



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE TELECOMUNICACIONES**

**Implementación de un dispositivo electrónico de movimiento asistido
para la ayuda a la movilidad de personas con discapacidad visual de la
Unidad Educativa Especializada Dr. Luis Benavides**

**Trabajo de Titulación para optar al título de:
INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES**

Autor:

Medina Paz, José Alexander

Tutor:

PhD. Leonardo Fabián Rentería Bustamante

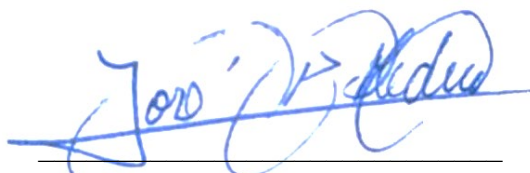
Riobamba, Ecuador. 2025.

DECLARATORIA DE AUTORÍA

Yo, **JOSÉ ALEXANDER MEDINA PAZ** con cédula de ciudadanía **180532030-4**, autor del trabajo de investigación titulado: **IMPLEMENTACIÓN DE UN DISPOSITIVO ELECTRÓNICO DE MOVIMIENTO ASISTIDO PARA LA AYUDA A LA MOVILIDAD DE PERSONAS CON DISCAPACIDAD VISUAL DE LA UNIDAD EDUCATIVA ESPECIALIZADA DR. LUIS BENAVIDES**, certifico que la producción, ideas, opiniones, criterios, contenidos y conclusiones expuestas son de mí exclusiva responsabilidad.

Asimismo, cedo a la Universidad Nacional de Chimborazo, en forma no exclusiva, los derechos para su uso, comunicación pública, distribución, divulgación y/o reproducción total o parcial, por medio físico o digital; en esta cesión se entiende que el cesionario no podrá obtener beneficios económicos. La posible reclamación de terceros respecto de los derechos de autora de la obra referida será de mi entera responsabilidad; librando a la Universidad Nacional de Chimborazo de posibles obligaciones.

En Riobamba, 15 de mayo de 2025.



José Alexander Medina Paz

C.I: 180532030-4



Dirección
Académica
VICERRECTORADO ACADÉMICO



UNACH-RGF-01-04-08.11
VERSIÓN 01: 06-09-2021

DICTAMEN FAVORABLE DEL PROFESOR TUTOR

Quien suscribe, **Leonardo Fabián Rentería Bustamante** catedrático adscrito a la Facultad de Ingeniería, por medio del presente documento certifico haber asesorado y revisado el desarrollo del trabajo de investigación **"Implementación de un dispositivo electrónico de movimiento asistido para la ayuda a la movilidad de personas con discapacidad visual de la Unidad Educativa Especializada Dr. Luis Benavides"**, bajo la autoría de **José Alexander Medina Paz**; por lo que se autoriza ejecutar los tramites legales para su sustentación.

Es todo cuanto informar en honor a la verdad; en Riobamba, a los 15 días del mes de mayo de 2025.

PhD. Leonardo Fabián Rentería Bustamante
C.I. 1104064132

CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL

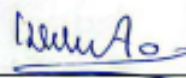
Quienes suscribimos, catedráticos designados Miembros del Tribunal de Grado para la evaluación del trabajo de investigación **Implementación de un dispositivo electrónico de movimiento asistido para la ayuda a la movilidad de personas con discapacidad visual de la Unidad Educativa Especializada Dr. Luis Benavides**, por **José Alexander Medina Paz**, con cédula de identidad número **180532030-4**, bajo la tutoría de **Dr. Leonardo Fabian Rentería Bustamante**; certificamos que recomendamos la **APROBACIÓN** de este con fines de titulación. Previamente se ha evaluado el trabajo de investigación y escuchada la sustentación por parte de su autor; no teniendo más nada que observar.

De conformidad a la normativa aplicable firmamos, en Riobamba 27 de junio de 2025

Giovanny Cuzco, Mgs.
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL DE GRADO



Klever Torres, Dr.
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO



Pedro Escudero, Dr.
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO





Dirección
Académica
VICERRECTORADO ACADÉMICO

en movimiento



UNACH-RGF-01-04-08.15
VERSIÓN 01: 06-09-2021

CERTIFICACIÓN

Que, **MEDINA PAZ JOSÉ ALEXANDER** con CC: 180532030-4, estudiante de la Carrera **TELECOMUNICACIONES**, Facultad de **INGENIERÍA**; ha trabajado bajo mi tutoría el trabajo de investigación titulado **"IMPLEMENTACIÓN DE UN DISPOSITIVO ELECTRÓNICO DE MOVIMIENTO ASISTIDO PARA LA AYUDA A LA MOVILIDAD DE PERSONAS CON DISCAPACIDAD VISUAL DE LA UNIDAD EDUCATIVA ESPECIALIZADA DR. LUIS BENAVIDES"**, cumple con el 6 %, de acuerdo al reporte del sistema Anti plagio **COMPILATIO**, porcentaje aceptado de acuerdo a la reglamentación institucional, por consiguiente autorizo continuar con el proceso.

Riobamba, 23 de junio de 2025



Dr. Leonardo Fabian Rentería Bustamante
TUTOR(A)

DEDICATORIA

Dedico este Trabajo de Titulación:

A mis padres, Sr. José Medina y Sra. Norma Paz quienes me brindaron apoyo incondicional desde el inicio de esta aventura, desde la etapa de tomar la decisión de vivir en otra ciudad y finalmente hasta ver su esfuerzo reflejado en estas pequeñas palabras con mucho cariño. Su constante aliento y confianza en mí han sido el apoyo para no decaer en momentos difíciles.

A mis hermanos Carolina futura Doctora y Carlos futuro Ingeniero, por ser mis compañeros de aventuras, por ser esos motivadores personales, por compartir conmigo alegrías, tristezas y desafíos.

A mis abuelos de padre y madre que me enseñaron el valor del trabajo, el respeto hacia los demás y por ese apoyo que nunca faltó, que siempre estuvo presente para alcanzar esta meta.

A mi tíos y primos que siempre me brindaron el apoyo, esa palabra de no debes dejarte tú puedes.

José Alexander Medina Paz

AGRADECIMIENTO

Agradezco a DIOS, por todas sus bendiciones y brindarme la oportunidad de llegar al final de este capítulo en mi vida, también quiero expresar mi profundo agradecimiento a mi tutor de tesis, PhD. Leonardo Rentería, por su experta supervisión, sus valiosos consejos y su apoyo en momentos un poco difíciles. Sus conocimientos y perspectivas fueron fundamentales para el desarrollo de este trabajo de titulación.

No puedo dejar de agradecer el apoyo de compañeros hoy colegas, quienes compartieron momentos alegres, tristes y muchas anécdotas que siempre se recordaran después de esa aula de clases. Ese apoyo a sido fuente constante de motivación.

Finalmente, deseo expresar mi agradecimiento a esta ciudad RIOBAMBA que me abrió las puertas para hacer de esta mi casa en este proceso, a la UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO por esos momentos que ahora serán un tesoro en los recuerdos.

José Alexander Medina Paz

ÍNDICE GENERAL

DECLARATORIA DE AUTORÍA	
DICTAMEN FAVORABLE DEL PROFESOR TUTOR	
CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL	
CERTIFICADO ANTIPLAGIO	
DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTO	
ÍNDICE GENERAL	
ÍNDICE DE TABLAS	
ÍNDICE DE FIGURAS	
RESUMEN	
ABSTRACT	
CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN.....	15
1.1 Antecedentes	15
1.2 Planteamiento del problema y justificación	15
1.3 Objetivos	16
1.3.1 Objetivo General.....	16
1.3.2 Objetivos Específicos	16
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO.....	17
2.1. Estado del arte	17
2.2. La discapacidad visual	19
2.2.1. Discapacidad.....	19
2.2.2. Discapacidad Visual	19
2.2.3. Términos de la visión	20
2.2.4. Entorno	20
2.3. Tecnología al servicio de personas con discapacidad	21
2.3.1. Tecnología de asistencia para orientación y movilidad.....	21
2.3.2. Adaptación de la tecnología al entorno	21
2.3.3. Bastón blanco	22
2.3.4. Ayudas tecnológicas	22
2.4. Dispositivos electrónicos.....	22
2.4.1. Microprocesador.....	22
2.4.2. Micromotor.....	22
2.4.3. Sensores.....	22
2.4.4. Batería.....	22

2.5.	Aplicación de componentes electrónicos.....	23
2.6.	Características técnicas y costo	23
2.7.	Análisis de desempeño técnico	24
CAPÍTULO III METODOLOGÍA		26
3.1.	Tipo de investigación	26
3.2.	Método de investigación	26
3.2.1.	Investigación cuantitativa.....	26
3.2.2.	Investigación de Campo	26
3.3.	Procedimiento y análisis.....	26
3.3.1.	Fase I: Búsqueda y análisis de información	26
3.3.2.	Fase II: Diseño, simulación e implementación del prototipo	29
3.3.3.	Fase III: Funcionalidad del prototipo	37
3.3.4.	Fase IV: Estadístico	38
3.4.	Técnicas de recolección de datos	38
3.4.1.	Fuentes de Información	38
3.5.	Población y muestra	38
3.5.1.	Población	38
3.6.	Operación de variables	38
3.6.1.	Variable dependiente	38
3.6.2.	Variable independiente	38
CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN		39
4.1.	Implementación del dispositivo electrónico.....	39
4.1.1.	Diseño de estructura final armado en SolidWorks.	39
4.1.2.	Diseño electrónico	41
4.1.3.	Implementación funcional del dispositivo.....	43
4.2.	Análisis estadístico de los resultados obtenidos.....	47
4.2.1.	Tipo de sistema.....	47
4.2.2.	Modos del sistema	49
CAPÍTULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		53
5.1.	Conclusiones	53
5.2.	Recomendaciones.....	54
BIBLIOGRAFÍA		55
ANEXOS		57

Anexo 1: Codigó en MicroPython	57
Anexo 2: Carta de trabajo.....	62

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Tipos de discapacidad en el Ecuador [10].	19
Tabla 2: Aplicación de componentes electrónicos	23
Tabla 3: Análisis de características técnicas y costo	23
Tabla 4: Ventajas y limitaciones técnicas	24
Tabla 5: Comparación de especificaciones técnicas de los diseños de Bastón Blanco	28
Tabla 6: Comparación de medidas para el agarre del bastón	29
Tabla 7: Características de la batería [17]	30
Tabla 8: Características del Regulador de Voltaje LM2596 [17]	31
Tabla 9: Características de la Raspberry Pi Pico [6]	32
Tabla 10: Características Sensor Ultrasónico HC-SR04 [6]	33
Tabla 11: Características sensor TCRT500 [18]	33
Tabla 12: Características Motor BRUSHLESS [19]	34
Tabla 13: Características Servomotor SG90 [20]	34
Tabla 14: Características del Moto-vibrador 5V [21]	35
Tabla 15: Características del DFPlayer Mini [22]	35
Tabla 16: Características del Parlante	36
Tabla 17: Variable dependiente	38
Tabla 18: Variable independiente	38
Tabla 19: Análisis de datos descriptivo (Tradicional y prototipo)	47
Tabla 20: Resultado test de normalidad de Kolmogórov-Smirnov para las variables estudiadas	48
Tabla 21: Resultado test Mann-Whitney para comparación de medianas entre tradicional vs prototipo	48
Tabla 22: Análisis de datos descriptivos tradicional y los modos del prototipo	49
Tabla 23: Resultado test de normalidad de Kolmogórov-Smirnov para tradicional – modos de asistencia	50
Tabla 24: Resultado test de Mann-Whitney para comparación de medianas entre tradicional – modo 1	51
Tabla 25: Resultado test Mann-Whitney para comparación de medianas entre tradicional – modo 2	51
Tabla 26: Resultado test t de muestras independientes entre tradicional – modo 3	51

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Bastón IoT con retroalimentación auditiva [5].....	17
Figura 2: Bastón formado por cámara y láser lineal [7].....	18
Figura 3: Bastón WeWalk [8].	18
Figura 4: Porcentaje de discapacidad visual en Ecuador [10].....	20
Figura 5: Instrumento de ayuda para desplazamiento[12].	21
Figura 6: Diagrama de flujo.	27
Figura 7: Diagrama del sistema electrónico.....	30
Figura 8: Batería recargable de celdas litio [17]	31
Figura 9: Regulador de Voltaje LM2596 [6].	31
Figura 10: Raspberry Pi Pico [6].....	32
Figura 11: Placa control motor [12].	32
Figura 12: Sensor Ultrasónico HC-SR04 [6].	33
Figura 13: Sensor Óptico TCRT500 [18].....	33
Figura 14: Motor Rueda BRUSHLESS [19].....	34
Figura 15: Servomotor Tower Pro SG90 [20].....	35
Figura 16: Moto-vibrador 5V [21].	35
Figura 17: Módulo DFPlayer Mini MP3 Player [22].....	36
Figura 18: Parlante [7].....	36
Figura 19: Diagrama del sistema electrónico final.....	37
Figura 20: Estructura base del dispositivo.	39
Figura 21: Simulación de carga estructural.....	40
Figura 22: Simulación de carga por segmento	40
Figura 23: Mango de bastón electrónico.	41
Figura 24: Diseño de la placa (PCB) en PCBWizard.....	42
Figura 25: Impresión de placa (PCB) fabricada.....	42
Figura 26: Montaje de sistema electrónico Completo.....	43
Figura 27: Vista posterior del dispositivo ensamblado.	44
Figura 28: Mango del dispositivo con botones de selección de modo.....	44
Figura 29: Vista frontal prototipo implementado.....	45
Figura 30: Pruebas de funcionamiento con personas con discapacidad visual.....	46
Figura 31: Verificación de encargados del área de Discapacidades.	46
Figura 32: Diagrama de cajas resultado prototipo-tradicional.	49
Figura 33: Diagrama de caja resultados tradicional y modos de asistencia.	52

RESUMEN

La discapacidad visual afecta la capacidad de desplazamiento independiente. Las herramientas tradicionales, como el bastón blanco, ofrecen una asistencia limitada y dependen en gran medida del entorno y la experiencia del usuario, en este sentido, el avance en tecnología brinda oportunidades para el desarrollo de dispositivos electrónicos portátiles, eficientes y de bajo costo, permitiendo a los usuarios identificar obstáculos y tomar decisiones en su trayectoria de forma segura durante su desplazamiento. Frente a esta problemática, se diseñó e implementó un sistema embebido de movimiento asistido, orientado a mejorar la movilidad de personas con discapacidad visual pertenecientes a la Unidad Educativa Especializada Dr. Luis Benavides. El dispositivo fue planificado como una solución tecnológica accesible. Con el objetivo de alcanzar ese resultado, en el desarrollo se utilizó la placa de monopatines eléctricos para control del motor rueda tipo brushless en conjunto con el giroscopio para regular la velocidad. Se diseñó una placa (PCB) de control con sensores ultrasónicos HC-SR04 para la detección de objetos dentro de un rango efectivo de 0 a 30 cm, servomotores para el movimiento, moto-vibradores para alertas táctiles y el módulo DFPlayer Mini para la reproducción de mensajes de voz. Como resultado preliminar, el dispositivo detecta obstáculos a una distancia de 30 cm, con un tiempo de respuesta del sistema de 2 segundos para el envío de señales táctiles y auditivas, registrando un promedio de 56 segundos en el desplazamiento de 15 metros con un bastón tradicional y 42 segundos con el uso del dispositivo, logrando una mejora cuantificable en la autonomía de al menos 12 segundos. En conclusión, la implementación de este dispositivo propone una base en la creación de dispositivos de ayuda a personas con discapacidad.

