

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE APOYO PARA PERSONAS
CON VISIÓN REDUCIDA – SAPVIRE

VALERIA NAVARRO OSORIO

FUNDACIÓN UNIVERSITARIA CATÓLICA LUMEN GENTIUM
FACULTAD DE CIENCIAS BÁSICAS E INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
SANTIAGO DE CALI
2020

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE APOYO PARA PERSONAS
CON VISIÓN REDUCIDA – SAPVIRE

VALERIA NAVARRO OSORIO

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Industrial

Director

JOHN EDWARD ORDOÑEZ ÑAÑEZ

Doctor en Ciencias Físicas

FUNDACIÓN UNIVERSITARIA CATÓLICA LUMEN GENTIUM

FACULTAD DE CIENCIAS BÁSICAS E INGENIERÍA

PROGRAMA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

SANTIAGO DE CALI

2020

Nota de aceptación:

Aprobado por el Comité de Grado en cumplimiento de los requisitos exigidos por la Fundación Universitaria Lumen Gentium para optar al título de Ingeniero Industrial

Jurado

Jurado

Santiago de Cali, 2 de junio de 2020

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi familia, especialmente a mis padres Wilson Navarro Martínez y Claudia Patricia Osorio Sánchez, por sus enseñanzas, amor y paciencia incondicionales a lo largo de mi vida por que forman parte importante de mi persona; en momentos de adversidad hicieron que yo pudiera encontrar la motivación y libertad para alcanzar mis objetivos y metas propuestas por cada etapa de mi vida y las que vendrán.

A Dios porque me siento bendecida por todo lo que me ha dado y tengo fe de que siempre me ilumina para que yo tome el camino correcto.

AGRADECIMIENTOS

Al ingeniero de sistemas Cristian Gamboa, por su colaboración con el semillero MeFAI.

Al Doctor en Ciencias Física John Edward Ordoñez Ñañez, por su asesoramiento, paciencia y confianza para llevar a cabo mi proyecto.

Al Doctor en Ciencias Física Carlos William Sánchez y Néstor Mauricio Castañeda, por su dedicación, exigencia y compartir su experiencia profesional.

Al semillero de investigación MeFAI por darme la oportunidad de culminar este proyecto y poder asistir a encuentros universitarios de investigación.

A la Fundación Universitaria Católica Lumen Gentium, UNICATÓLICA y por ende a la Arquidiócesis de Cali, por brindar espacios para la formación profesional e integración de los estudiantes investigadores.

A todos los docentes de la fundación, quienes, con su pasión por educar y dotados de saberes, me brindaron las herramientas y aprendizajes para mi formación profesional.

CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN.....	12
INTRODUCCIÓN.....	14
1 PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	16
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	16
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	18
1.3 SISTEMATIZACIÓN DEL PROBLEMA.....	18
2 JUSTIFICACIÓN.....	20
2.1 ALCANCE.....	20
2.2 LIMITACIÓN.....	20
2.3 IMPACTO ECONÓMICO.....	21
3 OBJETIVOS.....	22
3.1 OBJETIVO GENERAL.....	22
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	22
4 ANTECEDENTES.....	23
5 MARCO DE REFERENCIA.....	27
5.1 MARCO TEÓRICO.....	27
5.1.1 Discapacidad visual.....	27
5.1.2 Causas de discapacidad visual.....	27
5.1.3 Sustitución sensorial.....	32
5.1.4 Pro percepción.....	33
5.1.5 Teoría general de los sistemas.....	33
5.1.6 Diseño industrial.....	36
5.1.7 Diseño y desarrollo de productos.....	36
5.1.8 Algoritmo de funcionamiento.....	37
5.1.9 Pruebas piloto.....	40
5.1.10 Estudio financiero.....	41
5.1.11 Dispositivos electrónicos.....	42
5.1.12 Sensores ultrasónicos.....	42
5.1.13 Motor vibrador.....	43

5.2	MARCO CONCEPTUAL.....	44
5.3	MARCO CONTEXTUAL.....	45
5.4	MARCO LEGAL	45
6	DISEÑO METODOLÓGICO.....	47
6.1	TIPO DE ESTUDIO	47
6.2	METODOLOGÍA.....	47
7	PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	52
7.1	DISEÑO DEL DISPOSITIVO.....	52
7.1.1	Requerimientos:	52
7.1.2	Diagrama de conexiones del módulo base del sensor:	53
7.1.3	Diagrama de conexiones del módulo base de la alimentación del dispositivo: 55	
7.1.4	Plano del dispositivo.....	57
7.2	PROTOTIPOS.....	60
7.3	PRUEBAS	64
7.4	COSTO DEL PROTOTIPO FINAL	68
7.5	ANÁLISIS COMPARATIVO CON OTROS DISPOSITIVOS	72
8	CONCLUSIONES	75
9	RECOMENDACIONES	76
	REFERENCIAS	77
	ANEXOS	81

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Símbolos de diagramas de flujo. Fuente: Análisis y diseño de algoritmos, Juan Bernardo Vázquez Gómez, Primera edición: 2012.	38
Tabla 2 Presupuesto de elementos del dispositivo.	69
Tabla 3 Mano de Obra Directa. Fuente: Propia.	70
Tabla 4 Total presupuesto del desarrollo del dispositivo. Fuente: Propia.	71
Tabla 5 Costo componentes estándar del prototipo por Melissa Peralta y José Urmendiz. Fuente: Proyecto Sistema de Asistencia y Guía para Personas Invidentes, Universidad Autónoma de Occidente 2014.	72
Tabla 6 Presupuesto del proyecto de un módulo asistente adaptable al bastón de la persona con discapacidad visual. Fuente: Luis A. Nieto y Carlos V. Padilla, U. Autónoma del Caribe 2015.	73

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 Técnica de Hoover (ritmo-toque). Fuente: https://es.slideshare.net/monsegimenez37/rehabilitacin-del-no-vidente	29
Figura 2 Técnica de desplazamiento. Fuente: https://asociaciondoce.com/2016/11/15/tecnica-contacto-constante-tecnica-de-los-dos-puntos-tecnica-diagonal-con-el-baston-de-movilidad/	30
Figura 3 Técnica de toque. Fuente: https://asociaciondoce.com/2016/11/15/tecnica-contacto-constante-tecnica-de-los-dos-puntos-tecnica-diagonal-con-el-baston-de-movilidad/	31
Figura 4 Ascenso y descenso de escaleras. Fuente: https://es.slideshare.net/monsegimenez37/rehabilitacin-del-no-vidente	32
Figura 5 Esquema general de un sistema. Fuente: Sistemas Administrativos, Análisis y Diseño, Gómez Ceja Guillermo, Editorial McGraw-Hill, 1a. Edición 1997 Pág.11.	34
Figura 6 Esquema sencillo de retroalimentación. Fuente: http://www.cime.cl/archivos/ILI260/4958_tgsbertalanffy.pdf	36
Figura 7 Diagramas de flujo de proceso para tres procesos de desarrollo del producto. Fuente: Ulrich, Karl T., Eppinger, Steven D. Diseño y desarrollo de productos.	37
Figura 8 Sensor ultrasónico HC-SR 04. Fuente: https://naylampmechatronics.com/sensores-proximidad/10-sensor-ultrasonido-hc-sr04.html	43
Figura 9 Buzzer vibrador 12V. Fuente: https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-547098747-buzzer-alarma-12v-85db-25ma-zumbador-piezoelectrico-constant-_JM#position=4&type=item&tracking_id=4b8ff4ab-f39e-4154-9037-ee4fe14a2476	43
Figura 10 Fases del proyecto. Fuente: Propia.	48
Figura 11 Metodología de prototipos. Fuente: Propia.	49
Figura 12 Diagrama de elementos integrados al dispositivo acoplable al bastón. Fuente: Propia.	53
Figura 13 Diagrama de conexión principal del sistema - Arduino nano. Fuente: Propia.	54
Figura 14 Algoritmo de funcionamiento del módulo base del sensor. Fuente: Propia.	55
Figura 15 Diagrama módulo de alimentación del dispositivo. Fuente: Propia.	56
Figura 16 Algoritmo de funcionamiento del módulo base de la alimentación del dispositivo. Fuente: Propia.	57
Figura 17 Vista isométrica 1. Fuente: Propia elaborada en Autodesk Inventor 2019.	59
Figura 18 Vista isométrica 2. Fuente: Propia elaborada en Autodesk Inventor 2019.	59

Figura 19 Vista isométrica 3. Fuente: Propia elaborada en Autodesk Inventor 2019.	60
Figura 20 Prototipo 1. Fuente: Propia	61
Figura 21 Prototipo 2. Fuente: Propia	62
Figura 22 Prototipo 3. Fuente: Propia	63
Figura 23 Prototipo 4. Fuente: Propia	64
Figura 24 Pruebas de detección. Fuente: Propia	65
Figura 25 Prueba de frecuencia e intensidad de la alarma: (a) Alarma alta, (b) Alarma baja. Fuente: Propia	66
Figura 26 Prueba tiempo de respuesta: (a) Respuesta rápida al detectar, (b) Respuesta rápida sin detectar. Fuente: Propia	67

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 1 Plano Caja del dispositivo. Fuente: Propia elaborada en Autodesk Inventor 2019.....	81
Anexo 2 Tapa de la caja. Fuente: Propia elaborada en Autodesk Inventor 2019. .	82
Anexo 3 Plano Abrazadera del dispositivo Parte 1. Fuente: Propia elaborada en Autodesk Inventor 2019.	83
Anexo 4 Plano Abrazadera del dispositivo Parte 2. Fuente: Propia elaborada en Autodesk Inventor 2019.	84
Anexo 5 Plano Ensamble abrazadera del dispositivo. Fuente: Propia elaborada en Autodesk Inventor 2019.	85
Anexo 6 Plano Ensamble del dispositivo de apoyo a persona con visión reducida. Fuente: Propia elaborada en Autodesk Inventor 2019.....	86

RESUMEN

Las personas con algún grado de limitación visual, independiente de su edad, género y estrato socio-económico presentan dificultades para moverse en los espacios públicos, utilizar el transporte público, acceder a servicios de salud y su inclusión educativa, laboral, cultural y social. Debido a estas situaciones, entidades gubernamentales como el Instituto Nacional para Ciegos (INCI), el Ministerio TIC, aplicaciones tecnológicas móviles y dispositivos especializados ofrecen una solución a las personas con limitación visual o baja visión. Dentro de la población con limitación se encuentran los militares que han sido víctimas de ataques y atentados del conflicto armado, los efectos devastadores fueron la pérdida de alguna extremidad y/o obtener alguna limitación.

En este trabajo de grado se desarrolló un dispositivo basado en la detección de los objetos y obstáculos próximos para ayudar al desplazamiento de personas con limitaciones visuales, a partir de herramientas de software y hardware de bajo costo, integradas en un sistema que puede ofrecer al usuario agilidad, independencia y protección. Al mismo tiempo sirve como guía y sistema de alerta ante la presencia de objetos cercanos que puedan interrumpir su movilidad. El prototipo cuenta con diferentes elementos electrónicos como la tarjeta Arduino Nano V3.0 Atmega 328, un sensor de ultrasonido HC-SR04 y un buzzer, entre otros. La metodología de prototipo que fue utilizada en el desarrollo de esta investigación fue de tipo documental y experimental que abarcó etapas y actividades de mejora continua que ayudaron a orientar el proyecto a su funcionamiento. Como resultado, se tiene el diseño y la construcción del sistema, teniendo en cuenta que se proyecta un bajo costo en su fabricación, distribución, adquisición y mantenimiento. Además, es de fácil uso y acoplable a un bastón tradicional.

Palabras claves: Apoyo, movilidad, visión reducida, bastón guía.

ABSTRACT

People with some degree of visual limitation, regardless of their age, gender and socio-economic stratum, have difficulties in mobilizing in public spaces, using public transport, accessing health services and their educational, labor, cultural and social inclusion. Due to these situations, government entities such as the National Institute for the Blind (INCI), the ICT Ministry, mobile technology applications and specialized devices offer a solution to people with visual limitations or low vision. Among the population with limitations are the military who have been victims of attacks and attacks in the armed conflict, the devastating effects were the loss of some limb and / or obtaining some limitation.

In this degree project, a device based on the detection of nearby objects and obstacles was developed to help the movement of people with visual limitations, from low-cost software and hardware tools, integrated into a system that can offer the user agility, independence and protection. At the same time it serves as a guide and alert system in the presence of nearby objects that may interrupt your mobility. The prototype has different electronic elements such as the Arduino Nano V3.0 Atmega 328 card, an HC-SR04 ultrasound sensor and a buzzer, among others. The prototype methodology that was used in the development of this research was documentary and experimental, covering stages and activities of continuous improvement that helped guide the project to its operation. As a result, there is the design and construction of the system, taking into account that a low cost is projected in its manufacture, distribution, acquisition and maintenance. In addition, it is easy to use and attachable to a traditional cane.

Key words: Support, mobility, reduced vision, guide stick.

INTRODUCCIÓN

Colombia tiene registrados 1.143.992 casos de personas con algún grado de discapacidad visual, que representan el 43,5% del total de discapacitados del país. De ese grupo, aproximadamente 18.952 son menores de cinco años de edad y 83.212 son niños entre los 5 y los 11 años, según datos del Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas, DANE (País, 2013). Según la información del censo realizado por esta entidad, la limitación visual es más frecuente en mujeres (53,4%) que en hombres (46,6%), y es superior el número de personas con limitación visual que vive en zona urbana (68,2%) en relación con las que viven en la rural (31,8%).

También, desde el nacimiento hasta aproximadamente los 14 años, la presencia de limitaciones visuales es mayor en hombres en un 50% que, en mujeres, pero a partir de los 34 años la proporción de mujeres que presenta limitación visual aumenta hasta un 70%. Desde el punto de vista socioeconómico, el 44,5% del total de las personas con limitación visual reside en viviendas de estrato uno y el 36,4% se encuentran en viviendas de estrato dos, lo que significa que entre los estratos 1 y 2 se encuentra el 80,9% de toda la población con limitación visual registrada en Colombia (Ciegos, 2011).

Según el Instituto Nacional para Ciegos INCI, en el año 2014, en Colombia el índice de personas que sufren invidencia corresponde al 43.2% de las personas que tienen algún tipo de limitación, y corresponden al 2.7% de la población nacional, esto implica una población de 1.3 millones de personas a nivel nacional que presentan este tipo de discapacidad (Melissa Peralta, 2014). Aunque en Colombia hay diferentes entidades que se dedican a velar por el bienestar de las personas ciegas o con baja visión, existe una iniciativa a nivel gubernamental que se dedican a brindar apoyo a estas comunidades vulneradas como es el caso de la biblioteca virtual para ciegos ConVertic (Semana, 2014) que mediante la entrega y masificación de los software de lector de pantalla Jaws y software de magnificador

de pantalla ZoomText, promueve la inclusión social, educativa, laboral y cultural a través de uso de las tecnologías para las personas ciegas o con baja visión (TIC, 2020); por esto son requeridas soluciones de bajo costo que amplíen la gama de oportunidades de la comunidad invidente.

Por esta razón, este trabajo de grado está orientado a brindar un dispositivo que puede mejorar la calidad de vida de las personas con discapacidad visual y lograr una independencia en sus actividades cotidianas.

1 PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Cifras de 'Cali cómo Vamos' del año 2019, apoyadas en datos preliminares del DANE, revelan que la población con discapacidad de Cali son 52.171 personas, de las cuales, 23.273 son hombres y 28.898 son mujeres (Saldarriaga, 2019). Aunque, en ese mismo año según el registro de localización y Caracterización de Personas con Discapacidad, hay 18.088 personas con discapacidad visual, es decir el 11.42% de la población (Anacona Peña, 2019).

Según datos de la Organización Mundial de la Salud (OMS) (Salud, 2017):

- El 82% de las personas con ceguera o discapacidad visual moderada a grave son mayores de 50 años.
- Las enfermedades oculares crónicas son la principal causa mundial de pérdida de visión. Los errores de refracción no corregidos y las cataratas no operadas son las dos causas principales de discapacidad visual. Las cataratas no operadas siguen siendo la principal causa de ceguera en los países de ingresos medios y bajos.
- La prevalencia de enfermedades oculares infecciosas, ha disminuido de forma significativa en los últimos 25 años.
- Más del 80% del total mundial de casos de discapacidad visual se pueden evitar o curar.

Se presenta una gran afectación de personas en estado de limitación visual debido a diferentes fuentes que van desde problemas congénitos hasta lesiones laborales y accidentes. Además, de las víctimas de minas antipersona, artefactos explosivos, ataques y atentados contra bienes públicos. Debemos reconocer que el conflicto armado afectó mucho a la población colombiana dejando a más de 8 millones de víctimas (Zamora, 2017), dentro de esas los militares de la fuerza pública, que

debido a la crudeza del conflicto en el país algunos resultaron con mutilación, discapacidad o la muerte.

Aunque hubo debate sobre la inclusión de los miembros de la fuerza pública en el concepto de víctima, el Congreso de la República de Colombia ha expedido dos leyes en las cuales se ha reconocido jurídicamente a miembros de la fuerza pública a su núcleo familiar como víctimas (Zamora, 2017). La primera de ellas, la ley 975 de 2005 o Ley de Justicia y Paz, ofreció un marco legal orientado, no sólo a la desmovilización y reinserción de miembros de grupos armados ilegales, sino también a la búsqueda de verdad, justicia y reparación para las personas afectadas por los hechos cometidos por tales organizaciones. La segunda, la ley 1448 de 2011 o la Ley de víctimas, refleja los avances que se han dado en el país al reconocimiento de las víctimas y su reparación (Zamora, 2017).

Las personas con limitación visual, pueden desplazarse con ayuda de un bastón blanco, el guía vidente o un perro guía, pero algunos carecen de estas ayudas; en el caso del guía vidente, son familiares o amigos que ayudan al invidente orientarse en entornos desconocidos con un acompañamiento constante. Sin embargo, algunos no disponen del tiempo o la capacidad para acompañar a la persona limitada visualmente; en el caso del perro guía, son especialmente adiestrados para acompañar la movilidad de la persona con discapacidad visual. Aunque, según se sostiene, no pueden identificar los colores del semáforo, con lo cual la persona con discapacidad visual requiere de un semáforo sonoro o de la ayuda de otra persona para cruzar la calle (Blog, 2015).

