

Diseño Y Desarrollo De Un Prototipo De Dispositivo Electrónico Adaptado A Un  
Bastón Blanco Para Detectar Obstáculos

Diego Alexander Martínez Morales

Francisco Andrés Meza Ríos

Trabajo de Grado para Optar al Título de Ingeniero Electrónico

Director:

Jorge Eduardo Quintero Muñoz

Ingeniero Electricista, Esp

Codirector:

Daniel Alfonso Sierra Bueno

Ingeniero Electrónico, Ph.D

Universidad Industrial De Santander

Facultad De Ingenierías Físico-Mecánicas

Escuela De Ingeniería Eléctrica, Electrónica Y Telecomunicaciones

Bucaramanga

2017

A mis padres Luis Fernando Martínez y Rosa Morales por brindar la oportunidad de realizar el sueño de un niño, por ser el pilar y la fuerza que me llevó a seguir adelante en todo momento.

A mi compañera sentimental Laura Bibiana Valero por apoyarme, entenderme, aconsejarme y alegrarme siempre que lo necesité.

A mi compañero de tesis y mis amigos, por el apoyo brindado para que entre todos lográramos cumplir nuestras metas.

### **Diego Alexander Martínez Morales**

Agradezco a mi padre Carlos José Meza Prado por su apoyo en mi proceso de formación académica

A mi madre María Margarita Ríos Chinchilla quien en vida y hasta sus últimos días fue un ejemplo a seguir por su amor, su fortaleza, humildad, comprensión y nobleza y que ahora desde el cielo me cuida y guía mis pasos.

A mis hermanos que siempre han estado en las buenas y en las malas sin importar en qué lugar del mundo se encuentren, animándome siempre a seguir adelante a pesar de las adversidades.

A Daniel Jaimes Moreno quien más que un colega y compañero de estudio, es un amigo quien me acompañó y apoyó en los últimos semestres.

A Paula franco, Giovanni Badillo estudiantes de diseño industrial y a Iván rueda estudiante de ingeniería mecánica todos de la misma universidad, por su aporte y su grano de arena en la culminación de nuestro proyecto.

Infinitas gracias

**Francisco Andrés Meza Ríos**

## Contenido

	Pág.
Introducción .....	14
2 Formulación y Declaración del Problema.....	16
3 Motivación y Justificación.....	18
4 Antecedentes, Marco Teórico y Conceptual .....	19
4.1 Metodología .....	19
4.1.1 Prototipos Desechables. ....	20
4.1.2 Prototipos Evolutivos.....	20
4.2 Tiflotécnica.....	21
4.3 Bastones y Dispositivos para la Orientación y Movilidad .....	21
4.3.1 Bastón Blanco.....	21
4.3.2 Bastones Inteligentes.....	22
4.4 Sensores.....	26
4.4.1 Ultrasonido.....	26
4.4.2 Infrarrojo.....	29
5 Encuesta y Toma de Decisión .....	29
5.1 Tamaño de la Muestra .....	30
6 Diseño del Dispositivo.....	32
6.1 Criterios de Diseño.....	32

6.2	Selección de Componentes .....	36
6.2.1	Baterías de Ion-litio .....	36
6.2.2	Circuito Regulador de Voltaje .....	37
6.2.3	Cargador de Baterías de Ion Litio. ....	38
6.2.4	Microcontrolador .....	39
6.2.5	Sensor de Ultrasonido.....	41
6.2.6	Sensor de Infrarrojo. ....	44
6.2.7	Motor Vibrador .....	48
6.3	Diagrama de bloques .....	49
6.4	Programación.....	50
6.4.1	Algoritmo.....	51
7	Desarrollo.....	51
7.1	Primer Prototipo .....	52
7.1.1	Primer Ciclo. ....	52
7.1.2	Segundo Ciclo.....	54
7.2	Segundo Prototipo .....	57
7.3	Dimensiones y Materiales del Bastón .....	59
7.3.1	Adaptaciones y descripciones de las nuevas piezas .....	59
7.4	Costos.....	62
7.5	Pruebas.....	64

8	Conclusiones y Recomendaciones .....	67
	Referencias Bibliográficas .....	69
	Anexos .....	72

## Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1. Obstáculos representativos.....	17
Figura 2. Complemento del bastón blanco.....	17
Figura 3. Prototipo Iterativo.....	20
Figura 4. Funcionamiento básico del medidor de distancia ultrasónico .....	27
Figura 5. Incertidumbre angular en la medida mediante ultrasonido.....	28
Figura 6. La temperatura afecta a la capacidad de detección.....	28
Figura 7. Resultados de la encuesta en la pregunta número 1.....	32
Figura 8. Resultados de la encuesta en la pregunta número 2.....	33
Figura 9. Resultados de la encuesta en la pregunta numero 3.....	33
Figura 10. Resultados de la encuesta en la pregunta numero 4.....	34
Figura 11. Resultados de la encuesta en la pregunta numero 5.....	34
Figura 12. Resultados de la encuesta en la pregunta numero 6.....	35
Figura 13. Resultados de la encuesta en la pregunta numero 7.....	35
Figura 14. Modo de medición del sensor de ultrasonido.....	43
Figura 15. Fotografías de diferentes lijas y sus respectivos mapas de reflectancia.....	44
Figura 16. Triangulación de haz de luz .....	46
Figura 17. Pines sensor IR.....	46
Figura 18. curva de sensibilidad del sensor Sharp GP2Y0A21 .....	47
Figura 19. Diagrama de bloques .....	50
Figura 20. Algoritmo de programación.....	51
Figura 21. Esquemático del Primer prototipoPCB.....	53
Figura 22. Prototipo de prueba #1.....	53

Figura 23. Prototipo #1.1 en protoboard.....	54
Figura 24. Bastón con el prototipo 1.1 en protoboard .....	56
Figura 25. Prototipo de prueba #2.....	57
Figura 26. Esquemático del prototipo final. ....	58
Figura 27. Tarjeta desarrollada. ....	58
Figura 28. Vista interna de la carcasa. ....	60
Figura 29. Soporte y recubrimiento para los sensores. ....	60
Figura 30. Diseño carcasa final. ....	61
Figura 31. Resultado final. ....	61
Figura 32. Plano de medidas del dispositivo. ....	62
Figura 33. Prueba de los niveles de vibración a diferentes distancias. ....	64
Figura 34. Detección mediante ultrasonido bajo la técnica de Hoover.....	65
Figura 35. Detección de objetos a diferentes alturas mediante el sensor de infrarrojo. 65	
Figura 36. Campo de detección de obstáculos usando ultrasonido e infrarrojo.....	66

## Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1. Smart canes .....	23
Tabla 2. Nivel de confianza estadística.....	31
Tabla 3. Especificaciones de las baterías ICR18650-22F.....	37
Tabla 4. Reguladores a 5V.....	38
Tabla 5 Especificaciones técnicas de cargador de baterías.....	40
Tabla 6 Microcontroladores.....	40
Tabla 7 Comparación entre sensores de Ultrasonido .....	42
Tabla 8 Comparación entre sensores de infrarrojo .....	45
Tabla 9. Características motor vibrador. ....	49
Tabla 10. Resultados obtenidos.....	55
Tabla 11. Precios. ....	63
Tabla 12. Propiedades del nylon bridge.....	77

## RESUMEN

**TÍTULO:** DISEÑO Y DESARROLLO DE UN PROTOTIPO DE DISPOSITIVO ELECTRÓNICO ADAPTADO A UN BASTÓN BLANCO PARA DETECTAR OBSTÁCULOS\*

**AUTORES:** DIEGO ALEXANDER MARTÍNEZ MORALES  
FRANCISCO ANDRES MEZA RIOS\*\*

**PALABRAS CLAVE:** BASTÓN BLANCO, SENSOR INFRARROJO, SENSOR DE ULTRASONIDO, INVIDENTES.

### DESCRIPCIÓN:

Este proyecto de investigación ofrece una alternativa ergonómica y de bajo costo para el mejoramiento de la funcionalidad de los bastones blancos tradicionales, a partir de un dispositivo electrónico. Las características de funcionalidad y diseño del dispositivo responden a las necesidades y preferencias de la población de invidentes de Bucaramanga, identificadas a partir de una encuesta elaborado por los autores de este proyecto.

De este modo, se diseñó y desarrolló un dispositivo electrónico portable para bastones blancos capaz de detectar obstáculos dentro de un rango de distancia de 20 a 150 cm y alertar al portador sobre la presencia de los mismos mediante vibraciones en la parte superior del bastón. El dispositivo permite detectar obstáculos en dos niveles diferentes. El primer nivel de detección, horizontal-superior, detecta obstáculos localizados frente al portador que no representan un riesgo inminente; el segundo nivel detecta obstáculos de riesgo inminente localizados a corta distancia frente al portador. Estos dos niveles de detección brindan mayor seguridad al portador en sus desplazamientos y mejoran la funcionalidad de los bastones blancos tradicionales.

El dispositivo está integrado por un sensor ultrasonido, un sensor infrarrojo, motores vibradores, baterías recargables de larga duración y un micro-controlador para el procesamiento de las señales. Finalmente, el dispositivo fue diseñado como un accesorio del bastón blanco para darle la característica de portabilidad. Esta característica le permite adaptarse fácilmente a la variedad de bastones blancos existentes.

---

\* Trabajo de Grado

\*\* Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de ingeniería eléctrica, electrónica y telecomunicaciones – E3t, Director: Jorge Eduardo Quintero Muñoz, Codirector: Daniel Alfonso Sierra Bueno

**ABSTRACT**

**TITLE:** DESIGN AND DEVELOPMENT OF A PROTOTYPE OF ELECTRONIC DEVICE ADAPTED TO A WHITE CANE TO DETECT OBSTACLES.\*

**AUTHORS:** DIEGO ALEXANDER MARTINEZ MORALES  
FRANCISCO ANDRES MEZA\*\*

**KEYWORDS:** WHITE CANE, INFRARED SENSOR, SENSOR OF ULTRASONIC, BLIND

**DESCRIPTION:**

This research project offers an ergonomic and low-cost alternative for the improvement of the functionality of the traditional white canes based on an electronic device. The characteristics of functionality and design of the device respond to the needs and preferences of the population of invalids of Bucaramanga. These needs and preferences were identified through a survey designed by the authors of this research.

In this way, a portable electronic device for white canes capable of detecting obstacles within a distance range of 20 to 150 cm and alerting the user about the presence of the obstacles was designed and developed. The device alerts the user through vibrations in the upper part of the white cane. The device can detect obstacles on two different levels. The first level of detection, horizontal-superior, detects obstacles located in front of the carrier that do not represent an imminent risk; the second level detects imminent hazards located from a short distance of the user. These two levels of detection provide a higher level of confidence for the users in their movements and improve the functionality of traditional white canes.

The device consists of an ultrasonic sensor, an infrared sensor, vibration motors, long-life rechargeable batteries and a micro-controller for signal processing. Finally, the device was designed as an accessory for white canes to give it the portability feature. This feature allows the device to be easily adapted to the variety of existing white canes.

---

\* Trabajo de Grado

\*\* Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de ingeniería electricidad, electrónica y telecomunicaciones – E3T, Director: Jorge Eduardo Quintero Muñoz, Codirector: Daniel Alfonso Sierra Bueno

## Introducción

En el transcurso de la historia las discapacidades físicas han estado presentes, no obstante, una de las más críticas y complejas es la falta de visión. La visión es el sentido más usado por las personas y es indispensable para una perspectiva clara de lo que nos rodea.

Aunque no se encuentran registros históricos o antecedentes donde se date la falta de visión en las personas, no es un secreto que aquellas con esta discapacidad, aún tienen limitaciones de herramientas en el mercado que les ayuden a orientarse de una manera más eficiente. No obstante, también se encuentra el interés de otras personas para ayudar a que tengan una idea aproximada de su entorno y de lo que los rodea, permitiéndoles realizar de una mejor manera las actividades cotidianas, por lo tanto, han creado dispositivos tecnológicos y herramientas avanzadas que cumplan con ese objetivo.

La falta de visión ya sea parcial o completa, no discrimina sectores o estratos sociales, es por eso que cada invidente enfrenta diferentes retos en el transcurso de un recorrido (en la ciudad, en el sector rural, en recintos cerrados, etc.). Dentro de los problemas más frecuentes se pueden encontrar la deformidad del suelo, obstáculos al nivel del rostro, dificultad para cruzar las calles, entre otras.

En la actualidad, a pesar de la operación del INSTITUTO NACIONAL PARA CIEGOS (INCI), el cual tiene como objeto fundamental la organización, planeación y ejecución de las políticas orientadas a la rehabilitación e integración educativa, laboral y social de los invidentes, se encuentran muchos vacíos o el no cumplimiento de normas referentes a la integración del invidente (MORENO ANGARITA & RUBIO VISCAYA, 2011). Un

ejemplo de esta situación es la falta de adecuación interna y externa de instalaciones públicas o privadas, lo cual conlleva a aumentar el nivel de dificultad para el desplazamiento de los invidentes.

Existen algunas herramientas de apoyo o adaptación para los invidentes. Entre las más utilizadas se encuentran los perros guía (lazarillo), y el bastón blanco. No obstante, también existen otras clases de dispositivos especiales que pretenden brindar una manera más sencilla y cómoda la percepción del entorno, desplazamiento o la ejecución de sus actividades diarias.

Generalmente, las personas invidentes prefieren el uso del bastón blanco para ayudar a percibir su entorno durante el desplazamiento, por comodidad y economía. El origen del nombre del bastón blanco es incierto, pero recibe este nombre por decisión de la cruz roja, con el objetivo de darles un distintivo y ser identificados como personas con discapacidad visual (MARTÍNEZ DELGADO, 2012, pág. 53).

Aunque el bastón blanco brinda información y mayor facilidad para el desplazamiento de la persona no vidente, no es una herramienta completa, debido a que no detecta aquellos obstáculos que no se encuentran en la zona de arrastre o sobre éste, como puede ser una la parte sobresaliente de una cabina de teléfono público y cualquier otro objeto que se encuentre por encima del nivel de la cintura.

En consecuencia, con el objeto de complementar el bastón blanco, se diseñó e implementó un prototipo de un dispositivo buscando el mejor balance entre consumo de potencia y costo del dispositivo, que integra sensores que sirven para medir distancias y detectar presencia de objetos, actuadores que alertan de un inminente riesgo ante la presencia de un obstáculo y un micro controlador el cual procesa las señales recibidas

por los sensores, de tal forma que esto ayude a detectar obstáculos a nivel medio y superior de la persona.

## 2 Formulación y Declaración del Problema

Según el Instituto Nacional para Ciegos (INCI) del 6.4% de la población colombiana que manifiesta discapacidad visual y que corresponde al 2'624.898 habitantes, cerca de 1'134.085 presentan limitación para ver a pesar de tener lentes o gafas y el 80% de las personas invidentes vive en condiciones de escasos recursos y presentan problemas para acceder a bienes y servicios. (MORENO ANGARITA & RUBIO VISCAYA, 2011).