Palabras clave: tecnología inclusiva, discapacidad visual, tecnología asistida, bastón electrónico, movilidad asistida.

ABSTRACT

Visual impairment limits independent mobility, and traditional tools, such as the white cane, offer only partial assistance, depending heavily on the environment and the user's experience. To address this issue, a low-cost portable electronic device was developed to improve the mobility of visually impaired individuals from the Specialized Educational Unit "Dr. Luis Benavides." The implemented system uses a control board adapted from electric scooters to drive a brushless wheel motor, along with a gyroscope to regulate speed. Additionally, a custom PCB was designed, integrating HC-SR04 ultrasonic sensors to detect obstacles at distances of up to 30 cm, servomotors for directional movement, vibration motors for tactile alerts, and a DFPlayer Mini module to play voice messages. Preliminary results show that the device responds within 2 seconds to detected obstacles and improves travel time over 15 meters from 56 seconds (using a traditional cane) to 42 seconds. In conclusion, this technological proposal enhances user autonomy and provides a solid foundation for the development of new inclusive solutions.

Keywords: inclusive technology, visual impairment, assistive technology, electronic cane, assisted mobility.



Jeniffer Vanessa
Palacios Moreno
VERIFIED
ORCID iD

Reviewed by: Mgs. Vanessa Palacios.
ENGLISH PROFESSOR
C.C.. 0603247487

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

La discapacidad se manifiesta en forma de deficiencias, limitaciones y restricciones que enfrenta una persona al interactuar en entornos físicos, sociales, actitudinales, entre otras [1]. Es un factor importante que incide en la tendencia de vida de la persona que lo padece llevando al aislamiento, miedo a caídas o evitar movilizarse de un lugar sin asistencia [2].

Las personas que tienen alguna enfermedad ocular, deficiencia visual o ceguera se enfrentan a varios obstáculos como no tener acceso a servicios de atención visual, deficiencia en la atención pública o no lograr encontrar dispositivos de ayuda y asistencia para evitar limitaciones en la vida diaria [1].

Los insumos de asistencia, término médico que hace referencia a un objeto que brinda ayuda a la persona, para la discapacidad visual, existen insumos como alertas sonoras, dispositivos electrónicos o elementos tradicionales como el bastón blanco, sin embargo, son pocos los insumos enfocados en ayudar a la movilidad de personas con discapacidad visual [3].

El bastón blanco tradicional es el insumo de asistencia más utilizado por personas con discapacidad visual debido a su facilidad de uso y bajo costo de adquisición, a diferencia de los bastones electrónicos inteligentes que tienen costos elevados y no se enfocan en las características que el usuario con discapacidad visual necesita para desplazarse [4].

El objetivo de este proyecto es elaborar un dispositivo electrónico basado en las necesidades, requisitos y comodidades que los beneficiarios deseen en el sistema, para que cualquier persona con discapacidad visual pueda adaptarse al uso del dispositivo, detectando obstáculos, brindando retroalimentación y proporcionando mejoras en su autonomía, y seguridad.

1.2 Planteamiento del problema y justificación

Problemática

En el marco de la Ley Orgánica de las Discapacidades, el Ministerio de Salud Pública del Ecuador (MSPE), a través del Consejo Nacional para la Igualdad de Discapacidades establece en 215.409 personas con algún tipo de discapacidad registrada, donde 56.771 son de carácter visual. En la Provincia de Chimborazo se registran 1.670, en el cantón Riobamba existen 1.045 personas con discapacidad visual, el grupo en edad de 6 a 25 años es de 122.

Comprender las dificultades que afrontan las personas con discapacidad visual desde el punto de vista de su movilidad en diferentes entornos. Los métodos tradicionales, como el uso del bastón blanco, proporcionan una ayuda básica, pero presentan limitaciones importantes, en entornos complejos o poco familiares.

Además, los métodos convencionales no siempre favorecen la inclusión social o mejoran calidad de vida de las personas con discapacidad visual. La falta de tecnologías accesibles y de bajo costo en los mercados existentes son limitantes en la oportunidad de una movilidad independiente, afectando aspectos fundamentales como la educación, el trabajo y la integración social de la persona que padece la discapacidad.

Justificación

La justificación de este proyecto radica en la inserción de tecnología para mejorar la calidad de vida de las personas con discapacidad visual, la autonomía en el desplazamiento de un lugar a otro con las medidas de seguridad y cuidados hacia la persona, realizando la implementación de un dispositivo electrónico.

Desde el punto de vista técnico, desarrollar herramientas tecnológicas para mejorar la movilidad de personas con discapacidad visual, reduciendo limitaciones al integrar sensores, actuadores y módulos de comunicación en un dispositivo. Reduciendo tiempos de desplazamiento y aumentando la autonomía personal, en el ámbito social, educativo. Por lo tanto, la implementación de este sistema tiene una relevancia técnica, social, ética y humana.

Surgen cuestiones como: **¿Es necesario desarrollar proyectos de apoyo a personas con discapacidad?, ¿Se puede adquirir a un bajo precio?** Las respuestas son sí, parte del desarrollo de un país está en la inclusión y cierre de la brecha de limitaciones que pueden tener las personas con discapacidad, se puede desarrollar dispositivos electrónicos de bajo costo con un funcionamiento óptimo usando componentes de precios más accesibles.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

- Implementar un dispositivo electrónico de movimiento asistido para la ayuda a la movilidad de personas con discapacidad visual de la Unidad Educativa Especializada Dr. Luis Benavides.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Identificar la problemática de las limitaciones de movilidad y orientación de personas con discapacidad visual de la Unidad Educativa Especializada Dr. Luis Benavides.
- Construir el prototipo de dispositivo electrónico incorporando los mecanismos de movilidad identificados.
- Caracterizar el dispositivo electrónico mediante pruebas de funcionalidad técnica y de campo.
- Analizar la satisfacción del dispositivo mediante test psicológicos y evaluación de datos.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Estado del arte

En la investigación [5] denominada “Un bastón inteligente con IoT integrado para personas ciegas y con discapacidad visual”, detalla que implementando capacidades IoT mejoran los diseños de bastones, mejoran la seguridad al proporcionar información en tiempo real sobre el entorno por donde se desplace evitando obstáculos y posibles peligros [5].

El sistema integra una alarma y retroalimentación de audio, el bastón inteligente incluye un timbre para solicitar ayuda. La información del sensor se envía al usuario como un mensaje de audio MP3. Además[5], una notificación de audio avisa al familiar a través del móvil, al igual que el dispositivo comienza a sonar todas las alarmas.

Sin embargo, existen consideraciones generales como el sistema se base en una conexión exagerada de sensores HC-SR04 [6], que son la estructura del sistema de detección y generación de la alarma derribando en no ser útil, debido a que por cualquier obstáculo el dispositivo genera la alarma provocando desorientación y confusión al usuario.



Figura 1: Bastón IoT con retroalimentación auditiva [5].

De acuerdo a la investigación [7] propone un “Bastón inteligente para ciegos con detección láser y visión”, explica que la detección láser y visión pueden cambiar la forma de desplazamiento en un viaje para las personas con discapacidad visual, pero se detalla que la mayoría de las funciones de bastones inteligentes con detección, aún son defectuosas [7].

Tomando las consideraciones más importantes, se detalla que el bastón inteligente está destinado a complementar las funciones de navegación y reconocimiento de objetos, pero se requieren múltiples sensores para recopilar datos en todos los aspectos del entorno. Detalla que los métodos de detección de los bastones inteligentes tienden a integrar demasiados sensores sin permitir evolucionar hacia soluciones más inteligentes, como la integración y fusión de múltiples sensores. Explicando que la investigación es valiosa a futuro [7].

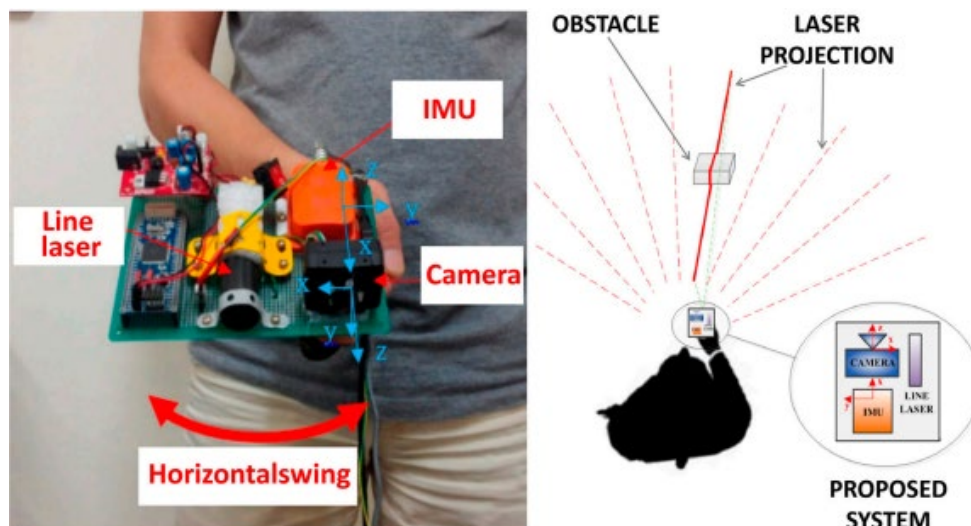


Figura 2: Bastón formado por cámara y láser lineal [7].

En una investigación cuyo propósito es detallar los productos disponibles a la venta [8], se analiza las características que entregan al usuario final y las limitaciones encontradas en los competidores identificados. Los artículos se comparan según una cierta cantidad de parámetros y evalúa cada producto, expresando un indicador de “innovación”, comparando: precio, seguridad, peso, estructura ergonómica y duración de la batería [8].

Con el análisis de los investigadores detallan que una señal puede ser en estímulos hápticos, dando lugar a diferentes patrones de vibración que hacen que los dedos del usuario se separen del mango. UltraCane, SmartCane y WeWalk brindan retroalimentación háptica y las diferencias en la intensidad y frecuencia de la vibración varían para las personas con discapacidad visual [8].



Figura 3: Bastón WeWalk [8].

En conclusión, los estudios previos respecto a desarrollo, implementación de IoT y análisis de mercado, detallan limitaciones en el diseño debido a las características diferentes del grupo poblacional en todos los casos no se puede cubrir las necesidades grupales, están enfocados en usuarios específicos o grupos reducidos, prefiriendo un bastón tradicional a un electrónico debido a su costo excesivo, y no brindar más por el precio adquirido.

2.2. La discapacidad visual

2.2.1. Discapacidad

La Organización Mundial de la salud (OMS) y la Convención sobre los Derechos de las personas con Discapacidad refiere a las limitaciones que forma parte del ser humano [1]. Con el paso de los años el número de personas con discapacidad seguirá aumentando por factores como el envejecimiento de la población, aumento de la prevalencia de enfermedades o simplemente nació con algún tipo de discapacidad.

La discapacidad de una persona limita la posibilidad de realizar cualquier actividad plenamente, impiden la participación efectiva de las personas con la sociedad en igualdad de condiciones [9], existen diferentes tipos de discapacidad detallados en la **Tabla 1**:

Tabla 1: Tipos de discapacidad en el Ecuador [10].

TIPOS DE DISCAPACIDAD		
Tipo	Porcentaje	Cantidad
Física	44.20%	215.479
Intelectual	23.27%	113.447
Auditiva	12.88%	62.780
Visual	11.62%	56.664
Psicosocial	6.94%	33.815
Lenguaje	1.10%	5.377

2.2.2. Discapacidad Visual

La discapacidad visual se considera de orden social al ser excluidas del medio al que pertenecen por su falta de autonomía, limita a la persona al realizar actividades cotidianas consideradas normales con todas sus capacidades funcionales [11], es decir, una persona única que de acuerdo a sus capacidades interactúa con su entorno.

La discapacidad visual describe la pérdida de la vista, existen dos categorías principales de discapacidad visual: parcialmente vidente, que se refiere a un nivel de visión moderado, y la ceguera, que implica nivel de visión grave o pérdida total de la vista donde las actividades que dependen de la visión se vuelven difíciles [1].

La discapacidad visual tiene dos consideraciones generales:

- Se considera que una persona tiene baja visión cuando presenta una pérdida de visión del 30%.
- Se considera que una persona tiene pérdida de visión cuando es mayor al 80%, se considera legalmente ciega.

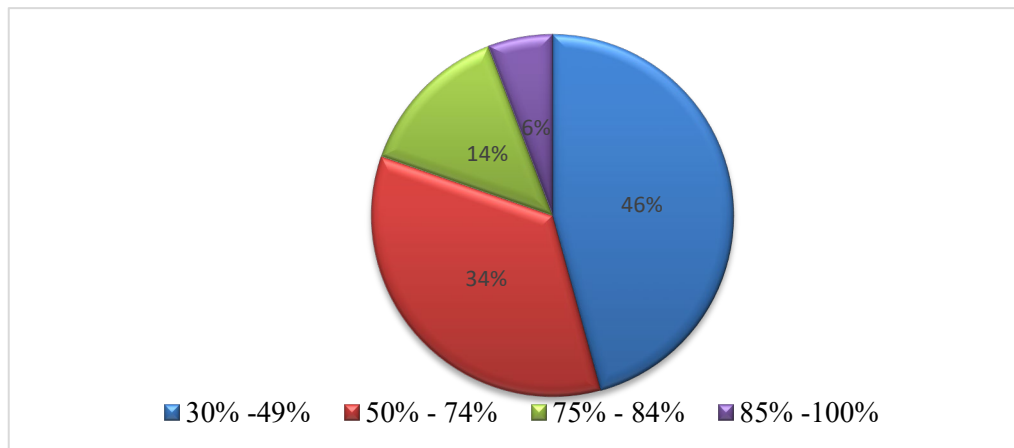


Figura 4: Porcentaje de discapacidad visual en Ecuador [10].

