

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MODULO ASISTENTE ADAPTABLE AL  
BASTÓN DE LAS PERSONAS CON DISCAPACIDAD VISUAL PARA  
MEJORAR SU DESPLAZAMIENTO.**



**LUIS ALBERTO NIETO MARTELO  
CARLOS VIDAL PADILLA CERDA**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL CARIBE  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
INGENIERÍA MECATRÓNICA  
BARRANQUILLA  
2015**

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MODULO ASISTENTE ADAPTABLE AL  
BASTÓN DE LAS PERSONAS CON DISCAPACIDAD VISUAL PARA  
MEJORAR SU DESPLAZAMIENTO.**

**LUIS ALBERTO NIETO MARTELO  
CARLOS VIDAL PADILLA CERDA**

**Proyecto de investigación para optar por el título de Ingeniero Mecatrónico**

**Asesor Disciplinar  
Ing. Mauricio Barrios, Msc**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL CARIBE  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
INGENIERÍA MECATRÓNICA  
BARRANQUILLA**

**2015**

Nota de aceptación:

---

---

---

---

---

---

---

Firma del presidente del jurado

---

Firma del jurado

---

Firma del jurado

Barranquilla, 5 de febrero de 2015

**CONTENIDO**

	<b>Pág.</b>
<b><u>CONTENIDO</u></b>	<b>II</b>
<b><u>TABLA DE FIGURAS</u></b>	<b>VI</b>
<b><u>TABLA DE TABLAS</u></b>	<b>VIII</b>
<b><u>TABLA DE ECUACIONES</u></b>	<b>IX</b>
<b><u>TABLA DE GRÁFICOS</u></b>	<b>X</b>
<b><u>INTRODUCCIÓN</u></b>	<b>1</b>
<b><u>1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</u></b>	<b>2</b>
1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	2
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	2
1.3 JUSTIFICACIÓN	3
<b><u>2 OBJETIVOS</u></b>	<b>4</b>
2.1 OBJETIVO GENERAL	4
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	4
<b><u>3 MARCO TEÓRICO</u></b>	<b>5</b>
3.1 DISCAPACIDAD	5

3.1.1 DEFICIENCIA, LIMITACIONES EN LA ACTIVIDAD Y RESTRICCIONES EN LA PARTICIPACIÓN.	7
3.1.1.1 Tipos de deficiencias.	10
3.1.1.2 Manifestaciones de las discapacidades.	11
3.1.1.3 Factores Ambientales.	12
<b>3.2 DISCAPACIDAD VISUAL</b>	<b>13</b>
3.2.1 GRADOS DE DEFICIENCIA VISUAL.	14
3.2.2 CAUSAS Y ENFERMEDADES.	15
3.2.3 RELACIÓN ESPACIAL DE LAS PERSONAS CON DISCAPACIDAD VISUAL.	16
<b>3.3 TIFLOTÉCNICA: SOLUCIONES DE ORIENTACIÓN Y MOVILIDAD</b>	<b>17</b>
3.3.1 PERRO GUÍA.	17
3.3.2 TÉCNICA DE RASTREO.	18
3.3.3 TÉCNICA DE OBJETOS CAÍDOS.	19
3.3.4 PUNTOS DE REFERENCIA.	20
<b>3.4 ESTADO DE ARTE DEL BASTÓN BLANCO</b>	<b>20</b>
3.4.1 TIPOS DE BASTÓN BLANCO.	23
3.4.2 AYUDAS ELECTRÓNICAS DE MOVILIDAD ETAs (ELECTRONICS TRAVEL DEVICES).	24
3.4.2.1 Tactile feedback navigation handle for the visually impaired.	24
3.4.2.2 Miniguide.	25
3.4.2.3 Bat k-sonar.	26
3.4.2.4 Ultracane.	27
3.4.2.5 Isonic.	28
3.4.2.6 Mobifree.	28
<b>3.5 MICROCONTROLADORES</b>	<b>30</b>
<b>3.6 ARDUINO</b>	<b>31</b>
<b>3.7 EL SONIDO</b>	<b>34</b>
3.7.1 SENSOR ULTRASÓNICO.	34
<b>3.8 BLUETOOTH</b>	<b>37</b>
<b>3.9 INTERFAZ HÁPTICA</b>	<b>39</b>
3.9.1 MOTORES ELÉCTRICOS DE VIBRACIÓN.	40

<b>4</b>	<b>MARCO LEGAL</b>	<b>41</b>
<b>5</b>	<b>MARCO METODOLÓGICO</b>	<b>47</b>
<b>5.1</b>	<b>MÉTODO DE ESTUDIO</b>	<b>48</b>
5.1.1	RECOLECCIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS.	48
<b>6</b>	<b>DISEÑO DEL PROTOTIPO</b>	<b>53</b>
<b>6.1</b>	<b>ETAPA DE ENTRADA</b>	<b>54</b>
6.1.1	SENSOR HC-SR04.	54
6.1.2	BOTONES.	56
6.1.3	TERMINAL BLUETOOTH.	56
<b>6.2</b>	<b>ETAPA DE PROCESAMIENTO</b>	<b>57</b>
6.2.1	CONTROLADOR.	57
6.2.2	MODULO BLUETOOTH.	58
<b>6.3</b>	<b>ETAPA DE SALIDA.</b>	<b>59</b>
6.3.1	PARLANTE.	59
6.3.2	VIBRADOR.	59
<b>6.4</b>	<b>ALIMENTACIÓN.</b>	<b>60</b>
6.4.1	MÓDULO DE CARGA Y REGULADOR.	60
6.4.2	BATERÍA	61
<b>6.5</b>	<b>ESTRUCTURA DE PROGRAMACIÓN</b>	<b>61</b>
6.5.1	MODO CONFIGURACIÓN.	62
6.5.2	MEDICIÓN DEL SENSOR.	62
<b>6.6</b>	<b>DISEÑO PROTOTIPO ALFA</b>	<b>64</b>
6.6.1	DISEÑO DE LA ESTRUCTURA BASE.	64
6.6.2	SISTEMA DE ALERTA.	66
6.6.3	PRUEBAS DE DESEMPEÑO Y CONCEPTO.	67
<b>6.7</b>	<b>DISEÑO PROTOTIPO BETA</b>	<b>69</b>
6.7.1	REDISEÑO DE LA ESTRUCTURA BASE.	69

6.7.1.1 Sistema de acople.	71
6.7.2 IMPRESIÓN DEL MODELO DE LA ESTRUCTURA BASE.	72
6.7.3 REDISEÑO SISTEMA DE ALERTA.	73
<b><u>7 ANÁLISIS DE RESULTADOS</u></b>	<b><u>76</u></b>
7.1 COMPARACIÓN DE PROTOTIPOS DESARROLLADOS.	76
7.2 PRUEBAS DEL PROTOTIPO BETA	76
7.3 CONCLUSIONES	78
<b><u>8 CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES Y PRESUPUESTO</u></b>	<b><u>82</u></b>
8.1 CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES	82
8.2 PRESUPUESTO	83
<b><u>BIBLIOGRAFÍA</u></b>	<b><u>84</u></b>
<b><u>ANEXO 1</u></b>	<b><u>89</u></b>
<b><u>ANEXO 2</u></b>	<b><u>91</u></b>

**TABLA DE FIGURAS**

	<b>Pág.</b>
<b>Figura 1.</b> Interacción entre los Componentes de la CIF. ....	9
<b>Figura 2.</b> Discapacidad visual y ceguera en el mundo. ....	13
<b>Figura 3.</b> Perro Guía. ....	17
<b>Figura 4.</b> Persona aplicando técnica rastreo. ....	19
<b>Figura 5.</b> Dispositivo de retroalimentación táctil de mano. ....	24
<b>Figura 6.</b> Miniguide. ....	25
<b>Figura 7.</b> Bat K-Sonar. ....	26
<b>Figura 8.</b> Ultracane. ....	27
<b>Figura 9.</b> iSonic. ....	28
<b>Figura 10.</b> Espacios de detección de MobiFree. ....	29
<b>Figura 11.</b> Arquitectura de MobiFree. ....	29
<b>Figura 12.</b> Imagen de un Arduino UNO. ....	32
<b>Figura 13.</b> Sensor ultrasónico en funcionamiento. ....	36
<b>Figura 14.</b> Patrón de detección de un sensor ultrasónico. ....	36
<b>Figura 15.</b> Modo de conexión de dispositivos Bluetooth. ....	38
<b>Figura 16.</b> Micromotor eléctrico de vibración con carga excéntrica. ....	40
<b>Figura 17.</b> Área segura prototipo alfa, vista superior y vista lateral. ....	53
<b>Figura 18.</b> Esquema general del sistema eléctrico del prototipo. ....	54
<b>Figura 19.</b> Sensor HC-SR04. ....	55
<b>Figura 20.</b> Área de detección. ....	55
<b>Figura 21.</b> Diagrama de Tiempos, sensor HC-SR04. ....	56
<b>Figura 22.</b> Arduino Nano. ....	57
<b>Figura 23.</b> Módulo HC-06. ....	58
<b>Figura 24.</b> Vibrador. ....	59
<b>Figura 25.</b> Módulo SparkFun Lipo Charger/Booster. ....	60



<b>Figura 26.</b> Batería de polímero de litio 3,7V-1000mAh .....	61
<b>Figura 27.</b> Instrucciones para lectura de distancia .....	63
<b>Figura 28.</b> Diagrama de flujo de detección de obstáculos.....	63
<b>Figura 29.</b> Diseño prototipo Alfa en SolidWorks.....	65
<b>Figura 30.</b> Prototipo Alfa desarrollado.....	66
<b>Figura 31.</b> Prueba de distancia prototipo Alfa .....	67
<b>Figura 32.</b> Prueba de identificación de entradas, prototipo Alfa .....	68
<b>Figura 33.</b> Diseño prototipo Beta en SolidWorks.....	70
<b>Figura 34.</b> Zona segura prototipo Beta, vista lateral.....	70
<b>Figura 35.</b> Sistema de acople de la base del prototipo, vista lateral .....	71
<b>Figura 36.</b> Soporte del prototipo y mecanismo de unión con el bastón.....	71
<b>Figura 37.</b> Amarres de ajuste .....	71
<b>Figura 38.</b> Sistema de acomple o de adaptación .....	72
<b>Figura 39.</b> Prototipo Beta construido en PLA .....	72
<b>Figura 40.</b> Prototipo Beta Ensamblado. ....	73
<b>Figura 41.</b> Sistema de alerta prototipo Beta .....	74
<b>Figura 42.</b> Prueba de identificación de entradas.....	77
<b>Figura 43.</b> Prueba del sensor Frontal.....	77

## TABLA DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
<b>Tabla 1.</b> Niveles de deficiencia, de dificultad y ambientales .....	10
<b>Tabla 2.</b> Discapacidad en Colombia, Censo 2005 DANE .....	14
<b>Tabla 3.</b> Porcentajes de las enfermedades que causan discapacidad visual y ceguera .....	15
<b>Tabla 4.</b> Comparación de características de diferentes placas de ARDUINO .....	33
<b>Tabla 5.</b> Especificaciones Arduino Nano .....	58
<b>Tabla 6.</b> Configuración de pines .....	62
<b>Tabla 7.</b> Vibraciones según la distancia del objeto .....	66
<b>Tabla 8.</b> Secuencia de alerta .....	73
<b>Tabla 9.</b> Cronograma de Actividades. ....	82
<b>Tabla 10.</b> Presupuesto del Proyecto.....	83

**TABLA DE ECUACIONES**

	<b>Pág.</b>
<b>Ecuación 1.</b> Cálculo de la distancia utilizando el sonido.....	35
<b>Ecuación 2.</b> Velocidad del sonido dependiendo de la temperatura .....	35
<b>Ecuación 3.</b> Cálculo de distancia entre el sensor y la cabeza .....	75
<b>Ecuación 4.</b> Cálculo ángulo de inclinación del bastón .....	75
<b>Ecuación 5.</b> Cálculo límite sensor superior.....	75
<b>Ecuación 6.</b> Cálculo límite sensor inferior.....	75

## TABLA DE GRÁFICOS

	<b>Pág.</b>
<b>Grafico 1.</b> Seguridad y comodidad del bastón blanco.....	49
<b>Grafico 2.</b> Problemas al identificar obstáculos con el bastón .....	49
<b>Grafico 3.</b> Tipos de obstáculos de más difícil detección .....	49
<b>Grafico 4.</b> Independencia en el desplazamiento en la calle. ....	50
<b>Grafico 5.</b> Utilización de un bastón diferente al actual .....	50
<b>Grafico 6.</b> Utilización de un dispositivo electrónico en el bastón.....	50

## INTRODUCCIÓN

Históricamente la ciencia se ha interesado por estudiar la naturaleza, generando conocimientos sobre todo lo que nos rodea, fundamental para todas las ramas del saber y por ende para el campo de la Ingeniería y la medicina. La ingeniería se ha encargado de idear soluciones para una multiplicidad de problemas tendientes a mejorar la calidad de vida de la humanidad, impregnando tanto el campo industrial como el de su vida cotidiana; de igual forma la medicina, ha trabajado en combatir los problemas de salud, a los cuales los seres humanos son vulnerables. Dando permanente las mejores soluciones, estas disciplinas se han unido y permitido la invención de sistemas y dispositivos que brindan gran ayuda en el bienestar de las personas, a esta unión se le conoce como bioingeniería. (Cardwell, 1996)

Por otra parte, el ser humano usa sus órganos de los sentidos para ubicarse y desplazarse en su entorno y cuando una persona carece de alguno de ellos, se genera de forma natural, un proceso de adaptación para potenciar otros sentidos que suplan el faltante. En relación con las personas ciegas, se desarrollan otros sentidos como la audición y el tacto para desplazarse, pero aun así su movimiento no es normal pues deben utilizar instrumentos como el bastón blanco o de Hoover, el cual brinda una extensión de la mano de la persona ciega que le permite tocar la superficie en que se desplaza para guiarse y evitar obstáculos presentes en el camino. No obstante, la función del bastón es insuficiente a la hora de detectar obstáculos que se encuentre por encima de la cadera de este grupo de personas, lo que le acarrea golpes en sus extremidades superiores, tórax y/o la cabeza.

En esta investigación se propone idear un dispositivo que mejore la calidad de vida de las personas con discapacidad visual severa, se pretende lograr mediante la construcción de un sistema electrónico capaz de detectar cierto tipo de obstáculos, de difícil percepción con un bastón para las personas invidentes.

## **1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### **1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA**

La dificultad para identificar obstáculos por encima de donde termina el bastón, es decir, por encima del mango, es uno de los principales problemas que las personas invidentes tienen al momento de desplazarse de un lugar a otro, aun mas cuando este no es muy frecuentado.

Esto se debe a que la herramienta (Bastón Blanco o de Hoover) que ellos utilizan para identificar la superficie sobre la cual caminan, no les brinda la suficiente autonomía para identificar cierto tipo de superficies o impedimentos en el camino.

Esta investigación pretende idear una solución que mejore la confianza y seguridad en el desplazamiento de las personas que no cuentan con este importante órgano de los sentidos, mediante un sistema electrónico, adaptable al bastón que ya utilizan.

### **1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

¿Cuáles son los principales problemas que tienen las personas invidentes al utilizar el bastón como forma de identificar obstáculos presentes en el entorno y de qué manera se podría ayudar a mejor la identificación de estos objetos?

### 1.3 JUSTIFICACIÓN

Las personas que pierden la vista por múltiples razones, o los invidentes de nacimiento, presentan grandes desventajas y dificultades ante un mundo que es cada día más visual. Ante estas eventualidades, las construcciones modernas son diseñadas teniendo en cuenta a este grupo de personas para que sus desplazamientos sean menos complejo y más seguro. Sin embargo, en Colombia los diseños de las edificaciones no son pertinentes con esta problemática de las minorías invidentes.

En tales circunstancias, se hace indispensable que las personas con discapacidad visual utilicen un dispositivo para el desplazamiento, por lo general usan un bastón blanco el cual le brinda un posibilidad de desplazamiento, pero este por sí solo no es suficiente porque muchas personas que lo utilizan no se sienten con la confianza y seguridad suficiente para salir sin compañía de otra persona que los oriente.

Son estas las razones que le dan viabilidad y justifican proyectos como el presente, con el cual se pretende diseñar un sistema que le brinde un mayor grado de confianza y seguridad para que las personas con esta discapacidad se puedan desplazar con independencia.

El desarrollo de este dispositivo es factible ya que en la actualidad en el mercado hay una gran variedad, en los cuales se pueden encontrar los insumos necesarios para llevar a cabo el desarrollo del mismo. Este dispositivo no pretende reemplazar el bastón blanco o bastón de HOOVER utilizado por las personas con discapacidad visual, sino que por el contrario es un dispositivo tecnológico que pretende brindar un apoyo al bastón que estas personas utilizan.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GENERAL

- Diseñar un sistema electrónico capaz de asistir el uso del bastón de las personas con discapacidad visual, con el propósito de identificar obstáculos por encima del rango de detección que brinda el bastón.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diferenciar los términos e implicaciones de deficiencia, discapacidad y restricciones, además de identificar las causas que conllevan a la discapacidad visual.
- Describir los métodos de desplazamiento de las personas con discapacidad visual y los avances tecnológicos del bastón blanco.
- Definir los principales objetos y terrenos que representan peligro para las personas invidentes.
- Elaborar un prototipo alfa de un sistema electrónico, capaz de asistir el uso del bastón blanco, que sirva para la recolección de información de aspectos que se deberían mejorar para el desarrollo del prototipo beta.
- Divulgar a la comunidad científica de los aspectos más relevantes de la investigación y su desarrollo.



### 3 MARCO TEÓRICO

#### 3.1 DISCAPACIDAD

*“La discapacidad no debería ser un obstáculo para el éxito. Yo mismo he sufrido una neuropatía motora durante la práctica totalidad de mi vida adulta, y no por ello he dejado de desarrollar una destacada carrera profesional como astrofísico y de tener una feliz vida familiar”<sup>1</sup>*, con esta reflexión el científico británico Stephen W Hawking exalta que la discapacidad en muchas ocasiones sea mental o social.

El informe sobre la discapacidad mundial establece el concepto de discapacidad adoptado por La Clasificación Internacional del Funcionamiento, de la Discapacidad y de la Salud (CIF), en la cual hace referencia a la discapacidad como un término genérico que engloba términos como deficiencias, limitaciones de actividad y restricciones para la participación. El enfoque establecido por la CIF en el concepto de discapacidad es uno biopsicosocial, en el que se propone agregar la multidimensionalidad dentro del concepto de la discapacidad, desde lo biológico, lo emocional y lo social. Este informe fue aceptado y validado por el Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas (DANE) de Colombia, aplicándolo en el censo nacional realizado en 2005. (DANE, 2008)

La CIF no se puede utilizar como sistema para clasificar las enfermedades, trastornos, lecciones, y/o estados de salud, debido a que la discapacidad en su término global no es una enfermedad, para esto la OMS ha realizado una Clasificación Internacional de Enfermedades (CIE-10). El CIF clasifica el funcionamiento y la discapacidad asociados con las condiciones de salud. Por tanto la OMS recomienda que se trabajen con ambas clasificaciones para tener

---

<sup>1</sup> Stephen W Hawking, Prologo: Informe mundial sobre la discapacidad, 2011.

una visión más amplia del estado de salud de las personas. Además la CIF ya no se puede considerar como una clasificación de las “consecuencias de las enfermedades” según (Organización Mundial de la Salud, 2001), sino como los componentes de la salud.

*“La discapacidad no es algo que se tiene (por ejemplo, ojos azules) ni algo que se es (por ejemplo, bajo o delgado), sino que se entiende como un estado de funcionamiento que describe el ajuste entre las capacidades del individuo, la estructura y expectativas de su entorno personal y social”*<sup>2</sup>(Gaviria, 2000)

La Organización Mundial de la Salud (OMS) estima según datos recolectados sobre la discapacidad a nivel mundial en 2010 que afecta al 15% de la población mundial, esto es más de mil millones de personas, con lo cual se nota un incremento de 5% en las cifras dadas a conocer en los 70s. La OMS explica que este incremento se debe al envejecimiento de la población mundial, lo que trae consigo enfermedades y problemas relacionados con la edad, y por esto hace un llamado a atender esta problemática, debido que se espera que esta cifra siga en aumento. En Colombia hay más de 2.3 millones de personas que presentan alguna discapacidad esto según los datos arrojados del censo realizado en 2005 por el Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas (DANE). (DANE, 2008)

---

<sup>2</sup> Gaviria, P. (2000). Una mirada a la persona con discapacidad desde la perspectiva ecológica.