En la ciudad de Cali, el transporte público como el Masivo Integrado de Occidente “MIO” y buses públicos, tienen falencias en cuanto a la accesibilidad y seguridad de personas con discapacidad visual. Debido a que algunos buses del MIO, presentan fallas en el sistema de sonido que indica las paradas, la falta de ayudas de audio en las estaciones (las personas con limitación visual deben preguntar dónde se encuentra la parada). A pesar que se instalaron placas con sistema braille en el

poste de las paradas del MIO, resulta muy complicado dirigirse algún lugar que desconocen.

En el caso de abordar un bus público, recurren a mantener la mano estirada para preguntarle al conductor si él pasa por ese sitio y pedirle a alguien que toque el timbre para bajarse; por este motivo algunos invidentes utilizan apps como moovit, uber, easy taxi, entre otros; para realizar sus viajes, pero no todos cuentan con esta solución, debido a diversos factores incluyendo limitaciones monetarias y la escasa calidad de la vía pública como andenes en ciudades y pueblos.

Hay que mencionar, además que las tecnologías referentes a la asistencia en la movilidad de las personas con limitación visual puede resultar muy costosa su adquisición sobre todo porque la mayoría de estos productos provienen del exterior.

Por lo mencionado anteriormente, sobre la falta de comodidad, accesibilidad y seguridad de las personas con limitación visual en la salud, transporte e infraestructura pública de la ciudad; se identifica los elementos necesarios para el funcionamiento del sistema, mediante alarmas de sonido y vibración, con el fin de diseñar y construir un dispositivo ajustable al bastón de la persona con limitación visual brindando apoyo en su movilidad en la ciudad de Cali.

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cómo desarrollar un dispositivo acoplable a un bastón, el cual permita a la persona con visión reducida desplazarse y desenvolverse en su vida cotidiana, de forma práctica a un costo accesible?

1.3 SISTEMATIZACIÓN DEL PROBLEMA

- ¿Cuáles son los aspectos a tener en cuenta para realizar el diseño y construcción del sistema de apoyo para la persona con visión reducida?
- ¿Cómo conocer los elementos necesarios para el diseño y construcción del dispositivo acoplable al bastón de la persona con limitación visual?

- ¿Qué viabilidad funcional debe tener el dispositivo y su comparación financiera con otros para brindar apoyo al desplazamiento autónomo y desenvolvimiento social de la persona con limitación visual?

2 JUSTIFICACIÓN

2.1 ALCANCE

Como se mencionó en la descripción del problema, Colombia presenta porcentajes altos de personas con baja visión o ceguera. A esto se suma, la escasa calidad de la infraestructura pública, el complejo acceso a tecnologías del exterior en cuanto a costos y mercado, y principalmente su movilidad y desenvolvimiento en la sociedad. Por esta razón, se diseñó y construyó una herramienta de bajo costo para el desplazamiento y autonomía de las personas con visión reducida, atendiendo a la problemática de que estas tecnologías actualmente se encuentran en el mercado, pero con costos elevados, lo que hace, que no sean accesibles a toda la comunidad en general. En cuanto a la formación integral universitaria, permitió a la estudiante involucrada fortalecer su formación con ejes transversales asociados a la resolución de un problema actual y brindar una posible solución con una gran calidad humana.

2.2 LIMITACIÓN

En la actualidad, el gobierno de Colombia brinda plataformas tecnológicas para que las personas con limitación visual puedan aumentar el tamaño de la letra de páginas web, mejorar el contraste, escuchar o leer un libro, pero tecnologías similares de apoyo no se ha implementado en forma masiva en un instrumento de guía, como lo es un bastón blanco.

También, diferentes universidades del país han diseñado herramientas similares, pero no se ha logrado la comercialización de estos dispositivos o acordado con el gobierno algún programa para entregar a las personas con limitación visual estos productos a un costo accesible. Por lo tanto, es necesario que el costo del dispositivo sea accesible y que los materiales sean de fácil adquisición en el mercado. Además, debe ser de fácil uso independientemente de la edad debido a que según el periódico El Tiempo, desde el 2018 hasta marzo del presente año, las personas ciegas o con baja visión, representan el 13% (181.945) del total de la

población en condición de discapacidad. Ubicándose con un 15%, 12% y 7% en edades: De 65 años o más, entre 15 y 64 años y de 0 a 14 años, respectivamente (Tiempo, 2019).

Por esta razón, el desarrollo de este trabajo de grado va orientado a mejorar el desplazamiento de la persona con limitación visual por la ciudad por medio de alarmas sonoras y vibratorias que avisan la presencia de objetos cercanos y por arriba de la cadera, dando un valor tecnológico en su uso al bastón, así mismo, impactando positivamente a la comunidad con limitación visual.

2.3 IMPACTO ECONÓMICO

De acuerdo con lo anterior, se consideran cuáles son los impactos económicos que se pueden generar en caso de que el dispositivo desarrollado en este trabajo de grado llegue a producirse en masa y comercializarse en el país:

- Se podría brindar un producto tecnológico, a bajo costo y de apoyo a las personas con limitación visual en Colombia, partiendo de una baja inversión.
- Ser generador de empleo formal y apoyar al desarrollo de herramientas tecnológicas como una labor social para mejorar las condiciones de vida de las personas con discapacidad en el país.
- Se podría producir a pequeña o mediana escala como un prototipo y ser entregado a instituciones de personas con visión reducida a un bajo costo.
- Ser fuente de ingresos.
- Captar el interés de empresas u el gobierno de Colombia para invertir en este dispositivo.

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Desarrollar un dispositivo acoplable a un bastón que ayude a la persona con visión reducida a desplazarse en su entorno.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar los elementos necesarios para el diseño y construcción del dispositivo acoplable a un bastón desarrollado para personas con limitación visual.
- Desarrollar el diseño y construcción del sistema de apoyo para la persona con visión reducida.
- Evaluar el funcionamiento del dispositivo mediante una prueba piloto y los costos del desarrollo en comparación con otros dispositivos.

4 ANTECEDENTES

En la actualidad, desarrollos de dispositivos similares se han trabajado en diferentes universidades entre las cuales la Universidad de Leeds en Reino Unido; en el año 2011, el ingeniero Bryan Hoyle y colegas de la facultad de ingeniería. Trabajaron en un bastón inteligente denominado UltraCane, incorporaron la "tecnología de haz estrecho" del estado de la técnica, UltraCane detecta el mobiliario urbano y otros obstáculos a 2 o 4 metros (según la configuración en el botón ubicado abajo del mango) y lo hace emitiendo ondas ultrasónicas desde dos sensores. También detecta hasta 1,5 m por delante a la altura del pecho / cabeza, dando retroalimentación táctil al usuario a través de dos botones de vibración en el mango sobre el cual el usuario coloca su pulgar, la frecuencia de la vibración permite al usuario conocer la proximidad del obstáculo, la tecnología fue posteriormente mejorada y re-desarrollada para el mercado por la compañía Sound Foresight Technology Ltd (UltraCane, 2016). Tiene un costo de £635.00 (libra esterlina) que equivale a COP\$2'597.495. A partir de esta investigación, se concluyó que la frecuencia de la vibración da información a las personas invidentes o con limitación visual crear un mapa mental del entorno y guiarse de forma segura a través y alrededor de los obstáculos, además que el costo de tecnologías en el exterior es elevado para el bolsillo de los colombianos con limitación visual que no cuentan con ese poder adquisitivo (UltraCane, 2016).

En 2013, la Universidad Miguel Hernández de Elche (UMH), en España, Antonio Alarcón, uno de los miembros de la cátedra de investigación de Bidons Egara, en su diseño y desarrollo han colaborado los profesores Eduardo Fernández, Carlos Pérez, José María Sabater, Nicolás García, José María Azorín, así como los ingenieros Manuel Bayonas y Juan Ramón Rubio, desarrollaron un sistema de vibración colocado en la muñeca para la ubicación de objetos mediante sensores ubicados encima de un bastón, con un peso de 130 g, el bastón incluye medidas de seguridad e incorpora un microcontrolador que permite ajustar la distancia de

detección a las necesidades del usuario, en función de sus características físicas, velocidad de movimiento y de la densidad de ocupación de la vía. A partir de esta investigación, se concluyó que el bastón blanco tradicional deja expuesto a la persona con limitación visual a objetos por encima de la cintura que representen un peligro como ramas de árboles, puertas con baja altura, extintores o retrovisores de camiones y autobuses (Elche, 2013).

En 2013, estudiantes del Instituto Indio de Tecnología de Delhi han desarrollado el Smart Cane, capaz de detectar los obstáculos por encima de la rodilla hasta la cabeza en un rango de medio metro y mediante ondas sónicas transmite patrones vibratorios intuitivos ante la presencia de obstáculos. Se alimenta con una batería recargable de ion de litio, como un teléfono celular. El usuario puede cambiar entre el modo de rango largo (3 m) y corto (1,8 m) dependiendo de los escenarios de uso, como lugares al aire libre, interiores o con mucho público (Delhi & Tech, 2016). El costo estimado es de 3.500 rupias (unos COP\$ 152.582) + 5% GST (Goods & Services Tax "Impuesto sobre Bienes y servicios") para los ciudadanos de la India (Cane, 2016). A partir de esta investigación se concluyó que se puede usar baterías de litio recargables para que el tiempo de uso del dispositivo sea largo y el interés de investigadores de otros países que quieren compartir esta oportunidad tecnológica a los países en desarrollo bajando los costos del producto.

En 2015, estudiantes de TIC Steve Adigbo, Waheed Rafiq y Richard Howlett de la Birmingham City University, han desarrollado el bastón XploR, el cual cuenta con reconocimiento facial: detecta los rostros en un rango de diez metros gracias a una cámara digital que vibra cuando identifica a una persona conocida (University, 2015), y cuenta con la funcionalidad de GPS para ayudar a la navegación. En particular, utiliza un banco de imágenes almacenadas en una tarjeta de memoria SD incorporada para identificar qué rostros son familiares y se deben buscar. Si la cámara encuentra una coincidencia con una de estas imágenes, el bastón vibrará para alertar al usuario y dará instrucciones de audio paso a paso que se reproducen a través de un auricular conectado vía bluetooth (University, 2015); XploR ha sido

presentado a científicos y médicos en Luxemburgo y Francia, quienes elogiaron el producto. La Universidad de Birmingham señala que los alumnos presentarán el bastón en Alemania, y que continuarán probando la viabilidad del bastón (Lastra, 2015). A partir de esta investigación se concluyó que esta idea es más enfocada a la interacción social de las personas limitadas visualmente con su familia y amigos en lugares públicos.

En 2004, René Farsi físico e investigador del CNRS y de la Universidad Paris-Sud/Orsay, ha desarrollado un bastón que detecta los obstáculos por medio de rayos láser y advierte al usuario a través de sonidos y vibraciones. Tiene el tamaño de un control de televisión y se espera su conexión con satélites para orientar a las personas con movilidad reducida en sus desplazamientos. Cuenta con dos modelos: uno denominado Tom Puce (pequeño), y cuesta alrededor de 762 euros (COP\$3.332.306). El otro modelo, denominado Teletacto cuesta alrededor de 2.286 euros (COP\$9.996.918). Se necesita un período de formación para que los usuarios aprendan a interpretar las señales emitidas por el dispositivo y a construir referencias a partir de estos símbolos, cuesta alrededor de 1.800 euros (COP\$7.871.589) que se suman con el precio del producto (Marsh, 2004). A partir de esta investigación se concluyó que se puede usar sensores láser para que detecte los objetos con más precisión, pero la interpretación de las señales emitidas del dispositivo no debe ser complejo, porque los invidentes tienen sus técnicas de uso del bastón y no necesita saber si es una persona, poste de luz o el comienzo de un andén.

En América latina, también hay desarrollos similares, el “bastón robótico para ciegos” por los alumnos Diego Martínez, Onan Gonzáles, José Andrés Giménez, José Liuzzi y Alexander Martínez, acompañados por el profesor Julio González de la escuela Cristo Rey, de Paraguay. Usaron un “palito” de selfie -porque se pliega- se incorporó sensores de ultra sonido en él que programaron gracias a una placa Arduino. Le agregaron leds infrarrojos y sensores de luz que miden la distancia y la altura del objeto y crearán una app guiada del turtle art o turtle box que se conecta

a un dispositivo por bluetooth para enviar señales de audio por auriculares al usuario (Baldi, 2016). A partir de esta investigación se concluyó que las app's son una ayuda adicional para guiar a la persona utilizando el bluetooth o GPS.

En Colombia, en el año 2013, un grupo de investigadores de Ingeniería Electrónica de la Universidad Manuela Beltrán, de Bogotá, diseñaron un bastón que mediante tres tonos de sonido advierten a la persona la dirección del obstáculo; si está a la izquierda se escucha un “La” grave, si está en el frente, un “La” normal y si está por la derecha, un “La” agudo (Beltrán, 2015). Este aparato puede identificar obstáculos con sensores ultrasónicos ubicados en la parte inferior del bastón a una distancia mínima de 30 cm y una máxima de 4 m, y su dimensión y peso (700 g y 1,20 m) facilitan su uso (Beltrán, 2015). De esta investigación se concluyó que el sonido, la dimensión y el peso del aparato juegan un papel importante para que los invidentes interpreten fácilmente el sonido de alarma y que el dispositivo no dificulte el uso del bastón al desplazarse.

En 2014, los estudiantes Melissa Peralta, de Ingeniería Biomédica y José Vicente Urmendiz, de Ingeniería Mecatrónica de la Autónoma de Occidente, trabajaron en un bastón para la detección de obstáculos a través de tres (3) sensores ultrasónicos ubicados en la parte superior, media y baja del bastón que emiten una vibración a la manecilla como señal para el usuario, además de una aplicación para dispositivos móviles Android, que facilita la ubicación espacial del invidente con una red de apoyo en caso de una necesidad y un componente de redes sociales para la comunicación con sus parientes (Melissa Peralta, 2014). A partir de esta investigación se concluyó que las personas invidentes están familiarizadas con la ayuda del bastón y recomendaron que el dispositivo no interfiera con su sentido del oído.

5 MARCO DE REFERENCIA

5.1 MARCO TEÓRICO

5.1.1 Discapacidad visual

La discapacidad visual se define con base en la disminución significativa de la agudeza visual aun con el uso de lentes, o bien, una disminución significativa del campo visual (Educativo, 2010).

Esta se clasifica en:

- Moderada: Efectúa tareas con el apoyo de lentes e iluminación similares a los sujetos con visión normal.
- Grave: Realiza tareas visuales con inexactitud. Requiere tiempo para ejecutar una tarea, y ayudas como lentes o lupas o bien viseras, lentes oscuros, cuadernos con rayas más gruesas, plumones para escribir, entre otras cosas, y modificaciones del ambiente.
- Ceguera: No recibe información visual, sin percepción de la luz.

La discapacidad visual moderada y grave se reagrupan comúnmente bajo el término «baja visión»; en conjunto con la ceguera representan el total de casos de discapacidad visual (Salud, 2017).

5.1.2 Causas de discapacidad visual

Las principales causas mundiales de ésta discapacidad desde moderada a grave son (Salud, 2017):

- Errores de refracción no corregidos: 43%
- Cataratas no operadas: 35%
- Degeneración macular relacionada con la edad: 4%
- Retinopatía diabética: 1%

Las principales causas de ceguera son:

- Cataratas no operadas: 33%
- Errores de refracción no corregidos: 21%
- Glaucoma: 2%

Dentro de las diferentes técnicas de protección y orientación espacial, el guía vidente, desplazamiento en interiores y exteriores, y con perro guía; se encontró que las técnicas de desplazamiento permiten a la persona con limitación visual obtener información de su entorno haciendo uso de sus otros sentidos como la percepción de ruidos, olores, contextura del piso o de la pared y el desarrollo de la habilidad táctil a través del bastón. Por eso, es necesario conocer las técnicas de uso del bastón para desplazarse por la vía pública:

Técnica de Hoover: El bastón debe llevarse con el brazo un poco doblado, cerca del cuerpo y centrado por la línea media (puede tomarse como referencia el ombligo), la mano debe sujetar el bastón con el dedo índice prolongado a lo largo en la parte plana del mango y los dedos restantes sujetando el bastón (Homero, 2011), ver Figura 1.

Figura 1 Técnica de Hoover (ritmo-toque).



Fuente: <https://es.slideshare.net/monsegimenez37/rehabilitacin-del-no-vidente>

Técnica de deslizamiento: El bastón deberá ir colocado en posición diagonal con la punta en el borde que está entre la pared y el suelo, sin realizar ningún toque, solo deslizando el bastón por el borde antes mencionado, ver Figura 2. Esta técnica se puede combinar con la técnica de Hoover deslizando el bastón (Homero, 2011). Esta técnica permite a la persona limitada visual desplazarse por sitios cerrados como centros comerciales, edificios, oficinas, etc.

Figura 2 Técnica de desplazamiento.



Fuente: <https://asociaciondoce.com/2016/11/15/tecnica-contacto-constante-tecnica-de-los-dos-puntos-tecnica-diagonal-con-el-baston-de-movilidad/>

Técnica de toque: Permite dar mayor seguridad en los desplazamientos estando en terrenos montañosos o disparejos. Consiste en tomar el bastón por el mango en forma de agarre, ubicándolo al frente y al centro del cuerpo en forma paralela, dando dos o tres toques al terreno en forma de picado (Homero, 2011), ver Figura 3.

Figura 3 Técnica de toque



Fuente: <https://asociaciondoce.com/2016/11/15/tecnica-contacto-constante-tecnica-de-los-dos-puntos-tecnica-diagonal-con-el-baston-de-movilidad/>

Técnica de subir y bajar escaleras: la persona con limitación visual deberá ubicarse a la derecha de la escalera, tomando el bastón con agarre de pinza, la puntera del bastón deberá medir la altura y el ancho del escalón y el bastón deberá estar siempre un escalón delante, tocando el borde del peldaño, cuando el bastón no percibe más escalones puede ser un descanso de la escalera o que ya no hay más peldaños, tanto para bajar como para subir, se utiliza la misma técnica, conservando siempre la derecha (Homero, 2011), ver Figura 4.