Actualmente, la infraestructura de las ciudades no es óptima para la correcta integración de las personas no videntes en el desplazamiento interno o externo. Aunque se encuentran en vigencia normas en las que se deben cumplir especificaciones infraestructurales que faciliten sus tareas, no se cuenta con herramientas o ayudas que solucionen el problema. Diariamente se registran casos en que las personas no videntes colisionan con objetos que no pueden detectar con ayuda de las herramientas tradicionales, como la rama de un árbol en un parque o por elementos salientes de una estructura como se puede observar en la *Figura 1*.

Es común ver personas invidentes desplazarse con ayuda de un bastón blanco, debido a que es mucho más económico que disponer de la compañía de un lazarillo. Sin embargo, el bastón no detecta obstáculos que se encuentren fuera de su rango de rastreo o por encima de éste.



*Figura 1.* Obstáculos representativos. Modificado de (AYALA CRUZ, 2011, pág. 14) y (FERNÁNDEZ, y otros, 2013)

Partiendo de lo anterior se observó la oportunidad de integrar tecnologías existentes para desarrollar un dispositivo que complemente el servicio prestado por el bastón y permita al invidente mayor confianza al desplazarse.



*Figura 2.* Complemento del bastón blanco.

### 3 Motivación y Justificación

Ser peatón y desplazarse en la ciudad no siempre es tarea fácil, en ocasiones se encuentran desviaciones en la vía e infraestructura precaria de las mismas, entre otros, que dificultan la realización de esta tarea. Si, además el individuo tiene algún tipo de discapacidad física, se le dificultará aún más el desplazamiento.

Por otro lado, en el censo realizado por el DANE en 1993 al área de Bucaramanga, se reportaron 593.618 personas con deficiencias severas, una prevalencia del 1.85%. Dentro de este grupo poblacional la condición más afectada era la ceguera en aproximadamente 35%. Posteriormente en el censo del 2005 se detectaron 2.624.898 personas con limitaciones permanentes en Colombia, lo que equivale al 6.3% de la población. El censo arrojó que de este grupo de personas el 42.9% presentan limitación visual, lo que equivale a 1'134.085 de personas con esta condición. (MORENO ANGARITA & RUBIO VISCAYA, 2011)

En 1930 George A. Bonham, hizo una propuesta que más adelante fue conocida como el símbolo de la independencia de los no videntes; el bastón blanco, y luego de la segunda guerra mundial, se desarrollaron las técnicas en las que se especifica el uso de esta innovadora herramienta.

No obstante, esta herramienta no supe todas las necesidades de percepción espacial, que según Wallon citado por Romero (1994), “será el conocimiento o toma de conciencia del medio y sus alrededores; es decir, la toma de conciencia del sujeto, de su situación y de posibles situaciones del espacio que le rodea” (ASCENCAO & MARTÍNEZ, 2013)

Uno de los propósitos de los profesionales en el área de la ingeniería es brindar soluciones a problemas mediante el uso de la tecnología, ya que de esta manera se puede mejorar la calidad de vida.

Haciendo uso de las técnicas destinadas para brindar ayuda a los invidentes; tiflotécnica, se pretende hacer avances desde el punto de vista funcional y práctico del desempeño del bastón blanco; como ampliar el campo de detección y crear una barrera de confianza para detectar obstáculos que no se encuentran en la zona de arrastre del bastón. Se pretende tomar todo lo bueno de esta herramienta y repotenciarla gracias a sensores que den información veraz del entorno y sus objetos, orientando de manera más eficiente al usuario y alertándolo mediante vibraciones.

## **4 Antecedentes, Marco Teórico y Conceptual**

### **4.1 Metodología**

Para la realización de proyectos existen diferentes tipos de metodologías, éstas están clasificadas dependiendo de las tareas o actividades que se van a desarrollar. El presente proyecto se llevó a cabo un desarrollo de prototipo, por lo cual, el tipo de modelo más adecuado según (Moreno García) es el iterativo.

“Un prototipo es un modelo experimental de un sistema o de un componente de un sistema que tiene los suficientes elementos que permiten su uso” (Moreno García, pág. 9). Los prototipos tienen características y para el desarrollo eficiente es necesario claro los requisitos. Sin embargo, (Moreno García, pág. 10) nos ilustra la existencia de dos tipos de prototipos

**4.1.1 Prototipos Desechables.** “El prototipo es una versión rudimentaria del sistema que posteriormente es desechada” (Moreno García, pág. 10). Lo que significaría que son los primeros pasos o realizaciones teniendo en cuenta los requerimientos. Sin embargo, también son todos los desarrollos que se lleven a cabo para ver el comportamiento de un requerimiento poco conocido.

**4.1.2 Prototipos Evolutivos.** “El prototipo debe convertirse, eventualmente, en el sistema final usado (alternativa al ciclo de vida)” (Moreno García, pág. 10). Lo que indica que se debe repetir el proceso de construcción y prueba las veces que sea necesario, para cumplir con las especificaciones. En la Figura 3 se muestra el modelo iterativo.

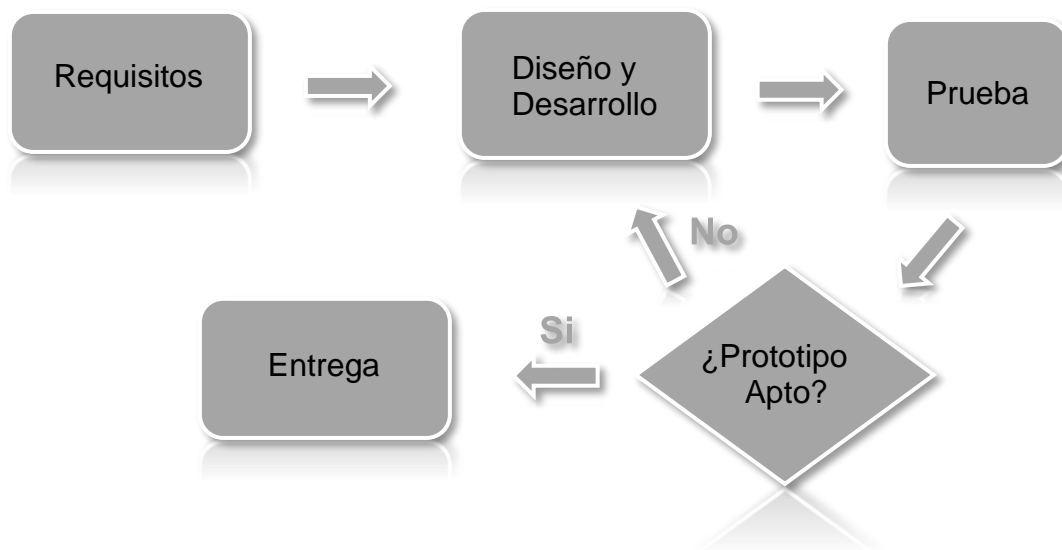


Figura 3. Prototipo Iterativo.

## 4.2 Tiflotécnica

Proviene del griego “tíflo” que significa ciego. Describe el conjunto de técnicas destinadas para que las personas con deficiencia visual obtengan una calidad de vida mejor, basada en la autonomía y facilidad en el desarrollo de tareas. (MARTÍNEZ DELGADO, 2012)

Aunque la tiflotécnica no se refiere únicamente a los dispositivos electrónicos, son éstos los que han tenido mayor impacto en el desarrollo de este tipo de herramientas. Esta ciencia tiene un amplio campo de trabajo y es debido a la necesidad individual de cada invidente, ya sea por gusto o por el tipo de desarrollo de actividades.

Existe una gran variedad de equipos tiflotécnicos, dentro de los que se destacan aquellos que permiten autonomía de desplazamiento también llamados tiflológicos y los que por otro lado facilitan el acceso a información, proveniente de un ordenador o textos físicos.

## 4.3 Bastones y Dispositivos para la Orientación y Movilidad

En la actualidad se encuentran diferentes herramientas que pueden brindar ayuda a la orientación y guía de los invidentes. No obstante, a continuación, se presenta únicamente la herramienta más usada por ellos y algunos modelos que por sus características brindan una guía para cubrir las brechas de diseño del presente proyecto.

**4.3.1 Bastón Blanco.** A pesar de su sencillez, el bastón blanco es una herramienta esencial en las personas que tienen una visión limitada o nula. El bastón proporciona al invidente tres funciones básicas: protección, distinción entre los demás peatones e información aproximada del terreno en el cual se está desplazando (MARTÍNEZ DELGADO, 2012).

Existen dos tipos de bastones blancos: El bastón corto, generalmente mide 1.10m. Su fin es dar un distintivo, ya que al ser tan corto no detecta las perturbaciones del terreno a tiempo. (AYALA CRUZ, 2011)

Por otro lado, los bastones largos pueden brindar información de obstáculos a mayor distancia que los bastones cortos. Adicionalmente la Cruz Roja determinó que los bastones con una franja roja cerca al extremo inferior, determinan que son invidentes que pueden necesitar ayuda en su desplazamiento (MARTÍNEZ DELGADO, 2012). No obstante, el término largo es relativo, ya que depende de la estatura de quien lo porta. Generalmente son de aluminio o fibra de vidrio.

**4.3.2 Bastones Inteligentes.** En la actualidad se encuentran diferentes bastones inteligentes, éstos integran dispositivos que permiten la detección de objetos, usando luz, sonido o imágenes. Algunos de estos dispositivos o bastones se encuentran en las páginas de patentes del mundo y en los registros de las tesis de algunas universidades. En la Tabla 1 se nombran algunos tomados de estas bases con el fin de brindar aportes ideológicos para el desarrollo del proyecto. Estos dispositivos sirven como guía para el desarrollo y diseño del presente proyecto debido a su estrecha relación con los objetivos y características del mismo.

Tabla 1.  
Smart canes.

TÍTULO	ELEMENTOS	CARACTERÍSTICAS
<b>Desarrollo de un prototipo de bastón blanco electrónico destinado a orientar a personas invidentes en su entorno (ASCENCAO &amp; MARTÍNEZ, 2013)</b>	2- Sensor ultrasonido	El dispositivo es capaz de detectar obstáculos a 2 metros de distancia,
	PARALLAX	mediante dos sensores de ultrasonido, también detecta la
	1- microcontrolador	intensidad lumínica del entorno y líquidos en el suelo. El sistema de
	PIC 16F84A	avisos sonoros para dar avisos de la
	1- sensor de luz	intensidad de luz y sensoriales
	1- motor vibrador	mediante vibración para dar aviso de
	1- 23ibra ISD1420	humedad.
<b>Bastón blanco para prevenir obstáculos (MARTÍNEZ DELGADO, 2012)</b>		Detecta las deformaciones en el
	1-sensor infrarrojo	terreno y objetos no mayores a 20 cm
	GP2Y0A02YK0F	de altura, mediante ultrasonido y
	1-sensor ultrasónico LV-	también es capaz de detectar los
	EZ1	obstáculos a la altura de la cara del usuario mediante un sensor infrarrojo.
	2-motores	El método en el que da aviso al usuario esta dado de acuerdo a la
	Vibratórios	posición que se encuentre el objeto,
	1-microcontrolador	activando el motor vibrador asociado
	TI MSP430G2211	a ese sensor.

<b>Bastón electrónico inteligente</b>	<p>sistema de vibración(manilla)</p> <p>1- microcontrolador</p> <p>3- sensores</p> <p>batería de larga duración</p>	<p>Detecta objetos ubicados por encima de la cintura del invidente y se adapta a las características físicas de la persona (altura, anchura de los hombros y velocidad de sus pasos)</p>
<b>Prototipo de bastón electrónico para el guiado accesible en interiores de personas con discapacidad visual (CALVO MARAÑÓN, 2015)</b>	<p>etiquetas RFID</p> <p>1- Placa arduino</p> <p>1- Modulo bluetooth</p>	<p>Funciona para guiado en interiores y edificios públicos. Lee la información de etiquetas RFID que se encuentran en el suelo y transmite la localización a una “app” por medio de bluetooth la cual da instrucciones de guiado al usuario.</p>
<b>XploR (ADIGBO, RAFIQ, &amp; HOWLETT, 2015)</b>	<p>1- cámara digital</p> <p>1- GPS</p> <p>1- módulo de audio</p>	<p>Reconoce personas conocidas o familiares hasta 10 metros de distancia por medio de una cámara digital, e incorpora un GPS que los guiará por medio de audio hacia esa persona.</p>
<b>Bastón inteligente para invidentes</b>	<p>sistema de vibración</p>	<p>Identifica obstáculos a nivel inferior, medio y superior y da aviso por medio</p>

<b>(PERALTA MOSQUERA &amp; URMENDIZ TERREROS, 2014)</b>	modulo bluetooth  3- sensores ultrasónicos acelerómetros  2- motores pequeños  1- microprocesador	de vibraciones a través de una manilla que utiliza el usuario. El dispositivo también cuenta con un sistema que detecta la orientación del bastón y un sistema de pánico. Cuenta con una aplicación para dispositivos móviles Android que facilita la ubicación espacial de la persona con red de apoyo en caso de necesidad y comunicación con sus parientes por redes sociales.
---------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

<b>Diseño y construcción de un prototipo de un sistema de ultrasonido para medir distancias aplicada a un bastón blanco (AYALA CRUZ, 2011)</b>	1- motor vibrador  1- sensor ultrasonido EZ4 1-microcontrolador 12F675 1- módulo mp3 1- cabezal braille	Detecta obstáculos a 5 metros de distancia mediante ultrasonido y da alerta sonora cuando el obstáculo se encuentra a 75 cm. Cuenta con un led de alto brillo para que en la oscuridad las personas videntes puedan dar vía libre a los no videntes. Mediante reproducciones de mp3 se le advierte de los obstáculos al no vidente y puede dar aviso de la distancia del objeto con exactitud mediante braille.
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Nota: Las páginas de patentes consultadas se encuentran en los siguientes enlaces:  
<http://european-patent-office.org> ;  
[http://serviciospub.sic.gov.co/~oparra/serv\\_57/externas/datospatente.php](http://serviciospub.sic.gov.co/~oparra/serv_57/externas/datospatente.php)

#### **4.4 Sensores**

El estudio y desarrollo de este proyecto está enfocado principalmente en medir distancias, para lo cual existen sensores como los infrarrojos, ultrasonido y laser, entre los cuales se pueden encontrar diferencias en el rango de medición y precisión. Ya que se tiene como objetivo diseñar un dispositivo de bajo costo y con elementos de fácil acceso, se seleccionaron los sensores de infrarrojo y ultrasonido por su ajuste a las necesidades y al propósito del presente trabajo, y teniendo en cuenta las consultas realizadas y documentadas en la Tabla 1 se puede concluir que son los más usados en este tipo de aplicaciones.

