

IMPLEMENTACIÓN DE UN BASTÓN DETECTOR DE OBSTÁCULOS ELEVADOS PARA
PERSONAS INVIDENTES



TRABAJO DE GRADO PRESENTADO COMO REQUISITO
PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO ELECTRÓNICO

CRISTIAN RODRIGO ROJAS OLAYA

Director:

Ing. MÓNICA SILVA QUICENO

UNIVERSIDAD DE LOS LLANOS
FACULTAD DE CIENCIAS BÁSICAS E INGENIERÍA
INGENIERÍA ELECTRÓNICA
VILLAVICENCIO META
FEBRERO 2016



TRABAJO DE GRADO PRESENTADO COMO REQUISITO
PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO ELECTRÓNICO

CRISTIAN RODRIGO ROJAS OLAYA

Director:

Ing. MÓNICA SILVA QUICENO

UNIVERSIDAD DE LOS LLANOS
FACULTAD DE CIENCIAS BÁSICAS E INGENIERÍA
INGENIERÍA ELECTRÓNICA
VILLAVICENCIO META
FEBRERO 2016



AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios, a mi familia y la Ingeniera Mónica Silva, por su acompañamiento y dirección para lograr esta meta.

Gracias.



DEDICATORIA

Éste trabajo está dedicado primeramente a Dios, quien me ha dado sabiduría y me ha guiado con su Espíritu a lo largo de esta carrera; la presente es una prueba irrefutable que con Él son posibles todas las cosas. A mi esposa, quien en estos años ha sido mi apoyo y conmigo estuvo en las interminables noches de desvelo, dándome ánimo y alentándome. A mis padres por sus sacrificios, su preocupación y consejos, sin los cuales - no cabe duda - me hubiese quedado en el camino, gracias porque aun en la distancia siempre estuvieron atentos, llevándome en sus oraciones. A mis hermanos por su paciencia en tantos favores y molestias; y a todos aquellos que de una u otra manera me acompañaron en esta etapa de la vida.

C.R.R.O



NOTA DE ACEPTACION

Firma del jurado



RESUMEN

El presente informe muestra el diseño e implementación de un bastón para invidentes capaz de detectar obstáculos u objetos por encima de la cintura del individuo, ya que estos pueden representar un peligro para la integridad física de las personas con discapacidad visual; con este propósito se busco de la mejor forma posible el equilibrio entre un buen desempeño y un costo bajo ya que se pretende que el uso de este bastón se masifique y se extienda entre la comunidad invidente de la región, teniendo en consideración esta premisa, el desarrollo de este dispositivo se ha llevado a cabo con el microcontrolador PIC 12F675; el sensor de proximidad por ultrasonido HC-SR04 y un zumbador como elemento de alarma sonora y vibratoria, todo el circuito es alimentado con una batería de 9V y un regulador de 5V; los componentes electrónicos se ubicaron dentro de una caja fuerte y resistente y ésta, a su vez sobre una base de cerca de dos centímetros de ancho.



ABSTRACT

This report shows the design and implementation of a cane for the blind can detect obstacles or objects above the waist of the individual, as they may pose a danger to the physical integrity of persons with visual disabilities; For this purpose, I seek the best possible balance between a good performance and low cost as it is intended to use this cane adoption increases and extends between the blind community in the region , considering this premise , development this device has been carried out with PIC 12F675 microcontroller ; the entire circuit proximity sensor HC- SR04 ultrasonic and a buzzer sound like element and vibrating alarm is supplied with a 9V battery and 5V regulator ; electronic components were within the safe and durable and this in turn on a base of about two centimeters wide.



JUSTIFICACIÓN

A las personas con pérdida visual total - o incluso parcial-, les es necesario utilizar alguna herramienta que les permita detectar los obstáculos en su camino y/o les ayude a guiarse para evitar tropiezos y accidentes. Históricamente las herramientas o recursos de mayor acogida entre la población con limitaciones visuales han sido los perros guías y los bastones blancos. Estos últimos son los de mayor uso puesto que son más económicos y de fácil acceso que un perro lazarillo, pero tienen su punto débil en el hecho de no poder detectar los obstáculos por encima de la cintura, dando como resultado golpes, lesiones e incluso fracturas en la cabeza, torso y miembros superiores en la mayoría de las personas con esta discapacidad.

En la actualidad existen en el mundo algunos bastones que pueden alertar al invidente de la presencia de objetos que son un peligro potencial para su integridad física, pero su alto costo y poca difusión hacen difícil para la mayoría de la población invidente poder adquirirlos y acceder a estas herramientas.

En Colombia, como en otras partes del mundo se han diseñado otros dispositivos que reemplazan al bastón, como lo son las pulseras o manillas electrónicas capaces de detectar los obstáculos, ya sean en el suelo o por encima de este; no obstante, tienen ciertas desventajas: poca comodidad, difícil adaptación y lo más importante, no permiten identificar claramente al usuario como una persona invidente.



OBJETIVOS

Objetivo General

Diseñar e implementar un bastón para invidentes a bajo costo y capaz de detectar obstáculos u objetos por encima de la cintura del individuo, que puedan representar un peligro para su integridad física.

Objetivos específicos

- Conocer la reglamentación que rige la elaboración de los bastones blancos y aplicarlos al diseño.
- Evaluación y elección de la clase y número de sensores a utilizar.
- Diseñar e implementar el circuito de detección y notificación de los obstáculos.
- Obtener un bastón de buena calidad y precisión logrando el menor costo posible.



TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN.....	6
ABSTRACT.....	7
JUSTIFICACIÓN.....	8
OBJETIVOS.....	9
	12
LISTA DE FIGURAS	
LISTA DE TABLAS.....	13
1 INTRODUCCIÓN.....	15
2 MARCO TEORICO.....	16
2.1 TIPOS DE DISCAPACIDADES	16
2.2 CONCEPTO DE VIDENTE	16
2.3 TASA DE INVIDENTES EN EL MUNDO	16
2.4 TASAS DE INVIDENTES NACIONALES	17
2.5 DISPOSITIVOS EMPLEADOS EN LA MOVILIZACIÓN	18
2.6 TIPOS DE BASTONES	18
2.6.1 Bastón tradicional	18
2.6.2 Bastón con componentes electrónicos	20
2.7 FABRICANTES	21
2.7.1 iSonic	21
2.7.2 MyMap	22
2.7.3 Mygo	23
2.7.4 Eye Stick	24
2.8 TIPOS DE MICROCONTROLADORES	25



2.8.1	PIC	25
2.9	SENSORES DE PROXIMIDAD	27
2.9.1	Sensores de proximidad por infrarrojo	27
2.9.1.1	Funcionamiento por barrera	28
2.9.1.2	Funcionamiento por reflexión	28
2.9.2	Sensores de proximidad por laser	28
2.9.3	Sensores de proximidad por ultrasonido	29
2.10	DISPOSITIVOS DE NOTIFICACIÓN	30
2.10.1	Dispositivos de notificación visual	31
2.10.2	Dispositivos de notificación auditiva	32
2.10.3	Dispositivos de notificación háptica	33
3	DISEÑO INGENERIL.....	33
3.1	BASTÓN	37
3.2	SENSOR HC-SR04	38
3.3	PIC 12F675	40
3.4	DISPOSITIVO DE SALIDA	41
3.5	PROGRAMACION PIC	41
3.6	CIRCUITO	43
3.7	LA CAJA	45
4.	RESULTADOS.....	46
5	RECOMENDACIONES.....	49
6	CONCLUSIONES.....	50
	REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA.....	51
	REFERENCIA CIBERGRÁFICA.....	52