2.2.3. Términos de la visión

En la Clasificación Internacional de Enfermedades, existen cuatro niveles de función visual:

- Ceguera
- Visión normal
- Discapacidad visual moderada
- Discapacidad visual severa

La discapacidad visual moderada engloba al término baja visión y la discapacidad visual severa representa pérdida total de la vista considerado legalmente ciego. Existen diferentes términos para describir los niveles de discapacidad visual, entre ellos están parcialmente vidente, baja visión y legalmente ciego.

- Vista parcial se refiere a la persona que tiene algún tipo de discapacidad visual que puede requerir asistencia de moderada.
- Baja visión se refiere a personas que experimentan una pérdida de visión más grave y puede requerir asistencia total.

2.2.4. Entorno

El entorno comprende el conjunto de factores físicos que integran la movilidad de una persona con discapacidad, el entorno que le rodea no debe sufrir alteraciones, sin embargo, los problemas pueden presentarse para este grupo poblacional al acceder a parques, escuelas, edificios gubernamentales o lugares de esparcimiento [11].

Es importante fomentar las adaptaciones físicas y tecnológicas al entorno de personas con discapacidad visual, es esencial en lugares públicos, estaciones de transporte e instituciones públicas deben estar diseñadas para facilitar su movilidad y modificar obstáculos mal ubicados que representan un riesgo constante.



Figura 5: Instrumento de ayuda para desplazamiento[12].

2.3. Tecnología al servicio de personas con discapacidad

2.3.1. Tecnología de asistencia para orientación y movilidad

La implementación de asistencia está conformada por la inclusión de la tecnología en actividades de la vida diaria, el uso de diferentes equipos y dispositivos existentes en el mercado que brindan ayuda, autonomía, funcionalidad o simplemente facilitan actividades debido alguna limitación en sus capacidades físicas, sociales, mentales, entre otras.

La tecnología debe ser lo más sencilla posible para que el individuo pueda participar en cualquier actividad independientemente del tipo de discapacidad. Para las personas con discapacidad visual es fundamental tener autonomía con señales auditivas, hápticas o asistidas en el dispositivo.

La movilidad debe ser eficiente e independiente por un entorno para las personas con impedimentos visuales. Se debe consultar a un especialista certificado en orientación y movilidad donde detectara las deficiencias del individuo y recomendara el dispositivo adecuado según su evaluación.

2.3.2. Adaptación de la tecnología al entorno

Se debe prestar atención a todo el entorno posible, reorganizar los objetos, estanterías u otros peligros potenciales, considerar reducir el espacio mediante el uso de persianas o barras de seguimiento para trasladarse ayuda a mejorar su autonomía al interactuar con adaptaciones del acorde a su espacio.

La tecnología permite reducir la brecha de limitaciones que existen según la discapacidad, la adaptación de asistentes de voz al cruzar una calle, sensores que ayudan a detectar obstáculos o incluso robots de asistencia que ofrecen nuevas soluciones en la movilidad asegurando la participación plena de las personas.

2.3.3. Bastón blanco

Es el insumo de apoyo tradicional para las personas con discapacidad visual permite el desplazamiento seguro e independiente en todos los espacios, el uso efectivo de un bastón requiere capacitación de un especialista en orientación y movilidad, sin embargo, también está indicado para grupos con múltiples discapacidades.

2.3.4. Ayudas tecnológicas

Las ayudas electrónicas utilizan una variedad de sistemas que incluyen sensores, actuadores, microprocesadores, entre otras, para detectar barreras y brindar retroalimentación a través de vibraciones o señales auditivas para compensar limitaciones son un complemento eficaz, pero no reemplazarán a un bastón tradicional [13].

Los dispositivos electrónicos utilizan la tecnología para brindar retroalimentación a las personas con respecto a su posición, dirección de movimiento, entorno y obstáculo, son dispositivos limitados, pero puede integrar complementos como un teléfono inteligente o un bastón tradicional [13].

2.4. Dispositivos electrónicos

2.4.1. Microprocesador

El microprocesador son circuitos integrados donde mediante lenguajes de programación se establece el funcionamiento del dispositivo, se utiliza según el entorno de programación que acepte la placa, las instrucciones son las encargadas de enviar las órdenes a los circuitos para hace cumplir con las funciones diseñadas por el usuario [14].

2.4.2. Micromotor

El micromotor se encarga de regular la velocidad de giro de acuerdo con la proximidad del obstáculo para lo cual maneja un voltaje de funcionamiento de 2 a 5 Volts, el consumo de corriente va desde los 100 mA para 5V hasta un mínimo de 40 mA para 2V, con dimensión de 10 mm y un peso de 0.9 gramos lo hace óptimo para el dispositivo electrónico [15].

2.4.3. Sensores

Existen una amplia gama de sensores para medir temperatura, distancia, sonido, entre otros, según la aplicación, los sensores se usan en la detección de todo tipo de obstáculos en condiciones diferentes, entornos o sectores donde se los conecta a su debida tarjeta electrónica que contiene las instrucciones que deben realizar [15].

2.4.4. Batería

Parte fundamental de cualquier dispositivo electrónico portable donde se debe tener en cuenta el almacenamiento y suministro de energía eléctrica para el funcionamiento de

cualquier equipo como sistemas autónomos, sistemas embebidos, robots o máquinas. Se debe considerar la capacidad de almacenamiento para el tiempo de uso [16].

2.5. Aplicación de componentes electrónicos.

La selección de dispositivos según el funcionamiento final del dispositivo, es parte integral de un buen resultado en el desarrollo e implementación, en la **Tabla 2** se describe la funcionalidad de diferentes componentes electrónicos utilizados en el desarrollo del prototipo.

Tabla 2: Aplicación de componentes electrónicos.

Componente	Función	Como funciona	Aplicación en entornos para no videntes
Sensores ultrasónicos	Detección de obstáculos a distancia.	Emiten ondas que rebotan en objetos y miden el tiempo de retorno para calcular la distancia.	Alertan (con vibración o audio) sobre obstáculos.
DFPlayer Mini	Reproducción de mensajes de audio pre-grabados.	Lector de archivos MP3 almacenados en microSD.	Guía auditiva en espacios.
Motovibradores	Retroalimentación háptica (vibración) para alertas táctiles.	Vibran con patrones (intensidad/duración) según señales del microcontrolador.	Indican dirección de obstáculos por vibración.
Servomotores	Movimiento direccional.	Giran en ángulos específicos (0°–180°) controlados por pulsos eléctricos.	Ajustan la dirección del motor brushless.
Microcontrolador	Cerebro del sistema: procesa datos de sensores y activa respuestas.	Raspberry Pi Pico: Desarrollo amplio y procesamiento más potente.	Coordina sensores y actuadores en tiempo real.

2.6. Características técnicas y costo

En la **Tabla 3** se presenta un análisis para la selección de los componentes a ser usados en la fase 3 de implementación, se compara los parámetros evaluados acorde al desarrollo del proyecto y su costo estimado.

Tabla 3: Análisis de características técnicas y costo.

Componente	Función técnica	Parámetros clave	Costo aprox. (USD)
HC-SR04 (sensor ultrasónico)	Medición de distancia por eco ultrasónico	Voltaje: 5V Rango: 2 – 400 cm Precisión: ± 3 mm	\$4.00

DFPlayer Mini	Reproductor de archivos MP3	Voltaje: 3.2 – 5V Soporte microSD hasta 32 GB	\$4.50
Servo SG90	Generación de movimiento angular	Ángulo: 0° – 180° Voltaje: 4.8 – 6V Torque: 1.8 kg·cm	\$5.00
Motovibrador DC 3V	Generación de vibración para alerta táctil	Voltaje: 3V Corriente: ~80 mA Dimensiones: 10 mm	\$1.50
Raspberry Pi Pico	Microcontrolador principal del sistema	Dual-core 133 MHz 26 GPIO RAM: 264 KB	\$20.00
Botones tipo push	Entrada digital para activar modos	Voltaje: 3.3 – 5V Configuración: pull-down	\$0.50
Motor rueda brushless	Propulsión asistida con ruedas	Voltaje: 24 – 48V Torque alto (Requiere VESC)	\$70.00
Batería de litio 36V	Fuente de alimentación de alto voltaje	Voltaje nominal: 36V Capacidad: 4 – 10 Ah Recargable	\$60.00
Sensor TCR5000	Detección de líneas mediante reflexión IR	Voltaje: 3.3 – 5V Distancia: < 2 cm Salida digital	\$3.50

2.7. Análisis de desempeño técnico

Cada componente seleccionado para la fase de implementación tiene sus respectivas ventajas por las que se eligió, sin embargo, también tienen sus limitaciones en el prototipo a implementar en la **Tabla 4** se presenta el análisis respecto a la selección anterior.

Tabla 4: Ventajas y limitaciones técnicas.

Componente	Ventajas técnicas	Limitaciones técnicas	Justificación de uso
HC-SR04 (sensor ultrasónico)	Precisión aceptable, fácil de programar.	Afectado por ángulos inclinados y materiales blandos	Proporciona detección confiable de obstáculos
DFPlayer Mini	Integra amplificador, bajo consumo	Requiere resistencia pull-up en RX	Facilita retroalimentación auditiva mediante voz
Servo SG90	Compacto, bajo peso, buena respuesta al PWM	Torque limitado, ruido eléctrico en baja carga	Adecuado para señalización y control de inclinación
Motovibrador DC 3V	Retroalimentación directa.	Intensidad fija, limitada sensibilidad	Útil para usuarios con baja audición

Raspberry Pi Pico	Alto control de periféricos, bajo consumo energético	Requiere más conocimientos en programación	Múltiples pines de entradas/salidas simultáneamente
Botones tipo push	Simples y respuesta inmediata	Sensibles al desgaste mecánico	Permiten al usuario seleccionar funciones del sistema
Motor rueda brushless	Alta eficiencia, potencia elevada, silencioso	Requiere controlador (VESC), consumo considerable	Ideal para asistencia activa en entornos controlados
Batería de litio 36V	Alta densidad energética, buena autonomía	Requiere control de carga (BMS), riesgo si se daña	Proporciona energía suficiente para motores y sistema.
Sensor TCR5000	Respuesta rápida, bajo consumo, ideal para línea blanca/negra	Limitado a distancias cortas, afecta luz ambiental	Útil para seguir líneas o bordes en interiores

CAPÍTULO III METODOLOGÍA

3.1. Tipo de investigación

La presente investigación es de tipo aplicada y experimental, para aportar en la integración de las personas con discapacidad visual de la Unidad Educativa Especializada Dr. Luis Benavides, se trabajó con las autoridades de la institución para desarrollar el dispositivo acorde a lineamientos de seguridad, normas y especificaciones que surgieron durante el proceso de desarrollo.

La parte experimental se desarrolló al momento de diseñar e implementar el dispositivo, se recolecto las impresiones del uso del dispositivo en todas las etapas de pruebas de campo y funcionamiento técnico hasta lograr optimizarlo de manera que funcione acorde a las necesidades del usuario cumpliendo los objetivos planteados.

3.2. Método de investigación

3.2.1. Investigación cuantitativa

Parte principal del proceso de desarrollo del proyecto es la investigación de tipo cuantitativa donde se realizó una recolección, procesamiento y uso de técnicas estadísticas para relacionar el cumplimiento del objetivo principal, analizando el tiempo de desplazamiento con el uso del prototipo.

3.2.2. Investigación de Campo

Se realizó las pruebas de funcionamiento conjuntamente con las personas que padecen discapacidad visual, analizando el comportamiento de relación entre el dispositivo y usuario en situaciones reales, recogiendo las observaciones y sus propuestas de mejora para aplicar al prototipo en la fase de pruebas

3.3. Procedimiento y análisis

En la figura 6, se muestra el proceso para el desarrollo de este proyecto de investigación, el cual ha sido dividido en cuatro fases.

3.3.1. Fase I: Búsqueda y análisis de información

En esta fase se realizó la búsqueda de información sobre los dispositivos electrónicos y su implementación en el área de discapacidad visual.

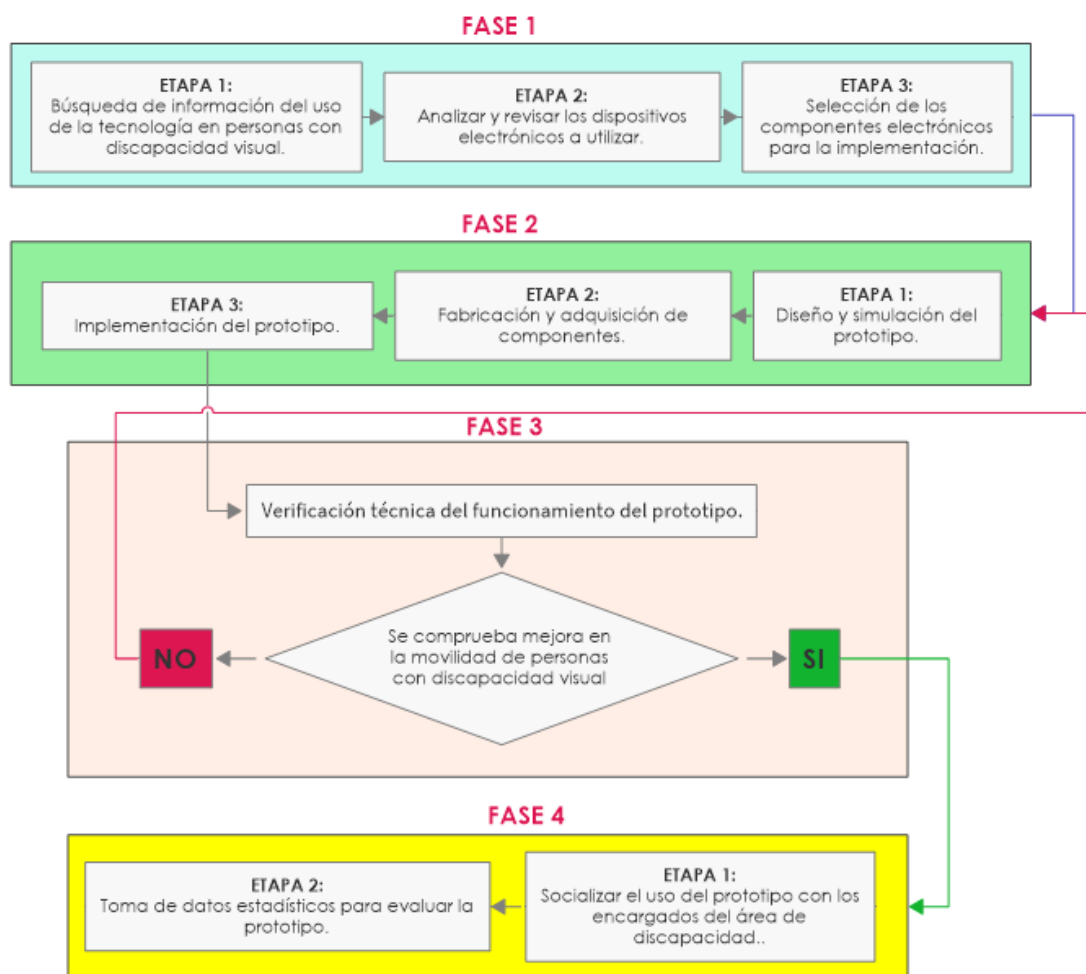


Figura 6: Diagrama de flujo.