**4.4.1 Ultrasonido.** El ultrasonido es una onda sonora con frecuencia alrededor de 40 KHz, mayor que la máxima audible por el oído humano la cual comienza aproximadamente a 16 Hz y tiene un límite superior cerca de los 20 KHz, que están fuera del espectro audible de las personas.

El funcionamiento básico de los ultrasonidos como medidores de distancia se muestra de una manera precisa en la *Figura 4*, donde se tiene un emisor de pulso de ultrasonido que rebota sobre un determinado objeto que se encuentre en su recorrido y la reflexión de ese pulso es detectada por el receptor de ultrasonidos:

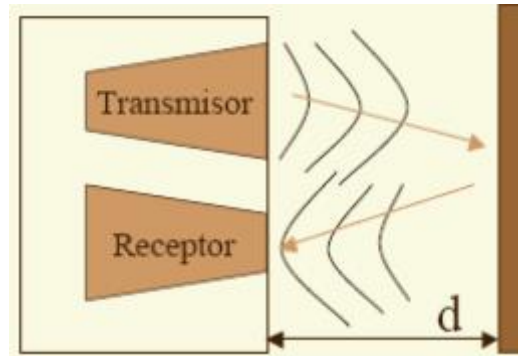
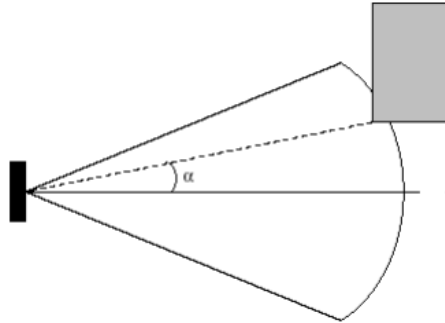


Figura 4. Funcionamiento básico del medidor de distancia ultrasónico. Tomada de <http://www.alcabot.com/alcabot/seminario2006/Trabajos/DiegoPerezDeDiego.pdf>

**4.4.1.1 Problemas de los ultrasonidos.** A pesar de que su funcionamiento parece muy sencillo, existen factores inherentes al dispositivo y factores externos, que pueden influir de una forma determinante en las medidas realizadas. Por tanto, es necesario conocer las diversas fuentes de incertidumbre que afectan las mediciones para poder tratarlas de forma adecuada, y lograr minimizar su efecto en el conocimiento del entorno que se desea adquirir. Entre los diversos factores que alteran las lecturas que se realizan con los sensores de ultrasonido cabe destacar:

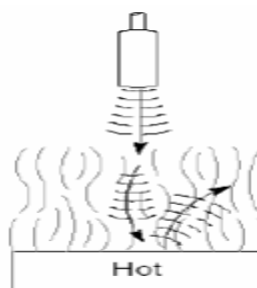
Los frentes de onda del pulso que se emite desde un transductor de ultrasonido forman un cono. En la Figura 5 se observa el eco que se recibe debido a la reflexión del sonido indica la presencia del objeto más cercano que se encuentra dentro del campo de acción del cono acústico, pero es incierta la localización angular del mismo ya que la probabilidad de que el objeto se encuentre sobre el eje central del cono acústico o sobre su periferia, es la misma.



*Figura 5.* Incertidumbre angular en la medida mediante ultrasonido. Tomada de <http://www.alcabot.com/alcabot/seminario2006/Trabajos/DiegoPerezDeDiego.pdf>

La cantidad de energía acústica reflejada por el obstáculo depende en gran medida de la estructura de su superficie. Para obtener una reflexión altamente difusa del obstáculo, el tamaño de las irregularidades sobre la superficie reflectora debe ser comparable a la longitud de onda de la onda de ultrasonido incidente.

Los factores ambientales tienen una gran repercusión sobre las medidas debido que las ondas de ultrasonido se mueven por un medio que es el aire el cual puede verse afectado tanto por la temperatura y perturbaciones del mismo, en la Figura 6 se observa la limitación al tomar medidas en objetos con alta temperatura. (PÉREZ, 2006)



*Figura 6.* La temperatura afecta a la capacidad de detección. Tomada de: <http://www.alcabot.com/alcabot/seminario2006/Trabajos/DiegoPerezDeDiego.pdf>

Un factor de error muy común es el conocido como falsos ecos. Este fenómeno puede ocurrir por diferentes motivos: Puede darse el caso que el pulso emitido rebote en

distintas superficies antes de que incida en el receptor (si es que incide), en consecuencia, se va a detectar una distancia mucho mayor a la que está en realidad el obstáculo, debido a que la lectura del sensor evidencia la presencia de éste a una distancia proporcional al tiempo transcurrido entre la emisión del pulso y la recepción de la onda reflejada.

Las ondas de ultrasonido obedecen a las leyes de reflexión, por lo que el ángulo de incidencia y reflexión del ultrasonido respecto a la normal de la superficie, es el mismo. Esto implica que, si la orientación relativa de la superficie reflectora con respecto al eje del sensor de ultrasonido es mayor al umbral del sensor, éste nunca recibirá la onda reflejada.

**4.4.2 Infrarrojo.** Los sensores ópticos de infrarrojo constan de un par de sensores de proximidad infrarrojos: fotodiodo y fototransistor, estos tienen la ventaja de que no requiere de contacto directo para detectar un objeto, además, el acondicionamiento para la emisión como para llevar la señal del receptor a un microcontrolador es bastante sencillo. al trabajar en el espectro de luz infrarroja se ven afectados por la luz ambiente, también, la luz de las bombillas emite luz infrarroja que puede afectar el correcto funcionamiento de los sensores. Aunque estos sensores sean muy prácticos no logran captar largas distancias y su pequeño haz hace que se disperse al devolverse la señal. (RINCÓN RUIZ, 2008)

## 5 Encuesta y Toma de Decisión

Para la elaboración de un prototipo que se adecue a las necesidades de los invidentes, se tomó como punto de partida la opinión de los usuarios sobre las características que

debe llevar el dispositivo, para ello se realizó una encuesta a la comunidad de invidentes en el Área Metropolitana de Bucaramanga. Los resultados de esta encuesta delimitaron los criterios básicos para la elaboración de una solución cómoda y ajustada a la mayoría de la población.

### **5.1 Tamaño de la Muestra**

Es necesario tener en los siguientes elementos para el cálculo adecuado de una muestra representativa de la comunidad de invidentes del área de Bucaramanga:

Tamaño de la población (N): hace referencia al número total de personas con discapacidad visual en el área de estudio. Para este proyecto se toma una población (N) de 5764 personas, que residen en Bucaramanga, de acuerdo con el documento compartido por el DANE (MORENO ANGARITA & RUBIO VISCAYA, 2011).

Varianza de la población ( $\sigma^2$ ): corresponde a una representación cuadrática de la dispersión de la población con respecto a su media. Dado que la varianza de la población de personas con discapacidad visual en Bucaramanga es desconocida, se toma para este proyecto una varianza ( $\sigma^2$ ) de 0,5 con base en investigaciones previas con poblaciones de características similares.

El nivel de confianza ( $\alpha$ ): representado por el valor crítico (Z) representa el nivel de certeza con el que se rechaza o acepta la hipótesis nula. El nivel de confianza tiene una relación directa con el tamaño de la muestra, bajo el cual, a mayor nivel de confianza se requiere un mayor tamaño de muestra. Este proyecto considera un nivel de confianza del 90%, al que le corresponde un valor crítico (Z) de 1,65 de acuerdo con la Tabla 2.

El margen de error (E): es el nivel de precisión que se desea alcanzar en el muestreo aleatorio y representa la probabilidad de aceptar o rechazar la hipótesis nula cuando no corresponde. En este caso, se establece un nivel de error de 10%.

Tabla 2.

*Nivel de confianza estadística.*

<b>Z</b>	<b>1,15</b>	<b>1,28</b>	<b>1,44</b>	<b>1,65</b>	<b>1,96</b>	<b>2,24</b>	<b>2,58</b>
<b>Confianza</b>	75%	80%	85%	90%	95%	97,5%	99%

Una vez definidos los elementos necesarios para el cálculo de la muestra y sabiendo que el tamaño de la población es conocido, se utiliza la Ecuación 1 proporcionada por (MARTÍNEZ BECARDINO, 2012) para el cálculo del tamaño óptimo de una muestra aleatoria:

Ecuación 1.

*Fórmula para calcular el tamaño de una muestra representativa*

$$n = \frac{Z^2 * N * \sigma^2}{N * E^2 + Z^2 * \sigma^2}$$

Donde N=5764 personas con discapacidad visual en Bucaramanga, según un documento compartido por el DANE (MORENO ANGARITA & RUBIO VISCAYA, 2011). Resolviendo la Ecuación 1 se concluye que la muestra mínima que representa la población invidente en Bucaramanga es de 67 personas.

A continuación, para la realización de las encuestas se hizo uso de la herramienta de formularios de Google, lo cual permitió que se resolvieran sin necesidad de desplazarse. Las personas encuestadas fueron voluntarios tomados al azar quienes hacen uso del bastón blanco tradicional y a los cuales se les hizo llegar el siguiente link.

Nota: El formulario de la encuesta se puede encontrar en:  
<https://goo.gl/forms/6LsiqwpjqdeGX2wy2>

## 6 Diseño del Dispositivo

### 6.1 Criterios de Diseño

En base a los resultados obtenidos con la encuesta realizada a la comunidad invidente de Bucaramanga y a los objetivos planteados en el proyecto para el diseño del dispositivo, se evaluaron las respuestas y se realizó el siguiente análisis para definir los criterios.

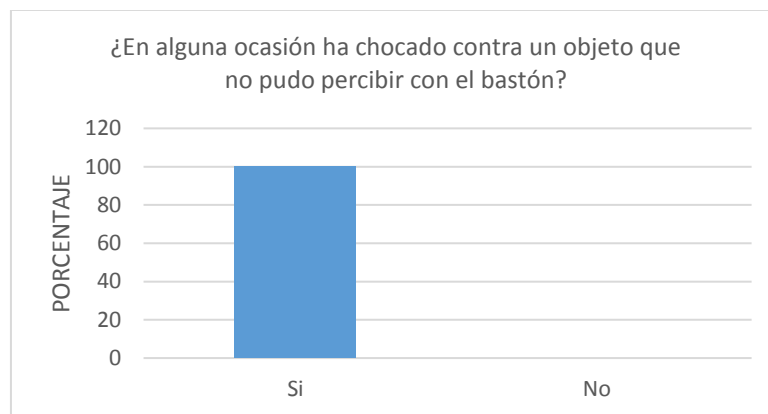
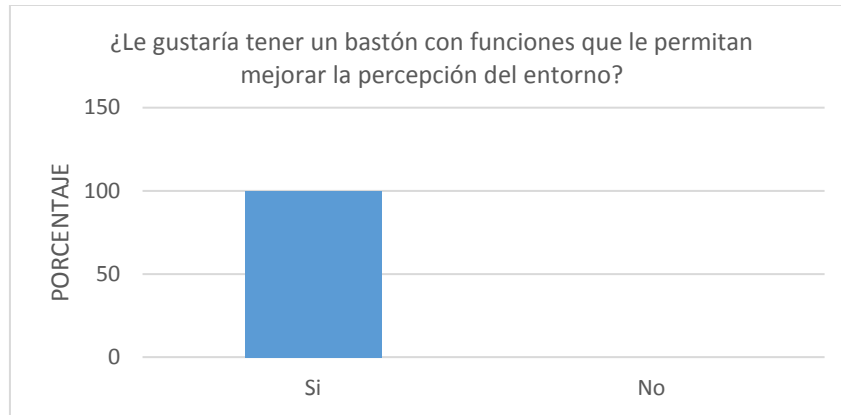


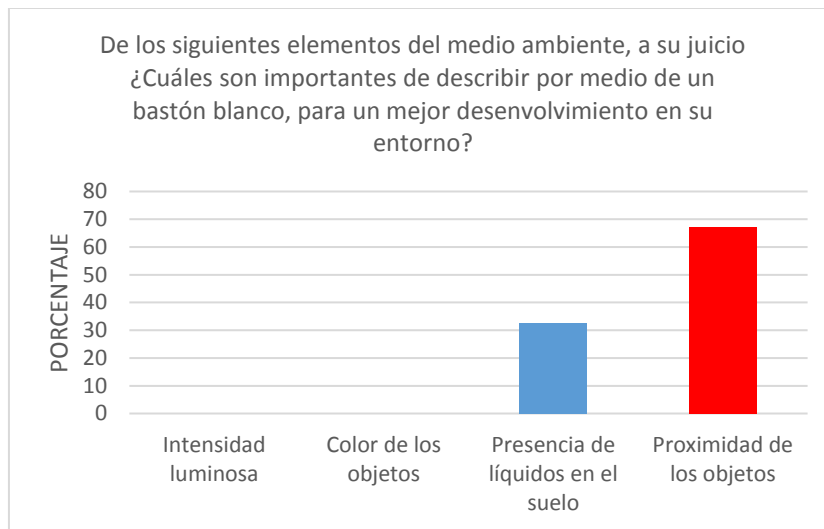
Figura 7. Resultados de la encuesta en la pregunta número 1.

En consecuencia, que el 100% de las personas dieron una respuesta afirmativa ante la pregunta número 1, es indispensable que el bastón cuente con sensores que cubran parte del entorno que está fuera del alcance de un bastón tradicional, es decir, que detecte los obstáculos a nivel medio y superior del usuario y así evitar colisiones.



*Figura 8.* Resultados de la encuesta en la pregunta número 2.

Es evidente que el bastón blanco tradicional es una herramienta poco versátil lo que hace que sea limitada la ayuda para percibir lo que rodea al portador, es por esto que en la pregunta 2, el 100% de los encuestados desearían contar con ayudas y funciones adicionales.



*Figura 9.* Resultados de la encuesta en la pregunta numero 3.

En su mayoría, los invidentes prefieren detectar la presencia o proximidad de los objetos u obstáculos a los que están expuestos, es por eso, que el dispositivo debe contar con sensores de distancia para poder tener esta información.