### **3.1.1 Deficiencia, limitaciones en la actividad y restricciones en la participación.**

En mayo de 2001 en la 54<sup>a</sup> Asamblea Mundial de la Salud se establecieron los conceptos e implicaciones de las palabras deficiencia, limitaciones en la actividad y restricciones en la participación.

- Deficiencia: es la anormalidad o pérdida de una estructura corporal (partes anatómicas del cuerpo, como órganos y extremidades) o de una función corporales (funciones fisiológicas de los sistemas corporales). Las funciones fisiológicas incluyen las funciones mentales. Con anormalidad se hace referencia, estrictamente, a una desviación significativa respecto a la norma estadística establecida

Una deficiencia no necesariamente es signo de enfermedad, es un estado de salud, por lo cual no siempre se puede tratar como enfermo a una persona con una deficiencia. No se puede categorizar que los únicos aspectos que incluye la deficiencia son trastornos y/o enfermedades, también se puede considerar la pérdida de una pierda como una deficiencia. Se debe tener claro que una deficiencia puede ocasionar otra. (Organización Mundial de la Salud, 2011)

Las deficiencias se clasifican en cuatro categorías: pérdida o ausencia, reducción, aumento o exceso y desviación, cada una corresponde a un nivel de deficiencia estipulado por la CIF.

- Limitaciones en la actividad<sup>3</sup> o discapacidad: son las dificultades que un individuo puede tener para realizar actividades. Una “limitación en la actividad”

---

<sup>3</sup> “Limitación en la actividad” sustituye al término “discapacidad” usado en la versión de 1980 de la CIDDM.

abarca desde una desviación leve hasta una grave actividad, comparándola con la manera, extensión o intensidad en términos de cantidad o calidad, en la realización de la en que se espera que la realizaría una persona sin esa condición de salud.

- Restricciones en la participación<sup>4</sup>: son los problemas que puede experimentar un individuo para implicarse en situaciones vitales. La presencia de una restricción en la participación viene determinada por la comparación de la participación de esa persona con la participación esperable de una persona sin discapacidad en esa cultura o sociedad.

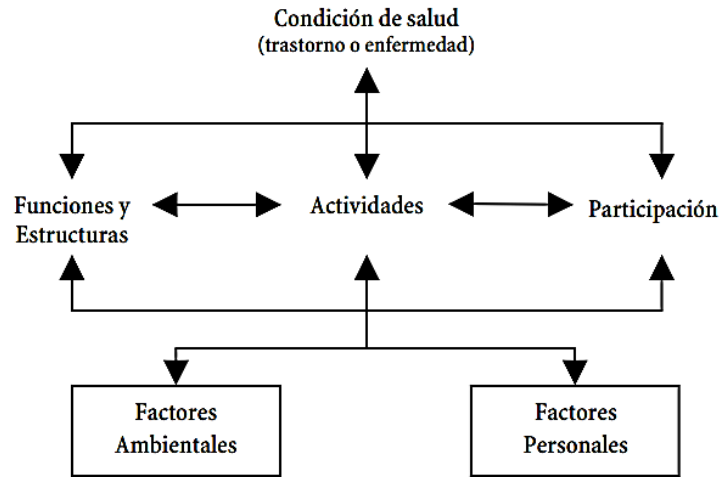
La CIF ubica las limitaciones y restricciones en un componente aparte, con esto se agrupa en una categoría las actividades y participación que tiene una persona, la OMS no tiene una perspectiva clara entre estos dos términos, debido a las variaciones en cada país. En este documento se establece las actividades son aquellas que la persona realiza individualmente y la participación es la que coaccionada por la sociedad.

Los tres anteriores componentes pueden verse afectados por factores personales y/o factores ambientales, el cual constituyen el ambiente físico, social y actitudinal en el que las personas viven y conducen sus vidas. En la Figura 1 se aprecia la interacción entre los componentes de la CIF, con esto se deja claro que los componentes no son dependientes linealmente, sino multidimensionalmente, esto implica que para tener uno no es necesario tener otro componente.

---

<sup>4</sup> “Restricción en la participación” sustituye al término “minusvalía” usado en la versión de 1980 de la CIDDM.

**Figura 1.** Interacción entre los Componentes de la CIF.



Fuente: OMS, Clasificación Internacional del Funcionamiento, de la Discapacidad y de la Salud.

La CIF ejemplifica mediante varios modelos las diferentes interacciones entre cada uno de sus componentes con lo cual se puede observar las interacciones plasmadas en el modelo anterior:

- Un individuo puede presentar deficiencias sin tener limitaciones en la capacidad: una desfiguración como consecuencia de la lepra puede no tener efecto en la capacidad de la persona.
- Un individuo puede tener limitaciones en la capacidad y problemas de desempeño/realización sin presentar deficiencias evidentes: reducción en el desempeño/realización de las actividades diarias que se asocia con muchas enfermedades comunes.
- Una persona puede tener problemas de desempeño/realización sin deficiencias o limitaciones en la capacidad: persona VIH positiva o un antiguo paciente recuperado de una enfermedad mental que se enfrentan a la estigmatización o la discriminación en las relaciones interpersonales o el trabajo.
- Una persona puede presentar limitaciones en la capacidad sin asistencia, y ausencia de problemas de desempeño/realización en un entorno facilitador: un individuo con limitaciones en la movilidad, puede ser provisto por la sociedad de ayudas tecnológicas que faciliten su desplazamiento).

### 3.1.1.1 Tipos de deficiencias.

Las deficiencias incluidas por la CIF, se dividen en dos grupos: las funciones corporales que hace énfasis en los sentidos de las personas y las estructuras corporales que se enfoca en los órganos. Esta clasificación es utilizada para identificar el tipo de discapacidad que tiene una persona

Ambos grupos poseen las mismas categorías de clasificación de deficiencias:

- Mentales
- Sensoriales y dolor
- De voz y habla
- Cardiovasculares, hematológicas, inmunológicas y respiratorias
- Digestivas, metabólicas y endocrinas
- Genitourinarias y reproductoras
- Neuromusculoesqueléticas y relacionadas con el movimiento
- De la piel y estructuras relacionadas

La OMS especifica el nivel de deficiencia de una persona que se encuentra en cualquier de las categorías antes mencionadas, esto lo hace mediante la utilización de la Tabla 1, la cual además sirve para medir factores como el nivel de dificultad y las barreras que se le presentan a una persona con alguna discapacidad. A cada nivel le corresponde una clasificación y un porcentaje.

**Tabla 1.** Niveles de deficiencia, de dificultad y ambientales

Factor a medir	Nivel	Clasificación	Porcentaje
*Deficiencia *Dificultad *Ambiental (Barreras)	0	NO hay (ninguna, insignificante)	0-4 %
	1	LIGERA (poca, escasa)	5-24 %
	2	MODERADA (media, regular)	25-49 %
	3	GRAVE (mucha, extrema)	50-95 %
	4	COMPLETA (total)	96-100 %

### **3.1.1.2 Manifestaciones de las discapacidades.**

Estas pueden ser limitaciones en la actividad o restricciones en la participación, en otras palabras son dificultades para desarrollar actividades ya sean por impedimento físico y psicosocial, este se presenta por la discriminación. Las limitaciones en la actividad se categorizan en:

- Aprendizaje y aplicación del conocimiento
- Tareas y demandas generales
- Comunicación
- Movilidad
- Autocuidado

Al igual que la categorización anterior la persona presenta restricciones en la participación activa dentro de la sociedad:

- Vida doméstica
- Interacciones y relaciones interpersonales
- Áreas principales de la vida
- Vida comunitaria, social y cívica

Dependiendo al nivel de dificultad al realizar una actividad o una participación se clasifican en la escala establecida por la OMS, Tabla 1.

### **3.1.1.3 Factores Ambientales.**

Estos constituyen el ambiente físico, social y actitudinal en el que las personas viven y conducen sus vidas.

La interacción de los distintos ambientes puede tener efectos diversos en una persona con una determinada condición de salud. Por ejemplo, un entorno con barreras, o sin facilitadores, restringirá el desempeño de la persona; mientras que otros entornos más facilitadores puede incrementarlo pueden ser rampas en los edificios. Con lo cual presenta la siguiente categorización:

- Productos y tecnología
- Entorno natural y cambios en el entorno derivados de la actividad humana
- Apoyo y relaciones
- Actitudes
- Servicios, sistemas y políticas

Al igual que en los anteriores casos dependiendo si los factores ambientales son favorables o por el contrario se convierten una barrera estos se clasifica según la Tabla 1.

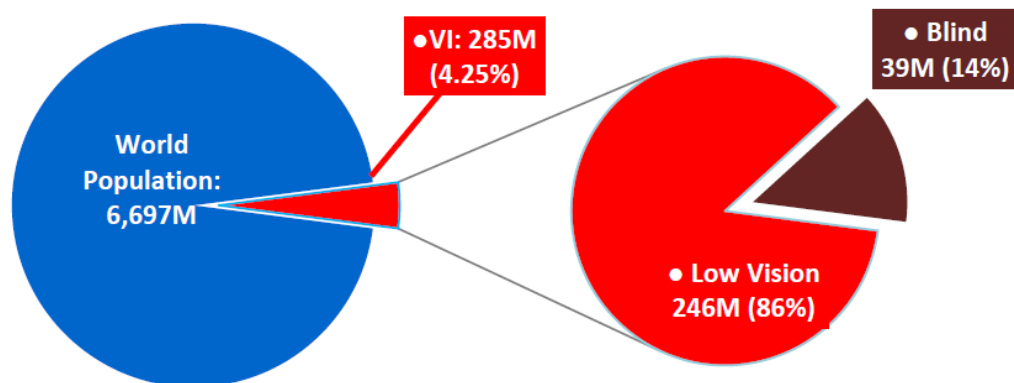


### 3.2 DISCAPACIDAD VISUAL

La discapacidad visual hace parte de las deficiencias establecidas por la CIF, la cual está incluida en las deficiencias de tipo sensorial y dolor haciendo referencia aquellas personas que tienen limitaciones para ver, comprendiendo las personas que son ciegas (carecen de la vista) los que no pueden percibir la luz, hasta las que tienen serias deficiencias visuales como ver borroso o sombras aun utilizando lentes o ayudas especiales.

A nivel mundial la estimación hecha por la OMS en 2010 dice que en el mundo existen 285 millones de personas que son discapacitadas visuales y de las cuales 39 millones son totalmente ciegas. En la Figura 2 se observa la relación entre la población mundial y los discapacitados visuales, a su vez de este grupo con las personas ciegas.

**Figura 2.** Discapacidad visual y ceguera en el mundo.



Fuente: World Health Organization: Visual Impairment and Blindness 2010

En Colombia el Departamento Administrativo Nacional de Estadística con el censo de 2005 encontró que en Colombia existen 2.6 millones de personas con al menos una discapacidad, esta cifra representa el 6.4% de la población colombiana, de este grupo cerca de 1.2 millones de personas tienen limitaciones permanentes para ver como lo indica la Tabla 2.

**Tabla 2.** Discapacidad en Colombia, Censo 2005 DANE

	<b>Población</b>	<b>Prevalencia</b>
Total personas censo 2005	41.242.948	
Total personas con por lo menos una discapacidad	2.632.255	6,4
Personas con limitaciones para ver	1.143.992	43,5
Personas con limitaciones para caminar	770.128	29,3
Personas con limitaciones para oír	454.822	17,3
Personas con limitaciones para usar brazos y manos	387.598	14,7
Personas con limitaciones para hablar	340.430	12,9
Personas con limitaciones para entender aprender	315.601	12
Personas con limitaciones para relacionarse con los demás	257.573	9,8
Personas con limitaciones para su autocuidado	247.113	9,4
Personas con otra limitación	494.863	18,8

Fuente: Resultados encuesta DANE 2005

### 3.2.1 Grados de deficiencia visual.

La OMS además establece en la Clasificación Internacional de Enfermedades (CIE-10) (World Health Organization, 2011), la función visual se subdivide en cuatro niveles:

- Visión normal
- Discapacidad visual moderada
- Discapacidad visual grave
- Ceguera.

La discapacidad visual moderada y la discapacidad visual grave se reagrupan comúnmente bajo el término «baja visión»; la baja visión y la ceguera representan conjuntamente el total de casos de discapacidad visual.

### 3.2.2 Causas y enfermedades.

Existen enfermedades que pueden hacer que una persona quede en condición de discapacitado visual o presente ceguera total, la OMS en estudio realizado en el tema en el año 2010 estableció las enfermedades que más ocasionan impedimento visual ceguera en el mundo (Mariotti, y otros, 2012). En la Tabla 3 se aprecian los porcentajes de participación en cada categoría que tienen cada una de las enfermedades y problemas visuales según (Organización Mundial de la Salud).

**Tabla 3.** Porcentajes de las enfermedades que causan discapacidad visual y ceguera

Enfermedades	Porcentaje por enfermedad	
	Discapacidad visual	Ceguera
Cataratas	33%	51%
Retinopatía diabética	1%	1%
Ceguera infantil	1%	4%
Degeneración macular asociada a la edad	1%	5%
Glaucoma	2%	8%
Tracoma	1%	3%
Errores refracción no corregidos	42%	3%
Opacidad corneal	1%	4%
Otras causas	18%	21%

Fuente: Organización Mundial de la Salud: Prevention of Blindness and Visual Impairment;  
<http://www.who.int/blindness/causes/priority/en/>

Con la Tabla 3 se puede deducir que problemas como las cataratas no son tratados de la mejor manera debido a un aumento de 18 puntos porcentuales, lo mismo sucede con los otros problemas exceptuando a los errores de refracción y esto se debe básicamente a que son de fácil tratamiento, solo basta con la utilización de gafas, lo cual hace que también sea uno de los puntos más baratos en resolver económicamente hablando.

### 3.2.3 Relación espacial de las personas con discapacidad visual.

La percepción del entorno de una persona con discapacidad visual es muy diferente a una persona con sus capacidades visuales normales (Roqueta, y otros, 2005), se debe especialmente a la utilización de forma diferente de las señales obtenidas mediante tacto. (Martínez-Liébana, y otros, 2004) La percepción a través del tacto puede ser:

- Percepción táctil (estática): llamado también tacto pasivo este sólo nos informa de la temperatura, el peso, la consistencia, es aquel que la persona percibe sin ejecutar algún movimiento.
- Percepción cinestésica (dinámica): este tipo de percepción se basa en el movimiento voluntario de las manos y le permite a la persona apreciar el objeto, su textura, aspereza, dureza y forma. Una persona con discapacidad visual utiliza sus manos, mientras una sirve de referencia la otra actúa como explorador del objeto con lo cual al final se obtiene una idea global del objeto.

La iteración de esto dos sistemas de percepción es la percepción háptica conocida como tacto activo, es un sistema de percepción, integración y asimilación de sensaciones, a través del tacto activo. El sistema háptico es un sistema exploratorio, no sólo receptivo.

*“La percepción háptica es la base del desarrollo y aprendizaje de las personas con discapacidad visual, especialmente de los que presentan ceguera total.”<sup>5</sup>* (De Ascencao , y otros, 2013). Es así que se considera que cualquier información que llegue a través del tacto, ya sea vibración u otro tipo se considera percepción háptica.

---

<sup>5</sup> Ascencao , J., & Martínez , K. (2013). Desarrollo de un prototipo de bastón blanco electrónico destinado a orientar a personas invidentes en su entorno. Caracas: Universidad Nueva Esparta.

### 3.3 TIFLOTÉCNICA: SOLUCIONES DE ORIENTACIÓN Y MOVILIDAD

La tiflotécnica es el conjunto de ayudas técnicas destinadas a que personas con deficiencias visuales consigan una mejor calidad de vida, centrada en autonomía y facilidad para el desenvolvimiento en su vida diaria. (Loyola, y otros, 2011)

Las personas con ceguera total y con discapacidad grave de la visión, utilizan diversos métodos para desplazarse y orientarse en ambientes tanto conocidos como desconocidos, entre los que se destacan: el perro guía, la técnica de rastreo, la técnica de objetos caídos, los puntos de referencia y el bastón blanco.

#### 3.3.1 Perro Guía.

Conocido también como lazarillo esta técnica es poco usada debido a que presenta desventajas significativas comparadas con el bastón blanco. Uno de los principales problemas es el costo económico de adquisición, entrenamiento y mantenimiento es alto. Además su uso resulta complicado en medios urbanos y genera dependencia. Entre las ventajas que con lleva tener un perro guía se encuentra la eficaz en medios rurales y que la movilidad es por lo general más rápida.

**Figura 3.** Perro Guía.



Fuente: imagen tomada de internet, disponible en <http://miperroesunico.com/content/como-actuar-con-los-perros-guia>

Una particularidad que presenta esta solución es que no es un medio recomendable para cualquier usuario ya que la persona debe ser adolescente o adulta, poseer buena salud, buen oído, inteligencia normal, temperamento y estabilidad emocional como para mantener una adecuada relación con el perro. Los niños carecen de la madurez necesaria y una persona anciana no posee la fuerza física para dominar al animal, que por otra parte requiere cuidados especiales.

El perro guía se convierte así en los ojos de su amo ciego (Ayala, 2011). Los perros se terminan aprendiendo los caminos más habituales utilizados por las personas ciegas, pero esto no implica la desatención en el camino de las personas que son guiadas, como dejar de contar cuadras o descuidar señales auditivas al cruzar calles. Las razas de perros son muy importantes para un desplazamiento adecuado entre las cuales se encuentran labrador, golden retriever y pastor alemán. (Hersh, y otros, 2010)

### **3.3.2 Técnica de rastreo.**

Se la conoce como técnica de seguimiento al tacto, técnica de deslizamiento con la mano o técnica de arrastre. Por lo general es la primera que se enseña en un proceso de entrenamiento. Permite a la persona desplazarse siguiendo una línea de referencia (como una pared o una mesa). Consiste en llevar el brazo más cercano a la línea guía unos 30 cm. por delante del cuerpo, a la altura de la cadera de modo que el dorso de la mano roce la pared u otra referencia. Los dedos deben estar semiflexionados a fin de evitar golpes o lastimaduras. (Palermo, 2011)

**Figura 4.** Persona aplicando técnica rastreo.



Fuente: <http://documents.nationaldb.org/products/o&m-span.pdf>

Con esta técnica puede invitarse al alumno a reconocer un lugar interior (como puede ser el centro de rehabilitación). En un principio deberá usarla casi permanentemente para luego hacerlo sólo cuando lo necesite. Es técnica es para uso en interiores mas no en exteriores.

### **3.3.3 Técnica de objetos caídos.**

Con esta técnica las personas que poseen ceguera congénita o adquirida deben utilizar diversos sentidos en especial el de la audición para escuchar cuando el objeto caiga en el piso. La técnica consiste en esperar que el objeto termine de caer y estar atento a los sonidos producidos, para después trazar un mapa mental de la ubicación del objeto y con esto establecer una ruta a seguir en la búsqueda del objeto.

Las personas que sufren ceguera reciente se pueden desesperar al escuchar que un objeto se cae y por con siguiente hacer movimiento bruscos posibilitando que se golpe con mesas, sillas u otros objetos causándoles heridas ya sean físicas o morales.

Según la Organización Nacional de Ciegos de España (ONCE), la forma correcta de buscar un objeto es agacharse con la espalda recta y con la mano protegiendo la cabeza. Una vez en el piso, realizar movimientos exploratorios concéntricos, con ambas manos, comenzando por la zona más cercana al cuerpo para luego alejarse. Algunas personas prefieren realizar movimientos laterales con ambas manos procurando que cada movimiento cubra más superficie que el anterior.

### **3.3.4 Puntos de referencia.**

La técnica de puntos de referencias es la herramienta más útil que posee una persona con discapacidad visual, se debe esencialmente a que con esta técnica la persona se ubica con respecto a un entorno conocido previamente.