Figura 4 Ascenso y descenso de escaleras.



Fuente: <https://es.slideshare.net/monsegimenez37/rehabilitacin-del-no-vidente>

5.1.3 Sustitución sensorial

La sustitución sensorial se refiere a permitir que un órgano que realiza una función determinada pueda llevar a cabo otra diferente, que ejecuta un órgano que perdió su funcionamiento.

El sistema cuenta con tres componentes: un sensor, un sistema de acoplamiento y un estimulador. El sensor se encarga de recibir o percibir la información que la persona con discapacidad no es capaz de distinguir; el sistema de acoplamiento conecta estas percepciones con el cuerpo humano; el estimulador notifica las apreciaciones al usuario a través de un receptor sensorial.

Cuando una persona es diagnosticada como ciega o sorda, no significa que haya perdido adicionalmente la capacidad de ver u oír. Sin embargo, en muchos casos se descubre que lo que el paciente realmente dejó de poseer y manejar es la habilidad de transmitir señales sensoriales desde la periferia hacia el cerebro (Acevedo, 2014).

5.1.4 Pro percepción

Este concepto trata sobre la capacidad que posee el cuerpo humano de conocer en dónde está situada cierta parte sin necesidad de recurrir a la vista, es decir, conocer en qué lugar o posición se encuentra una cosa o parte del cuerpo sin la necesidad de estar mirándola. Este concepto ha cambiado con el tiempo y hoy se basa en tres criterios que para la Pro percepción son básicos:

- Estetesia: provisión de conciencia de posición articular estática.
- Cenestesia: conciencia de movimiento y aceleración.
- Actividades efectoras: respuesta refleja y regulación del tono muscular.

Un concepto muy utilizado en el desarrollo de sistemas sustentados en el concepto de Pro percepción es la háptica, la cual se refiere a la conciencia del tacto y suele considerarse como el estudio del comportamiento del contacto y la sensación, por lo que se puede ver la relación con el concepto de la Pro percepción. Este concepto de háptica también suele referirse al conjunto de sensaciones no visuales ni auditivas que puede sentir un individuo (Acevedo, 2014).

5.1.5 Teoría general de los sistemas

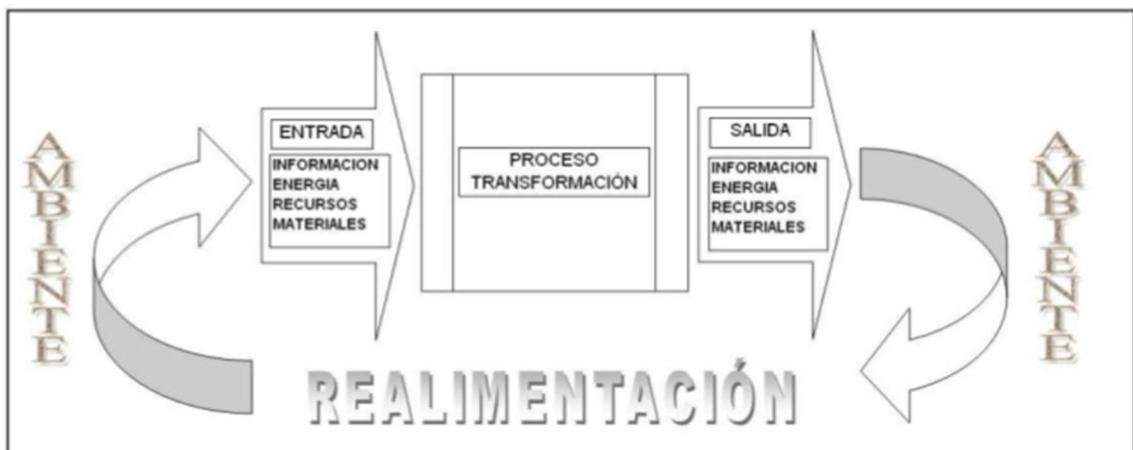
En un sentido amplio, la Teoría General de Sistemas (TGS) se presenta como una forma sistemática y científica de aproximación y representación de la realidad y, al mismo tiempo, como una orientación hacia una práctica estimulante para formas de trabajo transdisciplinarias (Arnold & Osorio, 2019).

Sistemas: En las definiciones más corrientes se identifican los sistemas como conjuntos de elementos que guardan estrechas relaciones entre sí, que mantienen al sistema directo o indirectamente unido de modo más o menos estable y cuyo comportamiento global persigue, normalmente, algún tipo de objetivo (teleología) (Arnold & Osorio, 2019). La Real Academia de la Lengua Española (Española, 2020), define el concepto de “Sistema” en su acepción más general como: “Conjunto de reglas o principios sobre una materia racionalmente enlazados entre sí”. En su

definición de sistemas, Hall y Fagen (Hall & Fagen, 1956), establece que un sistema es un conjunto de objetos junto con las relaciones entre los objetos y entre sus atributos. Para Saussure (Saussure, 1989), un sistema se define como “una totalidad organizada, hecha de elementos solidarios que no pueden ser definidos más que los unos con relación a los otros en función de su lugar en la totalidad”.

De acuerdo con lo anterior, se puede observar, que todas estas definiciones siempre llevan al conjunto de elementos, que si se aíslan no llegan a ningún fin, sino que tienen que trabajar todos juntos para poder cumplir su objetivo para lo cual fue construido o diseñado, ver Figura 5.

Figura 5 Esquema general de un sistema



. Fuente: Sistemas Administrativos, Análisis y Diseño, Gómez Ceja Guillermo, Editorial McGraw-Hill, 1a. Edición 1997 Pág.11.

La dinámica de sistemas tiene los siguientes pasos:

- observación del comportamiento de un sistema real,
- identificación de los componentes y procesos fundamentales del mismo,
- identificación de las estructuras de retroalimentación que permiten explicar su comportamiento,
- construcción de un modelo formalizado sobre la base de la cuantificación de los atributos y sus relaciones,

- introducción del modelo en un computador y
- trabajo del modelo como modelo de simulación (Forrester)

Entradas y Salidas (Input/output): Los conceptos de input y output nos aproximan instrumentalmente al problema de las fronteras y límites en sistemas abiertos. Se dice que los sistemas que operan bajo esta modalidad son procesadores de entradas y elaboradores de salidas (Arnold & Osorio, 2019).

Input: Todo sistema abierto requiere de recursos de su ambiente. Se denomina input a la importación de los recursos (energía, materia, información) que se requieren para dar inicio al ciclo de actividades del sistema.

Output: Se denomina así a las corrientes de salidas de un sistema. Los outputs pueden diferenciarse según su destino en servicios, funciones y retroinputs.

Proceso: Dentro del esquema general de un sistema, son todas las acciones que conllevan la conversión de las entradas en salidas. Estos pueden ser realizados por subsistemas, o elementos del sistema (Arnold & Osorio, 2019).

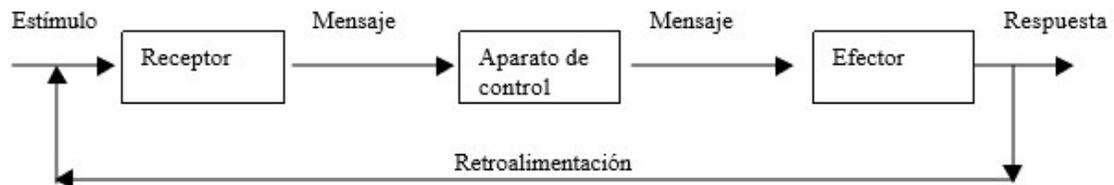
Ambiente: Se refiere al área de sucesos y condiciones que influyen sobre el comportamiento de un sistema. En lo que a complejidad se refiere, nunca un sistema puede igualarse con el ambiente y seguir conservando su identidad como sistema. La única posibilidad de relación entre un sistema y su ambiente implica que el primero debe absorber selectivamente aspectos de éste. Sin embargo, esta estrategia tiene la desventaja de especializar la selectividad del sistema respecto a su ambiente, lo que disminuye su capacidad de reacción frente a los cambios externos. Esto último incide directamente en la aparición o desaparición de sistemas abiertos (Arnold & Osorio, 2019).

Retroalimentación: Son los procesos mediante los cuales un sistema abierto recoge información sobre los efectos de sus decisiones internas en el medio, información que actúa sobre las decisiones (acciones) sucesivas. La retroalimentación puede

ser negativa (cuando prima el control) o positiva (cuando prima la amplificación de las desviaciones) (Arnold & Osorio, 2019).

El siguiente es un esquema sencillo de retroalimentación, ver Figura 6.

Figura 6 Esquema sencillo de retroalimentación



. Fuente: http://www.cime.cl/archivos/ILI260/4958_tgsbertalanffy.pdf

5.1.6 Diseño industrial

El proceso de diseño de cualquier producto o servicio, en general, ha de dar respuesta y apoyar todas las fases de su ciclo de vida global. Esto implica que los conceptos de ingeniería de sistemas y modelización orientada al producto son de especial relevancia en relación al tratamiento informático que requiere la actividad de diseño.

El diseño en ingeniería es una actividad muy compleja, cuyo tratamiento informático exige, por un lado, la utilización de técnicas asociadas a la ingeniería del software, y, por otro, el análisis del problema a la luz de los conceptos originados en los ámbitos de la inteligencia artificial y la ingeniería del conocimiento (Bravo Aranda, 1995).

5.1.7 Diseño y desarrollo de productos

El proceso de desarrollo del producto es la secuencia de pasos o actividades que una empresa utiliza para concebir, diseñar y comercializar un producto. Muchos de estos pasos y actividades son intelectuales y organizacionales más que físicos.

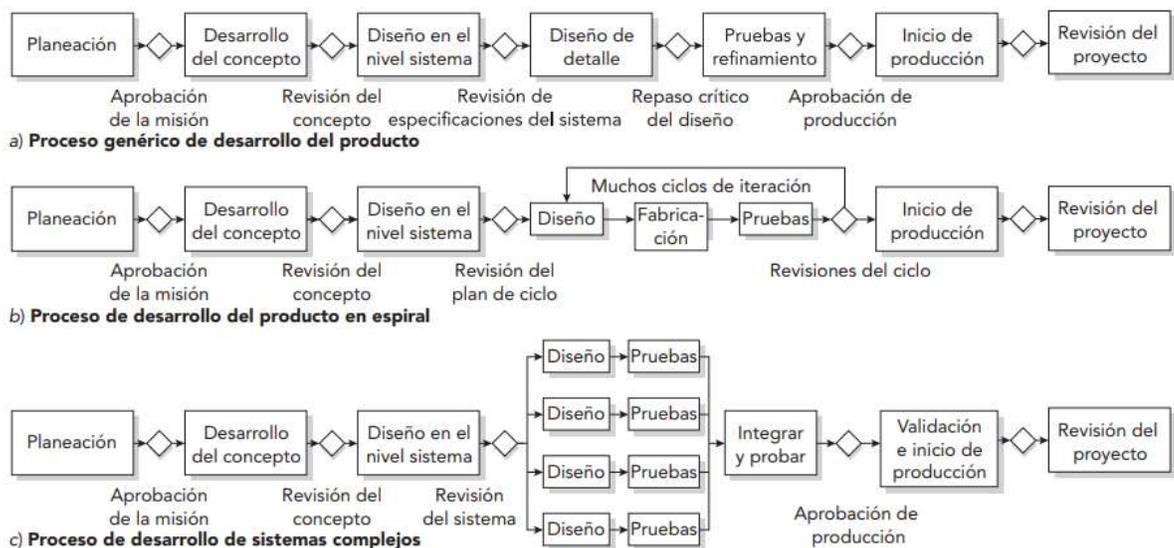
Este cuenta con un diagrama genérico de flujo de proceso:

a) describe el proceso empleado para desarrollar productos influenciados por el mercado, impulsados por tecnología, de plataforma, de proceso intensivo, personalizados y de alto riesgo. Cada una de las fases (o etapas) de desarrollo del producto es seguida por una revisión (o paso de control) para confirmar que la fase se ha completado y para determinar si el proyecto continúa.

b) los productos de rápida elaboración hacen posible un proceso de desarrollo del producto en espiral conforme al cual las actividades de diseño de detalles, construcción de prototipos y pruebas se repiten varias veces.

c) El diagrama de flujo del proceso para desarrollo de sistemas complejos muestra el desglose en etapas paralelas de trabajo de los muchos subsistemas y componentes (Ulrich & Eppinger, 2013).

Figura 7 Diagramas de flujo de proceso para tres procesos de desarrollo del producto.



Fuente: Ulrich, Karl T., Eppinger, Steven D. Diseño y desarrollo de productos.

5.1.8 Algoritmo de funcionamiento

En su libro Fundamentos de programación, Luis Joyanes Aguilar, define al algoritmo como un método para resolver un problema, es decir que la resolución de un problema exige el diseño de un algoritmo que resuelva el mismo.

Los algoritmos son independientes tanto del lenguaje de programación en que se expresan como de la computadora que los ejecuta. En cada problema el algoritmo se puede expresar en un lenguaje diferente de programación y ejecutarse en una computadora distinta; sin embargo, el algoritmo será siempre el mismo.

Un lenguaje de programación es tan sólo un medio para expresar un algoritmo y una computadora es sólo un procesador para ejecutarlo. Tanto el lenguaje de programación como la computadora son los medios para obtener un fin: conseguir que el algoritmo se ejecute y se efectúe el proceso correspondiente (Vázquez Gómez, 2012).

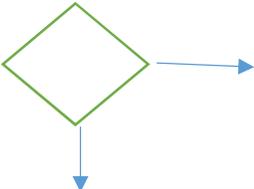
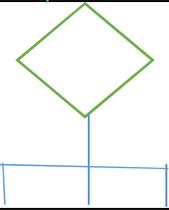
Las características fundamentales que debe cumplir todo algoritmo son:

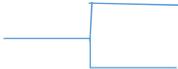
- Un algoritmo debe ser preciso e indicar el orden de realización de cada paso.
- Un algoritmo debe estar definido. Si se sigue un algoritmo dos veces, se debe obtener el mismo resultado cada vez.
- Un algoritmo debe ser finito. Si se sigue un algoritmo, se debe terminar en algún momento; o sea, debe tener un número finito de pasos.

Un diagrama de flujo, Joyanes Aguilar, lo define como: “un diagrama que utiliza los símbolos (cajas) estándar mostrados en la tabla y que tiene los pasos de un algoritmo escritos en esas cajas unidas por flechas, denominadas líneas de flujo, que indican la secuencia en que se debe ejecutar (Vázquez Gómez, 2012).

Tabla 1 Símbolos de diagramas de flujo.

Símbolo	Función
	Terminal (representa el comienzo, “inicio” y el final, “fin” de un programa. Puede representar también una parada o interrupción programada que sea necesario realizar en un programa)

	<p>Entrada/Salida (cualquier tipo de introducción de datos en la memoria desde los periféricos, “entrada”, o registro de la información procesada en un periférico, “salida”)</p>
	<p>Proceso (cualquier tipo de operación que pueda originar cambio de valor, formato o posición de la información almacenada en memoria, operaciones matemáticas, de transferencia, etc.)</p>
	<p>Decisión (indica operaciones lógicas o de comparación entre datos, normalmente dos, y en función del resultado de la misma determina cuál de los distintos caminos alternativos del programa se debe seguir; normalmente tiene dos salidas, respuestas SÍ o NO, pero puede tener tres o más, según los casos)</p>
	<p>Decisión múltiple (en función del resultado de la comparación se seguirá uno de los diferentes caminos de acuerdo con dicho resultado)</p>
	<p>Conector (sirve para enlazar dos partes cualesquiera de un ordinograma a través de un conector en la salida y otro conector en la entrada. Se refiere a la conexión en la misma página del diagrama.</p>
	<p>Indicador de dirección o línea de flujo (indica el sentido de ejecución de las operaciones)</p>
	<p>Línea conectora (sirve de unión entre dos símbolos)</p>
	<p>Conector (conexión entre dos puntos del ordinograma situado en diferentes páginas.)</p>

	<p>Llama subrutina o a un proceso predeterminado (una subrutina es un módulo independiente del programa principal, que recibe una entrada procedente de dicho programa, realiza una tarea determinada y regresa, al terminar, al programa principal)</p>
	<p>Pantalla (se utiliza en ocasiones en lugar del símbolo de entrada/salida)</p>
	<p>Impresora (se utiliza en ocasiones en lugar del símbolo de entrada/salida)</p>
	<p>Comentarios (se utiliza para añadir comentarios clasificadores a otros símbolos del diagrama de flujo. Se pueden dibujar a cualquier lado del símbolo)</p>

Fuente: Análisis y diseño de algoritmos, Juan Bernardo Vázquez Gómez, Primera edición: 2012.

5.1.9 Pruebas piloto

Puede entenderse como una primera puesta en escena de un determinado proyecto con la intención de considerar las facilidades de implementación. La prueba piloto se usa en innumerables contextos como una forma de limitar efectos negativos, pérdidas económicas, recursos, tiempo, etc. Si la susodicha prueba tiene consecuencias positivas, entonces se procederá a proseguir con el proyecto; caso contrario, se lo dejará de lado o se modificará para tornarlo viable (Definición MX, 2014).

Criterios a tener en cuenta (Popular., 2013):

Normas de confidencialidad. Este punto es muy delicado, pues al poner en marcha una prueba se puede revelar un secreto industrial.

Aprovechar el tiempo. Se debe procurar obtener la solución perfecta para que el producto agrade a los consumidores en corto tiempo, ya que si se tarda mucho, se puede poner en peligro su autenticidad. Además, los posibles competidores podrían empezar a copiar las tácticas y usarlas primero.

Estar siempre atento. Enfocar todos los sentidos hacia la prueba piloto, tomarla como si fuera el lanzamiento del producto. Después de todo, en esta etapa deben salir a la luz todos los cabos sueltos del producto, así nos damos cuenta de que se está haciendo bien y qué falta.

En ocasiones, llevar a cabo una prueba piloto no es sencillo porque puede haber barreras de entrada, como el presupuesto o la confianza de las personas. Ahora bien, por esto no se debe dejar de hacerla, ya que son muy necesarias para evaluar la idea de negocio y el futuro como emprendedor.

