil en comunicación Bluetooth

Finalmente en la tercera fase se realizó una encuesta a la persona con discapacidad visual con la finalidad de obtener comentarios acerca del funcionamiento del dispositivo. El cuestionario se compone de las siguientes preguntas:

- ¿Considera que el dispositivo es cómodo al momento de su desplazamiento?

Respuesta: Sí, el dispositivo es pequeño y liviano.

- ¿El dispositivo brindó seguridad en la detección de obstáculos al momento de su desplazamiento?

Respuesta: Sí, el dispositivo detectó obstáculos al momento de desplazarme, por lo que pude evitar choques indeseados.

- ¿Le fue fácil el manejo del dispositivo?

Respuesta: Sí, fue fácil el aprendizaje de operación del dispositivo a través de la botonera de accionamiento.

- ¿Considera que las funciones del dispositivo son necesarias para su desplazamiento?

Respuesta: Las funciones que brinda el sistema son de mucha ayuda para el desplazamiento en cualquier parte de la ciudad.

- ¿Qué opina de las alertas de audio que proporciona el sistema?

Respuesta: Los mensajes del sistema son muy claros en cuanto a la información que se solicita en las distintas funciones.

A través de las respuestas proporcionadas por el usuario y las pruebas se validó al dispositivo como una herramienta útil y funcional para el desplazamiento de la persona con discapacidad visual.

6.2 Análisis de Resultados

El análisis de resultados fue realizado a partir de las opiniones proporcionadas por la persona con discapacidad visual y el funcionamiento del dispositivo electrónico.

6.2.1 Resultados de la detección de obstáculos

En la Tabla 5 se muestra la distancia de detección de distintos obstáculos presentes en el trayecto del usuario.

Tabla 5.
Distancias de detección de obstáculos

Tipo de obstáculo	Sensor frontal - Distancia de detección (cm)	Sensor inferior- Distancia de detección (cm)	Sensor superior - Distancia de detección (cm)
Pared, poste de luz	96	96	99
Silla	114	106	139
Letrero	124	127	55

En la Figura 63 se muestran las señales de los sensores ultrasónicos al momento de detectar un obstáculo frontal. Se puede observar que la detección del obstáculo frontal se genera a partir de los 4 segundos del muestreo, generando una variación de señal en los tres sensores debido a que el obstáculo al ser una pared alta interviene en el haz de detección de cada uno de los sensores.