LISTA DE FIGURAS

	Pág.
<i>Figura 1. Estadísticas Colombia (Censo 2005)</i>	16
<i>Figura 2. Estadísticas Meta (Censo 2005)</i>	17
<i>Figura 3. Bastón blanco tradicional</i>	18
<i>Figura 4. Bastón blanco con componentes electrónicos</i>	19
<i>Figura 5. Bastón iSonic</i>	21
<i>Figura 6. Bastón MyMap</i>	22
<i>Figura 7. Bastón Mygo</i>	22
<i>Figura 8. Bastón Eye Stick</i>	23
<i>Figura 9. Sensor de proximidad por infrarrojo</i>	26
<i>Figura 10. Sensores de proximidad por Laser</i>	28
<i>Figura 11. Sensores de ultrasonido</i>	29
<i>Figura 12. Panel de la Lavadora</i>	30
<i>Figura 13. Panel sistema de control nivel agua</i>	31
<i>Figura 14. Parlante y Sirena</i>	31
<i>Figura 15. Motores vibradores</i>	32
<i>Figura 16. Diagrama de flujo del algoritmo planteado</i>	33
<i>Figura 17. Diagrama de bloques</i>	34
<i>Figura 18. Funcionamiento del Bastón</i>	36
<i>Figura 19. Bastón blanco plegable</i>	37
<i>Figura 20. Sensor HC-SR04</i>	38
<i>Figura 21. Diagrama de Pines PIC 12F675</i>	39
<i>Figura 22. Zumbador</i>	40
<i>Figura 23. Representación del Circuito</i>	43



<i>Figura 24. Circuito implementado en Protoboard</i>	43
<i>Figura 25. Impreso del Circuito</i>	44
<i>Figura 26. Compartimiento de la batería</i>	45
<i>Figura 27. Bastón electrónico desarrollado</i>	46



LISTA DE TABLAS

	Pág.
<i>Tabla 1. Clasificación de los PIC por arquitectura</i>	25



1. INTRODUCCIÓN

Según el censo realizado en 2005 por Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), el Meta cuenta con una población de 19.350 personas con alguna limitación visual, la cual, emplea para su desplazamiento cotidiano, herramientas artesanales como bastones de madera u otro material, el interés de este trabajo está en conocer la reglamentación que rige la elaboración de los bastones blancos con el fin de aplicarla al diseño de un dispositivo que facilite la movilización de personas invidentes. Para tal razón es necesario evaluar los materiales electrónicos (sensores, microcontroladores, etc) que se puedan emplear y de esta forma proceder al diseño e implementación de un circuito de detección y notificación de los obstáculos, que sea de buena calidad y a un bajo costo.



2. MARCO TEÓRICO

2.1. TIPOS DE DISCAPACIDADES

Según el diccionario de la real academia de la lengua española, una persona discapacitada es aquella que tiene impedida o entorpecida alguna de las actividades cotidianas consideradas normales, por alteración de sus funciones intelectuales o físicas. [1]. Las discapacidades físicas comprenden las limitaciones parciales o totales de las diferentes extremidades y/u órganos sensoriales (ojos, oídos, lengua, etc).

2.2. CONCEPTO DE INVIDENTE

Las personas con alguna limitación en su función visual se conocen como invidentes. Ésta limitación puede ser en cuyo caso, parcial o total y existen hoy día causas diversas que pueden llevar a la población a padecer de alguna limitación visual: malformaciones, enfermedades, accidentes, la avanzada edad e incluso el consumo de algunas sustancias pueden provocar la pérdida parcial o total de la visión.

2.3. TASA DE INVIDENTES EN EL MUNDO

Según la OMS, a agosto de 2014 se estimaba que había en el mundo unos 285 millones de personas con discapacidad visual, de las cuales 39 millones eran ciegas (de los cuales el 82% de los casos se presentaban en personas con 50 años o más) y 246 millones presentaban baja visión. También se calculaba que el 90% de la carga mundial de discapacidad visual se concentraba en países en desarrollo. [2].



2.4. TASAS DE INVIDENTES NACIONALES

Según los datos obtenidos en el censo poblacional de 2005, para la fecha, había en el país más de un millón de personas que presentaban alguna limitación visual, de las cuales más de 19 mil pertenecían al departamento del Meta, concentrándose porcentajes altos en municipios como Villavicencio, Granada y Acacias.

Lamentablemente, al realizar un análisis de la situación socioeconómica de las familias en las que algún miembro tiene limitaciones visuales, se observa que estas familias perciben menores ingresos, tienen altos niveles de desatención en salud y un difícil acceso a la educación.

Además, las personas con este tipo de limitaciones se sienten excluidas en gran medida debido a las barreras físicas y arquitectónicas del entorno que los rodea, lo cual, afecta directamente en su calidad de vida. Entre estos factores ambientales se encuentran los espacios físicos de la vivienda, el lugar de trabajo o de estudio, los centros de salud, las calles, avenidas, los andenes y demás lugares en los que se desarrolla la cotidianidad de las personas.

Figura 1. Estadísticas Colombia (Censo 2005)

Sexo	Limitacion para ver			Total
	SI	NO	No Informa	
Hombre	548,380	19,143,914	402,059	20,094,353
Mujer	631,894	20,055,534	393,072	21,080,500
Total	1,180,274	39,199,448	795,130	41,174,853

Fuente: DANE.



Figura 2. Estadísticas Meta (Censo 2005)

Limitaciones Visuales				
AREA # 50	META			
Sexo	Limitacion para ver			Total
	SI	NO	No Informa	
Hombre	8,705	329,750	5,193	343,648
Mujer	10,644	337,553	4,816	353,014
Total	19,350	667,303	10,009	696,662
RESUMEN				
Sexo	Limitacion para ver			Total
	SI	NO	No Informa	
Hombre	8,705	329,750	5,193	343,648
Mujer	10,644	337,553	4,816	353,014
Total	19,350	667,303	10,009	696,662

Fuente: DANE.

2.5. DISPOSITIVOS EMPLEADOS EN LA MOVILIZACIÓN

Al presente existen diversos medios de ayuda para la movilización de las personas con discapacidad visual, tales como los bastones blancos, los perros lazarillos, personas guías, entre otros.

2.6. TIPOS DE BASTONES BLANCOS

Actualmente existen dos tipos de bastones blancos: el bastón tradicional y el bastón con componentes electrónicos.

2.6.1. Bastón tradicional

El origen del bastón blanco como tal se remonta a la década de 1930, y aunque en la historia existen varias versiones sobre su inventor y procedencia, una de las

más aceptadas por la comunidad mundial es la del inventor argentino José Mario Fallótico, a quien se le atribuye su invención pero no su patente, ya que esta última la realizó George A. Benham, presidente del Club de Leones de Illinois (E.E.U.U) quien lo propuso como manera de identificar en vía pública a las personas en condición de invidencia. Este bastón originalmente era blanco con el extremo de color rojo.

Figura 3. Bastón blanco tradicional



Fuente: Educación Especial. http://leecolima.net/col_col/especial/archivo/?p=742

Pero no fue sino hasta después de la segunda guerra mundial que se desarrollaron las técnicas de orientación y movilidad, y entre ellas el cambio de un bastón corto y pesado cuya función era meramente la de la identificación, a uno más largo y liviano con el objetivo de servir en el desplazamiento cotidiano de los invidentes al alertarles de los obstáculos en el camino con los que pudiesen llegar a tropezar o golpearse. Desde ese momento hasta el presente los fabricantes de bastones blancos han desarrollado este elemento con diferentes materiales en procura de mayor comodidad para el usuario.