Al igual que una persona con visión normal la cual utiliza su vista para guiarse y saber dónde se encuentra una persona ciega lo hace, pero con la ayuda de otros sentidos. Entre los sentidos utilizados se encuentra el de la audición, con el la persona puede saber si está cerca de una calle por el sonido de los carros, también se puede utilizar el olfato para determinar si está en la cocina, cuarto o baño.

## **3.4 ESTADO DE ARTE DEL BASTÓN BLANCO**

El bastón es una herramienta de movilidad y orientación con la cual la persona discapacitada puede extender sus sentidos del tacto ya que posibilita sentir a la persona las condiciones del terreno que se encuentra delante de este.

El bastón ha sido utilizado por siglos como herramienta para la movilidad de ancianos, invidentes o personas con problemas que ameritan de un apoyo adicional a sus extremidades inferiores para desplazarse. Actualmente el bastón



blanco es la principal ayuda de las personas con discapacidad visual, dado que es muy útil y económico en comparación con su principal competencia (perros guías).

La historia del bastón blanco se remonta a 1921 cuando James Biggs un fotógrafo de Bristol, Inglaterra, quien había perdido la visión en un accidente de tránsito, decidió pintar su bastón de blanco para ser visible fácilmente por transeúntes y conductores. En febrero de 1931 Guilly d'Herbemont presento el proyecto promoviendo el uso de bastones blancos para las personas con discapacidad visual en Francia, esta campaña fue publicada en la prensa británica y auspiciada por grupos rotatorios a lo largo de todo el reino unido. En mayo de ese mismo año la BBC (British Broadcasting Corporation) propuso que todas las personas invidentes o que tuvieran alguna discapacidad visual, debían tener un bastón blanco como símbolo universal de poseer algún tipo de discapacidad visual. (Philip, 2009)

Por otra parte en Estados Unidos en 1930 un Miembro del Club de leones observaba un ciego llevar un bastón color negro lo que lo hacía poco notable por conductores y personas a su alrededor, dado a estas circunstancias, el club de leones decidió pintarlos de color blanco, luego, en 1931 el club iniciaría una campaña nacional promoviendo el uso de este por parte de los discapacitados.

Posteriormente a esto el bastón blanco fue abriéndose camino en las políticas de gobierno en diferentes Estados. El primer decreto fue establecido en Diciembre de en 1930 en Peoria, Illinois, este concedía protección a los peatones invidentes y ceder el carril derecho del camino a quienes portaran un bastón blanco. Luego el estado de Michigan en 1935 se empezó a promover el uso de la herramienta como símbolo de ceguera, en 1936 en la ciudad de Detroit se estableció el decreto reconociendo el bastón blanco, al igual que en estos, los demás estados fueron instituyendo leyes en torno al bastón blanco y la discapacidad visual.

El bastón blanco fue usado técnicamente hasta la segunda guerra mundial cuando los combatientes veteranos regresaban a América, debido a que este era utilizado siendo sujetado diagonalmente en una posición fija, lo que hacía que el bastón únicamente cumpliera el papel de identificador, el uso de este fue modificado con el propósito de ayudar a estas personas a tener un estilo de vida incluyente en su hogar. El Doctor Richard Hoover desarrollo la técnica de “bastón largo” o “Hoover”.

En los inicios de los años 60 varias organizaciones y agencias de rehabilitación de Ciegos y ciudadanos con discapacidad visual de los Estados Unidos, instaron al congreso a proclamar el 15 de Octubre como el “*White Cane Safety Day*” en todos los Estados de ese país. El 6 de octubre de 1964 en la resolución HR 753 del congreso de los Estados Unidos decretó lo solicitado por estas organizaciones. En ese entonces el presidente era Lyndon B. Jonhson quien paso a la historia por esta acción. Luego en 1969 “*The international Federation of the Blind*” adoptaría el 15 de octubre como “*White Cane Safety Day*”. (Philip, 2009)

Con la utilización del bastón blanco el cual es largo, liviano, se pone en práctica la técnica de Hoover que permite a los discapacitados visuales desplazarse de forma autónoma y segura. (Unión Latino Americana de Ciegos, 2000)

La técnica de desplazamiento de Hoover indica que el bastón debe cogerse con toda la mano y utilizando el dedo índice a lo largo de este para que se convierta en una extensión del brazo. La ubicación con respecto al cuerpo, debe ser al frente, en la mitad del cuerpo, con el brazo extendido. Para la detección se debe realizar un arco del ancho de los hombros, con un toque a cada lado del cuerpo. Y finalmente lo se mueve la muñeca, para avanzar se debe ir alternando la posición de los pies y del bastón, lo que quiere decir es que al avanzar con el pie derecho el bastón debe estar tocando el lado izquierdo y así sucesivamente. (LaGrow, y otros, 1997)

### 3.4.1 Tipos de bastón blanco.

Existen diversos tipos de bastones blancos con los que una persona se puede desplazar, cada uno de estos bastones tiene diferentes aplicaciones. Los bastones blancos pueden ser largos, de apoyo, de guía, de identificación. En este documento se considera que los bastones para niños no entran en todas los tipos.

- Bastón largo: es el tradicional bastón blanco o de Hoover, el Dr. Richard Hoover lo diseñó con el propósito de ser una herramienta de movilidad para detectar objetos en el camino de un usuario. Con base a la estatura de la persona se puede elegir la longitud del bastón el cual va des el suelo hasta la altura del esternón. Este bastón es usado para desplazamiento en zonas desconocidas, brindando una medida de protección adicional al detectar como mucha más anticipación los objetos.
- Bastón de guía: el bastón es más corto que el tradicional, la longitud de este bastón va desde el suelo hasta la altura de la cintura de la persona, tiene objetivo primordial detectar bordillos, huecos y desniveles. Tiene una función de movilidad más limitada. También utilizado como sistema de protección en forma diagonal ubicado en la parte frontal de la persona.
- Bastón de identificación: Como el nombre lo indica este tipo de bastón sirve para identificar el tipo de discapacidad que posee la persona, distinguiéndolos si tiene ceguera o sordo-ceguera. Estos bastones son más ligeros y tienen la misma longitud que los bastones de guía y su función como herramienta de movilidad es limitada.
- Bastón de soporte: este tipo de bastón sirve como facilitador para la estabilidad física de aquellas personas que además de ser no poder ver tienen problemas de normal movilidad.

### 3.4.2 Ayudas electrónicas de movilidad ETAs (Electronics Travel Devices).

EL desarrollo de dispositivos electrónicos como ayuda de movilidad para personas invidentes inicio a partir de los años 40s, los ETA (Electronic Travell Aids) por sus siglas en inglés, son otra herramienta diferente o complementaria a las ya mencionadas. (The Impact of Electronic Mobility Devices for Persons Who Are Visually Impaired: A Systematic Review of Effects and Effectiveness, 2009)

#### 3.4.2.1 Tactile feedback navigation handle for the visually impaired.

Figura 5. Dispositivo de retroalimentación táctil de mano.



Fuente: Bouzit, Chaibi, De Laurentis, & Mavroidis, 2004

El dispositivo desarrollado por Bouzit, usa 4 sensores que detectan obstáculos en cuatro direcciones distintas (Derecha, Izquierda, Arriba y Abajo). En la parte de sujeción posee un arreglo 4x4 de actuadores que corresponden a cada falange de la mano del usuario que lo sujeta. (Tactile feedback navigation handle for the visually impaired, 2004)

### 3.4.2.2 Miniguide.

Figura 6. Miniguide.



Fuente: Página Web GDP-Research, tomado de: [http://www.gdp-research.com.au/minig\\_1.htm](http://www.gdp-research.com.au/minig_1.htm)

Miniguide fue diseñado para ser usado como complemento de las herramientas usadas por las personas invidentes tal como el bastón o perro guía, con el fin de facilitarles la detección de obstáculos. Este dispositivo consta de un sensor de ultrasonido, el cual mide la distancia de objetos presentes en el camino o dirección en la cual apunta, de acuerdo con esta información emite una señal vibratoria que el usuario debe interpretar como prevención, la distancia a la que se detecta el objeto y enviar la alerta al usuario puede ser configurada mediante un botón en rangos que corresponden a cincuenta centímetros, uno, dos, cuatro y ocho metros de distancia.

El Miniguide se puede llevar en la mano o en caso de usar bastón, es posible fijarlo mediante una base. El dispositivo tiene unas dimensiones de 38 mm de largo, 38 mm de ancho y 23 mm de alto, es alimentado por una batería de ion de litio cuya duración varía de acuerdo a la demanda del dispositivo. (GDP Research)

### 3.4.2.3 Bat k-sonar.

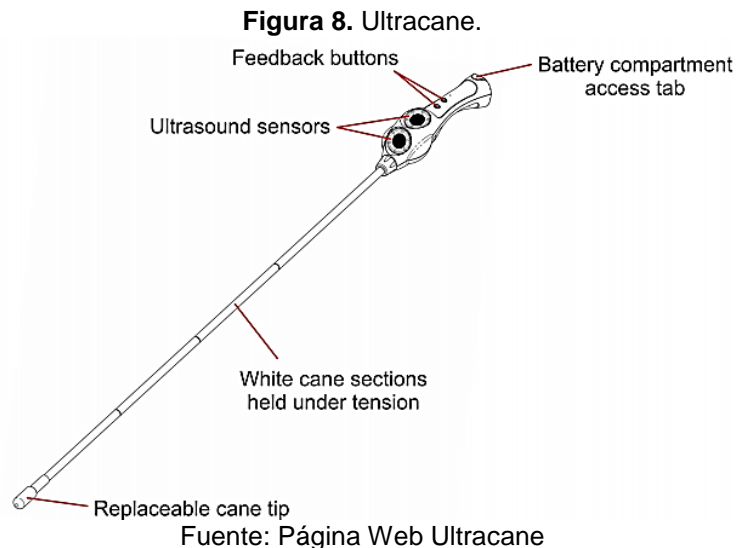
Figura 7. Bat K-Sonar.



Fuente: Manual de Usuario Bat K-Sonar, tomado de: <http://www.ksonar.com/manual.pdf>

El K-Sonar es un dispositivo que utiliza las ondas de ultrasonido como medio de obtener información del entorno, puede ser usado instalado en el mango del bastón o llevarlo en la mano apuntando hacia donde desea explorar, trabaja con dos rangos de detección (16.5 ft y 6.5 ft) configurables mediante uno de sus botones. Se diferencia de otros equipos debido a que la señal de retroalimentación es recibida por el usuario mediante auriculares, por medio de los cuales escucha sonidos característicos que dependen de la distancia a la que sean detectado los objetos, el volumen del sonido puede controlarse gracias a dos botones que suben y bajan el nivel de este. (K-Sonar, 2006)

### 3.4.2.4 Ultracane.



Ultracane es una de las principales ayudas electrónicas que se comercializan en la actualidad, se trata de un bastón blanco equipado con sensores ultrasónicos en la parte anterior integrados en la misma estructura, este dispositivo trabaja con dos rangos de detección diferentes, que permiten al usuario seleccionar la distancia a la cual desea ser prevenido de obstáculos presentes en el camino. (Ultracane)

En el instante en el que se detecta un obstáculo el usuario es alertado mediante dos botones ubicados en la parte superior como se nota en la Figura 8 indicando la ubicación del mismo (Arriba o enfrente). En cuanto a la fuente de energía el dispositivo es alimentado por dos baterías AA, su carga es monitoreada, cuando está llegando a su fin, se emiten sonidos solicitando el remplazo de las mismas. Ultracane es plegable similar a los bastones tradicionales lo que facilita su portabilidad.

El uso de dos sensores de este dispositivo brinda mayor cobertura en la exploración del entrono por ende mayor seguridad al momento de caminar, este aspecto se tendrá en cuenta para cumplir el objetivo principal de este proyecto.

#### 3.4.2.5 Isonic.

Figura 9. iSonic.



Fuente: Página Web Primpo Co., Ltd. Tomado de:  
[http://primpo.en.ec21.com/Electronic\\_Cane\\_for\\_Blind\\_Person--4374402\\_4374414.html](http://primpo.en.ec21.com/Electronic_Cane_for_Blind_Person--4374402_4374414.html)

iSonic es un bastón blanco electrónico equipado con dos transductores de ultrasonido, encargados de recopilar información acerca de la distancia de los objetos presentes en el camino, en un rango de 200 cm de distancia con una cobertura de 50 y 25 grados verticales y horizontales respectivamente. El dispositivo además es capaz de identificar el color de objetos e informarle al usuario mediante mensajes de voz, ocurre lo mismo con el nivel del brillo del ambiente. (Primpo Co.,Ltd.)

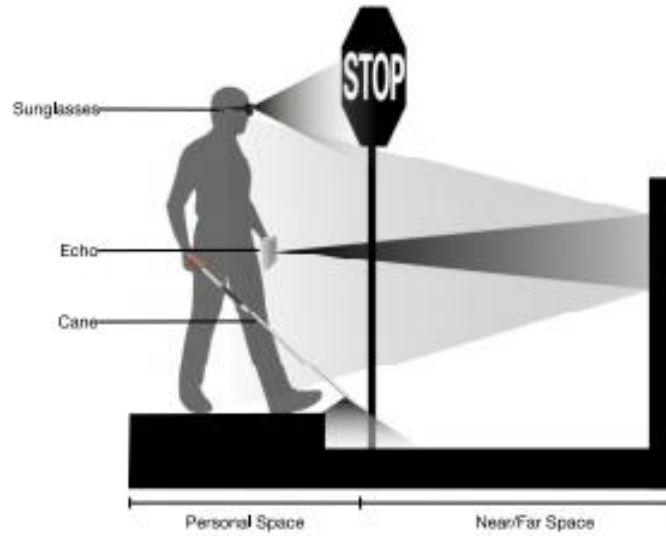
#### 3.4.2.6 Mobifree.

MobiFree es un sistema equipado de un bastón, gafas y MobiFree Echo, el sistema fue diseñado para la detección de obstáculos enfrente y por encima de la muñeca del usuario.

El MobiFree Echo se encarga de la detección de obstáculos enfrente; es portado por el usuario en la mano contraria a la que manipula el bastón, las gafas equipadas con el mismo sistema del bastón detecta obstáculos a nivel de la cabeza como se ve en la Figura 10. (MobiFree: A Set of Electronic Mobility Aids for the blind, 2012)



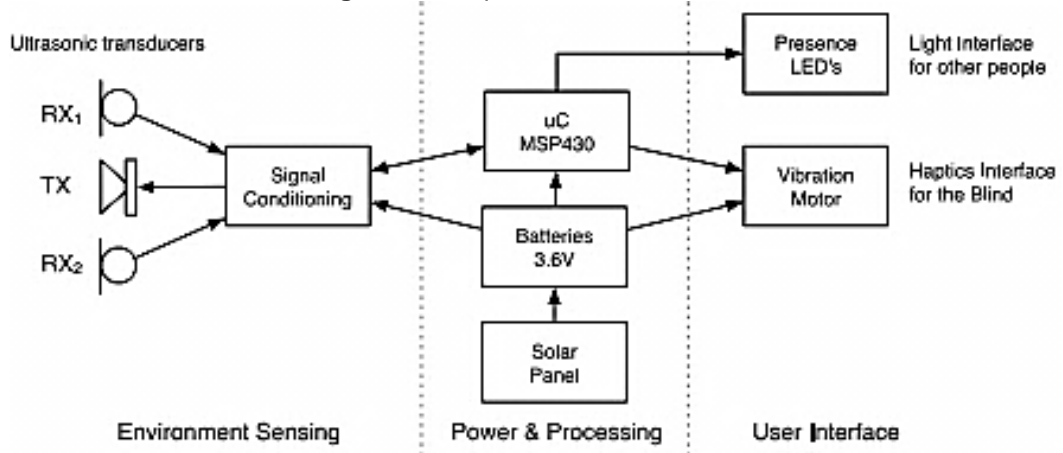
**Figura 10.** Espacios de detección de MobiFree.



Fuente: Lopes, Vieira, F., Rosa, & Dias, 2012

La Figura 11 muestra la arquitectura del dispositivo, consta de dos sensores ultrasónicos; para la detección de los obstáculos, un microcontrolador MSP430, para la interacción con el usuario y personas que se encuentran alrededor, cuenta con motores de vibración y LEDS que sirven para alertar a las personas alrededor del usuario; encienden cuando hay oscuridad siendo esto de gran importancia para que por ejemplo los conductores puedan tener visible a estas personas.

**Figura 11.** Arquitectura de MobiFree.



Fuente: Lopes, Vieira, F., Rosa, & Dias, 2012

### 3.5 MICROCONTROLADORES

Un Microcontrolador es un pequeño circuito integrado programable que contiene los elementos necesarios para realizar tareas repetitivas, estos son utilizados desde hace mucho tiempo en dispositivos como celulares, televisores, neveras etc debido a su reducido tamaño y bajo costo. (Valdés Pérez, y otros, 2007) Los microcontroladores poseen una serie de elementos que le permiten realizar las tareas designadas. Los elementos de esta estructura se dividen en:

- **Memoria del programa:** guarda el código del programa, es de tipo no volátil, significa que la información no se perderá aunque no tenga corriente.
- **Memoria EEPROM:** guardar información que es utilizada en cada ejecución del programa, de tipo no volátil.
- **Memoria RAM:** Esta memoria esta destina a almacenar variables y datos necesarios durante la ejecución de algún proceso. Es de tipo volátil.
- **CPU:** El procesador está encargado de ejecutar instrucciones programadas.
- **Módulos:** Son características especiales que posee un microcontrolador, estos pueden ser: convertidor A/D, drivers para motores, comunicación USB, comunicación I2C, comparadores, interrupciones, etc.
- **Puertos de entrada y salida:** Sirven en la interacción entre Microcontrolador con el medio exterior. Cada puerto en un Microcontrolador posee características especiales, con pines que cumplen funciones específicas.

### 3.6 ARDUINO

Arduino llega del desarrollo de la computación física, que es la creación de interfaces que sirven para la interacción entre computadores y el mundo físico, mediante la utilización de microcontroladores y de periféricos como sensores y actuadores, la definición más aceptada por la comunidad académica es:

*“La computación física se refiere a la construcción de sistemas físicos interactivos, utilizando una combinación de hardware y software que puede detectar información del mundo real y responder a ella. Esto incluye proyectos que utilizan sensores y microcontroladores para ingresar información analógica en un software o para controlar dispositivos eléctricos y mecánicos u otro tipo de hardware.”<sup>6</sup>*

Arduino es una plataforma de hardware y software libre, haciendo que el costo de la tarjeta se bajó, convirtiéndose así en una de las placas de computadora o SBC por sus siglas en inglés (Single Board Computer) más utilizadas. El hardware está basado en microcontroladores Atmel AVR, los más usados son el Atmega168, Atmega328, Atmega1280, ATmega8. Por otro lado el software utiliza el lenguaje de programación Processing/Wiring que está basado en Java, haciéndolo ideal para implementación en proyectos complejos, el software fue diseñado para que pudiese trabajar en todas las plataformas informáticas como MacOSX, Windows y GNU/Linux. (ARDUINO)

El entorno de desarrollo integrado (IED) que utiliza Arduino está pensado tanto para ingenieros como para personas con poca experiencia en la programación. Los programas que se escriben en Arduino se hacen en C o C++.

---

<sup>6</sup> Experientia. (s.f.). Services: Prototyping: physical-computing. Recuperado el 17 de Diciembre de 2014, de Sitio web de Experientia: <http://www.experientia.com>

El escoger Arduino implica una serie de ventajas frente a otras placas, entre las que se destacan el tamaño reducido como se aprecia en la Figura 12, además de ser multiplataforma estableciendo una gran diferencia con otras placas que por lo general solo trabajan con Windows, posee un entorno de programación de fácil, pero la principal ventaja es Arduino es de código abierto tanto de software como de hardware lo que brinda la posibilidad de construir o reestructurar la placa. (ARDUINO)

**Figura 12.** Imagen de un Arduino UNO



Fuente: Pagina web Arduino. Tomado de: [www.arduino.cc](http://www.arduino.cc)

La marca Arduino tiene una gran variedad de placas de computación física las cuales tienen diferentes características y enfoques, a continuación solo se mencionaran los nombres de cada placa.