3.3.1.1. Bastón blanco tradicional

El bastón blanco identificado para las personas que poseen discapacidad visual total o parcial, es una herramienta de ayuda para la movilización en entornos abiertos como cerrados, diseñado para la detección de obstáculos al momento de desplazarse por medio del tacto o golpeteo en la superficie que se encuentre.

Características

Los bastones de ayuda son ligeros para comodidad del usuario, están segmentados en diferentes partes como: el mango, superficie moleteada y punta. El cuerpo central está unido por mecanismos de despliegue que básicamente es un cordón elástico que estira los diferentes segmentos del bastón.

Fabricados de materiales como: plástico, PVC, aluminio y madera, lo que garantiza un menor peso al momento de desplazarlo. La longitud debe estar en un rango de 70 cm hasta los 150 cm, cabe recalcar que: el cuerpo, el mango y punta deben tener un máximo de 30 cm cada uno, donde la punta debe ser removible y de un color visible.

3.3.1.2. Bastón blanco electrónico

El bastón electrónico en sus diferentes diseños para comercialización, permite adaptar y personalizar su estructura añadiendo diferentes funcionalidades para la ayuda en detección de obstáculos que se dan con mayor frecuencia, sin embargo, este depende de las necesidades del usuario y adaptación hacia el dispositivo.

Características principales:

El bastón electrónico usa una amplia gama de sensores para diferentes diseños e instrumentos electrónicos, a su vez, la fabricación no depende de las necesidades del usuario se lo realiza dependiendo de las características y normativas que puede tener la empresa o fábrica que esté realizando la comercialización.

El bastón electrónico puede variar de acuerdo a las necesidades del usuario con el que se está trabajando, no necesariamente tiene que ser un sistema complejo para la detección de obstáculos o retroalimentación. Las necesidades del usuario priman con respecto al diseño del bastón electrónico, entre más simple sea la alerta, mucho mejor.

3.3.1.3. Análisis de modificación del bastón blanco.

El bastón blanco debe estar reglamentado y siguiendo las normativas técnicas para el uso de personas con discapacidad visual, donde nos detalla los materiales, medidas y estructura que debe tener el dispositivo, en la **Tabla 5** se muestra una comparación de las principales especificaciones técnicas.

Tabla 5: Comparación de especificaciones técnicas de los diseños de Bastón Blanco.

Ítem	Bastón blanco	Bastón electrónico
Longitud mango	20 cm a 23 cm	15 cm a 30 cm
Longitud Cuerpo	70 cm a 150 cm	70 cm a 150 cm
Longitud Punta	20 cm a 23 cm	3 cm a 50 cm
Materiales	Plástico, madera, PVC	Aluminio, metal, acrílico
Sensores	No incluye	Incluye a consideración de diseño.
Movimiento asistido	No incluye	Sistema de motor y ruedas
Retroalimentación	No incluye	Audio y moto vibradores
Precio	\$ 25	\$ 500

3.3.1.4. Complejidad del diseño

El diseño del bastón electrónico tiene limitaciones en cuanto a la reglamentación que debemos seguir para cumplir las normas técnicas en el diseño del prototipo. Por otro lado, se debe considerar las necesidades del usuario al momento de realizar la implementación.

3.3.1.5. Detalles de materiales

Al tener una norma técnica donde establece los lineamientos y detalles que debemos tener al modificar un bastón blanco, facilita el diseño en cuanto resuelve la incertidumbre sobre sus materiales, durabilidad, resistencia que pueden tener, proporcionando detalles en términos de elección de materiales.

3.3.1.6. Costo asociado

La elección de materiales en el dispositivo implementado tiene costos de fabricación mucho más bajos en comparación a los dispositivos que existen en el mercado actual.

3.3.1.7. Opinión experta

Los profesionales encargados de las personas con discapacidad visual expresan su preferencia al momento de diseñar un dispositivo electrónico en la facilidad de uso que éste va a tener por el usuario, el diseño tiene que estar enfocado para que el paciente tenga mayor facilidad al momento utilizarlo.

3.3.2. Fase II: Diseño, simulación e implementación del prototipo

3.3.2.1. Diseño de estructura

Para el diseño de la estructura se realizó diferentes análisis respecto al material de fabricación debido que tendrá que soportar un peso de 8 a 10 kg. La estructura está diseñada con una dimensión de 26 x 26 x 16 cm, la separación entre pisos para los componentes de 8cm.

La **Tabla 6** presenta las dimensiones y especificaciones del mango del dispositivo contemplando las medidas del usuario hacia el diseño. A continuación, se detallan sus componentes:

Tabla 6: Comparación de medidas para el agarre del bastón

Ítem	Distancia agarre	Medida 1	Medida 2	Audio	Comodidad
1	12 cm	3 a 4 cm	4 a 5 cm	14 cm	Si
2	11 cm	3 a 4 cm	4 a 5 cm	13 cm	Si
3	12 cm	2 cm	4 a 5 cm	14 cm	Si
4	12 cm	3 a 4 cm	4 a 5 cm	14 cm	Si
5	11 cm	3 cm	3 cm	14 cm	Si
6	12 cm	3 cm	4 cm	14 cm	Si

3.3.2.2. Diseño del sistema electrónico

Para el diseño del sistema electrónico, se desarrolló el diagrama propuesto en **Figura 7**, el cual detalla las etapas y componentes.

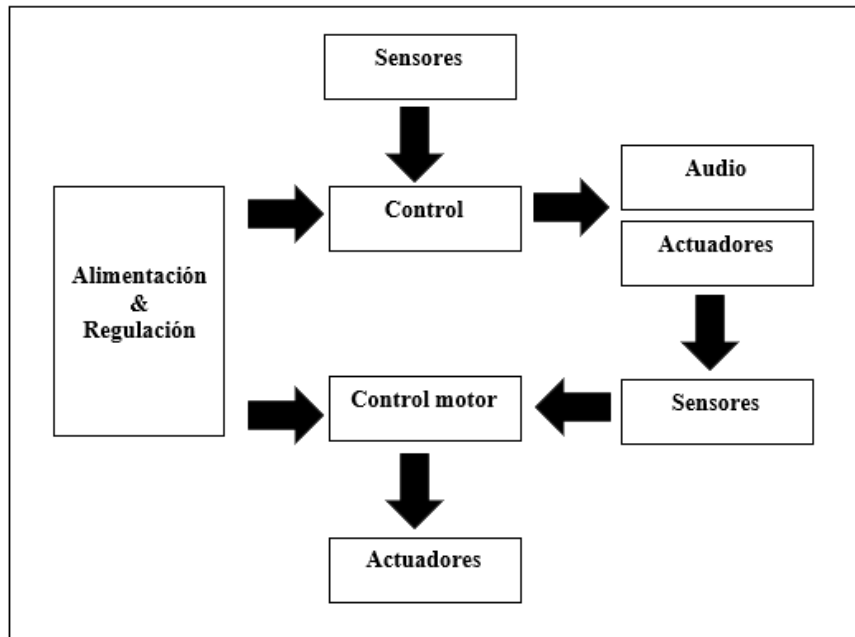


Figura 7: Diagrama del sistema electrónico.

Se diseñó la placa de circuito impreso (PCB), el trazado de pistas y la distribución de los componentes fueron optimizados para asegurar un rendimiento estable, reducir interferencias y facilitar el montaje, para una operación confiable del dispositivo, representando la etapa de integración entre el diseño teórico.

3.3.2.2.1. Alimentación y Regulación

Para suministrar energía al sistema se eligió una fuente de alimentación tipo batería recargable de 36 V ajustable hasta 42 V, cuenta con la facilidad de brindar gran cantidad de almacenamiento de energía para luego poder ajustarla y usarla según requieran los dispositivos conectados.

Tabla 7: Características de la batería [17].

Ítem	Descripción
Tipo	Batería recargable de iones de litio.
Voltaje	36 V (ajuste de 42 V).
Capacidad	2000 mAh.
Potencia	72Wh (100W a 250W).
Dimensiones	10 x 6.5 x 4 cm
Peso	0.55 kg
Uso recomendado	Manipulación correcta solo en interiores.
Material de la carcasa	Base de aislante tipo cinta adhesiva.



Figura 8: Batería recargable de celdas litio [17]

Debido a que existen componentes sensibles con voltajes de 3.3 V a 5 V, se empleó un regulador de voltaje LM2596, el mismo que tiene la función de proporcionar un voltaje de salida estable, se configura con un potenciómetro multivuelta a un voltaje referencial de 5V.

Tabla 8: Características del Regulador de Voltaje LM2596 [17]

Ítem	Descripción
Modelo	LM2596.
Voltaje de entrada	4.5 V – 40VDC.
Voltaje de salida	1.23V – 37VDC.
Corriente de Salida	3000 mA máximo.
Protección	Cortocircuito.

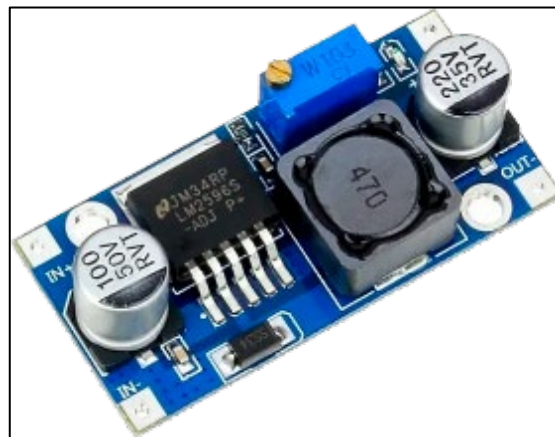


Figura 9: Regulador de Voltaje LM2596 [6].

3.3.2.2.2. Control

Para el control del dispositivo electrónico se eligió la placa de desarrollo Raspberry Pi Pico 2 (Sin Wifi), debido a su rápido procesamiento, mayor cantidad de pines y costo más accesible, integra un microcontrolador de doble núcleo para procesos más rápidos y programación de lenguaje basado en Micro Python.

Tabla 9: Características de la Raspberry Pi Pico [6].

Ítem	Descripción
Voltaje de Entrada VSYS	4.8 a 5.5 Vcc
Voltaje de Entrada 3V3 / _EN	3.2 a 3.4 Vcc
Chip	RP240.
Procesador	Arm Cortex-M0 + Doble nucleo 133MHz.
SRAM / FLASH	264k / 2MB.
Pines GPIO	24
Pines UART	4
Pines SPI	2
Pines I2C	2
Pines PWM	16



Figura 10: Raspberry Pi Pico [6].

3.3.2.2.3. Control de motor brushless

El control del motor se procedió a realizar la adaptación de la placa de desarrollo del patinete eléctrico, en la figura 11. El voltaje de trabajo es 36 voltios y puede controlar la salida de 2 motores brushless tipo rueda de 6.5 a 10 pulgadas.

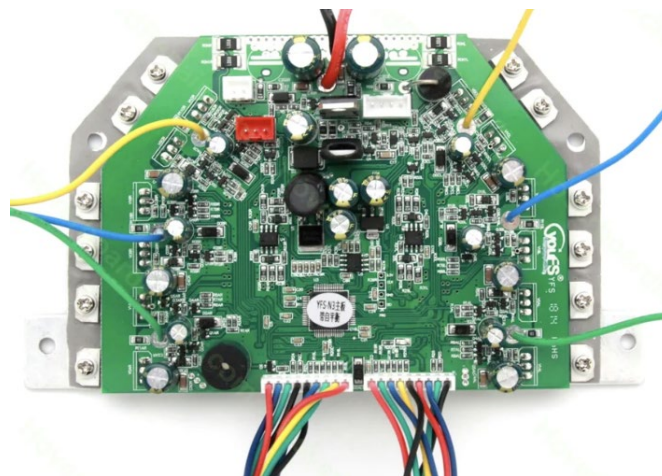


Figura 11: Placa control motor [12].

3.3.2.2.4. Sensores

Para identificar obstáculos se eligió el sensor Ultrasónico HC-SR04, donde se obtendrá una señal por cada lado del dispositivo para determinar la acción por separado.

Tabla 10: Características Sensor Ultrasónico HC-SR04 [6].

Ítem	Descripción
Tipo	Electrónico
Voltaje de Alimentación	3.3 - 5 Vcc
Pulso Ultrasónico	40 kHz
Señales de Salida	Trig, Echo
Consumo de Corriente	~15 mA
Rango de detección	0.2 - 400 cm

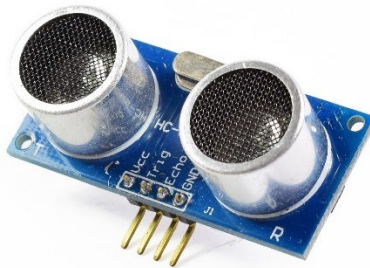


Figura 12: Sensor Ultrasónico HC-SR04 [6].

Para determinar la línea en el piso se usó los sensores TCRT500 ópticos reflectivos que integran led infrarrojo (IR).

Tabla 11: Características sensor TCRT500 [18].

Ítem	Descripción
Tipo	Electrónico
Voltaje de Alimentación	3.3 - 5 Vcc
Señales de Salida	OUT / Digital (HIGH / LOW)
Consumo de Corriente	~30 mA
Rango de detección	0.2 - 5 cm

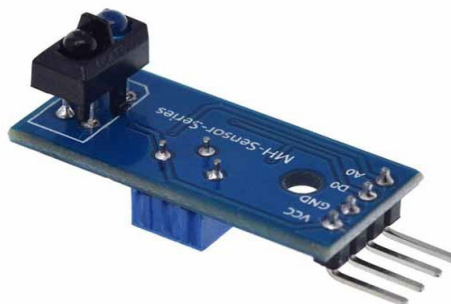


Figura 13: Sensor Óptico TCRT500 [18].

