

**DESARROLLO DE UN SISTEMA VIBRACIONAL PARA INVIDENTES QUE  
PUEDA RECONOCER LOS OBSTÁCULOS QUE ESTÁN EN SU ALREDEDOR  
AL ANDAR**

**NICOLLE ALEJANDRA BURGOS NAVARRO  
ALBERTO ANTONIO PAVA FERNÁNDEZ**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL CARIBE  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA  
BARRANQUILLA - COLOMBIA  
2021**

**DESARROLLO DE UN SISTEMA VIBRACIONAL PARA INVIDENTES QUE  
PUEDA RECONOCER LOS OBSTÁCULOS QUE ESTÁN EN SU ALREDEDOR  
AL ANDAR**

**NICOLLE ALEJANDRA BURGOS NAVARRO  
ALBERTO ANTONIO PAVA FERNÁNDEZ**

**Trabajo de grado presentado para optar al título de  
Ingeniero Mecatrónico**

**ASESORES DISCIPLINARES:**

**ING. Saúl Antonio Pérez Pérez, MSc.**

**ING. Carlos Gabriel Díaz Sáenz, PhD. (c)**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL CARIBE  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA  
BARRANQUILLA - COLOMBIA  
2021**

**Nota de aceptación**

---

---

---

---

---

---

---

Firma del jurado 1

---

Firma del jurado 2

## DEDICATORIA

*Este trabajo de grado está dedicado principalmente a Dios por proveernos de coraje, sensatez y sabiduría para superar cada uno de los obstáculos que surgieron en el camino y a nuestras familias quienes con su amor, esfuerzo y paciencia nos ayudaron a seguir adelante y no decaer ante algunas circunstancias presentadas durante la realización de este proyecto. Además, está dedicada a nuestras parejas y amigos que siempre estuvieron con nosotros brindándonos todo su apoyo incondicional, moral y económico para poder culminar con este proyecto.*

*De igual manera queremos dedicarles esta tesis a todas aquellas personas que hicieron parte de este proceso y que de alguna manera realizaron su pequeño aporte que hoy en día se ve reflejado, a nuestros docentes por guiarnos y compartir sus conocimientos en base a su experiencia y sabiduría, por sacar un espacio de su tiempo para atender cada una de nuestras inquietudes y ayudarnos a sacar adelante este proyecto.*

*Por último, a la Universidad Autónoma del Caribe por habernos aceptado ser parte de ella, por permitirme formarme en ella, crecer como persona y a su vez adquirir nuevos conocimientos en conjunto de sus excelentes docentes.*

## TABLA DE CONTENIDO

LISTA DE FIGURAS.....	7
LISTA DE TABLAS.....	9
LISTA DE ECUACIONES.....	10
ABREVIATURAS Y ACRÓNIMOS .....	11
GLOSARIO.....	12
RESUMEN .....	14
INTRODUCCIÓN .....	16
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	19
1.1. ANTECEDENTES .....	21
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	23
1.3. JUSTIFICACIÓN Y ALCANCE.....	23
2. OBJETIVOS.....	26
2.1. OBJETIVO GENERAL.....	26
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	26
3. MARCO DE REFERENCIA.....	27
3.1. ESTADO DEL ARTE .....	27
3.2. MARCO TEÓRICO.....	33
3.2.1 PRINCIPIO DE HUYGENS-FRESNEL.....	33
3.2.2 EFECTO DOPPLER .....	34
3.2.3 PRINCIPIO DE SUPERPOSICIÓN.....	35
3.2.4 REFLEXIÓN DE ONDA.....	36
3.2.5 INTERFERENCIAS ELECTROMAGNÉTICAS .....	37
4. PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO .....	39
4.1. METODOLOGÍA.....	39
4.2. TIPO DE ESTUDIO.....	41
4.3. CRONOGRAMA – PLAN DE TRABAJO.....	42
5. PRESUPUESTO .....	44
5.1. PRESUPUESTO GENERAL .....	44
5.2. PERSONAL CIENTÍFICO Y DE APOYO.....	45
5.3. CONSULTORIA ESPECIALIZADA.....	46

5.4.	MATERIALES, INSUMOS Y EQUIPOS .....	46
6.	PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	48
6.1.	DISEÑO DEL PROTOTIPO .....	48
6.1.1.	CONEXIONES .....	49
6.2.	DISEÑO DISPOSITIVO FINAL .....	52
6.2.1.	APARTADO FÍSICO .....	53
6.2.2.	CONEXIONES .....	53
6.2.3.	PLANOS CAD.....	55
6.2.4.	CÓDIGO .....	56
6.3.	MATERIALES .....	58
6.3.1.	ARDUINO PRO-MICRO ATMEGA32U4.....	58
6.3.2.	LV-MAXSONAR-EZ .....	58
6.3.3.	BLUETOOTH HC-05 .....	59
6.3.4.	BATERIA POLÍMERO DE LITIO .....	60
6.3.5.	MODULE VIBRATOR PWM.....	60
6.3.6.	INTERRUPTOR DE DOS POSICIONES .....	61
6.3.7.	MODULO ELEVADOR CARGADOR - GESTOR DE CARGA BATERÍA LITIO .....	62
6.4.	RECOLECCIÓN DE DATOS .....	62
6.4.1.	MUESTRA POBLACIONAL.....	62
6.5.	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	63
6.5.1.	ANÁLISIS DE LA ENCUESTA DE REQUERIMIENTOS.....	64
6.5.2.	ANÁLISIS DE LAS PRUEBAS REALIZADAS POR EL PROTOTIPO .....	67
6.5.3.	ANÁLISIS DE LAS PRUEBAS REALIZADAS POR EL DISPOSITIVO FINAL .....	70
6.5.4.	PRUEBA DE LONGITUD .....	76
6.5.5.	ANÁLISIS DE LA ENCUESTA DE SATISFACCIÓN .....	77
6.6.	MANUAL DE USUARIO.....	81
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	82
	BIBLIOGRAFÍA.....	84
	ANEXOS .....	88

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Principio de Huygens-Fresnel. ....	34
Figura 2. Efecto Doppler. ....	35
Figura 3. Principio de superposición. ....	36
Figura 4. Reflexión de ondas.....	37
Figura 5. Interferencia electromagnética. ....	38
Figura 6. Procedimiento metodológico.....	39
Figura 7. Diagrama de Gantt. ....	43
Figura 8. Vistas del diseño del primer prototipo detector extraídas de SolidWorks. ....	48
Figura 9. Vistas del diseño CAD del primer prototipo de la banda electrónica extraídos de SolidWorks. ....	49
Figura 10. Conexiones detector y emisor.....	50
Figura 11. Conexiones vibrador receptor. ....	50
Figura 12. Prototipo detector No. 2. ....	51
Figura 13. Prototipo banda electrónica No.2. ....	51
Figura 14. Dispositivo final detector. ....	52
Figura 15. Dispositivo final vibrador. ....	52
Figura 16. Dispositivo final.....	53
Figura 17. Conexión dispositivo detector. ....	54
Figura 18. Conexión banda electrónica. ....	55
Figura 19. Dimensiones del dispositivo detector.....	55
Figura 20. Dimensiones de la banda electrónica. ....	56
Figura 21. Arduino Pro-Micro ATmega32u4. ....	58
Figura 22. LV-MaxSonar-EZ.....	59
Figura 23. Bluetooth HC-05. ....	59
Figura 24. Batería polímero de litio. ....	60
Figura 25. Module Vibrator PWM.....	61
Figura 26. Interruptor de dos posiciones. ....	61
Figura 27. Módulo elevador cargador - Gestor de carga batería litio. ....	62
Figura 28. Gráfico de frecuencia tabla 9.....	64
Figura 29. Gráfico de frecuencia tabla 10 .....	65
Figura 30. Gráfico de frecuencia tabla 11. ....	65
Figura 31. Gráfico de frecuencia tabla 12 .....	66
Figura 32. Gráfico de frecuencia tabla 13 .....	66
Figura 33. Gráfico de frecuencia tabla 14. ....	67
Figura 34. Posición inicial de los objetos en la prueba. ....	68
Figura 35. Ruta ejemplo. ....	68
Figura 36. Obstáculo No. 1. ....	69
Figura 37. Obstáculo No. 2. ....	69
Figura 38. Obstáculo No. 3. ....	70
Figura 39. Prueba de validación primer usuario.....	71
Figura 40. Prueba de validación segundo usuario.....	72

Figura 41. Prueba de validación tercer usuario.....	73
Figura 42. Prueba de validación tercer usuario.....	74
Figura 43. Prueba de validación quinto usuario.....	75
Figura 44. Gráfico de medición real y teórica.....	76
Figura 45. Gráfico de frecuencia tabla 16. Encuesta No 2.....	78
Figura 46. Gráfico de frecuencia tabla 17. Encuesta No 2.....	78
Figura 47. Gráfico de frecuencia tabla 18. Encuesta No 2.....	79
Figura 48. Gráfico de frecuencia tabla 19. Encuesta No 2.....	79
Figura 49. Gráfico de frecuencia tabla 20. Encuesta No 2.....	80
Figura 50. Prototipo detector vibrador.....	88
Figura 51. Prototipo vibrador.....	89
Figura 52. Prototipo detector.....	89
Figura 53. Prueba validación del prototipo.....	90
Figura 54. Ruta de evasión de obstáculo.....	90
Figura 55. Planos vista lateral del dispositivo detector final.....	91
Figura 56. Planos frontal y posterior del dispositivo vibrador final.....	91
Figura 57. Planos vista lateral del dispositivo vibrador final.....	92
Figura 58. Planos vista posterior e inferior del dispositivo vibrador final.....	92
Figura 59. Dispositivo detector.....	93
Figura 60. Dispositivo vibrador.....	93
Figura 61. Ubicación del dispositivo en el usuario No 2.....	94
Figura 62. Prueba de validación.....	94
Figura 63. Prueba de validación segundo usuario.....	95
Figura 64. Aplicación de encuesta de satisfacción.....	95

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Cronograma de actividades. ....	42
Tabla 2. Presupuesto general. ....	44
Tabla 3. Costo personal científico. ....	45
Tabla 4. Costo personal de apoyo.....	45
Tabla 5. Costo consultoría especializada.....	46
Tabla 6. Costo materiales e insumos.....	46
Tabla 7. Costo trabajo de campo.....	47
Tabla 8. Costo equipos usados.....	47
Tabla 9. Datos Pregunta No. 1.....	64
Tabla 10. Datos Pregunta No. 2.....	65
Tabla 11. Datos Pregunta No. 3.....	65
Tabla 12. Datos Pregunta No. 4.....	66
Tabla 13. Datos Pregunta No. 5.....	66
Tabla 14. Datos Pregunta No. 6.....	67
Tabla 15. Datos de prueba de medición.....	76
Tabla 16. Datos Pregunta No. 1. Encuesta No 2.....	78
Tabla 17. Datos Pregunta No. 2. Encuesta No 2.....	78
Tabla 18. Datos Pregunta No. 3. Encuesta No 2.....	79
Tabla 19. Datos Pregunta No. 4. Encuesta No 2.....	79
Tabla 20. Datos Pregunta No. 5. Encuesta No 2.....	80
Tabla 21. Datos Pregunta No. 6. Encuesta No 2.....	80
Tabla 22. Datos Pregunta No. 7. Encuesta No 2.....	81
Tabla 23. Datos Pregunta No. 8. Encuesta No 2.....	81

## LISTA DE ECUACIONES

Ecuación 1. Distancia de un objeto por reflexión .....	37
Ecuación 2. Porcentaje de error. ....	77

## ABREVIATURAS Y ACRÓNIMOS

**AGCC:** Algoritmo Genético cooperativo coevolutivo.

**CAD:** Diseño Asistido por Computadora.

**GPS:** Global Positioning System / Sistema de Posicionamiento Global.

**PIC:** Programmable Interface Controllers / Controladores de interfaz programables.

**PWM:** Pulse-Width Modulation / Modulación de ancho de pulso.

**RFID:** Radio-frequency identification / Identificador de radiofrecuencia.

**RGB-D:** Red green blue-Depth / Rojo verde azul-Profundidad.

**RX:** Recepción.

**TX:** Transmisión.

## GLOSARIO

**Alimentación:** Potencia que es suministrada al dispositivo para su correcto funcionamiento.

**Autonomía:** Capacidad autónoma en el manejo de la tecnología, teniendo en cuenta siempre que es lo más conveniente y lo más adecuado para la resolución de problemas.

**Autonomía:** Capacidad de poder decidir de manera propia e independiente, sin tener influencia de un tercero.

**Baja visión:** Alteración de la función visual incluso después de tratamiento y/o corrección refractiva estándar.

**Bluetooth:** Permite la comunicación sin cables ni conectores, además tiene la posibilidad de crear redes inalámbricas domésticas para sincronizar y compartir la información que se encuentra almacenada en diversos equipos.

**Ceguera:** Se refiere a la ausencia total de visión y percepción de luz de ambos ojos.

**Conexión:** Se le llama conexión al enlace ente un emisor y un receptor a través del cual se envía un mensaje.

**Desplazamiento:** Aquel movimiento que realiza un cuerpo al trasladarse de un lugar a otro.

**Detección:** Ubicación de algo que no puede observarse mediante aparatos o métodos físicos o químicos.

**Discapacidad:** Presencia de deficiencia física, mental, intelectual o sensorial a largo plazo, en la cual se puede presentar diversas barreras que pueden impedir una plena participación y efectiva en la sociedad, en igualdad de condiciones con los demás ciudadanos.

**Hardware:** Todos aquellos componentes que hacen parte de la estructura física de un sistema informático. En este se encuentran una gran variedad de componentes eléctricos, electrónicos, electromecánicos y mecánico.

**Inalámbrico:** Sistema de comunicación o dispositivo que no cuenta con una conexión física con una base o elementos, es decir que carece de cables.

**Interferencia:** Es aquella alteración o perturbación del desarrollo de una cosa mediante la interposición de otra, la cual puede resultar siendo un obstáculo.

**Invidente:** Aquella persona que no puede hacer uso del sentido de la vista, esta carece totalmente de visión o apenas consigue percibir la luz.

**Microcontrolador:** Es un dispositivo versátil, económico y capaz de procesar casi todas las señales que provienen de cualquier tipo de sensor, estos contienen 1 línea de entrada y salida digital.

**Onda:** Perturbación de alguna propiedad la cual es propagada en un medio físico o en el vacío.

**Seguridad:** Estado en el cual los peligros y las condiciones que pueden provocar daños de tipo físico, psicológico o material pueden controlarse para preservar la salud y bienestar de los individuos y de la comunidad.

**Software:** Son aquellas instrucciones utilizadas para la comunicación con el ordenador y que hacen posible su uso, es decir que este son los programas, datos, procedimientos y pautas que permiten la realización de tareas en un sistema informático.

**Ultrasonido:** Es un sensor de distancia que proporciona mediciones de precisas sin contacto mediante ondas ultrasónicas, desde aproximadamente 2 cm a 3 metros.

**Vibración:** Propagación de ondas elásticas que causan tensión y a su vez deformación en un medio continuo.

## RESUMEN

El presente documento obedece al cumplimiento de un proyecto para optar el título de ingeniero mecatrónico, el cual trata sobre el desarrollo de un sistema vibracional para invidentes que detecta los objetos que se encuentran en la parte superior al andar, esta investigación es presentada como una propuesta para el apoyo a la población invidente implementando dispositivos que ayuden a reducir el riesgo de accidentes en la población invidente ocasionados por obstáculos que encontrados en la parte superior durante su desplazamiento ya que el bastón los ayuda a detectar los obstáculos que encuentran en la parte inferior. Esta investigación se desarrolló bajo el método de investigación sistémico en donde se realiza una integración de todos los componentes del sistema en un solo conjunto, en este se se emplearon diversas técnicas como lo son el análisis documental y encuestas, así como también el diseño de hardware y software del dispositivo, y la prueba de desempeño de este. Para culminar este proyecto, el grupo investigador realizó pruebas de validación técnica y funcional y con esto llegar a unas conclusiones y recomendaciones en donde se podrá solucionar o mejorar el funcionamiento de este.

**Palabras claves:** desplazamiento, invidentes, obstáculos, sistema vibracional.

## **ABSTRACT**

This document is due to the fulfillment of a project to obtain the title of mechatronic engineer, which deals with the development of a vibrational system for blind people that detects objects that are on the top when walking, this research is presented as a proposal to support the blind population by implementing devices that help reduce the risk of accidents in the blind population caused by obstacles found in the upper part during their displacement since the cane helps them to detect the obstacles found at the bottom. This research was developed under the systemic research method where an integration of all the components of the system in a single set is performed, in this several techniques were used such as documentary analysis and surveys, as well as the design of hardware and software of the device, and the performance test of this. To culminate this project, the research group conducted technical and functional validation tests and with this reach conclusions and recommendations where it will be possible to solve or improve the operation of this.

**Keyword:** Displacement, blind, obstacles, vibrational system.

## INTRODUCCIÓN

Las personas invidentes están expuestas a sufrir accidentes al no poder detectar los obstáculos que se encuentran en la parte superior durante su desplazamiento diario ya que el bastón que es el recurso más común utilizado por esta población no brinda total confianza debido a que no logra detectarlos por la altura de estos.

Información suministrada por el Instituto Nacional para Ciegos (INCI) [1] muestra que en Colombia existe una población de 1.14 millones de personas con discapacidad visual de los cuales 12.457 se encuentran en el Atlántico encontrando que el 90% de ellas está distribuidos entre los estratos socioeconómicos 1 y 2, evidenciando a esta población como la de menos posibilidades por no contar con los recursos económicos suficientes que les facilite costearse los implementos necesarios para mejorar su calidad de vida, lo que ha generado la creación de dispositivos de bajo costo que permitan a esta población la facilidad de acceder a ellos.

Durante esta investigación se formuló la siguiente pregunta ¿De qué manera se puede reducir el riesgo de accidente en la población invidente ocasionados por obstáculos que se encuentren en la parte superior en su desplazamiento? Teniendo en cuenta la pregunta planteada anteriormente, el grupo investigador se ha dedicado al desarrollo de un sistema vibracional capaz de detectar obstáculos que se encuentren en la parte superior durante el desplazamiento de las personas invidentes para mitigar estos accidentes.