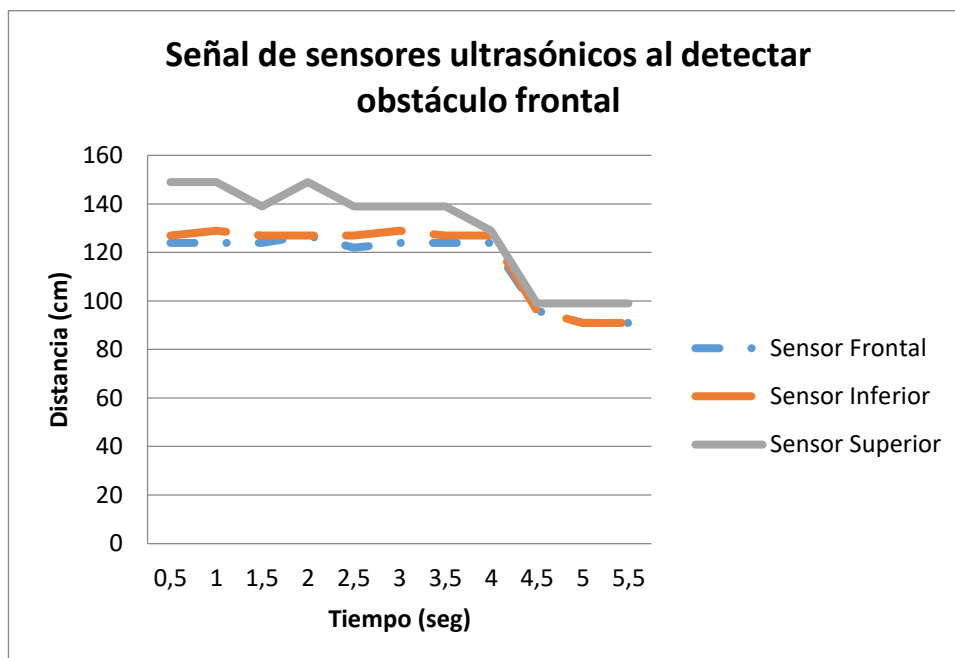


Figura 63. Señal de sensores ultrasónicos al detectar obstáculo frontal

En la Figura 64 se muestran las señales de los sensores ultrasónicos al momento de detectar un obstáculo inferior. Se puede observar que la detección del obstáculo inferior se genera a partir de los 4 segundos del muestreo, generando una variación de señal en el sensor frontal e inferior debido a que el obstáculo al ser una silla interviene en el haz de detección de los dos sensores.

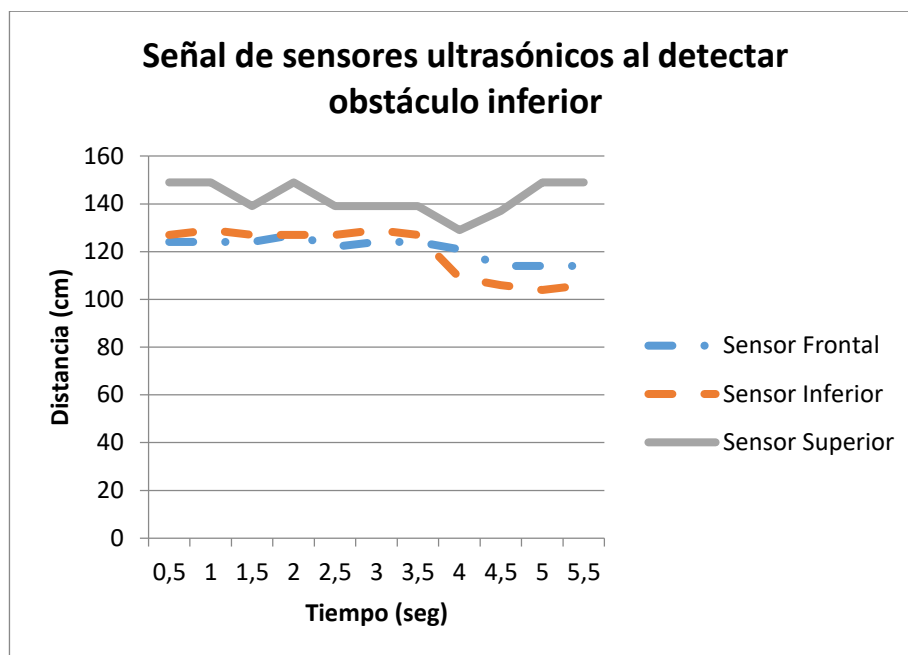


Figura 64. Señal de sensores ultrasónicos al detectar obstáculo inferior

En la Figura 65 se muestran las señales de los sensores ultrasónicos al momento de detectar un obstáculo superior. Se puede observar que la detección del obstáculo inferior se genera a partir de los 3,5 segundos del muestreo, produciendo una variación de señal en el sensor superior debido a que el obstáculo al ser un letrero que se encontraba colgado al nivel de la cabeza del usuario interviene únicamente en el haz de detección del sensor superior.