5.1.10 Estudio financiero

Es el proceso a través del que se analiza la viabilidad de un proyecto. Tomando como base los recursos económicos que tenemos disponibles y el coste total del proceso de producción (OBSbusiness school, 2020).

Su finalidad es permitirnos ver si el proyecto que nos interesa es viable en términos de rentabilidad económica.

Para que este análisis sea lo más completo posible es fundamental hacer una buena labor de documentación. Las fuentes a consultar dependerán de si se está ante una empresa ya en funcionamiento o se trata de un mero proyecto teórico, en el que tendremos que trabajar con datos más estadísticos que reales.

En cualquier caso, para comenzar a elaborar un documento de este tipo es importante analizar datos como la estructura impositiva del Estado en el que se va a llevar a cabo el negocio, los costos laborales, la demanda del producto, fuentes

de financiación y posibles intereses asociados a las mismas y estimaciones de ventas.

5.1.11 Dispositivos electrónicos

En un sentido amplio, un dispositivo electrónico es una combinación de componentes electrónicos organizados en circuitos, destinados a controlar y aprovechar las señales eléctricas.

En este sentido amplio un dispositivo electrónico es sinónimo de producto, artefacto o aparato electrónico, como puede ser un altavoz, una licuadora, un celular, una computadora o un televisor (ALEGSA, 2018).

Estos dispositivos son necesarios en este trabajo de grado, puesto que sin ellos no es posible realizar la innovación de lo que para una persona con visión reducida puede llegar a ser un simple bastón, convirtiéndolo en una herramienta de primera necesidad para estas personas, aumentando incluso su seguridad física y su interacción con el entorno cotidiano.

5.1.12 Sensores ultrasónicos

Estos basan su funcionamiento en la detección del eco procedente de un objeto a detectar luego de haber emitido un sonido no audible por el ser humano o ultrasonido, por medio de la medición del tiempo que tarda en llegar el eco ocasionado por el rebote con el objeto, ver Figura 8. Este tipo de sensor es efectivo en casi todo tipo de material, con la condición de que permita la reflexión del sonido. Estos no son sensibles a efectos externos a menos de que estén en un ambiente en donde se generen más ultrasonidos (Acevedo, 2014).

Figura 8 Sensor ultrasónico HC-SR 04.



Fuente: <https://naylampmechatronics.com/sensores-proximidad/10-sensor-ultrasonido-hc-sr04.html>

5.1.13 Motor vibrador

Un motor vibrador es, en esencia, un dispositivo que cuenta con un motor mal equilibrado. En otras palabras, tiene una pesa descentrada unida al eje de rotación del motor, lo que genera que el motor oscile o vibre. Esta oscilación o vibración depende directamente del peso nominal de la pesa, de la distancia a la que se encuentra la pesa del eje y la velocidad con la que el eje gira (Acevedo, 2014), ver Figura 9.

Figura 9 Buzzer vibrador 12V



Fuente: https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-547098747-buzzer-alarma-12v-85db-25ma-zumbador-piezoelectrico-constant-_JM#position=4&type=item&tracking_id=4b8ff4ab-f39e-4154-9037-ee4fe14a2476

5.2 MARCO CONCEPTUAL

DISCAPACIDAD: Según el libro “Convención sobre los Derechos de las Personas con Discapacidad y Protocolo Facultativo” de la ONU en el 2006, la discapacidad es un concepto que evoluciona y que resulta de la interacción entre las personas con deficiencias y las barreras debidas a la actitud y al entorno que evitan su participación plena y efectiva en la sociedad, en igualdad de condiciones con las demás.

VISIÓN: Percepción de las realidades físicas a través de la vista. Capacidad de ver.

TÉCNICA: Conjunto de procedimientos o recursos que se usan en un arte, en una ciencia o en una actividad determinada, en especial cuando se adquieren por medio de su práctica y requieren habilidad.

HÁPTICO: Puede considerarse como el estudio del comportamiento del contacto y las sensaciones (Ribón Barrios & Paternina Palacio, 2015).

DISPOSITIVO: Mecanismo dispuesto para obtener un resultado.

ARDUINO: Es una placa que puede tomar información del entorno a través de sus pines de entrada de toda una gama de sensores y puede afectar aquello que le rodea controlando luces, motores y otros actuadores (Ribón Barrios & Paternina Palacio, 2015).

SENSOR: Dispositivo formado por células sensibles que detecta variaciones en una magnitud física y las convierte en señales útiles para un sistema de medida o control.

ULTRASONIDO: Sonido cuya frecuencia de vibraciones es superior al límite perceptible por el oído humano.

BATERÍAS: Una batería, que es una celda eléctrica, es un dispositivo que produce electricidad gracias a una reacción química. En un batería de una celda, se puede

encontrar un electrodo negativo, el cual conduce los iones; un separado, que adicionalmente es un conductor de iones, y; un electrodo positivo. Se pueden encontrar varios tipos de baterías como las de Li – Ion o alcalinas (Acevedo, 2014).

5.3 MARCO CONTEXTUAL

Este trabajo de grado se desarrolló con el fin de beneficiar la comunidad limitada visualmente de la ciudad de Cali, para esto se hará un acercamiento con instituciones como “El instituto para Niños Ciegos y Sordos” con los que se puede trabajar en soluciones asertivas orientadas a procesos de ayuda a esta comunidad. Además, con la realimentación del uso del sistema se podrá establecer un plan de mejora del sistema lo cual se verá reflejado en el desarrollo de un mejor producto. La Fundación Universitaria Católica Lumen Gentium interesada en afectar a la comunidad con proyectos de índole social, permite plantear este tipo de iniciativas apoyados en la infraestructura universitaria y en la experiencia en investigación de los profesores e investigadores que hacen parte del grupo de investigación KHIMERA de la Facultad de Ciencias Básicas e Ingeniería.

5.4 MARCO LEGAL

En la siguiente lista se enuncian diferentes instituciones, leyes, decretos y resoluciones que el gobierno de Colombia estableció a favor de las personas con limitación visual.

- INCI (Institución Nacional para Ciegos): está regido por el Decreto 1006 de 2004, situándolo como un establecimiento público del orden nacional con personería jurídica, autonomía administrativa y financiera y patrimonio independiente. Brinda servicios de asistencia técnica y asesoría a las demás entidades que a nivel nacional, territorial y local tienen a cargo la atención de las personas con discapacidad visual en el país (INCI, 2020). Con el fin, de realizar acercamientos con esta institución y agregar valor a los servicios que le prestan a esta población.

- La Ley estatutaria 1618 de 2013: El objeto de esta ley es garantizar y asegurar el ejercicio efectivo de los derechos de las personas con discapacidad, mediante la adopción de medidas de inclusión, acción afirmativa y de ajustes razonables y eliminando toda forma de discriminación por razón de discapacidad (Colombia, 2020). Con esta ley se pueden realizar acercamientos con el gobierno para solicitar subsidios.
- Ley número 23 de 1982 “Sobre derechos de autor y propiedad intelectual”: Los autores de obras literarias, científicas y artísticas gozarán de protección para sus obras en la forma prescrita por la presente ley y, en cuanto fuere compatible con ella, por el derecho común. También protege esta ley a los intérpretes o ejecutantes, a los productores de fonogramas y a los organismos de radiodifusión, en sus derechos conexos a los del autor (Congreso de Colombia, 2020). Con la finalidad de solicitar el registro del diseño.

6 DISEÑO METODOLÓGICO

6.1 TIPO DE ESTUDIO

La investigación desarrollada en este trabajo de grado fue de tipo exploratoria, debido a que se requirió mayor profundización y comprensión del tema principal referente al desarrollo de herramientas de apoyo a personas con visión reducida, la cual no había sido explorada en la Fundación Universitaria Católica Lumen Gentium Unicatólica. Esto se corroboró realizando una búsqueda bibliográfica que sirvo para estructurar el estado del arte correspondiente.

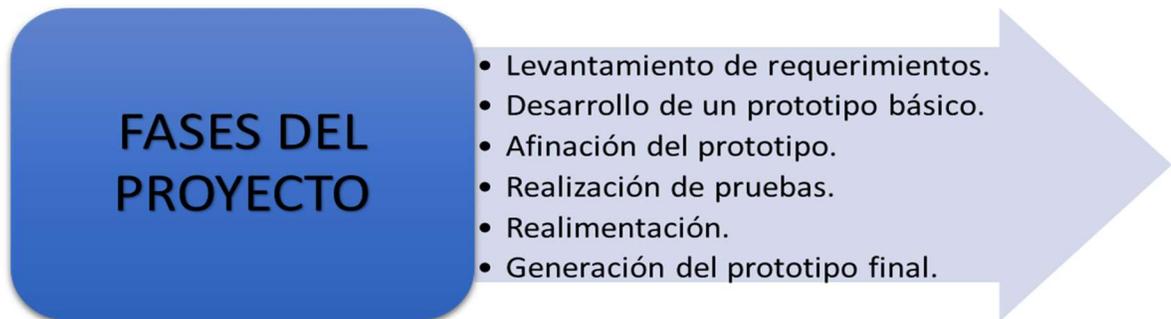
Igualmente, permitió un mejor acercamiento hacia el manejo del estudio del problema que se desarrolló por medio de datos bibliográficos y consultas hacia los colaboradores del semillero de investigación, para luego analizarla y verificar la efectividad de estas, delimitar el alcance del problema y corroborar deducciones previas.

Esta investigación también fue de tipo documental, porque toda la información utilizada para su construcción fue extraída de diferentes libros, artículos, revistas, tutoriales y medios electrónicos. De igual modo fue necesaria para recolectar, organizar y analizar la información sobre temas referentes a la discapacidad visual, los retos diarios de las personas con esta limitación en Colombia y los proyectos que se han propuesto para apoyar a esta población aportando nuevas perspectivas con la interpretación y selección de la información encontrada.

6.2 METODOLOGÍA

Se planteó y se siguió una metodología por fases debido a que primero se debía conocer la aplicación de módulos Arduino para seleccionar los más adecuados para el proyecto y como otros investigadores habían construido equipos y sistemas similares para un apoyo social a la persona con visión reducida. En ese sentido, las fases de este trabajo de grado, ver Figura 10, se describen a continuación:

Figura 10 Fases del proyecto.



Fuente: Propia.

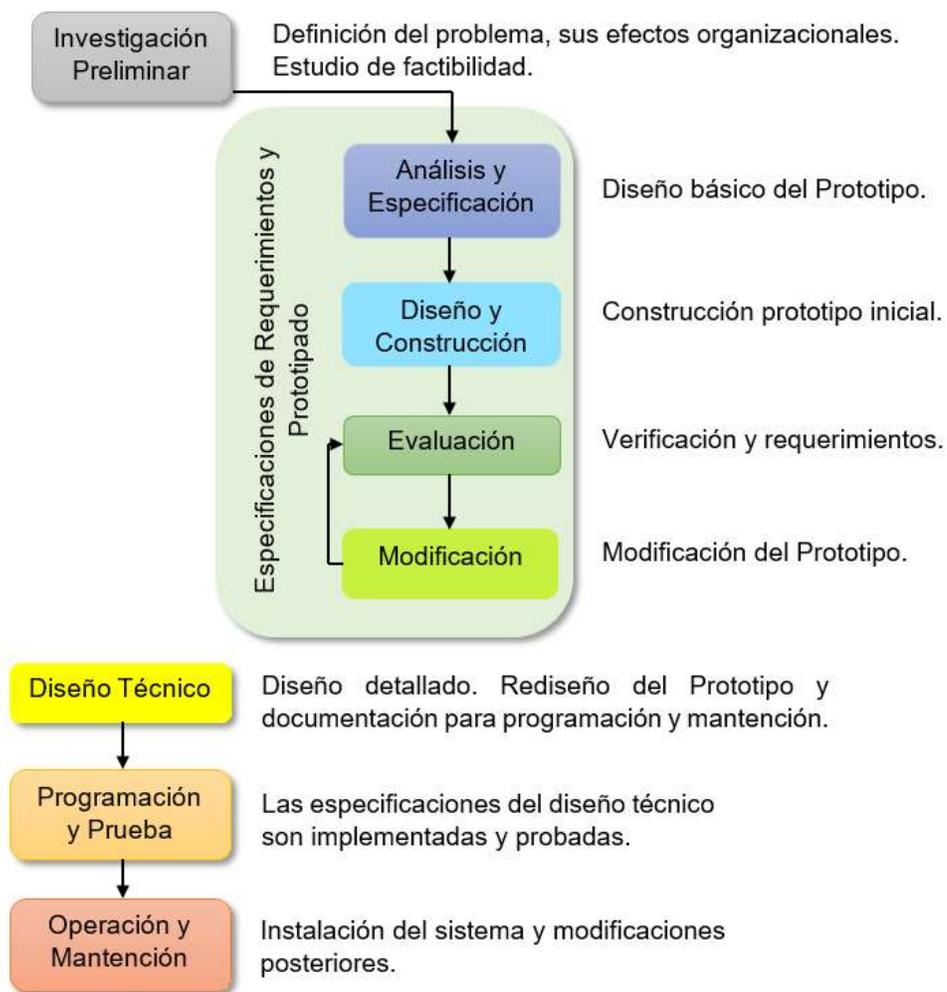
A continuación, se describe cada uno de los pasos y las acciones llevadas a cabo:

- Levantamiento de requerimientos: este paso consistió en la selección de elementos necesarios que debe tener el sistema para funcionar y ser un apoyo en el desplazamiento de la persona con limitación visual.
- Desarrollo de un prototipo básico: en este paso se realizó un prototipo para conocer cómo funciona el sistema por medio del sensor de proximidad y de alarmas de sonido y vibratorias para detectar obstáculos presentes.
- Afinación del prototipo: en este paso se definió la distancia óptima que el prototipo básico debe detectar y la estética del dispositivo.
- Realización de pruebas: consistió en verificar su funcionamiento e identificar las posibles fallas o modificaciones que se pueden realizar en el prototipo básico.
- Realimentación: este paso consistió en la adición de las modificaciones y solución de las fallas en el diseño y funcionamiento del dispositivo básico.
- Generación del prototipo final: al pasar por los pasos anteriores se construyeron diferentes prototipos y se construyó el prototipo final del proyecto donde se evaluó la importancia del dispositivo para la persona con limitación visual.

Para el desarrollo del prototipo se usó la metodología de desarrollo evolutivo o metodología de prototipo, se entregaron adelantos semanales del desarrollo del dispositivo estableciendo los ajustes recomendados según el caso, hasta que se llegó al producto final con las mejoras de los ajustes, ver Figura 11. Así mismo, se

planteó esta metodología para identificar aspectos importantes, obtener los requerimientos necesarios y realizar un seguimiento en cada desarrollo de los prototipos. Así mismo, se pudo detectar con antelación posibles errores y oportunidades de mejora en la elaboración del diseño y construcción del sistema de apoyo para personas con visión reducida.

Figura 11 Metodología de prototipos..



Fuente: Propia

A continuación, se describen las fases de la metodología de prototipo:

- Investigación preliminar: primero se debía hacer una búsqueda bibliográfica sobre la problemática del desplazamiento de las personas con limitación visual

en su entorno y las tecnologías que han sido desarrolladas para afectar a esta comunidad, esto se logró con la ayuda de la investigación exploratoria y documental.

- Especificaciones de requerimientos y Prototipado:
 - Análisis y especificación: con base a las investigaciones realizadas, se diseñó un prototipo básico que consistía de un Arduino Uno, Buzzer vibrador y sensor ultrasónico para detectar los objetos a diferentes distancias.
 - Diseño y construcción: A partir del prototipo básico, se construyó el prototipo inicial en donde se afinó la programación del sistema para que el sensor ultrasónico HC-SR04 y el buzzer trabajen simultáneamente, además de definir su ubicación en un bastón para acoplarse.
 - Evaluación: En esta fase se evaluó el funcionamiento de los elementos, es decir, verificar que el sensor detectara el objeto y enviara la señal al Arduino Uno para que el buzzer emitiera la alarma, también de probar opciones para cargar el sistema de manera autónoma.
 - Modificación: En esta fase se realizó modificaciones tanto de diseño como de construcción del prototipo tales como, cambiar el Arduino Uno por un Arduino Nano para reducir el tamaño del sistema, usar baterías de litio tipo Lipo en vez de un banco de carga portátil como el que se usan para celular, cambios en el diseño de la caja que contiene las conexiones y acople del prototipo a un bastón.
- Diseño técnico: terminado lo anterior y en un constante ciclo de evaluar y modificar semanalmente el prototipo inicial, se llegó al prototipo final, en el cual se logró diseñar y construir un dispositivo de tamaño reducido, liviano, de rápida respuesta, recargable y acoplable a un bastón por medio de una abrazadera.
- Programación y Prueba: llegados a esto, se prueban las especificaciones del diseño técnico del dispositivo, por ejemplo, que sea fácil acomodar el ángulo de inclinación o elevación del dispositivo, conocer el diámetro máximo para acoplarse a un bastón que en caso contrario sea fácil cambiar la abrazadera por

una de mayor medida, que el sistema esté protegido y funcione correctamente dentro de la caja, de fácil mantenimiento y uso.

- Operación y Mantenimiento: llegados a este punto, se logró la integración de diferentes requerimientos y especificaciones en el desarrollo del dispositivo; aunque se pueden considerar posibles modificaciones posteriores como por ejemplo, un módulo bluetooth, un módulo localizador del dispositivo, entre otras.