Este proyecto presenta un interés académico con el que se quiere generar un aporte tecnológico y social. El grupo de investigación se basó en el método de investigación sistémico para el desarrollo del proyecto en donde se aplicaron técnicas de análisis documental y encuestas. Además de esto se implementó un

muestreo probabilístico basado en una pequeña población de invidentes de la Fundación Fundavé de la ciudad de Barranquilla.

De igual manera, para el propósito de esta investigación se consideró el cumplimiento de los objetivos específicos en donde se establecen los requerimientos del sistema teniendo en cuenta los resultados de la encuesta realizada en la fundación, el diseño de la estructura del sistema de detección el cual interviene en el funcionamiento del dispositivo final y la implementación de este sistema para su validación técnica y funcional.

Por otro lado, el proyecto está plasmado en seis importantes capítulos en donde se tratan diferentes etapas para el desarrollo del proyecto. En el capítulo 1 se establece el planteamiento del problema el cual está conformado por los antecedentes, la justificación y alcance del proyecto. Además de esto se presenta la formulación del problema.

En el capítulo 2 se presenta el objetivo general del proyecto el cual es “*Desarrollar un sistema vibracional para invidentes que detecte los obstáculos que están en la parte superior al andar*” así como también los objetivos específicos para alcanzar este objetivo general. El capítulo 3 abarca el marco de referencia, este contiene el estado del arte en donde se plasman artículos antiguos que contribuyeron como base esencial para el proyecto y el marco teórico que está conformado por las leyes y teorías en las cuales está fundamentado el proyecto.

Por otra parte, el capítulo 4 lo conforma el procedimiento metodológico el cual está dividido en 3 partes, la metodología y el tipo de estudio en el que se apoyó el grupo investigador para llevar a cabo el proyecto y el cronograma-plan de trabajo en el cual se plasman las fechas de entrega para cumplir cada una de las actividades para culminar los objetivos específicos y lograr el objetivo general.

El capítulo 5 muestra el presupuesto del proyecto desglosado en 6 partes las cuales tratan de los costos en diferentes áreas como lo son el personal científico y de apoyo, consultoría especializada y los materiales, insumos y equipos. Por último, en el capítulo 6 se expone el diseño del prototipo y del dispositivo final con sus respectivas conexiones, los materiales que componen el dispositivo, la recolección de datos teniendo en cuenta la muestra poblacional, los resultados de las pruebas realizadas por el dispositivo y el manual de usuario.

## 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El cuerpo humano desempeña un papel muy importante en los procesos intelectuales desde el seno materno hasta la adultez, este le proporciona al cerebro la información que requiere del ambiente que le rodea. Esta información es recibida por los sentidos, la vista, el oído, el gusto, el olfato y el tacto, los cuales objetivamente de llevar a cabo la función vital de ser la vía de la información humana.

Los órganos cumplen diferentes funciones, pero van encaminados hacia un mismo objetivo, se podría decir que algunos son más importantes que otros y solo la persona que carece de uno de estos es quien de manera acertada puede señalar que su vida es más fácil o difícil ante su ausencia; el sentido de la vista es considerado como el más importante porque es el que permite conectarnos con el mundo, darnos seguridad y mantenernos alertas, perder este sentido perturba el modo de percibir el mundo, entenderlo y en consecuencia vivir sin este, pero el cuerpo humano es flexible a situaciones traumáticas que puede adaptarse fácilmente y desarrollar habilidades que le permite al individuo desenvolverse por sí mismo [2] [3].

Se ha comprobado que a falta de un sentido los demás se agudizan, siendo el tacto, olfato, audición y el gusto las cuatro armas para defenderse que les quedan a los invidentes, reorganizándose sensorialmente ante la carencia del sentido. No obstante, esto no les asegura que al desplazarse no puedan encontrarse con un objeto, el cual solo detecten cuando ya se han lastimado con este [4] [5].

El Instituto de Neurociencias de Alicante y responsable del Laboratorio del mecanismo celular y molecular de las conexiones cerebrales realiza un planteamiento al respecto, "Cuando la pérdida de un sentido tiene lugar de forma temprano, durante el desarrollo, el cuerpo humano experimenta cambios cerebrales importantes", destaca Guillermina López-Bendito, investigadora de este

Instituto. “Se sabe, por ejemplo, que la corteza cerebral que debería procesar los estímulos del sentido perdido, el visual o el auditivo, procesan otra información sensorial.

En el caso de los ciegos, el área cerebral encargada de procesar estímulos visuales procesa información auditiva o somatosensorial” [5]. Referente al número de personas con discapacidad visual en el mundo la OMS (Organización Mundial De La Salud) estima que es de 285 millones, dividiendo esta cifra en 39 millones invidentes y 246 millones con baja visión [6], razón que ha llevado que estudios o proyectos emprendidos por diferentes países se hayan encaminado a facilitar la vida de estas personas, siendo la más acertada la detección de objetos al andar.

Por otro lado, la comunidad invidente se encuentra en alto riesgo de sufrir accidentes, por lo cual requieren de elementos que les permita orientarse mientras circulan por una vía de manera independiente. Uno de esos medios es el recurso táctil, el cual resulta ser el más común y el más difundido entre esta población.

La persona ciega percibe el entorno en su recorrido paso a paso y toque a toque con el uso del bastón, este le permite orientarse e identificar obstáculos que le impidan avanzar sin riesgo y distinguir el camino, pero a cierto número de invidentes no les gusta usar el bastón guía ya que con este no sienten independencia, asimismo tampoco logran detectar esos obstáculos por encima de la altura de la cintura como un cartel o letreros bajos que pueden causarle golpes en su cara o cabeza [7].

En el caso de los perros guías, estos no brindan total seguridad debido a que no logran detectar totalmente los obstáculos que se encuentren en alturas superiores a la cadera y con referente a un cuidador y/o persona guía son costosos y no brindan independencia al sujeto.

En Colombia se presenta una población de 1.14 millones de personas con discapacidad visual, ya sea de nacimiento o de tipo degenerativo con el paso de los años o por accidentes [8]. A lo largo de la historia muchas han sido las herramientas que se han creado para facilitarle un poco las cosas a esta población, como lo es el bastón blanco, el acompañamiento de perros, e incluso acompañantes humanos.

Entonces, al hablar de detección de los obstáculos se presentan diversos problemas, ya que se suelen utilizar métodos tradicionales de ayuda como lo son el bastón blanco, un perro guía o un ayudante personal, estos métodos no son para nada innovadores tecnológicamente hablando y tampoco accesibles para algunas comodidades. En el caso del bastón es una herramienta anticuada,, pero es lo único que les ha brindado tal seguridad y apoyo hasta la actualidad a muchos ciudadanos pertenecientes a esta comunidad, ya que todos no cuentan con el dinero necesario para costearse un perro guía o ayudante personal.

### **1.1. ANTECEDENTES**

Teniendo como base los problemas planteados anteriormente, a continuación, se plantean antecedentes que contribuyen a la confirmación de la problemática planteada. Al hablar de accidentes ocasionados por no lograr detectar algunos obstáculos, se encuentra la noticia del periódico Contraparte donde Alejandro Camacho Fierro menciona los accidentes por obstáculos como las casetas telefónicas, alcantarillas sin tapas, las banquetas en mal estado y los obstáculos en huellas podotáctiles. Estos elementos causan alrededor de 800 accidentes al mes [9].

Por otra parte, Malorie Alcazar integrante de la fundación Fundavé de Barranquilla comenta que ella y un compañero de la misma fundación sufrieron un accidente al chocar con una pared voladizo debido a que esta no podía ser detectada por un bastón. Por lo que no consideran a este como un método de desplazamiento seguro ya que no logra detectar los obstáculos altos.

Con esto se puede observar que muchos de los accidentes que sufren los invidentes son por obstáculos altos que no logran detectar con el bastón.” Todos los días tenemos que enfrentar letreros bajos, baquetas con hoyos y personas que no nos quieren ayudar a cruzar calles o automovilistas que no se frenan cuando intentamos cruzar” explicó Helena Maya Rojas en el periódico el Universal quien nació sin el sentido de la vista [10].

Otro caso como el de Helena Maya es el de Bautista López, un joven de 34 años de la ciudad de Buenos Aires quien comenta que un cartel que promocionaba el menú de un restaurante causó que este tropezara y como consecuencia de este se abriera la frente con el poste que apoyaba el dispositivo. Así como Bautista muchas personas sufren de este tipo de accidentes. Santiago Morrone de 52 años culpa a los andamios como el principal peligro para los ciegos al desplazarse en la calle detalló que un amigo estuvo a punto de perder un ojo por una estructura que sobresalía de uno [11].

Salir a la calle resulta ser una aventura para estas personas debido a que estos se encuentran con una cantidad de obstáculos. En el caso de Roberto Cordero, una persona que lleva algún tiempo ciega debido a un glaucoma explica que tiene que lidiar todos los días con carros mal ubicados debajo de su casa en donde se encuentra una oficina de correos. Él comenta que “Si hay un coche en el otro lado del paso de cebra yo no lo sé hasta que me choco con él” [12]. Cada día encuentra muchos obstáculos en las vías públicas como lo son cubos de basura,

obras mal señalizadas, motos y patinetes aparcados en medio de la acera, así como Roberto muchas otras personas invidentes sufren accidentes por no poder detectar estos obstáculos con el bastón.

## **1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

Ante la problemática planteada anteriormente se generó la siguiente pregunta. ¿De qué manera se puede reducir el riesgo de accidente en la población invidente ocasionados por obstáculos que se encuentren en la parte superior en su desplazamiento?

## **1.3. JUSTIFICACIÓN Y ALCANCE**

La importancia de este proyecto radica en el desarrollo de un dispositivo portátil para la población invidente, que se encargue de avisar a través de vibraciones la cercanía de un objeto y la dirección en que se encuentra, haciéndole la vida más fácil y enriquecedora.

En Colombia y en otras partes del mundo se han desarrollado dispositivos que reemplazan o funcionan como complemento al bastón con el fin de desarrollar la autonomía a las personas que presenten discapacidad visual [13], pero muchas de las herramientas, medios y dispositivos creados para el bienestar de esta población resultan de un alto costo y no logran detectar todos los obstáculos que encuentran los invidentes durante su desplazamiento.

El Registro de localización y caracterización del Ministerio de Salud y protección social muestra un alto porcentaje de la población con discapacidad visual se encuentra en los estratos I y II del Sistema de Selección de Beneficiarios para Programas Sociales (Sisbén) [14], lo que lleva a pensar que esta población carece

de recursos necesarios para tener acceso a herramientas que por su tecnología resultan de un gran costo para ellos.

La implementación de un dispositivo puede significar una alternativa de respaldo para contribuir a mejorar la calidad de vida de esta población, porque se les brinda la oportunidad de percibir su entorno, adicionando seguridad física y emocional, permitiéndoles sentirse más seguros e independientes en este mundo que no tiene un entorno adaptado para la población invidente y de esta manera podrían detectar los obstáculos que les impiden su desplazamiento.

Además, según el censo realizado en el año 2018 bajo el Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas (DANE) [15] en Colombia residen alrededor de 2.000.000 de personas con discapacidad visual, figurando un 62.17% del 7.1% de ciudadanos colombianos con alguna discapacidad en el último censo realizado el año 2018, siendo esa una cifra impactante, ya que más de la mitad de estos individuos sufren de una discapacidad visual, demostrando la importancia de ayudar y apoyar esta comunidad poco beneficiada y olvidada.

Basándonos en lo anterior, se desarrolló un dispositivo para la detección de obstáculos altos que no logre detectar el bastón, el cual podría beneficiar a aproximadamente 2.000.000 de colombianos que poseen una discapacidad visual.

En cuanto a la tecnología del proyecto se construyó para ayudar a la población invidente con las dificultades que presenta al utilizar el bastón para la detección de los obstáculos. Este proyecto tiene en cuenta recursos tecnológicos como sensor de ultrasonido, los cuales emiten vibraciones y ayudan a la detección de los obstáculos, a su vez microcontrolador entre otros.

El alcance del proyecto es de tipo funcional debido a que se desarrolló un diseño el cual es de bajo costo para mayor accesibilidad y comodidad por su tamaño reducido sin cambiar las características esenciales para lograr su funcionamiento, este dispositivo le brinda muchos beneficios a la población afectada y, asimismo, es de gran utilidad para su desplazamiento seguro ya que este dispositivo opera como un complemento del bastón cumpliendo la función de detectar los obstáculos superiores que se encuentran en el entorno por donde se moviliza el individuo.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. OBJETIVO GENERAL**

Desarrollar un sistema vibracional para invidentes que detecte los obstáculos que están en la parte superior al andar.

### **2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Identificar los requerimientos del sistema de acuerdo con las exigencias de los invidentes.
- Diseñar la estructura del sistema de detección en forma ergonómica y con estándares de la población invidente.
- Implementar un sistema de detección de obstáculos que se encuentre en la parte superior de los invidentes.

### 3. MARCO DE REFERENCIA

#### 3.1. ESTADO DEL ARTE

Para tener un conocimiento más amplio sobre el objeto de estudio de esta investigación, se realizó una revisión de trabajos desarrollados a nivel internacional y nacional. Estos nos aportan información muy valiosa para apoyar los antecedentes de esta investigación, tal como lo sugiere Sampieri, que para abordar un determinado tema es vital revisar calidad y cantidad de trabajos que estén relacionados.

- **Desarrollo de un lazarillo robótico apoyado con visión artificial para el guiado de personas invidentes:** tiene como objetivo guiar a personas invidentes en un entorno controlado. El sistema de comunicación del Lazarillo está compuesto por un Arduino Uno y un Bluetooth HC-05, estos se encargan de informarle al invidente mediante mensajes de voz el sentido en que se está moviendo el Lazarillo. Se observó que el Lazarillo presenta un funcionamiento aceptable ya que para la prueba de detección de obstáculos presentó un porcentaje de 73% de confiabilidad, realizando así la validación del funcionamiento del prototipo en estudiantes con discapacidad visual del colegio Leonardo Ponce, validando el prototipo con un 90% [16].

Este proyecto brinda conocimientos para comprender el funcionamiento de un dispositivo apoyando de alguna manera con información valiosa para el estudio que se está llevando a cabo.

- **Diseño y desarrollo de un sistema portable de proximidad para invidentes que permite el uso de ambas manos:** en este proyecto se utilizaron sensores de ultrasonidos y un sistema de aviso a través de vibraciones que permitían alertar a las personas invidentes al momento de

encontrase con algún obstáculo durante su desplazamiento. Este sistema se desarrolló de manera satisfactoria logrando la relación distancia-posición del objeto respecto a la detección con el funcionamiento de los motores vibradores [17].

Este estudio se relaciona con el proyecto porque aborda una de las variables como es el sistema vibracional y de una u otra forma podría nutrir la contextualización de la investigación.

- **Diseño y construcción de un sistema de orientación para ayuda en la movilidad de personas invidentes:** El proyecto tiene como objetivo conocer los sistemas electrónicos que utilizan los invidentes y la construcción de un prototipo para la orientación y detección de objetos; este sistema de ayuda consiste un chaleco con sensores ultrasónicos, los cuales miden la distancia, informan la trayectoria de la persona invidente y entregan las lecturas de dicha medición a un micro controlador, el cual le informa al usuario a través de un algoritmo la dirección a seguir utilizando una interfaz vibracional y audible. Se encontró una debilidad y es que solo detecta los obstáculos altos, presentando mayor riesgo para las personas invidentes; otra de las fallas que se observó es la detección de personas, ya que esta depende de su vestimenta, si la persona usa ropa de algodón existe menos posibilidad de que el sistema la detecte [18].

Teniendo en cuenta las semejanzas existentes entre algunas características de ambos proyectos como la detección de obstáculos altos se puede determinar que resulta un elemento importante para alimentar el desarrollo contextual del proyecto.

- **Sistema de ayuda a invidentes basado en cámaras de profundidad:** En este proyecto se desarrolla un sistema de ayuda para personas que presentan discapacidad visual empleando técnicas de visión artificial. Para esto se desarrolló un algoritmo con funcionamiento en tiempo real permitiéndole al usuario el aprendizaje de objetos y la detección de estos mediante un dispositivo RGB-D; los cuales después de detectarse transmiten la información de su localización a través de una técnica sonora denominada binaural. Se observó que esta técnica es eficaz debido a que las personas con discapacidad desarrollan más la audición respecto a las que no la padecen, pero se necesita realizar una mejora en la localización binaural incluyendo una localización de objetos que se encuentren en el plano vertical convirtiendo el sistema mucho más completo [19].

Este proyecto se relaciona con la investigación planteada ya que muestra un sistema para ayudar invidentes mediante la aplicación de técnicas de visión artificial a través de un dispositivo, lo cual resulta un aporte importante ya con el dispositivo vibracional se persigue desarrollar un sistema para el desplazamiento seguro de las personas con discapacidad auditiva.

- **Sistema anticolidión para invidentes usando redes neuronales evolutivas:** Se expone un sistema guía para invidentes encargado de la detección de obstáculos estáticos y en movimiento basándose en la creación de redes neuronales artificiales con ayuda del algoritmo genético cooperativo coevolutivo (AGCC); este sistema guía consiste en un chaleco con 10 sensores ultrasónicos que se encuentran ubicados en la parte superior y frontal, el chaleco detecta los obstáculos a nivel de la cara y el pecho. Este tuvo como resultado la eficacia de las redes neuronales en la

detección de objetos estáticos y en movimiento, garantizando una mayor seguridad y evitando los choques con objetos [20].

Este trabajo es pertinente con la investigación aquí propuesta, ya que aborda un sistema guía para invidentes, los cuales son adecuados para la detección de obstáculos estático y en movimiento, Interesa de sobremanera apreciar el diseño de este sistema que permiten la seguridad del desplazamiento de los invidentes en su andar.

- **Sistema de guiado para invidentes en entornos complejos estructurados:** En el artículo se propone desarrollar un dispositivo de guiado en entornos que no cuenten con conexión GPS; este dispositivo se encarga de guiar a la persona invidente a través de audio generado por una App móvil la cual es activada cuando se acerca a algún elemento fijo denominado baliza; estas están conectadas a un servidor central de un servidor web y se encargan de enviar peticiones. Se observó que dicho dispositivo presenta problemas para el correcto guiado en las conexiones Baliza-servidor web ya que el servidor bloquea las peticiones realizadas por las balizas cuando esta realiza muchas, debido a que no es un servidor privado [21].