En la actualidad los bastones son hechos en aluminio por su rigidez y su liviandad; tienen un mango o empuñadura ergonómica; cuentan con unas bandas reflectivas, generalmente de color naranja, a lo largo del mismo y en su extremo o punta, algunos poseen un tapón de pasta dura o metal, ó una rueda para facilitar el desplazamiento; el tamaño del bastón debe llegar a la altura del esternón y la medida varía de acuerdo a la estatura. Comercialmente hay bastones que miden entre 1.05 y 1.28 metros.

Un bastón con el tamaño inadecuado no permite detectar a tiempo los obstáculos, además que origina esfuerzos innecesarios y maniobras incorrectas en el desplazamiento del invidente, lo cual ocasiona fatiga, torpeza para caminar, trastornos musculo esqueléticos, e incluso, caídas y tropezones.

2.6.2. Bastón con componentes electrónicos

Figura 4. Bastón blanco con componentes electrónicos



Fuente: iSonic. <http://www.primpo.com/eng/products/isonic.html>



El bastón con componentes electrónicos, es el resultado de la incorporación como su nombre lo dice, de diferentes componentes de carácter electrónico al bastón blanco tradicional. Dichos componentes generalmente abarcan mínimo un sensor de proximidad, un microprocesador y uno o más componentes de salida que alertan al invidente cuando se detecta un obstáculo que represente un peligro para su integridad.

2.7. FABRICANTES DE BASTONES ELECTRÓNICOS

Gracias a la permanente necesidad de autonomía y seguridad por parte de la población invidente, se ha logrado fabricar con éxito varios modelos en diferentes países del mundo, (Argentina, Alemania, España, Francia, Perú, etc.) los cuales difieren en estructura, componentes y características, pero convergen en su alto costo, lo que hace que pocas personas puedan llegar a adquirirlo. Algunos de estos fabricantes son:

2.7.1. iSonic

Desarrollado por la compañía surcoreana PRIMPO, este bastón, exhibido en a comienzos del 2012 y comercializado desde diciembre del mismo año a través de la página web www.primpo.en.ec21.com.

Este bastón puede detectar obstáculos a 2 metros de distancia por medio de un sensor de ultrasonido y le informa al portador mediante vibración degradada, es decir, entre más cerca este el obstáculo, el bastón vibrará con más intensidad. iSonic también posee un sensor que identifica el color del objeto cercano y lo hace saber por medio avisos de voz.

Figura 5. Bastón iSonic.



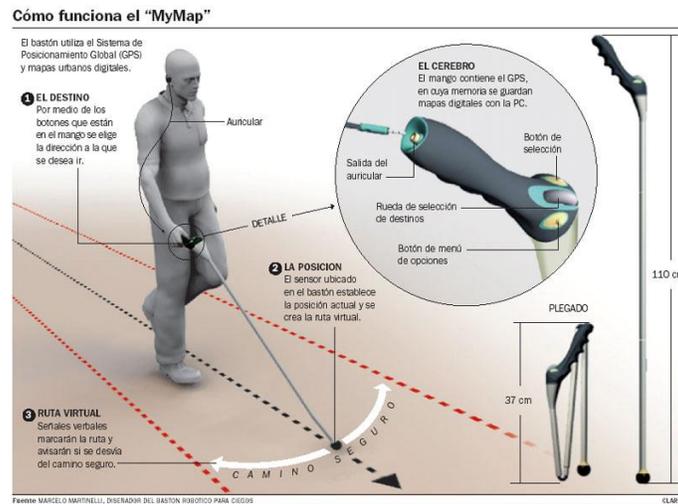
Fuente: <http://blog.pucp.edu.pe>

2.7.2. MyMap

MyMap es obra del docente universitario y arquitecto argentino Marcelo Martinelli quien en 2007 lo presentó en una exposición mundial realizada en Japón. En su momento Martinelli anunció que el diseño estaba en etapa de diseño y aunque tenía una alta probabilidad de desarrollo, ésta aun es incierta ya que no hay información al respecto.

Este bastón contiene un microcontrolador en el cual se almacenan unos mapas virtuales – de la ciudad en que se desee usar – y un GPS con el cual se establece la posición del usuario y el punto de llegada, una vez establecido esto, MyMap comienza a “guiar” el recorrido del invidente a través de un auricular, de esta forma el sistema indica al usuario cual es el camino que debe seguir en el trayecto anteriormente seleccionado.

Figura 6. Bastón MyMap.



Fuente: <http://www.israelenbuenosaires.com.ar>

2.7.3. Mygo

Mygo es un dispositivo que trae incorporado una cámara y varios sensores con los cuales monitorea el área por la cual se desplazará el individuo y una vez procesada esta información, es enviada al invidente por medio de un auricular.

Figura 7. Bastón Mygo



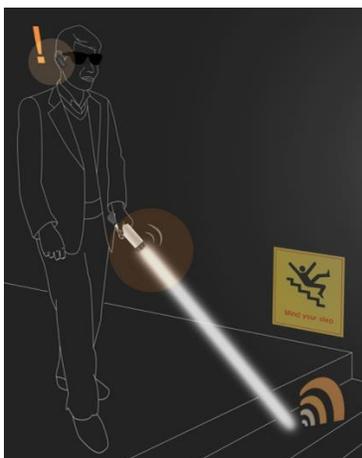
Fuente: <http://www.tuexperto.com>

Este bastón fue diseñado en 2007 por Sebastian Ritzler, quien entonces era estudiante de Arte y Diseño de la Academia de Kiel (Alemania) y fue galardonado en el Concurso Internacional de Diseño IDEA 2007. Para la época, éste era un prototipo y no estaba en el mercado, aunque su creador dio anuncio de una versión comercial que rondaba los 150 euros, no proporcionó fecha de lanzamiento.

2.7.4. Eye Stick

Este dispositivo diseñado por Kim Tae-Jin en 2012, más allá de ser un “bastón” es la agarradera o mango de uno, la cual proyecta un haz de luz visible (al estilo “Star Wars”) para alertar a otros de la presencia del usuario, la medición se realiza mediante sensores de ultrasonido, los cuales pueden detectar no solo los obstáculos del camino sino también los diferentes tipos de terreno en que se encuentra la persona, el sistema alerta al portador vía bluetooth desde la presencia de escalones en bajada hasta los huecos y las alcantarillas de la calle.

Figura 8. Bastón Eye Stick



Fuente: <http://www.yankodesign.com/2013>



2.8. TIPOS DE MICROCONTROLADORES

Al hablar de microcontroladores, unas de las cosas en las que hay que hacer diferencia, es el tipo de microcontrolador, a grandes rasgos estos pueden ser agrupados en dos tipos: los de propósito general y los de propósito específico.

Los de propósito específico son aquellos que traen un diseño único enfocado en una sola aplicación: procesamiento de señales, comunicaciones, manejo y gestión de puertos, etc. Por el contrario, los de propósito general vienen en diferentes configuraciones de memoria y periféricos, estas amplias características suelen ser muy útiles en una gran variedad de aplicaciones; a estos microcontroladores se les puede observar comúnmente en diversos electrodomésticos y productos de consumo.

Algunos fabricantes de microcontroladores son: Atmel, Dallas Semiconductor, Intel, Motorola, Texas Instruments, Freescale Semiconductor, Zilog y Microchip, este último es mundialmente conocido por el PIC.

2.8.1. PIC

El nombre verdadero de este microcontrolador es PICmicro (*Peripheral Interface Controller*), conocido bajo el nombre PIC. Su primer antecesor fue creado en 1975 por la compañía *General Instruments*. Este chip denominado PIC1650 fue diseñado para propósitos completamente diferentes. Diez años más tarde, al añadir una memoria EEPROM, este circuito se convirtió en un verdadero microcontrolador PIC.