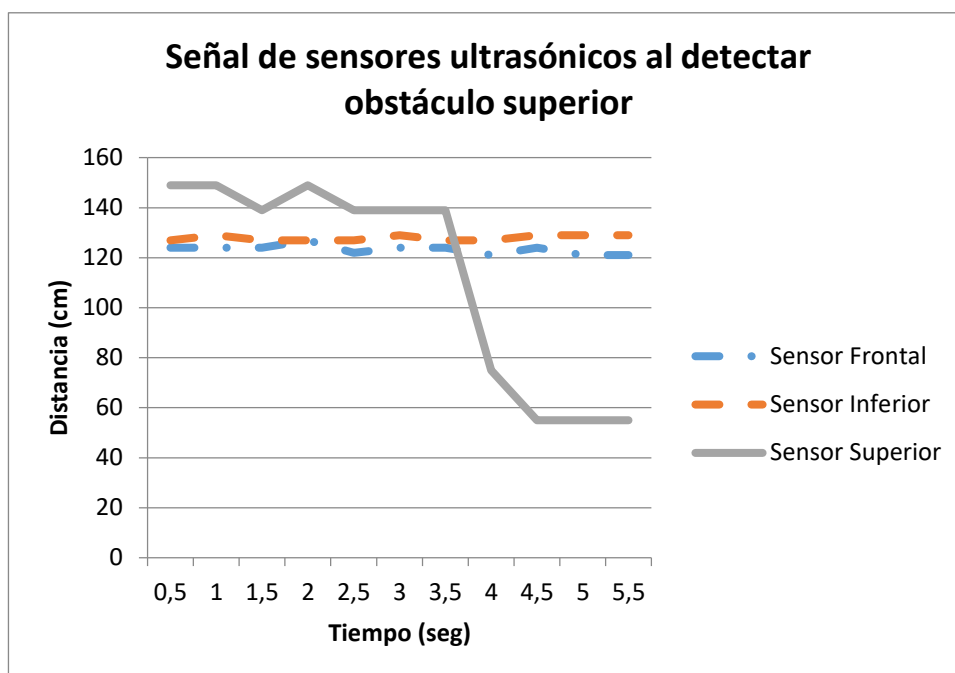


Figura 65. Señal de sensores ultrasónicos al detectar obstáculo superior

6.2.2 Resultados de los tiempos de respuesta del sistema

En la Tabla 6 se muestran los tiempos de respuesta que fueron recogidos a través del comando Logcat que proporciona el software Eclipse, el cual permite monitorear los mensajes de registro del sistema de la aplicación móvil en tiempo real.

Tabla 6.
Tiempos de respuesta de las funciones del sistema

Función	Tiempo de respuesta (seg)
Conexión Bluetooth	1
Detección de obstáculos	0,7
Localización GPS	5
Orientación	0,8
Llamada telefónica	3

Se puede observar que la función que más tarda en responder es la localización, esto es debido a que al momento de solicitar dicha información el sistema debe

conectar con el servidor GPS y recibir la ubicación actual produciendo una demora de 5 segundos.

La conexión Bluetooth entre el dispositivo electrónico y el teléfono móvil se establece en 1 segundo por lo cual se puede decir que es una comunicación inmediata.

En el caso de las funciones de detección de obstáculos y orientación se puede concluir que la comunicación Bluetooth permite una rápida transferencia de información proveniente de los distintos sensores del dispositivo al contar con tiempos de respuesta menores a 1 segundo.

6.2.3 Resultados del hardware del dispositivo electrónico

El hardware del dispositivo resultó ser aceptado por el usuario al presentarse como una herramienta manipulable por su tamaño y poco peso. En la Tabla 7 se presentan el dato resultante del peso del dispositivo.

Tabla 7.
Características de peso del dispositivo

Dispositivo Electrónico	
Peso	190 g

El dispositivo cuenta con un sistema de carga que brinda una alta duración de batería para que el usuario pueda utilizar el dispositivo de forma continua durante el día. En la Tabla 8 se detallan los datos técnicos de carga del dispositivo electrónico.

Tabla 8.
Características del sistema de carga del dispositivo

Carga del dispositivo electrónico	
Tiempo de descarga del dispositivo	15 horas
Tiempo de carga del dispositivo	50 minutos

6.2.4 Resultados de la encuesta a la persona con discapacidad visual

De los comentarios dados por el usuario luego de utilizar el dispositivo se pudo constatar el agrado hacia el mismo, además de la comodidad y facilidad de uso.

El usuario dio a conocer su opinión informado que el dispositivo le brinda mayor seguridad e independencia al momento de salir a la calle.

Otro aspecto importante es la comodidad al usar el chaleco con el dispositivo, este elemento permitió al usuario la libertad de sus brazos al momento de caminar.

A través de la función de localización el usuario pudo conocer su ubicación actual de forma rápida permitiéndole el aprendizaje de nombres de calles y zonas cercanas en su trayecto.

La orientación fue una función de gran utilidad para que el usuario pueda conocer la dirección correcta de su desplazamiento.

El uso de la función de llamadas de emergencia aumenta el grado de seguridad al conocer que el sistema brinda la posibilidad de comunicarse con un familiar de forma rápida en cualquier momento.

El sistema brindó seguridad y confianza al usuario en la detección de obstáculos permitiéndoles conocer el lugar y la distancia que se encuentra el objeto.