Se determina que el abordaje que se hace de las variables en este proyecto resulta un elemento valioso, ya que puede servir de referente y orientar la estructura del contenido del estudio.

- **Reconocimiento de objetos mediante visión por computador para ayudas a invidentes:** El proyecto presenta el estudio de la viabilidad de un sistema de reconocimiento de objetos mediante visión por computadora y además muestra la evaluación de su funcionamiento,

para determinar qué tan viable es esto se reconocerán una serie de objetos los cuales han sido tomados y almacenados en una base de datos. Para el reconocimiento de dichos objetos utiliza la extracción de puntos característicos y sus descriptores se basan en la transformada de Hough, ambos se emparejan con las características que presentan las imágenes del entrenamiento y así se realiza el agrupamiento a través del algoritmo de Clustering.

Se demostró que el método aplicado funciona correctamente presentando algunas limitaciones en las cuales no se detectará muchos puntos característicos si el objeto no tiene una superficie homogénea [22].

Este trabajo se relaciona con la investigación en curso ya que muestra la viabilidad de un sistema para el reconocimiento de objetos, con objetivos precisos y un trabajo estructurado que aborda paso a paso la descripción detallada del funcionamiento de ese sistema.

- **Identificación de objetos usando radiofrecuencia como ayuda a invidentes:** En este trabajo se presenta la descripción de un prototipo de un circuito con identificador de radiofrecuencia (RFID). Este tiene como objetivo crear un sistema que reconozca los objetos cercanos al usuario con retroalimentación auditiva mediante la implementación de tag RFID. Para la realización del dispositivo se realiza la programación y reconocimiento de marcadores RFID, la clasificación de objetos a reconocer y el diseño del sistema de retroalimentación auditiva. Se observó que no es necesario que el sistema embebido esté en contacto directo con la tarjeta de identificación para que sea capaz de suministrar la energía necesaria y así activar el tag RFID. Al implementar el sistema en un guante o en otro elemento vestible, les permite a las personas invidentes una mejor

interacción con el entorno el reconocimiento de objetos de forma auditiva y usando elementos cómodos [23].

Este proyecto resulta una contribución importante para la investigación que aquí se esboza ya que describe un sistema para reconocer objetos cercanos y este concierne en gran medida al estudio de sistemas vibracionales de esta investigación, que busca facilitar el movimiento seguro y reconocimiento del entorno de parte de la persona con discapacidad visual.

- **Implementación de un bastón detector de obstáculos elevados para personas invidentes:** Se expone el diseño e implementación de un bastón para personas con discapacidad visual de bajo costo que se encargue de detectar obstáculos y objetos que se encuentren por encima de la cintura del usuario ya que estos representen un peligro para su integridad física, para el desarrollo de este bastón se utilizó un sensor de proximidad por ultrasonido HC-SR04, un microcontrolador PIC 12F675 y un zumbador como alarma sonora y vibratoria. Se obtuvo como resultado un bastón resistente y preciso sólo para ambientes exteriores debido al rango de 30° en la medición del sensor ya que podrían detectar falsas detecciones [24].

Se determina que las características de este proyecto son similares a las del proyecto que se va a realizar ya que en este último también se pretende utilizar un sensor de proximidad por ultrasonido por lo que este proyecto resultaría de gran aporte para el grupo investigador

- **Implementación de un prototipo de gafas y bastón electrónico creando una red inalámbrica de comunicación y alerta para personas con discapacidad visual:** Se realiza la implementación de un prototipo de

gafas y bastón electrónico con ayuda de una red inalámbrica de comunicación y alerta (BGE) para personas con discapacidad visual, el cual está se encarga de detectar los obstáculos por medio de vibraciones, así como también envía mensajes de alerta si se presenta alguna emergencia. Para la realización de este prototipo se utilizaron 3 módulos, el módulo actuador incorporado al bastón, y está compuesto por un sensor ultrasonido y un Arduino nano, el módulo receptor compuesto por 3 sensores ultrasónicos incorporados a unas gafas y un módulo de alerta. Se observó que el sistema es estable presentando un 5% de error en las mediciones de distancia debido a la presencia de ruidos, presión en el aire y temperatura [25].

Teniendo en cuenta las características similares de ambos proyectos se puede tomar como aporte para la investigación por la tecnología que se utiliza ya que se asemeja a la tecnología que se utilizará para el desarrollo del proyecto.

## **3.2. MARCO TEÓRICO**

En el presente apartado se plantearán los diferentes principios y teorías en los cuales está fundamentado el desarrollo del proyecto con el fin de aportar bases que permitan tener conocimientos más amplios sobre el objeto de estudio de esta investigación.

### **3.2.1 PRINCIPIO DE HUYGENS-FRESNEL**

Este principio se desarrolla en fenómenos de difracción, reflexión y la refracción de las ondas ya sea en la luz o el sonido, siendo nuestro enfoque el del sonido.

Esta nos dice que la ley de propagación rectilínea no es rigurosamente válida, ya que en alguna medida la luz de curva en cercanías de los obstáculos opacos, de

modo tal que las sombras siempre tienen límites algo borrosos aun en el caso límite de una fuente puntual ideal [26].

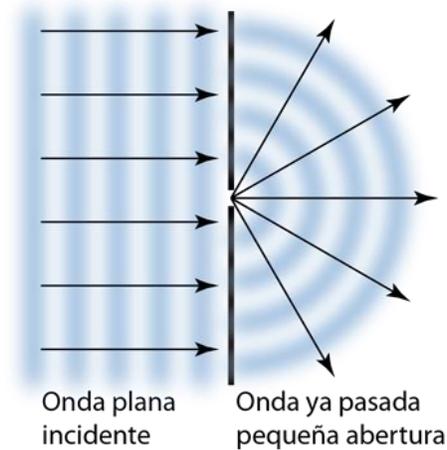


Figura 1. Principio de Huygens-Fresnel.

Fuente: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/phyopt/huygen.html>

Interpretado de otra manera el principio de Huygens, se postula que todo elemento de superficie que rodee a un punto emite la difracción una onda en dirección la cual es denominada como [27]:

- Frecuencia idéntica a la de la onda incidente
- Amplitud proporcional
- Fase igual.

### 3.2.2 EFECTO DOPPLER

Es el fenómeno por el cual la frecuencia de las ondas percibida por un observador varía cuando el foco emisor o el propio observador se desplazan uno respecto al otro.

Cuando hay movimiento relativo entre una fuente con dependencia armónica con el tiempo y un receptor, la frecuencia de la onda detectada por el receptor tiene que ser diferente de la que emite la fuente [28]

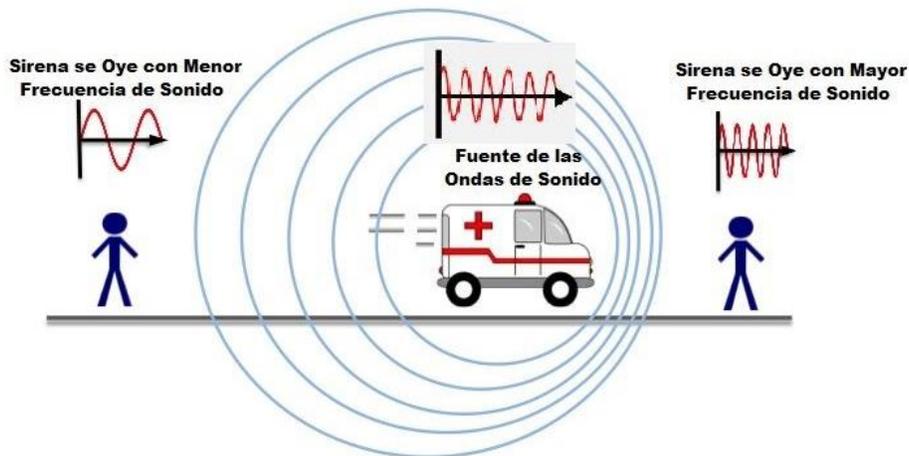


Figura 2. Efecto Doppler.  
<https://www.lifeder.com/efecto-doppler/>

### 3.2.3 PRINCIPIO DE SUPERPOSICIÓN

Este principio establece dos preceptos importantes: Cuando dos o más ondas del mismo tipo se interceptan en algún punto, el desplazamiento resultante en ese punto es igual a la suma de los desplazamientos, esto debido a cada onda individual [29].

En una investigación de este tipo siempre se muestran complicaciones de grandes magnitudes y este principio suele ser muy útil ya que, si en un circuito contiene dos o más fuentes independientes y se pide encontrar todas las corrientes de rama o todos los potenciales, una forma de hacerlo es considerar los valores parciales encontrados cuando se deje actuar sobre el circuito una fuente independiente a la vez.

Diciéndonos así que este principio se basa en permitir descomponer un problema en subproblemas más sencillos [26] [30].

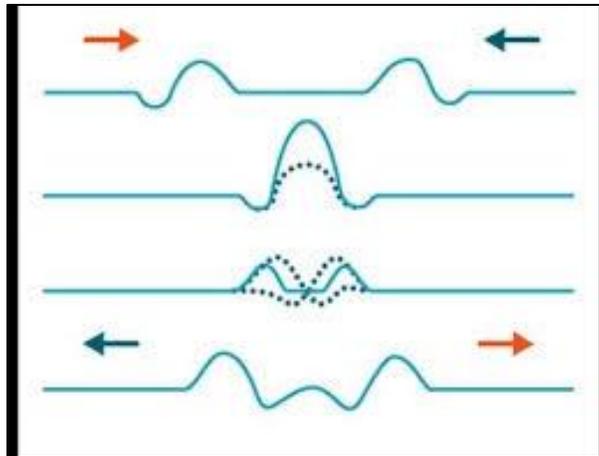


Figura 3. Principio de superposición.  
<https://fisicadeondas.wordpress.com/2016/09/11/principio-de-superposicion/>

### 3.2.4 REFLEXIÓN DE ONDA

La reflexión de onda como un fenómeno ondulatorio que se presenta cuando una onda choca con un obstáculo y luego se refleja presentando un cambio en su dirección [31] [32]. Para este fenómeno se cumple que, si el rayo de onda llega perpendicular el obstáculo se refleja en la misma trayectoria sin cambiar su dirección, además las direcciones de incidencia, reflexión y la normal se encuentran todas en el mismo plano [33]. En la figura se muestra la reflexión con un sensor ultrasonido el cual emite un pulso en forma de onda y es rebotado por el objeto u obstáculo detectado hacia el sensor. En este fenómeno se evidencia cómo un sensor de ultrasonido logra detectar objetos u obstáculos a través de ondas.

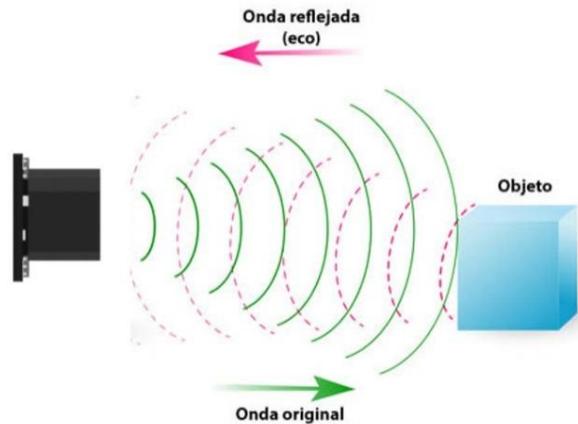


Figura 4. Reflexión de ondas.

Fuente: [http://elbibliote.com/libro-pedia/manual\\_csnaturales/4grado/capitulo2/tema12.php?g=4&c=2&t=12/](http://elbibliote.com/libro-pedia/manual_csnaturales/4grado/capitulo2/tema12.php?g=4&c=2&t=12/)  
 Editado por: grupo investigador

La ecuación para encontrar la distancia en la que se encuentra el obstáculo que ha producido la reflexión de la onda es la siguiente:

Ecuación 1. Distancia de un objeto por reflexión

;

Donde:

- V es la velocidad del sonido en el aire
- t es el tiempo transcurrido entre la emisión y recepción del pulso.

### 3.2.5 INTERFERENCIAS ELECTROMAGNÉTICAS

Las interferencias electromagnéticas son las señales de tipo electromagnético que perturban de manera no intencional el funcionamiento de un sistema eléctrico o electrónico por la presencia de corrientes o voltajes no deseados afectando a las magnitudes eléctricas o magnéticas de los circuitos [34]. Estas interferencias causan desordenes de varios tipos en los sistemas digitales y analógicos [35], afectando así la comunicación bluetooth entre el dispositivo y la banda electrónica.

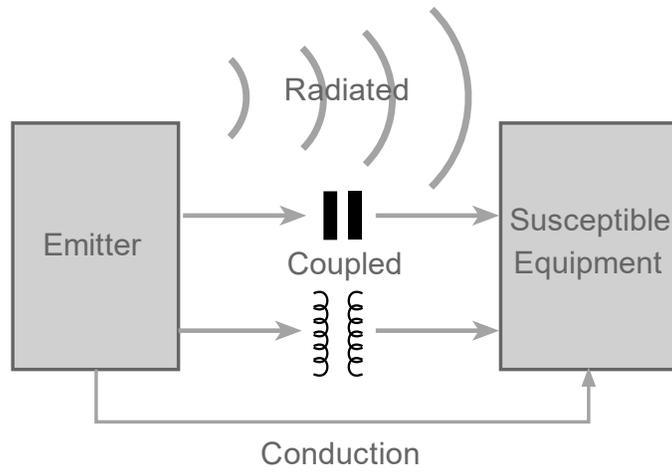
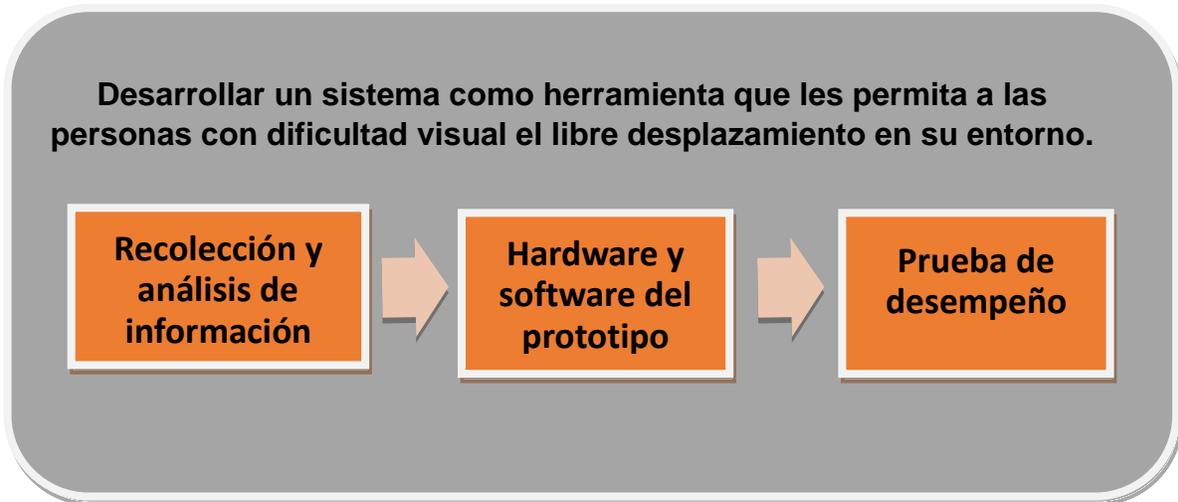


Figura 5. Interferencia electromagnética.  
Fuente: <https://www.electronics-notes.com/images/emc-emi-concept-01.svg>

## 4. PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO

### 4.1. METODOLOGÍA

Esta investigación se realizará bajo el método sistémico el cual explica que este método parte de diversos elementos que interactúan entre sí para luego realizar una integración de todos los componentes del sistema en un solo conjunto [36]. Esto hace referencia a que la investigación se encuentra fragmentada, pero hace parte de un todo, se tiene un diseño mecánico, eléctrico, de codificación y todo esto serían subsistemas que trabajan de manera conjunta para un único sistema.



*Figura 6. Procedimiento metodológico  
(Propia autoría)*

El proyecto consta de dos etapas, la primera está conformada por la recolección de información y el análisis de dicha información recolectada y la segunda etapa del proyecto es el diseño y desarrollo del prototipo.

Para el desarrollo del primer objetivo se recolectó la mayor cantidad de información entregada con el apoyo de encuestas realizadas a un grupo de individuos con discapacidad visual, los cuales dieron a conocer los inconvenientes

que presentan acerca de su desplazamiento con el bastón, todo esto con el fin de identificar las necesidades y requerimientos que necesitaban de una solución.

Las necesidades y requerimientos destacados fueron la detección de obstáculos altos, aviso vibracional, buena autonomía, transportabilidad, comodidad y seguridad al desplazarse en el entorno.

Teniendo también como base para el desarrollo de esta primera etapa las fuentes de información primaria como lo son las revisiones bibliográficas y encuestas aplicadas a la población invidente. El desarrollo del segundo objetivo y el tercer objetivo los cuales conforman la segunda etapa consta de todo el proceso de diseño de hardware y software del dispositivo, así como también la prueba de desempeño de este.

La población de estudio de esta investigación está conformada por las entidades que están dirigidas a personas con discapacidad visual en la ciudad de Barranquilla, las cuales darán a conocer sus necesidades para obtener un desplazamiento óptimo con la ayuda de un dispositivo electrónico.

Según lo mencionado anteriormente se tiene que la muestra para este proyecto se consideró como un muestreo probabilístico intencional basado de una pequeña población de invidentes de la Fundación Fundavé de la ciudad de Barranquilla, de las cuales fueron participes 17 integrantes aleatorios de dicha fundación, esto debido a la disponibilidad entre usuarios, fundación e investigadores, además de las normativas de bioseguridad implementadas en la ciudad y en la fundación.

Para la recolección de datos necesarios para llevar a cabo el proyecto se tuvieron en cuenta las fuentes de información primarias utilizando técnicas como

entrevistas y encuestas a las personas con discapacidad visual en la ciudad de Barranquilla.

Luego de recolectar dicha información de las fuentes primarias se utilizó un plan de tabulación se desarrolló una serie de tablas de frecuencia y porcentaje por medio de una herramienta de computadora denominada Excel; todo esto para la parte descriptiva de la investigación, facilitando así la observación y análisis de las variables como encuestas y entrevistas con sus respectivos gráficos e interpretaciones.