**Tabla 4.** Comparación de características de diferentes placas de ARDUINO

Nombre	Procesador	Voltaje de		Reloj [MHz]	Pines analógicos		Pines digitales		RAM [KB]	EPROM [KB]	Flash [KB]
		operación	entrada		in	out	IO	PWM			
Uno	ATmega328	5	7-12	16	6	0	14	6	1	2	32
Due	AT91SAM3X8E	3.3	7-12	84	12	2	54	12	-	96	512
Leonardo	ATmega32u4	5	7-12	16	12	0	20	7	1	2.5	32
Mega 2560	ATmega2560	5	7-12	16	16	0	54	15	4	8	256
Mega ADK	ATmega2560	5	7-12	16	16	0	54	15	4	8	256
Micro	ATmega32u4	5	7-12	16	12	0	20	7	1	2.5	32
Mini	ATmega328	5	7-9	16	8	0	14	6	1	2	32
Nano	ATmega168	5	7-9	16	8	0	14	6	0.512	2	16
	ATmega328								1	1	32
Ethernet	ATmega328	5	7-12	16	6	0	14	4	1	2	32
Esplora	ATmega32u4	5	7-12	16	-	-	-	-	1	2.5	32
ArduinoBT	ATmega328	5	2.5-12	16	6	0	14	6	1	2	32
Fio	ATmega328P	3.3	3.7-7	8	8	0	14	6	1	2	32
Pro (168)	ATmega168	3.3	3.35-12	8	6	0	14	6	0.512	1	16
Pro (328)	ATmega328	5	5-12	16	6	0	14	6	1	2	32
Pro Mini	ATmega168	3.3	3.35-12	8	6	0	14	6	0.512	1	16
		5	5-12	16							
LilyPad	ATmega168V	2.7-5.5		8	6	0	14	6	0.512	1	16
	ATmega328V										
LilyPad USB	ATmega32u4	3.3	3.8-5	8	4	0	9	4	1	2.5	32
LilyPad Simple	ATmega328	2.7-5.5		8	4	0	9	4	1	2	32
LilyPad Simple Snap	ATmega328	7-5.5		8	4	0	9	4	1	2	32
Yun	ATmega32u4	5		16	12	0	20	7	1	2.5	32

Fuente: Pagina web Arduino. Tomado de: <http://arduino.cc/en/Products.Compare>

### **3.7 EL SONIDO**

El sonido son ondas que transmiten energía debido a las vibraciones de partículas de forma ordenada, por lo cual para que se pueda propagar el sonido se necesita un medio ya sea un fluido o un sólido; el sonido no se puede propagar en el vacío.

La velocidad del sonido depende de las propiedades físicas del medio en el que se desplace, como la densidad, la temperatura, la humedad y la humedad, en el caso del aire. La densidad es la relación en la cantidad de masa en un volumen, en un medio gaseoso se presenta poca masa en un gran volumen, esto significa que las partículas están alejadas unas de otras afectando la transmisión de la onda lo cual brinda una menor velocidad que un sólido o un líquido. La temperatura afecta en menor grado la velocidad, si se calienta cualquier estado de la materia, sea un sólido o un fluido, se está agregando energía a las partículas provocando movimientos más rápidos de dichas partículas. La velocidad del sonido en el aire con una temperatura de 0 °C es de 331.3 m/s. (Kane, y otros, 1989)

El oído del ser humano no puede oír todos los sonidos, solo puede escuchar sonidos en el rango de los 20 Hz hasta los 20 KHz, a esta región también se le conoce como región audible. Los sonidos que están por fuera de este rango son los infrasónicos, están por debajo de los 20 Hz, y los ultrasónicos, están por encima de los 20 KHz. (Wilson, y otros, 2003)

#### **3.7.1 Sensor Ultrasónico.**

También conocido como sonar, su funcionamiento se basa en la emisión mediante un transmisor de ondas de sonidos de alta frecuencia, frecuencias que superan los 20 KHz. Dependiendo del tiempo que demore la señal en retornar al receptor se calcula la distancia mediante la utilización de la Ecuación 1.

**Ecuación 1.** Cálculo de la distancia utilizando el sonido

$$d = \frac{1}{2} V \cdot t$$

El sonido es una onda que necesita un medio físico para poder transportarse. En el caso del sensor ultrasónico el medio a utilizar es el aire, este se puede ver afectado por factores físicos como la temperatura, esto influye directamente la densidad del aire, lo cual puede ocasionar repercusiones sobre la velocidad de la onda de sonido dando una lectura errónea, para evitar este error, la Ecuación 2 relaciona la temperatura con la velocidad del sonido. Donde  $V$  es la velocidad del sonido a  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  y  $T$  la temperatura del aire en el momento de la medición.

**Ecuación 2.** Velocidad del sonido dependiendo de la temperatura

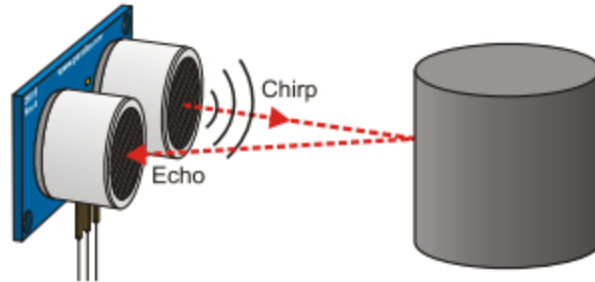
$$V = V_{abs} \sqrt{1 + \frac{T}{273}}$$

Los sensores ultrasónicos en robótica poseen tres diferentes propósitos: evasión de obstáculos, en el cual solo se necesita conocer la distancia a la que se encuentra el objeto para la toma de decisiones; mapeo por sonar, donde no solo interesa la distancia a la que se encuentre el objeto sino la relación de distancia con diferentes objetos para trazar un mapa del ambiente; y reconocimiento de objetos, en la cual se procesan secuencias de ecos para clasificar un objeto basándose en la respuesta al sonido. (Madulika, y otros, 2013)

La reflexión como efecto sonoro hace que los sonidos reboten al encontrarse con un objeto como consecuencia se produce una pérdida de intensidad, haciendo que se aumente la distancia. El sonido posee también un efecto llamado eco este se produce cuando se escucha el mismo sonidos varias veces separados por una intermitencia entre sí, en pocas palabras es la percepción de la reflexión. El sensor

se basa en estos principios, este posee un emisor de sonidos ultrasónicos y de un receptor llamado echo, ver Figura 13. (Burbano, y otros, 2003)

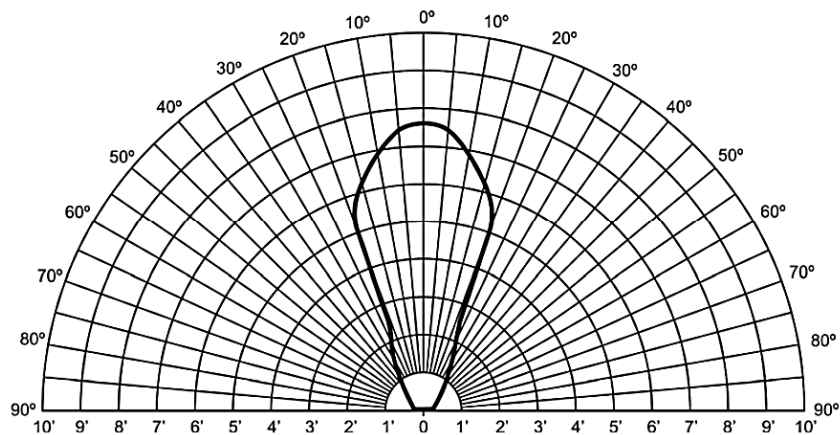
**Figura 13.** Sensor ultrasónico en funcionamiento



Fuente: página web de Parallax, tomado de: <http://www.parallax.com/>

Los fabricantes de sensores ultrasónicos brindan información relacionada con la distancia de detección de objetos y del ángulo, utilizando un grafica parecida al patrón de radiación, ver Figura 14, pero relaciona el ángulo de detención con la distancia, todos los sensores ultrasónicos tienen su cono de detección.

**Figura 14.** Patrón de detección de un sensor ultrasónico



Fuente: página web de Parallax, tomado de: <http://www.parallax.com/>



### 3.8 BLUETOOTH

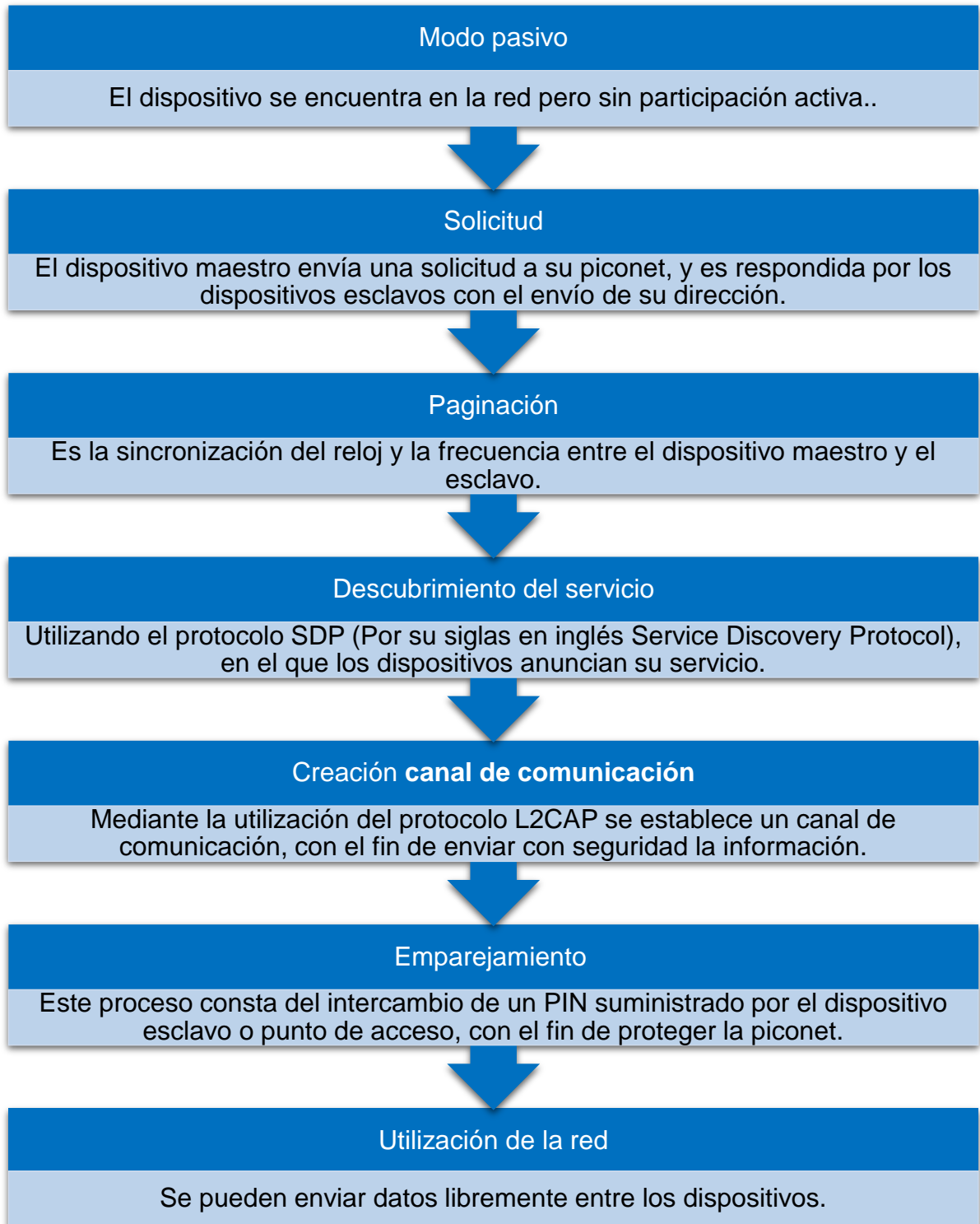
Bluetooth es un estándar de comunicación del tipo WPAN (Redes Inalámbricas de Área Personal), en esta red también se encuentra la tecnología de comunicación de infrarrojo que brinda una mayor seguridad y una mayor velocidad de transmisión de datos, mediante la utilización del protocolo VFIR (Very Fast Infrared), llegando hasta los 16 Mbps muy superior a los 721 Kbps del Bluetooth. Pero el estándar Bluetooth tiene características superiores en cuanto a distancia, pueden alcanzar los 30 metros dependiendo de la antena, a su vez es omnidireccional lo cual implica que no es necesario una línea de vista para la transmisión de datos. (Hernandez)

El modo de operación del Bluetooth es mediante maestro/esclavo, un dispositivo con Bluetooth puede llegar a generar una red con otros dispositivos que se encuentren dentro del rango de alcance de la antena, a esto se le conoce como piconet. Al conectar dos piconet se crea una red más amplia llamada scatternet. (Kioskea, 2013)

El estándar Bluetooth trabaja en la banda de ultra altas frecuencias, específicamente entre los 2.4 GHz y los 2.485 GHz, funciona al igual que el WiFi, utilizando el Espectro ensanchado por saltos de frecuencia o FHSS (por sus siglas en inglés, Frequency Hopping Spread Spectrum), Bluetooth divide el espectro de 79 canales o saltos de 1 MHz de ancho y utiliza una secuencia de canales conocida tanto por el maestro como el esclavo. Para evitar interferencia con señales de radio el estándar hace 1600 saltos por segundo. (Hernandez) (Kioskea, 2013)

Para establecer una conexión entre dos dispositivos mediante Bluetooth, este realiza una serie de pasos, ver Figura 15.

**Figura 15.** Modo de conexión de dispositivos Bluetooth



Fuente: los autores.

### 3.9 INTERFAZ HÁPTICA

En este documento se hablado del Physical Computing o Computación física, que se refiere a la construcción de sistemas físicos que permiten la interacción entre el mundo real y el digital, esta interacción ser hace mediante la combinación de hardware y software, tomando información de aspectos físicos como temperatura, presión, humedad entre otros y respondiendo a esto. En pocas palabras el computador detecta los estímulos físicos y reacciona ante estos. Una interfaz háptica es un tipo de computación física pero funciona de manera contraria, en este caso es el computador el que genera el estímulo y quien percibe este es el hombre.

Las interfaces hápticas son de mucha ayuda en procesos de la vida cotidiana, donde las personas necesitan estímulos como vibraciones para interactuar de mejor forma con su entorno, como es el caso de las personas con discapacidad visual. Otro ejemplo de interfaz háptica puede ser la simulación de presionar un botón en una pantalla táctil, mediante vibración. (Zenteno Jiménez, 2013)

La interfaz háptica se llega confundir con vibraciones de alerta debido a que ambas utilizan la vibración para trasmitir un información hacia el usuario, la diferencia entre estas dos radica en la complejidad de las vibraciones mientras que las vibraciones de alerta solo son vibraciones simple, la interfaz háptica posee una diversidad de vibraciones avanzadas que sirven para trasmitir información al usuario. (Precision Microdrives Limited)

### 3.9.1 Motores eléctricos de vibración.

Un motor eléctrico convierte la energía eléctrica en movimiento mecánico. Los motores de vibración son un tipo de motor que producen diversos tipos de vibraciones, son usualmente utilizados en interfaces hápticas, como celulares, controles de juego, pantallas táctiles, juguetes entre otros. La vibración en un motor comercial mayormente es causada mediante la utilización de una carga no uniforme en su eje, desbalanceando el motor y provocando que comience a vibrar, pero además se puede controlar las vibraciones variando la frecuencia, esto sistemas son utilizado para producir vibraciones con ciertas características de sonido.

**Figura 16.** Micromotor eléctrico de vibración con carga excéntrica



Fuente: tomado de internet en <http://www.precisionmicrodrives.com/>

La utilización de vibradores en ciertos dispositivos puede marcar la diferencia con otros productos, dándole un valor agregado, ya que no es lo mismo un celular o una palanca de juego sin vibrador.

#### 4 MARCO LEGAL

Los derechos y consignas que se establecen en los documentos internacionales contienen un planteamiento específico de los derechos de las personas con alguna discapacidad vigente, así como los derechos de los estados y de la sociedad en general. Cabe destacar que estos lineamientos no son de carácter obligatorio, pero son las bases para que los estados hagan sus propias legislaciones y lineamientos. (Vicepresidencia de la Republica) (Consejería Presidencial para la Política Social, 2002)

La Organización de las Naciones Unidas junto con la OMS han establecidos normas regulatorias con respecto al buen vivir de las personas con discapacidad. Con la declaración universal de los derechos humanos se cobija a todas las personas sin importar sus condiciones de discapacitado o no. Siguieron haciéndose declaraciones específicas sobre los derechos de los discapacitados, es así que en 1975 se emite la Declaración de los Derechos de los Impedidos, posteriormente se emite una declaración sobre las Personas Sordo-Ciegas en 1979.

La ONU estable un programa de Acción Mundial para las Personas con Discapacidad en la que se señalan objetivos que tienden a una noción integral para la comprensión y manejo de la discapacidad y presenta un marco para la comprensión y manejo de la discapacidad. Por otro lado con la en América se comenzó a trabajar por este sector de la sociedad en la convención Interamericana para la Eliminación de Todas las Formas de Discriminación Contra las Personas con Discapacidad y es así que en 1992 se declara en Cartagena “Sobre Políticas Integrales para las Personas con Discapacidad en el Área Iberoamericana”. Posteriormente en el 2000 se da una Declaración titulada “La Discapacidad un Asunto de Derechos Humanos: El Derecho a la Equiparación de

Oportunidades y el Respeto a la Diversidad”, en la cual se avanza significativamente en reconocer a este grupo de personas y la necesidad de que los gobiernos y la sociedad le brinden garantías en la protección y respeto de sus derechos a la salud, educación, cultura, trabajos, recreación y deporte.

La ONU aprueba La Convención sobre los Derechos de las Personas con Discapacidad (CDPD) de 2006, donde se pretende “promover, proteger y asegurar el goce pleno y en condiciones de igualdad de todos los derechos humanos y libertades fundamentales por todas las personas con discapacidad, y promover el respeto de su dignidad inherente”.

En Colombia con la llegada de la Constitución Política de 1991 se encuentran una serie de artículos que hacen mención expresa a la protección, atención, apoyo e integración social de las personas con discapacidad, estos derechos se encuentran vinculados por lo general a leyes para su cumplimiento, los siguientes son los derecho y leyes más importantes decretadas durante los últimos 23 años:

- Artículo 13: *“...El Estado protegerá especialmente a las personas que por su condición económica, física o mental, se encuentren en circunstancia de debilidad manifiesta y sancionará los abusos o maltratos que contra ellas se cometan”*. Además el artículo 47 dice *“El Estado adelantará una política de previsión, rehabilitación e integración social para los disminuidos físicos, sensoriales y psíquicos, a quienes se prestará la atención especializada que requieran”*. Debido a estos artículo de la carta constitucional se incluye en el artículo 12 de la Ley 335 de 1996 se establece que *“...Se deberá incluir el sistema de subtitulación o lengua manual para garantizar el acceso de este servicio a las personas con problemas auditivos o sordas”*, esta ley fue la que dio origen a la creación de los dos canales privados de televisión. Con la Ley 488 de 1998 el gobierno normas en materia tributaria y disposiciones fiscales con la cual se dispone que las entidades territoriales y en la cual bienes como

las impresoras braille, estereotipadoras braille, líneas braille, regletas braille, cajas aritméticas y de dibujo braille, máquinas inteligentes de lectura, elementos manuales o mecánicos de escritura del sistema braille, así como los artículos y aparatos de ortopedia, prótesis, artículos y aparatos de prótesis; todos para uso de personas, audífonos y demás aparatos que lleve la propia persona, o se le implanten para compensar un defecto o una incapacidad y bastones para ciegos aunque estén dotados de tecnología; se hallan excluidos del IVA y por consiguiente su venta o importación no causa el impuesto a las ventas.