Todos los microcontroladores PIC utilizan una arquitectura Harvard, lo que quiere decir que su memoria de programa está conectada a la CPU por más de 8 líneas.



Hay microcontroladores de 12, 14 y 16 bits, dependiendo de la anchura del bus. La tabla anterior muestra las características principales de estas tres categorías.

Como se puede ver en la tabla de la página anterior, salvo “los monstruos de 16 bits” PIC 24FXXX y PIC 24HXXX - todos los microcontroladores tienen la arquitectura Harvard de 8 bits y pertenecen a uno de los tres grandes grupos. Por eso, dependiendo del tamaño de palabra de programa existen la primera, la segunda y la tercera categoría de microcontroladores, es decir microcontroladores de 12, 14 o 16 bits. Puesto que disponen del núcleo similar de 8 bits, todos utilizan el mismo juego de instrucciones y el “esqueleto” básico de hardware conectado a más o menos unidades periféricas. [5].

Tabla 1. Clasificación de los PIC por Arquitectura

Familia	ROM [Kbytes]	RAM [bytes]	Pines	Frecuencia de reloj. [MHz]	Entradas A/D	Resolución del convertidor A/D	Comparadores	Temporizadores de 8/16 bits	Comunicación serial	Salidas PWM	Otros
Arquitectura de la gama baja de 8 bits, palabra de instrucción de 12 bits											
PIC10FXXX	0.375 - 0.75	16 - 24	6 - 8	4 - 8	0 - 2	8	0 - 1	1 x 8	-	-	-
PIC12FXXX	0.75 - 1.5	25 - 38	8	4 - 8	0 - 3	8	0 - 1	1 x 8	-	-	EEPROM
PIC16FXXX	0.75 - 3	25 - 134	14 - 44	20	0 - 3	8	0 - 2	1 x 8	-	-	EEPROM
PIC16HVXXX	1.5	25	18 - 20	20	-	-	-	1 x 8	-	-	Vdd = 15V
Arquitectura de la gama media de 8 bits, palabra de instrucción de 14 bits											
PIC12FXXX	1.75 - 3.5	64 - 128	8	20	0 - 4	10	1	1 - 2 x 8 1 x 16	-	0 - 1	EEPROM
PIC12HVXXX	1.75	64	8	20	0 - 4	10	1	1 - 2 x 8 1 x 16	-	0 - 1	-
PIC16FXXX	1.75 - 14	64 - 368	14 - 64	20	0 - 13	8 or 10	0 - 2	1 - 2 x 8 1 x 16	USART I2C SPI	0 - 3	-
PIC16HVXXX	1.75 - 3.5	64 - 128	14 - 20	20	0 - 12	10	2	2 x 8 1 x 16	USART I2C SPI	-	-
Arquitectura de la gama alta de 8 bits, palabra de instrucción de 16 bits											
PIC18FXXX	4 - 128	256 - 3936	18 - 80	32 - 48	4 - 16	10 or 12	0 - 3	0 - 2 x 8 2 - 3 x 16	USB2.0 CAN2.0 USART I2C SPI	0 - 5	-
PIC18FXXJXX	8 - 128	1024 - 3936	28 - 100	40 - 48	10 - 16	10	2	0 - 2 x 8 2 - 3 x 16	USB2.0 USART Ethernet I2C SPI	2 - 5	-
PIC18FXXKXX	8 - 64	768 - 3936	28 - 44	64	10 - 13	10	2	1 x 8 3 x 16	USART I2C SPI	2	-

Fuente <http://www.mikroe.com>

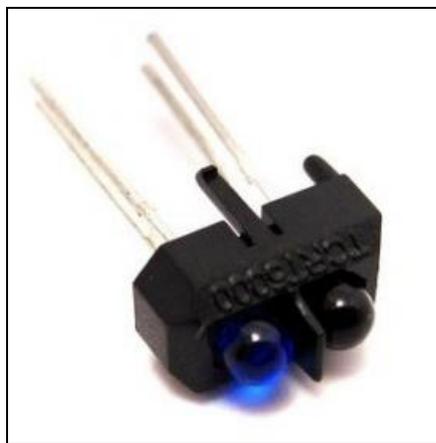
2.9. SENSORES DE PROXIMIDAD

En el mercado existen diferentes clases de sensores que sirven para medir distancia o detectar la presencia o proximidad de un objeto dentro de un sistema; éstos, usan diversas tecnologías, entre las cuales destacan el infrarrojo, el láser y el ultrasonido por su amplio uso en los diferentes aparatos electrónicos con los que vivimos a diario.

2.9.1. Sensores de proximidad por infrarrojo

Este tipo de sensores es quizá al día de hoy uno de los de mayor aplicación en la automatización ya que lo encontramos en dispensadores de agua, secadores de manos y hasta en las puertas de los grandes almacenes.

Figura 9. Sensor de proximidad infrarrojo



Fuente: <http://diwo.bq.com>

Su funcionamiento se basa en la generación de ráfagas de pulsos de alta intensidad, pero a baja frecuencia los cuales son transmitidos por un led infrarrojo (emisor), estos pulsos – o la ausencia de los mismos – deben ser captados por un fototransistor (receptor), la señal de salida de éste se procesa para realizar un



control encendido-apagado (On/Off) sobre el sistema o aparato que se desea manejar.

Existen dos formas básicas de operación en estos sensores por barrera y por reflexión.

2.9.1.1. Funcionamiento por barrera

Éste método consiste en colocar el emisor de tal manera que sus pulsos incidan directamente en el receptor, obteniendo así una especie de “barrera continua” que al verse interrumpida por un objeto, provoca que el receptor capte este cambio y mande una señal al sistema de control alertando de esta forma de la presencia de un cuerpo.

2.9.1.2. Funcionamiento por reflexión

En éste método se debe ubicar el emisor y el receptor en un mismo punto de manera paralela o en un ángulo muy pequeño, para que en el momento de presentarse un objeto los pulsos enviados por el emisor sean reflejados y captados por el receptor.

Los dispositivos infrarrojos generalmente son capaces de medir efectivamente desde 2 cm hasta los 50 cm y solo los de mejor calidad alcanzan a los 100 cm en funcionamiento reflectivo.

2.9.2. Sensores de proximidad por laser

Los sensores que usan tecnología láser son complejos y requieren una fuente de alimentación potente para funcionar, por este motivo se les usa ampliamente en

sistemas avanzados de seguridad y en algunos procesos industriales en los que además de medir distancias con alta precisión se emplean para identificar también el grosor o la profundidad de algunos elementos. Éstos al igual que los infrarrojos, pueden funcionar tanto por barrera como por reflexión, dependiendo del entorno donde se deseen utilizar.

Figura 10. Sensores de proximidad laser



Fuente: <http://www.directindustry.es/>

Los sistemas de medición laser más potentes pueden medir desde pocos milímetros hasta 100 metros en cualquier modalidad de funcionamiento.

2.9.3. Sensores de proximidad por ultrasonido

Estos sensores generalmente son módulos integrados por un emisor y un receptor en la misma tarjeta; éstos emiten un tren de pulsos ultrasónicos a determinada

frecuencia y posteriormente se percibe el eco reflejado al presentarse un objeto. Son muy versátiles, tiene poco consumo (unos pocos mA); logran medir con gran exactitud distancias que van desde unos pocos centímetros hasta unos 5 o 6 metros dependiendo del modelo; algunos de estos se manejan a cuatro hilos, dos para alimentación, uno para el pulso de inicio (Trigger) y otro para percibir el eco (Echo); la distancia hasta el objeto puede ser calculada en base a la velocidad del sonido en el aire – desde su emisión hasta su retorno –. Es importante mencionar también que la medición se realiza dentro de un haz de algunos grados de amplitud, lo cual puede llegar a ser una ventaja puesto que permite medir en más de una dirección, pero también debe tratarse con cuidado ya que, al detectarse un objeto, no se tiene una percepción espacial del mismo, puesto que puede estar ubicado en cualquier lugar del espectro de medición.