Cabe destacar que el uso de comandos de audio permitió una interacción más amigable con el usuario, brindándole una comprensión clara y rápida de las alertas de información que brinda el sistema.

De esta manera, el dispositivo electrónico cumplió con los objetivos planteados al presentarse como un prototipo confiable, seguro, cómodo y funcional para el desplazamiento de personas con discapacidad visual.

6.3 Trabajos Futuros

La visión del proyecto a futuro se enfoca en la utilización diaria del dispositivo por parte de la persona con discapacidad visual y, con el propósito de satisfacer al

100% sus necesidades se puede tomar en cuenta aspectos que mejorarían las características del dispositivo electrónico.

Para optimizar el tiempo de duración de carga del dispositivo se podría implementar adicionalmente un sistema de carga solar con la finalidad de aumentar el tiempo de uso.

El sistema del dispositivo cuenta con una alta escalabilidad al estar directamente vinculado con el desarrollo de software de aplicaciones móviles, por lo cual se podría incrementar funciones adicionales en el dispositivo, tales como mensajería de texto y control por reconocimiento de voz.

La fabricación de placas de circuito impreso de multicapa permitiría la reducción de las dimensiones de la tarjeta de control y de esta manera optimizar el tamaño y peso del dispositivo electrónico.

CAPÍTULO VII

7. ANÁLISIS ECONÓMICO

En este capítulo se especificará el análisis financiero del proyecto con el fin de conocer su costo total y la factibilidad económica.

El presente proyecto se fortaleció con la colaboración de la empresa Electrónica Omega, que realiza su actividad en el ámbito del diseño electrónico e importación de repuestos y cuenta con un grupo de ingenieros con amplia experiencia en la elaboración de proyectos empresariales, estudiantiles y universitarios.

La empresa brindó el aporte económico para la realización del proyecto con la finalidad de donar los dispositivos a personas con discapacidad visual de escasos recursos económicos.

En la Tabla 9 se muestran los costos comparativos de los materiales proporcionados por proveedores nacionales e internacionales, y de esta manera se analizó los precios más convenientes para la implementación del proyecto.

Tabla 9.
Costos comparativos de materiales

Componente	Cantidad	Precio nacional	Precio en el exterior
Sensor tipo brújula	1	\$20	\$10
Sensores de proximidad	3	\$120	\$60
Arduino Nano	1	\$18	\$8
Módulo Bluetooth	1	\$15	\$7
Pulsadores	4	\$1.20	\$0.60
Conector USB hembra	1	\$0.60	\$0.30
Batería LIPO	1	\$15	\$6
Cargador y balanceador de batería	1	\$25	\$10
Costo total de componentes		\$214.80	\$101.90

En la Tabla 10 se presenta el costo de los servicios adicionales que se requirieron para el desarrollo del proyecto, estos son: la impresión 3D de la carcasa, confección del chaleco y la fabricación de la placa electrónica.

Tabla 10.
Costo de servicios nacionales

Servicios nacionales	Precio
Impresión 3D de la carcasa	\$70
Fabricación de placa electrónica	\$10
Confección del chaleco	\$15
Costo total de servicios	\$95

El costo de los componentes en el exterior resultan ser más convenientes en comparación con los costos nacionales con una diferencia significativa de \$112.90 para la ejecución del proyecto, de esta manera se tomó la decisión de contar con proveedores internacionales para la adquisición de los componentes electrónicos.

Tomando en cuenta el costo total de los componentes electrónicos y el costo de los servicios adicionales requeridos, se estableció el precio final del proyecto que es de \$196.90.

Cabe aclarar que el precio presentado en el análisis es el precio de elaboración de un solo dispositivo, lo cual se espera que el costo de elaboración disminuya mediante la producción en masa del producto con la finalidad de donar varios dispositivos a nivel nacional.

Adicionalmente se investigó el precio de los dispositivos que se encuentran en el mercado nacional e internacional, direccionados a las personas con discapacidad visual, para realizar un comparativo frente al dispositivo implementado, como se muestra en la Tabla 11.

Tabla 11.
Tabla comparativa de precios de dispositivos en el mercado

Dispositivo	País	Precio
HandEyes	Ecuador	\$80 aproximadamente
SmartCane	India	\$60
Eyesynth	España	\$1650
Dispositivo desarrollado	Ecuador	\$197

Se considera que el precio del dispositivo desarrollado en el presente proyecto es adecuado para el mercado, tomando en cuenta las funciones que éste brinda en comparación con los otros dispositivos.