3.3.2.2.5. Actuadores

Con la finalidad de obtener una mejor estabilidad con el piso se eligió dos motores tipo rueda, de 36 V respectivamente, este tipo de motor es mucho más eficiente y silencioso, la parte del rotor es móvil con imanes permanentes.

Tabla 12: Características Motor BRUSHLESS [19].

Ítem	Descripción
Voltaje de funcionamiento	36 V
Potencia	350 W
Tipo de Unidad	Tracción delantera y trasera
Diámetro	20 cm / 7.9 in
Arnés cableado	3 fases + 5 salidas control
Tipo de motor	Brushless sin escobillas



Figura 14: Motor Rueda BRUSHLESS [19].

Para enviar la señal al control del motor utilizamos dos servomotores de SG-90, bloqueando la señal del fototransistor al desplazar con un ángulo de 90 grados sobre el área de transmisión de luz del transistor y activando el sistema de movimiento del motor al detectar la señal del sensor TCR500.

Tabla 13: Características Servomotor SG90 [20].

Ítem	Descripción
Voltaje de funcionamiento	3.5 – 7.2 V
Corriente nominal	500 mA
Torque reposo	1.5 Kg / cm
Numero de hilos	4
Pasos por revolución	90
Velocidad	0.1 Seg / 60 Grados



Figura 15: Servomotor Tower Pro SG90 [20].

Se utilizó dos moto-vibradores de 5V para desarrollar la retroalimentación háptica necesaria para alertar al usuario que procede a ocupar el dispositivo, al ser dispositivos pequeños es factible la utilización por tamaño, precio y facilidad de uso.

Tabla 14: Características del Moto-vibrador 5V [21].

Ítem	Descripción
Voltaje de Entrada	2 - 5 V
Corriente de entrada	40 mA – 100 mA
Peso	1 gr
Control de Corriente	Circuito externo



Figura 16: Moto-vibrador 5V [21].

3.3.2.2.6. Sistema de audio.

Para la retroalimentación auditiva se utilizó el módulo DFPlayer Mini MP3, que se alimenta con una fuente externa de 3.3 a 5V, facilita el almacenamiento de los archivos de audio en una micro SD soportando formatos MP3 y WAV de hasta 48 KHz.

Tabla 15: Características del DFPlayer Mini [22].

Ítem	Descripción
Voltaje de alimentación	3.3 – 5 V
Potencia de salida	3W

Impedancia de bocinas	4 ohm
Eficiencia	90%
Almacenamiento	MicroSD
Formatos	MP3 Y WAV (16- bit, 8-48 kHz)

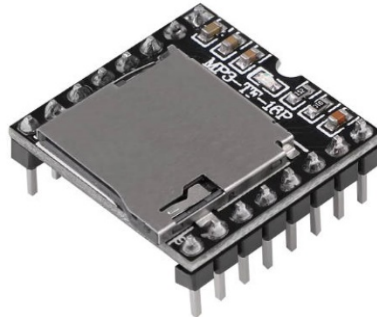


Figura 17: Módulo DFPlayer Mini MP3 Player [22].

Para la reproducción del sistema de audio se incluye un parlante sin amplificador.

Tabla 16: Características del Parlante.

Ítem	Descripción
Potencia	3W
Impedancia de bocina	8 ohm
Tamaño	40x40 mm
Espesor	30 mm



Figura 18: Parlante [7].

3.3.2.3. Implementación del sistema electrónico al prototipo

Detallado los componentes para el prototipo realizamos el esquema electrónico final a implementar:

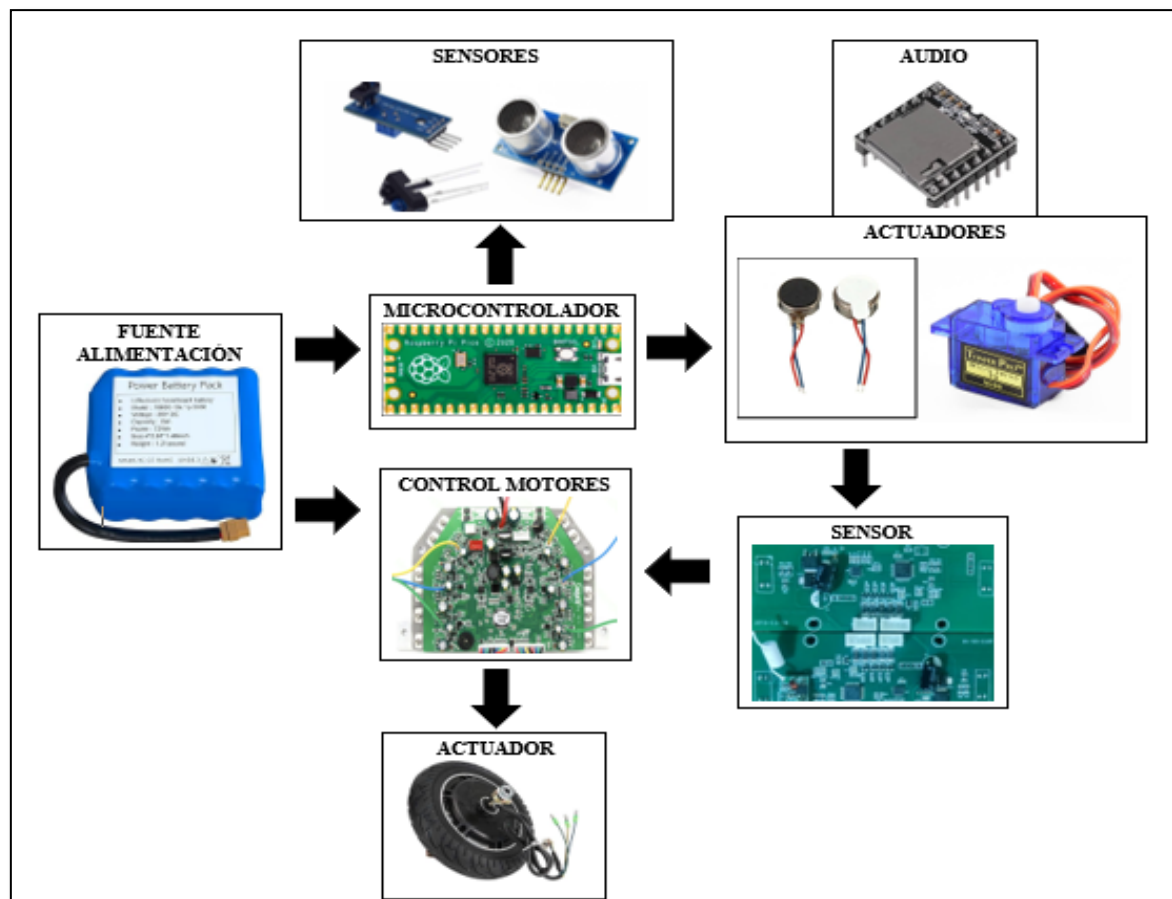


Figura 19: Diagrama del sistema electrónico final.

La placa PCB implementada corresponde al diseño final del sistema de control desarrollado en el proyecto, integrando de forma compacta y funcional todos los componentes electrónicos detallados. En ella se encuentran montados un microcontrolador central que gestiona las señales de entrada y salida, sensores que captan variables del entorno, así como actuadores y módulos de comunicación necesarios para la interacción con el sistema.

La estructura en el mango contiene sus respectivos botones NC para encendido y apagado de cada modo de operación del dispositivo implementado. El dispositivo armado integra los tres modos de retroalimentación asistida al usar el botón 1, haptica el botón 2 y auditiva el botón 3, dando como resultado el prototipo implementado.

3.3.3. Fase III: Funcionalidad del prototipo

3.3.3.1. Verificación y calibración de componentes

En la etapa de verificación, se evaluó el correcto funcionamiento del prototipo mediante pruebas de sus componentes y su interacción en los diferentes modos de asistencia. Se verifica que los sensores de proximidad detecten obstáculos y que la placa PCB procese adecuadamente estas señales para activar los actuadores, las alertas vibratorias y sonoras. Realizando pruebas de funcionamiento controladas antes de su ensamblaje.

3.3.4. Fase IV: Estadístico

Se recolectó los datos para realizar un análisis estadístico y determinar la contribución del dispositivo.

3.4. Técnicas de recolección de datos

3.4.1. Fuentes de Información

En el proceso de ejecución se realizó la búsqueda y análisis de información en publicaciones científicas, artículos, revistas, entre otras, encontrando publicaciones con énfasis en mejoras, adaptaciones, monitoreo y varios temas relacionados a los bastones blancos, parte de las herramientas virtuales para relacionar la información necesaria son las siguientes.

- Google Academic.
- IEEE Xplore.
- Scopus

3.5. Población y muestra

3.5.1. Población

La población está compuesta por los datos tiempo generado por 3 estudiantes luego de recorrer una trayectoria de 15 metros desde un punto A hacia un punto B haciendo uso del dispositivo electrónico y el bastón tradicional, durante 4 días, 40 datos por cada uno y un total de 120 datos.

3.5.2. Muestra

No se calculó el tamaño de la muestra, se trabajó con todo el conjunto de datos recolectados.

3.6. Operación de variables

3.6.1. Variable dependiente

Tabla 17: Variable dependiente.

Variable	Descripción	Indicador
Tiempo	El tiempo que tarda en recorrer de un punto A hacia un punto B con el dispositivo.	• Segundos

3.6.2. Variable independiente

Tabla 18: Variable independiente.

Variable	Descripción	Indicador
Tipo de bastón	Tipo de bastón utilizado por el usuario para asistencia en la movilidad (Tradicional y Prototipo)	• Nominal T: Tradicional P: Prototipo

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Implementación del dispositivo electrónico.

4.1.1. Diseño de estructura final armado en SolidWorks.

La estructura del dispositivo se basa en un chasis compacto y resistente, fabricado en material metálico con perfil ángulo de 2 mm de espesor. Este material fue seleccionado por su capacidad de soportar altas cantidad de peso, fácil mecanizado, y rigidez estructural adecuada para soportar los componentes electrónicos y mecánicos. El diseño incluye una base rectangular con refuerzos laterales para mejorar la estabilidad durante el ensamblaje del dispositivo. Se incorporaron orificios para el montaje de sensores ultrasónicos, servomotores, módulo DFPlayer Mini y moto-vibradores, permitiendo una distribución eficiente del sistema embebido. El chasis también alberga una rueda motorizada tipo brushless acoplada mediante soporte metálico. Resistente a golpes como choques contra una pared, sillas, entre otras, por su fabricación adaptada por segmentos de 26 cm de largo y ancho, para facilitar el desmontaje de toda la estructura en caso de requerir alguna modificación.

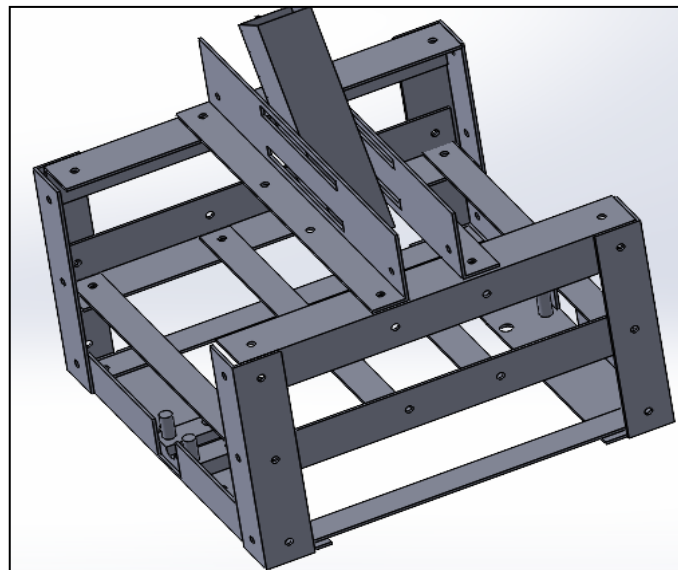


Figura 20: Estructura base del dispositivo.

La simulación estructural se realizó mediante análisis por elementos agrupados para evaluar la resistencia mecánica del chasis ante cargas equivalentes al peso de los componentes y fuerzas de impacto. Se aplicaron cargas en los puntos de segmentación del bastón y una carga vertical distribuida de 10 a 40 kg sobre la zona superior. El resultado del análisis comparativo de sólidos mostró una distribución homogénea de esfuerzos, con concentraciones para máxima carga de peso en las uniones inferiores de los soportes laterales, alcanzando su carga máxima en los 222 mm. El desplazamiento de carga mínimo fue de 48 mm, localizado en el extremo frontal del chasis. La leyenda de colores permitió identificar visualmente las zonas más críticas, indicadas en rojo, y las zonas para cargas

elevadas en azul. Estos resultados indican que la estructura es mecánicamente estable y apta para su implementación en entornos reales.

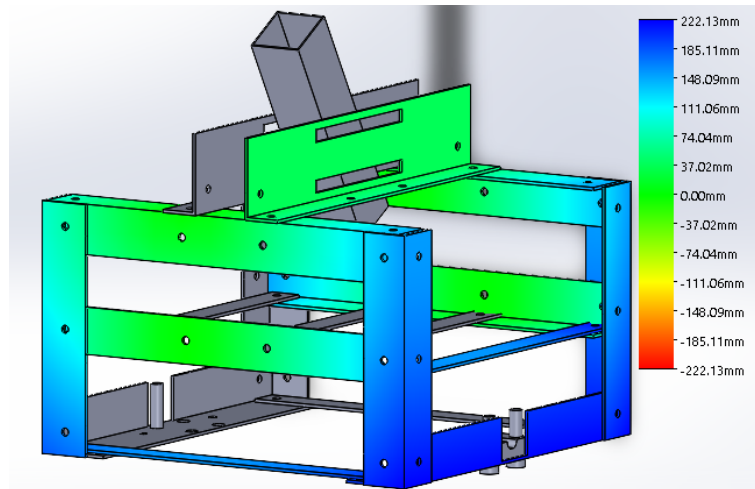


Figura 21: Simulación de carga estructural

Se realizó una simulación por elementos individuales para evaluar el comportamiento mecánico de cada segmento del chasis bajo condiciones de carga. Las piezas simuladas incluyeron la base principal, soportes laterales, anclajes del motor y cubierta superior. Se aplicaron cargas puntuales y distribuidas equivalentes al peso de los componentes (módulos electrónicos, batería, motor brushless), estimadas en 10 a 35 kg por segmento. La base del chasis soporta la mayor carga con un resultado de 35.21 kg. Los soportes del motor una carga de hasta 33.21 kg. Los soportes laterales registraron deformaciones mínimas en la parte central de la estructura soportando una carga mínima de 10 kg, confirmando su rigidez. La leyenda de colores indica una mayor carga color azul, mediana color violeta y una carga mínima en rojo. Estos resultados validan la capacidad de cada componente para resistir las condiciones mecánicas del uso diario y confirman los resultados sobre la simulación estructural.