Figura 11. Sensores de ultrasonido



Fuente: www.antirrobo.net

2.10. DISPOSITIVOS DE NOTIFICACIÓN

En los sistemas manuales o monitoreados por un operador, los dispositivos de notificación son aquellos indican al usuario de la situación o estado del sistema para que éste tome las decisiones de control que se necesiten, es decir, un sistema manual cuenta con diferentes dispositivos que mantienen informado al

operario – a través de sus sentidos – de lo que pasa dentro del sistema, esta información generalmente es visual (un gráfico en pantalla, una luz en un panel, etc.), auditiva (alarma sonora) e incluso sentirse al tacto de manera vibratoria. Dependiendo de la complejidad del sistema que se opere de forma manual, así mismo puede variar la forma y el número de dispositivos para informar de las condiciones bajo las que se encuentra sistema.

2.10.1. Dispositivos de notificación visual

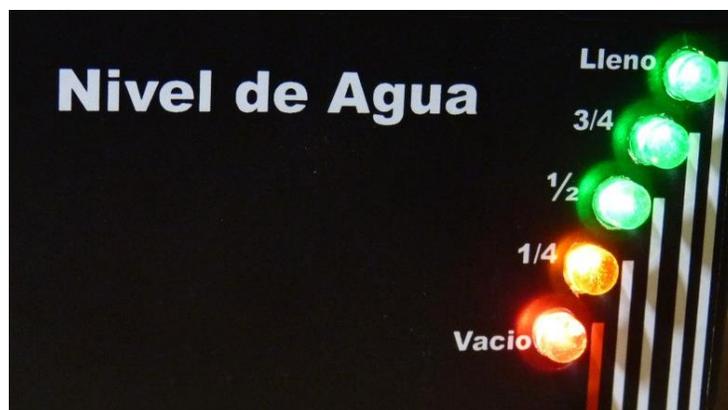
Hoy día el led se ha convertido en el método más común de aviso o notificación visual que existe en cualquier tipo de sistema, desde los más simples hasta los de más alta complejidad, ya que con solo encenderse un led se nos indica la configuración de una maquina o el estado de la misma (Ej. Las luces que muestran en que la etapa de lavado se encuentra una lavadora o la luz que indica que el televisor esta encendido); así mismo, nos pueden alertar sobre la ausencia o la presencia de ciertas condiciones esenciales para el funcionamiento del sistema (Ej. En un sistema de bombeo una luz encendida basta para avisar que el nivel de agua es mínimo o insuficiente, ó también alertar que la presión se a elevado a niveles peligrosos).

Figura 12. Panel de una lavadora



Fuente: www.comorepararlavadoras.blogspot.com.co

Figura 13. Panel sistema de control nivel agua



Fuente: www.articulo.mercadolibre.com.ar

2.10.2. Dispositivos de notificación auditiva

Los dispositivos de notificación auditiva básicamente son parlantes mediante los cuales se emiten tonos característicos que puedan ser reconocidos por quien está operando el sistema, bien sea para indicar que hay alguna emergencia (Ej. Una sirena activándose por fuego o terremoto en un edificio) ó que sea terminado un proceso (Ej. Un horno micro-ondas que termina el tiempo programado para calentar un alimento).

Figura 14. Parlante y Sirena



Fuente: www.accesoriosypartes.com.ar y www.taringa.net

2.10.3. Dispositivos de notificación hápticos

Los dispositivos de notificación hápticos son aquellos que estimulan nuestro sentido del tacto mediante algunos impulsos conocidos como vibraciones, estas deben ser reconocidas por el operario. Particularmente estas vibraciones son generadas por motores vibratorios, como los que están incorporados en los teléfonos celulares.

Figura 15. Motores vibradores



Fuente: www.electrocrea.com

3. DISEÑO INGENIERIL

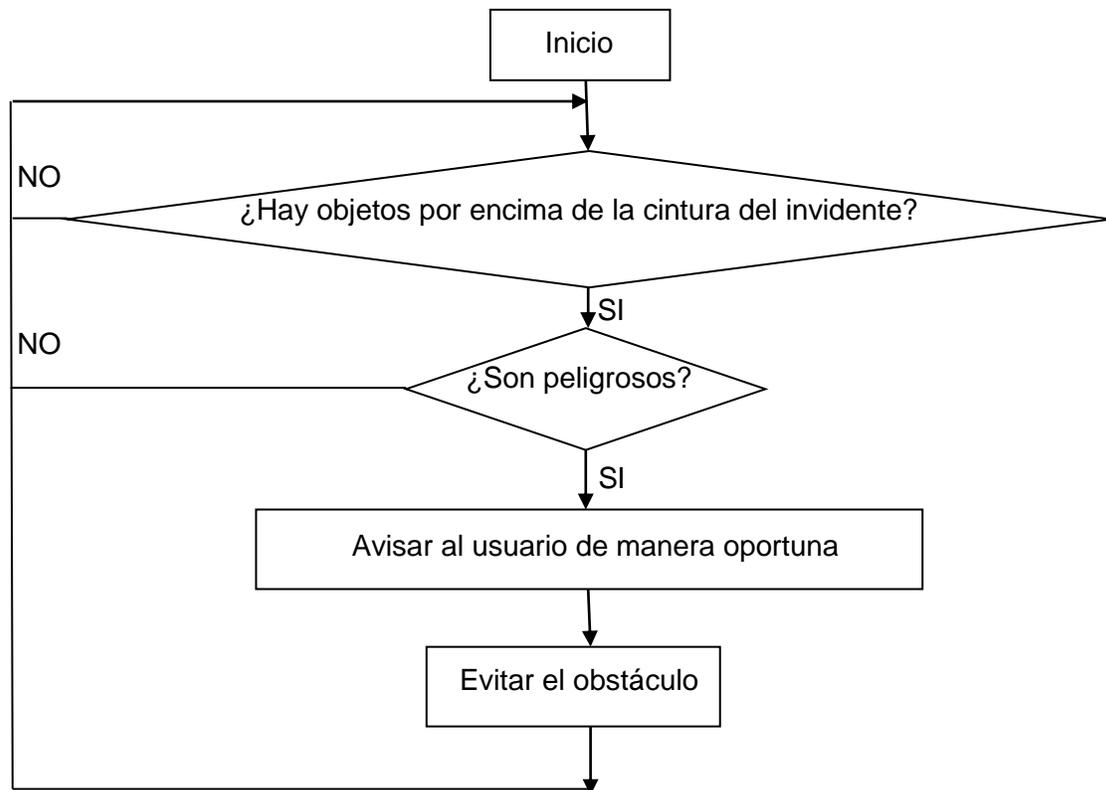
Siguiendo la metodología planteada, lo primero que se intentó hacer fue acercarnos a las secretarías de salud en los municipios aledaños para solicitar información sobre la población invidente, fundaciones u organizaciones que brinden apoyo a las personas con limitaciones visuales, pero lamentablemente dicha información fue muy difícil de conseguir y la que había estaba muy desactualizada por lo que no fue posible tener contacto con fundaciones que trabajen con población invidente en el departamento. Por otro lado, después de realizar consultas sobre la existencia de alguna normatividad que rija la fabricación



de los bastones blancos, me he encontrado con que no existe en el país alguna norma técnica o reglamento que contemple la elaboración de bastones blancos. La información que concierne a la fabricación de estos bastones, es básicamente la recolectada sobre la historia de éstos, ya que desde su invención lo que se ha buscado es que tenga el tamaño adecuado, sea duradero, cómodo y de poco peso.