- En base a lo dicho en el artículo 67 el que determina que la educación es un derecho de la persona el artículo 68 prevé: *“...La erradicación del analfabetismo y la educación de personas con limitaciones físicas o mentales,...son obligaciones especiales del Estado”*. Mediante la Ley 115 de 1994 “Ley General de Educación”. El Capítulo 1 del Título III (Artículos 46 a 49), Prevé la *“Educación para personas con limitaciones o capacidades excepcionales”*, la cual plantea que la educación para estos grupos *“...es parte integrante del servicio público educativo”*. (Art. 46), y que *“...el Estado apoyará a las instituciones y fomentará programas y experiencias orientadas a la adecuada atención educativa...”* (Art. 47). Es por ello que la Ley 119 de 1994, reestructura el SENA, en su Artículo 3º numeral 9, señalando que uno de los objetivos de este servicio debe ser el de *“Organizar programas de readaptación profesional para personas discapacitadas”*.

Así mismo la Constitución Política de Colombia define una serie de derechos fundamentales, sociales, económicos y culturales, que son de carácter universal y por tanto cubren a quienes presenten algún tipo de limitación o discapacidad. Entre ellos encontramos:

- Artículo 25: hace mención al trabajo como derecho y obligación social, que se debe dar bajo condiciones dignas y justas, junto con el Artículo 54 *“El Estado debe garantizar a los minusválidos el derecho a un trabajo acorde con sus condiciones de salud”*, hacen parte de los derechos de esta comunidad al trabajo digno. La Ley 443 de 1998 y sus decretos reglamentarios 1571 y 1572 de 1998 expiden normas sobre carrera administrativa y se dictan medidas que brindan igualdad de oportunidades al acceso de servicio público, en empleos de carrera administrativa, a aquellos ciudadanos que se encuentran limitados físicamente, con el fin de proporcionarles un trabajo acorde con sus condiciones de salud.
- Artículos 48 y 49: en los cuales se prescribe que la seguridad social es un servicio público, obligatorio y a la vez un derecho irrenunciable de todos los habitantes, además *“Se garantiza a todas las personas el acceso a los servicios de promoción, protección y recuperación de la salud...”*, regulándose con la Ley 361 de 1997 (Ley de Discapacidad) *“Por la cual se establecen mecanismos de integración social de las personas con limitación y se dictan otras disposiciones”* y la Ley 368 de 1997: *“Por la cual se crea la Red de Solidaridad Social...”*, que busca brindar un servicio de apoyo a las personas con alguna discapacidad, antes de esta ley la resolución 3165 de 1996 establece los lineamientos de atención en salud para las personas con deficiencias, discapacidades y minusvalías.
- Artículo 52: fija el derecho de todas las personas a la recreación y al deporte. La Ley 181 de 1995 *“Por la cual se dictan disposiciones para el Fomento del Deporte, la Recreación, el Aprovechamiento del Tiempo Libre y la Educación Física...”*. El Numeral 4 del Artículo 3 plantea como parte del objeto *“Formular y ejecutar programas especiales para la educación física, deporte y recreación de las personas con discapacidades físicas, síquicas, sensoriales...”*. En el año



2000 se crea el Sistema Deportivo Nacional de las personas con discapacidad y crea el Comité Paraolímpico Colombiano mediante la ley 582.

- Todo colombiano tiene derecho al acceso a la cultura, artículo 70. En el numeral 13 del Artículo 1º (Principios fundamentales) de la Ley 397 de 1997 se señala que el Estado, al formular la política cultural tendrá en cuenta y concederá *“especial tratamiento a las personas limitadas física, sensorial y psíquicamente...”*. E igualmente, en los Artículos 50 y 60, se fija que en los Consejos nacional, departamentales, distritales y municipales, habrá un representante de las agremiaciones culturales de discapacitados físicos, psíquicos y sensoriales.
- Ley 105 de 1993: *“Por la cual se dictan disposiciones básicas sobre el transporte...”*. *En los principios definidos en el Artículo 3º, plantea el acceso al transporte “ en el diseño de la infraestructura de transporte, así como en la provisión de los servicios de transporte público de pasajeros, las autoridades competentes promuevan el establecimiento de condiciones para su uso por los discapacitados físicos, sensoriales y psíquicos”*; y en lo que corresponde a subsidios, se posibilita el establecimiento de éstos a favor, entre otros, de las personas con discapacidad física.

El Instituto Nacional para Ciegos INCI que fue creado en 1955, lleva entendiendo a esta población durante 59 años, buscando su inclusión social y respeto de sus derechos. Entre una de sus funciones establecidas en el decreto-ley 369 de 1994 se encuentra *“supervisar y vigilar, en coordinación con los Ministerios de Educación Nacional, de Salud Pública, de Trabajo y Seguridad Social, el cumplimiento de los planes y programas intersectoriales destinados a propender los derechos consagrados en los artículos 13, 47, 54 y 68 de la Constitución Política en cuanto a los limitados visuales se refiere, y en general de las normas que se adopten en favor de los mismos y para la prevención de la ceguera.”*, esta

institución estatal también es la encargada de proponer los planes de desarrollo social así como de propender la efectividad de los derechos a la información y la circulación de los limitados visuales.

La Norma Técnica 4595 es de las trascendentales a lo que accesibilidad y escuelas se refiere, en esta se establece los requisitos para el planeamiento y diseño físico-espacial de nuevas instalaciones escolares, acogiendo los temas de accesibilidad, seguridad y comodidad, y dice que se deben brindar espacio tecnológicamente adecuados para comunidades con discapacidades.

En Colombia se declara el 3 de diciembre día nacional de las personas con discapacidad mediante el decreto 2381 de 1993. Actualmente la ley que rige a los discapacitados es la ley 1618 de 2013, también llamada Ley de discapacidad, que recopila y amplía las leyes sancionadas anteriormente, esta ley busca brindar el cumplimiento de los derechos en varios aspectos de las personas con alguna discapacidad como lo son la educación, salud, cultura, deporte entre otros, en la que se asignan recursos para esta población.

## 5 MARCO METODOLÓGICO

La metodología del trabajo de grado es de tipo descriptiva y experimental. Se realizó un análisis del desarrollo a lo largo de la historia, acerca de técnicas y tecnologías orientadas hacia las personas con discapacidad visual, con el fin de seleccionar los aspectos más relevantes y convenientes para alcanzar los objetivos propuestos. Posteriormente a esto se procedió a la selección y diseño de componentes que harían parte del prototipo a diseñar.

El proyecto consta de dos etapas principales, recolección y análisis de datos, y diseño del prototipo.

En la primera etapa de este proceso se pretende recolectar la mayor información posible suministrada por un grupo de personas invidentes, a las cuales se les cuestionara acerca de qué tipo de dificultades se les presentan al momento de desplazarse con la ayuda de su bastón, con el propósito de identificar las necesidades y requerimientos que ameritan ser solucionadas por el sistema a elaborar, además de revisiones bibliográficas como fuentes de información principal.

La segunda etapa de desarrollo del producto comprende todo el proceso de diseño del hardware y software del prototipo alfa, así como la puesta a prueba del desempeño del mismo para la recolección de información y la posterior realización de un prototipo beta.

## **5.1 MÉTODO DE ESTUDIO**

El método de estudio que se desarrollara es de tipo estructural y experimental, debido a que se llevará a cabo un análisis de toda la estructura del proceso, la interrelación de sus componentes y la funcionalidad de cada uno de ellos, buscando mediante una comprensión completa del funcionamiento del sistema, lograr mejoras en todo el sistema en general.

### **5.1.1 Recolección y análisis de datos.**

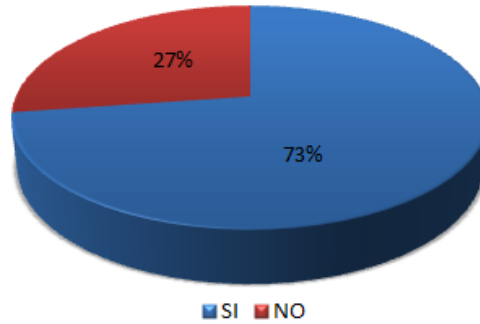
En la elaboración de un diseño que brinde un dispositivo confiable, fácil de usar y útil para las personas ciegas, se realizó una encuesta a este grupo de personas ciegas con el objetivo de conocer cuáles son sus necesidades, para tener un óptimo desplazamiento por entornos habituales y no habituales con la ayuda de dispositivos electrónicos.

Esta encuesta contó con 11 participantes, de los cuales tres eran mujeres, además se establecieron 3 rangos de edades, el primero de 0 a 20 años con 3 encuestados, de 21 a 60 años con 8 encuestados y el último rango son las personas con más de 60 años con 0 encuestados. Los encuestados se encuentran entre los estratos socioeconómicos 1 y 3.

La encuesta realizada consto de 6 preguntas con opción múltiple de respuesta, a continuación se presentará cada pregunta con el resultado obtenido.

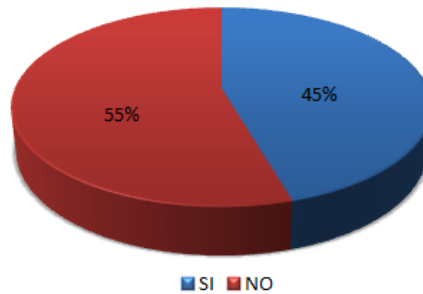
A la pregunta ¿Se siente usted cómodo y seguro utilizando el bastón blanco como método de desplazamiento?, se obtuvieron los resultados del Grafico 1

**Grafico 1.** Seguridad y comodidad del bastón blanco



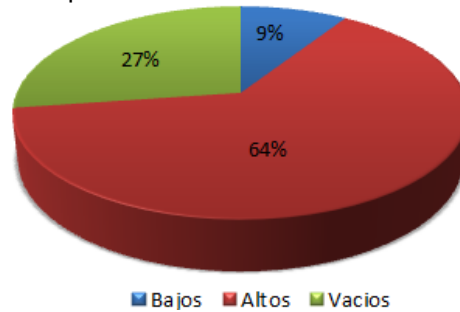
A la pregunta ¿Tiene usted algún tipo de problema al momento de identificar con el bastón blanco los obstáculos con los que puede golpear? se obtuvieron los resultados del Grafico 2

**Grafico 2.** Problemas al identificar obstáculos con el bastón



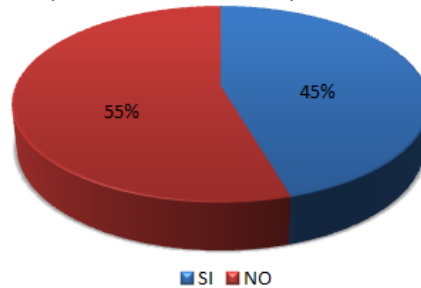
A la pregunta ¿Qué tipo de obstáculos se le dificulta identificar cuando utiliza el bastón blanco? se obtuvieron los resultados del Grafico 3

**Grafico 3.** Tipos de obstáculos de más difícil detección



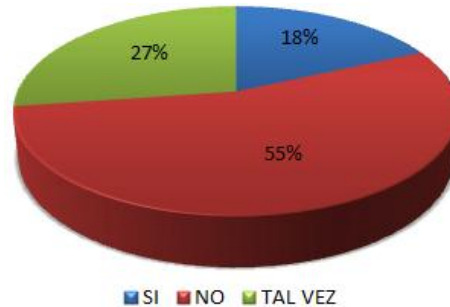
A la pregunta ¿Sale usted sin compañía a la calle? se obtuvieron los resultados del **Grafico 4**

**Grafico 4.** Independencia en el desplazamiento en la calle.



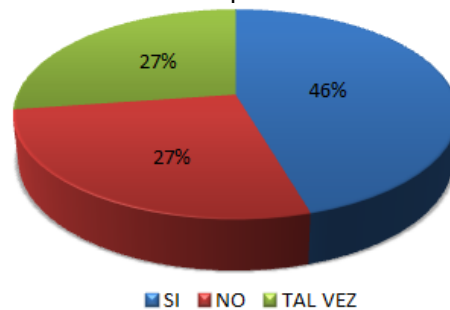
A la pregunta ¿Usaría usted un bastón blanco diferente al que dispone actualmente? se obtuvieron los resultados del **Grafico 5**

**Grafico 5.** Utilización de un bastón diferente al actual



A la pregunta ¿Usaría usted un dispositivo electrónico en su bastón blanco que lo ayude en su desplazamiento? se obtuvieron los resultados del **Grafico 6**

**Grafico 6.** Utilización de un dispositivo electrónico en el bastón



Al analizar los datos obtenidos de las encuestas se puede establecer que el 45% de las personas con discapacidad visual tienen problemas al detectar obstáculos que los puedan golpear, también se estableció que la mayoría de golpes se presentan en la parte superior del cuerpo debido a que el 64% se le dificulta la detección de obstáculos que se hallan altos, se consideran altos a aquellos obstáculos que se encuentran a más de un metro de altura del piso.

Aunque las personas con discapacidad visual se sienten seguras con el uso del bastón como herramienta para el desplazamiento, al momento de salir a la calle lo deben hacer acompañadas, la encuesta arrojó que el 56% de las personas no son capaces de salir solas a la calle, lo que implica una dependencia para poder movilizarse libremente.

Al preguntarle a las personas con discapacidad visual si estaban dispuestas a cambiar su bastón por otro con algunas mejoras el 55% dijo que no, esto se debe a que la mayoría de los encuestados, el 73%, se sienten seguros con su actual bastón y el cambiar de bastón significa alejarse de una zona de comodidad, que no están dispuestos a abandonar fácilmente. Por otro lado los encuestados prefieren en un 46% que sea un dispositivo el que se le pueda añadir al bastón que tienen actualmente, adicionalmente un 27% de los encuestados tal vez usaría dicho dispositivo en su bastón.

Con estos resultados se justifica esta investigación que pretende la construcción de un dispositivo electrónico, capaz de detectar objetos altos, con la ventaja de ser adaptable a cualquier bastón.

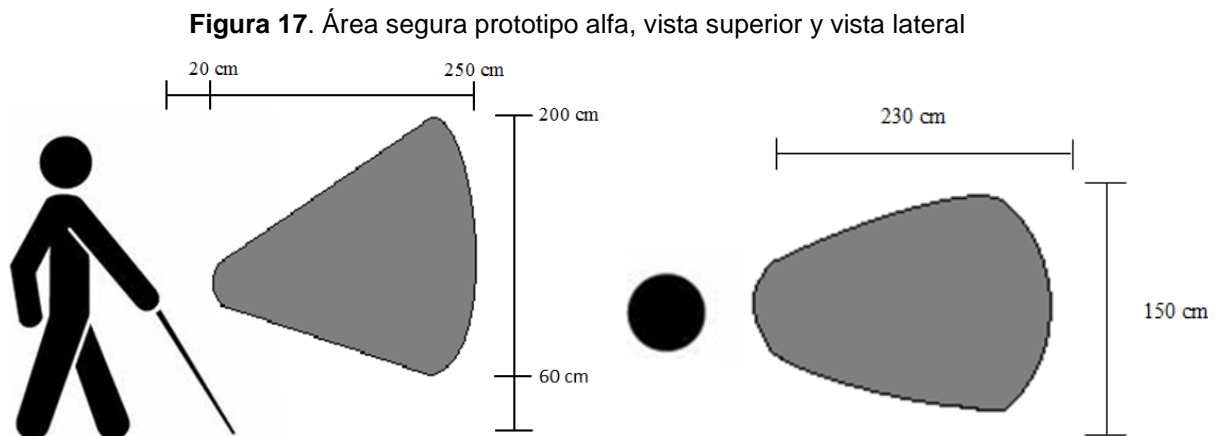




## 6 DISEÑO DEL PROTOTIPO

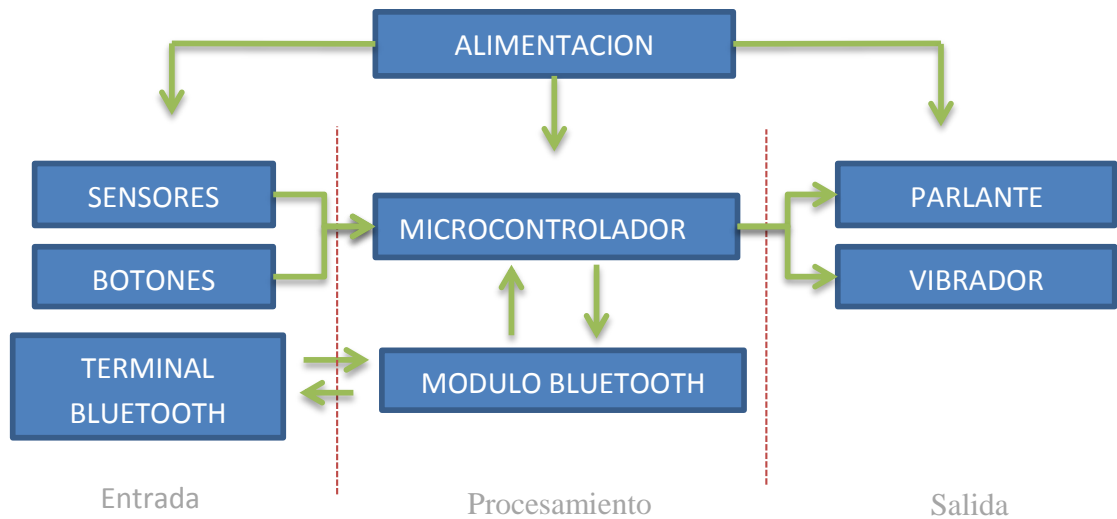
En esta etapa se llevó a cabo la selección de los componentes que harían parte del prototipo. Se tuvo en cuenta los resultados adquiridos de la etapa anterior.

En base al análisis de la información recopilada con la encuesta, se estableció diseñar un dispositivo que detecte objetos que estén en un rango de altura entre 60 y 200 cm del suelo, además que sea capaz de detectar obstáculos que se encuentren entre 20 y 250 cm de distancia del sensor con el fin de tener una zona de seguridad para el usuario del dispositivo. La Figura 17 representa la zona segura para la persona ciega, que se utilizará en el prototipo alfa.



Fuente: los autores.

En la Figura 18 se muestra el esquema general del sistema eléctrico del prototipo, consta de 4 etapas; etapa de alimentación, adquisición de datos, procesamiento y salida.

**Figura 18.** Esquema general del sistema eléctrico del prototipo

Fuente: los autores.

## 6.1 ETAPA DE ENTRADA

En esta etapa se encuentran los sensores, botón y un servidor bluetooth, elementos que envían información a la etapa de procesamientos.

### 6.1.1 Sensor HC-SR04.

Este sensor, ver Figura 19, utiliza la tecnología de sonar para determinar la distancia de objetos presentes dentro de su rango de detección, para su utilización es necesaria la utilización de dos pines digitales, uno configurado como salida y otro como entrada, conectados a las pines trig y echo del sensor respectivamente. Este sensor es de gran ventaja con respecto a otros tipos de sensores de proximidad debido a que no es afectado por factores como la luz ya la temperatura, lo que lo hace propicio para su utilización en distintos ambientes.

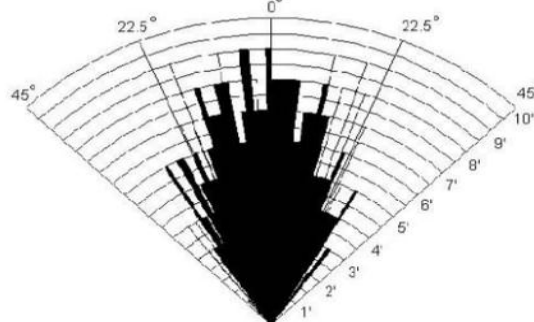
**Figura 19.** Sensor HC-SR04



Fuente: Sitio Web Cytron Technologies.