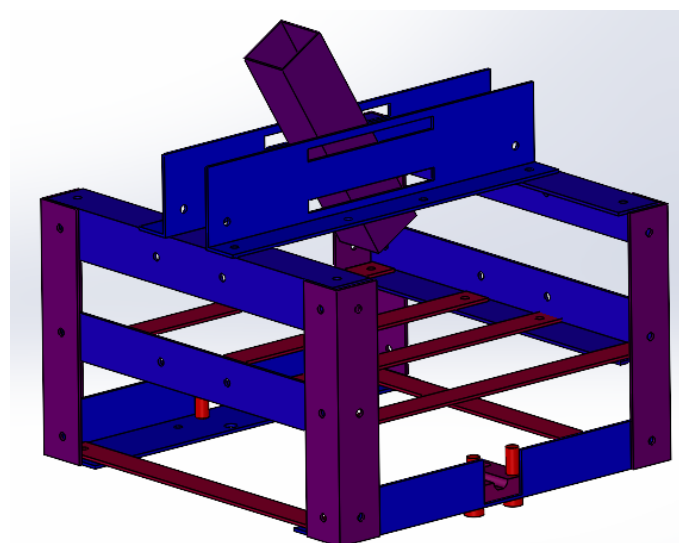


Figura 22: Simulación de carga por segmento

Se observa el diseño del mango para permitir el agarre seguro del dispositivo al momento de utilizarlo, las dimensiones están comprendidas para la parte del agarre un ancho de 3 cm, la separación interna para el agarre de 10 cm y un largo de 15 cm que facilitan el uso del dispositivo, brindando estabilidad y dureza por su fabricación en material metal con perfil rectangular de ½ pulgada, respetando las consideraciones sobre las medidas para comodidad de las personas con discapacidad visual.

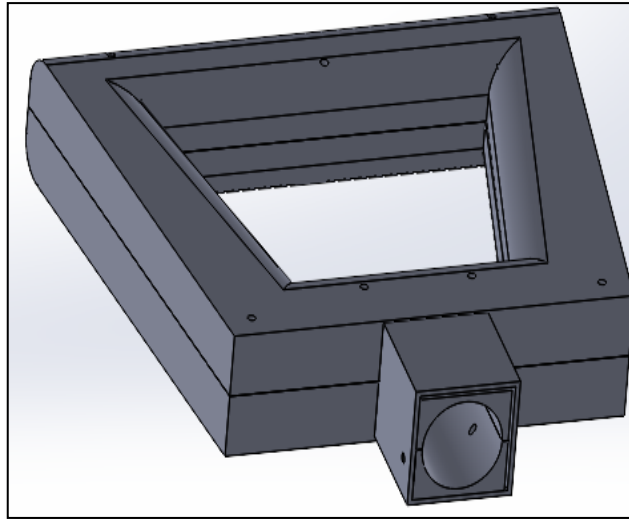


Figura 23: Mango de bastón electrónico.

4.1.2. Diseño electrónico

Se presenta la simulación de la placa PCB desarrollada en el software PCBWizard. El diseño propuesto contiene la distribución grafica de las pistas de cobre necesarias para conexión de todos los componentes electrónicos como, sensores ultrasónicos, servomotores, modulo DFPlayer Mini y la Raspberry Pi Pico, evitando posibles fallos por cortocircuitos. Para optimizar el espacio disponible en la estructura detallada en la sección anterior la placa PCB se diseñó con una dimensión de 10 x 10 cm, donde contiene pines macho a hembra para poder desmontar el microcontrolador cuando se necesite modificar o corregir errores en el código.

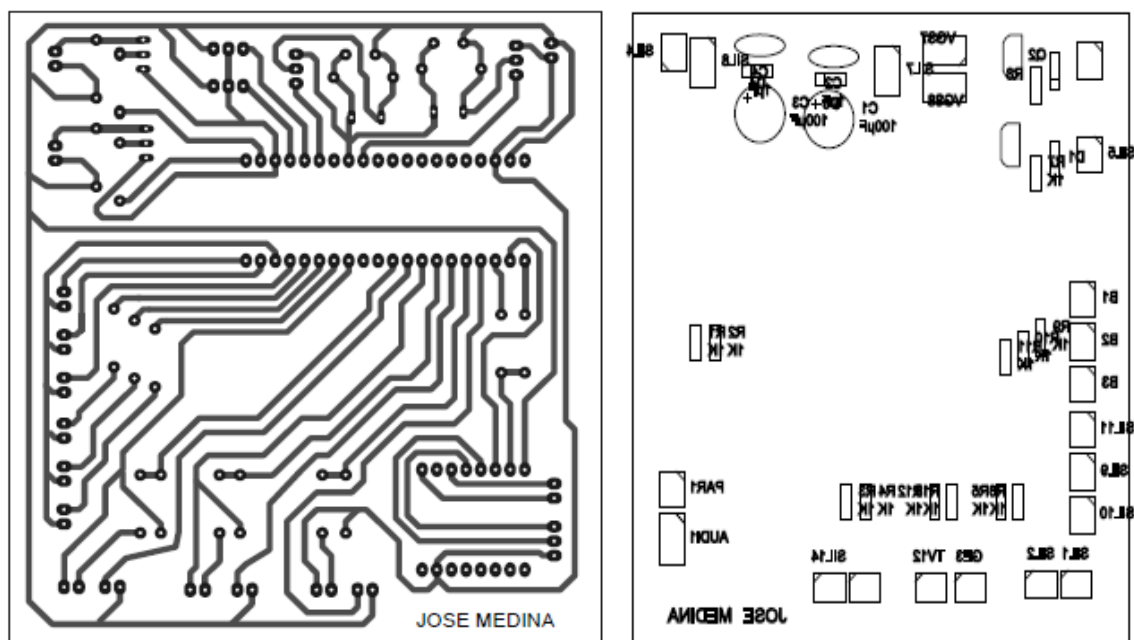


Figura 24: Diseño de la placa (PCB) en PCBWizard.

Se presenta ya fabricada la placa de circuito impreso PCB de diseño personalizado, fabricada en sustrato FR4 con dimensión de 10 x 10 cm y superficie de cobre para conexión entre pistas. El diseño corresponde al esquema previamente presentado en PCBWizard y fue elaborado para lograr una adaptación al diseño de estructura base por el espacio y la integración de componentes electrónicos para evitar fallas en el funcionamiento. Se observan el encapsulado de componentes como resistencias, capacitores, transistores, microcontrolador de la placa Raspberry Pi Pico y el reproductor de audio DFPlayer Mini. Se incorporan los respectivos pines de conexión que aseguran la continuidad eléctrica de cada componente conectado.

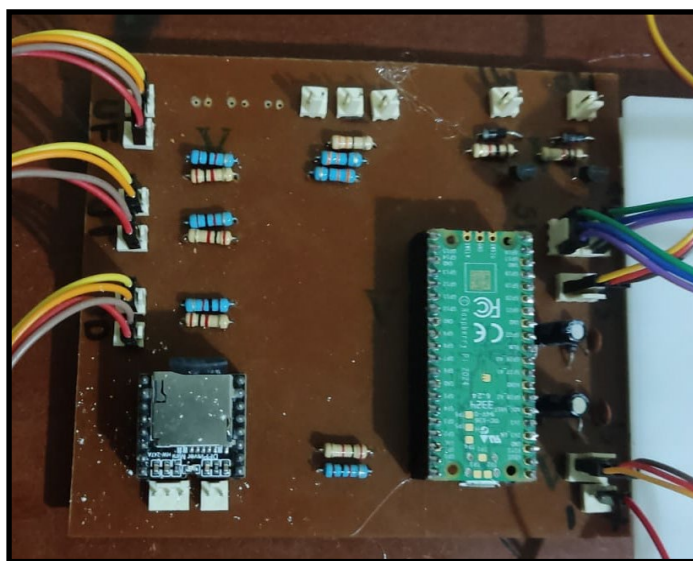


Figura 25: Impresión de placa (PCB) fabricada.

Se presenta la estructura física previamente diseñada en perfil ángulo de ½ pulgada, la placa PCB para control, y todos los componentes electrónicos descritos previamente en el apartado de metodología. Esta etapa representa la preparación para el ensamblaje del sistema completo, donde cada componente se procede a realizar de forma individual la calibración a su respectivo voltaje de funcionamiento en la mayoría 5 V y revisión de resultados en su funcionamiento. Se realiza la regulación del voltaje de entrada al circuito de 5 V, tomado desde la batería de 36 V.

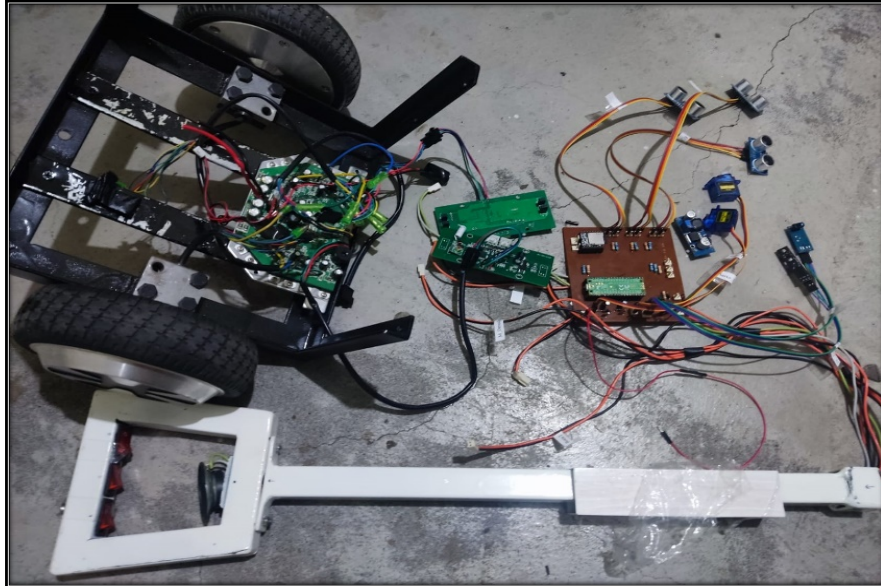


Figura 26: Montaje de sistema electrónico Completo.

4.1.3. Implementación funcional del dispositivo.

Se muestra la vista trasera del dispositivo, donde se localizan los botones de encendido y apagado de cada sistema, así como el sistema de carga para la alimentación de la batería que se realiza mediante un cargador regulado para baterías de litio de 36 voltios. Esta área fue propuesta debido a la necesidad de separar el sistema de movimiento autónomo de los motores identificado con el botón circular de color blanco y el botón de color rojo cuadrado activa los sistemas de audio, vibración para seguridad del usuario en casos de emergencia.



Figura 27: Vista posterior del dispositivo ensamblado.

Se muestra la vista frontal del mango del dispositivo previamente detallado en apartados anteriores, donde se integran los tres botones físicos que permiten al usuario con discapacidad visual seleccionar los distintos modos de asistencia. Esta distribución facilita el acceso durante el uso del dispositivo, estableciendo por código que solo podrá estar activo uno de los modos al presionar evitando que se activen todos los modos al mismo instante y finalmente se visualiza la parte de la almohadilla donde se encuentran los moto-vibradores para la asistencia táctil.



Figura 28: Mango del dispositivo con botones de selección de modo.

Se presenta la vista frontal del dispositivo, donde se visualiza los sensores ultrasónicos HC-SR04 y los motores tipo llanta en los costados de estructura. Esta imagen muestra el ensamblaje final del sistema embebido, evidenciando la integración entre la estructura física

y el sistema electrónico. Obteniendo las dimensiones finales del dispositivo de una altura de 1 metro y la parte del chasis de 36 cm de ancho.



Figura 29: Vista frontal prototipo implementado.

El estudio reveló que muchas personas con discapacidad visual están dispuestas a colaborar en el desarrollo de herramientas tecnológicas. De un grupo de 10 personas entrevistadas el 100% de ellas nunca ha utilizado algún dispositivo asistido, principalmente por el alto costo de los dispositivos. El sistema de tipo portátil y ergonómico está posicionado en la mano del usuario. En la escena se observa la interacción directa del usuario con el dispositivo para la adaptación al momento de usarlo, por lo tanto, se concluye que se puede incorporar a su rutina diaria el uso de estos dispositivos.



Figura 30: Pruebas de funcionamiento con personas con discapacidad visual.

Esta fase se realizó la verificación y análisis del dispositivo con los encargados del área de discapacidad analizando la seguridad, comodidad y uso de las personas. Se destaca que los cuidadores profesionales para esta labor es apenas del 15%, mientras que el restante está conformado por voluntarios o personal de instituciones de educación Superior, o Instituciones especializadas. A pesar de ello, el 80% de los cuidadores afirma que el uso del dispositivo capacitando sobre su funcionamiento, modos de operación y formas de manejo técnicas, brinda una forma de mejorar la calidad de vida de las personas con discapacidad visual.



Figura 31: Verificación de encargados del área de Discapacidades.

4.2. Análisis estadístico de los resultados obtenidos.

Para determinar la mejora en el desplazamiento se comparan los datos del tiempo de desplazamiento de un punto A hacia un punto B con una distancia de 15 metros, generado por tres personas con discapacidad visual, realizaron la utilización del dispositivo de acuerdo al tipo de sistema (tradicional y prototipo), con sus modos de asistencia integrados.

La hipótesis planteada para el proyecto de titulación es:

- El uso del prototipo mejora el tiempo de desplazamiento de la persona con discapacidad visual.

4.2.1. Tipo de sistema

Se presentan los estadísticos descriptivos del tiempo de desplazamiento, donde la media del método tradicional es significativamente mayor a la del prototipo. Lo que sugiere una mejora en el desplazamiento con el uso del dispositivo electrónico.

Tabla 19: Análisis de datos descriptivo (Tradicional y prototipo).