Culminada esta primera etapa, se procedió a hacer un diseño general del sistema teniendo en cuenta que el problema se basa en detectar los objetos peligrosos por encima de la cintura y dar aviso al invidente de la presencia de estos. Para resolver dicho problema se organizó una serie de pasos o tareas que pueden resumirse en el siguiente diagrama:

Figura 16. Diagrama de flujo del algoritmo planteado



Fuente: Autor



Observando la figura 16 entendemos que el proceso se divide en cuatro partes:

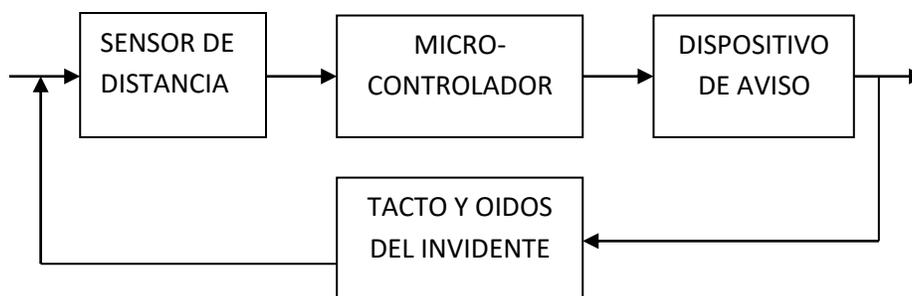
- i. Detectar los objetos por encima de la cintura
- ii. Clasificar cuales objetos son o no peligrosos para el invidente
- iii. Avisar de manera oportuna al usuario
- iv. Evitar el obstáculo

Basados en lo anterior se determinaron los elementos que necesitamos en cada parte del proceso los cuales serían:

- i. Sensor de distancia o proximidad, detecta los objetos que están encima de la cintura
- ii. El microcontrolador determinar si el objeto está a una distancia por debajo de la distancia de seguridad, la cual, se estableció 10 cm por encima de la cabeza del individuo.
- iii. Al detectar la presencia de un objeto peligroso se alerta al usuario por medio de un dispositivo de notificación o alarma.
- iv. El usuario, prevenido del objeto peligroso, lo identifica y lo evita

Esto se puede resumir en el diagrama de bloques de la siguiente figura:

Figura 17. Diagrama de bloques



Fuente: Autor



Después de realizado el planteamiento general del diseño y teniendo en cuenta la información de la etapa anterior, se adquirió un bastón con las características adecuadas y entendiendo que por motivos de funcionamiento los componentes electrónicos deben estar en conjunto (una sola placa o tarjeta) dentro del dispositivo, se procedió a considerar cual sería el lugar óptimo donde estaría toda la parte electrónica, y después de analizar el bastón, se eligió el mango por varias razones: primero, es el lugar más seguro para no recibir golpes directos y los efectos del movimiento y la vibración del golpeteo al andar son menores; segundo, es el lugar de mayor diámetro en el bastón, lo cual puede ofrecer una base más amplia para colocar los diferentes componentes electrónicos; y tercero, es el lugar más accesible para que el usuario encienda el dispositivo.

Una vez se decidió el lugar donde iría la parte electrónica, se optó por que el sistema de alerta fuese tanto vibratorio como sonoro dado que el tacto y el oído son los sentidos que más desarrolla una persona con limitaciones visuales y en algunos casos los invidentes también tienen limitaciones auditivas, de esta forma también aprovechando la cercanía del dispositivo con la mano y el oído del invidente para evitar que el ruido del ambiente pueda hacer que confunda o se pierda la señal de aviso.

Otra de las variables a considerar en el diseño es el tamaño, ya que el área la empuñadura tiene 20 mm de ancho por 21 cm de largo, lo máximo que se puede disponer sin incomodar el agarre es de 10,5 cm a lo largo, esto significa que el tamaño de los elementos debe ser pequeño, en este punto tenemos tres variables a considerar en la selección de nuestros componentes: tamaño, costo y prestaciones.

Figura 18. Funcionamiento del bastón



Fuente: Autor

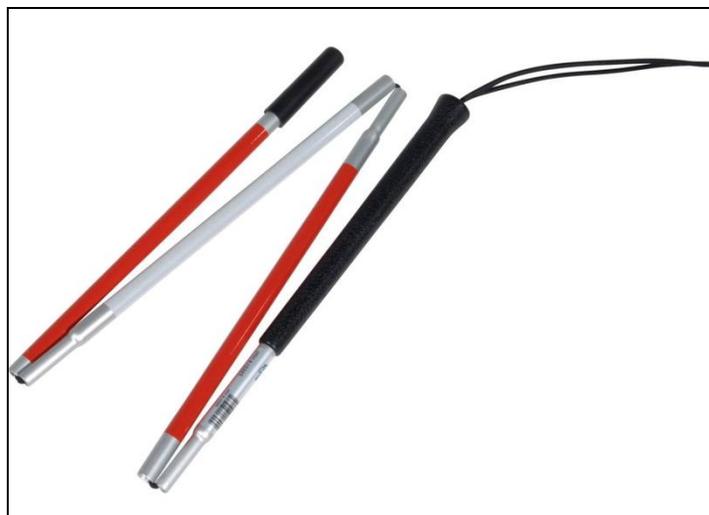
La distancia segura ha sido establecida 10 cm por encima de la cabeza del individuo, lo que en promedio nos da 185 cm y aunque el bastón se maneja a la altura de la cintura (unos 100 cm desde el suelo), desde el piso hasta la ubicación del sensor hay aproximadamente 85 cm y lo cual nos deja 100 cm por encima de la cintura de un individuo.

3.1. BASTÓN

El bastón adquirido es plegable en cuatro secciones, dos naranjas, una blanca y una para el mango; su estructura es en aluminio; posee mango ergonómico de más de 21 cm de largo; el tamaño total de 128 cm de largo (distancia promedio

desde el piso hasta el esternón en adultos); y su punta es reforzada en nailon semejante al que se observa en la figura 19.

Figura 19. Bastón blanco plegable



Fuente: www.medicalexpo.es

El bastón fue adquirido en un almacén de venta de equipos de rehabilitación en la ciudad de Villavicencio, es genérico, no tiene marca alguna y se consigue en el mercado por cerca de los 45 mil pesos.

3.2. SENSOR HC-SR04

Primero se trabajó con un sistema de infrarrojo para detectar los obstáculos, pero no tuvo buen desempeño, ya que la distancia máxima de detección que se alcanzó fue de 50 cm aproximadamente, lo cual está muy por debajo de la distancia necesaria para poder alertar eficazmente al usuario.