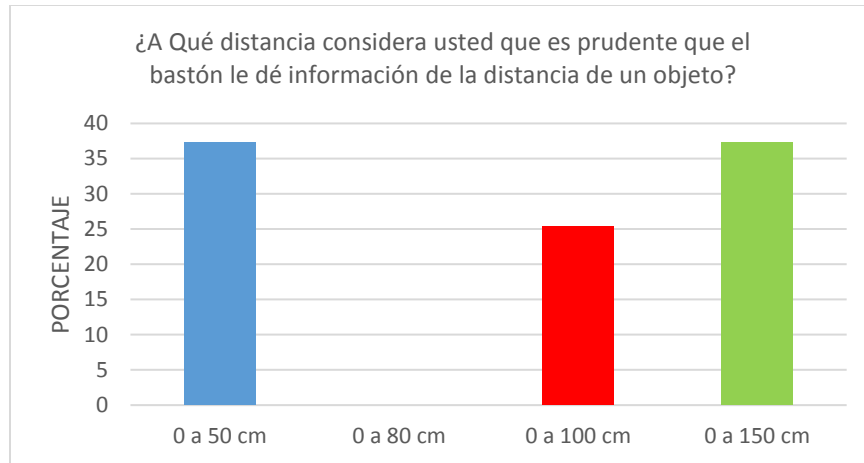


Figura 10. Resultados de la encuesta en la pregunta numero 4.

De acuerdo a las respuestas dadas por los encuestados en la pregunta 4, el rango de detección con el que debe contar los sensores es de 0 a 150 cm.

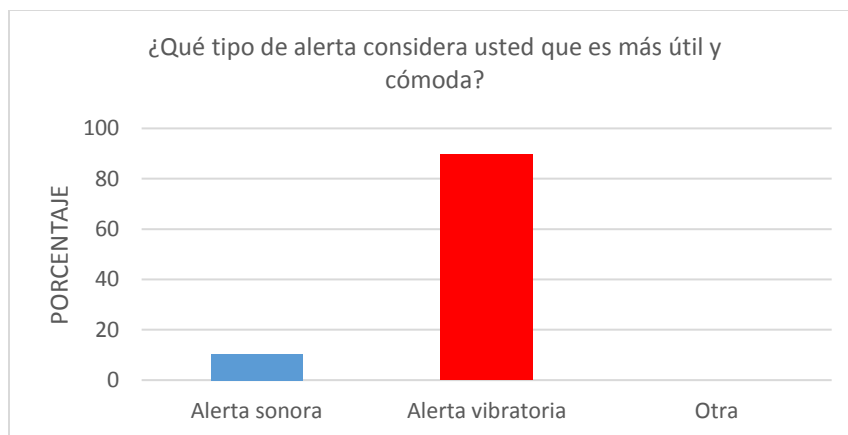


Figura 11. Resultados de la encuesta en la pregunta numero 5.

Las personas invidentes debido a su discapacidad visual desarrollan mucho más los otros sentidos para compensar esta falta, entre ellos la audición; es por esto que en su mayoría prefieren una alerta vibratoria para que su atención auditiva no se vea perturbada, en consecuencia, el sistema debe contar con motores vibradores.

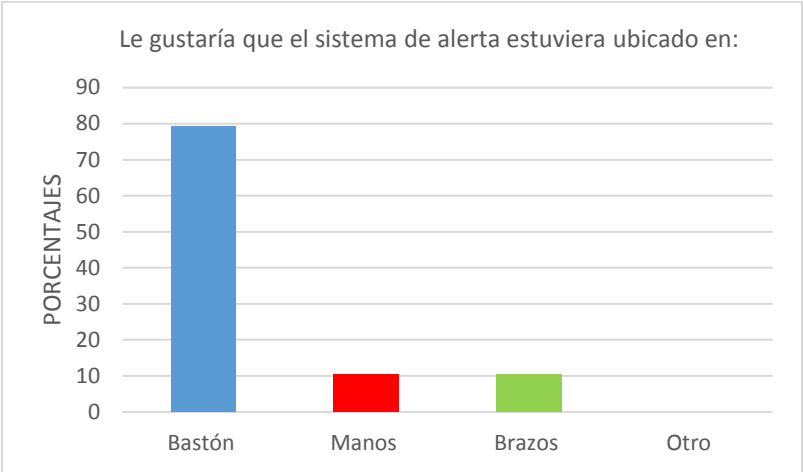


Figura 12. Resultados de la encuesta en la pregunta numero 6.

Para los invidentes ya es una carga de más el hecho de tener que hacer uso de un bastón como herramienta de desplazamiento, es por esto que para ellos adicionar un dispositivo u objeto a su cuerpo no es la mejor opción, en consecuencia, para la pregunta 6 en su mayoría prefieren que la alerta este incluida en el bastón.

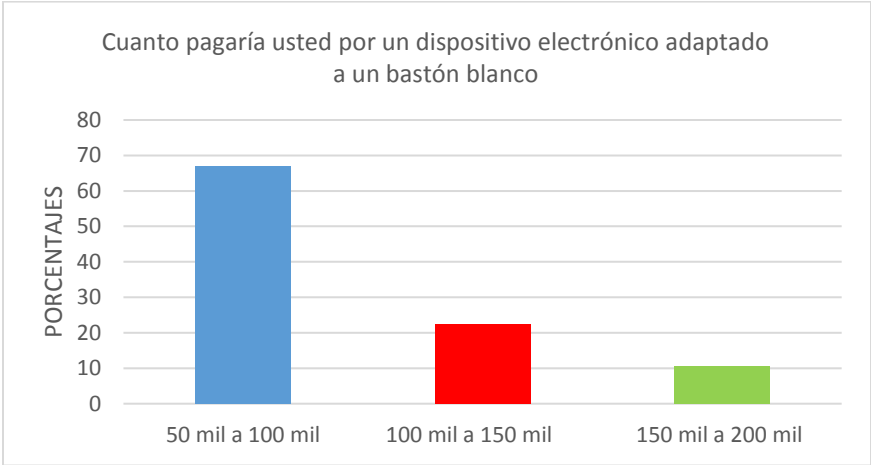


Figura 13. Resultados de la encuesta en la pregunta numero 7.

En el mercado los bastones electrónicos o inteligentes se encuentran a precios alrededor de 1'000.000 de pesos, la mayoría de los invidentes encuestados no estarían

dispuestos a pagar un valor alto por el dispositivo, es por ello que se debe realizar uno de bajo costo pero que aun así cumpla con sus funciones.

En conclusión, los criterios de diseño se resumen en:

- a) Detección de obstáculos del nivel de la cintura hacia arriba
- b) Uso de sensores de distancia que midan como mínimo un entre 0 a 150 cm
- c) Alerta de obstáculo incluida en el bastón
- d) Dispositivo de bajo costo

## 6.2 Selección de Componentes

**6.2.1 Baterías de Ion-litio.** Ya que el equipo es un dispositivo portátil y requiere de un uso prolongado, se tomó como factor principal que la capacidad de las baterías sea suficiente para trabajar como mínimo 12 horas, además, teniendo en cuenta que el sensor infrarrojo tiene consumos de corriente no lineales fue necesario contar no solo con baterías de larga duración sino también tuvieran la capacidad de entregar picos de corriente elevados. Actualmente las baterías que se adaptan mejor a estas características a menor costo son las baterías de ion litio.

El prototipo cuenta con dos celdas recargables de ion-litio de 2200 mAh con carga nominal de 3.6V, éstas dan la autonomía suficiente para que el dispositivo cumpla con los requerimientos anteriormente mencionados. El fabricante indica el modo correcto en el cual las celdas deben recargarse, de no ser usadas de este modo la vida útil se verá reducida en gran manera.

Tabla 3.  
Especificaciones de las baterías ICR18650-22F.

ÍTEM	ESPECIFICACIÓN
Capacidad nominal	2200 mAh
Voltaje de carga	4.2 ± 0.05
Voltaje nominal	3.6
Método de carga	Voltaje constante con límite de corriente
Corriente de carga	Standard: 1100 mA
	Rápida: 2200 mA
Tiempo en cargarse	Standard: 3 horas
	Rápida: 2,5 horas
Corriente máxima de carga	2200 mA
Corriente máxima de descarga	4400 mA

Nota: \*Para ver todas las especificaciones de las baterías puede visitar el datasheet en el siguiente enlace: <http://gamma.spb.ru/media/pdf/liion-lipolymer-lifepo4-akkumulyatory/ICR18650-22F.pdf>

**6.2.2 Circuito Regulador de Voltaje.** Los microcontroladores al igual que todos los dispositivos de los que se hizo uso en este proyecto, necesitan de una fuente de alimentación confiable para operar correctamente, debido a que la alimentación se realiza a través de baterías, es necesario trabajar con un regulador de voltaje con el fin de mantener una tensión constante, ya que las baterías con el tiempo van perdiendo su potencial y la tensión decae ocasionando que los dispositivos no funcionen de una manera adecuada. En la Tabla 4 se encuentran las referencias tenidas en cuenta para el prototipo según sus características y precio y según el voltaje de operación de los elementos, de 3.3 V para el microcontrolador y de 5 V para los sensores.

Tabla 4.  
Reguladores a 5V.

REGULADORES	CORRIENTE MÁXIMA DE SALIDA (MA)	CAÍDA DE VOLTAJE (DROPOUT)	PRECIO (COP)
LM7805	500	2 V a 350 mA	500
LD1117S50 Y LD1117S33	800	1 V a 100 mA	450

Nota: \*Los dataset de estos reguladores se encuentran en los siguientes links respectivamente: <https://www.sparkfun.com/datasheets/Components/LM7805.pdf>; <http://pdf.datasheetcatalog.com/datasheet/stmicroelectronics/2572.pdf>.

No obstante, para la elección del regulador no sólo es importante tener en cuenta el valor de tensión a la salida, si no también, se deber tener presente que es un dispositivo móvil y debe mantener el mayor tiempo de independencia a la red eléctrica, es por ello que debe tenerse en cuenta la disipación de potencia del elemento, además de tener en cuenta la corriente máxima que puede entregar cuando el dispositivo se encuentre en su máximo consumo y la caída de voltaje. En base a estos parámetros y a la necesidad que sea un dispositivo de bajo costo, se analizaron las referencias registradas en la Tabla 4 y se seleccionó los reguladores LD1117 ya que son los que tiene características más óptimas y más bajo precio.

**6.2.3 Cargador de Baterías de Ion Litio.** El dispositivo cuenta con baterías de Li-ion para garantizar su autonomía, estas cuentan con un dispositivo encargado de regular la corriente que se le proporciona en el momento de recargarlas y así preservar

la vida útil. En la Tabla 5 se pueden observar las características del dispositivo seleccionado para este fin.

**6.2.4 Microcontrolador.** Se requirió un microcontrolador como dispositivo base de comunicación y control del sistema para procesar las señales dadas por los sensores ante la presencia de obstáculos potenciales y posteriormente dar alerta al portador del bastón, dándole la percepción de la ubicación del objeto. Para ello se requirió un microcontrolador que contara con los siguientes periféricos:


- a) Conversor análogo digital (ADC); por lo menos dos entradas para tomar la señal del sensor infrarrojo y lectura de el voltaje de las baterías
- b) Entradas y salidas de propósito general, mínimo cinco; dos para las señales de disparo (salida) y echo (entrada) del sensor de ultrasonido, dos para los motores vibradores (salidas) y una para el buzzer (salida)

Con base en dichas características, se tuvieron en cuenta las tarjetas de desarrollo Arduino UNO la cual trabaja con el microcontrolador ATMEGA328P y el launchpad MSP430 fabricado para la familia de microcontroladores MSP430G2XX de bajo consumo y bajo costo de Texas Instruments, por ser las referencias más asequibles y completas existentes en el mercado. Además, de que su microcontrolador principal puede ser extraído para ser usado en aplicaciones externas. En la Tabla 6 se relacionan y se comparan las principales características de los microcontroladores.

Tabla 5  
Especificaciones técnicas de cargador de baterías.

CARACTERÍSTICAS	VALORES
Voltaje de entrada	5 V
Voltaje de apagado	4.2 V +/- 1%
Máxima corriente de carga	1 A
Puerto de entrada	Micro USB

Imagen	
--------	------------------------------------------------------------------------------------

Nota: \*El cargador es un circuito troceador, encargado de regular la corriente a tensión constante, se incluye el datasheet del chip principal del cargador en el siguiente enlace: <http://cdn.sparkfun.com/datasheets/Prototyping/TP4056.pdf>.

Tabla 6.  
Microcontroladores.

CARACTERÍSTICAS	REFERENCIA	
	ATMEGA 328P	MSP 430G2553
Voltaje de operación	1.8 – 5.5 V	1.8 – 3.6 V
Velocidad CPU	16 MHz	16 MHz
Memoria flash	32 KB	16 KB
Entradas/ salidas análogas	6/0	8/0
Entradas y salidas Digitales / PWM	14/6	16/7
Precio(COP)	15.000	7.500

Nota: \*Para ver las características completas de los microcontroladores diríjase a los siguientes links respectivamente: <http://www.atmel.com/Images/Atmel-42735-8-bit->





AVR-Microcontroller-ATmega328-328P\_datasheet.pdf;  
<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/msp430g2553.pdf>.

Los microcontroladores de la serie MSP430 son procesadores de señal combinada de 16 bits, basados en la arquitectura RISC, diseñados para tener un consumo ultra bajo de potencia, además la arquitectura combinada con cinco modos de operación, optimizan el funcionamiento para lograr una mayor duración de la batería en aplicaciones de medición portátiles. El dispositivo dispone de un conjunto de periféricos orientados a diversas aplicaciones; las más típicas incluyen sistemas de sensores de bajo costo que capturan señales analógicas, las convierten en valores digitales, y luego procesan los datos para su visualización o para su transmisión a un sistema host. Por estas razones y por ser un producto de bajo costo se seleccionó este microcontrolador como soporte para el proyecto.

**6.2.5 Sensor de Ultrasonido.** En el mercado existen diversos tipos de sensores de ultrasonido que se diferencia entre sí por costo, rango de medición y precisión, en la Tabla 7 se mencionan algunos sensores con mayor circulación comercial en el área de Bucaramanga y que se acomoda a las características básicas del diseño para un óptimo desempeño.

El sensor seleccionado fue el HY-SRF05, aunque es muy similar al HY-SRF04, posee mejor resolución y la diferencia en costo no es significativa.

Tabla 7.  
Comparación entre sensores de Ultrasonido.

REFERENCIAS				
	HC-SR04	HY-SRF05	SRF 04	SRF 05
<b>Características</b>				
<b>Tensión de alimentación</b>	5 VDC	5 VDC	5 VDC	5 VDC
<b>Ángulo efectivo</b>	15°	15°		
<b>Rango de medición</b>	2cm-450cm	2cm-450cm	3cm-300cm	1,7cm-400cm
<b>Resolución</b>	3 mm	2 mm		
<b>precio*</b>	10.500	12.000	88.700	72.200

Nota:\*El precio es un valor promedio en pesos colombianos de los valores de compra ofertados por diferentes proveedores consultados.