Descriptivos				
	TIPO DE SISTEMA		Estadístico	Error estándar
TIEMPO	PROTOTIPO	Media	41.60	0.331
		Mediana	42.00	
		Varianza	3.283	
		Desv. estándar	1.812	
		Mínimo	37	
		Máximo	44	
		Rango intercuartil	3	
		Asimetría	-0.807	0.427
		Curtosis	0.080	0.833
	TRADICIONAL	Media	55.57	0.602
		Mediana	56.00	
		Varianza	10.875	
		Desv. estándar	3.298	
		Mínimo	50	
		Máximo	61	
		Rango intercuartil	5	
		Asimetría	-0.176	0.427
		Curtosis	-1.059	0.833

Para determinar el tipo de distribución de los datos se aplicó la prueba de normalidad de Kolmogorov-Smirnov, considerando que la base de datos es mayor a 50 y permite definir el uso de técnicas estadísticas paramétricas, se visualiza que el p-valor (Sig.) del prototipo es menor al p-valor del método tradicional.

Tabla 20: Resultado test de normalidad de Kolmogórov-Smirnov para las variables estudiadas.

Pruebas de normalidad							
	TIPO DE SISTEMA	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
TIEMPO	PROTOTIPO	0.187	30	0.009	0.914	30	0.018
	TRADICIONAL	0.103	30	0.200*	0.952	30	0.191

Las hipótesis planteadas son:

- **Hipótesis Nula:** La mediana del tiempo recorrido por el método tradicional(μ_1) es igual a la mediana del tiempo recorrido por el prototipo(μ_2).

$$H_0: \mu_1 = \mu_2$$

- **Hipótesis Alternativa:** La mediana del tiempo recorrido por el método tradicional(μ_1) es diferente a la mediana del tiempo recorrido por el prototipo(μ_2).

$$H_0: \mu_1 \neq \mu_2$$

Se realiza el análisis no paramétrico mediante la prueba U de Mann-Whitney, comparando el modo tradicional con el prototipo, el valor de significancia es 0.001 por lo tanto se rechaza la hipótesis nula ya que existe diferencia en tiempo recorrido por el prototipo.

Tabla 21: Resultado test Mann-Whitney para comparación de medianas entre tradicional vs prototipo.

Estadísticos de prueba	
	Tiempo
N	60
U de Mann-Whitney	0.001
W de Wilcoxon	465.000
Z	-6.673
Sig. asin. (bilateral)	<0.001

La **Figura 32** muestra la distribución de la mediana del tiempo recorrido por el prototipo que es 42 segundos respecto a los 56 del método tradicional, indicando que el uso dispositivo genera mejores resultados en la movilidad de la persona con discapacidad.

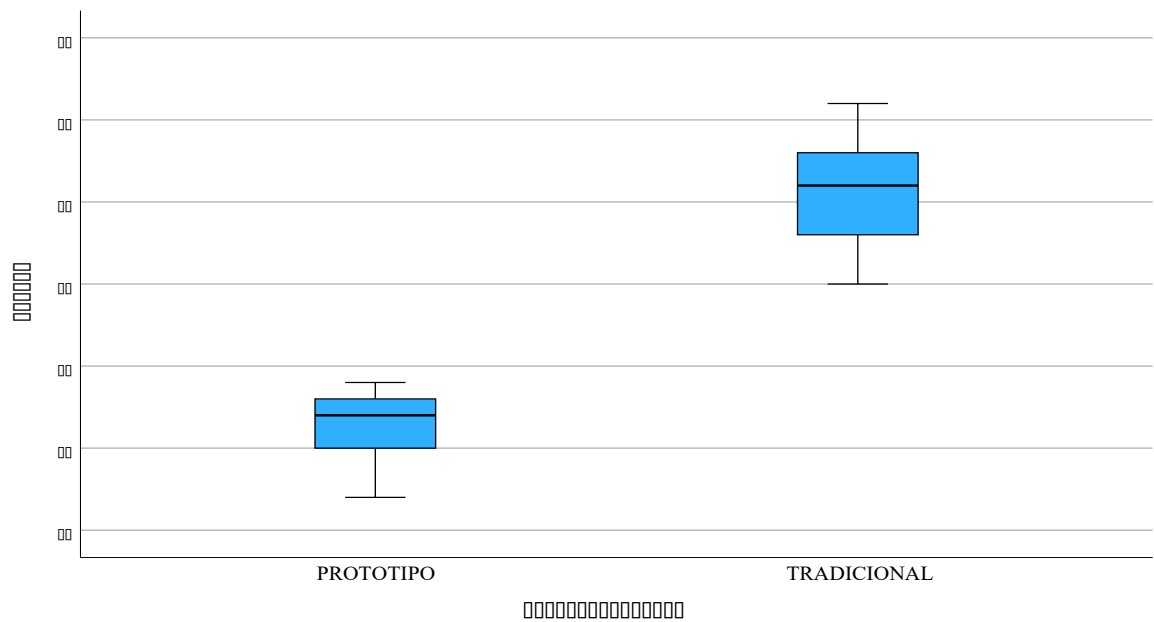


Figura 32: Diagrama de cajas resultado prototipo-tradicional.

4.2.2. Modos del sistema

Se presentan los estadísticos descriptivos de los tiempos de desplazamiento respecto al método tradicional y los modos de asistencia del prototipo, la media del método tradicional es significativamente mayor a la del prototipo en sus diferentes modos de asistencia. Lo que sugiere una mejora en el desplazamiento utilizando los modos por el usuario.

Tabla 22: Análisis de datos descriptivos tradicional y los modos del prototipo.

Descriptivos				
	MODO		Estadístico	Error estándar
TIEMPO	MODO 1	Media	44.27	0.512
		Mediana	44.50	
		Varianza	7.857	
		Desv. estándar	2.803	
		Mínimo	38	
		Máximo	48	
		Rango intercuartil	4	
		Asimetría	-0.736	0.427
		Curtosis	-0.138	0.833
	MODO 2	Media	39.20	0.373
		Mediana	40.00	
		Varianza	4.166	
		Desv. estándar	2.041	
		Mínimo	36	
		Máximo	42	
		Rango intercuartil	4	

		Asimetría	-0.238	0.427
		Curtosis	-1.302	0.833
	MODO 3	Media	4.50	0.434
		Mediana	41.50	
		Varianza	5.638	
		Desv. estándar	2.374	
		Mínimo	38	
		Máximo	45	
		Rango intercuartil	5	
		Asimetría	0.000	0.427
		Curtosis	-1.277	0.833
	TRADICIONAL	Media	55.57	0.602
		Mediana	56.00	
		Varianza	10.875	
		Desv. estándar	3.298	
		Mínimo	50	
		Máximo	61	
		Rango intercuartil	5	
		Asimetría	-0.176	0.427
		Curtosis	-1.059	0.833

Para determinar el tipo de distribución se aplicó la prueba de normalidad de Kolmogorov-Smirnov, considerando que la base de datos es mayor a 50 y permite definir el uso de técnicas estadísticas paramétricas, se visualiza que el p-valor (Sig.) del prototipo en el modo 1 (retroalimentación autónoma) y modo 2 (retroalimentación háptica) es menor al p-valor al método del tradicional, sin embargo, el modo 3 (retroalimentación auditiva) es mayor teniendo que realizar un test para muestras paramétricas.

Tabla 23: Resultado test de normalidad de Kolmogórov-Smirnov para tradicional – modos de asistencia.

Pruebas de normalidad							
	MODO	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
TIEMPO	MODO 1	0.195	30	0.005	0.913	30	0.017
	MODO 2	0.186	30	0.010	0.906	30	0.012
	MODO 3	0.120	30	0.200*	0.924	30	0.034
	TRADICIONAL	0.103	30	0.200*	0.952	30	0.191

Al menos uno de los modos no sigue una distribución normal, se realiza las comparaciones entre el método tradicional y cada uno de los tres modos que dispone el prototipo.

4.2.2.1. Comparación método tradicional – Modo 1 (Retroalimentación asistida)

Tabla 24: Resultado test de Mann-Whitney para comparación de medianas entre tradicional – modo 1.

Estadísticos de prueba	
	Tiempo
N	60
U de Mann-Whitney	0.001
W de Wilcoxon	465.000
Z	-6.666
Sig. asin. (bilateral)	<0.001

Como el p-valor es 0.001 y menor que 0.05, se concluye que hay una diferencia significativa entre los grupos en cuanto al nivel de satisfacción, el grupo con bastón electrónico tiene un rango promedio mayor, lo que sugiere mayor satisfacción al usar el modo 1.

4.2.2.2. Comparación método tradicional – modo 2 (Retroalimentación háptica)

Tabla 25: Resultado test Mann-Whitney para comparación de medianas entre tradicional – modo 2

Estadísticos de prueba	
	Tiempo
N	60
U de Mann-Whitney	0.001
W de Wilcoxon	465.000
Z	-6.666
Sig. asin. (bilateral)	<0.001

El p-valor es 0.001 siendo menor que 0.05, se concluye que hay una diferencia significativa entre los grupos en cuanto al nivel de satisfacción, el grupo con bastón electrónico tiene un rango promedio mayor, lo que sugiere mayor satisfacción al usar el modo 2.

4.2.2.3. Comparación método tradicional – modo 3 (Retroalimentación auditiva).

Se aplicó la prueba t de muestras independientes para determinar diferencias en el tiempo de desplazamiento entre el tradicional y el modo tres del prototipo. La hipótesis nula plantea que la mediana que el tiempo de desplazamiento es igual al método tradicional.

Tabla 26: Resultado test t de muestras independientes entre tradicional – modo 3.

Prueba t de muestras independientes			
Tiempo	Media Bastón Tradicional		55.57
	Media Bastón prototipo		41.50
	Desviación estándar	Tradicional	3.298
		Modo 3	2.374

p-valor		0.045
Gl grados de libertad		58
p-valor de dos factores		0.001
Intervalo de confianza	Inferior	12.582
	superior	15.552

La **Figura 33** muestra la distribución del conjunto de datos del modo tradicional y los modos de asistencia, donde la mediana del tiempo recorrido por el prototipo en sus tres modos es menor al método tradicional, indicando que el uso dispositivo genera mejores resultados en la movilidad de las personas con discapacidad visual.

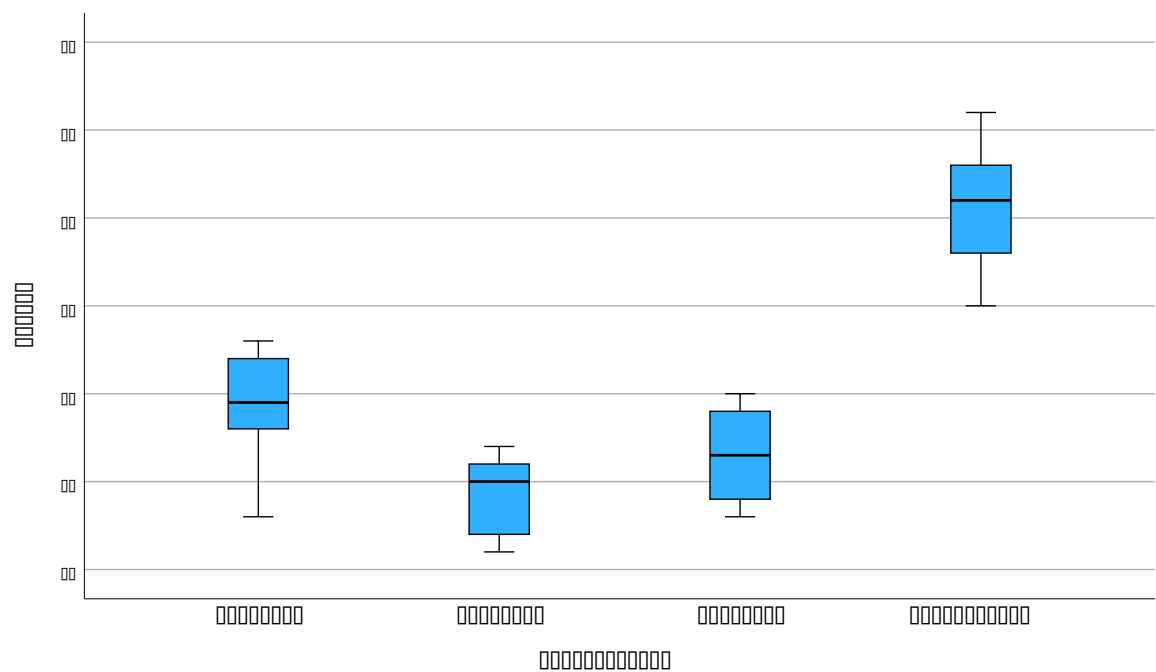


Figura 33: Diagrama de caja resultados tradicional y modos de asistencia.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

Se logró implementar un dispositivo electrónico de asistencia destinado a ayudar en la movilidad de personas con discapacidad visual, cumpliendo con requerimientos definidos en las fases de diseño y desarrollo. La integración de sensores ultrasónicos HC-SR04, servomotores, sistemas de alerta por vibración y módulos de audio permitió crear un sistema autónomo, portátil y eficiente. Su bajo consumo energético y facilidad de uso evidencian una solución tecnológica accesible y replicable para entornos educativos y controlados. En consecuencia, se cumple con el objetivo general planteado, aportando una herramienta de ayuda basada en principios de diseño electrónico, automatización y asistencia técnica.

Mediante un proceso de recolección de información cualitativa y cuantitativa, se identificaron las principales problemáticas y limitaciones que enfrentan las personas como la falta de percepción de obstáculos, riesgos de accidentes por ausencia de señales táctiles o auditivas, y la necesidad de tener una persona como guía constante. Estableciendo los requerimientos del sistema electrónico a diseñar, garantizando que responda a una necesidad técnica real.

El dispositivo se construyó integrando tecnologías de bajo costo y alta eficiencia, incluyendo sensores ultrasónicos HC-SR04, actuadores tipo moto-vibrador, servomotores SG-90, microcontrolador Raspberry Pi Pico, y un módulo DFPlayer Mini para salida de audios pregrabados. La estructura física fue fabricada con perfil ángulo de ½ pulgada de metal, permitiendo un soporte de peso de hasta 35 kg y resistente a golpes contra paredes u objetos sólidos. El diseño desmontable del sistema facilita su mantenimiento y control electrónico a dispositivos de asistencia portátiles.

Se realizó la caracterización del sistema bajo pruebas de laboratorio, estableciendo parámetros como tiempo de respuesta, rango de detección, consumo energético y comportamiento del sistema de alertas. Logrando respuestas promedio menor a 1 segundo en los sensores HC-SR04 y una detección confiable de obstáculos hasta 150 cm. La selección para modos de operación, mediante una distribución de tres botones, permite seleccionar las funciones de asistencia, garantizando la adaptabilidad del sistema a distintos usuarios con discapacidad visual.