Para la parte del análisis se realizó la correlación de las variables para dar respuesta al problema planteado, para esto se utilizó el programa de Excel, donde se analizaron los datos por medio de gráfico de círculos para saber la aplicabilidad en la investigación y que se cumpliera con los objetivos propuestos en dicha investigación.

#### **4.2. TIPO DE ESTUDIO**

El tipo de investigación para desarrollar este proyecto es experimental y aplicada [36]. En primera instancia se considera experimental debido a que en este se desea observar y comprobar la influencia del uso del dispositivo en el diario vivir de la comunidad invidente.

Por otro lado, es aplicado [37] ya que se realiza un estudio acerca de las técnicas y tecnologías que se utilizan para facilitar la calidad de vida de las personas con discapacidad visual y se realiza un análisis acerca de la funcionalidad de cada uno de los componentes que se van a utilizar para el desarrollo del proyecto. Todo esto para aplicarse de manera directa a los problemas del sector productivo y de la sociedad.

### 4.3. CRONOGRAMA – PLAN DE TRABAJO

Tabla 1. Cronograma de actividades.  
(Propia autoría)

 <b>Universidad Autónoma del Caribe</b> <b>Proyecto de Grado - Ingeniería Mecatrónica</b> <b>CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES</b> 					
Componentes	Descripción	Fecha Inicio	Fecha Final	Duración (Días)	100%
<b>Planeación del Proyecto</b>		8/21/2020	11/27/2020	98	
<b>Entregable #1</b>	<b>Planteamiento del problema</b>	21/08/2020	28/08/2020	7	
Actividad 1	Descripción del problema y Formulación del problema.	21/08/2020	28/08/2020	7	
<b>Entregable #2</b>	<b>Objetivos</b>	28/08/2020	04/09/2020	7	
Actividad 2	objetivo general y específicos.	28/08/2020	04/09/2020	7	
<b>Entregable #3</b>	<b>Justificación</b>	28/08/2020	04/09/2020	7	
Actividad 3	Importancia del proyecto, Recursos tecnológicos, Aspectos económicos, Impacto social-Beneficios e Impacto ambiental.	28/08/2020	04/09/2020	7	
<b>Entregable #4</b>	<b>Introducción del proyecto, revisión de observaciones y plantilla de exposición</b>	04/09/2020	11/09/2020	7	
<b>Entregable #5</b>	<b>Primera sustentación</b>	11/09/2020	18/09/2020	7	
<b>Entregable #6</b>	<b>Marco de referencia</b>	18/09/2020	16/10/2020	28	
Actividad 4	Antecedentes del proyecto.	18/09/2020	25/09/2020	7	
Actividad 5	Estado del arte.	25/09/2020	02/10/2020	7	
Actividad 6	Marco teórico.	02/10/2020	09/10/2020	7	
Actividad 7	Marco conceptual y Marco legal.	09/10/2020	16/10/2020	7	
<b>Entregable #7</b>	<b>Diseño metodológico</b>	23/10/2020	13/11/2020	21	
Actividad 8	Paradigma, tipo y método de investigación. Población y muestra, fuentes, técnicas e instrumentos de recolección de información.	23/10/2020	30/10/2020	7	
Actividad 9	Plan de tabulación y análisis de la información, procedimiento.	30/10/2020	06/11/2020	7	
Actividad 10	Cronograma de actividades, cuantificación en dinero de actividades y presupuesto.	06/11/2020	13/11/2020	7	
<b>Entregable #8</b>	<b>Análisis de resultados parciales y prototipo, Revisión de diapositivas finales</b>	13/11/2020	20/11/2020	7	
<b>Entregable #9</b>	<b>Presentación al jurado</b>	20/11/2020	27/11/2020	7	
<b>ETÁPA 2</b>		1/07/2021	29/10/2021	119	100%
<b>OBJETIVO 1</b>	<b>Identificar los requerimientos del sistema de acuerdo con las exigencias de los invidentes</b>	01/07/2021	29/07/2021	28	
<b>Entregable # 1</b>	<b>Resultados de los requerimientos de los invidentes</b>	01/07/2021	29/07/2021	22	
Actividad 1	Realizar análisis del estado del arte.	01/07/2021	04/07/2021	3	
Actividad 2	Identificar la población a la cual va dirigida el proyecto.	05/07/2021	10/07/2021	5	
Actividad 3	Seleccionar la muestra para el análisis y la recolección de datos.	11/07/2021	13/07/2021	2	
Actividad 4	Desarrollar el formato de la encuesta para la población.	14/07/2021	16/07/2021	2	
Actividad 5	Aplicar la encuesta a un grupo específico de la fundación FUNDAVÉ de personas con discapacidad visual.	17/07/2021	20/07/2021	3	
Actividad 6	Efectuar un análisis estadístico de los datos arrojados por la encuesta.	21/07/2021	26/07/2021	5	
Actividad 7	Identificar las preferencias de los encuestados a través del sondeo realizado.	27/07/2021	29/07/2021	2	
<b>OBJETIVO 2</b>	<b>Diseñar la estructura del sistema en forma ergonómica y con estándares de la población invidente</b>	29/07/2021	13/09/2021	46	
<b>Entregable # 2</b>	<b>Estructura del sistema de detección</b>	29/07/2021	11/08/2021	11	
Actividad 8	Analizar y diseñar la estructura del sistema de acuerdo con los requisitos de los encuestados.	29/07/2021	03/08/2021	5	
Actividad 9	Identificar los principales estándares de la población invidente.	04/08/2021	07/08/2021	3	
Actividad 10	Establecer las condiciones físicas del sistema.	08/08/2021	11/08/2021	3	
<b>Entregable # 3</b>	<b>Desarrollo del programa para la interacción vibracional del sistema con los invidentes</b>	12/08/2021	13/09/2021	29	
Actividad 11	Identificar la plataforma y el lenguaje de programación necesario para el desarrollo de la aplicación.	12/08/2021	15/08/2021	3	
Actividad 12	Desarrollar el algoritmo para la aplicación	16/08/2021	05/09/2021	20	
Actividad 13	Efectuar las pruebas y calibración del programa.	06/09/2021	09/09/2021	3	
Actividad 14	Realizar corrección de errores en la programación.	10/09/2021	13/09/2021	3	
<b>OBJETIVO 3</b>	<b>Implementar un sistema de detección de obstáculos que se encuentren en la parte superior de los invidentes</b>	14/09/2021	29/10/2021	45	
<b>Entregable # 4</b>	<b>Desarrollar un dispositivo de ayuda a los invidentes para la detección de obstáculos</b>	14/09/2021	14/10/2021	29	
Actividad 15	Identificar los componentes adecuados para el desarrollo del dispositivo.	14/09/2021	18/09/2021	4	
Actividad 16	Realizar el ensamble de la estructura y el montaje de los componentes en la misma.	19/09/2021	14/10/2021	25	
<b>Entregable # 5</b>	<b>Validar la técnica y funcionalidad del sistema</b>	15/10/2021	29/10/2021	12	
Actividad 17	Verificar y comprobar el desempeño de cada módulo del dispositivo.	15/10/2021	20/10/2021	5	
Actividad 18	Validar el correcto funcionamiento del prototipo final.	21/10/2021	26/10/2021	5	
Actividad 19	Aplicar encuesta de satisfacción a los participantes de las pruebas del funcionamiento del dispositivo final.	27/10/2021	29/10/2021	2	
<b>TOTAL</b>				<b>217</b>	

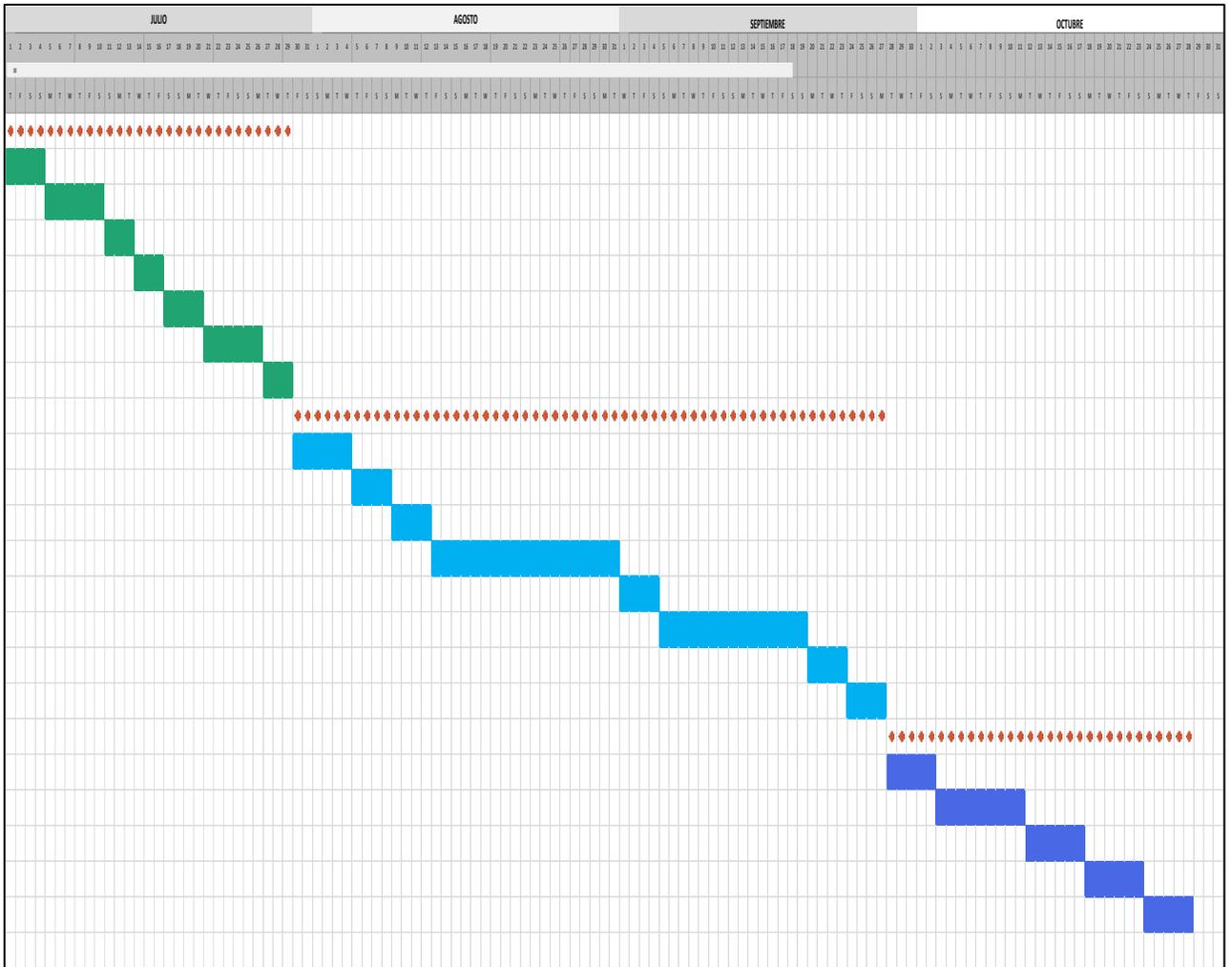


Figura 7. Diagrama de Gantt.  
(Propia autoría)

## 5. PRESUPUESTO

A continuación, se muestra el presupuesto del proyecto “Desarrollo de un sistema vibracional para invidentes que pueda reconocer los obstáculos que están en su alrededor al andar”. Este es desglosado en 6 partes las cuales tratan de los costos en diferentes áreas, las cuales son personal científico, personal de apoyo, consultoría especializada y servicios técnicos externos, Materiales e insumos, trabajo de campo, equipos, bibliografía, por último, la difusión y promoción de resultados.

### 5.1. PRESUPUESTO GENERAL

Tabla 2. Presupuesto general.

PRESUPUESTO GENERAL DEL PROYECTO					
RUBROS	Fuentes de Financiamiento				Total
	Vicerrectoría de Investigación y Transferencia UAC	Facultad / Programa	Otras fuentes Externas	Contrapartida UAC	
1. Personal Científico	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 5.502.724,00	\$ 5.502.724,0
2. Personal de Apoyo	\$ 4.149.660,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 4.149.660,0
3. Consultoría especializada y Servicios técnicos externos	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00		\$ 0,0
4. Materiales e Insumos	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 339.600,00	\$ 0,00	\$ 339.600,00
5. Trabajo de Campo	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 104.000,0	\$ 0,00	\$ 0,0
6. Equipos	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 5.000.000,00	\$ 0,00	\$ 5.000.000,0
7. Bibliografía	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,0
8. Difusión y Promoción de resultados	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,0
<b>TOTAL, PRESUPUESTO DEL PROYECTO</b>	<b>\$ 4.149.660,00</b>	<b>\$ 0,00</b>	<b>\$ 5.443.600,00</b>	<b>\$ 5.502.724,00</b>	<b>\$ 15.095.984,0</b>

## 5.2. PERSONAL CIENTÍFICO Y DE APOYO

El presupuesto invertido en este rubro consiste en el costo del tiempo empleado por el personal de investigación vinculados a este proyecto, que incluye a los directores y a los auxiliares de investigación.

En la Tabla 3 se presenta el costo del personal científico con un total de \$5.502.724 COP distribuido entre el Titular y el asociado.

Tabla 3. Costo personal científico.

1. PERSONAL CIENTIFICO										
Nombres y Apellidos	Tipo de Contrato	Función dentro del Proyecto	Valor Hora (\$)	Dedicación Horas/semana	No. de Semanas	Fuentes de Financiamiento				
						Vicerrectoría de Investigación y Transferencia	Facultad / Programa	Otras Fuentes Externas	Contrapartida UAC	SUB-TOTAL
1. Saúl Pérez	Titular	Investigador Principal	\$ 46.666,00	2	32				\$ 2.986.624	\$ 2.986.624
2. Carlos Díaz Sáenz	Asociado	Co-Investigador	\$ 41.935,00	2	30				\$ 2.516.100	\$ 2.516.100
<b>SUB-TOTAL</b>							<b>\$ 0</b>	<b>\$ 0</b>	<b>\$ 5.502.724</b>	<b>\$ 5.502.724</b>

En la siguiente tabla se evidencia el costo total del personal de apoyo, el cual está dividido entre los dos practicantes del proyecto.

Tabla 4. Costo personal de apoyo.

2. PERSONAL DE APOYO								
Nombres y Apellidos	Tipo de Vinculación	Función dentro del Proyecto	Valor Hora (\$)	Dedicación Horas/semana	No. de Semanas	Fuentes de Financiamiento		
						Vicerrectoría de Investigación y Transferencia	Facultad / Programa	SUB-TOTAL
1. Nicolle Alejandra Burgos Navarro	Practicante		\$ 2.231,00	30	32	\$ 2.141.760		\$ 2.141.760
2. Alberto Antonio Pava Fernández	Practicante		\$ 2.231,00	30	30	\$ 2.007.900		\$ 2.007.900
<b>SUB-TOTAL</b>						<b>\$ 4.149.660</b>	<b>\$ 0</b>	<b>\$ 4.149.660</b>

### 5.3. CONSULTORIA ESPECIALIZADA

Tabla 5. Costo consultoría especializada.

3. CONSULTORIA ESPECIALIZADA Y SERVICIOS TECNICOS EXTERNOS				
Descripción	Justificación	Fuentes de Financiamiento		
		Vicerrectoría de Investigaciones y transferencia	INVESTIGADORES	SUB-TOTAL
1. Nombre				\$ 0
2.				\$ 0
3.				\$ 0
SUB-TOTAL		\$ 0	\$ 0	\$ 0

### 5.4. MATERIALES, INSUMOS Y EQUIPOS

El presupuesto dedicado a esta sección incluye los materiales e insumos, las salidas de campo y los equipos de cómputo utilizados en las actividades para el desarrollo del proyecto.

En la Tabla 6 se evidencian los materiales utilizados para el proyecto con un costo total de \$339.600 COP.

Tabla 6. Costo materiales e insumos.

4. MATERIALES E INSUMOS					
Descripción	Justificación	Fuentes de Financiamiento			
		Vicerrectoría de Investigaciones y transferencia	INVESTIGADORES	Contrapartida UAC	SUB-TOTAL
1. SENSOR ULTRASONIDO LV-MAXSONAR-EZ 600 cm Mb1010			\$79.900		\$79.900
2. MÓDULO ELEVADOR CARGADOR-GESTOR DE CARGA BATERÍA LITIO			\$22.000		\$22.000
3. MODULO VIBRACIÓN MOTOR PWM ROBOT CARRO ROBOTICA 9000RPM			\$8.800		\$8.800
4. ARDUINO PRO-MICRO ATMEGA32U4			\$30.000		\$30.000
5. BLUETOOTH MODULE HC-05 ARDUINO			\$72.900		\$72.900
6. BATERIA POLIMERO DE LITIO 3.7V, 80mah 902540 GPS			\$22.000		\$22.000
7. ESTRUCTURA EN ACRÍLICO			\$55.000		\$55.000
8. COSTO DE ENVÍO			\$22.000		\$22.000
SUB-TOTAL			\$339.600		\$339.600

En la tabla presentada a continuación se muestra un total de \$104.000 COP por las salidas de campo para las pruebas realizadas del prototipo y del dispositivo final con las cuales se validó su correcto funcionamiento.

Tabla 7. Costo trabajo de campo.

5. TRABAJO DE CAMPO									
Descripción	Justificación	No. De días	No. De personas	Costo/día de estadía por persona	Transporte por persona (ida/vuelta)	Fuentes de Financiamiento			
						Vicerrectoría de Investigaciones y transferencia	INVESTIGADORES	Contrapartida UAC	SUB-TOTAL
1. Pruebas del prototipo	Validación	1	2	\$ 8.000	\$10.000		\$ 52.000		\$ 52.000
2. Prueba dispositivo final	Validación	1	2	\$ 8.000	\$10.000		\$ 52.000		\$ 52.000
								\$ 0	\$ 0
<i>SUB-TOTAL</i>						\$ 0	\$ 0	\$ 104.000	\$ 104.000

En la Tabla 8 se observa el equipo utilizado para las actividades desarrolladas durante el proyecto con un costo total de \$5.000.000 COP.