<http://www.didacticaselectronicas.com/index.php/sensores/distancia/sensor-ultrasonico-hcsr04-detail>

[http://www.didacticaselectronicas.com/index.php/sensores/distancia/sensor-de-distancia-por-ultrasonido-srf052016-02-08-04-34-49\\_-detail](http://www.didacticaselectronicas.com/index.php/sensores/distancia/sensor-de-distancia-por-ultrasonido-srf052016-02-08-04-34-49_-detail)

<http://www.sigmaelectronica.net/srf04-p-127.html>

<http://www.didacticaselectronicas.com/index.php/sensores/distancia/sensor-de-distancia-por-ultrasonido-srf05-detail>.

**6.2.5.1 Funcionamiento.** El sensor de ultrasonido cuenta con 5 pines para su funcionamiento: Vcc, GND, Trigger, echo y OUT. Para ponerlo en marcha y realizar medidas, se conecta a un microcontrolador el cual es el encargado de enviar un pulso de disparo de 10 us de ancho al pin trigger, una vez recibe este pulso, el circuito electrónico del sensor excita una membrana de aluminio mediante impulsos rectangulares dentro de la frecuencia de resonancia para generar vibraciones de aproximadamente 300 us, en cuyo lado interior hay adherida una pastilla piezoeléctrica

lo cual hará que se emitan ondas de ultrasonido al exterior a una frecuencia de 40 kHz (Vargas Cabral, 1999). La onda que se refleja es monitorizada por el pin echo el cual se encarga de medir el tiempo que toma la onda en ir y volver, con esta información y en base a la Ecuación 2, el microcontrolador en su programación realiza el cálculo interno de la distancia a la que se encuentra el objeto. El funcionamiento se puede resumir en la Figura 14.

Ecuación 2.

Calculo de distancia.

$$d = V \cdot t$$

Donde,

d=distancia

V= velocidad del sonido en el aire

t= tiempo que tarda en ir y regresar la onda de ultrasonido

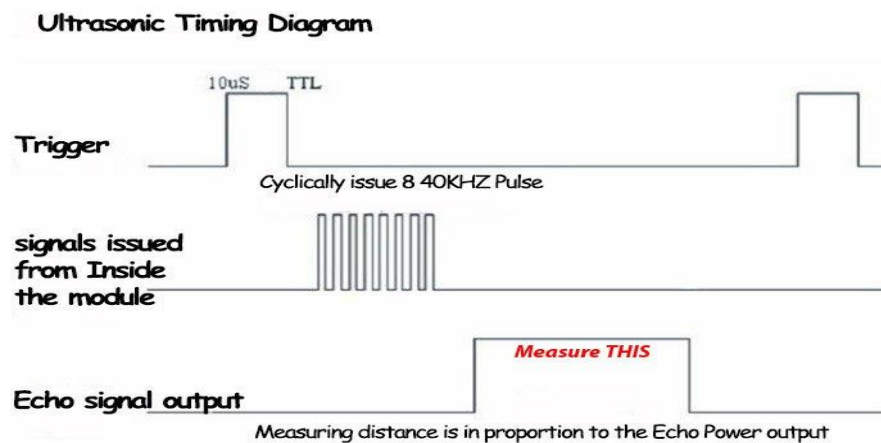


Figura 14. Modo de medición del sensor de ultrasonido. Tomada de <https://www.tindie.com/products/upgradeindustries/hc-sr05--hy-srf05-precision-ultrasonic-sensor/>

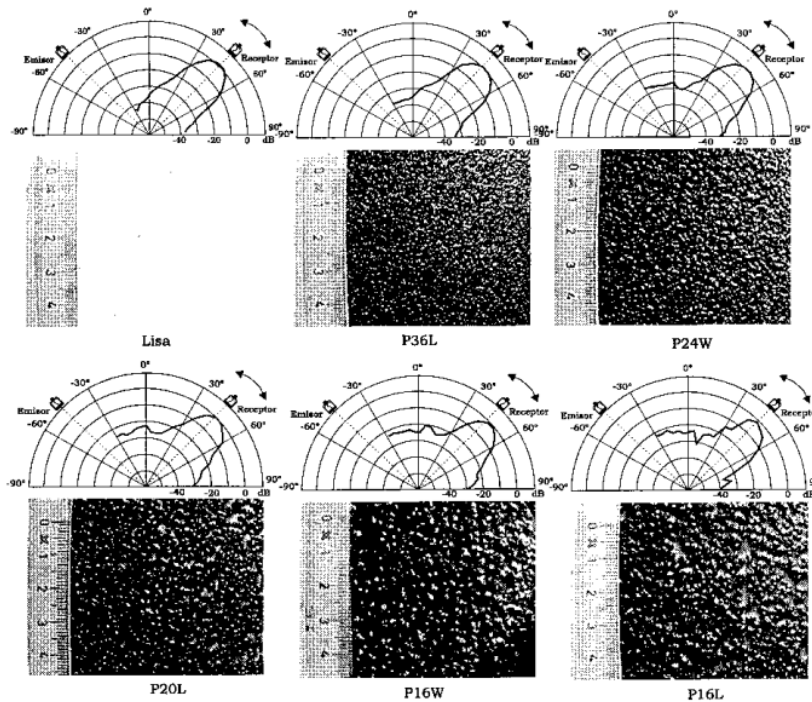


Figura 15. Fotografías de diferentes lijas y sus respectivos mapas de reflectancia.

Tomado de:

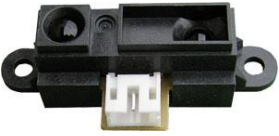


[https://www.researchgate.net/profile/Enrique\\_Vargas\\_Cabral/publication/39157578\\_Caracterizacion\\_de\\_reflectores\\_e\\_irregularidades\\_superficiales\\_por\\_ultrasonidos\\_en\\_aire/inks/54b3c6850cf26833efceed2b/Caracterizacion-de-reflectores-e-irregularidades-superficiales-por-ultrasonidos-en-aire.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Enrique_Vargas_Cabral/publication/39157578_Caracterizacion_de_reflectores_e_irregularidades_superficiales_por_ultrasonidos_en_aire/inks/54b3c6850cf26833efceed2b/Caracterizacion-de-reflectores-e-irregularidades-superficiales-por-ultrasonidos-en-aire.pdf)

La sensibilidad del sensor se ve afectada por la geometría del obstáculo y por el lóbulo propio del sensor (Vargas Cabral, 1999, pág. 224) como se puede observar en la Figura 15 nos muestra algunos ejemplos en su tesis doctoral. Recordemos que en el presente proyecto no es de mayor interés la precisión con la que sea medida la distancia del objeto, ya que unos pocos centímetros no significan mayor cosa para un invidente, pero si es importante conocer todos los aspectos que puedan entorpecer la detección o retrasar la medición.

**6.2.6 Sensor de Infrarrojo.** Entre los sensores de infrarrojo los más comerciales y comúnmente usados son los de serie GP2Y0A de Sharp, en la Tabla 8 se presentan

aquellos que por sus características se acomodan mejor a los criterios de diseño del dispositivo.

Tabla 8.  
*Comparación entre sensores de infrarrojo.*

	GP2Y0A021YK	GP2Y0A02YK	GP2Y0A41SK
<b>SENSOR</b>			
<b>Voltaje alimentación</b>	4.5-5.5 VDC	4.5-5.5 VDC	4.5-5.5 VDC
<b>Rango de medición</b>	10cm-80cm	20cm-150cm	4cm-30cm
<b>Consumo corriente promedio(mA)</b>	30	33	12
<b>Precio*</b>	29.250	30.500	32.100

Nota: \*El precio es un valor promedio en pesos colombianos de los valores de compra ofertados por diferentes proveedores consultados.

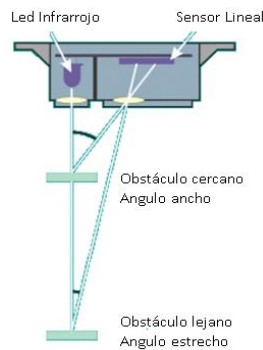
<http://www.didacticaselectronicas.com/index.php/sensores/distancia/sensor-de-distancia-por-infrarrojos-gp2y0a21yk-infrarrojos-detail>

<http://www.didacticaselectronicas.com/index.php/sensores/distancia/sensor-de-distancia-por-infrarrojos-gp2y0a02yk-infrarrojos-detail>

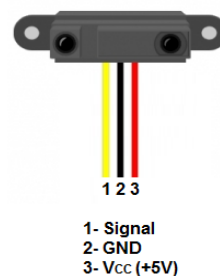
<http://www.didacticaselectronicas.com/index.php/sensores/distancia/sensor-de-distancia-por-infrarrojos-gp2y0a41sk0f-infrarrojos-detail>

**6.2.6.1 Funcionamiento.** El sensor infrarrojo es una unidad que integra un sensor detector de posición, un diodo LED emisor y un circuito integrado que procesa las señales. El principio básico de funcionamiento es el de triangulación de haz de luz colimada, es decir, el LED emite una luz infrarroja la cual pasa a través de un lente que concentra los rayos de luz en un único punto, la luz va recta hacia adelante y cuando se encuentra con

un obstáculo se refleja con cierto ángulo de inclinación dependiendo de la distancia y retorna en el lente receptor del dispositivo donde es recibido por el sensor de posición y de igual manera incide en un único punto como se muestra en la Figura 16. El sensor puede encontrar la distancia de los objetos que presentan un borde muy estrecho tal como una pared en un ángulo muy agudo.



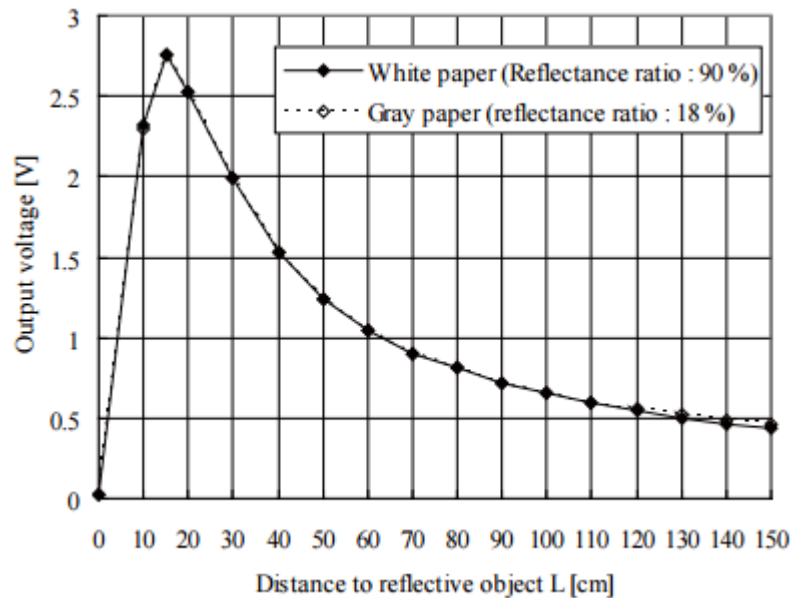
*Figura 16.* Triangulación de haz de luz. Tomado de: <http://wiki.robotica.webs.upv.es/wiki-de-robotica/sensores/sensores-proximidad/sensor-infrarrojos/>



*Figura 17.* Pines sensor IR. Tomado de: <http://www.learningaboutelectronics.com/Articles/GP2Y0A21-Infrared-IR-Distance-Sensor-Circuit.php>.

El sensor infrarrojo cuenta con tres pines para su funcionamiento (Ver *Figura 17*): alimentación, tierra y señal. Se alimenta a 5 V y el pin de señal toma valores de voltajes de acuerdo a la distancia a la que se encuentre el objeto del sensor típicamente 2,5 V

para 20 cm hasta 0.4 V para 150 cm y la medida puede variar en base a las características del objetivo (tamaño, dirección de movimiento, reflectancia, alineación del objeto, etc.). Esta señal es tomada por un puerto analógico del micro controlador y es procesada para realizar una orden o acción que será entregada a una de las salidas para generar una respuesta.



*Figura 18.* Curva de sensibilidad del sensor Sharp GP2Y0A21  
Tomada de: [http://www.robotstorehk.com/gp2y0a02\\_e.PDF](http://www.robotstorehk.com/gp2y0a02_e.PDF)

El cálculo interno que realiza el micro controlador para dar el valor de la distancia medida, puede ser realizado con ayuda la Ecuación 3 la cual se basa en los datos proporcionados por la hoja de datos del dispositivo, sin embargo, esta operación no garantiza lecturas confiables, es por eso que otros autores se han tomado la tarea de deducir nuevas fórmulas basados en experimentación propia y de igual manera apoyados en los datos suministrados por el datasheet del sensor. La Ecuación 4 da una

mayor aproximación a las medidas reales comparadas con las tomadas por el sensor y es la usada para el presente proyecto.

Ecuación 3.

*Formula aproximada para el cálculo de la distancia.*

$$Distancia = \frac{9462}{ValorSensor - 16.92}$$

Nota: Tomada de: [http://www.phidgets.com/products.php?product\\_id=3522](http://www.phidgets.com/products.php?product_id=3522).

Ecuación 4.

*Fórmula mejorada para el cálculo de la distancia.*

$$Distancia = 61.573 * \left( \frac{ValorSensor}{1000} \right)^{-1.1068}$$


Nota: Tomada de: <http://playground.arduino.cc/Main/SharpIR>.

**6.2.7 Motor Vibrador.** Para alertar al portador del bastón de los obstáculos presentes en su camino, se hizo uso de motores vibradores tipo moneda, el cual por su tamaño es de uso fácil y práctico.

Su principio de funcionamiento cumple con las mismas características de un motor DC sencillo, sin embargo, este tiene en su eje una pequeña pieza la cual crea un desbalance en el peso y cambia su centro de masa, en consecuencia, una vez el motor es puesto en marcha ese desbalance hace que cree un movimiento que se traduce en vibraciones.

Tabla 9.

*Características motor vibrador.*

MOTOR	VOLTAJE DE FUNCIONAMIENTO	CONSUMO DE CORRIENTE	DIMENSIONES
	1.3-3.6 VDC	65 mA	Diámetro: 10 mm  Altura: 3mm

Nota: \*No se encontró especificaciones completas del motor, se adjunta la información que proporciona el vendedor.

[http://www.didacticaselectronicas.com/index.php/elementos-electromecanicos/motores-y-solenoides-1/otros-motores-1/motor-vibrador2016-02-08-04-34-49\\_3-detail](http://www.didacticaselectronicas.com/index.php/elementos-electromecanicos/motores-y-solenoides-1/otros-motores-1/motor-vibrador2016-02-08-04-34-49_3-detail)

### 6.3 Diagrama de bloques

En el desarrollo del proyecto se pueden identificar cinco bloques funcionales. En esta etapa se muestra el diagrama de bloques (ver *Figura 19*) representando el funcionamiento interno del sistema y las relaciones de los componentes del dispositivo.