Dado lo anterior, se optó por el HC-SR04, un sensor por ultrasonido con buenas características y con un costo relativamente bajo, algunas de estas características son:

- Alimentación de 5 volts
- Interfaz sencilla: Solamente 4 hilos Vcc, Trigger, Echo, GND
- Rango de medición: 2 cm a 400 cm
- Corriente de alimentación: 15 mA
- Dimensiones del módulo: 45x20x15 mm.
- Angulo efectivo de medición: 15°
- Abertura del haz: 30°

Figura 20. Sensor HC-SR04



Fuente: Autor

Este sensor para su funcionamiento, requiere un pulso de mínimo 10 μ S, e internamente se envían 8 pulsos a 40 kHz, al detectarse un objeto el pin “echo” se pone en alto por un tiempo que es proporcional a la distancia detectada, esto está dado por la siguiente fórmula:

Ancho del Pulso (μ S)/58= distancia (cm)



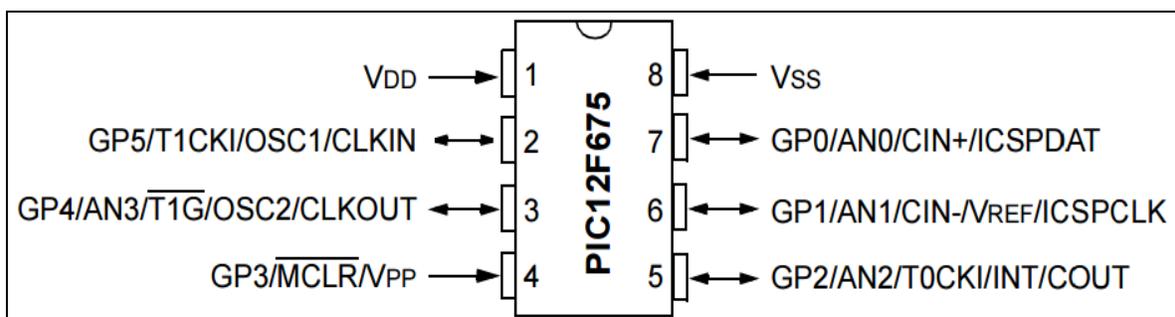
Si el pin “echo” se mantiene en alto por más de 38 mS, no hay obstáculo y el proceso de medida vuelve y se repite.

3.3. PIC 12F675

Después de evaluar las características de los diferentes microcontroladores se optó porque fuese un PIC12F675 dado que sus características satisfacen los requerimientos que exige el diseño: tamaño pequeño; suficientes terminales para manejar el sensor y el dispositivo de aviso; velocidad aceptable y precio bajo.

El 12F625 es un PIC de ocho pines, seis configurables como entrada/salida; posee memoria de programa tipo flash de 1024 palabras y una EEPROM de 128 bytes; puede ser alimentado de 2V a 5.5V; tiene bajo consumo de corriente y un set de instrucciones reducido; estas características son más que suficientes para el desarrollo de la aplicación que satisfaga la necesidad presente.

Figura 21. Diagrama de Pines PIC 12F675



Fuente: Datasheet PIC 12F675

3.4. DISPOSITIVO DE NOTIFICACIÓN

El dispositivo de notificación o de alerta utilizado, es un zumbador, que al ser alimentado (puede usarse hasta 6V), emite una vibración fuerte y un sonido agudo – como el de una chicharra –, además, su tamaño reducido, el bajo costo y fácil acceso en el mercado se ajustaron cómodamente con las consideraciones del proyecto y del diseño.

Figura 22. Zumbador



Fuente: Autor

Después de seleccionados los dispositivos adecuados para realizar la implementación del dispositivo, se procede a realizar la programación del PIC, para esta programación se empleó el lenguaje CCS

3.5. PROGRAMACION PIC

El siguiente es el código con el cual se programó el PIC 12F675 para este proyecto. Se debe resaltar que se empleó el compilador PIC C y como se mencionó anteriormente se usó CCS, un lenguaje de alto nivel para microcontroladores, el cual se basa completamente en lenguaje C.



La programación de un PIC si bien no es difícil, en los llamados PIC enanos existe una particularidad: el osccal, el cual es el valor de calibración de oscilación interno de estos PIC 12FXXX (el cual es único para cada PIC), en el momento de grabarse el programa se borra este valor, que se encuentra en la última posición de memoria y si no se leyó antes dicho valor, el PIC queda prácticamente irrecuperable puesto que el programador no puede volver a grabarlo, esto no sucede en ninguna otra familia de PIC's. Por tal motivo es de importancia leer este valor de memoria, anotarlo y no perderlo para poder volver a grabar el PIC en caso de necesitar correcciones en el código, este inconveniente se presentó durante el proceso de programación y corrección del código en el PIC, el valor de OSCCAL se me perdió parcialmente, y aunque logre (adivinando el último dígito) que el programador volviese a grabar en el PIC el valor que quedó registrado en el OSCCAL no es el original del PIC, por lo cual sufrió un desfase cercano al 10% en la forma como mide el tiempo internamente, esto repercute en la medición del pin echo y se produce dicho desfase, por tal motivo, se volvió a programar el PIC con los valores presentados en el siguiente código, ya que $118+10\%=129.8\text{cm}$, un valor muy aproximado a los 130 cm que se estableció como distancia efectiva para que el invidente pueda identificar aquellos objetos que están por debajo de la distancia de seguridad del usuario con tan solo extender su mano hacia adelante.

```
#include <12F675.h>
#fuses NOWDT, NOCPD, NOPROTECT, NOMCLR, NOPUT, INTRC_IO,
NOBROWNOUT, XT
#use delay (clock = 4000000)
#use standard_io(a)
#define trig pin_a2
#define echo input (pin_a3)
int8 mide_distancia(){
int8 centimetros=0;
```



```
output_high(trig);           //pulso de disparo:
delay_us(50);
output_low(trig);
while(echo==0){             //espera flanco de subida por el pin echo
do{                          //comienza a contar centímetros hasta que pin echo sea cero
centimetros++;
delay_us(60);}
while(echo==1);
delay_ms(50);               //demora de seguridad
return(centimetros);       // retorno con el valor de centímetros contados
}
void main(){
int8 distancia;
while (true){               // lazo infinito
distancia=mide_distancia(); // Llamado a la función
if(distancia>118){          // Si lectura > 118 cm no hay objeto
output_low(pin_a1); }      // Se apaga Chicharra
if (distancia<=118){       // si distancia fue <= 118cm se detecta objeto
output_high(pin_a1);}      // Se enciende Chicharra
}                            // Cierra lazo infinito
}
```

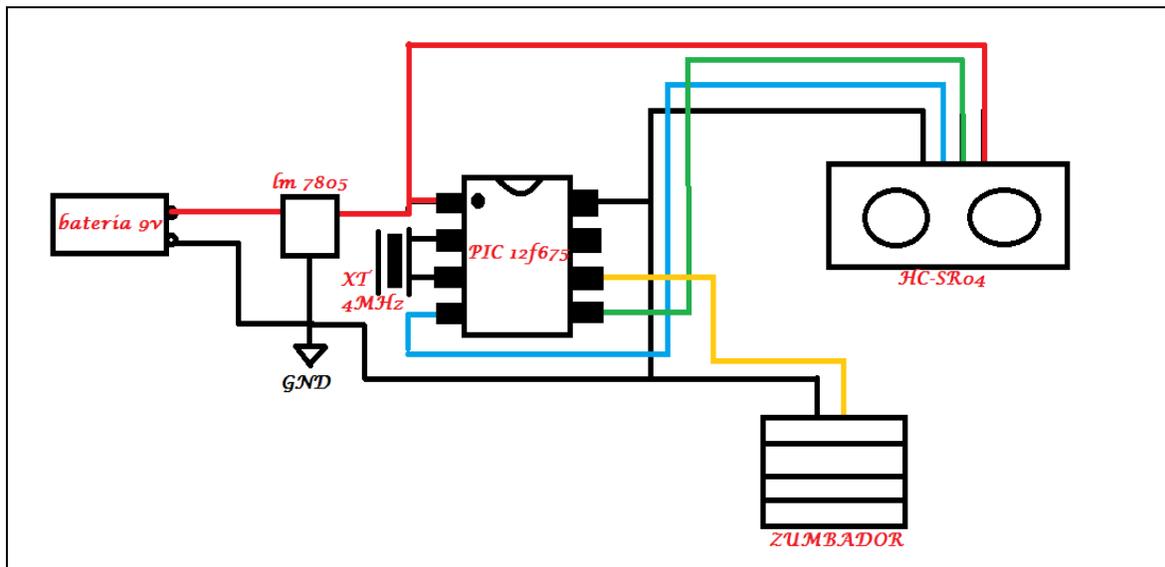
A continuación, se presenta el diagrama del circuito eléctrico implementado.