7 PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

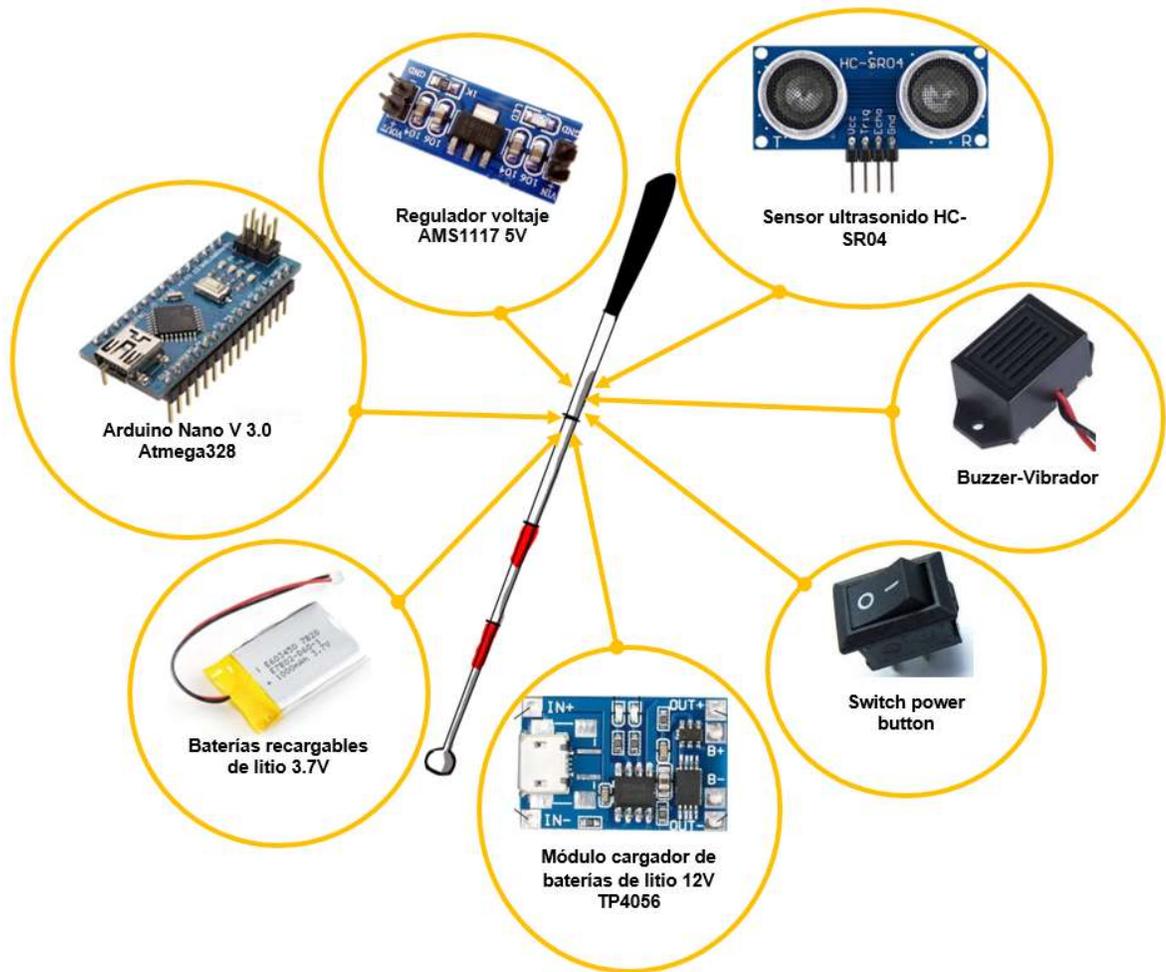
7.1 DISEÑO DEL DISPOSITIVO

A continuación, se mostrarán los requerimientos que se consideraron necesarios para realizar el diseño del dispositivo tomando como referencia las investigaciones previamente mencionadas en los antecedentes. Requerimientos:

- ✓ Ajustarse a un tubo aproximadamente de 23mm de diámetro.
- ✓ Fácil acoplamiento al bastón de la persona discapacitada visualmente.
- ✓ Ser liviano para evitar añadir peso excesivo al bastón.
- ✓ El sistema debe ser de fácil ajuste y mantenimiento.
- ✓ Tener entrada para recargar el dispositivo conectando un cargador de celular con entrada de 100 – 240V, 0.1A y salida de 5V, 500Ma.
- ✓ Tornillos resistentes y fáciles de manipular para asegurar el dispositivo al bastón.
- ✓ Disponer de orificios para el indicador led de encendido y sensor ultrasónico.
- ✓ Para activarlo se necesita un botón de encendido y apagado.
- ✓ Tener respuesta rápida a obstáculos repentinos.
- ✓ Debe detectar aproximadamente 1.3 m de distancia.
- ✓ De fácil uso para la persona con limitación visual.
- ✓ Uso de materiales comerciales para su desarrollo y costos.
- ✓ La caja debe poseer dimensiones adecuadas para almacenar todos los componentes electrónicos utilizados.

En el siguiente diagrama, ver Figura 12, se muestran los componentes que se utilizaron para desarrollar el proyecto y después, se explicará cómo se integran por medio de dos módulos al dispositivo acoplable al bastón que usa la persona con limitación visual.

Figura 12 Diagrama de elementos integrados al dispositivo acoplable al bastón



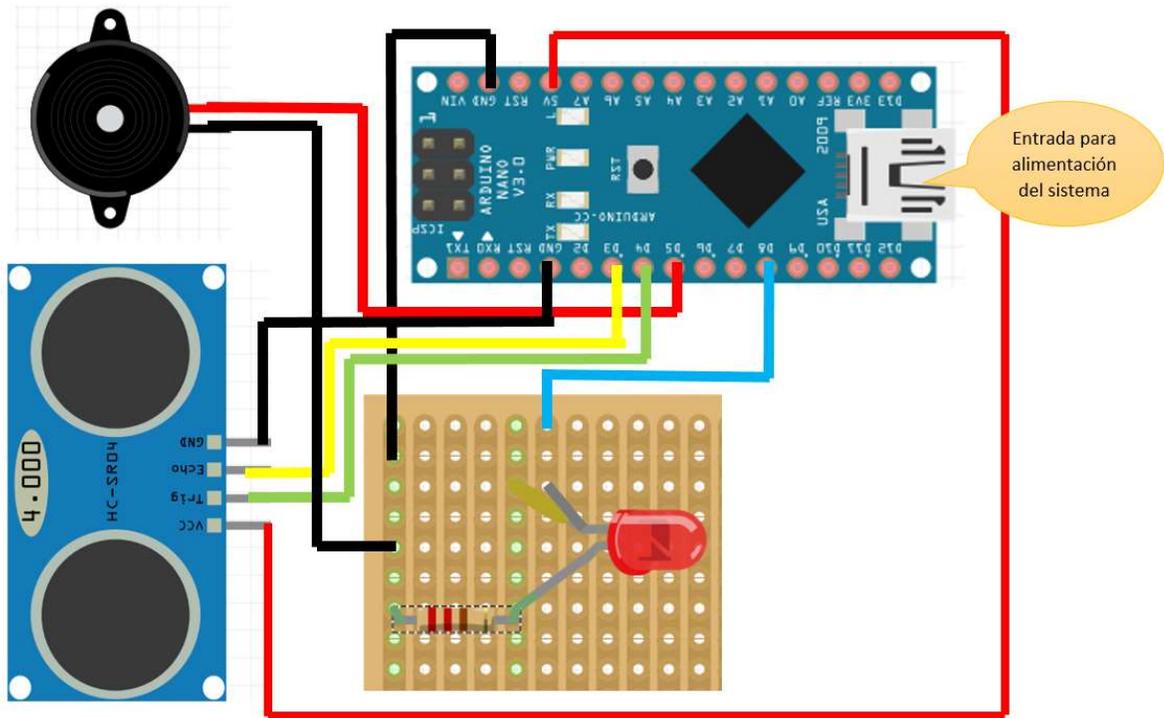
Fuente: Propia.

7.1.2 Diagrama de conexiones del módulo base del sensor:

En este primer módulo se va presentar el diagrama principal de funcionamiento del sistema como se muestra en la Figura 13. Este sistema cuenta con sensor ultrasonido HC-SR04, el cual se configuró para que detecte objetos hasta una distancia de 1,30 m de distancia con la ayuda del Trig que envía pulsos y el Echo que recibe la señal si un objeto ha sido detectado o no. En ese mismo instante, se envía una señal al Arduino nano V 3.0 para que el buzzer (vibrador) y el led rojo en la tarjeta pcb se activen simultáneamente, provocando que el buzzer emita la alarma de sonido y vibración, además el led indicará que el sistema está funcionando.

Dentro de la tarjeta pcb, se conecta el led rojo con el buzzer (vibrador) y una resistencia de 220Ω.

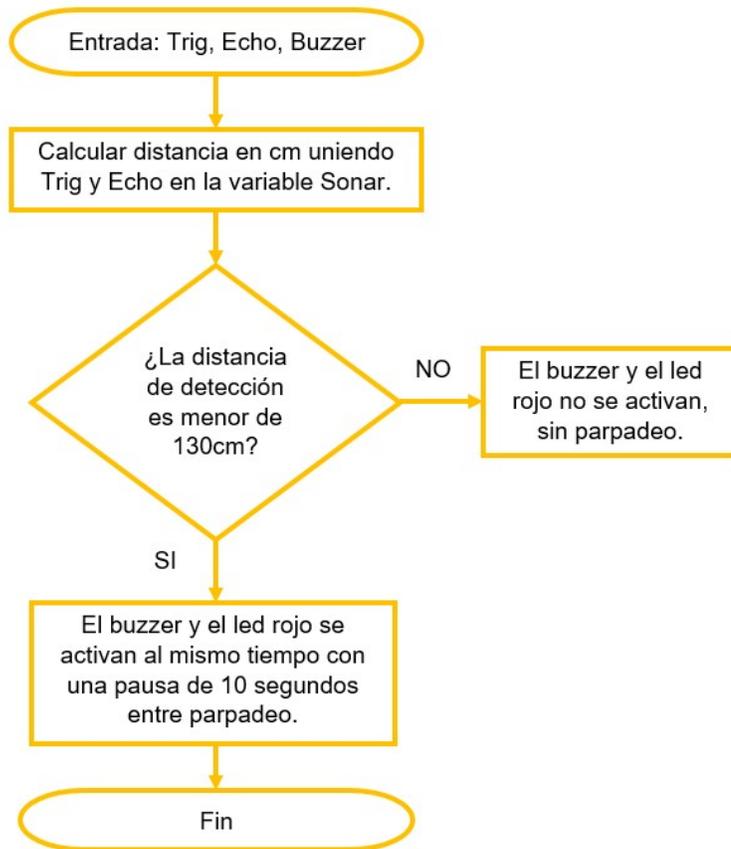
Figura 13 Diagrama de conexión principal del sistema - Arduino nano



.Fuente: Propia.

En este sentido, en la Figura 14 se explica mejor este módulo con un algoritmo de funcionamiento, donde se definieron las variables del sensor (Trig y Echo) para medir la distancia en cm y del Buzzer para definir el tiempo de frecuencia de pitidos según la distancia del objeto. Cuando la distancia entre el usuario y el objeto está dentro de los 1.3m, el buzzer y el led se activan al mismo tiempo.

Figura 14 Algoritmo de funcionamiento del módulo base del sensor.

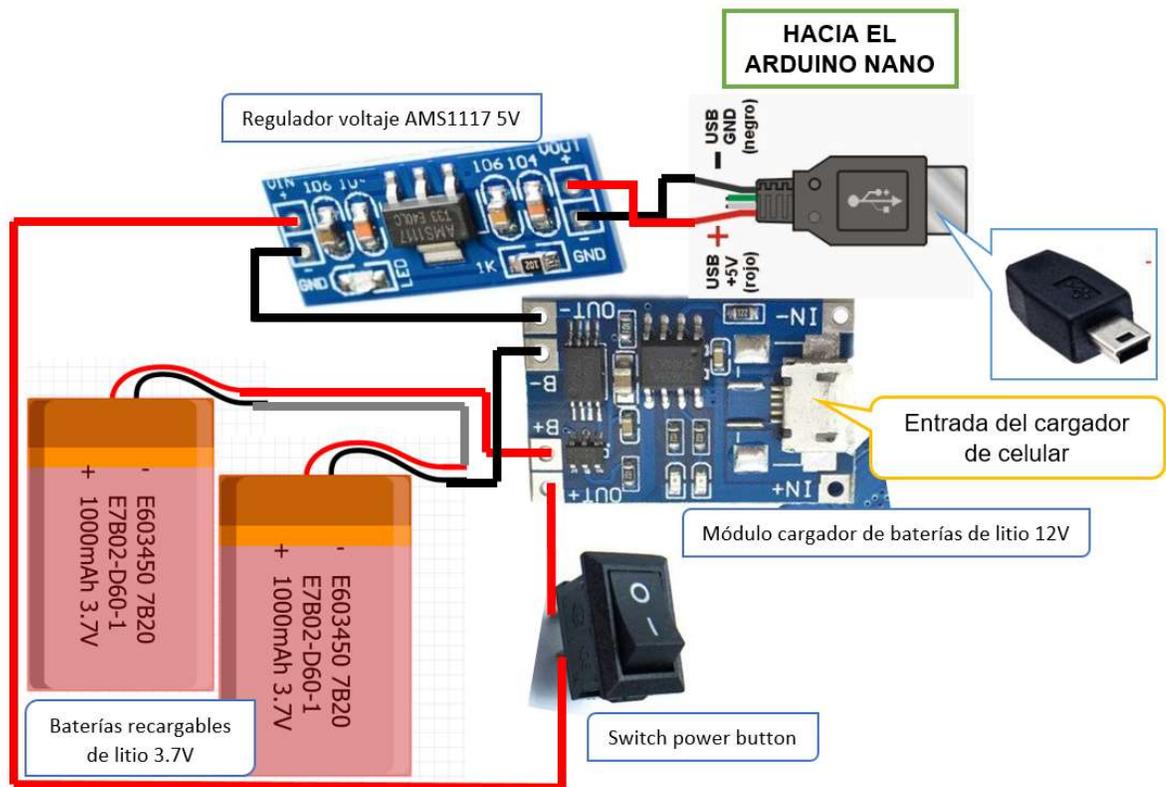


Fuente: Propia.

7.1.3 Diagrama de conexiones del módulo base de la alimentación del dispositivo:

Después de la conexión principal del módulo del sistema viene el segundo módulo base, el cual consiste en la alimentación del dispositivo y se representa en el siguiente diagrama, ver Figura 15. Este cuenta con un módulo Arduino cargador de batería, en el cual las baterías de litio tipo Lipo, se recargan de energía por medio de su entrada para un cargador de celular (el sistema interrumpe automáticamente la carga cuando el nivel está completo). Al presionar el switch button (botón de encendido), este permite el paso de corriente de las baterías hacia el módulo regulador, el cual reduce los 7.4V de las baterías de litio a 5V, para alimentar el Arduino nano con un conector Universal Serial Bus, USB.

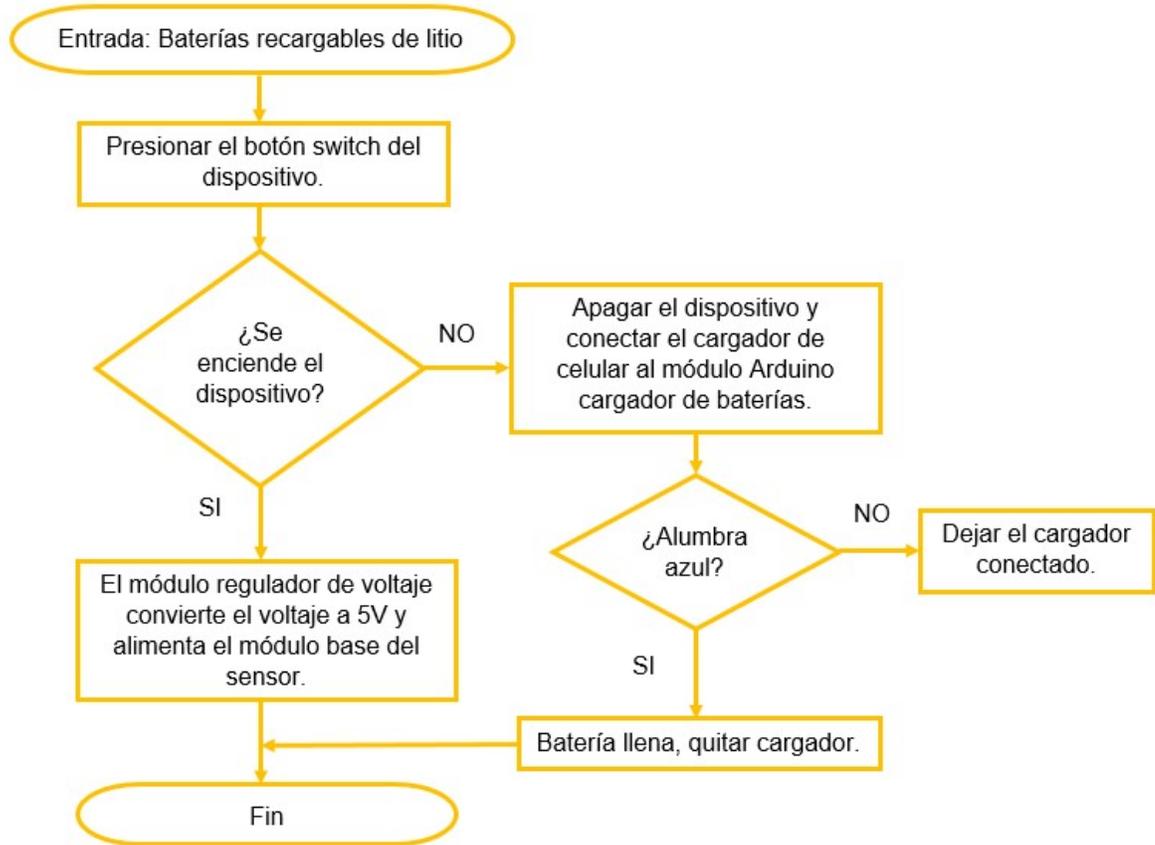
Figura 15 Diagrama módulo de alimentación del dispositivo



. Fuente: Propia.

Para entender más este módulo, en la Figura 16 se muestra el algoritmo de su funcionamiento el cual se verifica el estado de carga de las baterías recargables de litio tipo Lipo 3.7V encendiendo el dispositivo y hacer las acciones correspondientes.

Figura 16 Algoritmo de funcionamiento del módulo base de la alimentación del dispositivo



. Fuente: Propia.