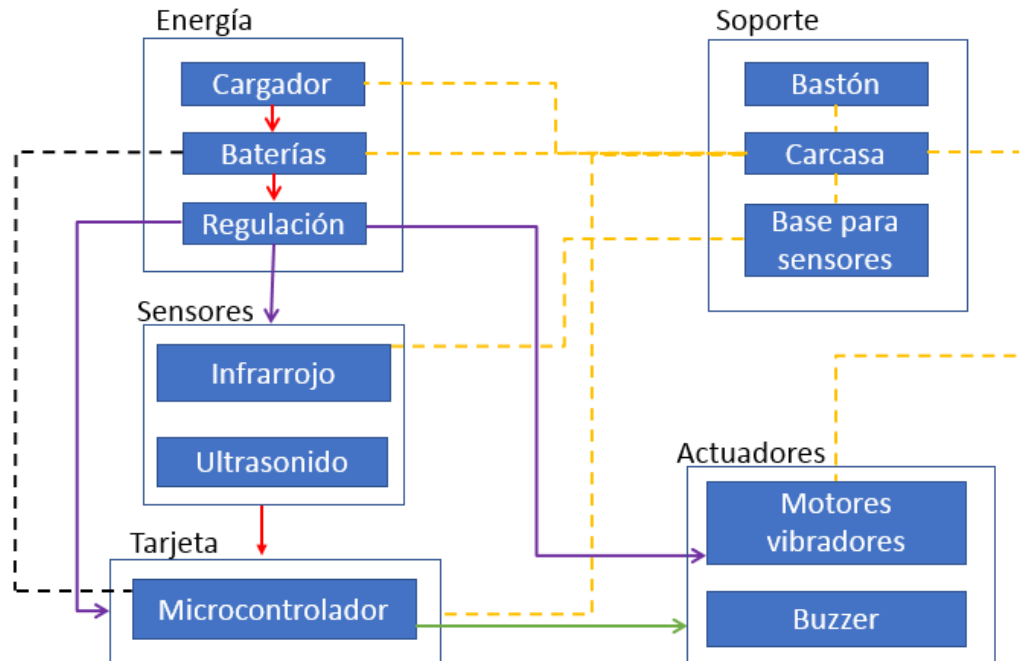


Figura 19. Diagrama de bloques.

#### 6.4 Programación

La programación del microcontrolador se realizó en el software Energia, un entorno de desarrollo integrado basado en código abierto creado para trabajar con las tarjetas de desarrollo de Texas Instruments. Energia junto con el launchpad puede usarse para desarrollar objetos interactivos, tomar entradas desde una variedad de conmutadores o sensores, y controlar una variedad de luces, motores y otras salidas físicas.

Se realizaron los códigos por separado y se hizo la respectiva evaluación del funcionamiento de los dispositivos (infrarrojo y ultrasonido) y una vez ajustados, se unieron los dos códigos y de igual manera se evaluó el comportamiento y se hicieron los respectivos ajustes. Las líneas del código se presentan en anexos.

**6.4.1 Algoritmo.** En la Figura 20 se puede observar el algoritmo de programación del microcontrolador. En este algoritmo se dan los rangos de vibración al actuador relacionado a la medición Frontal superior al bastón, mediciones hechas por el sensor de ultrasonido. Igualmente, la detección y alerta de los obstáculos detectados por el sensor infrarrojo y la lectura del nivel de batería con la señal de alerta al encontrarse muy baja.

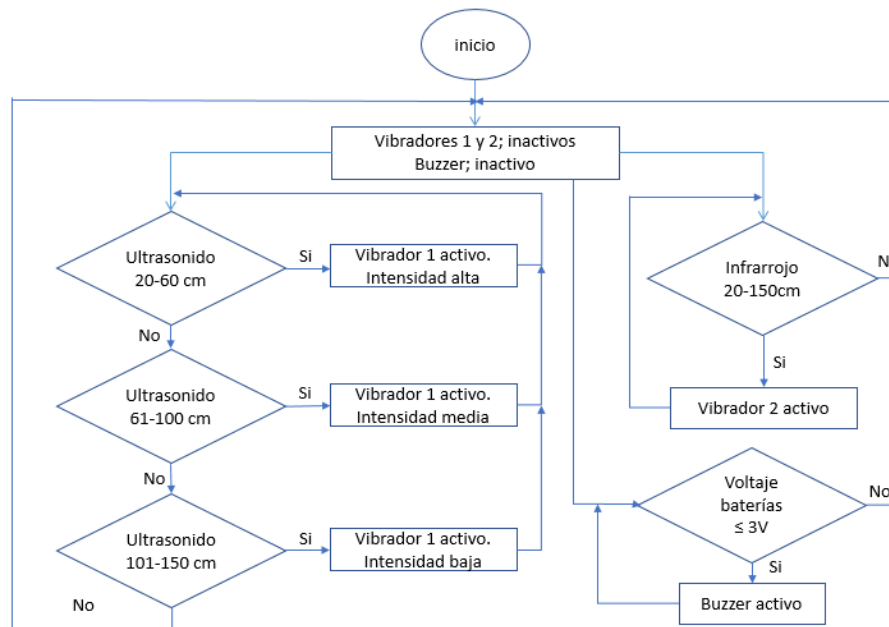


Figura 20. Algoritmo de programación.

## 7 Desarrollo

La metodología usada en desarrollo de este proyecto fue de tipo prototipo evolutivo-desechable, con el fin de encontrar el dispositivo que mejor se adaptara a los criterios de diseño con la mayor robustez, entregando un prototipo confiable.

## 7.1 Primer Prototipo

**7.1.1 Primer Ciclo.** En la selección de componentes se optó por trabajar con la tarjeta de desarrollo de Texas Instruments, sin embargo, se hizo la elaboración del primer prototipo con Arduino uno con el fin de tener un conocimiento previo de los componentes seleccionados, los sensores, su funcionamiento, consumos y demás parámetros antes de la realización del prototipo final.

Los elementos necesarios para el funcionamiento básico de este prototipo, se listan a continuación:

- a) Microcontrolador Atmega 328P (P-DIP)
- b) Regulador 5 V
- c) Cristal oscilador de 16 MHz
- d) Resistencia de 1K
- e) Capacitores
- f) Pulsador

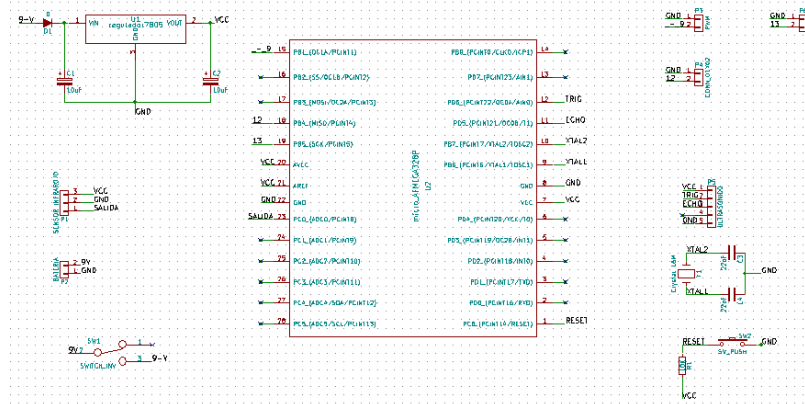


Figura 21. Esquemático del Primer prototipo PCB

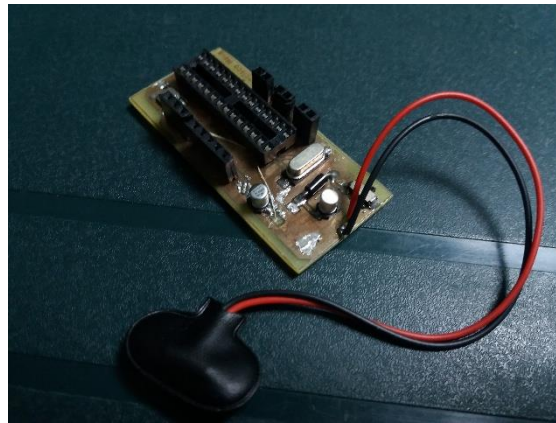


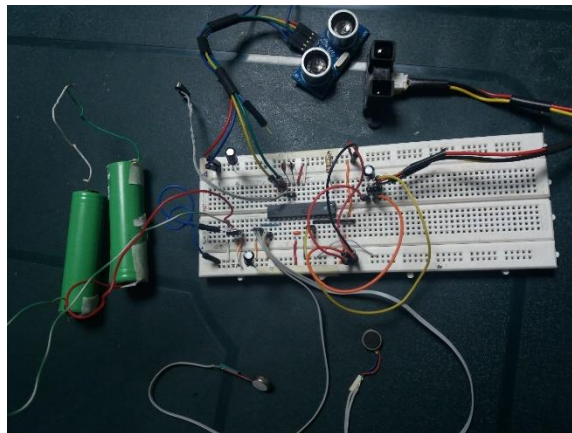
Figura 22. Prototipo de prueba #1.

En la realización del prototipo, se encontraron problemas de interferencias en las señales de la PCB y caídas de tensión considerables para el buen funcionamiento del microcontrolador. Sin embargo, haciendo pruebas individuales a los sensores y vibradores correspondientes a cada sensor, se pudo evidenciar el nivel de alerta respecto a la distancia de detección del obstáculo, estos resultados se evidencian en la Tabla 10.

Debido al consumo y picos de corriente aleatorios encontrados en el sensor de infrarrojo que no se especifican en el datasheet, se enviaban señales erróneas al microcontrolador, debido a esto, los vibradores se activaban también aleatoriamente, por

eso fue necesario evolucionar agregando un capacitor mayor a 100uF a la salida del regulador con el fin de evitar que la tensión oscilara, ocasionando un mal procesamiento de los datos y un filtro pasa bajas de primer orden en la salida de la señal del sensor de infrarrojo, con el fin de agregar robustez y confiabilidad al dispositivo.

**7.1.2 Segundo Ciclo.** En la segunda realización se evidenciaron resultados positivos en el funcionamiento del dispositivo ocasionadas por los cambios propuestos. Sin embargo, no fueron eliminados en su totalidad.



*Figura 23.* Prototipo #1.1 en protoboard.

Se diseñó el filtro pasa bajas con el fin de eliminar una frecuencia de ruido aproximada a 60hz, ocasionada por consumos no lineales del sensor de infrarrojo.

Tabla 10.  
Resultados obtenidos.

TIPO DE SENSOR	ACCIÓN	RESPUESTA
<b>Infrarrojo</b>	Medición mayor a 120 cm	Vibración desactivada
	Medición entre 81 y 120 cm	intensidad de vibración baja
	Medición entre 41 y 80 cm	intensidad de vibración media
	Medición entre 20 y 40 cm	intensidad de vibración alta
<b>Ultrasonido</b>	Medición mayor a 120 cm	Vibración desactivada
	Medición entre 81 y 120 cm	intensidad de vibración baja
	Medición entre 41 y 80 cm	intensidad de vibración media
	Medición entre 20 y 40 cm	intensidad de vibración alta

En la realización de la evolución del prototipo se le adiciono el bastón (ver Figura 24) para hacer pruebas más reales y aproximadas a lo que sería el diseño final.

Para comprobar la fiabilidad de las medidas tomadas por los sensores, se realizaron pruebas que consistieron en tomar 10 muestras con un objeto ubicado frente a los sensores a diferentes distancias y con ayuda de un flexómetro se registraron las medidas

reales y las medidas teóricas, en este caso, las procesadas por el puerto serial usando como herramienta el código y el software de Arduino, y se obtuvieron los valores documentados en la Tabla 10.



*Figura 24.* Bastón con el prototipo 1.1 en protoboard

El error que se obtuvo en las medidas del sensor de infrarrojo y ultrasonido fue de  $\pm 3\%$   $\pm 4\%$  respectivamente. Sin embargo, se evidenciaron falsos positivos causados por rebotes en las mediciones o ruidos externos, evidenciando la poca inmunidad al ruido del Microcontrolador Atmega.

Por consiguiente, se decidió desechar este prototipo y escoger otro microcontrolador, uno que entregase una inmunidad al ruido suficiente para que el dispositivo funcione correctamente independientemente del ambiente en el que se encuentre.

## 7.2 Segundo Prototipo

Finalmente, se inició el proceso con el microcontrolador MSP430G2553 de Texas Instruments, el cual entrega una similitud de prestaciones y programación al Atmega, pero está elaborado para ofrecer un menor consumo de potencia y ser usado inclusive en aplicaciones industriales lo que lo hace más robusto y confiable. Adicionalmente no es necesario usar un cristal externo debido a que este microcontrolador contiene un oscilador de 16 MHz interno.

Para la realización del primer prototipo se tuvo como soporte la documentación que proporciona Texas Instruments, la cual incluye el esquemático del launchpad y la lista de materiales para el funcionamiento básico del microcontrolador. El circuito se elaboró en una tarjeta universal y se adicionó al bastón como se ve en la Figura 25.



*Figura 25.* Prototipo de prueba #2.

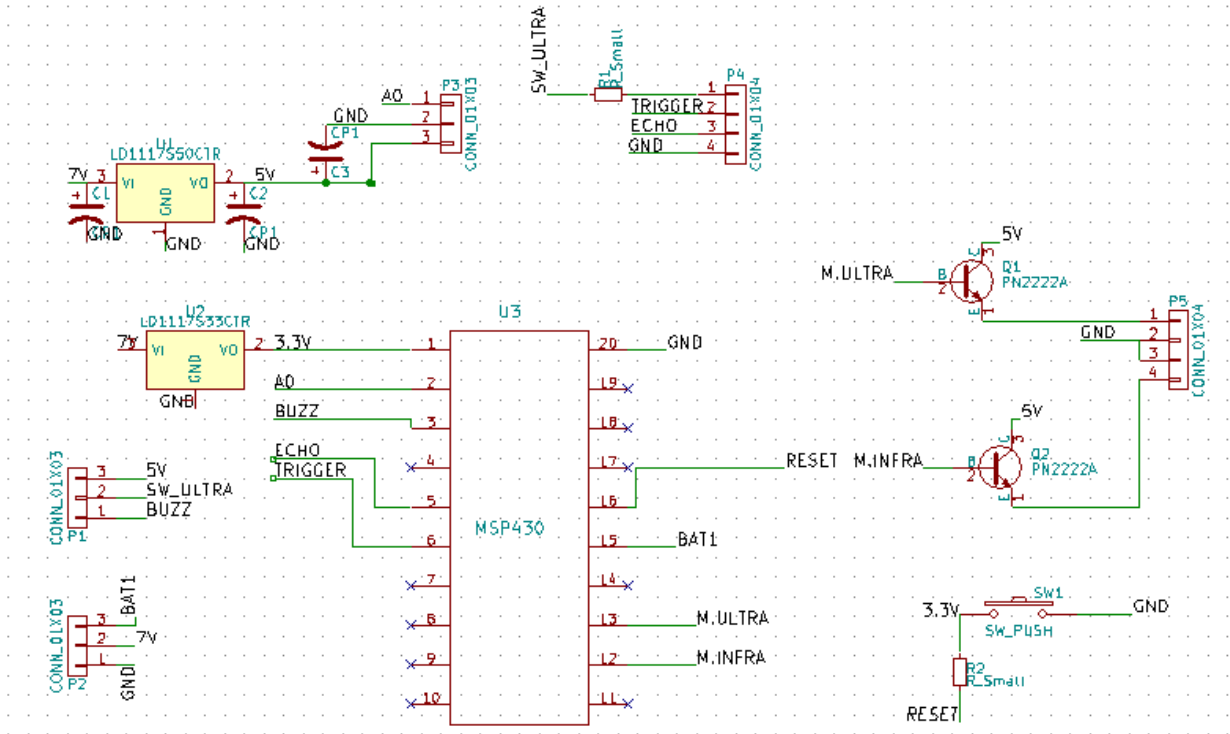


Figura 26. Esquemático del prototipo final.