Tabla 8. Costo equipos usados

6, EQUIPOS						
Descripción	Justificación	Cantidad	Fuentes de Financiamiento			
			Vicerrectoría de Investigación y Transferencia	Facultad / Programa	Contrapartida UAC	SUB-TOTAL
1. Equipo de cómputo		2		\$ 5.000.000		\$ 5.000.000
2.						\$ 0
3.						\$ 0
<i>SUB-TOTAL</i>			\$ 0	\$ 5.000.000	\$ 0	\$ 5.000.000

## 6. PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 6.1. DISEÑO DEL PROTOTIPO

#### - Prototipo detector vibrador

En la etapa No. 1 del proyecto el grupo investigador optó por elegir un dispositivo detector como se muestra en Figura 8 acompañado de una banda electrónica Figura 9 debido a su peso, tamaño reducido y su portabilidad. Se propuso un dispositivo detector el cual será el encargado de captar los obstáculos a una distancia definida y por consiguiente enviar una señal por medio de una conexión inalámbrica a la banda electrónica la cual tendrá el rol de recibir la señal enviada por el detector y emitir una leve vibración en la muñeca de la persona.

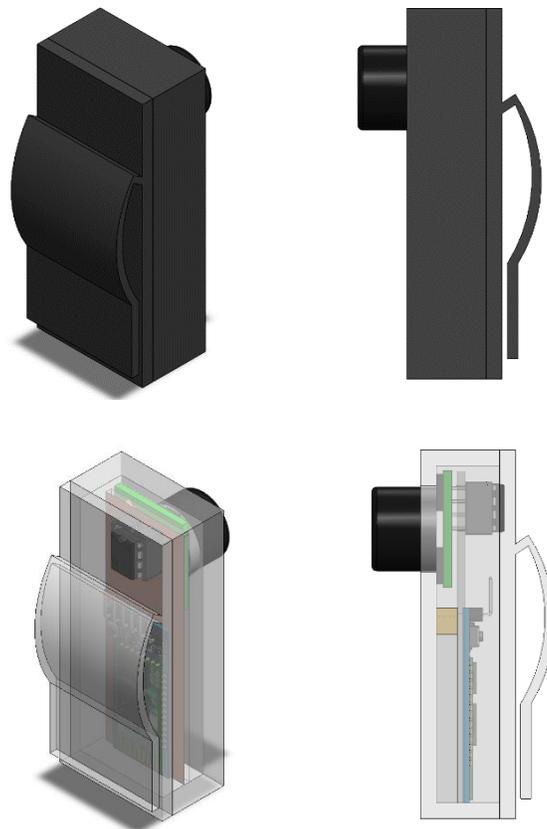


Figura 8. Vistas del diseño del primer prototipo detector extraídas de SolidWorks.  
(Propia autoría)



*Figura 9. Vistas del diseño CAD del primer prototipo de la banda electrónica extraídos de SolidWorks.  
(Propia autoría)*

### **6.1.1. CONEXIONES**

En las siguientes figuras se evidencian las conexiones del prototipo. En estas se muestra como pieza central el Attiny85 el cual es el cerebro del dispositivo. Se puede observar en la Figura 10 las conexiones que se derivan del microcontrolador Attiny85; las primeras 3 de VCC y GND van hacia el módulo bluetooth HC-05, el LV MaxSonar EZ y la batería de litio de 3.7v, otras dos conexiones van a los pines Rx y TX del bluetooth H0-05 y la última va al pin analógico del LV MaxSonar EZ. Todas estas conexiones conforman el dispositivo detector y emisor.

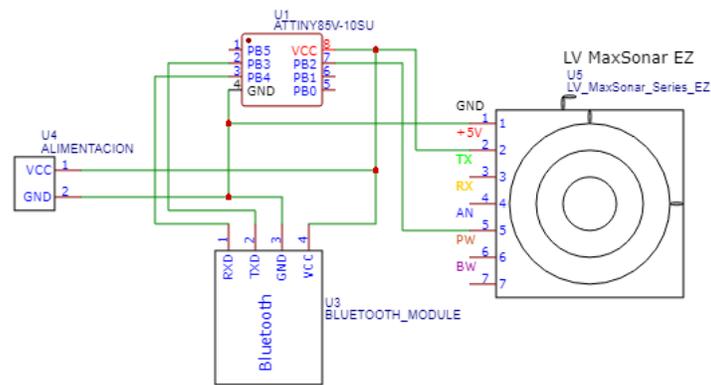


Figura 10. Conexiones detector y emisor.  
(Propia autoría)

Al igual que en la Figura 10 se presenta el Attiny85 como pieza central en donde salen 5 conexiones. Las 3 de GND y VCC van al módulo Bluetooth HC-05, al módulo vibrador PWM y a la batería Litio de 3.7v, otras 2 conexiones van al Bluetooth HC-05 mediante los canales Tx(transmisión) y Rx (Recepción) y por último la conexión al módulo vibrador PWM.

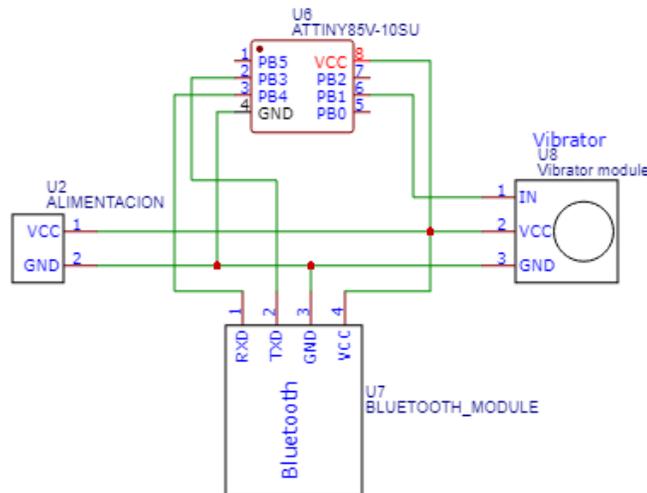


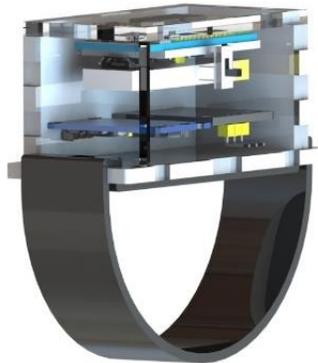
Figura 11. Conexiones vibrador receptor.  
(Propia autoría)

### - **Prototipo detector vibrador No. 2**

Debido a los problemas presentados en el primer prototipo con el microcontrolador Attiny85 y el diseño del apartado físico se optó por un cambio de sistema embebido por un Arduino Pro-Micro Atmega32u4 y la estructura del dispositivo por un nuevo método de fijación para el detector y un nuevo diseño para la banda vibradora. Al igual que el primer prototipo, este presenta un bajo peso y un tamaño reducido.



*Figura 12. Prototipo detector No. 2.  
(Propia autoría)*



*Figura 13. Prototipo banda electrónica No.2.  
(Propia autoría)*

## 6.2. DISEÑO DISPOSITIVO FINAL

Teniendo en cuenta el funcionamiento del prototipo detector y vibrador No. 2, el grupo investigador se inclinó por seleccionar este modelo de prototipo con el nuevo microcontrolador, diseño y distribución de los componentes, ya que este se adapta a las características adecuadas que se buscan para el proyecto como su peso, tamaño reducido y portabilidad.

El cambio realizado del microcontrolador Attiny85 por el Arduino Pro-Micro dio paso para culminar la programación del dispositivo y verificar su funcionamiento correcto. Además, se realizaron algunos cambios en el diseño de la estructura con el fin de mejorar la distribución de los componentes dentro de esta y la apariencia de esta.



*Figura 14. Dispositivo final detector.  
(Propia autoría)*



*Figura 15. Dispositivo final vibrador.  
(Propia autoría)*

### 6.2.1. APARTADO FÍSICO

Después de finalizar el diseño del dispositivo final se realizaron los planos para llevar a cabo la construcción de este, en primera instancia se realizó el corte de las piezas en acrílico de 3mm mediante una cortadora láser, luego se procedió con el ensamble y la fijación de estas.

Por último, se ejecutó la instalación y conexión de los componentes electrónicos dentro de la estructura, la cual presenta un peso liviano para mejor comodidad y transportabilidad de la comunidad invidente, además, en la estructura se encuentra ubicado un interruptor el cual se utilizó para el encendido y apagado del detector y la manilla como se observa en la Figura 16.



*Figura 16. Dispositivo final.  
(Propia autoría)*

### 6.2.2. CONEXIONES

En el esquema de la Figura 17 y Figura 18 se presenta el circuito completo del dispositivo final. En este se muestra como pieza central la placa de Arduino Pro-Micro como nuevo microcontrolador, este se encargará de ser el cerebro del dispositivo.

En la Figura 18 se presentan las conexiones de la banda electrónica, en este se encuentra el módulo elevador cargador, el cual va conectado directamente a la batería litio de 3.7v para cargarla y elevar el voltaje de esta a 5v. Al Arduino Pro-Micro le entran 3 conexiones de VCC y GND, las cuales son módulo vibrador PWM y módulo Bluetooth HC-05 en los canales Rx y Tx. Asimismo, se encuentra la conexión del interruptor encargado del encendido y apagado de la banda electrónica conectado al GND de la salida del módulo a los componentes.

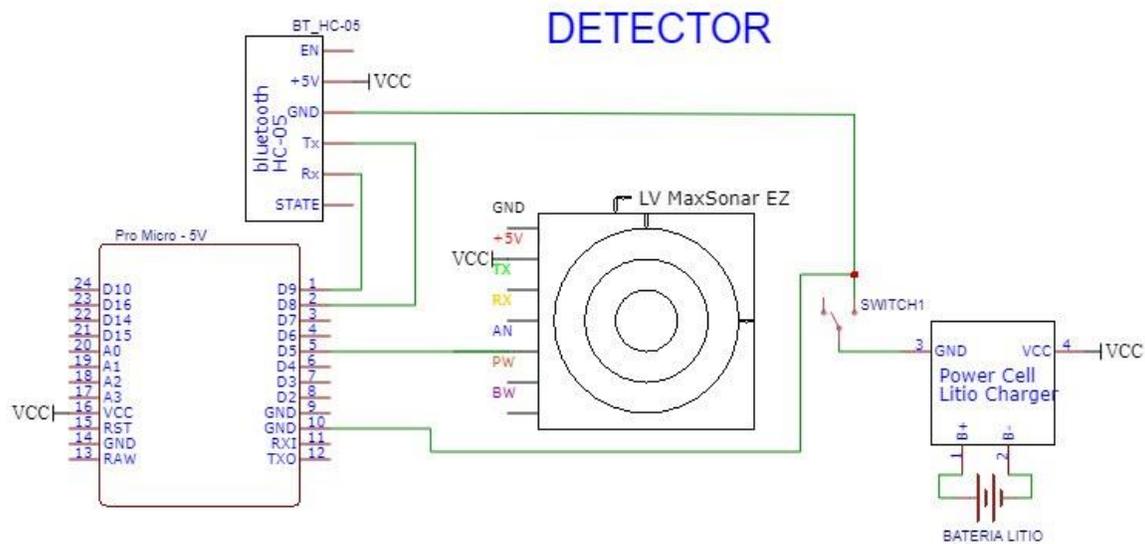


Figura 17. Conexión dispositivo detector.  
(Propia autoría)

En la Figura 17 se evidencian las conexiones del dispositivo detector, al igual que en la Figura 18, se presenta del módulo elevador cargador conectado directamente a la batería litio de 3.7v, de la misma manera también se encuentra el Arduino Pro-Micro del cual entran 3 conexiones de GND y VCC al módulo bluetooth HC-05 en los canales Tx y Rx y al pin analógico del LV MaxSonar-EZ. Por otro lado, se encuentra el interruptor de encendido y apagado conectado a la GND de la salida del módulo a los componentes.

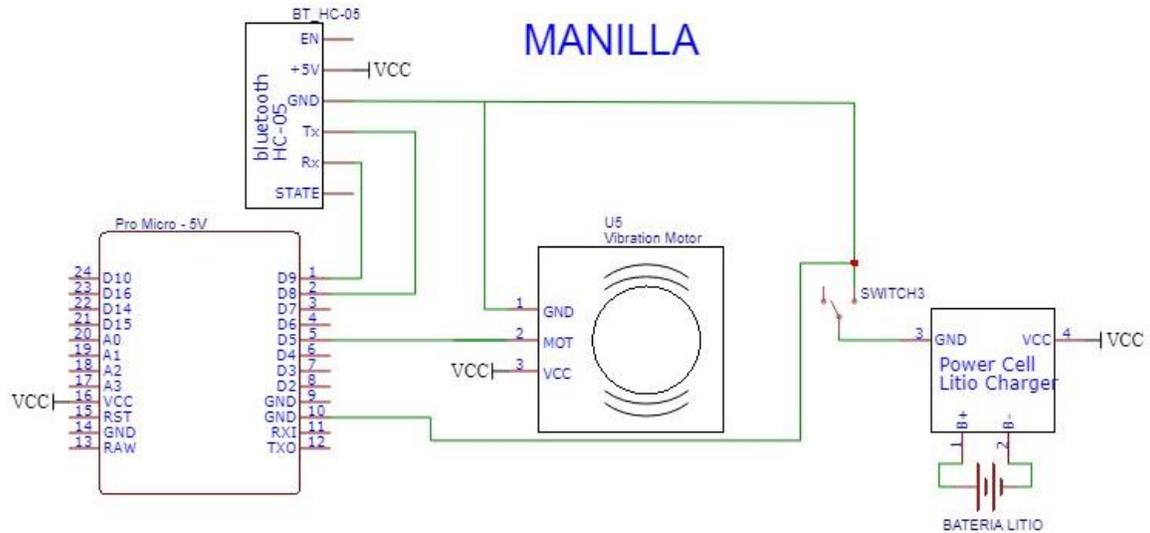


Figura 18. Conexión banda electrónica.  
(Propia autoría)

### 6.2.3. PLANOS CAD

El diseño de la estructura del dispositivo detector presenta dimensiones de 9.3cm x 3.6cm en las caras superior e inferior, en las caras laterales 3.5cm x 2cm y en las caras frontal y posterior 9cm x 2.3cm como se observa en la Figura 19.

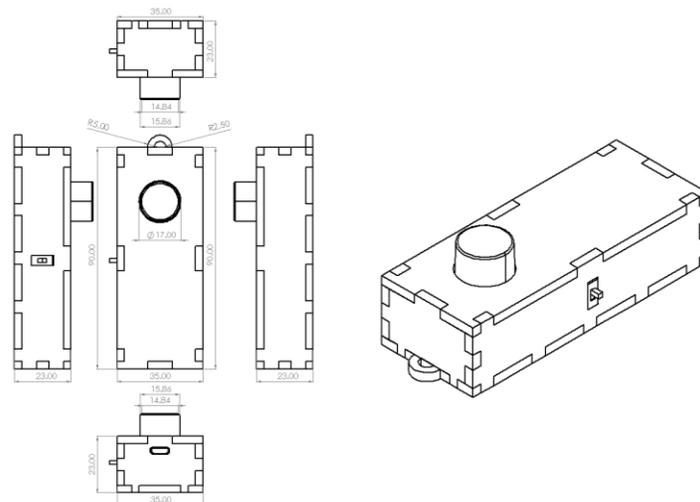


Figura 19. Dimensiones del dispositivo detector.  
(Propia autoría)

En la Figura 20 se muestran las dimensiones de la banda electrónica las cuales cuenta con medidas de 5.6cm x 3.1cm en las caras frontal y posterior, en las caras laterales 3cm x 3.1cm, en la superior 5.6cm x 3cm y en la cara inferior 6.9cm x 3.0cm con unas ranuras de 2cm x 0.3cm en los extremos donde se introdujo la banda.

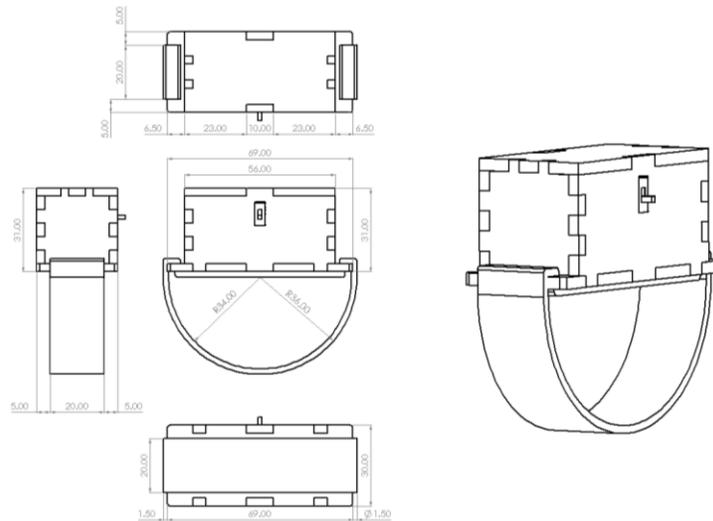


Figura 20. Dimensiones de la banda electrónica.  
(Propia autoría)

#### 6.2.4. CÓDIGO

Para el desarrollo del código de programación del dispositivo de detección se implementó el lenguaje C por medio de la plataforma de desarrollo Arduino IDE, esto debido a su facilidad ya que este va acorde con sistema embebido utilizado. A continuación, se evidencia el código mencionado anteriormente, el cual se encarga de la recepción, filtración y envío de los datos.

```
#include "SonarEZ0pw.h"
#include <SoftwareSerial.h>
SoftwareSerial BTserial(8,9);
SonarEZ0pw Sonar(5);
```

```

float cm_dis=0.00;
boolean newData = false;

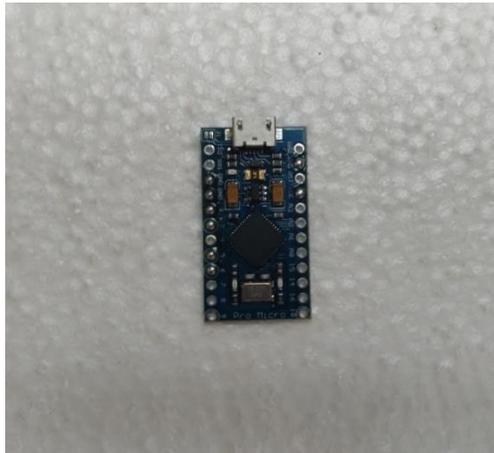
void setup() {
  BTserial.begin(9600);
  newData = false;
}
void loop() {
  cm_dis= Sonar.Distance(cm); // Calcular distancia en cms
  if(cm_dis<80.00){
    BTserial.println("<FUERTE>");
    Serial.println("<FUERTE>");
  }
  if(cm_dis>81.00 && cm_dis<100.00){
    BTserial.println("<MEDIO>");
    Serial.println("<MEDIO>");
  }
  if(cm_dis>101.00 && cm_dis<150.00){
    BTserial.println("<SUAVE>");
    Serial.println("<SUAVE>");
  }
  if(cm_dis>150.00){
    BTserial.println("<NADA>");
    Serial.println("<NADA>");
  }
  delay(300);
}

```

### **6.3. MATERIALES**

#### **6.3.1. ARDUINO PRO-MICRO ATMEGA32U4**

El Arduino Pro-Micro es una pequeña placa basada en el ATmega32u4, el cual es el mismo microcontrolador del Arduino Leonardo, este funciona con un cable micro USB, trabaja con un voltaje de operación de 5v DC y cuenta con un RESET automático al descargar el programa. El grupo investigador decidió elegir este componente por su tamaño reducido ya que es compacto y lo que se buscaba era ocupar el menor espacio posible en el dispositivo.