7.1.4 Plano del dispositivo

A continuación, se da un acercamiento de las características generales y relevancia de cada plano de las partes que conforman el dispositivo en cual se divide en:

- Caja del dispositivo, donde se organiza el sistema electrónico con sus respectivas conexiones, cuenta con orificios para el sensor ultrasonido, el led rojo, el botón de encendido y entrada de alimentación del dispositivo. Además, tiene orificios en un lateral para la alarma sonora del buzzer (véase Anexo 1).
- Tapa de la caja, donde se cierra para mantener protegido el sistema electrónico asegurándolo con tornillos M6 en cada esquina, con dos para unirse mediante

tornillos con la parte 2 de la abrazadera, tiene 83.5mm de largo y 54.0mm de ancho (véase Anexo 2).

- Abrazadera parte 1, lo que permite que se acople al bastón del invidente por medio de un tornillo Allen que pasa por el orificio y se asegura con una tuerca (véase Anexo 3).
- Abrazadera parte 2, es el soporte de la caja y el complemento de su unión con el bastón, permite cambiar el ángulo de elevación e inclinación del dispositivo y con orificios para unirse con la tapa de la caja, para especificidad ver Anexo 4.
- Ensamble abrazadera, en el cual se juntan las dos partes de la abrazadera con tornillos Allen, para más especificidad ver Anexo 5
- Ensamble del dispositivo, donde se integran todas las partes y elementos mencionados que conforman el dispositivo y se especifica el tipo de material. La mayoría de las piezas utilizadas en este trabajo de grado son comerciales, es decir, de fácil adquisición en el mercado, a bajo costo y estándar. Para especificidad ver Anexo 6.

Para comprender mejor los planos y sus características físicas, se van a mostrar tres vistas isométricas en 3D del dispositivo armado realizado en Autodesk Inventor, Figura 17, 18, 19.

Figura 17 Vista isométrica 1



Fuente: Propia elaborada en Autodesk Inventor 2019.

Figura 18 Vista isométrica 2.



Fuente: Propia elaborada en Autodesk Inventor 2019.

Figura 19 Vista isométrica 3



Fuente: Propia elaborada en Autodesk Inventor 2019.

7.2 PROTOTIPOS

A continuación, se va a esclarecer la evolución en el desarrollo de los diferentes prototipos del dispositivo; durante el desarrollo de este trabajo de grado, se obtuvieron un total de 4 prototipos.

Prototipo 1: Inicialmente, se desarrolló con una placa Arduino Uno, a la cual se le conectó un sensor de ultrasonido y un buzzer, como se observa en la Figura 20. Una vez afinado el circuito se realizaron pruebas del programa que constataron un adecuado funcionamiento del sistema, se procedió a buscar una fuente de energía portable que le brindará independencia energética al dispositivo. Se procedió a alimentarlo con un cargador portátil marca POWER Bank para celular de 2.600mAh. En este prototipo se observó que, el tiempo de respuesta de la alarma emitida al usuario era demasiado prolongado por lo que se debió hacer una evaluación de la duración del mismo mediante ensayos con sujetos de prueba.

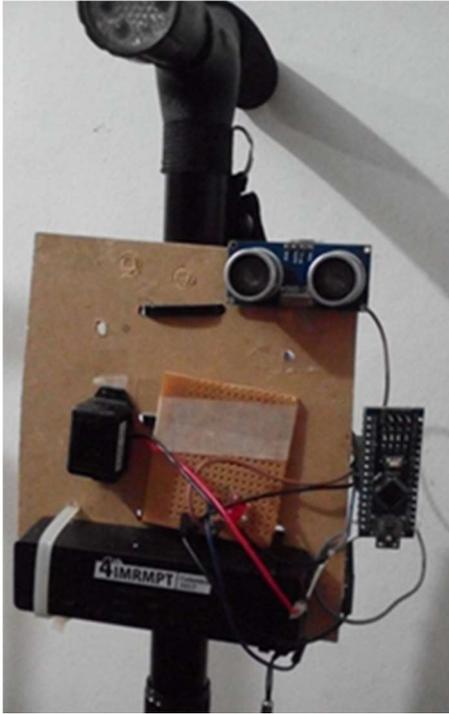
Figura 20 Prototipo 1.



Fuente: Propia.

Prototipo 2: Seguidamente, era necesario disminuir el tamaño del dispositivo, por lo cual se reemplazó la placa Arduino Uno por Arduino Nano, como se muestra en la Figura 21. En esta versión del prototipo, se realizaron nuevas pruebas del código y de funcionamiento en las instalaciones de la universidad. Al validar estas pruebas, se planteó alimentar el sistema con baterías recargables de litio tipo Lipo de 3.7V, iguales a las usadas por los teléfonos celulares, con el fin de prolongar su tiempo de uso.

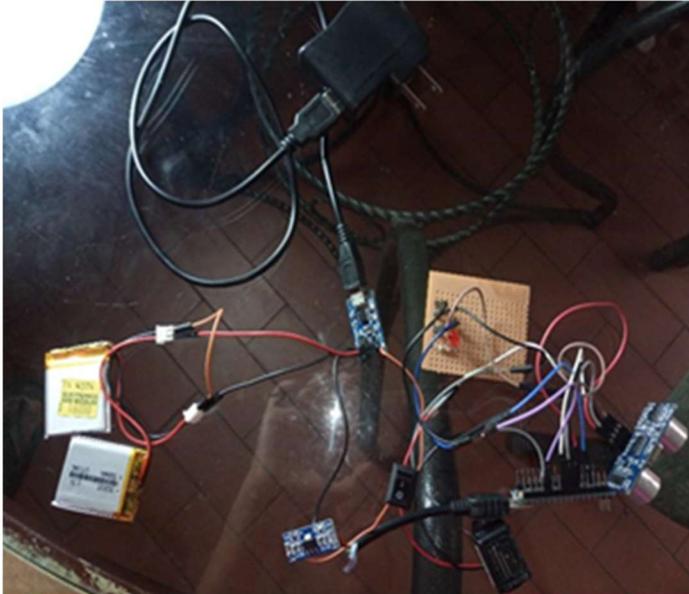
Figura 21 Prototipo 2



. Fuente: Propia.

Prototipo 3: A partir de lo anterior, fue necesario realizar los ajustes en el Prototipo 3, donde se incluyó la conexión de dos baterías de litio tipo Lipo de 3.7V a un módulo cargador de baterías y desde allí, se conectó a un switch, por medio del cual se puede encender o apagar el dispositivo. Además, con la ayuda de un módulo fuente regulador los 7.4V de las baterías se transformaron en 5V, ver Figura 22. Al terminar las respectivas conexiones, se encendió el dispositivo y se probó su nivel de respuesta.

Figura 22 Prototipo 3.



Fuente: Propia

Prototipo 4: Por último, era necesario integrar todas las piezas del dispositivo para incluirlas en el bastón. Por lo tanto, así surge el Prototipo 4 como se muestra en la Figura 23, donde se incorporó los elementos anteriormente mencionados en una caja más compacta y acoplada al bastón con una abrazadera.

Figura 23 Prototipo 4.



Fuente: Propia.

7.3 PRUEBAS

En esta sección se presentan las pruebas realizadas y los resultados de su funcionamiento obtenidos del último prototipo del dispositivo de apoyo a la persona con limitación visual.

Primero, se hizo una prueba en las instalaciones de Unicatónica sede Meléndez para comprobar la distancia máxima en que el dispositivo detecta los obstáculos. Como se muestra en la Figura 24 el dispositivo detectó los obstáculos que se situaron a 10cm, a 60cm y por último, de 1.30 m.

Figura 24 Pruebas de detección



.Fuente: Propia.

Se realizó una prueba para verificar si la frecuencia y la intensidad de la alarma emitida por el buzzer disminuían o aumentaban a medida que el usuario se acercara al obstáculo. Como resultado el dispositivo detectó los obstáculos presentes y simultáneamente emitió la alarma haciendo más constante y fuerte el sonido y la vibración mientras se acercaba; en caso contrario, si el obstáculo estaba lejos, la frecuencia era lenta y la intensidad del sonido baja, ver Figura 25.

Figura 25 Prueba de frecuencia e intensidad de la alarma: (a) Alarma alta, (b) Alarma baja.



(a)



(b)

Fuente: Propia

Otro factor que se tuvo en cuenta en estas pruebas es el tiempo de respuesta del dispositivo, es decir, si era capaz de detectar objetos que aparezcan de improvisto

suspendidos en el aire, al frente o que sobresalen de la pared. El resultado de esto fue satisfactorio, el dispositivo dio una alarma en 1 segundo al detectar el obstáculo y cuando se quitó la alarma se apagó. En la Figura 26 se muestra esta prueba.

Figura 26 Prueba tiempo de respuesta: (a) Respuesta rápida al detectar, (b) Respuesta rápida sin detectar.



(a)



(b)

Fuente: Propia.

7.4 COSTO DEL PROTOTIPO FINAL

En la Tabla 2 se muestra el presupuesto con los diferentes elementos que se integraron al dispositivo de apoyo para la persona con visión reducida. Cabe resaltar que no se incluye el costo del bastón (COP\$48.000 pesos), dado que el principio del dispositivo es que sea adaptable a cualquier tipo de bastón con el que cuente la persona con limitación visual, lo que permitiría su accesibilidad a personas con diferentes estratos sociales y disminuiría el costo del mismo.

Tabla 2 Presupuesto de elementos del dispositivo.

NOMBRE	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	VALOR UNITARIO COP\$	VALOR TOTAL COP\$
Arduino nano	V 3.0 Atmega328	1	25.000	25.000
Sensor de ultrasonido	Hc-sr04	1	10.000	10.000
Cables de conexión	(hembra-hembra, macho-hembra, macho-macho)	3	1.900	5.700
Resistencia	220Ω	1	500	500
Baterías recargables de litio	3.7v 500mAh	2	16.000	32.000
Caja del dispositivo	Plástico	1	2.000	2.000
Abrazadera	Plástico	1	2.000	2.000
Buzzer (vibrador)	Zumbador 12V	1	7.000	7.000
Switch de on /off	Botón de encendido	1	500	500
Módulo Arduino cargador batería	TP4056 – 12V	1	4.500	4.500
Módulo Arduino fuente regulador	AMS1117 - 5V	1	7.000	7.000
TOTAL COSTO ELEMENTOS				96.200

Fuente: El autor

Dentro del presupuesto para el desarrollo del dispositivo se tuvo en cuenta la mano de obra directa que se muestra en la Tabla 3, la cual contiene los colaboradores con

sus respectivas horas de trabajo incluyendo el costo de esas horas y su total, dando como resultado un valor total de COP\$2.518.704.

Tabla 3 Mano de Obra Directa.

MANO DE OBRA DIRECTA				
NOMBRE	NIVEL ACADÉMICO	HORAS DE TRABAJO	COSTO POR HORA COP\$	TOTAL COP\$
Asesorías John E. Ordoñez	PhD	192	7.500	1.440.000
Cristian Gamboa	Ingeniero	72	4.086	294.192
Valeria Navarro Osorio	Ingeniera	192	4.086	784.512
TOTAL MOD				2.518.704

Fuente: Propia

Al juntar los costos de los elementos integrados al dispositivo, la mano de obra directa y el aprendizaje con Arduino de un año como se muestra en la Tabla 4, se obtuvo un presupuesto total de su desarrollo en COP\$3.742.904.

Tabla 4 Total presupuesto del desarrollo del dispositivo..

NOMBRE	COSTO TOTAL COP\$
Costo elementos	96.200
Mano de obra directa	2.518.704
Aprendizaje personal de un año con el Arduino	1.128.000
TOTAL PRESUPUESTO	3.742.904

Fuente: Propia

El Ministerio de Salud y Protección Social en su informe “Sala situacional de las Personas con Discapacidad (PCD)” de junio 2018 (Ministerio de Salud y Protección Social Oficina de Promoción Social, 2018), informó que el 3% de los colombianos, equivalentes a 1.404.108, están en el Registro de discapacidad RLCPD, el cual es un registro administrativo que permite recolectar datos de las personas con discapacidad. En el mismo informe, muestra que, de esta población, el 13% (181.945) son personas con discapacidad debida a alteraciones en los ojos.

Con base en lo anterior, se puede pensar en la posibilidad de vender el dispositivo con un valor de \$200.000 pesos en el mercado nacional, y suponiendo que el 15% (27.291) de la población con limitación visual lo compre, se tendrá un potencial de ventas brutas por valor de \$5,458,200,000 esto aún sin tener en cuenta que el crecimiento anual aproximado de personas con discapacidades es de 1,5% según el DANE en el informe FUNCIONAMIENTO HUMANO: RESULTADOS CENSO NACIONAL DE POBLACIÓN Y VIVIENDA 2018 (DANE, 2018).

Suponiendo una producción de 15 equipos al mes, generando así un ingreso de \$3,000,000 mensuales, y con esto cubrir un arrendamiento de \$560.000 y el pago de un SMLV más prestaciones (\$1.497.848) al técnico que se encargaría de armar los dispositivos y su posterior mantenimiento; dejando un margen de ganancia de \$942.152 pesos mensuales.

7.5 ANÁLISIS COMPARATIVO CON OTROS DISPOSITIVOS

El primer proyecto con el que se va a comparar es del prototipo realizado por Melissa Peralta y José Urmendiz como se muestra en la Tabla 5, si se aplica el Índice de Precios Colombianos con una tasa promedio de inflación del 4.5323% al valor total de componentes COP\$370.700 el valor en pesos de hoy sería de COP\$483.643. Se debe tener en cuenta que en este presupuesto no incluyeron la mano de obra. Por eso, si se compara este valor solo de materiales con los del dispositivo desarrollado de COP\$96.200, se tiene un ahorro de COP\$387.443.

Tabla 5 Costo componentes estándar del prototipo por Melissa Peralta y José Urmendiz..

COMPONENTES	CANTIDAD	COSTO UNITARIO COP\$	COSTO TOTAL COP\$
Bastón blanco	1	40.000	40.000
Bola deslizante	1	15.000	15.000
Baterías Ni-MH	4	5.900	23.600
Porta pilas	1	3.000	3.000
Sensores Maxsonar EZ3	3	53.000	159.000
Acelerómetros MMA 7361	3	10.000	30.000
Micro Servos Power pro 9g	3	10.000	30.000
Arduino Mega 2560	1	30.000	30.000
Módulo Bluetooth HC-06	1	15.000	15.000
Micro motores	2	2.800	5.600

Uniones	5	2.000	10.000
Tapones	3	500	1.500
Cable ribbon	4 metros	2.000 x metros	8.000
TOTAL			370.700

Fuente: Proyecto Sistema de Asistencia y Guía para Personas Invidentes, Universidad Autónoma de Occidente 2014

Con respecto al proyecto de Luis A. Nieto y Carlos V. Padilla de la U. Autónoma del Caribe en el 2015 que se muestra en la Tabla 6, si se le aplica el Índice de Precios Colombianos con una tasa promedio de inflación del 4.5323% al subtotal de equipos de COP\$495.000 (sin incluir la laptop y el multímetro) el valor en pesos de hoy sería de COP\$623,026, sumando este valor con el costo de fabricación del prototipo 1 en la tabla 4 (aplicando el IPC, COP\$188,795), el valor del equipo sería de COP\$811.821. Estos valores comparados con el costo de materiales de la Tabla 2, se tiene un ahorro del COP\$526.826.

Tabla 6 Presupuesto del proyecto de un módulo asistente adaptable al bastón de la persona con discapacidad visual

	ÍTEM	CANTIDAD	VALOR UNITARIO COP\$	COSTO TOTAL COP\$
EQUIPOS	Laptop	2	1.000.000	2.000.000
	Programador Arduino	1	100.000	100.000
	Arduino nano	1	80.000	80.000
	Sensor Ultrasónico	2	30.000	60.000
	Motor vibrador	1	8.000	8.000
	Parlante	1	3.000	3.000

	Tarjeta Bluetooth	1	85.000	85.000
	Batería	1	15.000	15.000
	Tarjeta de carga batería	1	44.000	44.000
	Multímetro	1	65.000	65.000
	Materiales de construcción	1	100.000	100.000
	Subtotal			2.256.000
SERVICIOS	Fotocopias de Material Bibliográfico	100	100	10.000
	Digitación e Impresión	200	100	20.000
	Movilidad	80	1.700	136.000
	Fabricación prototipo 1	1	150.000	150.000
	Fabricación prototipo 2	1	250.000	250.000
	subtotal			566.000
	TOTAL			3.126.000

Fuente: Luis A. Nieto y Carlos V. Padilla, U. Autónoma del Caribe 2015.

Como resultado de este análisis comparativo, se obtiene un ahorro del 80% en el primer proyecto y un 85% en el segundo con respecto al costo de los elementos que se utilizaron, dando viabilidad financiera. Adicionalmente, cabe destacar, que todos los componentes requeridos están disponibles en el mercado regional.

8 CONCLUSIONES

En este trabajo de grado se desarrolló un dispositivo acoplable a un bastón tradicional usado como apoyo a personas limitadas de la visibilidad de bajo costo, que ayude al desplazamiento de una persona con visión reducida en su entorno.

A lo largo del desarrollo de este trabajo de grado se ha tenido en cuenta la información sobre la limitación visual en Colombia, la retroalimentación de proyectos similares tanto nacional como internacionalmente, las técnicas con el bastón blanco, los diferentes factores que llevan a la baja visión y los retos diarios que abordan las personas con este tipo de limitación. Partiendo de la idea sobre ofrecer un apoyo tecnológico y de bajo costo aplicando los conocimientos obtenidos en ingeniería industrial hacia un enfoque social.

El dispositivo cuenta con un diseño que le permite acoplarse a la mayoría de los bastones que se encuentran en el mercado y contiene todos los elementos necesarios para su buen funcionamiento y desempeño. Además, está compuesto por piezas comerciales en el mercado colombiano y de medida estándar para su construcción, se facilita el mantenimiento y la adquisición del dispositivo al poderse distribuir en costo módico.

Como se constata en la sección de pruebas, el dispositivo detecta los obstáculos que puedan estar presentes por encima de la cadera del usuario emitiendo una alarma cuya frecuencia sonora depende de la distancia a la que se encuentre el objeto a testear y con respuesta rápida a movimientos repentinos.

Se identificó que el costo del dispositivo es favorable desde el punto de vista económico, pues se encontró que su valor está por lo menos debajo del 80%, en comparación con tecnologías similares fabricadas en Colombia.