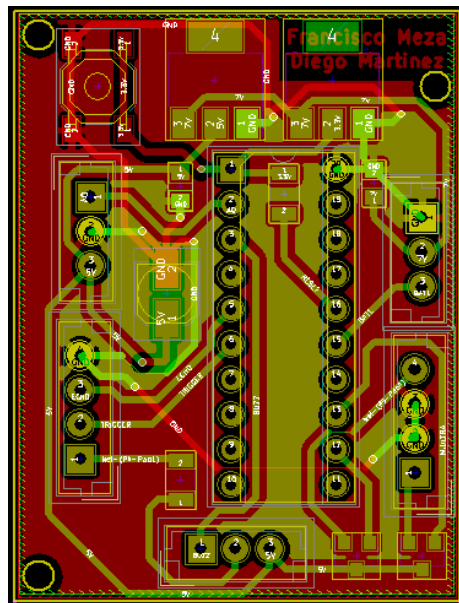


Figura 27. Tarjeta desarrollada.

El error que se obtuvo en las medidas del sensor de infrarrojo y ultrasonido se mantuvo en un 3% y 4% respectivamente lo cual evidencia que las medidas se registran de manera aceptable.

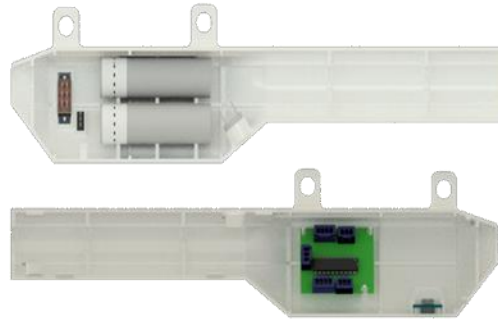
### **7.3 Dimensiones y Materiales del Bastón**

Se utiliza un bastón blanco comercial, el cual tiene 1,23 m de largo y 1,6 cm de diámetro, teniendo en cuenta que su estructura es de forma cilíndrica. Está fabricado de aluminio lo cual hace que tenga un peso ligero (225 g) y sea fácil de maniobrar. Cuenta con puño ergonómico color negro y se puede plegar en cuatro partes para facilitar su almacenaje y transporte e incluye una franja de color rojo que identifica al portador como una persona invidente y que puede necesitar asistencia para su desplazamiento.

**7.3.1 Adaptaciones y descripciones de las nuevas piezas.** Teniendo en cuenta que el bastón se divide en cuatro secciones plegables, es importante que al hacer las adaptaciones y al agregar el dispositivo no se pierda la utilidad de esta característica, por lo tanto, se hace uso de la sección de la empuñadura para adicionarle la carcasa que contiene los elementos que conforman el dispositivo y soportan a los sensores, además que en esta posición evita que la sensación del peso adicional al bastón, sea menos perceptible en el momento de su uso.

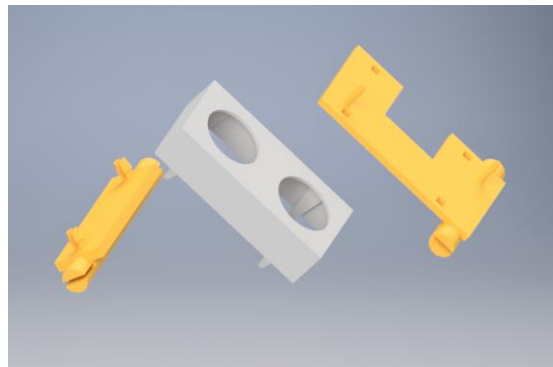
La pieza está formada por dos partes simétricas las cuales son ensambladas a presión con el fin de poder ser retirada y ubicada en cualquier bastón blanco. Una sección está destinada al agarre o empuñadura del bastón donde están ubicados los vibradores y la parte complementaria contiene en su interior el cargador de baterías, la tarjeta principal

donde se encuentra el microcontrolador, las baterías, el buzzer y los switches. La distribución espacial de los elementos se muestra en la Figura 28.



*Figura 28.* Vista interna de la carcasa.

En la parte superior de la pieza, en el exterior, están ubicadas las bases sobre las cuales se encuentran posicionados los sensores y que pueden ser ajustadas de forma manual a diferentes ángulos con un movimiento rotacional en el eje de las bases, con el objetivo que puedan ser orientados en diferentes direcciones de acuerdo a la estatura del invidente que haga uso del bastón y que el campo de acción de los sensores sea el adecuado.



*Figura 29.* Soporte y recubrimiento para los sensores.

Los sensores cuentan con una cubierta protectora donde solo quedan expuestos al exterior los transmisores y los receptores, esto con el fin de protegerlos de factores externos que puedan estropearlos o reducir su vida útil. Sin embargo, no está diseñada para protegerlos de líquidos o lluvia.

El diseño final de la carcasa y el dispositivo físico se observan en las Figura 30 y Figura 31 respectivamente.



Figura 30. Diseño carcasa final.

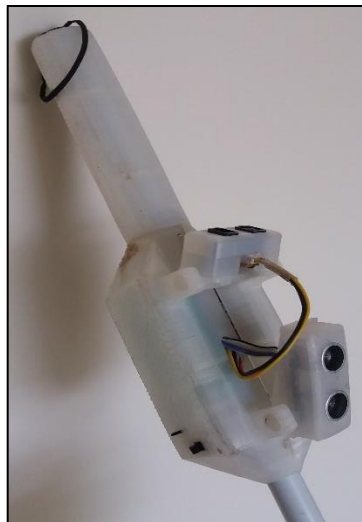
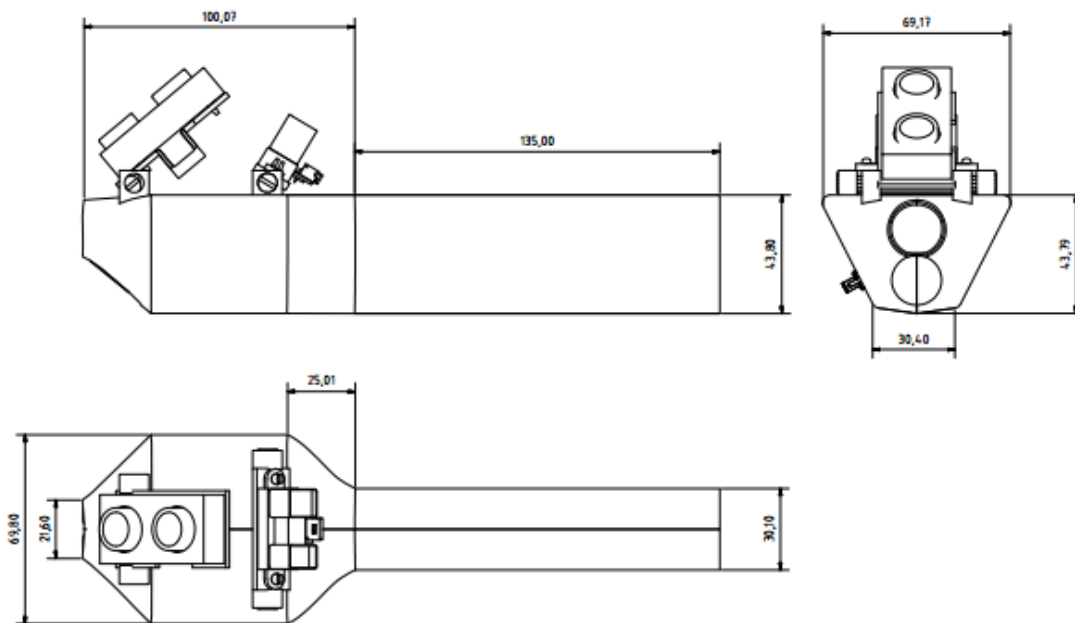


Figura 31. Resultado final.

Las piezas están elaboradas en nylon y sus medidas se muestran en la *Figura 32*.



*Figura 32.* Plano de medidas del dispositivo.

#### 7.4 Costos

Uno de los objetivos del presente trabajo no es solo satisfacer la necesidad de detección de obstáculos de las personas invidentes, sino que también sea de bajo costo, teniendo en cuenta que la mayoría de las personas que presentan discapacidad visual en nuestro país son de recursos económicos limitados (MORENO ANGARITA & RUBIO VISCAYA, 2011).

Debido a que las tecnologías y herramientas elaboradas para ayudar a la movilidad de los invidentes no todos se encuentran en nuestro país y a las que hay acceso son de precios elevados y más complejos, se logró con el objetivo de elaborar un dispositivo básico y de bajo costo que puede ser adquirido a una suma moderada de dinero. Como soporte, en la Tabla 11 se relacionan los materiales y su respectivo precio.

Tabla 11.  
Precios.

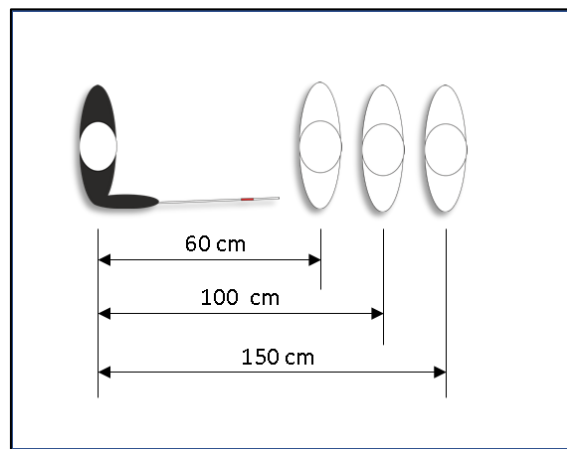
<b>ELEMENTO</b>	<b>REFERENCIA</b>	<b>PRECIO POR UNIDAD</b>	<b>PRECIO AL POR MAYOR</b>
<b>Microcontrolador</b>	MSP 430G2553	7.500	5.400 (100 und)
<b>Sensor ultrasonido</b>	HY-SRF05	12.000	12.000
<b>Sensor infrarrojo</b>	GP2Y0A02YK	30.500	27.750 (100 und)
<b>Regulador 5V</b>	LD1117S50	450	400 (100 und)
<b>Regulador 3.3V</b>	LD1117S33	450	400 (100 und)
<b>Vibradores (2)</b>	M-V-4	6.000	6.000
<b>Baterías (2)</b>	ICR18650-22F	24.000	24.000
<b>Cargador de baterías</b>	TP405	5.000	5.000
<b>Componentes pasivos</b>	Resistencias y capacitores	1.000	500 (100 und)
<b>Transistores (2)</b>	2n2222	140	80 (100 und)
<b>Switches</b>	Sencillo y doble	1.200	800 (100 und)
<b>PCB</b>	_____	30.000	28.000 (100 und)
<b>Total</b>	_____	118.240	102.530

Como soporte, en la Tabla 11. se relacionan los materiales y su respectivo precio adquiriendo una unidad por cada elemento y comprando al por mayor donde se evidencia un ahorro en caso de ser producido en masa.

## 7.5 Pruebas

Para la verificación de la funcionalidad del prototipo, se realizaron diferentes pruebas para cada sensor.

En la primera prueba se verificó que detectara a una persona en línea recta frente al portador, en cada rango de distancia asignado al sensor de ultrasonido como se ve en la *Figura 33*.

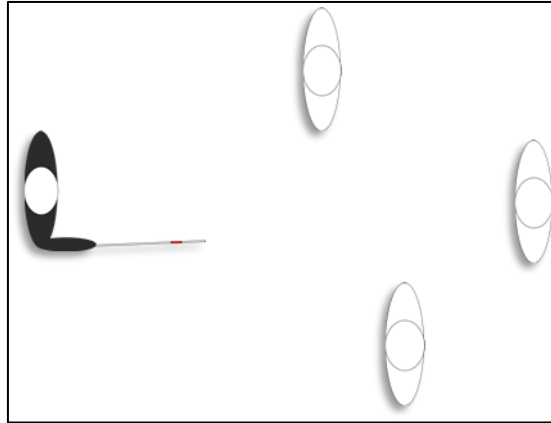


*Figura 33.* Prueba de los niveles de vibración a diferentes distancias.

Se realizó una segunda prueba con personas ubicadas dentro del rango de barrido del bastón, es decir, en la semicircunferencia creada por el bastón que corresponde aproximadamente al ancho de los hombros que permite detectar obstáculos en su trayecto, como se ilustra en la *Figura 34* y se verificó que fueran detectadas por el sensor de ultrasonido.

Una tercera prueba fue hecha caminando únicamente con el sensor de infrarrojo encendido, con el fin de verificar la velocidad de respuesta ante un obstáculo. Este sensor fue capaz de detectar obstáculos a diferentes alturas dentro del rango de medición del

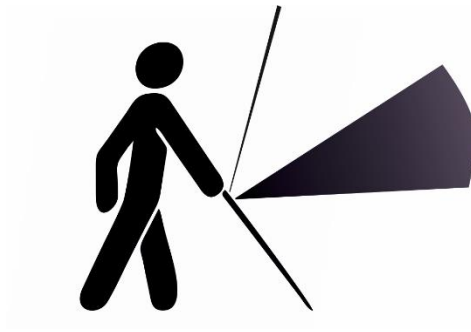
sensor y dar un aviso oportuno para que el portador no colisionara como se puede ver en la *Figura 35*, recordando que el tiempo de respuesta del sensor es de 50ms. También se evidencio que el sensor puede detectar obstáculos delgados como el palo de una escoba (1 cm de radio).



*Figura 34.* Detección mediante ultrasonido bajo la técnica de Hoover



*Figura 35.* Detección de objetos a diferentes alturas mediante el sensor de infrarrojo.



*Figura 36.* Campo de detección de obstáculos usando ultrasonido e infrarrojo.