La Figura 20 muestra el área de detección de este sensor; el sensor tiene un mejor desempeño en un ángulo de detección de 30°, según la hoja de datos del fabricante. En la Figura 21, se muestra el diagrama de tiempos del funcionamiento del dispositivo, el ciclo de detección inicia con un pulso de 10 microsegundos aplicados al pin trig, esta acción desencadena él envió de 8 pulsos con una frecuencia de 40KHz, estas ondas rebotan con objetos que se encuentren en el camino, al retornar generan un nivel lógico alto en el pin echo, (Cytron Technologies, 2014)

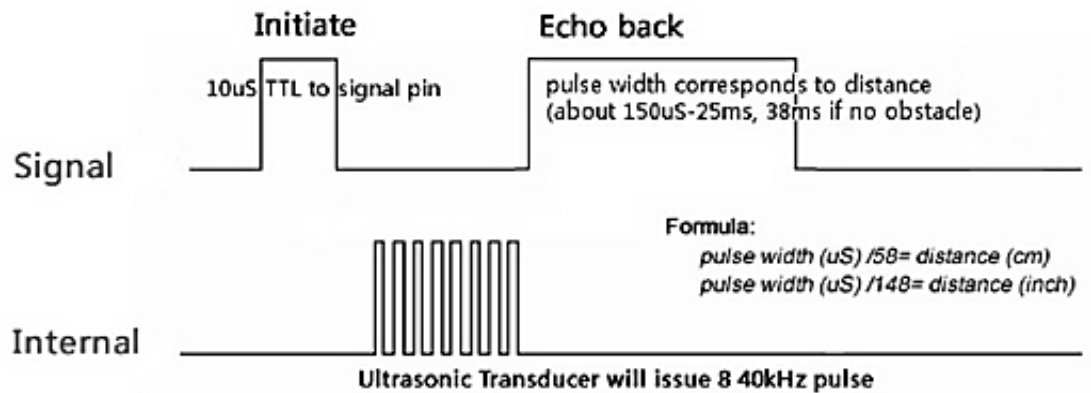
**Figura 20.** Área de detección.



*Practical test of performance.*

Fuente: Sitio Web Cytron Technologies, Hoja de datos HC-SR04

Figura 21. Diagrama de Tiempos, sensor HC-SR04



Fuente: Sitio Web Cytron Technologies

### 6.1.2 Botones.

El prototipo contará con botones que tendrán las funciones de interruptor de la alimentación y selección del modo de funcionamiento del dispositivo (Operación y configuración).

### 6.1.3 Terminal Bluetooth.

El terminal bluetooth será todo dispositivo capaz de establecer una comunicación bluetooth y que cuente con una interfaz para el envío y recepción de información mediante el puerto de comunicación serial, tal como lo es *hyperterminal* en el caso de Windows. Este será el medio por el cual se realizarán cambios de parámetros de los límites de detección de los sensores de proximidad, la intensidad de vibración y de sonido correspondientes a las alertas.

## 6.2 ETAPA DE PROCESAMIENTO

Esta etapa está comprendida por el controlador (Arduino Nano) y el modulo bluetooth.

### 6.2.1 Controlador.

Para el desarrollo del prototipo se ha seleccionado el Arduino Nano, ver Figura 22, como el dispositivo controlador responsable de adquirir las señales provenientes de los sensores que hacen parte del sistema de detección de obstáculos y del envío de señales a los actuadores (vibrador y zumbador) que interactúan con el usuario, también establece una comunicación serial con un módulo Bluetooth que se conecta a un terminal bluetooth con el propósito de recibir comandos que realicen cambios en los parámetros de funcionamiento del prototipo.

Esta placa tiene dos versiones que se diferencian por el microcontrolador que hace parte de ellas; ATmega 328 y ATmega 168. En este caso se seleccionó el equipado con ATmega 328, las especificaciones técnicas se muestran la Tabla 5.

Figura 22. Arduino Nano



Fuente: Sitio Web Arduino. Arduino Nano

**Tabla 5.** Especificaciones Arduino Nano

Característica	Especificación
Microcontrolador	ATmega328
Tensión de funcionamiento (nivel lógico)	5 V
Voltaje de entrada (recomendado)	7-12 V
Voltaje de entrada (límites)	6-20 V
Digital pines I / O	14 (de las cuales 6 proporcionan salida PWM)
Pines de entrada analógica	8
Corriente DC por Pin I / O	40 mA
Memoria Flash	32 KB
SRAM	2 KB
EEPROM	1 KB
Velocidad del reloj	16 MHz
Longitud	45 mm
Ancho	18 mm
Peso	5 g

Fuente: Sitio Web Arduino. Arduino Nano

### 6.2.2 Módulo Bluetooth.

Se utilizó el módulo HC-06 de la compañía *Shenzhen LC Technology*, este módulo se encarga de establecer la conexión con un servidor que le enviara comandos para llevar a cabo cambios en los parámetros almacenados en la memoria EEPROM del Arduino nano. El módulo HC-06 debe ser configurado mediante comunicación serial, con la utilización de comandos AT, los cuales permiten manipular parámetros como la contraseña del dispositivo, cambiar el rol de funcionamiento (maestro, esclavo), entre otros.

**Figura 23.** Módulo HC-06

Fuente: Sitio Web Shenzhen LC Technology

### 6.3 ETAPA DE SALIDA.

Esta etapa comprende los elementos que interactúan con el usuario del dispositivo, indicando estados y alertas resultados de los procesos realizados en la etapa de procesamiento, hacen parte de ella un micro parlante y un vibrador.

#### 6.3.1 Parlante.

Este elemento emite señales en alerta o información del funcionamiento del dispositivo. El sonido es generado mediante señales PWM de distinta frecuencia, que proporcionan información al usuario del prototipo, acerca de la presencia de un obstáculo o del modo de funcionamiento en el que se encuentra el dispositivo.

#### 6.3.2 Vibrador.

La alerta vibrante será producida por un micromotor desbalanceado tipo moneda (*Coin motor*, ver Figura 24), este motor alcanza una corriente máxima de 80 mA, sus dimensiones son de tan solo 12 mm de diámetro y 2,7 mm de espesor.

**Figura 24.** Vibrador



Fuente: Sitio Web ZXD-motors, Coin Motors.

## 6.4 ALIMENTACIÓN.

La alimentación es suministrada por una batería de Polímero de Litio de 3,7V, su carga es controlada por una tarjeta que además de controlar el proceso de carga, también regula el voltaje entregado al circuito a una tensión de 5V.

### 6.4.1 Módulo de carga y regulador.

El módulo Power Cell-LiPo Charger/Booster (Ver Figura 25) es una tarjeta desarrollada por la compañía SparkFun Electronics, posee un cargador de baterías de polímero de litio, además de un regulador de voltaje que ofrece tensiones de 5V ó 3.3V.

Este módulo cuenta con conectores JST para la conexión de la batería y un micro-USB para conectar el cargador, este módulo puede suplir una carga de hasta 500 mAh, teniendo en cuenta esto y la batería seleccionada, la carga máxima de la misma se podrá llevara a cabo en 2 horas.

**Figura 25.** Módulo SparkFun Lipo Charger/Booster



Fuente: Sitio Web Sparkfun Electronics



### 6.4.2 Batería

Se seleccionó una batería de polímero de litio de 3,7 V de una capacidad de 1000 mAh, sus características la hacen ideal para esta aplicación, dado a la relación del peso; de tan solo 22 gramos y sus dimensiones con respecto a la capacidad. (SparkFun Electronics, 2014).

**Figura 26.** Batería de polímero de litio 3,7V-1000mAh



Fuente: Sitio Web SparkFun Electronics

## 6.5 ESTRUCTURA DE PROGRAMACIÓN

La rutina principal del programa está formada por dos procedimientos que se ejecutan en cada ciclo; lectura de Botón y el procedimiento de medición. Estos dos procesos tienen incluidos la selección de modos de funcionamiento y la emisión de alerta, respectivamente.

Existen dos modos de funcionamiento: Normal, se ejecuta siempre las dos rutinas nombradas en el párrafo anterior y Configuración, donde es posible cambiar parámetros de funcionamiento. En la Tabla 6 se encuentra la descripción de las conexiones de los elementos electrónicos del dispositivo que interactúan con el Arduino.

**Tabla 6.** Configuración de pines

Descripción	Pin Arduino	Tipo
Botón	3	Entrada
Vibrador	4	Salida
Sensor Sup.-Echo	5	Entrada
Sensor Sup.-Trig	6	Salida
Sensor Fron.-Echo	7	Entrada
Sensor Fron.-Trig	8	Salida
Switch-Bluetooth	9	Salida
Tx- Bluetooth	10	Comunicación
Rx- Bluetooth	11	Comunicación
Key	12	Salida
Parlante	13	Salida

Fuente: los autores

### 6.5.1 Modo Configuración.

Este modo se ejecuta cuando se deja presionado el botón por más de 10 segundos, siempre y cuando el dispositivo se encuentre apagado. Este modo enciende el modulo Bluetooth y permite establecer una comunicación con un terminal, a través del cual se pueden enviar códigos para modificar los valores de los parámetros de funcionamientos almacenados en la memoria EEPROM del Arduino; estos parámetros son los límites de detección, la intensidad de vibración y modos de alerta (Vibrante, Sonora o ambas).

### 6.5.2 Medición del sensor.

El Procedimiento inicia con el encendido del sensor, encargado de medir la distancia donde se encuentra el obstáculo, luego empieza el proceso de lectura y por último el cálculo del nivel de alerta que emitirá el prototipo (Ver Figura 27).

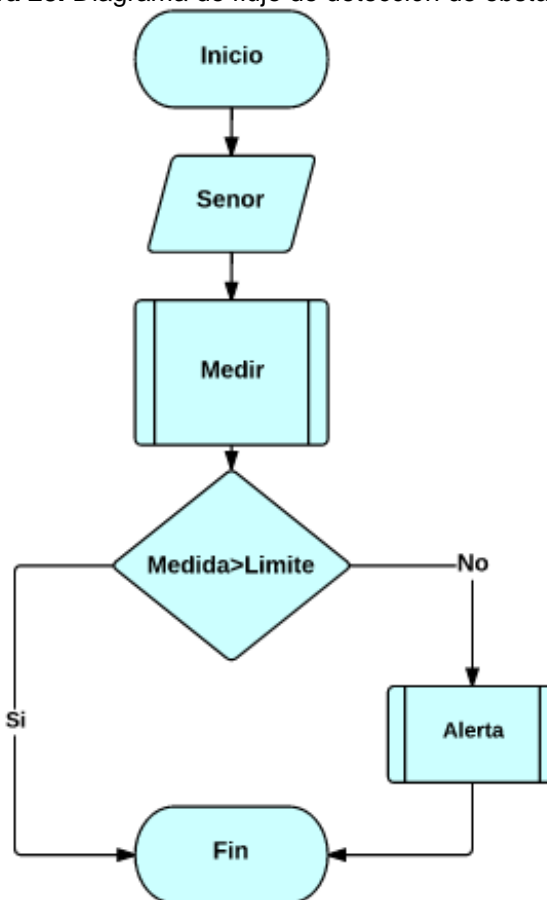
**Figura 27.** Instrucciones para lectura de distancia

```
digitalWrite(trig, HIGH);
delayMicroseconds(10);
digitalWrite(trig, LOW);
duracion = pulseIn(echo, HIGH, 40000);
delayMicroseconds(40000-duracion);
medida =duracion/29/2;
alerta(medida, Sensor);
```

Fuente: los autores

La medición hace parte de la rutina principal del programa, se ejecuta siempre que el dispositivo no esté en modo configuración, se encuentra descrito de manera general en el diagrama de flujo mostrado en la Figura 28.

**Figura 28.** Diagrama de flujo de detección de obstáculos.



Fuente: los autores.

Como fue descrito en la sección 6.1.1, al pin *trig* se le aplica un nivel alto de 10 micro-segundos de duración, posteriormente se espera un nivel alto en el pin *echo* del sensor, se ha establecido un tiempo de 40 milisegundos (40000 microsegundos) para esperar el pulso alto, de no ocurrir esto se tomara la medida como 0, será interpretada como ausencia de obstáculos. La medida es enviada al procedimiento de alerta en el cual se decide cual y como será emitido el aviso.

## **6.6 DISEÑO PROTOTIPO ALFA**

Como premisa de diseño se estableció que el dispositivo debe ser los más pequeño posible, el prototipo alfa desarrollado cuenta con las siguientes medidas: alto 10.5 cm, largo 6.5 cm y ancho 3 cm. Además el dispositivo debe ser liviano y adaptable a cualquier bastón, el prototipo alfa tiene una masa de 165 gramos.

El prototipo alfa utiliza un solo sensor ultrasónico para medir la distancia, por lo tanto el prototipo se ha diseñado con la posibilidad de orientar la posición del sensor para conseguir el ángulo de inclinación más adecuado a la estatura del usuario, asimismo se ha equipado con un sistema de fijación que permite adaptarse a cualquier diámetro de bastón. Este prototipo tiene diferentes elementos electrónicos: un Arduino Nano, encargado del procesamiento de datos; un motor, genera las vibraciones y una batería de 9V.

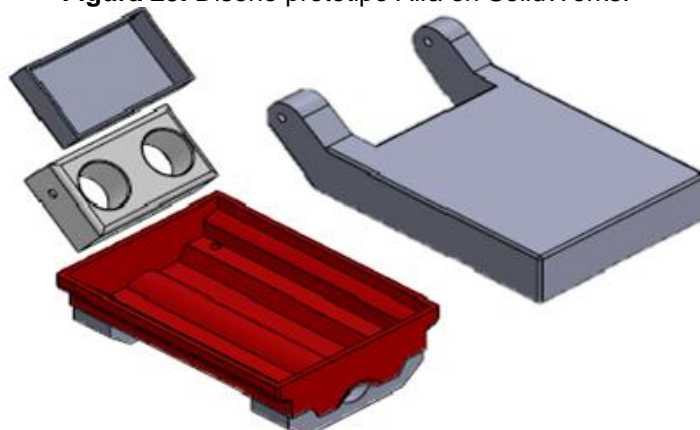
### **6.6.1 Diseño de la estructura base.**

La estructura base o carcasa, es el soporte de todo el sistema eléctrico del dispositivo, y el elemento mediante el cual se lleva a cabo la unión del dispositivo al bastón. Para el diseño se tuvo en cuenta la información y resultados de la investigación realizada.

Uno de las principales necesidades como ya se ha dicho es la de detectar e informar al usuario de elementos que representan obstrucción en el camino, principalmente aquellos que se encuentran por encima de la cintura, pero además existen otros aspectos que se tuvieron en cuenta a la hora del diseño, aspectos que dependen de los componentes electrónicos y de las necesidades identificadas, tales como el peso, las dimensiones del dispositivo y la posición de los sensores, con el fin de obtener una cobertura optima por parte de estos.

El prototipo alfa consta de 6 piezas estructurales (ver Figura 29) las cuales son: la base, donde se ubican los elementos electrónicos antes mencionados; dos piezas conforman el lugar donde va el sensor; una pieza cubre los circuitos, la cubierta y dos piezas en la parte posterior de la base, sirviendo de dispositivo adaptable el cual se fija a un bastón mediante la utilización de 4 tornillos.

**Figura 29.** Diseño prototipo Alfa en SolidWorks.



Fuente: los autores

En el anexo 1 se pueden ver las medidas de cada una de las piezas del prototipo alfa.

### 6.6.2 Sistema de alerta.

El dispositivo vibra en respuesta a la distancia medida por el sensor, la Tabla 7 indica las vibraciones por segundo de acuerdo con la distancia censada, a medida que la distancia entre el usuario y el obstáculo es menor las vibraciones por segundo aumentaran hasta hacerse continuas.

**Tabla 7.** Vibraciones según la distancia del objeto.

Distancia (cm)	Vibraciones/segundos
$d < 60$	Continuo
$60 < d < 120$	3
$120 < d < 180$	2
$180 < d < 230$	1

Fuente: los autores

En la Figura 30 se aprecia el prototipo alfa construido, el material de construcción de la cubierta fue un Polietileno de Alta Densidad (PEAD o HDPE), la fabricación se hizo en un torno mecánico de forma manual.

**Figura 30.** Prototipo Alfa desarrollado.

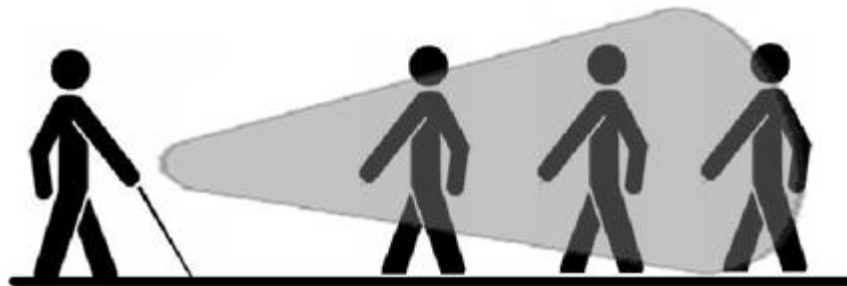


Fuente: los autores

### 6.6.3 Pruebas de desempeño y concepto.

A la versión alfa se le realizaron una serie de pruebas con las que se pretendía probar el funcionamiento. La prueba consistió en ubicar a una persona a la distancia de mayor detección, 230cm, mientras el usuario con el dispositivo caminaba hacia la persona (Ver **Figura 31**), esto con el fin de probar si respondía en concordancia a la Tabla 7, se verificó que el sistema actuó de manera correcta.

**Figura 31.** Prueba de distancia prototipo Alfa



Fuente: los autores

El prototipo alfa fue expuesto a la comunidad académica en el III Congreso Internacional de Ingeniería Mecatrónica y Automatización, CIIMA 2014, como parte de la divulgación de esta investigación. El fin primordial de hacer esta divulgación fue conocer ideas, sugerencias y/o correcciones a la versión alfa. Participantes del congreso expresaron que es adecuado cambiar el tipo de batería a una recargable, sugiriendo también la utilización de un parlante que le avise al usuario el momento de descarga de la batería.

Participantes en el congreso también se hicieron referencia a que el prototipo alfa posee un mecanismo de ajuste del ángulo del sensor, diciendo que esto podría ocasionar errores en el desplazamiento de las personas ya que el mecanismo podría moverse haciendo que la zona de cobertura del sensor quede por fuera de la zona de seguridad.

En base a las observaciones hechas en el congreso se decidió realizar una segunda prueba, consistente en probar la no detección de entradas con el propósito de determinar si el dispositivo podía discriminar el espacio de la puerta, para esto se ubicó el prototipo como se ve en la Figura 32, se encontró que el dispositivo detecta como obstáculo el espacio de entrada de una puerta, esto se debe a la zona de detección abarca hasta la parte superior del marco de la puerta.

**Figura 32.** Prueba de identificación de entradas, prototipo Alfa



Fuente: los autores

Se analizó el concepto de utilización de un método de fijación mediante tornillos y se estableció la ineficacia de este método ya que no brinda comodidad a una persona con discapacidad visual, de hecho añade una dificultad en la fijación del dispositivo al bastón.



## **6.7 DISEÑO PROTOTIPO BETA**

Para el diseño del prototipo beta se han tomado los resultados de la prueba de desempeño y concepto realizado en el prototipo alfa, con lo cual se realizaron mejoras tanto en el aspecto electrónico, así como en el diseño estructural.

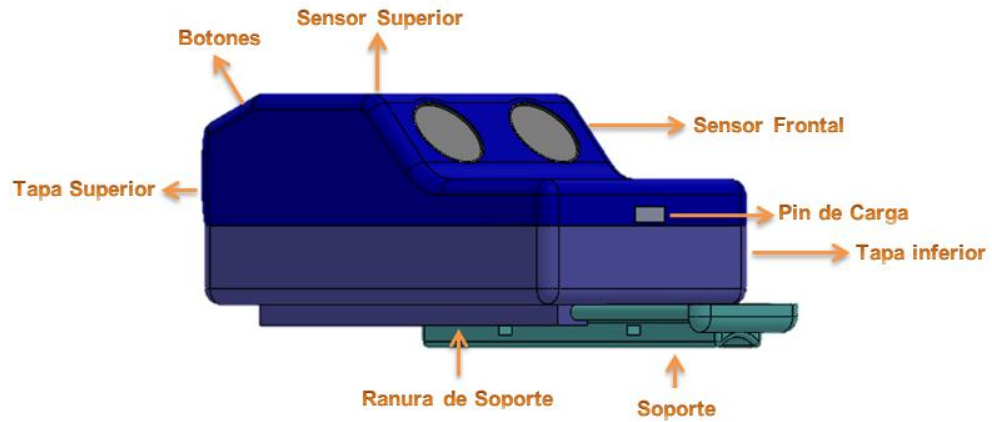
Al diseño del prototipo se le hicieron cambios en aspectos electrónicos como: Inclusión de un segundo sensor ultrasónico; cambio de la batería por una recargable de tipo ion-litio, para esto fue necesario agregar un módulo de carga; se incluyó un parlante, encargado de avisar la descarga del dispositivo; también se incluyó un módulo Bluetooth. La tarjeta de procesamiento de datos, Arduino Nano, no se cambió ya que tiene la capacidad de controlar el nuevo sistema. En la versión Beta se ha conservado la estructura de programación antes mencionada.