CAPÍTULO VIII

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1 Conclusiones

Se desarrolló un dispositivo electrónico que funciona de forma integral con una aplicación móvil para cubrir las necesidades de desplazamiento de personas con discapacidad visual a través de funciones de ayuda.

Se diseñó un sistema que brinda cuatro funciones útiles para el usuario, como detección de obstáculos, localización, orientación y asistencia de llamadas telefónicas, con la finalidad de contribuir en el bienestar de este grupo social.

Se desarrolló un programa de control para la adquisición e interpretación de las señales provenientes de los distintos sensores del dispositivo, logrando así un correcto funcionamiento del sistema de control.

Se realizó pruebas de funcionamiento con distintos tipos de sensores de proximidad determinando que la mejor opción para la implementación del dispositivo es el sensor LV-MaxSonar EZ0, que brindan un rango de 6 metros de detección, tiene una precisión de $\pm 2,54\text{cm}$ y no posee zonas muertas en su funcionamiento.

Se implementó una aplicación móvil que se encarga de ejecutar tareas relacionadas con funciones del teléfono móvil, como la comunicación Bluetooth, el servicio GPS, las llamadas telefónicas y la reproducción de multimedia, de esta manera se brindó al usuario un medio de reproducción de información del sistema mediante audio.

Se desarrolló un sistema de reproducción de mensajes a través del uso de comandos de audio brindando al usuario una información clara y rápida de las alertas proporcionadas por el sistema.

Se estableció una comunicación inalámbrica entre el dispositivo electrónico y el teléfono móvil logrando una transmisión de información rápida y confiable para poder sincronizar e intercambiar datos del sistema.

Se realizó pruebas de funcionamiento con la colaboración de una persona con discapacidad visual, con el propósito de evaluar y corregir configuraciones de funcionamiento, de esta manera se logró obtener un prototipo confiable, seguro, cómodo y funcional para el desplazamiento.

8.2 Recomendaciones

Se recomienda promover el desarrollo de proyectos tecnológicos que brinden ayuda a personas con discapacidad para mejorar el estilo de vida de este grupo social.

Se recomienda el uso del dispositivo en ambientes secos con la finalidad de evitar daños en los componentes electrónicos al exponerlos al agua.

Al utilizar baterías LIPO se recomienda incorporar un módulo de protección de circuito (PCM) y utilizar cargadores con módulos balanceadores con la finalidad de aumentar el tiempo de vida de la batería y evitar cualquier tipo de accidentes al momento de su alimentación.

Se recomienda contar con proveedores de componentes electrónicos en el exterior para minimizar gastos en el costo de la implementación del dispositivo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Amazon. (2014). *Lipo Baterías*. Obtenido de <https://www.amazon.es/Cargador-1200mAh-Bater%C3%ADas-Mariposa-Bookmark/dp/B019KE79DM>
- Analuisa, Y., & Jaramillo, P, E, J. (2011). *Construcción de un bastón electrónico para personas no videntes*. Quito.
- Anvarelectronics. (2016). *Bluetooth HC-05*. Obtenido de <http://avelectronics.co/productos-2/bluetooth-hc-05/>
- Arteaga, J. G. (2007). *Discapacidad Visual*. Puebla.
- Assistech. (2005). *SmartCane*. Obtenido de <http://assistech.iitd.ernet.in/smartcane.php>
- Ayala, C. (2011). *Diseño y construcción del prototipo de un sistema electrónico por ultrasonido para medir distancias aplicada a un bastón blanco*. Cuenca.
- Biendicho, F. (2015). *Comunicación Bluetooth entre Arduino UNO y Android aplicado a un detector de mentiras*. Obtenido de <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/57549/Memoria.pdf?sequence=1>
- BOE. (2017). *Perros de asistencia*. Madrid.
- CCIA. (2013). *Desarrollo de Aplicaciones para Android*. Alicante.
- CONADIS. (2015). *Discapacidad visual*. Quito.
- CONAPRED. (2015). *Discriminación Personas con Discapacidad*. Obtenido de Consejo Nacional para prevenir la discriminación: http://www.conapred.org.mx/index.php?contenido=pagina&id=133&id_opcion=46&op=46
- Condo, I. (2011). *RunaTech (Humano Tecnológico)*. Quito.
- Crespo, J. (2016). *Arduino*. Obtenido de <https://aprendiendoarduino.wordpress.com/2016/09/25/que-es-arduino/>
- Ehow. (2015). *Bastón Blanco*. Obtenido de http://www.ehowenespanol.com/ensenar-persona-ciega-bastonblanco-seguridad-como_45314/
- Electronicoscaldas. (2014). *ATmega328P*. Obtenido de <http://www.electronicoscaldas.com/microcontroladores-atmel/383-microcontrolador-atmega328p-pu.html>
- ErleRobotics. (2014). *LiPo Batteries*. Obtenido de <https://erlerobotics.gitbooks.io/erle-robotics-erle-copter/es/safety/lipo.html>
- Gutierrez, J. (2004). *El entorno de desarrollo Eclipse*. Valencia: Universidad de Valencia.