9 RECOMENDACIONES

Se recomienda evitar sumergir el dispositivo en cualquier líquido o exponerlo a lluvias excesivas.

Se recomienda recargar el dispositivo mínimo durante 2 horas después de 14 horas de uso continuo.

Se recomienda seguir con este tipo de investigaciones con el fin de mejorar las condiciones de vida de las personas con discapacidades.

Se recomienda graduar el ángulo del dispositivo para ajustar la detección de los obstáculos por encima de la cadera.

Mejorar ambientes que sean propicios para la investigación de esta índole en los semilleros de investigación.

Estudiar la posibilidad de mejorar y/o adaptar el dispositivo, por ejemplo a prendas de vestir y accesorios de uso personal tales como guantes, gafas, gorras, etc.

Realizar el diseño de la metodología necesaria para fabricar el dispositivo a escala industrial.

Estudiar la posibilidad de conseguir financiamiento de entidades oficiales para la producción y comercialización de este dispositivo.

Parametrizar el tiempo de funcionamiento de las baterías por medio de pruebas con personas ciegas o baja visión.

Solicitar ante la Superintendencia de Industria y Comercio el registro del diseño.

Más adelante se pueden adicionar otras tecnologías al dispositivo, tales como el bluetooth y la integración de éste al teléfono celular de tal forma que se constituya en un sistema escalable y actualizable.

REFERENCIAS

- Acevedo, D. F. (2014). Sistema de Detección de Objetos para las Personas con Discapacidad Visual. Bogotá D.C., Colombia.
- ALEGSA. (5 de Marzo de 2018). *alegsa.com.ar*. Obtenido de *alegsa.com.ar*: http://www.alegsa.com.ar/Dic/dispositivo_electronico.php
- Anacona Peña, Z. (4 de Septiembre de 2019). *cali.gov.co*. Obtenido de *cali.gov.co*: <https://www.cali.gov.co/bienestar/publicaciones/149311/un-total-de-350-personas-con-discapacidad-visual-recibieron-su-baston-para-poder-movilizarse/>
- Arnold, M., & Osorio, F. (17 de Mayo de 2019). Introducción a los Conceptos Básicos de la Teoría General de Sistemas. Santiago de Chile, Chile. Obtenido de *redalyc.org*: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=10100306>
- Baldi, M. (9 de Noviembre de 2016). *infobae*. (infobae) Recuperado el 1 de Marzo de 2019, de *infobae*: <https://www.infobae.com/play-tv/2016/11/09/como-funciona-el-baston-robotico-para-ciegos/>
- Beltrán, U. M. (3 de Marzo de 2015). *umb.edu.co*. Obtenido de *umb.edu.co*: <https://umb.edu.co/cajica/programas/61-investigaciones/259-baston-inteligente-para-personas-con-discapacidad-visual.html>
- Blog, A. (12 de Junio de 2015). *Incluyeme*. Recuperado el 7 de Marzo de 2019, de *Incluyeme*: <https://www.incluyeme.com/todo-lo-que-necesitas-saber-sobre-discapacidad-visual/>
- Bravo Aranda, G. (1995). Modelización de problemas de diseño en Ingeniería: solución mediante sistemas basados en el conocimiento. En Z. Turk, & R. Scherer, *eWork and eBusiness in Architecture, Engineering and Construction* (págs. 473-480). Sevilla: A.A. Balkema Publishers.
- Cane, S. (2016). *smartcane*. (smartcane) Recuperado el 1 de Marzo de 2019, de *smartcane*: <http://smartcane.saksham.org/through-partners/#accessories>
- Ciegos, U. N. (Marzo de 2011). *DOCPLAYER*. Recuperado el 22 de Agosto de 2017, de *researchgate*: <https://docplayer.es/19196502-Realidad-y-contexto-situacional-de-la-poblacion-con-limitacion-visual-en-colombia-una-aproximacion-desde-la-justicia-y-el-desarrollo-humano.html>
- Colombia, D. (17 de Mayo de 2020). *discapacidadcolombia.com*. Obtenido de *discapacidadcolombia.com*:

<http://www.discapacidadcolombia.com/index.php/legislacion/145-ley-estatutaria-1618-de-2013>

Congreso de Colombia. (17 de Mayo de 2020). *derechodeautor.gov*. Obtenido de *derechodeautor.gov*:

<http://derechodeautor.gov.co/documents/10181/182597/23.pdf/a97b8750-8451-4529-ab87-bb82160dd226>

Congreso de Coombia. (17 de Mayo de 2020). *derechodeautor.gov*. Obtenido de *derechodeautor.gov*:

<http://derechodeautor.gov.co/documents/10181/182597/23.pdf/a97b8750-8451-4529-ab87-bb82160dd226>

DANE. (16 de Diciembre de 2018). Funcionamiento humano: Resultados censo nacional de población y vivienda 2018. Bogotá, Colombia.

Definición MX, E. (6 de Agosto de 2014). *definicion.mx*. Obtenido de *definicion.mx*:
<https://definicion.mx/prueba-piloto/>

Delhi, I. I., & Tech, A. (2016). *smartcane*. (Phoenix) Recuperado el 1 de Marzo de 2019, de *smartcane*: <http://smartcane.saksham.org/overview/>

Educativo, C. N. (2010). Discapacidad visual - Guía didáctica para la inclusión en educacion inicial y básica. México, D.F., México.

Elche, U. M. (2 de Julio de 2013). *agenciasinc*. (Universidad Miguel Hernández de Elche) Recuperado el 1 de Marzo de 2019, de *agenciasinc*:
<https://www.agenciasinc.es/Noticias/Un-baston-electronico-inteligente-ayuda-a-las-personas-ciegas-a-detectar-obstaculos>

Española, R. A. (17 de Mayo de 2020). *rae.es*. Obtenido de *rae.es*:
<https://dle.rae.es/sistema>

Hall, A. D., & Fagen, R. E. (1956). *Definición del sistema*. Virginia: Hall Edition.

Homero, F. (2011). *fundacionhomero.webnode.es*. Recuperado el 18 de Junio de 2017, de *fundacionhomero.webnode.es*:
<https://fundacionhomero.webnode.es/preguntas-sobre-la-ceguera/uso-de-baston/>

INCI, I. N. (17 de Mayo de 2020). *inci.gov*. Obtenido de *inci.gov*:
<http://www.inci.gov.co/index.php/elinstituto>

Lastra, F. J. (19 de Mayo de 2015). *eldefinido.cl*. (*eldefinido.cl*) Recuperado el 1 de Marzo de 2019, de *eldefinido.cl*:

<https://www.eldefinido.cl/actualidad/mundo/5227/El-baston-que-da-a-los-ciegos-el-poder-de-reconocer-rostros/>

Marsh, V. (8 de Febrero de 2004). *Tendencias 21*. Recuperado el 19 de Marzo de 2017, de *Tendencias 21*: https://www.tendencias21.net/Comienza-a-comercializarse-un-baston-electronico-para-ciegos_a283.html

Melissa Peralta, J. V. (5 de Noviembre de 2014). *uao.edu.co*. (Universidad Autónoma de Occidente) Recuperado el 10 de Julio de 2016, de *uao.edu.co*: <https://www.uao.edu.co/noticias/autonomos-desarrollan-baston-inteligente-para-invidentes>

Ministerio de Salud y Protección Social Oficina de Promoción Social. (12 de Junio de 2018). Sala situacional de las Personas con Discapacidad (PCD). Bogotá, Colombia.

OBSbusiness school. (17 de Mayo de 2020). *obsbusiness.school*. Obtenido de *obsbusiness.school*: <https://obsbusiness.school/int/blog-investigacion/finanzas/estudio-financiero-en-que-consiste-y-como-llevarlo-cabo>

País, P. E. (01 de Noviembre de 2013). *El País*. Recuperado el 26 de Mayo de 2016, de *El País*: <https://www.elpais.com.co/colombia/tiene-1-14-millones-de-personas-con-problemas-visuales.html>

Popular., I. (17 de Octubre de 2013). *impulsapopular.com*. Obtenido de *impulsapopular.com*: <https://www.impulsapopular.com/impulsate/los-beneficios-de-las-pruebas-piloto/>

Ribón Barrios, D. D., & Paternina Palacio, K. (2015). DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE BASTÓN SENSORIAL PARA INVIDENTES MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE ULTRASONIDO. Cartagena, Colombia.

Saldarriaga, S. (25 de Julio de 2019). *eltiempo.com*. Obtenido de *eltiempo.com*: <https://www.eltiempo.com/colombia/cali/resultados-del-dane-en-cali-cuantos-habitantes-tiene-la-ciudad-392662>

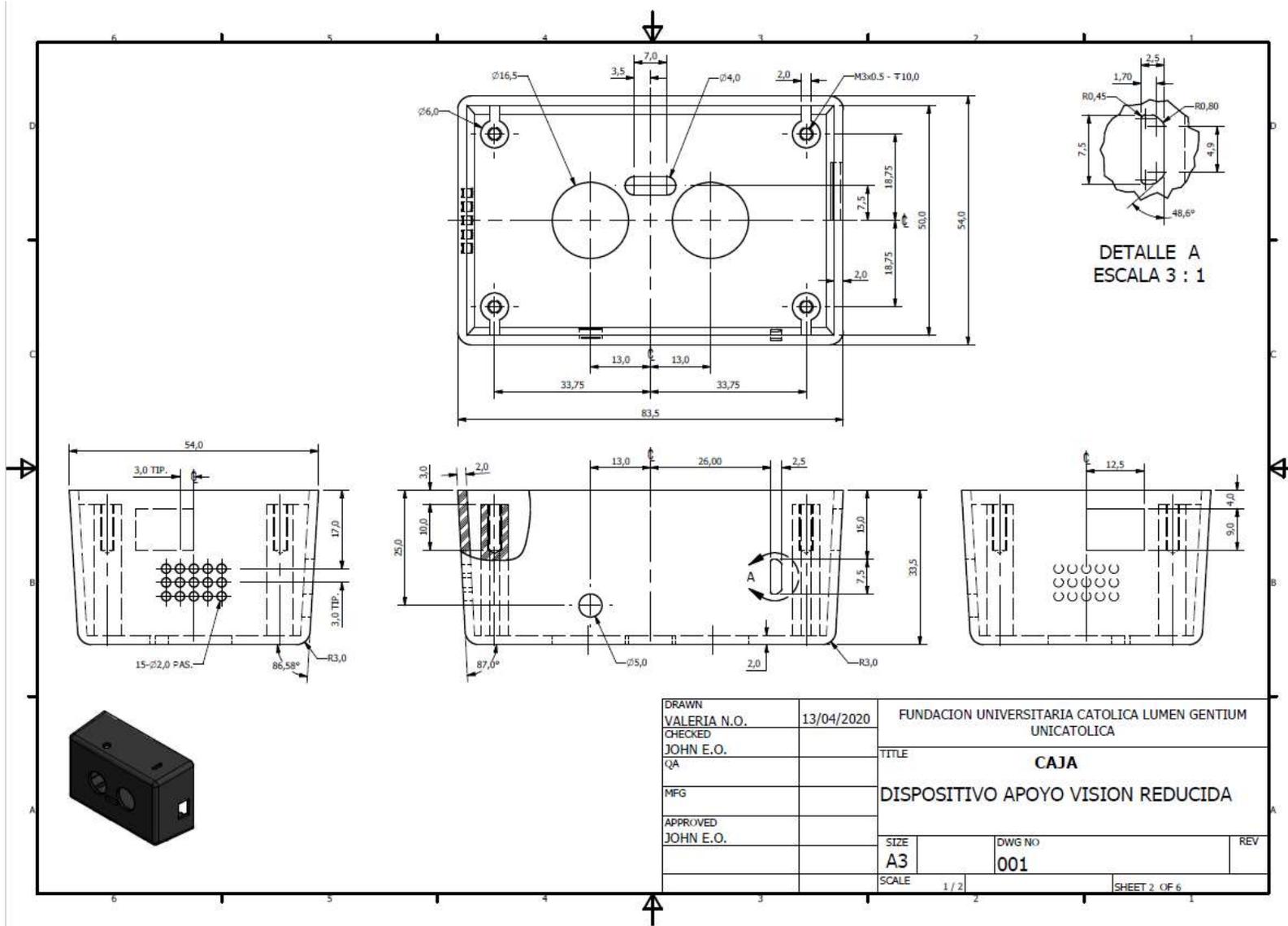
Salud, O. N. (11 de Octubre de 2017). *files.sld.cu*. Recuperado el 12 de Diciembre de 2017, de *files.sld.cu*: <http://files.sld.cu/bajavision/files/2015/08/ceguera-y-discapacidad-visual.pdf>

Saussure, F. d. (1989). *Cours de linguistique générale*. París: Otto Harrassowitz Verlag Publishers.

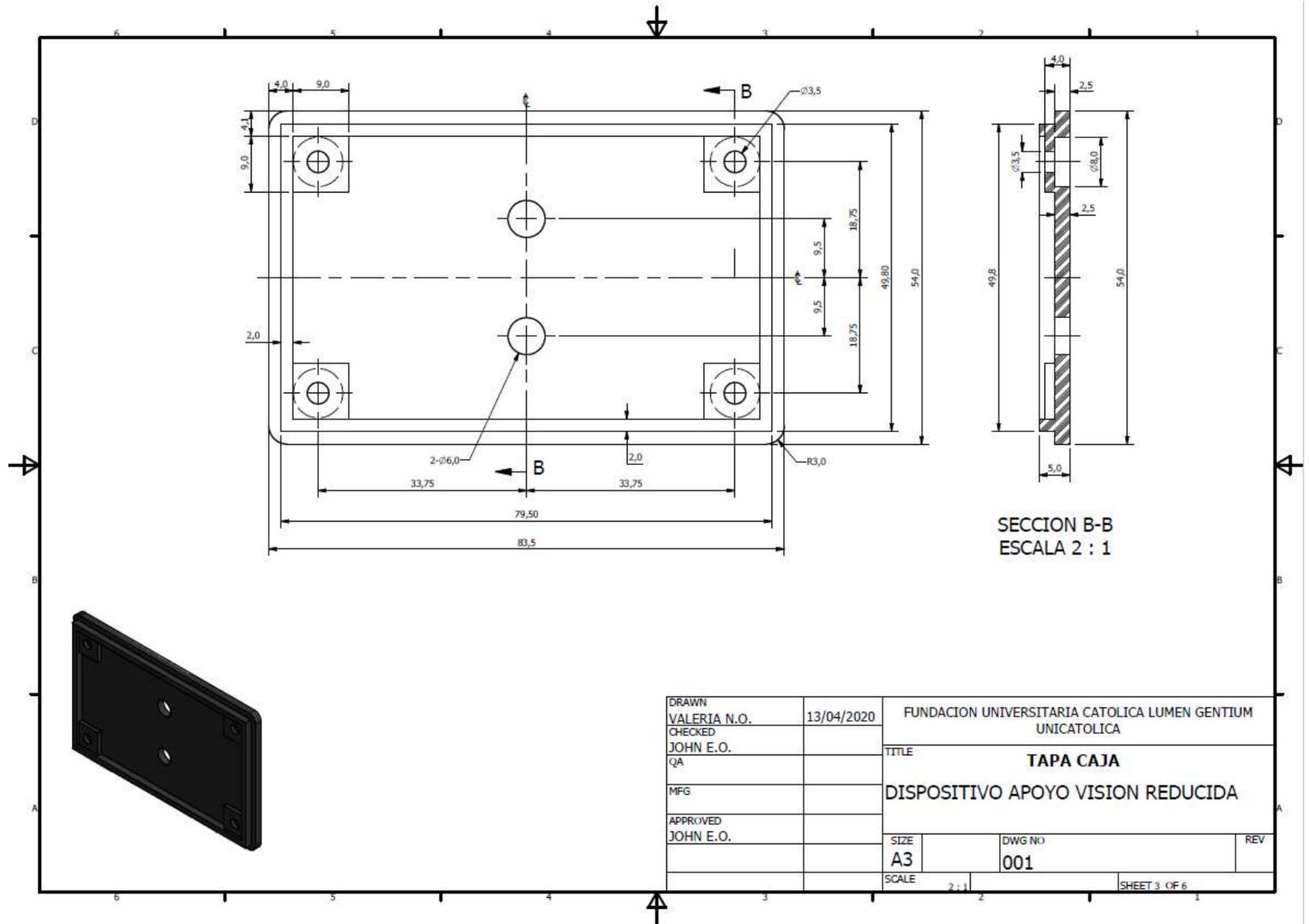
- Semana, R. (12 de Diciembre de 2014). *Semana*. (Revista Semana) Recuperado el 16 de Julio de 2016, de <https://www.semana.com/tecnologia/articulo/cinco-aportes-tecnologicos-para-personas-invidentes/411976-3>
- TIC, M. (16 de Mayo de 2020). *convertic.gov.co*. Obtenido de [convertic.gov.co: https://www.convertic.gov.co/641/w3-propertyvalue-36246.html](https://www.convertic.gov.co/641/w3-propertyvalue-36246.html)
- Tiempo, P. E. (20 de Marzo de 2019). *El Tiempo*. (Redacción APP) Recuperado el 13 de Abril de 2019, de *El Tiempo*: <https://www.eltiempo.com/economia/sector-financiero/las-personas-con-discapacidad-son-una-fuerza-laboral-desaprovechada-en-el-pais-340042>
- Ulrich, K. T., & Eppinger, S. D. (2013). *Diseño y desarrollo de productos*. México, D.F.: McGraw-Hill Education.
- UltraCane. (2016). *ultracane*. (Sound Foresight Technology Ltd) Recuperado el 1 de Marzo de 2019, de *ultracane*: https://www.ultracane.com/about_the_ultracane
- University, B. C. (8 de Mayo de 2015). *bcu.ac.uk*. Obtenido de [bcu.ac.uk: https://www.bcu.ac.uk/news-events/news/a-pioneering-facial-recognition-cane-for-the-blind](https://www.bcu.ac.uk/news-events/news/a-pioneering-facial-recognition-cane-for-the-blind)
- Vázquez Gómez, J. B. (2012). *Análisis y diseño de algoritmos*. México, D.F.: RED TERCER MILENIO.
- Zamora, V. (11 de Junio de 2017). *urosario*. (Universidad del Rosario) Recuperado el 28 de Febrero de 2019, de *urosario*: <http://www.urosario.edu.co/Revista-Nova-Et-Vetera/Vol-3-Ed-27/Omnia/Militares-victimas-del-conflicto-armado/>