### **6.7.1 Rediseño de la estructura base.**

En cuanto al rediseño estructural se hicieron cambios: se eliminó el mecanismo de graduación del ángulo del sensor ultrasónico, ahora son fijos; rediseño de dispositivo de fijación al bastón; inclusión de botones para controlar el dispositivo. Al igual que con el prototipo alfa se conservó la premisa que el dispositivo debe ser lo más pequeño posible, el prototipo beta desarrollado cuenta con las siguientes medidas: alto 10.2 cm, largo 4.78 cm y ancho 5.5 cm. Además el dispositivo debe ser liviano, este prototipo pesa de 165 gramos.

La nueva estructura fue desarrollada en SolidWorks (Ver Figura 33), consta de 3 piezas las cuales son: base, donde se ubican los componentes electrónicos; tapa, en esta se ubican los dos sensores ultrasónicos, el vibrador, la tarjeta o módulo de carga, el parlante y los botones y por último está el soporte o mecanismo de fijación al bastón. En el Anexo 2 se pueden ver las medidas de cada pieza.

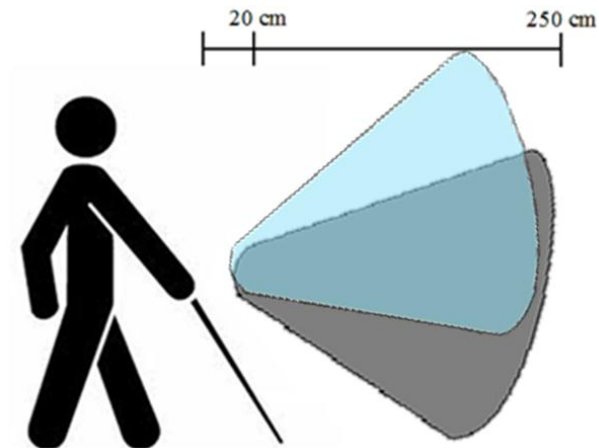
**Figura 33.** Diseño prototipo Beta en SolidWorks.



Fuente: los autores

Los sensores tienen un ángulo de orientación distinto,  $47.5^\circ$ , de tal forma que permiten detectar objetos tanto en la parte frontal media como la parte frontal superior, esto quiere decir que se ha modificado la zona segura, se ha ampliado el cono de cobertura pero la distancia de detección, 230 cm, se conservó. En la Figura 34 se observan los dos conos de detección de los sensores, la zona gris para el sensor frontal y la zona azul para el sensor superior.

**Figura 34.** Zona segura prototipo Beta, vista lateral

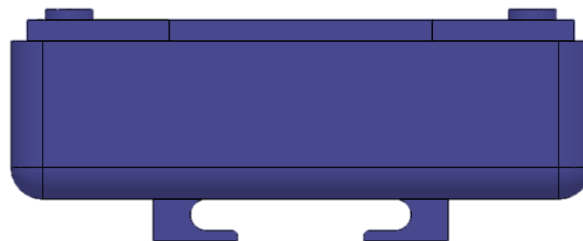


Fuente: los autores

### 6.7.1.1 Sistema de acople.

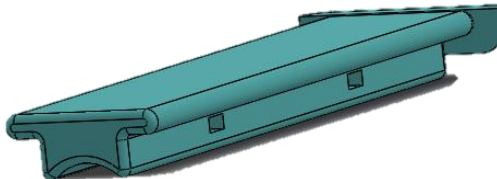
Para la versión beta se ha diseñado un sistema de acople en la parte posterior de la base (ver Figura 35), que se utiliza para anclar al soporte (Ver Figura 36) que va sujeto al bastón, el mecanismo de ajuste se completa con la utilización de dos amarres como el que se aprecia en la Figura 37. Esta estructura permite realizar un acople rápido entre el dispositivo y el bastón, en la Figura 38 se puede ver cómo queda el acople entre el prototipo y el bastón.

**Figura 35.** Sistema de acople de la base del prototipo, vista lateral



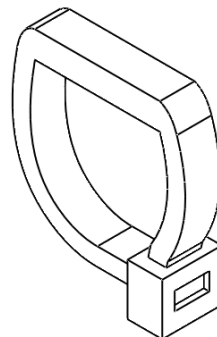
Fuente: los autores

**Figura 36.** Soporte del prototipo y mecanismo de unión con el bastón.



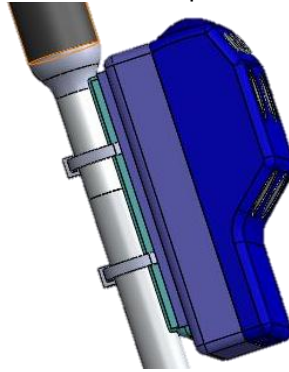
Fuente: los autores

**Figura 37.** Amarres de ajuste



Fuente. Los autores

**Figura 38.** Sistema de acomple o de adaptación



Fuente: los autores

### **6.7.2 Impresión del modelo de la estructura base.**

El material utilizado para la construcción de las piezas fue PLA (Poliácido láctico), dichas piezas se construyeron utilizando una impresora 3D, mediante el proceso FDM (*Fused Deposition Modeling*), se recurrió a una impresora 3D debido a la precisión que brinda en la creación de prototipos. En la Figura 39, se muestra el resultado de las piezas obtenidas para el prototipo beta.

**Figura 39.** Prototipo Beta construido en PLA



Fuente: los autores

Para el ensamblaje de las piezas se realizaron trabajos de remoción de material sobrante, que impedían el acople de los elementos, en la Figura 40, se muestra el ensamble de las piezas con los componentes electrónicos instalados en la estructura.

**Figura 40.** Prototipo Beta Ensamblado.



Fuente: los autores.

### 6.7.3 Rediseño sistema de alerta.

En este procedimiento se definió el tipo de alerta que se va a emitir, la cual puede ser vibrante, sonora, o las dos al tiempo, en la Tabla 8 se muestra la secuencia de la alerta dependiendo de la distancia medida para ambos sensores.

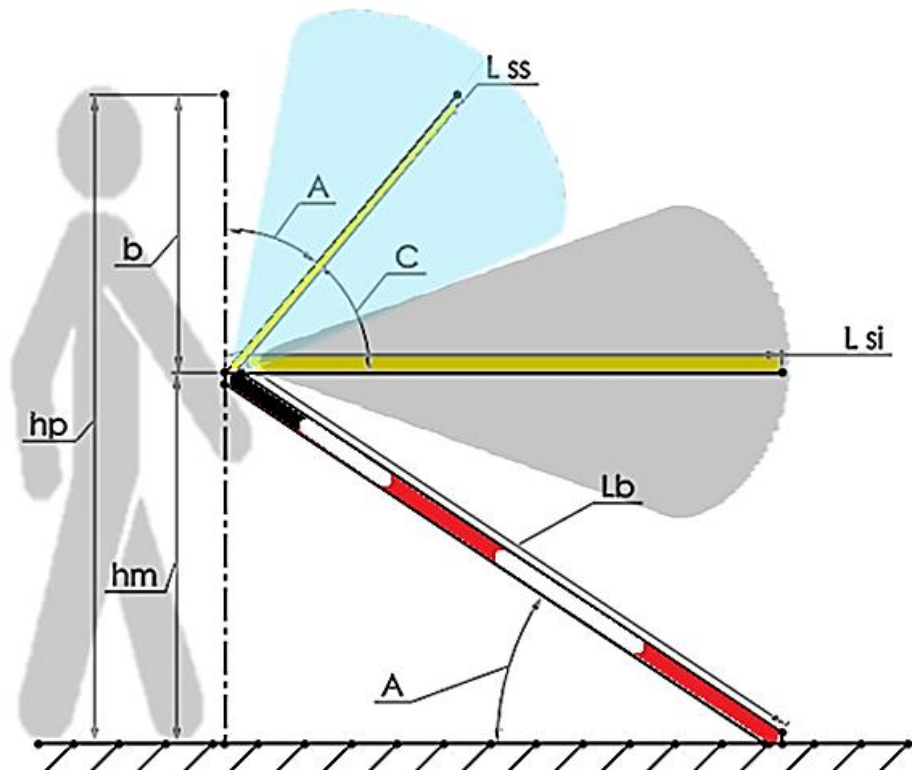
**Tabla 8.** Secuencia de alerta

Distancia	Secuencia (Vibraciones ó Sonido/Seg)
Medida > $(2/3) * \text{Límite}$	1
Medida > Límite/2	2
Medida < Límite/3	Continuo

Fuente: los autores

En la tabla anterior se define una formula, cuyos parámetros son la distancia medida y el límite de detección del sensor. Se ha diseñado un método para calcular los límites de medición de cada sensor, con el fin de personalizar el prototipo a cada usuario. La personalización de las características de medición de los sensores se hace teniendo en cuenta diferentes variables, las cuales se aprecian en la Figura 41, donde  $h_p$  es la altura del usuario;  $h_m$ , altura de la muñeca desde el piso;  $L_b$ , largo del bastón;  $C$ , ángulo entre los dos sensores ( $47.5^\circ$ );  $L_{ss}$  es el límite del sensor superior y  $L_{si}$  es el límite del sensor inferior.

Figura 41. Sistema de alerta prototipo Beta



Fuente: los autores

Para esta versión del dispositivo se establecieron una serie de ecuaciones para calcular dichos límites, las variables necesarias para comenzar a realizar dicho cálculos son:  $h_p$ ,  $h_m$  y  $L_b$ . Estos datos se ingresan al dispositivo mediante comunicación Bluetooth.

Las ecuaciones necesarias para el cálculo del límite del sensor superior comienzan con determinar la longitud desde la ubicación del sensor hasta la cabeza de la persona y adicionándole 20 cm, los cuales sirven zona de prevención de golpes. La Ecuación 3 determina esta longitud.

**Ecuación 3.** Cálculo de distancia entre el sensor y la cabeza

$$b = h_p - h_m + 20$$

Al tener esta distancia se procede a hallar el ángulo A, el cual es el mismo ángulo de inclinación que se forma entre el piso y el bastón, para hallar este ángulo se utilizan funciones trigonométricas como se aprecia en la Ecuación 4.

**Ecuación 4.** Cálculo ángulo de inclinación del bastón

$$A = \text{sen}^{-1}\left(\frac{hm}{Lb}\right)$$

Por último se utiliza la función trigonométrica coseno, la cual relaciona el ángulo A, la distancia b y el límite del sensor superior Lss, Ver Ecuación 5.

**Ecuación 5.** Cálculo límite sensor superior

$$L_{ss} = \frac{b}{\cos(A)}$$

El límite del sensor inferior se ha establecido en el doble de la distancia dictaminada por la **Ecuación 6**

**Ecuación 6.** Cálculo límite sensor inferior

$$L_{si} = 2 \times Lb (\cos(A))$$

## **7 ANÁLISIS DE RESULTADOS**

### **7.1 Comparación de prototipos desarrollados.**

Con base a los resultados obtenidos del primer dispositivo se realizaron mejoras en el modelo y construcción del nuevo prototipo. Características como las dimensiones, autonomía y zona de seguridad, fueron mejoradas.

La implementación de dos sensores genera ventajas en el aviso de obstáculos presentes, brindado la posibilidad de identificar la zona específica en la que se encuentra el objeto, es decir, si existe alguna obstrucción en frente de la persona, se emite una alerta con un tono que identifica la detección frontal, de igual forma ocurre en el caso de detección por parte del sensor superior, este sensor sirve para detectar obstáculos a nivel de la cabeza del usuario.

Para la fuente de energía se hicieron mejoras; se utilizó una batería recargable anteriormente descrita, la cual brinda una autonomía de 7 a 10 horas de funcionamiento continuo, el tiempo de uso del dispositivo podría extenderse dependiendo del uso.

### **7.2 Pruebas del prototipo beta**

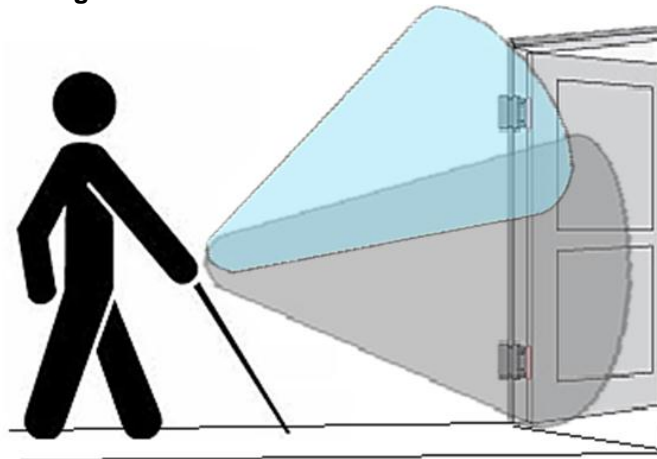
El prototipo beta fue puesto a prueba, mediante la recreación de una serie de situaciones probables a las que se enfrentaría el usuario, varias de estas pruebas fueron superadas satisfactoriamente y se obtuvieron los resultados esperados.

Una de las pruebas que no supero el dispositivo Alfa fue la de lograr brindar a el usuario la posibilidad de identificar cuando se trata de entradas, los marcos de las puertas (Ver Figura 42) por lo general tienen una medida estándar de 2 metros de



altura, gracias a la independencia de los rangos de detección de los sensores del dispositivo beta, se puede superar esta situación sin ningún problema.

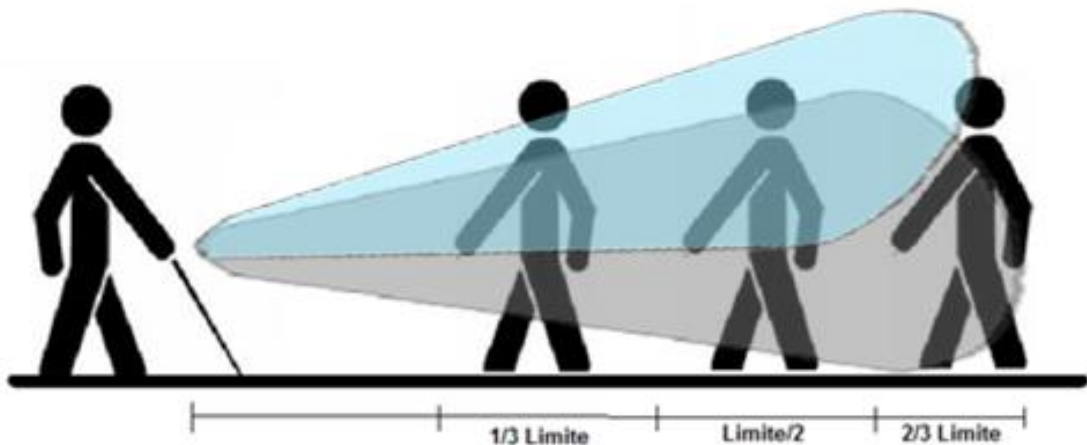
**Figura 42.** Prueba de identificación de entradas.



Fuente: los autores

Para colocar a prueba el funcionamiento del prototipo Beta se le realizó la misma prueba que al prototipo Alfa, consiste en ubicar a una persona en un lugar fijo mientras el usuario, en línea paralela superpuesta, se mueve hacia la persona (Ver Figura 43). El propósito de la prueba es determinar si el dispositivo actuaba en concordancia con la Tabla 8.

**Figura 43.** Prueba del sensor Frontal.



Fuente: los autores.

Como resultado de las pruebas se dedujo que es conveniente cambiar el límite de detección inferior del sensor frontal, dado a que al estar muy próximo al dispositivo, genera detecciones innecesarias, esto por razón de estar dentro del rango de detección del bastón.

Como última prueba, se diseñó un circuito en donde se encontraban obstáculos en diferentes ubicaciones en donde la tarea del dispositivo es esencial para mejorar la experiencia del desplazamiento utilizando las técnicas de Hoover. Los resultados fueron satisfactorios, Se realizaron ajustes en los límites de detección superior y frontal, de igual forma en la disminución de los tiempos de muestreo de los sensores.

### **7.3 CONCLUSIONES**

Al identificar las principales dificultades que tienen las personas con discapacidad visual en sus desplazamientos, se encontró que este grupo de personas sufre de muchos golpes producidos por objetos que no son detectados a tiempo, sumado a las limitaciones que presentan cada una de las técnicas de traslados utilizadas por estas personas, se planteó como objetivo general de investigación “Diseñar un sistema electrónico capaz de asistir el uso del bastón de las personas con discapacidad visual, con el propósito de identificar obstáculos por encima del rango de detección que brinda el bastón.”

Para el proceso de la construcción del prototipo electrónico adaptable al bastón blanco, se lograron cumplir los objetivos trazados al inicio de este proyecto investigativo, pero además, se lograron alcanzar logros importantes como la utilización de Bluetooth, para ingresar parámetros del usuario; descripción de zonas de seguridad mediante ecuaciones. Los logros alcanzados aportan en gran

medida al objetivo primordial de esta investigación, no obstante, cada objetivo específico aportó conclusiones.

Los dos primeros objetivos específicos corresponden a la base teórica y el estado del arte de la investigación, para el primero objetivo “Diferenciar los términos e implicaciones de deficiencia, discapacidad y restricciones, además de identificar las causas que conllevan a la discapacidad visual.”, se ha podido establecer que los términos deficiencia, discapacidad y restricciones no implican una dependencia lineal sino multidimensional, lo que hace que los componentes sean independientes.

Al alcanzar el segundo objetivo, “Describir los métodos de desplazamiento de las personas con discapacidad visual y los avances tecnológicos del bastón blanco.”, se consiguió información acerca de las herramientas y métodos más utilizados por las personas invidentes para desplazarse, así como los beneficios y problemas que presentan cada uno. Con esta información se estableció que el bastón blanco es la herramienta más utilizada debido a que prestan un rango de detección amplio, es así que se estableció trabajar sobre esta herramienta. Mediante el desarrollo del estado del arte de los diferentes tipos de bastón blanco electrónico se encontró que la mayoría de estos utilizan como mecanismo de detección los sensores ultrasónicos debido a su gran alcance y sus precios bajos.

Al desarrollar el tercer objetivo específico propuesto, se llevaron a cabo encuestas con el fin de determinar dichas zonas de inseguridad, se estableció que las personas invidentes presentan problemas en la detección de objetos que se encuentra a una altura superior de 1 metros desde el piso, además se concluyeron zonas en las cuales funcionará el sensor ultrasónico.

Los dos últimos objetivos se refieren a la construcción, implementación y prueba tanto del prototipo Alfa como del Beta. En el desarrollo del primer prototipo Alfa se

podieron esclarecer aspectos importantes para el desarrollo del prototipo final, esto fue posible dado a la serie de pruebas a las que fue sometido y a la divulgación en la comunidad académica, en la que se obtuvo información muy importante. Uno de los errores más grave del prototipo alfa es la inexistencia de botones de mando del dispositivo.

Para el diseño del prototipo Beta se tuvieron en cuenta diversos aspectos en cuanto el diseño y construcción de los modelos, cabe resaltar el papel importante que juegan las tecnologías de prototipado rápido. La impresión 3D es una tecnología que permite desarrollar prototipos de manera efectiva, sin embargo se debe tener en cuenta aspectos como: la precisión de estas máquinas, ya que no todas las impresoras tienen la misma precisión y el material de impresión, se debe analizar el uso final del producto para escoger el más indicado.

En la puesta en marcha del prototipo beta se logró observar la eficacia del sistema de alerta, el cual presenta un interacción entre una interfaz háptica y sonora, brindando una gama de posibilidades sensoriales para que las personas invidentes identifiquen los obstáculos que se encuentran en su camino. Siendo la alerta sonora más efectiva que la vibratoria, ya que el material utilizado en la carcasa contrarresta las vibraciones que produce.