*Figura 21. Arduino Pro-Micro ATmega32u4.  
(Propia autoría)*

#### **6.3.2. LV-MAXSONAR-EZ**

Es un sensor de rango ultrasónico el cual cuenta con un tamaño reducido, resolución de 1 pulgada y tiene funcionamiento de 2,5 a 5,5 V CC, el grupo investigador eligió este sensor ya que cuenta con características adecuadas como poseer un solo transductor que funciona como emisor y receptor.

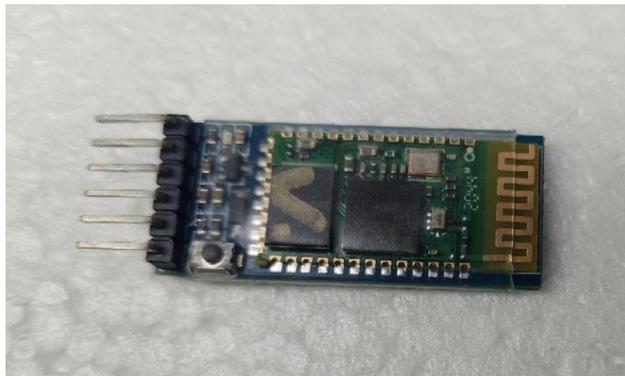


*Figura 22. LV-MaxSonar-EZ.  
(Propia autoría)*

Este componente electrónico posee un rango de lectura de 11" de ancho y 254" de largo, siendo esto un rango suficiente para la detección de objetos, personas y demás.

### **6.3.3. BLUETOOTH HC-05**

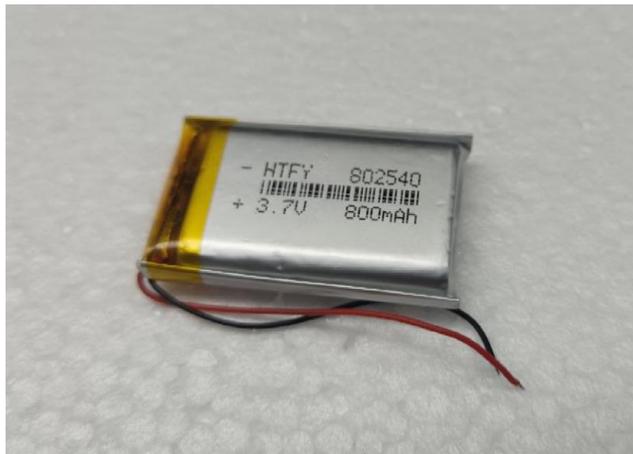
El módulo bluetooth HC-05 es un transmisor/receptor el cual permite recibir datos a través de la tecnología bluetooth sin tener conexión de cables a los dispositivos que se van a comunicar. Se ha elegido este por su configuración maestro/esclavo, porque tiene un tamaño estándar para este proyecto, además de esto por la familiarización y facilidad de trabajar con este componente.



*Figura 23. Bluetooth HC-05.  
(Propia autoría)*

#### 6.3.4. BATERIA POLÍMERO DE LITIO

Teniendo en cuenta su peso y valor, se optó por elegir la batería polímero de litio para alimentar el dispositivo debido al suministro eléctrico de esta, ya que según el consumo que se tiene establecido, dicha batería proveería una autonomía de un poco más de ocho (8) horas para el dispositivo, lo suficiente para realizar ciertas actividades en lugares abiertos, que no demande demasiado tiempo.



*Figura 24. Batería polímero de litio.  
(Propia autoría)*

#### 6.3.5. MODULE VIBRATOR PWM

El módulo vibrador PWM (Pulse-Width Modulation) es un pequeño motor de vibración el cual es adecuado como un indicador no audible, causa efecto vibratorio cuando la entrada PWM es alta similar al modo vibración/silencioso de un teléfono celular, funciona en un rango de voltaje de 3 a 5.3v DC. Este módulo es apto para dispositivos interactivos sensibles a las vibraciones, por esto es de gran utilidad para el proyecto.

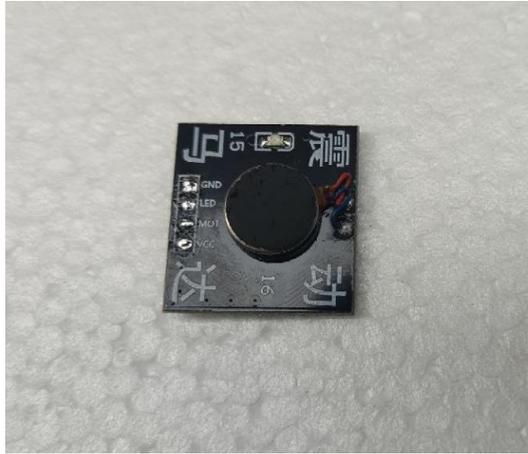


Figura 25. Module Vibrator PWM.  
(Propia autoría)

### 6.3.6. INTERRUPTOR DE DOS POSICIONES

Es un interruptor de dos posiciones y tres pines que cumple con la función de encender y apagar el dispositivo.

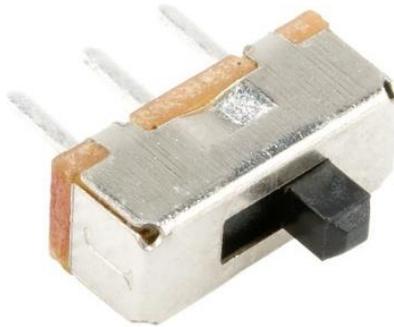
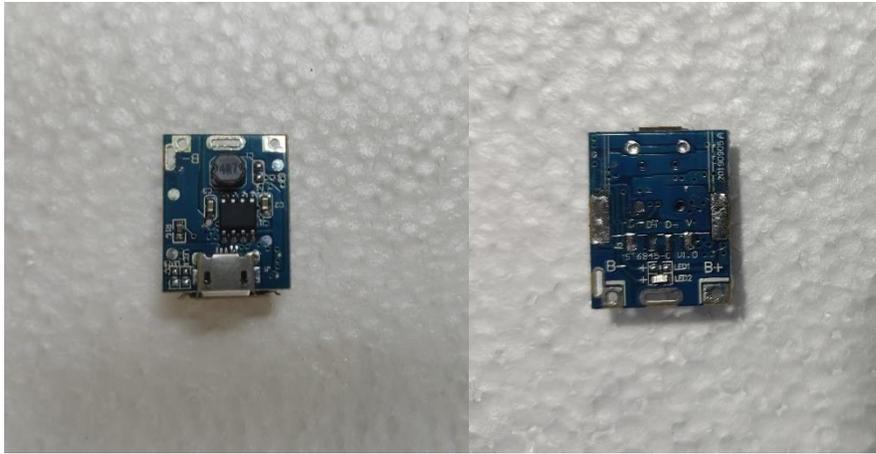


Figura 26. Interruptor de dos posiciones.  
Fuente: <https://electronilab.co/tienda/conmutador-deslizante-2-posiciones/>

### **6.3.7. MODULO ELEVADOR CARGADOR - GESTOR DE CARGA BATERÍA LITIO**

El módulo Elevador Cargador de batería litio permite en primera instancia cargar y balancear la batería de manera óptima sin perjudicarla y a su vez permite elevar el voltaje a 5v estables que servirán para alimentar el dispositivo.



*Figura 27. Módulo elevador cargador - Gestor de carga batería litio.  
(Propia autoría)*

## **6.4. RECOLECCIÓN DE DATOS**

La recolección de datos se efectuó teniendo como base la muestra seleccionada, la cual se presenta a continuación:

### **6.4.1. MUESTRA POBLACIONAL**

Con base a la metodología llevada a cabo en esta investigación, se definió la muestra poblacional como un muestreo probabilístico, esta fue desarrollada por medio de encuestas, estas se aplicaron a la fundación Fundavé ubicada en la ciudad de Barranquilla. Los resultados de las encuestas arrojaron los factores pertinentes para el desarrollo del dispositivo, los cuales son:

- Aviso vibracional
- Buena autonomía
- Detección de obstáculos altos
- Seguridad
- Confort
- Transportabilidad

Por otro lado, para realizar las pruebas se seleccionaron diferentes horarios debido al tiempo del grupo investigador y el permiso otorgado para asistir a la Fundación María Elena Restrepo – Fundavé. Las pruebas del prototipo se realizaron en horas de la tarde en el parque El pingüino de la ciudad de Barranquilla, Atlántico mientras que las pruebas de validación del dispositivo final se llevaron a cabo en horas de la mañana en las instalaciones de la Fundación María Elena Restrepo – Fundavé en la ciudad de Barranquilla Atlántico.

## **6.5. ANÁLISIS DE RESULTADOS**

En la siguiente sección se presentan los resultados de las pruebas realizadas y analizadas en las tres etapas fundamentales del desarrollo del proyecto, en primer lugar, la realización y aplicación de las encuestas en la fundación Fundavé con las cuales se identificaron los requerimientos del sistema. En segundo lugar, el diseño e implementación de la estructura de este teniendo en cuenta los estándares de la población invidente. Y, por último, la ejecución de las respectivas pruebas para validar el correcto funcionamiento del dispositivo. Estos resultados se evidencian en los siguientes ítems.

### 6.5.1. ANÁLISIS DE LA ENCUESTA DE REQUERIMIENTOS

En este apartado se evidencian el análisis de los resultados extraídos de la encuesta de requerimientos aplicada a 17 integrantes de la fundación Fundavé, con estos resultados se pudieron obtener los requerimientos que más se adaptaban a sus necesidades básicas para la realización del dispositivo.

#### Análisis e interpretación tabla No 9.

Como se puede observar en la tabla 1, el 100% de los encuestados presenta problemas al desplazarse con el bastón blanco, por tal motivo no lo consideran un medio totalmente seguro para su desplazamiento y se hace necesario implementar un dispositivo que sea confiable y seguro.

Tabla 9. Datos Pregunta No. 1.

¿Cree usted que el bastón blanco le da un desplazamiento 100% seguro?		
Respuesta	Fi	%
Si	0	0%
No	17	100%
<b>Total</b>	<b>17</b>	<b>100%</b>

Fuente primaria: Encuesta



Figura 28. Gráfico de frecuencia tabla 9  
Propia autoría

#### Análisis e interpretación tabla No 10.

De acuerdo con los datos obtenidos en la tabla 2, el 82% de los encuestados presenta dificultad para detectar obstáculos mientras que el 18% restante no presenta ningún problema para detectarlos. Esto nos lleva a pensar que la población invidente requiere de un dispositivo que ayude a disminuir la dificultad para detectar obstáculos

Tabla 10. Datos Pregunta No. 2.

¿Al momento de desplazarse con el bastón blanco se le dificulta la detección de algunos obstáculos?		
Respuesta	Fi	%
Si	14	82%
No	3	18%
<b>Total</b>	<b>17</b>	<b>100%</b>

Fuente primaria: Encuesta



Figura 29. Gráfico de frecuencia tabla 10  
Propia autoría

### Análisis e interpretación tabla No. 11.

Teniendo en cuenta los resultados de la tabla 3, un 76% de los encuestados presentan dificultad para detectar los obstáculos altos, lo que lleva a pensar que es necesario el desarrollo de un dispositivo que sea de gran ayuda para la detección de obstáculos altos, es decir, aquellos obstáculos que el bastón no logra detectar.

Tabla 11. Datos Pregunta No. 3.

Si la respuesta anterior es afirmativa, ¿Qué tipo de obstáculos se le dificulta detectar?		
Respuesta	Fi	%
Altos	13	76%
Bajos	4	24%
<b>Total</b>	<b>17</b>	<b>100%</b>

Fuente Primaria: Encuesta



Figura 30. Gráfico de frecuencia tabla 11.  
Propia autoría

### Análisis e interpretación tabla No 12.

Según la información obtenida por la tabla 4 el 94% de los encuestados no reemplazaría por ningún motivo el bastón blanco ya que sin este se sienten desprotegidos y solo el 6% lo haría ya que no lo usan.

Tabla 12. Datos Pregunta No. 4.

¿Usted reemplazaría el bastón por otra herramienta de desplazamiento?		
Respuesta	Fi	%
Si	1	6%
No	16	94%
<b>Total</b>	<b>17</b>	<b>100%</b>

Fuente primaria: Encuesta



Figura 31. Gráfico de frecuencia tabla 12  
Propia autoría

### Análisis e interpretación tabla No 13.

Con respecto al indicador anterior se puede establecer que todos los encuestados estarían de acuerdo con utilizar un dispositivo como complemento al bastón blanco por los inconvenientes que presentan al utilizar solo este medio de desplazamiento.

Tabla 13. Datos Pregunta No. 5.

¿Utilizaría un dispositivo como complemento al bastón que ayude en su desplazamiento?		
Respuesta	Fi	%
Si	17	100,00
No	0	0,00
<b>Total</b>	<b>17</b>	<b>100</b>

Fuente primaria: Encuesta



Figura 32. Gráfico de frecuencia tabla 13  
Propia autoría

### Análisis e interpretación tabla No 14.

En este indicador se observa que al 94% de los encuestados les gustaría utilizar un dispositivo vibracional y solo el 6% de estos preferirían no utilizar este dispositivo, lo que nos lleva a pensar que el dispositivo que se está

desarrollándose adapta a las preferencias de esta población por lo cual sería un gran aporte para la comunidad.

Tabla 14. Datos Pregunta No. 6.

Si la respuesta anterior es afirmativa, ¿le gustaría que este dispositivo sea vibracional?		
Respuesta	Fi	%
Si	16	94%
No	1	6%
<b>Total</b>	<b>17</b>	<b>100%</b>

Fuente primaria: Encuesta



Figura 33. Gráfico de frecuencia tabla 14. Propia autoría

### 6.5.2. ANÁLISIS DE LAS PRUEBAS REALIZADAS POR EL PROTOTIPO

Al finalizar los últimos detalles necesarios para el funcionamiento del prototipo No. 2 se procedió a realizar las primeras pruebas, estas se realizaron en el parque El Pingüino en el sector Olaya en la ciudad de Barranquilla en horas de la tarde. Para esta prueba fueron participes un individuo como actor principal, tres con la función de obstaculizar y una para grabar. La prueba consistió en vendar a una persona con el fin de simular la discapacidad visual, esta solo fue dotada con el sistema completo conformado por el dispositivo detector y la banda vibracional, las otras tres personas se distribuyeron de manera que se encontrarán en el camino del individuo principal.

Para la dinámica de esta prueba se le asignó al actor principal intentar llegar desde el punto inicial (verde) al final (amarillo), evadiendo los tres obstáculos azules en el trayecto, los cuales podían cambiar su posición dependiendo la decisión tomada por el actor, ya que en una posición inicial todo está en línea recta como se muestra en la Figura 34, pero a medida que el actor avanza puede girar a un lado o al otro, una ruta de las posibles es mostrada en la Figura 35.

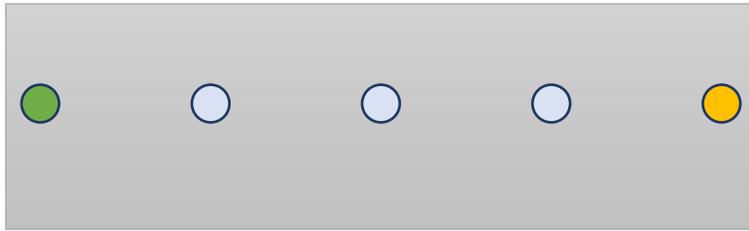


Figura 34. Posición inicial de los objetos en la prueba.  
(propia autoría)

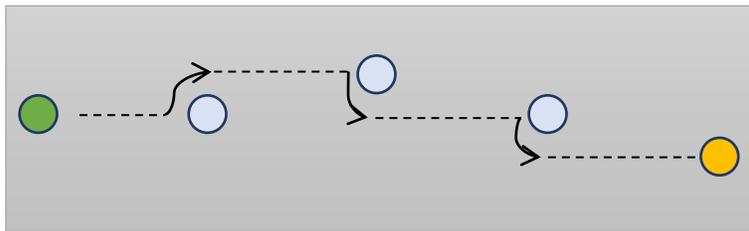


Figura 35. Ruta ejemplo.  
(propia autoría)

Al realizar estas pruebas se obtuvieron resultados positivos, ya que el actor pudo esquivar de manera satisfactoria cada obstáculo encontrado en su camino gracias a la guía prestada por el prototipo cada que se encontraba con un impedimento, llegando a su destino sin ningún tropiezo, como se evidencia en las Figura 36, Figura 37 y Figura 38.

Dentro de los parámetros a mejorar en esta prueba se encontraron el tiempo de lectura y acción ya que eran de 1000ms y 1200ms, ralentizando un poco el proceso de lectura y acción. Del resto se obtuvo un rendimiento excelente del dispositivo al momento de detectar obstáculos de mayor altura.



*Figura 36. Obstáculo No. 1.  
(Propia autoría)*



*Figura 37. Obstáculo No. 2.  
(Propia autoría)*



*Figura 38. Obstáculo No. 3.  
(Propia autoría)*

### **6.5.3. ANÁLISIS DE LAS PRUEBAS REALIZADAS POR EL DISPOSITIVO FINAL**

Luego de realizar los ajustes, detalles y últimas configuraciones del dispositivo final, se procedió a realizar la validación de su funcionamiento. Para verificar el funcionamiento del dispositivo final se programó una cita con días de anticipación debido a la estricta agenda con la **Fundación María Elena Restrepo – Fundavé** ubicada en la ciudad de Barranquilla en la Calle 42 No. 41 - 39 piso 2 para el día 16 de noviembre del año 2021 en horas de la mañana con la supervisión de la profesora de movilidad.