Se realizó la validación del dispositivo con pruebas de campo con usuarios finales en recorridos desde un punto A hacia un punto B, evidenciando una mejora con el dispositivo al proporcionar la retroalimentación asistida, táctil y auditiva, mejorando la orientación del usuario en espacios controlados. La respuesta positiva al uso por los usuarios con discapacidad confirma la viabilidad del dispositivo como herramienta de movilidad asistida, cumpliendo con los criterios técnicos definidos en el proyecto.

En conclusión, la implementación del dispositivo electrónico de movimiento asistido demostró ser una herramienta de ayuda para mejorar la movilidad y autonomía. A través del uso de sensores, servomotores, moto-vibradores y un módulo de reproducción de audio, se logró diseñar un sistema capaz de proporcionar retroalimentación asistida, táctil y auditiva en tiempo real. Evidenciando mejoras en el tiempo de desplazamiento para el bastón tradicional el promedio fue de 56 segundos y con el uso del dispositivo es 42 segundos, evidenciando la efectividad del prototipo en lograr mejoras a su autonomía.

5.2. Recomendaciones

Se recomienda optimizar el diseño físico del dispositivo, disminuyendo el peso para facilitar su uso en cualquier entorno por parte de personas con discapacidad visual. Implementar un sistema de carga solar que permita un uso más autónomo y continuo del equipo, incluir módulos GPS y conectividad inalámbrica (Bluetooth o Wi-Fi), esto podría abrir nuevas funcionalidades como geolocalización, generación de rutas accesibles o comunicación directa con familiares o personas encargadas de su cuidado. La integración de estas tecnologías debe realizarse sin comprometer la simplicidad de uso del sistema. También sería importante continuar con una versión más estructurada para futuros proyectos.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] O. Mundial de la Salud, «Informe mundial sobre la visión», 2020, pp. 12-14. Accedido: 6 de mayo de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/331423/9789240000346-spa.pdf>
- [2] M. Coco y M. Begoña, «Manual de baja visión», 2017, pp. 221-225. Accedido: 6 de mayo de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=661319>
- [3] A. Borray, «Sistema tecnológico de apoyo para la movilidad urbana en la ciudad de Bogotá D.C», 2018. Accedido: 7 de mayo de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://expeditiorepositorio.utadeo.edu.co/bitstream/handle/20.500.12010/16556/documento%20memoria%20-%20cpg-final%20triada%20y%20jurados.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [4] V. Trujillo Mora, E. I. González Jaimes, A. López Chau, y J. Bautista López, «Análisis de la utilidad del Bastón Blanco Inteligente UAEM para personas con discapacidad visual», *RIDE Revista Iberoamericana para la Investigación y el Desarrollo Educativo*, vol. 11, n.º 22, mar. 2021, doi: 10.23913/ride.v11i22.897.
- [5] H. Abuelmakarem, A. Abuelhaag, M. Raafat, y S. Ayman, «An Integrated IoT Smart Cane for the Blind and Visually Impaired Individuals», *SVU-International Journal of Engineering Sciences and Applications*, vol. 5, n.º 1, pp. 71-78, jun. 2024, doi: 10.21608/svusrc.2023.222096.1137.
- [6] «Sensor Ultrasonido HC-SR04». Accedido: 27 de abril de 2025. [En línea]. Disponible en: Sensor Ultrasonido HC-SR04
- [7] C. Mai *et al.*, «Laser Sensing and Vision Sensing Smart Blind Cane: A Review», 1 de enero de 2023, *MDPI*. doi: 10.3390/s23020869.
- [8] L. Frizziero, A. Liverani, G. Donnici, P. Papaleo, y C. Leon-Cardenas, «Smart cane developed with dfss, qfd and sde for the visually impaired», *Inventions*, vol. 6, n.º 3, sep. 2021, doi: 10.3390/inventions6030058.
- [9] «Convención sobre los derechos de personas con discapacidad», *Naciones Unidas*, pp. 4-5, 2018.
- [10] «Consejo Nacional Para la Igualdad de Discapacidades», CONADIS. Accedido: 14 de mayo de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.consejodiscapacidades.gob.ec/estadisticas-de-discapacidad/>
- [11] «Desarrollo_Sistema_Movilidad_Aroyave_2019», vol. 6, pp. 10-15, 2019.
- [12] «Replacement Motherboard for Self Balancing Electric Scooters». Accedido: 27 de abril de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://hoverboardrepair.com/products/10-wheel-size-hoverboard-smart-balance-main-board>
- [13] L. R. Tebo, «A Resource Guide to Assistive Technology for Students with Visual Impairment», 2021. Accedido: 19 de junio de 2023. [En línea]. Disponible en: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpgclefindmkaj/https://qiat.org/new/wp-content/uploads/2020/06/TEBO_VI_Resource_Guide.pdf
- [14] Yumbal Fernández, «Qué es arduino, como funciona y que puedes hacer.»

- [15] Carrera, «Universidad Salesiana Politécnica sede en Quito», 2019.
- [16] R. Jaime Fernandez Llontop, M. Ysabel Arangurí García, G. Manuel Leon Tenorio, y M. Eugenio Vilchez Rivas ASESOR, «Ingeniero de sistemas y computadoras», 2021.
- [17] amazon, «Batería recargable de iones de litio de 36 V (42 V) y 2 Ah».
- [18] «Seguidor de Línea TCRT5000 Óptico Infrarrojo». Accedido: 28 de abril de 2025. [En línea]. Disponible en: https://uelectronics.com/producto/sensor-seguidor-de-linea-tcrt5000-optico-infrarrojo/?srsltid=AfmBOop0OK8jV3FNpWkjnCnRZOgecGT9YIeu5NPqYa_XkFgKgwpwzJHSK
- [19] «Motor de rueda de buje». Accedido: 28 de abril de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.amazon.com/-/es/escobillas-pulgadas-accesorio-veh%C3%ADculo-neum%C3%A1tico/dp/B07Y8K3X95>
- [20] «Servomotor tower pro SG90». Accedido: 28 de abril de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://grupoelectrostore.com/shop/motores/servomotores/servomotor-tower-pro-sg90-360-rotacion-continua/>
- [21] «Motor Vibrador 5V Tipo Moneda». Accedido: 28 de abril de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://novatronicec.com/index.php/product/motor-vibracion-5v/>
- [22] «Módulo DFPlayer Mini MP3 Player». Accedido: 28 de abril de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://avelectronics.cc/producto/modulo-dfplayer-mini-mp3-player/>

ANEXOS

Anexo 1: Código de MicroPython

Función de control sensores, actuadores

```
# --- 1. Importaciones ---
from machine import Pin, PWM, time_pulse_us
import time
from dfplayer import reproducir_audio

# --- 2. Botones NC ---
boton1 = Pin(15, Pin.IN, Pin.PULL_UP)
boton2 = Pin(14, Pin.IN, Pin.PULL_UP)
boton3 = Pin(13, Pin.IN, Pin.PULL_UP)

estado_boton1 = 1
estado_boton2 = 1
estado_boton3 = 1
boton_activo = None

# --- 3. Motovibradores PWM ---
motovibrador1 = PWM(Pin(16))
motovibrador2 = PWM(Pin(17))
motovibrador1.freq(1000)
motovibrador2.freq(1000)

def set_potencia(motor, porcentaje):
    duty = int((porcentaje / 100) * 65535)
    motor.duty_u16(duty)

def apagar_motovibradores():
    set_potencia(motovibrador1, 0)
    set_potencia(motovibrador2, 0)

# --- 4. Sensores ultrasónicos ---
trigger1, echo1 = Pin(2, Pin.OUT), Pin(3, Pin.IN)
trigger2, echo2 = Pin(4, Pin.OUT), Pin(5, Pin.IN)
trigger3, echo3 = Pin(6, Pin.OUT), Pin(7, Pin.IN)

def medir_distancia(trigger, echo):
    trigger.low()
    time.sleep_us(2)
```

```

trigger.high()
time.sleep_us(10)
trigger.low()
duracion = time_pulse_us(echo, 1, 30000)
return (duracion * 0.0343) / 2 if duracion > 0 else 999

# --- 5. Sensores de línea ---
sensor_linea_izq = Pin(18, Pin.IN)
sensor_linea_der = Pin(19, Pin.IN)

# Leer el valor de los sensores de línea
def leer_sensores_linea():
    estado_izq = sensor_linea_izq.value() # 0 si está sobre la línea, 1 si no lo está
    estado_der = sensor_linea_der.value() # 0 si está sobre la línea, 1 si no lo está
    return estado_izq, estado_der

# --- 6. Servomotores ---
servo1 = PWM(Pin(20))
servo2 = PWM(Pin(22))
servo1.freq(50)
servo2.freq(50)

# Función para mover los servos a 0 y 90 grados
def mover_servo(servo, angulo):
    duty = int((angulo / 180) * 6000 + 2500)
    servo.duty_u16(duty)

# --- 7. Botones ---
def manejar_boton(pin, estado_anterior, nombre, audio_num, audio_des):
    global boton_activo
    actual = pin.value()
    if actual != estado_anterior:
        if actual == 0 and boton_activo is None:
            print(f'{nombre} PRESIONADO')
            boton_activo = nombre
            reproducir_audio(audio_num)
        elif actual == 1 and boton_activo == nombre:
            print(f'{nombre} LIBERADO')
            boton_activo = None
            reproducir_audio(audio_des)
            if nombre == "boton2":
                apagar_motovibradores()
            if nombre == "boton1":
                # Regresar los servomotores a 0 grados cuando se libera el botón 1

```

```

        mover_servo(servo1, 90)
        mover_servo(servo2, 0)
    return actual

# --- 8. Audio de bienvenida al inicio ---
time.sleep(4)
reproducir_audio(10)

# --- 8. Bucle principal ---
ultimo_tiempo_boton2 = time.time()
ultimo_tiempo_boton3 = time.time()
ultimo_tiempo_boton1 = time.time()

while True:
    estado_boton1 = manejar_boton(boton1, estado_boton1, "boton1", 1, 7)
    estado_boton2 = manejar_boton(boton2, estado_boton2, "boton2", 2, 8)
    estado_boton3 = manejar_boton(boton3, estado_boton3, "boton3", 3, 9)

    # Si el botón 1 está presionado, leer los sensores de línea cada 2 segundos
    if boton_activo == "boton1":
        ahora = time.time()
        if time.time_diff(ahora, ultimo_tiempo_boton1) >= 2000:
            estado_izq, estado_der = leer_sensores_linea()
            print(f"Sensor Izquierda: {estado_izq}, Sensor Derecha: {estado_der}")

            # Si los sensores detectan la línea (valor 0), mover los servos a 90 grados
            if estado_izq == 1:
                mover_servo(servo1, 90)
            else:
                mover_servo(servo1, 0)

            if estado_der == 0:
                mover_servo(servo2, 90)
            else:
                mover_servo(servo2, 0)

            ultimo_tiempo_boton1 = ahora

    if boton_activo == "boton2":
        ahora = time.time()
        if time.time_diff(ahora, ultimo_tiempo_boton2) >= 2000:
            d1 = medir_distancia(trigger1, echo1)
            d2 = medir_distancia(trigger2, echo2)

```

```

d3 = medir_distancia(trigger3, echo3)
print(f"[B2] Distancias: {d1:.1f} | {d2:.1f} | {d3:.1f} cm")

# Motovibradores
set_potencia(motovibrador1, 30 if d1 <= 30 or d3 <= 30 else 0)
set_potencia(motovibrador2, 30 if d2 <= 30 or d3 <= 30 else 0)

ultimo_tiempo_boton2 = ahora

if boton_activo == "boton3":
    ahora = time.time()
    if time.time() - ultimo_tiempo_boton3 >= 4000:
        d1 = medir_distancia(trigger1, echo1)
        d2 = medir_distancia(trigger2, echo2)
        d3 = medir_distancia(trigger3, echo3)
        print(f"[B3] Distancias: {d1:.1f} | {d2:.1f} | {d3:.1f} cm")

        if d1 <= 30:
            reproducir_audio(5)
        if d2 <= 30:
            reproducir_audio(4)
        if d3 <= 30:
            reproducir_audio(6)

        ultimo_tiempo_boton3 = ahora

time.sleep(0.05)

```

Función reproducción de audio

```

# dfplayer.py

from machine import UART, Pin
import time
uart = UART(0, baudrate=9600, tx=Pin(0), rx=Pin(1))
def enviar_comando(comando, param1=0, param2=0):
    # Calcular checksum
    checksum = 0xFFFF - (0xFF + 0x06 + comando + 0x00 + param1 + param2) + 1
    checksum_high = (checksum >> 8) & 0xFF
    checksum_low = checksum & 0xFF

    paquete = bytearray([
        0x7E, 0xFF, 0x06, comando, 0x00,
        param1,
        param2,
        checksum_high,
        checksum_low,
        0xEF
    ])
    uart.write(paquete)
def reproducir_audio(numero):
    enviar_comando(0x03, 0x00, numero) # Reproducir pista en carpeta raíz o mp3
    time.sleep(0.2) # Pequeña pausa para estabilidad

```

Anexo 2: Carta de trabajo

Riobamba, 04 de julio de 2023

Msc. Johana Suárez

Directora de la Unidad Educativa Especializada “Dr. Luis Benavides”

Presente. -

De mi consideración

Estimada Msc. Johana Suárez. Le saluda **José Alexander Medina Paz** con CI: 180532030-4, estudiante de la **Universidad Nacional de Chimborazo**, escuela de Ingeniería, carrera de **Ingeniería en Telecomunicaciones**, como parte de mi proceso de finalización de estudios me encuentro en la etapa del desarrollo de una investigación o desarrollo de un proyecto.

Previamente se estuvo en conversaciones sobre la posibilidad de apoyo de parte de la Institución para la realización del proyecto *“Diseño e implementación de un dispositivo electrónico de movimiento asistido para contribuir a la movilidad de personas con discapacidad visual de la Unidad Educativa Especializada Dr. Luis Benavides”*, como apoyo de la tecnología hacia este grupo de personas.

Debido al término del ciclo electivo 2022 – 23 en las instituciones educativas no se pudo obtener el permiso de parte del distrito de Educación **Riobamba-Chambo 06D01**, sin embargo, se realizará la petición del permiso al inicio del siguiente periodo de clases para mantener la documentación y normas respectivas.

Mediante este oficio queda expuesto la disposición, compromiso y amabilidad de la directora Msc. Johana Suarez, en colaborar con el desarrollo del proyecto luego de obtener los permisos necesarios.

Por la favorable atención anticipo mis agradecimientos.

Firman atentamente,



José Alexander Medina Paz

ESTUDIANTE



Mgs. Johana Suarez

Directora de la Unidad Educativa Especializada

Dr. Luis Benavides



Correo electrónico: jose.medina@unach.edu.ec