Resultado de esta investigación se ha construido un dispositivo eficaz en la detección de estos objetos, el cual brinda gran libertad en desplazamiento de personas con este tipo de discapacidad.

El desarrollo de dispositivos electrónicos enfocados a mejorar la calidad de vida de las personas con algún tipo de discapacidad, es siempre gratificante para los desarrolladores de cualquier investigación con este propósito. Esta investigación propuso desarrollar un dispositivo que mejorara la experiencia del uso del bastón y la técnica de Hoover, alcanzado de manera satisfactoria los objetivos propuestos.



## 8 CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES Y PRESUPUESTO

### 8.1 CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

**Tabla 9.** Cronograma de Actividades.

Actividades		Fecha de Inicio:						15/06/2014		
		Fecha de Finalización:						04/02/2015		
Objetivo específico		Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb
Investigación	Formulación de Planteamiento del Problema	■								
	Planteamiento de Objetivos General y Específicos	■								
	Planteamiento de Justificación	■								
	Elaboración de Marco Teórico y Marco Metodológico		■							
	Revisión Bibliográfica	■	■	■	■	■	■	■	■	■
1	Investigación Sobre las causas de la discapacidad visual			■						
2	Investigación de métodos de desplazamientos			■						
Desarrollo	3	Desarrollo y análisis de encuesta a discapacitados visuales.				■				
	4	Estructuración de idea del prototipo					■			
		Desarrollo del Programa del prototipo					■			
		Desarrollo de Hardware del prototipo					■			
		Desarrollo del empaquetado del prototipo					■			
	Fabricación de Prototipo alfa						■			
Pruebas	4	Fase 1° de Pruebas					■			
	5	Realizar mejoras y corregir de errores					■			
	4	Fabricación del prototipo beta							■	
Fase 2° de Pruebas								■		
Conclusión		Revisión y Corrección de Tesis							■	
		Entrega Final							■	
		Sustentación de la Tesis								■

## 8.2 PRESUPUESTO

Tabla 10. Presupuesto del Proyecto.

	Item	Cantidad	Valor unitario	Costo total
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 de batería	1	\$ 44.000	\$ 44.000
	Multímetro	1	\$ 65.000	\$ 65.000
	Materiales de construcción	1	\$ 100.000	\$ 100.000
	<b>subtotal</b>			<b>\$ 2.560.000</b>
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
		<b>subtotal</b>		
	<b>Total</b>			<b>\$ 3.126.000</b>

## BIBLIOGRAFÍA

- ARDUINO.** Learning: What is Arduino? [En línea] [Citado el: 15 de Diciembre de 2014.] <http://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>.
- . Learning: Why Arduino? [En línea] [Citado el: 15 de Diciembre de 2014.] <http://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>.
- Ayala, E. 2011.** *Diseño y construcción del prototipo de un sistema electrónico por ultrasonido para medir distancias aplicada a un bastón blanco*. 2011.
- Barraquer.** PATOLOGIAS OCULARES Y TRATAMIENTO. [En línea] [Citado el: 27 de Octubre de 2014.] <http://www.barraquer.com/>.
- Burbano, Santiago, Burbano de Ercilla, Santiago y Gracia Muñoz, Carlos. 2003.** Ondas. *Física general*. s.l. : Editorial Tebar, 2003, págs. 380-388.
- Cardwell, Donald. 1996.** *Historia de la tecnología*. s.l. : Alianza Editorial, 1996.
- Consejería Presidencial para la Política Social. 2002.** *Plan nacional de atención a las personas con discapacidad. MANUAL OPERATIVO*. Bogotá : s.n., 2002.
- Cornea.es.** Enfermedades de la cornea. [En línea] [Citado el: 12 de Noviembre de 2014.] <http://www.cornea.es/>.
- Cytron Technologies. 2014.** Ultrasonic Ranging Module. *Sitio Web Cytron Technologies*. [En línea] 3 de Noviembre de 2014. <http://cytron.com.my/p-sn-hc-sr04>.
- DANE. 2008.** Dirección de Censos y Demografía. [aut. libro] Julio César Gómez Beltrán. *Identificación de las personas con discapacidad en los territorios desde el rediseño del registro*. 2008.
- De Ascencao , José y Martínez , Kimberlyn. 2013.** *Desarrollo de un prototipo de bastón blanco electrónico destinado a orientar a personas invidentes en su entorno*. Caracas : Universidad Nueva Esparta, 2013.
- DMedicina.com.** Información de salud para oftalmológicas. [En línea] [Citado el: 4 de Noviembre de 2014.] <http://www.dmedicina.com/enfermedades/oftalmologicas>.



- Experientia.** Services: Prototyping: physical-computing. *Sitio web de Experientia.* [En línea] [Citado el: 17 de Diciembre de 2014.] <http://www.experientia.com>.
- Ferato.** Enfermedades Oftalmológicas. [En línea] [Citado el: 1 de Noviembre de 2014.] <http://www.ferato.com>.
- Foster, Allen y Gilbert, Clare. 2001.** *Childhood blindness in the context of VISION 2020: the right to sight.* [ed.] SciELO Public Health. 2001. págs. 227-232. Vol. 79.
- Gaviria, Patricia. 2000.** *Una mirada a la persona con discapacidad desde la perspectiva ecológica.* 2000.
- GDP Research.** Learn More About the Miniguide: GDP Research. *Sitio Web GDP Research.* [En línea] [Citado el: 28 de Septiembre de 2014.] [http://www.gdp-research.com.au/minig\\_1.htm](http://www.gdp-research.com.au/minig_1.htm).
- Hernandez, A R.** Capitulo 1: Introduccion a Bluetooth y Wi-Fi. *Universidad de las Americas Puebla.* [En línea] [Citado el: 14 de 04 de 2013.] [http://catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/lem/hernandez\\_a\\_r/capitulo1.pdf](http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lem/hernandez_a_r/capitulo1.pdf)
- Hersh, Marion y Johnson, Michael. 2010.** *Assistive technology for visually impaired and blind people.* s.l. : Springer, 2010.
- Kane, Joseph W. y Sternheim, Morton M. 1989.** El sonido. [trad.] José Casas Vázquez y David Jou Mirabent. *Física.* s.l. : Reverte, 1989, págs. 491-494.
- Kioskea. 2013.** Como Funciona Bluetooth. *Kioskea.net.* [En línea] 02 de 2013. [Citado el: 14 de 04 de 2013.] <http://es.kioskea.net/contents/bluetooth/bluetooth-fonctionnement.php3>.
- K-Sonar. 2006.** Material de Entrenamiento. *Sitio Web K-Sonar.* [En línea] 2006. [Citado el: 6 de Octubre de 2014.] <http://www.ksonar.com/spanish/training.php>.
- LaGrow, Steven J, Blasch, Bruce y L'Aune, W. 1997.** *Efficacy of the touch technique for surface and foot-placement preview.* [ed.] American Foundation for the Blind . 1997. págs. 47-52. Vol. 91.
- Loyola, M. I., y otros. 2011.** *Voluntariado y nuevas tecnologías: apoyo a la autonomía académica de discapacitados visuales.* 2011. Vol. 3.
- Madulika, V. S. M., y otros. 2013.** *Arm7 Based Electronic Travel Aid System for Blind People Navigation and Monitoring.* 2013. págs. 1345-1350. Vol. 2.

**MAPFRE INC.** Oftalmología. [En línea] [Citado el: 6 de Noviembre de 2014.] <http://www.mapfre.es/salud/es/cinformativo/enfermedades-oftalmologia.shtml>.

**Mariotti, S. P., y otros. 2012.** *Global estimates of visual impairment: 2010*. Ginebra : s.n., 2012.

**Martínez-Liévana, I. y Chacón, D. P. 2004.** *Guía didáctica para la lectoescritura braille*. s.l. : Organización Nacional de Ciegos Españoles., 2004.

*MobiFree: A Set of Electronic Mobility Aids for the blind.* **Lopes, Sérgio, y otros. 2012.** 2012, *Procedia Computer Science*, págs. 10-19.

**Nuñez, Maria Angel y Salamanca. 2001.** La deficiencia visual. [aut. libro] Instituto Universitario de Integración en la Comunidad. y O.N.C.E. *Memorias del III Congreso "La atención a la diversidad en el sistema educativo"*. Salamanca : Universidad de Salamanca, 2001.

**NYU Langone Medical Center.** NYU Department of Ophthalmology. [En línea] [Citado el: 14 de Noviembre de 2014.] <http://www.med.nyu.edu/>.

**Ojos Sanos.** Enfermedades y Condiciones. [En línea] [Citado el: 1 de Noviembre de 2014.] <http://www.geteyesmart.org/eyesmart/espanol/index.cfm>.

**Organización Mundial de la Salud. 2001.** *Clasificación Internacional del Funcionamiento, de la Discapacidad y de la Salud: CIF*. Madrid : IMSERSO, 2001.

—. Prevention of Blindness and Visual Impairment. [En línea] [Citado el: 23 de Octubre de 2014.] <http://www.who.int/blindness/causes/priority/en/>.

—. **2011.** *Resumen: informe mundial sobre la discapacidad*. Malta : Ediciones OMS, 2011.

**Palermo, Beatriz. 2011.** Escuela 198 Discapacitados Visuales. [En línea] 2 de Marzo de 2011. [Citado el: 2 de Octubre de 2014.] <http://esc198dv.blogspot.com/2011/03/orientacion-y-movilidad.html>.

**Philip, Strong. 2009.** The history of the white cane. *Tennessee Council of the Blind*. [En línea] 11 de Enero de 2009. [Citado el: 2 de Diciembre de 2014.] [http://www.acb.org/tennessee/white\\_cane\\_history.html](http://www.acb.org/tennessee/white_cane_history.html).

**Precision Microdrives Limited.** Introduction to Haptic Feedback. [En línea] [Citado el: 4 de Enero de 2015.] <http://www.precisionmicrodrives.com/haptics->

haptic-feedback-vibration-alerting/haptic-feedback-in-detail/an-introduction-to-haptic-feedback.

**Primpo Co.,Ltd.** Electronic Cane for Blind Person. *EC21*. [En línea] [Citado el: 16 de Octubre de 2014.] [http://primpo.en.ec21.com/Electronic\\_Cane\\_for\\_Blind\\_Person--4374402\\_4374414.html](http://primpo.en.ec21.com/Electronic_Cane_for_Blind_Person--4374402_4374414.html).

**Roqueta, M. C. y Hernández , S. B. 2005.** *Recursos para la aplicación de las nuevas tecnologías en la educación del alumnado con necesidades educativas derivadas de discapacidad visual en edades tempranas*. 2005. págs. 13-22. Vol. 46.

**Salazar, Jesús y León, Jorge. 2003.** Comunicaciones Inalambricas, ¿Como Funcionan? *Reocities*. [En línea] 2003. [Citado el: 17 de 05 de 2013.] <http://www.reocities.com/siliconvalley/network/5148/funcionan.html>.

**Shenzhen LC Technology Co. Ltd. 2014.** Bluetooth Serial Module . *Sitio Web Shenzhen LC Technology*. [En línea] 2014. <http://www.lctech-inc.com/Hardware/Detail.aspx?id=684fb223-1a23-4b83-8dbd-4d58c2b3c0cb>.

**SparkFun Electronics. 2014.** Batteries: Polymer Lithium Ion Battery - 1000mAh. *Sitio Web SparkFun Electronics*. [En línea] 2014. [Citado el: 3 de Noviembre de 2014.] <https://www.sparkfun.com/products/339>.

**SparkFun electronics. 2014.** BATTERIES . *Sitio Web SparkFun Electronics*. [En línea] 2014. <https://www.sparkfun.com/products/11231>.

*Tactile feedback navigation handle for the visually impaired.* **Bouzit, M, y otros. 2004.** 2004, ASME 2004 International Mechanical Engineering Congress and Exposition, págs. 1171-1177.

*The Impact of Electronic Mobility Devices for Persons Who Are Visually Impaired: A Systematic Review of Effects and Effectiveness.* **Roentgen, Uta R., y otros. 2009.** 2009, Journal of Visual Impairment and Blindness, págs. 743-753.

**Ultracane.** Home: Ultracane. *Sitio Web de Ultracane*. [En línea] [Citado el: 13 de Julio de 2014.] <http://www.ultracane.com>.

**Unión Latino Americana de Ciegos. 2000.** *Manual técnico de servicios de rehabilitación integral para personas ciegas o con baja visión en américa latina.* 2000.

**Valdés Pérez, Fernando y Pallàs Areny, Ramón. 2007.** *Microcontroladores: fundamentos y aplicaciones con PIC.* s.l.: Marcombo, 2007. 8426714145/9788426714145.

**Vicepresidencia de la Republica. MARCO LEGAL DE LA DISCAPACIDAD.** Bogotá : s.n.

**Wilson, Jerry D. y Buffa, Anthony J. 2003.** *Sonido. Física.* s.l.: Pearson Educación, 2003, págs. 478-480.

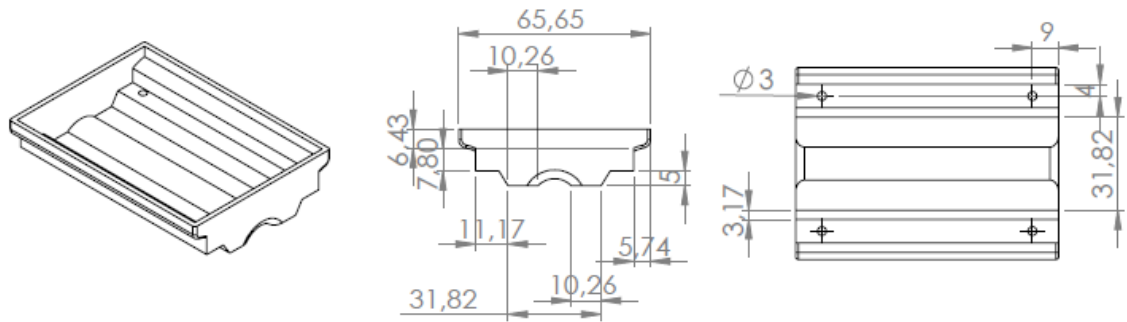
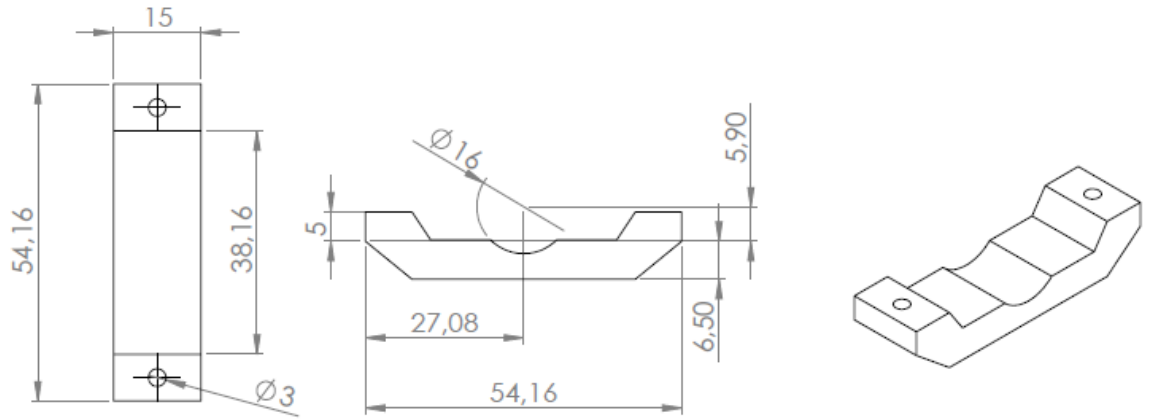
**World Health Organization.** *Corneal opacities. Prevention of Blindness and Visual Impairment: Priority eye diseases .* [En línea] [Citado el: 16 de Noviembre de 2014.] <http://www.who.int/blindness/causes/priority/en/index8.html>.

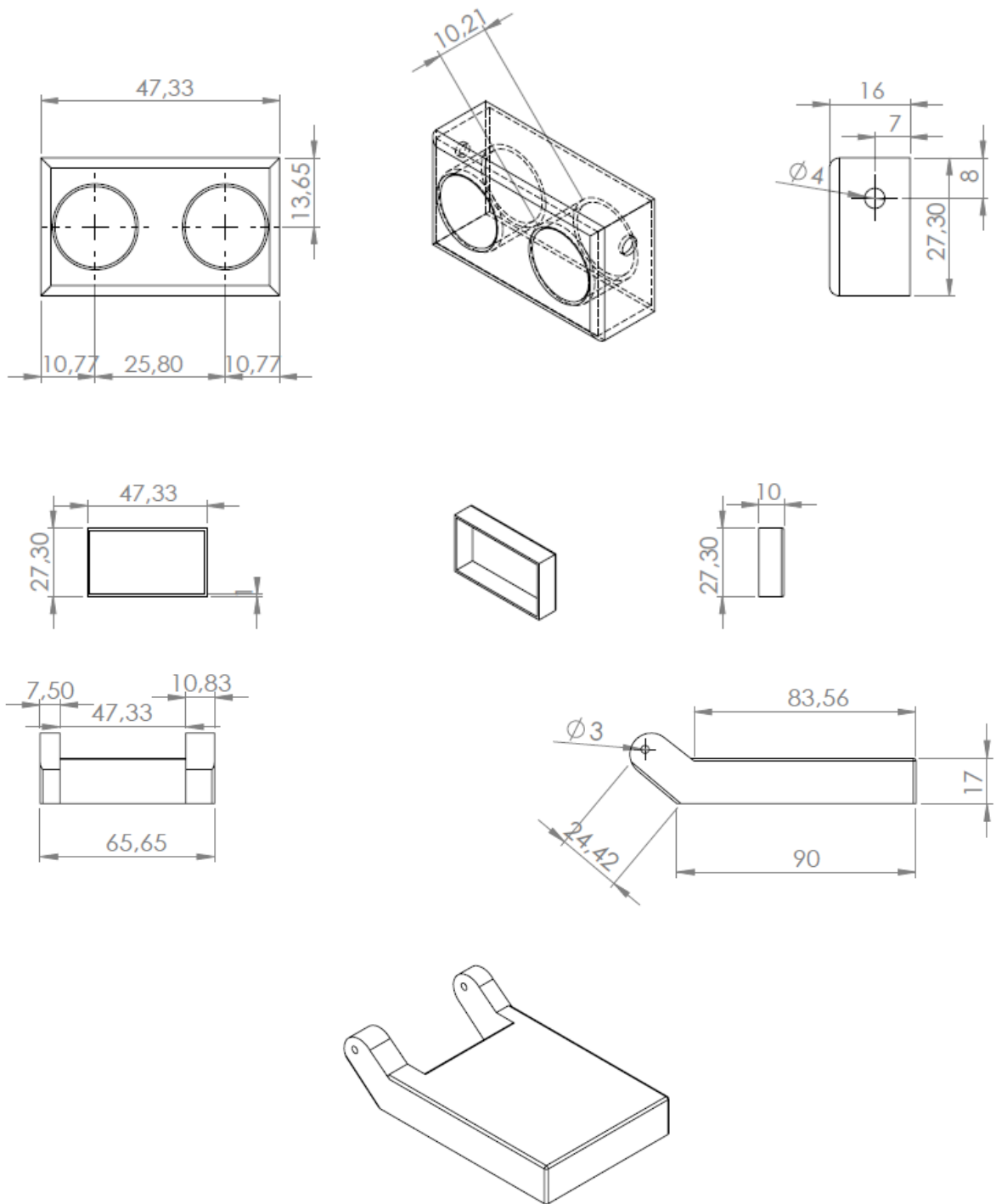
—. **2011.** *International Statistical Classification of Diseases and Related Health Problems.* Malta : s.n., 2011. Vol. 2.

—. **2014.** *Tracoma causante de ceguera.* [En línea] Marzo de 2014. [Citado el: 12 de Noviembre de 2014.] <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs382/es/>.

**Zenteno Jiménez, Enrique Daniel . 2013.** *Electronic Travel Aids with Personalized Haptic Feedback for Visually Impaired People.* Querétaro : Instituto Politécnico Nacional, 2013. págs. 33-35.

ANEXO 1





ANEXO 2