Al llegar al lugar se llevaron a cabo una serie de pruebas con algunos cinco (5) usuarios pertenecientes a la fundación dentro del recinto, algunos con ceguera (3) y otros con baja visión (2). En principio, se les proporcionó una breve explicación acerca del funcionamiento de este, luego se ubicó el dispositivo detector en el cuello y el vibrador en la muñeca de los usuarios, además, se les facilitó un tiempo con el fin de que percibieran la estructura de este, logrando así un mayor

afianzamiento con el dispositivo, su método de encendido y apagado, y su modo de uso.

Posteriormente se llevó a cabo un recorrido para testear el funcionamiento del dispositivo con cada uno de los usuarios participantes y así verificar su correcto funcionamiento.

- **Prueba usuario no. 1 (Ceguera)**



*Figura 39. Prueba de validación primer usuario.  
(Propia autoría)*

Luego de recibir las indicaciones el usuario se colocó de pie, con ayuda del bastón y el nuevo complemento para andar inició su recorrido, recibió la orden de su profesora de movilidad de ir hacia la puerta de salida. El dispositivo funcionó, pero el usuario se encontraba desubicado, esto debido a la emoción del momento y por las sensaciones causadas al saber que el dispositivo vibraba cada que detectaba objetos, esto menciona el sujeto no. 1. Por otro lado, cabe resaltar que el sujeto no se encuentra muy familiarizado con el uso del bastón.

Además, para el sujeto el dispositivo fue muy seguro, muy cómodo, muy satisfactorio, de gran ayuda y afirma que lo utilizaría al andar. Y no tiene ninguna recomendación.

- **Prueba usuario no. 2 (Baja visión)**



*Figura 40. Prueba de validación segundo usuario.  
(Propia autoría)*

Para realizar la prueba se colocó de pie ya con el dispositivo ubicado en su cuerpo inicio el teste sin necesidad de apoyarse en su bastón. Este usuario se le propuso un recorrido más largo y por cuenta propia buscó obstáculos con el fin de poner a prueba el dispositivo, se acercó a una columna a diferentes paredes y a la puerta de salida, corroborando el correcto funcionamiento del dispositivo ya que sintió la vibración en su muñeca cada que se encontraba con un obstáculo alto en frente.

Este sujeto al usar el dispositivo se sintió que este era excelente, muy seguro, muy satisfactorio, de gran ayuda y la probabilidad de usarlo mientras se desplaza es muy alta. Las recomendaciones ofrecidas por el sujeto fueron en base a su tamaño, un asistente de voz y descripciones de los objetos.

- **Prueba usuario no. 3 (Baja visión)**



*Figura 41. Prueba de validación tercer usuario.  
(Propia autoría)*

Después de acabar la ubicación de los dispositivos y las indicaciones, el usuario se colocó de pie para empezar su recorrido, pero, aunque tiene baja visión este utilizó la ayuda del bastón y su habilidad para desenvolverse en el entorno es excelente. Pudo poner a prueba el dispositivo en algunos momentos cruciales cuando giraba.

Para el sujeto no. 3 al usar el dispositivo se sintió muy satisfecho, muy bien, muy seguro, considera que es de gran ayuda y lo usaría al desplazarse. El aspecto para mejorar que sugiere el sujeto es el tamaño del dispositivo.

- Prueba usuario no. 4 (Ceguera)



*Figura 42. Prueba de validación tercer usuario.  
(propia autoría)*

Al culminar las instrucciones y la ubicación del dispositivo el sujeto sacó su bastón y comenzó el mismo recorrido que los otros sujetos, como se esperaba el dispositivo tuvo un buen desempeño a la hora de detectar los obstáculos y avisar al usuario mediante la banda vibradora.

El usuario no. 4 expresa que se sintió bien, seguro y muy satisfecho con el dispositivo, además, para él el dispositivo fue de gran ayuda y lo usaría al desplazarse, por otro lado, el aspecto a mejorar sería el tamaño, preferiría que no fuese tan robusto.

- **Prueba usuario no. 5 (Ceguera)**



*Figura 43. Prueba de validación quinto usuario.  
(Propia autoría)*

La última prueba realizada con el sujeto no. 5 fue pura detección dentro de la sala por iniciativa del sujeto de probar a su manera el dispositivo y su funcionamiento, este se desarrolló con ayuda su bastón y usando como complemento el dispositivo, al igual que las demás fue una prueba satisfactoria.

El sujeto no. 5 se sintió muy bien, seguro y satisfecho, de igual manera, considera de gran ayuda el dispositivo para la detección de obstáculos altos y lo usaría durante su desplazamiento.

Al finalizar la serie de pruebas llevadas a cabo ese día a cada uno de los usuarios se le realizó una encuesta de satisfacción con el fin de identificar que les había gustado y que no, esta encuesta arrojó un resultado positivo, porque tuvo una gran aceptación por parte de la comunidad, además, se pudieron extraer mejoras y recomendaciones directamente de los usuarios finales.

Gracias a estas pruebas el grupo investigador pudo validar el funcionamiento del dispositivo final, ya que se cumplió con los requerimientos extraídos de la primera encuesta realizada a la comunidad cumpliendo así el primer objetivo específico,

además, se diseñó una estructura doble estructura la cual resultó cómoda para los usuarios y que también cumple con los estándares de la población, de igual manera se programó el software para el detector y la banda vibradora. Por último, se realizó la implementación del sistema de detección de obstáculos altos en la Fundación María Elena Restrepo - Fundavé con sus usuarios dejando resultados muy positivos.

#### 6.5.4. PRUEBA DE LONGITUD

Luego de ejecutar la prueba para la verificación de la longitud, se realizó una toma de datos mostrados en la Tabla 15 y su posterior tabulación dando como resultado del gráfico en la Figura 44.

Tabla 15. Datos de prueba de medición.

	NADA		SUAVE			MEDIO			FUERTE			
TEÓRICO	$\geq$ NADA	150	$<$ SUAVE	150	$>$ SUAVE	100	$\leq$ MEDIO	100	$>$ MEDIO	80	$\leq$ FUERTE	80
REAL	$\geq$ NADA	157	$<$ SUAVE	157	$>$ SUAVE	107	$\leq$ MEDIO	107	$>$ MEDIO	87	$\leq$ FUERTE	87

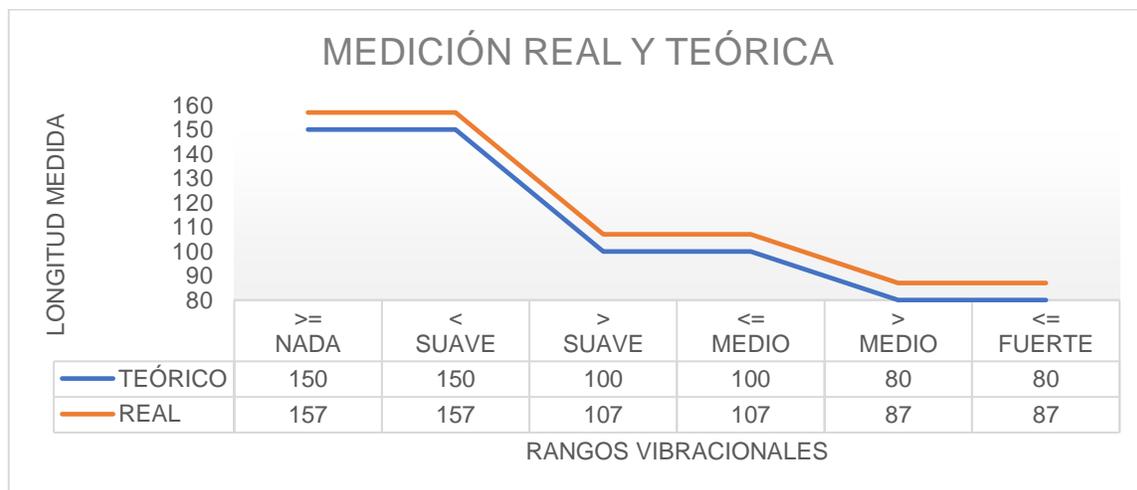


Figura 44. Gráfico de medición real y teórica.

De esta prueba es importante resaltar el hecho de que todas las mediciones estuvieron corridas siete (7) centímetros, mostrando un porcentaje de error mínimo del 4% basados en la siguiente Ecuación 2.

*Ecuación 2. Porcentaje de error.*

$$\% \text{ Error} = \frac{\text{Real} - \text{Teórico}}{\text{Teórico}} * 100$$

Este resultado es realmente positivo para la validación del funcionamiento ya que solo cuenta con un porcentaje de error por debajo del 5%, el cual relativamente no es un error en sí, ya que todas las medidas coinciden en los 7 centímetros movidos.

#### **6.5.5. ANÁLISIS DE LA ENCUESTA DE SATISFACCIÓN**

En este apartado se expone el análisis de los resultados extraídos de la encuesta de satisfacción aplicada a 5 integrantes los cuales fueron participes para las pruebas del dispositivo dada la disponibilidad de la fundación Fundavé, con estos resultados se pudo validar el correcto funcionamiento del dispositivo evidenciado en las pruebas realizadas.

##### **Análisis e interpretación tabla No 16.**

Según la tabla 1, el 80% de los usuarios se sintieron totalmente seguros utilizando el dispositivo mientras que el 20% solo se sintieron seguros.

Tabla 16. Datos Pregunta No. 1. Encuesta No 2.

¿Cómo se sintió utilizando el dispositivo?		
Respuesta	Fi	%
1	0	0%
2	0	0%
3	0	0%
4	1	20%
5	4	80%
<b>Total</b>	<b>5</b>	<b>100%</b>

Fuente primaria: Encuesta



Figura 45. Gráfico de frecuencia tabla 16. Encuesta No 2  
Propia autoría

### Análisis e interpretación tabla No 17.

Según la tabla 2, el 100% de los usuarios se sintieron seguros durante el desplazamiento, pero de este porcentaje el 60% se sintió más seguro que el 40%.

Tabla 17. Datos Pregunta No. 2. Encuesta No 2.

¿El dispositivo le brindó seguridad en su desplazamiento?		
Respuesta	Fi	%
1	0	0%
2	0	0%
3	0	0%
4	2	40%
5	3	60%
<b>Total</b>	<b>5</b>	<b>100%</b>

Fuente directa



Figura 46. Gráfico de frecuencia tabla 17.  
Encuesta No 2  
Propia autoría

### Análisis e interpretación tabla No 18.

Con respecto al siguiente indicador, el 80% de los usuarios se sintieron totalmente satisfechos con el dispositivo mientras que el 20% solo se sintió satisfecho con este.

Tabla 18. Datos Pregunta No. 3. Encuesta No 2.

¿Qué tan satisfecho se encuentra con el dispositivo?		
Respuesta	Fi	%
1	0	0%
2	0	0%
3	0	0%
4	1	20%
5	4	80%
<b>Total</b>	<b>5</b>	<b>100%</b>

Fuente directa

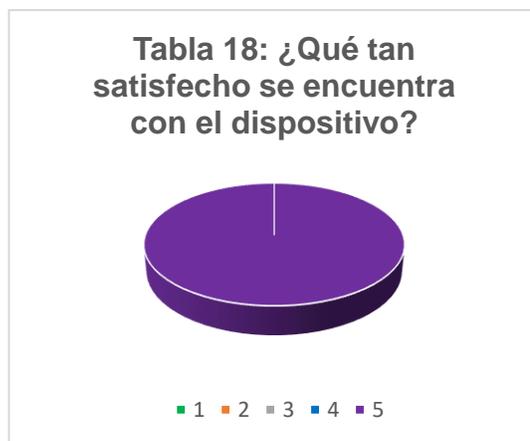


Figura 47. Gráfico de frecuencia tabla 18. Encuesta No 2 Propia autoría

### Análisis e interpretación tabla No 19.

Según la tabla siguiente, el 100% de los usuarios consideran que el dispositivo fue de gran ayuda para su desplazamiento ya que los ayudó a detectar los obstáculos altos que no detecta el bastón.

Tabla 19. Datos Pregunta No. 4. Encuesta No 2.

¿Considera usted que el dispositivo fue de gran ayuda para detectar obstáculos altos?		
Respuesta	Fi	%
1	0	0%
2	0	0%
3	0	0%
4	0	0%
5	5	100%
<b>Total</b>	<b>5</b>	<b>100%</b>

Fuente primaria: Encuesta

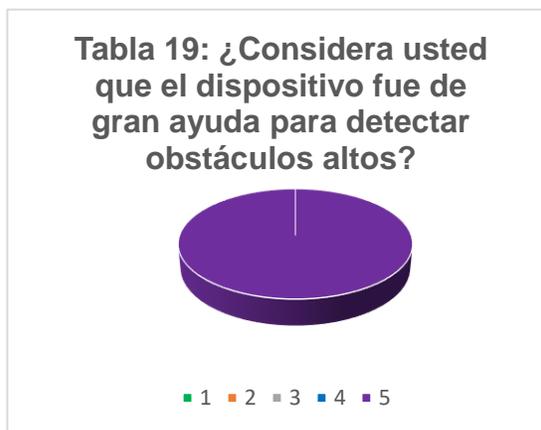


Figura 48. Gráfico de frecuencia tabla 19. Encuesta No 2 Propia autoría

### Análisis e interpretación tabla No 20.

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos anteriormente el 100% utilizaría el dispositivo durante su desplazamiento.

Tabla 20. Datos Pregunta No. 5. Encuesta No 2.

¿Cuál es la probabilidad de que utilice su dispositivo durante su desplazamiento?		
Respuesta	Fi	%
1	0	0%
2	0	0%
3	0	0%
4	0	0%
5	5	100%
<b>Total</b>	<b>5</b>	<b>100%</b>

Fuente primaria: Encuesta

**Tabla 20: ¿Cuál es la probabilidad de que utilice su dispositivo durante su desplazamiento?**

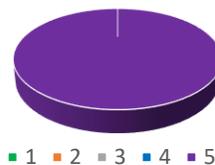


Figura 49. Gráfico de frecuencia tabla 20. Encuesta No 2  
Propia autoría

### Análisis e interpretación tabla No 21

Con estos resultados se pueden observar el mayor factor en las respuestas es el tamaño del dispositivo, por lo que será considerado para una mejora de este.

Tabla 21. Datos Pregunta No. 6. Encuesta No 2.

¿Cuál es el aspecto o aspectos que mejorarían en su experiencia con el dispositivo?
<b>Rocío Zambrano:</b> El tamaño del dispositivo.
<b>Carlos Miranda:</b> El tamaño, que fuese menos robusto.
<b>Malorie Alcazar:</b> Ninguno, así está súper bien.
<b>Saulo Romero:</b> El tamaño de la banda vibradora.
<b>José Cervantes:</b> Mejoraría el tamaño, me gustaría que este fuera más pequeño.

Fuente primaria: Encuesta

### Análisis e interpretación tabla No 22.

La mayoría de los encuestados consideran que el dispositivo es de gran ayuda, necesario para la población invidente y a su vez ayuda a la detección de los obstáculos altos.

Tabla 22. Datos Pregunta No. 7. Encuesta No 2.

¿Cuáles son las características que más le gustaron del dispositivo?
<b>Rocío Zambrano:</b> Detecta el obstáculo, sencillo para manejar y cómodo.
<b>Carlos Miranda:</b> Intensidad de la vibración, necesario para la sociedad invidente.
<b>Malorie Alcazar:</b> No sentía el dispositivo, camino con seguridad, es recargable.
<b>Saulo Romero:</b> Capacidad para detectar los obstáculos con efectividad.
<b>José Cervantes:</b> ayuda valiosa, ser el apoyo del bastón

Fuente primaria: Encuesta

### **Análisis e interpretación tabla No 23.**

Todos los encuestados recomendarían el dispositivo, con esto se puede concluir que los usuarios estuvieron satisfechos con el dispositivo ya que es de gran utilidad para un óptimo desplazamiento.

Tabla 23. Datos Pregunta No. 8. Encuesta No 2.

¿Lo recomendaría a otra persona con la misma discapacidad?
<b>Rocío Zambrano:</b> Sí, es una ayuda.
<b>Carlos Miranda:</b> Sí, lo recomendaría.
<b>Malorie Alcazar:</b> Sí, claro, ahora se lo cuento a mis amigos.
<b>Saulo Romero:</b> Sí, claro porque ayuda a un desplazamiento óptimo.
<b>José Cervantes:</b> Sí, claro, se lo recomendaría, es de mucha ayuda.

Fuente primaria: Encuesta

## **6.6. MANUAL DE USUARIO**

El manual de usuario de este proyecto denominado “*desarrollo de un sistema vibracional para invidentes que pueda reconocer los obstáculos que están en su alrededor al andar*” presenta una guía de funcionamiento del dispositivo detector y vibrador y a su vez las partes del dispositivo y las precauciones.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Esta investigación se ha basado en el desarrollo de un sistema vibracional capaz de detectar obstáculos que se encuentran en la parte superior como apoyo en el desplazamiento de la población invidente. Durante el proyecto se desarrollaron varias etapas para el cumplimiento de cada uno de los objetivos específicos, en primer lugar, se realizó y aplicó una encuesta para observar y analizar los requerimientos de la población.

Teniendo en cuenta los resultados de la encuesta, se diseñó e implementó un prototipo detector y vibrador el cual cuenta con un microcontrolador Attiny85 como pieza central del prototipo. Este presentó problemas con la programación y la interconexión entre detector y vibrador, por esto, el grupo investigador decidió realizar un cambio de sistema embebido para el dispositivo final por un Arduino Pro-Micro el cual cumple la misma función del Attiny85, además de esto se efectuaron modificaciones en la estructura física de la banda electrónica con el fin de mejorar la distribución de los componentes dentro de esta y su apariencia.

Entre las etapas más importantes del proyecto se tiene la implementación y validación del dispositivo ya que en estas se verificaron aspectos esenciales como lo son la detección de obstáculos altos y un dispositivo vibracional con los estándares de la población invidente los cuales fueron un éxito, que dejó como resultado un dispositivo totalmente funcional con las propiedades propuestas en un comienzo.