Por último, se hicieron pruebas con todo el dispositivo en funcionamiento, este fue capaz de detectar diferentes obstáculos frente o sobre el como se muestra en la *Figura 36*, dando al portador la alerta oportuna mediante vibraciones, cabe resaltar que las vibraciones están espacialmente separadas en el mango, para así lograr diferenciar de un objeto que esta frente a él con una distancia prudente, de uno que inminentemente a puede causarle daños por colisión.

## 8 Conclusiones y Recomendaciones

Debido a que las personas invidentes por su condición desarrollan más los otros sentidos, en especial la audición, se optó por alertas vibratorias y no sonoras ya que los sonidos de su entorno son vitales para ayudarlos en la orientación y ubicación del lugar en el que se encuentren.

En trabajos anteriormente realizados con bastones blancos, ha sido modificada su estructura en la parte inferior; cambiando esta por una llanta o un objeto rotatorio. En el presente proyecto se dejó en su forma original, ya que así conserva su funcionamiento básico de barrido lo que permite que su rango de detección sobre el suelo sea mayor y además, de este modo, el bastón también le brinda al invidente información de la superficie en la cual está transitando.

Es de gran utilidad tener dos tipos de sensores para detectar distancias debido a que complementan la detección de objetos ya que cada uno lo hace en un campo de acción diferente.

En los mercados actuales existen varias referencias de microcontroladores y de bajo costo que pudieron haber sido usadas para el proyecto, sin embargo, no es solo encontrar el que cumpla con las funciones, si no que al mismo tiempo tenga un bajo consumo, debido a que es un dispositivo portátil alimentado por baterías. Además, debe ser robusto, brindando inmunidad al ruido y a interferencias que se puedan presentar en el ambiente.

Al momento de hacer funcionar un sistema, se recomienda realizar todo tipo de pruebas en todos los dispositivos por separado con el fin de identificar problemas antes de unir los elementos.

Al unificar todo el sistema, se pueden encontrar problemas que no se presentaron al momento de realizar el paso anterior, se deben realizar mediciones en cada punto crítico, teniendo claro lo que debería suceder teóricamente, para así hacer funcionar correctamente el sistema.

Es primordial tener claro el modo en el que los sensores perciben los objetos y cómo se comportan las señales de salida respecto a estas mediciones, con el fin de tener claro la ubicación y la programación del dispositivo, según los resultados esperados.

Cuando se trabaja con sensores de ultrasonido, se recomienda hacerlo en recintos abiertos o no tan estrechos, para evitar falsos ecos. Se sugiere dejarlo temporalmente fuera de uso y tener otra tecnología como respaldo de la medición.

### Referencias Bibliográficas

- ADIGBO, S., RAFIQ, W., & HOWLETT, R. (2015). XploR. *Birmingham City University*. Reino Unido. Obtenido de <http://www.bcu.ac.uk/news-events/news/a-pioneering-facial-recognition-cane-for-the-blind>
- ASCENCAO, J., & MARTÍNEZ, K. (noviembre de 2013). Desarrollo de un prototipo de bastón blanco electrónico destinado a orientar a personas invidentes en su entorno (Tesis de pregrado). *Universidad Nueva Esparta*. Venezuela. Recuperado el 7 de febrero de 2016, de <http://miunespace.une.edu.ve/jspui/bitstream/123456789/2258/1/TG5039.pdf>
- AYALA CRUZ, E. L. (junio de 2011). Diseño y Construcción De Un Prototipo De Un Sistema De Ultrasonido Para Medir Distancias Aplicada A Un Baston Blanco. *Universidad Politécnica Salesiana (Tesis de pregrado)*. Ecuador. Recuperado el 17 de febrero de 2016, de <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/1080/12/UPS-CT002123.pdf>
- CALVO MARAÑÓN, E. (2015). Prototipo de bastón electrónico para el guiado accesible en interiores de personas con discapacidad visual (Tesis de pregrado). *Universidad Rey Juan Carlos*. España. Obtenido de <https://www.urjc.es/todas-las-noticias-de-actualidad-cientifica/1239-una-alumna-de-la-urjc-disena-un-prototipo-de-baston-inteligente-para-personas-con-discapacidad-visual>
- FERNÁNDEZ, E., PÉREZ, C., SABATER, J. M., GARCÍA, N., AZORÍN, J. M., BAYONAS, M., & RUBIO, J. R. (2013). Bastón Electrónico Inteligente. *Universidad Miguel Hernández*. España. Obtenido de <http://comunicacion.umh.es/2013/07/01/investigadores-de-la-umh-presentan-un->

nuevo-baston-electronico-inteligente-para-ayudar-a-las-personas-ciegas-a-  
detectar-obstaculos/

MARTÍNEZ BECARDINO, C. (2012). *Estadística Y Muestreo*. Bogotá: Ecoe ediciones.

MARTÍNEZ DELGADO, A. D. (agosto de 2012). Bastón Blanco Para Prevenir Obstáculos  
(Tesis de pregrado). *Instituto Politecnico Nacional*. Mexico DF. Recuperado el 17  
de febrero de 2016, de  
<http://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/11470/21.pdf?sequence=1>

MORENO ANGARITA, M., & RUBIO VISCAYA, S. X. (2011). Realidad Y Contexto  
Situacional De La Población Con Limitación Visual En Colombia. Una  
Aproximación Desde La Justicia Y El Desarrollo Humano. *Instituto Nacional Para  
Ciegos; Universidad Nacional*. Recuperado el 10 de DICIEMBRE de 2015, de  
[http://www.inci.gov.co/observatorio-social/informes-estadisticos/otros-estudios-e-  
investigaciones](http://www.inci.gov.co/observatorio-social/informes-estadisticos/otros-estudios-e-investigaciones)

Moreno García, M. N. (s.f.). *Departamento de Informática y Automática*. Obtenido de  
Universidad de Salamanca: <http://avellano.usal.es/~mmoreno/ASTema2.pdf>

PERALTA MOSQUERA, M. A., & URMENDIZ TERREROS, J. V. (2014). Sistema De  
Asistencia Y Guía Para Personas Invidentes (Tesis de pregrado). *Universidad  
Autónoma de Occidente*. Obtenido de  
<http://red.uao.edu.co:8080/jspui/bitstream/10614/6868/1/T05005.pdf>

PÉREZ, D. (15 de junio de 2006). Sensores De Distancia Por Ultrasonido. *Robótica en  
la Universidad de Alcalá*. España. Recuperado el 22 de enero de 2016, de  
<http://www.alcabot.com/alcabot/seminario2006/Trabajos/DiegoPerezDeDiego.pdf>

RINCÓN RUIZ, J. E. (2008). Diseño Y Construcción De Un Dispositivo Electrónico Para La Detección De Obstáculos, Como Ayuda A Personas Con Discapacidad Visual (Tesis de pregrado). *Universidad De La Salle*. Bogotá, Colombia. Obtenido de <http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/16456/T44.08%20R471d.pdf?sequence=1>

Vargas Cabral, E. A. (1999). *Universidad Complutense De Madrid*. Obtenido de [https://www.researchgate.net/profile/Enrique\\_Vargas\\_Cabral/publication/39157578\\_Characterizacion\\_de\\_reflectores\\_e\\_irregularidades\\_superficiales\\_por\\_ultrasonidos\\_en\\_aire/links/54b3c6850cf26833efceed2b/Caracterizacion-de-reflectores-e-irregularidades-superfi](https://www.researchgate.net/profile/Enrique_Vargas_Cabral/publication/39157578_Characterizacion_de_reflectores_e_irregularidades_superficiales_por_ultrasonidos_en_aire/links/54b3c6850cf26833efceed2b/Caracterizacion-de-reflectores-e-irregularidades-superfi)

## Anexos

### ANEXO A. Encuesta y resultados

1. ¿En alguna ocasión ha chocado contra un objeto que no pudo percibir con el bastón?
  - a. Si (100%)
  - b. No (0%)
  
2. ¿Le gustaría tener un bastón con funciones que le permitan mejorar la percepción del entorno?
  - a. Si (100%)
  - b. No (0%)
  
3. De los siguientes elementos del medio ambiente, a su juicio ¿Cuáles son importantes de describir por medio de un bastón blanco, para un mejor desenvolvimiento en su entorno?
  - a. Intensidad luminosa (0%)
  - b. Color de los objetos (0%)
  - c. Presencia de líquidos en el suelo (32,8%)
  - d. Proximidad de los objetos (67,2%)
  
4. ¿A Qué distancia considera usted que es prudente que el bastón le dé información de la distancia de un objeto?
  - a. 0 a 50 cm (37,3%)
  - b. 0 a 80 cm (0%)
  - c. 0 a 100 cm (25,4%)
  - d. 0 a 150 cm (37,3%)
  
5. ¿Qué tipo de alerta considera usted que es más útil y cómoda?
  - a. Alerta sonora (10,4%)
  - b. Alerta vibratoria (89,6%)
  - c. Otra \_\_\_\_\_ (0%)
  
6. Le gustaría que el sistema de alerta estuviera ubicado en:

- a. Bastón (79,1%)
  - b. Brazos (10,45%)
  - c. Manos (10,45%)
  - d. Otra \_\_\_\_\_ (0%)
- 
7. Cuanto pagaría usted por un dispositivo electrónico adaptado a un bastón blanco
    - a. 50 mil a 100 mil (67,1%)
    - b. 100 mil a 150 mil (22,3%)
    - c. 150 mil a 200 mil (10,6%)

### **Anexo B. Programación del Microcontrolador**

```
int sensorpin = 0; //variable que almacena los datos del sensor (se inicializa en 0)
```

```
int val=0; // variable que almacena el mapeo de los valores leídos por el sensor  
se inicializa en 0
```

```
//Se definen los pines del infrarrojo y el vibrador asociado
```

```
const int analoginpin=A0;
```

```
const int vibrador1=9;
```

```
//Se definen los pines del ultrasonido y el vibrador asociado
```

```
int const trigPin = 6;
```

```
int const echoPin = 5;
```

```
int const vibrador2 = 10;
```

```
void setup()
```

```
{
```

```
Serial.begin(9600);
```

```
pinMode(trigPin, OUTPUT); // se configura el pin trigger como salida
```

```
pinMode(echoPin, INPUT); // se configura el pin echo como entrada
```

```
}
```

```
void loop()
{
  sensorpin = analogRead(analoginpin); //lectura de los valores del sensor infrarrojo
  float Voltaje=sensorpin*(3.3/1023); // toma los valores digitales y los convierte en voltaje
  val = map(sensorpin, 0, 1023, 0, 255);
  // Condicionales infrarrojo
  if (Voltaje >= 0.50 && Voltaje <=2.60){
    analogWrite(vibrador1, 255);
  }
  else
  {
    analogWrite(vibrador1,0);
  }

  //se envía un pulso de 10 us para inicializar la lectura del ultrasonicoad
  digitalWrite(trigPin, LOW);
  delayMicroseconds(2);
  digitalWrite(trigPin, HIGH);
  delayMicroseconds(10);
  digitalWrite(trigPin, LOW);

  long duration, distancia;
  duración = pulseIn(echoPin, HIGH); // mide la duración del pulso de entrada en echo
  distancia = (duración) / 58; // fórmula para el cálculo de la distancia ultrasonido
```

```
//Condicionales ultrasonido
if (distancia >= 20 && distancia <=40)
{
  analogWrite(vibrador2, 255);
}
else if (distancia >= 41 && distancia <=80)
{
  analogWrite(vibrador2, 150);
}
else if (distancia >= 120 && distancia <=150)
{
  analogWrite(vibrador2, 100);
}
else
{
  analogWrite(vibrador2, 0);
}
delay(100);
}
```

### **ANEXO C. Descripción del material de la carcasa y elaboración de las piezas**

Para la elaboración de la carcasa del dispositivo se tuvo en cuenta que fuera con un material resistente y rígido, pero a su vez liviano. En base a esto, la familia de materiales

para la selección del adecuado fue la de los polímeros, entre los cuales se encuentran los que comúnmente se conocen como polipropileno(PP), poliestileno (PE) y el polietileno (PET), también se encuentran el ABS, el PLA el acrílico y el nylon.

La construcción de la pieza se realizó con la impresora 3D de la escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad Industrial De Santander; esta es una tecnología de fabricación por adición, es decir, el objeto tridimensional es creado por la superposición de capas sucesivas de material. A las impresoras 3D pueden ser adaptados cualquiera de los materiales anteriormente mencionados, sin embargo, se usó el nylon como material de trabajo debido a que ofrece mejores acabados, mejor control de temperatura y fuerza de tracción. Entre las características más representativas están:

- Medida certificada de la resistencia a la tracción.
- Mejor adherencia a la plataforma de impresión.
- Precio
- Reducción del consumo de agua de la humedad local
- Evaluación no destructiva (Opacidad)
- Reducción del encogimiento

Tabla 12.  
Propiedades del nylon bridge.

	<a href="http://www.taulman3d.com">www.taulman3d.com</a>	
	<b>Specification</b>	<b>Bridge Nylon</b>
<i>Notes:</i>	<b>Technical</b>	
1	Manufacture Part ID	bdg1/bdg3
	HS Code	3916.9
	<b>Thermal</b>	
2	Printing Temperature	250C-255C
	Melting Temperature	217C
3	Tg Glass transition	52C
4	Pyrolysis - Thermal degradation	360C
	Non-Destructive Evaluation	Yes
5	Print-Bed Temp	30-65C
6	Ambient Temp (Enclosure)	30 - 100C
	<b>Physical</b>	
	Nominal Diameter (3mm Maximum Dia)	1.75mm/2.85mm
	Weight /spool	1 lb
	Nominal Length/spool (In Feet)	490/180
7	Shrinkage - in/in	0.0061
8	Solvent/Glue	ComPlete
9	<b>Mechanical</b>	
	Tensile Stress "PSI" when 3D Printed	4,800
	Ultimate Elongation when 3D Printed	248.20%
	Modulus "PSI" when 3D Printed	26,544
	<b>Optical</b>	
	Opacity	45%
	Reflectivity	N/A
10	Color	Natural
	<b>Approvals</b>	
	FDA - Direct Food Contact	None
	FDA Direct Drink Contact	None
	<b>UL Flammability</b>	
	UL 94 HB	Yes
	UL 94 V2 at 1.5 mm thickness	Yes
	<b>Features:</b>	
	Surface texture	Very good
11	Living Hinge	Very good
	Use of Taps for threads	Excellent
	CNC finish tooling	Any
12	CNC Coolant	Forced Air Only
	Use in 3D Forging	Excellent
	Printed Prosthesis	Excellent
	Robotic Assemblies	Excellent
	Jewelry Printing	N/A
	Fumes	None
	Lenticulated overlays.	N/A
	Dye type	Acid Based
	Dye Uptake (Saturation)	Very good
	Specifications are subject to change.	