- Handeyes. (2017). *Handeyes*. Obtenido de <https://twitter.com/handeyes1>
- Hesperian. (2013). *Ceguera y problemas de la vista*. California.
- Importancia. (2017). *Importancia del GPS*. Obtenido de <https://www.importancia.org/gps.php>
- INEC. (2013). *Censo de personas con discapacidad visual en Ecuador*. Obtenido de <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/informacioncensal-cantonal/>
- Lafuente, A. (2007). *Educación Inclusiva: Personas con discapacidad visual*. Obtenido de http://www.ite.educacion.es/formacion/materiales/129/cd/unidad_6/mo6_introduccion.htm
- León, G. (2016). *HANDEYES, emprendimiento que crece con compromiso social*. Obtenido de <https://noticias.utpl.edu.ec/handeyes-emprendimiento-que-crece-con-compromiso-social>
- Mahugo, V. (s.f.). *DISCAPACIDAD VISUAL*. Obtenido de Tu portal educativo: <https://tuportaleducativo.jimdo.com/nee/discapacidad-visual/>
- MaxBotix. (2017). *LV-MaxSonar-EZ Products*. Obtenido de http://www.maxbotix.com/Ultrasonic_Sensors/MB1000.htm
- MaxBotix. (2017). *Using a MaxSonar with an Arduino*. Obtenido de <https://www.maxbotix.com/Arduino-Ultrasonic-Sensors-085/>
- NAYLAMP. (2016). *Configuración del módulo bluetooth HC-05*. Obtenido de http://www.naylampmechatronics.com/blog/24_configuracion-del-modulo-bluetooth-hc-05-usa.html
- OMS. (2010). *Organización Mundial de la Salud*. Obtenido de Ceguera: <http://www.who.int/topics/blindness/es/>
- Pérez, C. (2010). *Historia del Bastón Blanco: la Orientación y Movilidad*. Obtenido de <https://varieduca.jimdo.com/orientaci%C3%B3n-y-movilidad/historia-del-bast%C3%B3n-blanco-la-orientaci%C3%B3n-y-movilidad/>
- Plusesmas. (2016). *SketchUp*. Obtenido de http://www.plusesmas.com/nuevas_tecnologias/articulos/internet_email/que_es_y_como_funciona_google_sketchup/165.html
- Puig, M. (2016). *Brújula digital HMC5883L*. Obtenido de <http://www.ardumania.es/brujula-digital-hmc5883l/>
- Quesada, A. (2016). *Eyesynth*. Obtenido de <http://eyesynth.com/>
- Reyes, M. (2016). *Handeyes. Diseño y construcción de un dispositivo electrónico de ayuda y entretenimiento para personas con discapacidad visual a través de ondas vibratorias e interfaces audibles, para el proyecto Handeyes del banco de ideas del Senescyt*. Sangolquí.

- Rodriguez, A. (2015). Touch-voz GPS. *BYCI*. Obtenido de <http://www.bancodeideas.gob.ec/proyecto/view?data=aWQ9NzMyNQ%3D%3D>
- SparkFun. (2016). *Triple Axis Magnetometer Breakout - HMC5883L*. Obtenido de <https://www.sparkfun.com/products/retired/10530>
- WAB. (2012). *World Access for the Blind Challenge and Achievement*. Obtenido de <http://www.worldaccessfortheblind.org/node/103>