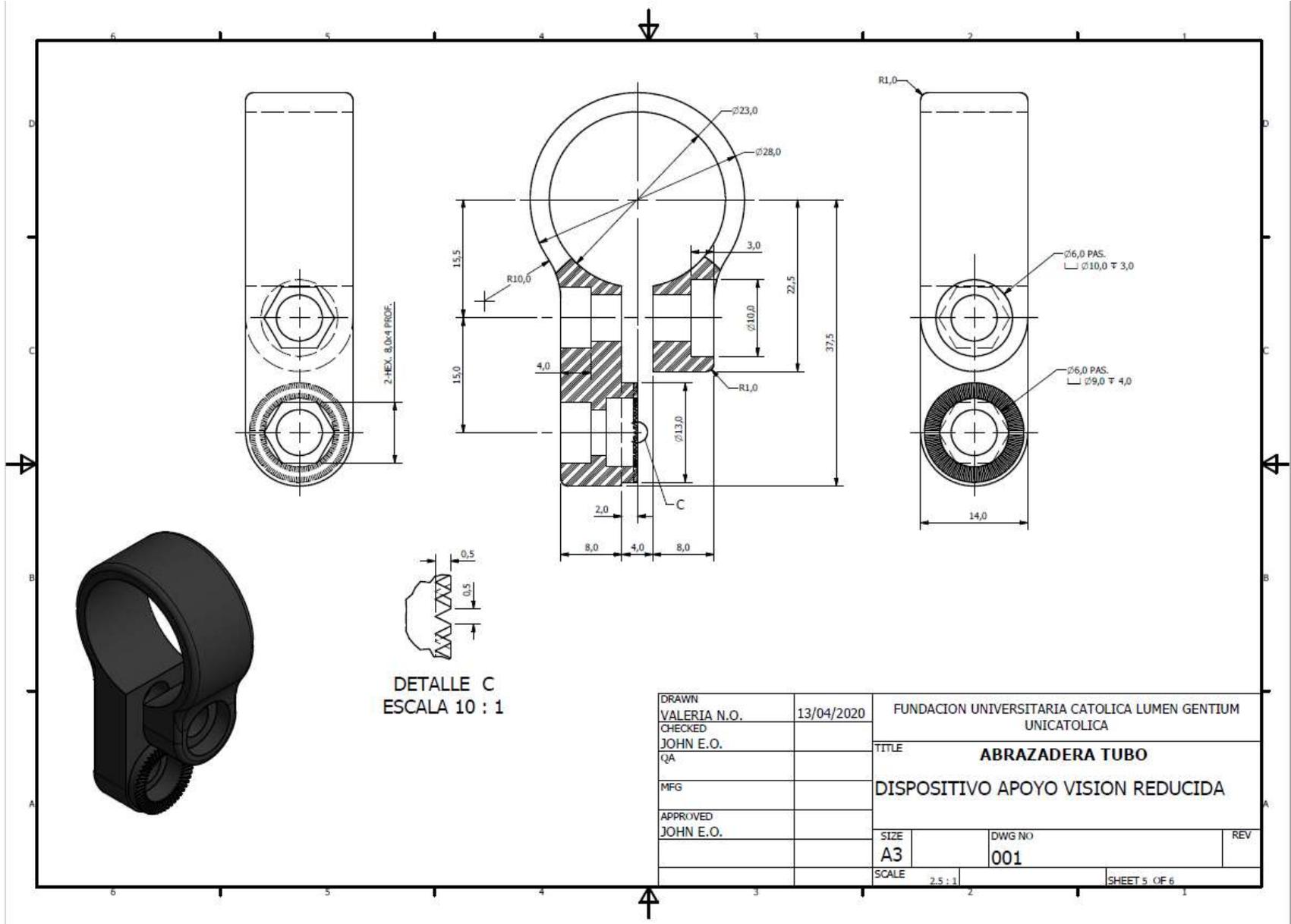
ANEXOS

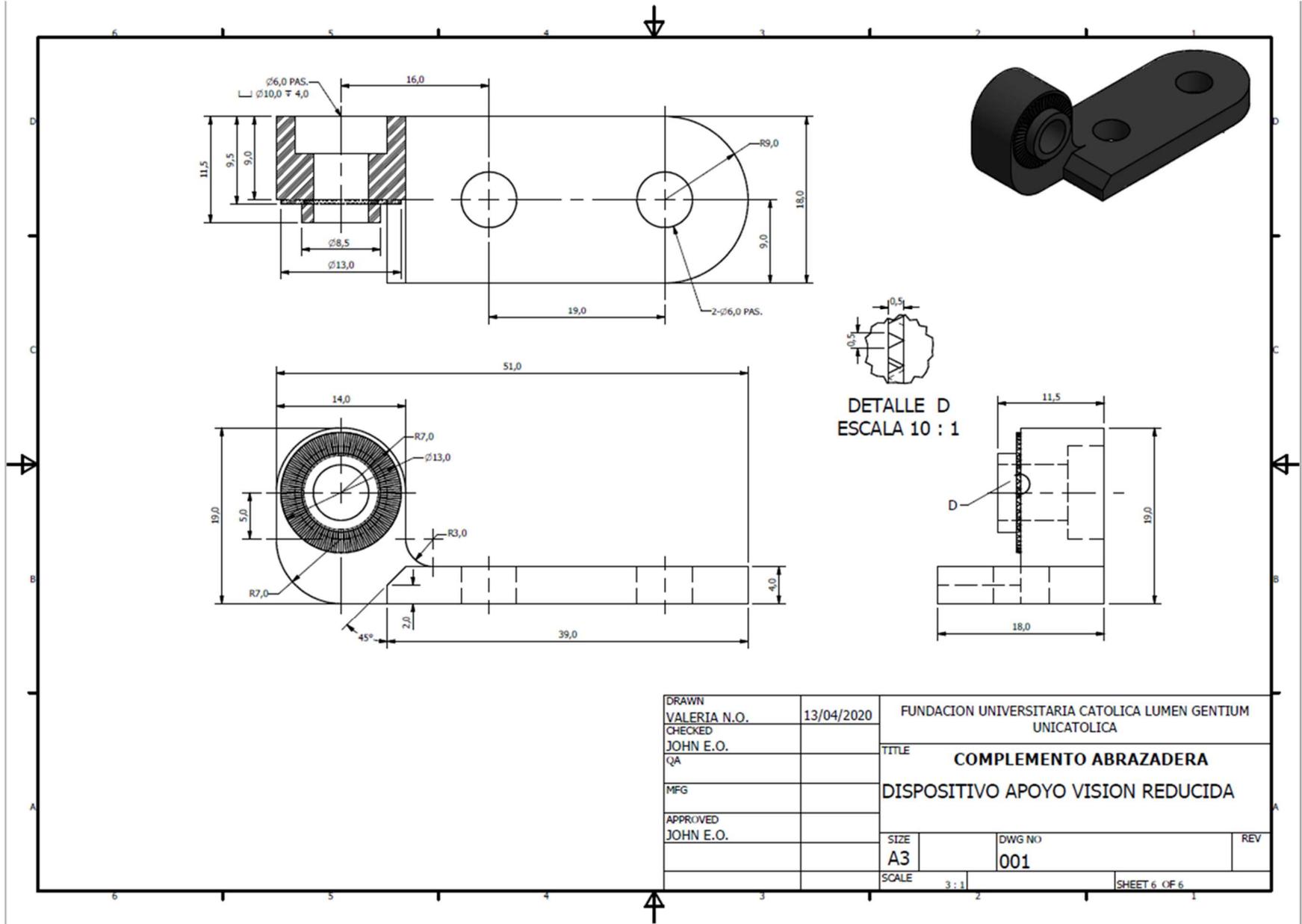
Anexo 1 Plano Caja del dispositivo. Fuente: Propia elaborada en Autodesk Inventor 2019.



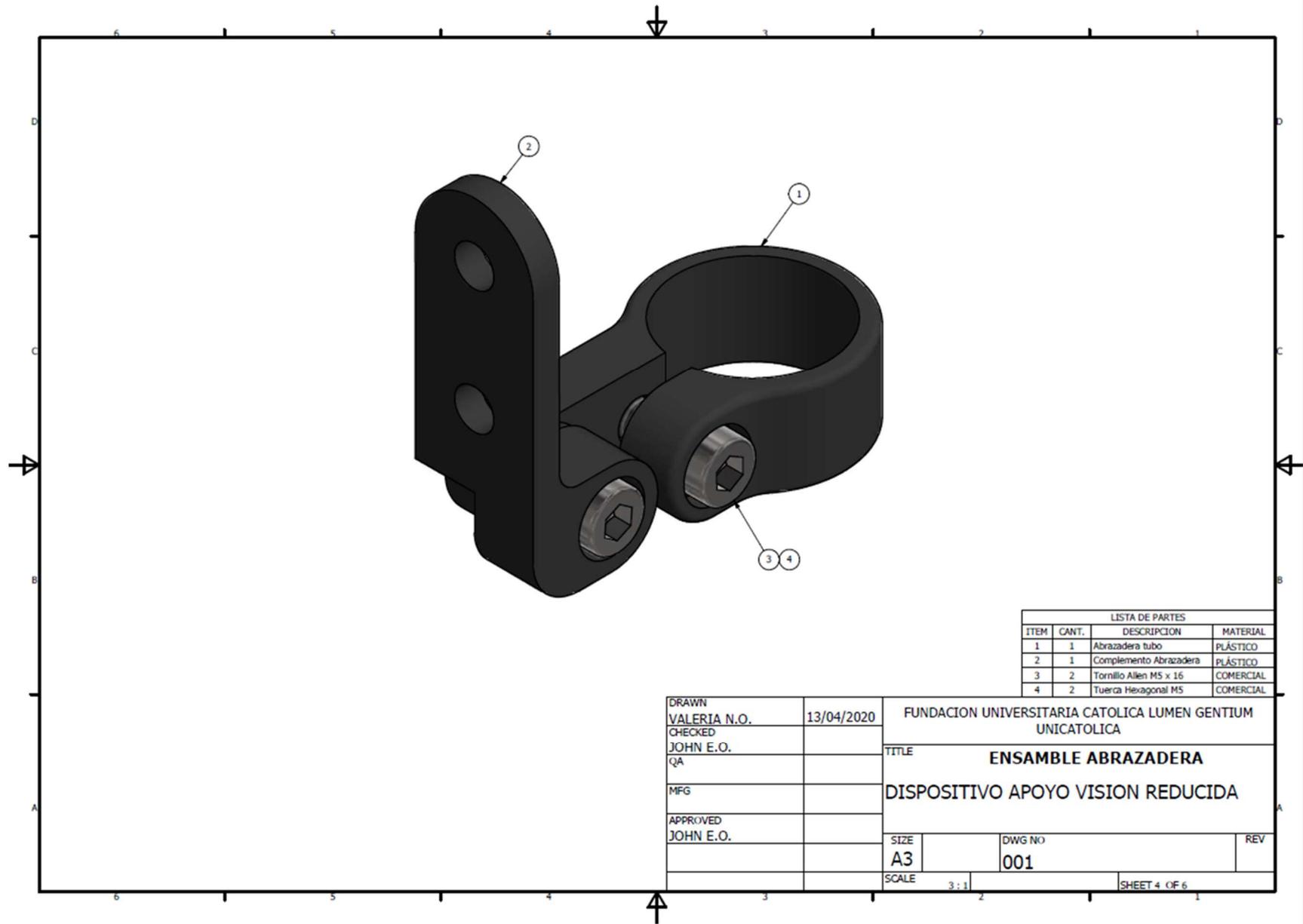
Anexo 2 Tapa de la caja. Fuente: Propia elaborada en Autodesk Inventor 2019.





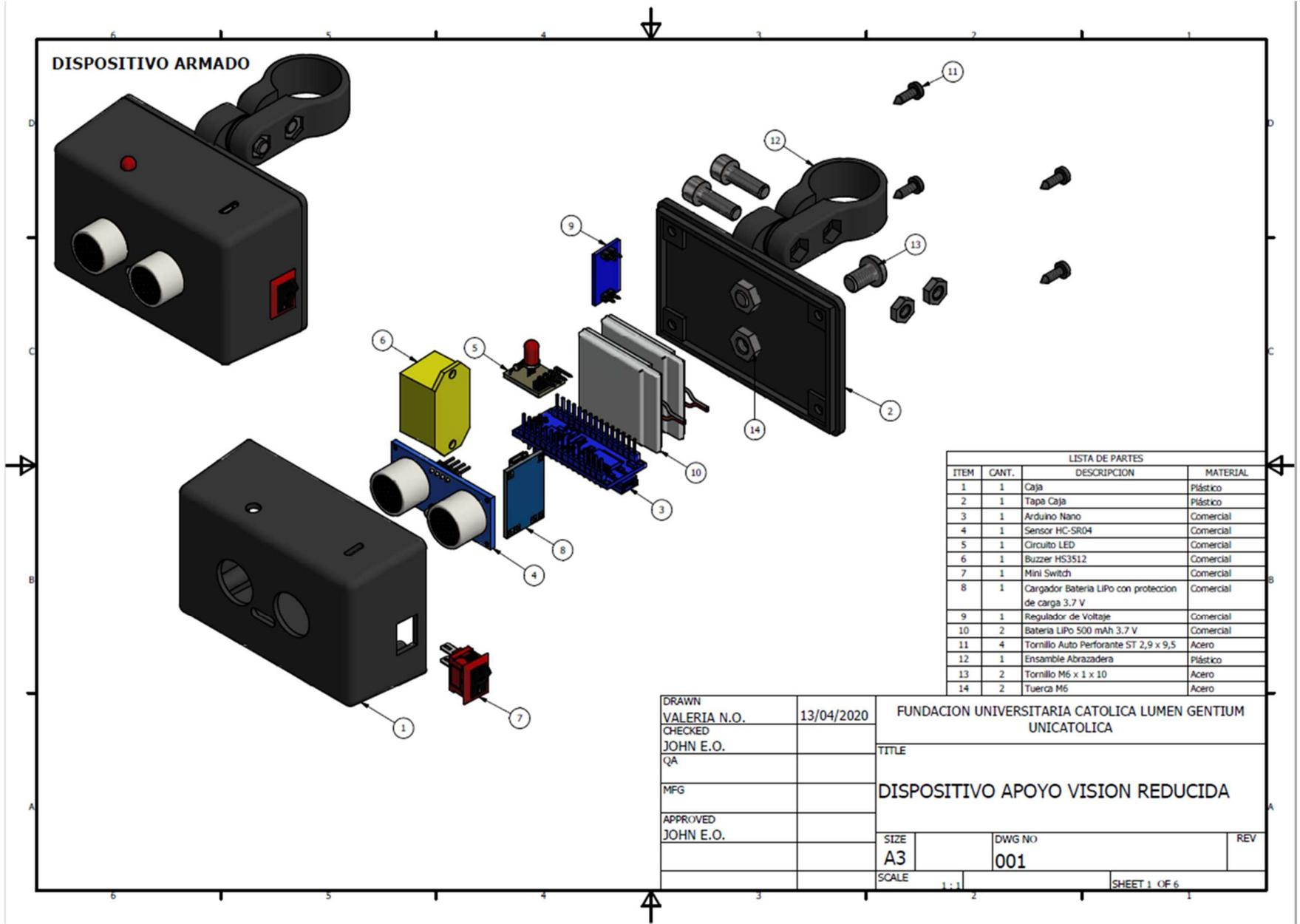


DRAWN VALERIA N.O.	13/04/2020	FUNDACION UNIVERSITARIA CATOLICA LUMEN GENTIUM UNICATOLICA	
CHECKED JOHN E.O.		TITLE COMPLEMENTO ABRAZADERA	
QA		DISPOSITIVO APOYO VISION REDUCIDA	
MFG		SIZE A3	DWG NO 001
APPROVED JOHN E.O.		SCALE 3:1	REV
		SHEET 6 OF 6	



LISTA DE PARTES			
ITEM	CANT.	DESCRIPCION	MATERIAL
1	1	Abrazadera tubo	PLÁSTICO
2	1	Complemento Abrazadera	PLÁSTICO
3	2	Tornillo Allen M5 x 16	COMERCIAL
4	2	Tuerca Hexagonal M5	COMERCIAL

DRAWN VALERIA N.O.		13/04/2020	FUNDACION UNIVERSITARIA CATOLICA LUMEN GENTIUM UNICATOLICA	
CHECKED JOHN E.O.			TITLE ENSAMBLE ABRAZADERA	
QA			DISPOSITIVO APOYO VISION REDUCIDA	
MFG				
APPROVED JOHN E.O.				
		SIZE A3	DWG NO 001	REV
		SCALE 3 : 1	SHEET 4 OF 6	



LISTA DE PARTES			
ITEM	CANT.	DESCRIPCION	MATERIAL
1	1	Caja	Plástico
2	1	Tapa Caja	Plástico
3	1	Arduino Nano	Comercial
4	1	Sensor HC-SR04	Comercial
5	1	Circuito LED	Comercial
6	1	Buzzer HS3512	Comercial
7	1	Mini Switch	Comercial
8	1	Cargador Bateria LIPO con proteccion de carga 3.7 V	Comercial
9	1	Regulador de Voltaje	Comercial
10	2	Bateria LIPO 500 mAh 3.7 V	Comercial
11	4	Tornillo Auto Perforante ST 2,9 x 9,5	Acero
12	1	Ensamble Abrazadera	Plástico
13	2	Tornillo M6 x 1 x 10	Acero
14	2	Tuerca M6	Acero

DRAWN VALERIA N.O.	13/04/2020	FUNDACION UNIVERSITARIA CATOLICA LUMEN GENTIUM UNICATOLICA	
CHECKED JOHN E.O.		TITLE	
QA		DISPOSITIVO APOYO VISION REDUCIDA	
MFG		SIZE A3	DWG NO 001
APPROVED JOHN E.O.		SCALE 1:1	REV
		SHEET 1 OF 6	