Por otro lado, los componentes escogidos para el desarrollo del proyecto fueron adecuados y óptimos para cumplir con el objetivo general del proyecto el cual es el “Desarrollo de un sistema vibracional para invidentes que pueda reconocer los obstáculos que están en su alrededor al andar”.

Por parte de las recomendaciones, se tiene como principal tarea la reducción del tamaño de los componentes y la estructura sin comprometer el funcionamiento principal del dispositivo. También se recomienda ampliar la autonomía ya que uno de los partícipes de las pruebas le gustaría poder usarlo prácticamente todo el día. Además, mejoras innovadoras como la descripción de los objetos que se encuentran en frente y un asistente de voz para diversidad de funciones.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] INCI, «INCI,» Julio 2019. [En línea]. Available: <https://www.inci.gov.co/>. [Último acceso: 2022].
- [2] Clinica Baviera, «Clinica Baviera,» 14 01 2021. [En línea]. Available: <https://www.clinicabaviera.com/blog/el-sentido-de-la-vista/>.
- [3] M. Blakely, «Clinica oftalmologica de Boyacá,» 15 Abril 2019. [En línea]. Available: <https://clinicaoftalmologicadeboyaca.com/la-importancia-de-la-vista-y-la-vision/>.
- [4] V. . H. M. Juan David Alvarado1, «[https://www.researchgate.net/publication/339111296\\_Sistema\\_de\\_deteccion\\_de\\_obstaculos\\_para\\_invidentes](https://www.researchgate.net/publication/339111296_Sistema_de_deteccion_de_obstaculos_para_invidentes),» Obstacle detection system for blind people, 08 12 15. [En línea].
- [5] C. Villalonga , «Si perdemos un sentido, ¿potenciamos los demás?,» *LA VANGUARDIA*, 2015.
- [6] Organización Mundial de la Salud , «Organización Mundial de la Salud,» 26 Febrero 2021. [En línea]. Available: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/blindness-and-visual-impairment>.
- [7] A. Camacho Fierro, «Discapacitados sufren 800 accidentes al mes por obstáculos en vía pública,» *Contraparte periodismo en equilibrio*, 23 Agosto 2016.
- [8] El País, «El País,» 01 Noviembre 2013. [En línea]. Available: <https://www.elpais.com.co/colombia/tiene-1-14-millones-de-personas-con-problemas-visuales.html>.
- [9] A. Camacho Fierro, «Discapacitados sufren 800 accidentes al mes por obstáculos en vía pública,» *Contraparte periodismo en equilibrio*, 23 Agosto 2016.
- [10] El Universal Querétaro, «Alertan de riesgos para ciegos,» *El Universal Querétaro*, 01 29 2013.
- [11] M. Mon, «Ciegos: transitar la ciudad es una carrera de obstáculos,» *La Nacion*, 7 Septiembre 2016.
- [12] D. Pozo, «Hipertextual,» 12 Diciembre 2018. [En línea]. Available: <https://hipertextual.com/2018/12/roberto-invidente-salir-calle-es-aventura>.
- [13] P. Cordero, «SaludDigital,» 21 Abril 2018. [En línea]. Available: [https://www.consalud.es/saludigital/107/silver-la-plataforma-que-aglutina-apps-y-dispositivos-para-personas-ciegas\\_49567\\_102.html](https://www.consalud.es/saludigital/107/silver-la-plataforma-que-aglutina-apps-y-dispositivos-para-personas-ciegas_49567_102.html).

- [14] S. Castaño Rivera, Y. Peinado y E. Carmona Brand, «Portal educativo,» [En línea]. Available: [https://recursos.portaleducoas.org/sites/default/files/ponencia\\_arglass.pdf](https://recursos.portaleducoas.org/sites/default/files/ponencia_arglass.pdf).
- [15] C. Parra Dussan, «INSTITUTO NACIONAL PARA CIEGOS (INCI),» 09 06 2021. [En línea]. Available: <http://www.inci.gov.co/blog/los-ciegos-en-el-censo-2018>.
- [16] O. A. Moromenacho Oña y J. D. Yanguicela Peralta, «Repositorio Universidad politécnica Salesiana,» Agosto 2019. [En línea]. Available: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/17692>. [Último acceso: Septiembre 2020].
- [17] R. A. Adrianzen Brocq y G. Puma Carrasco, *Diseño y desarrollo de un sistema portable de proximidad para invidentes que permite el uso de ambas manos*, Lima: Universidad Tecnológica del Perú, 2019.
- [18] V. H. Taramuel Obando, «Diseño y construcción de un sistema de orientación para ayuda en la movilidad de personas invidentes,» Enero 2015. [En línea]. Available: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/9045/4/CD-6034.pdf>. [Último acceso: 24 Septiembre 2020].
- [19] A. Asensio Vicente, «Biblioteca digital Universidad de Alcalá,» 2016. [En línea]. Available: <https://ebuah.uah.es/dspace/handle/10017/24106>.
- [20] J. D. Alvarado Coral y E. Muñoz España, «Sistema anticolidión para invidentes usando redes neuronales evolutivas,»,» *INGE CUC*, vol. 14, nº 2, pp. 28-44, 2018.
- [21] B. Martínez Márquez, «Biblioteca Digital Universidad de Alcalá,» 30 Junio 2017. [En línea]. Available: <https://ebuah.uah.es/dspace/handle/10017/30237>.
- [22] S. Roos Hoefgeest Toribio, «Repositorio Institucional Universidad de Oviedo,» Junio 2017. [En línea]. Available: <http://digibuo.uniovi.es/dspace/handle/10651/50864>. [Último acceso: 6 Octubre 2020].
- [23] L. D. Cardona Calderón, M. J. Moreno Rincón, L. E. González Olarte y J. Gallego Londoño, «Identificación de objetos usando radiofrecuencia como ayuda a invidentes,» *Visión Electrónica*, vol. 12, nº 1, pp. 102-109, 3 Enero 2018.
- [24] C. R. Rojas Olaya, «Repositorio Institucional Universidad de los Llanos,» Febrero 2016. [En línea]. Available: <https://repositorio.unillanos.edu.co/bitstream/001/1177/1/RUNILLANOS%20ELE%200371%20IMPLEMENTACI%c3%93N%20DE%20UN%20BAST%c3%93N%20DETECTOR%20DE%20BOST%c3%81CULOS%20ELEVADOS%20PARA%20PERSONAS%20INVIDENTES.pdf>.
- [25] M. E. Calderón Ruiz, «Escuela Superior Politécnica de Chimborazo,» Abril 2019. [En línea]. Available: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/11018>.

- [26] b. rossi, fundamento de la optica, 1966.
- [27] J. B. R . ANNEQUIN, OPTICA 2- VOLUMEN 8, 1978.
- [28] C. DAVID K, FUNDAMENTOS ELECTROMAGINITIDMO PARA INGENIERIA, 1997.
- [29] PedroJ, «Principio de,» Diciembre 2019. [En línea]. Available: <https://www.principiode.com/principio-de-superposicion/> .
- [30] G. M. Zapién, analisis de circuitos electricos, 2005.
- [31] G. Mera Callejas, «Teoría de comunicaciones: La reflexión y refracción de ondas,» *XIKUA Boletín Científico De La Escuela Superior De Tlahuelilpan*, vol. 5, nº 9, 2017.
- [32] «FísicaMedia1,» [En línea]. Available: <https://sites.google.com/site/fisicamedia1/home/unidad-n-1-materia-y-sus-transformaciones-el-sonido>.
- [33] H. Alzate López, «Academia,» 2006. [En línea]. Available: [https://www.academia.edu/41694865/Facultad\\_de\\_Ciencias\\_Exactas\\_y\\_Naturales\\_Instituto\\_de\\_F%C3%ADsica\\_F%C3%ADsica\\_de\\_las\\_Ondas?from=cover\\_page](https://www.academia.edu/41694865/Facultad_de_Ciencias_Exactas_y_Naturales_Instituto_de_F%C3%ADsica_F%C3%ADsica_de_las_Ondas?from=cover_page).
- [34] C. Cassiolato, «Smar Technology Company,» [En línea]. Available: <https://www.smar.com/espanol/articulos-tecnicos/emi-interferencia-electromagnetica-en-instalaciones-industriales-y-mucho-mas>.
- [35] J. Balcells , D. Francesc, R. Esparza y Pallás Ramón, Interferencias electromagnéticas en sistemas electrónicos, Barcelona: Marcombo, S.A, 1992.
- [36] M. A. Bunge, Sistemas sociales y filosofía, Buenos Aires: Sudamericana, 1995.
- [37] J. Lozada , «Investigación Aplicada. Definición , propiedad Intelectual e Industria,» *CienciAmérica: Revista de divulgación científica de la Universidad Tecnológica Indoamérica*, vol. 3, nº 1, pp. 47-50, 2014.
- [38] <https://revistas.ups.edu.ec/index.php/ingenius/article/view/387>, «INGENIUS REVISTA DE CIENCIA Y TECNOLOGIA,» Sistema de identificación de objetos para personas invidentes usando la tecnología RFID, 30 12 2012. [En línea].
- [39] L. A. Nieto Martelo y C. V. Padilla Cerda, «Repositorio Digital Universidad Autónoma del Caribe,» 5 Febrero 2015. [En línea]. Available: <http://repositorio.uac.edu.co/bitstream/handle/11619/1654/TMCT%200024C.pdf?sequence=3&isAllowed=y>.

- [40] L. E. Ortiz Fernández, «Sistema de identificación de objetos para personas invidentes usando la tecnología RFID,» *INGENIUS*, nº 8, pp. 38-44, 2012.
- [41] J. M. Zurita Cruz, H. Márquez González, G. Miranda Novales y M. Á. Villasís Keever, «Estudios experimentales: diseños de investigación para la evaluación de intervenciones en la clínica,» *Revista alergia México*, vol. 65, nº 2, 2018.

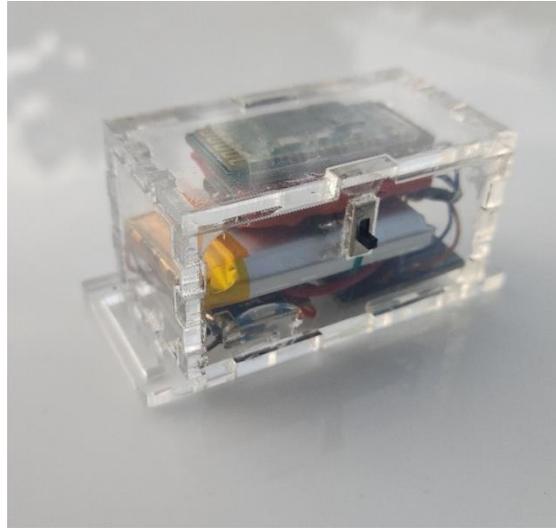
## ANEXOS

En este apartado se presenta la tabulación de los resultados obtenidos en las encuestas aplicadas a los usuarios de la fundación Fundavé, los planos del dispositivo final, así como también el modelo CAD de este y las evidencias de las pruebas realizadas en la fundación.

- **DISEÑO DEL PROTOTIPO**



*Figura 50. Prototipo detector vibrador.  
(Propia autoría)*



*Figura 51. Prototipo vibrador.  
(Propia autoría)*



*Figura 52. Prototipo detector.  
(Propia autoría)*

- **PRUEBAS DEL PROTOTIPO**



*Figura 53. Prueba validación del prototipo.  
(propia autoría)*



*Figura 54. Ruta de evasión de obstáculo.  
(Propia autoría)*

- PLANOS DISPOSITIVO FINAL

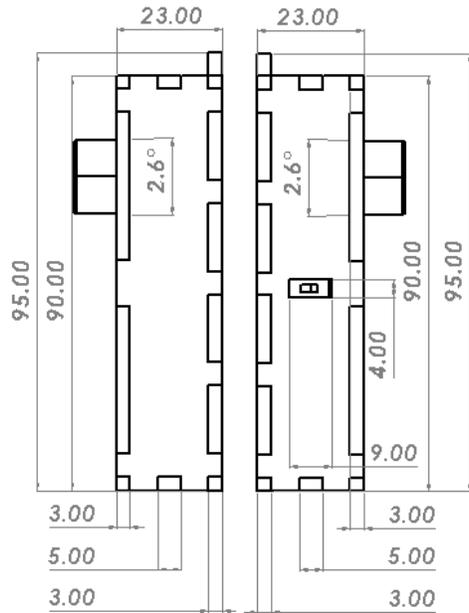


Figura 55. Planos vista lateral del dispositivo detector final.  
(Propia autoría)

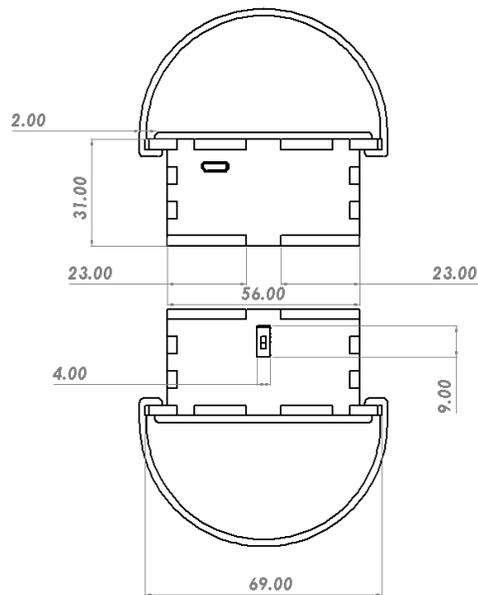


Figura 56. Planos frontal y posterior del dispositivo vibrador final.  
(Propia autoría)

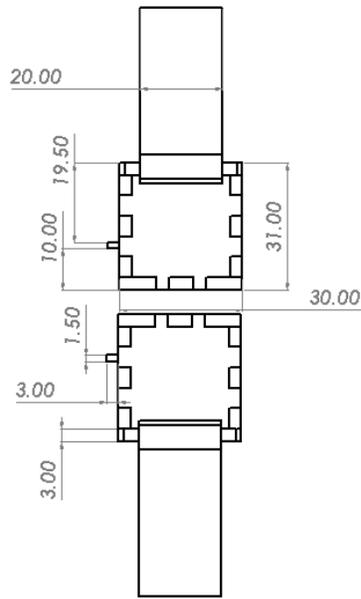


Figura 57. Planos vista lateral del dispositivo vibrador final.  
(Propia autoría)

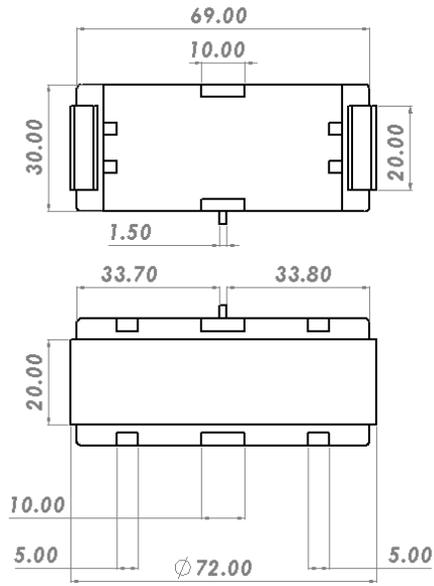


Figura 58. Planos vista posterior e inferior del dispositivo vibrador final.  
(Propia autoría)

- **DISPOSITIVO FINAL**



*Figura 59. Dispositivo detector.  
(Propia autoría)*



*Figura 60. Dispositivo vibrador  
(Propia autoría)*

- **PRUEBAS DEL DISPOSITIVO FINAL**



*Figura 61. Ubicación del dispositivo en el usuario No 2.  
(Propia autoría)*



*Figura 62. Prueba de validación.  
(Propia autoría)*



Figura 63. Prueba de validación segundo usuario.  
(Propia autoría)



Figura 64. Aplicación de encuesta de satisfacción.  
(Propia autoría)

• **FORMATO ENCUESTA DE REQUERIMIENTO**

## ENCUESTA FUNDACIÓN FUNDAVÉ

La siguiente encuesta está desarrollada para conocer qué piensan las personas con discapacidad visual sobre un dispositivo como complemento al bastón blanco para ayuda en su desplazamiento

1. ¿Cree usted que el bastón blanco le da un desplazamiento 100% seguro?  
*Marca solo un óvalo.*

Si

No

2. ¿Al momento de desplazarse con el bastón blanco se le dificulta la detección de algunos obstáculos?  
*Marca solo un óvalo.*

Si

No

3. ¿Si la respuesta anterior es afirmativa qué tipo de obstáculos se le dificulta detectar?  
*Marca solo un óvalo.*

Altos

Bajos

4. ¿Usted reemplazaría el bastón por otra herramienta de desplazamiento?  
*Marca solo un óvalo.*

Si

No

5. ¿Utilizaría un dispositivo como complemento al bastón que ayude en su desplazamiento?  
*Marca solo un óvalo.*

Si

No

6. Si la respuesta anterior es afirmativa, ¿le gustaría que este dispositivo sea vibracional?  
*Marca solo un óvalo.*

Si

No

- **FORMATO ENCUESTA DE SATISFACCIÓN**

## ENCUESTA DE SATISFACCIÓN

Esta encuesta está realizada para saber qué tan satisfecho se encuentra el usuario al usar el dispositivo y su valoración estará indicada por una escala del 1 al 5, siendo 1 el más bajo y 5 el más alto. Cuenta con 5 preguntas de opción única y 3 abiertas las cuales son de recomendación o sugerencia.

1. ¿Cómo se sintió utilizando el dispositivo?

*Marca solo un óvalo.*

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5

2. ¿El dispositivo le brindó seguridad en su desplazamiento?

*Marca solo un óvalo.*

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5

3. ¿Qué tan satisfecho está con el dispositivo?

*Marca solo un óvalo.*

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5

4. ¿Considera que el dispositivo fue de gran ayuda para detectar obstáculos altos?  
*Marca solo un óvalo.*

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5

5. ¿Cuál es la probabilidad de que utilice este dispositivo durante su desplazamiento?  
*Marca solo un óvalo.*

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5

6. ¿Cuál es el aspecto o aspectos que mejoraría en su experiencia con el dispositivo?

---

7. ¿Cuáles son las características que más le gustan del dispositivo?

---

8. ¿Lo recomendaría a otra persona con la misma discapacidad?

---