3.6. CIRCUITO

El circuito se encuentra alimentado por una batería de 9V y 1100mA, este voltaje se baja a 5V usando un regulador LM7805, este voltaje es el que se emplea para alimentar el sensor, el PIC y el zumbador, el diseño representado en la figura 23

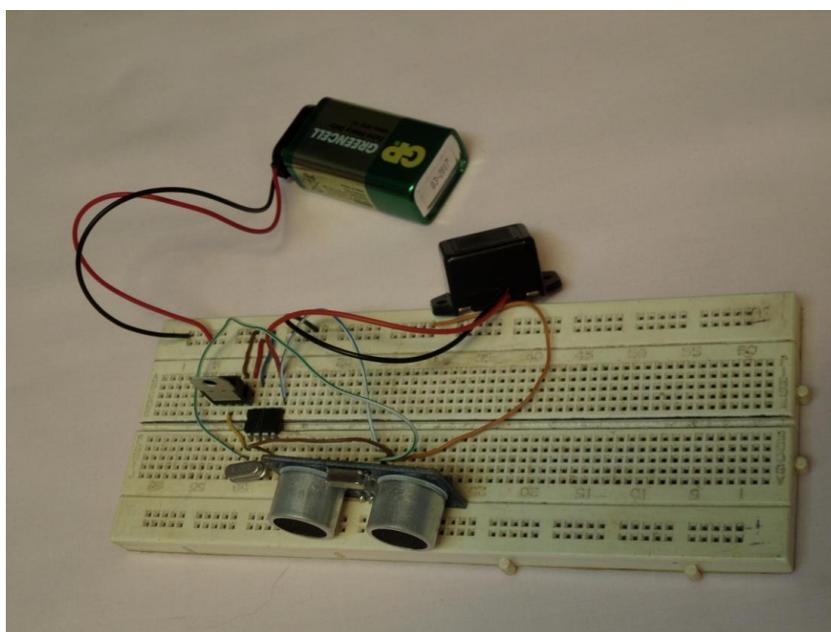
se implementó en protoboard para sus respectivas pruebas, como se observa en la figura 24.

Figura 23. Representación del circuito



Fuente: Autor

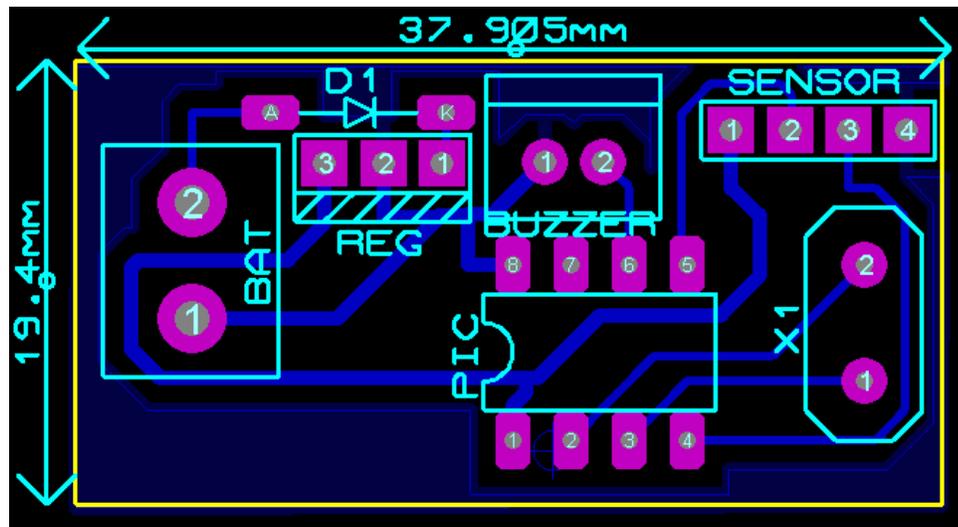
Figura 24. Circuito implementado en protoboard



Fuente: Autor

Después de realizadas todas las pruebas pertinentes se procede a llevar el circuito a impreso (Figura 22) para su respectiva ubicación en la caja que servirá de soporte al mismo y será ubicada en el bastón.

Figura 25. Impreso del circuito



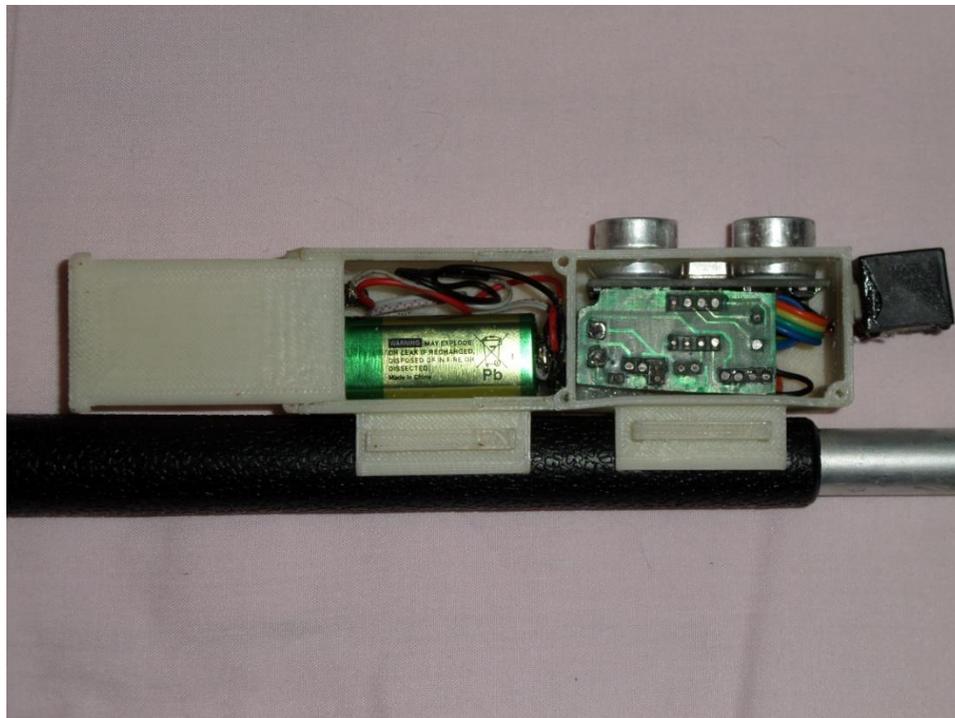
Fuente: Autor

3.7. LA CAJA

La caja está hecha de material ABS y fue creada a través de la impresora 3D Makerbot Replicator 2X, y su diseño está dividido en dos compartimientos, uno para la tarjeta con los componentes electrónicos - protegido por tres tornillos pequeños - y el otro para guardar la batería, la tapa de este último es corrediza para poder realizar fácilmente el cambio.

Su base está conformada por dos abrazaderas que encajan a presión en el mango del bastón y ofrecen un soporte estable, en la figura 23 se puede observar completamente la caja, sus compartimientos y base.

Figura 26. Interior del dispositivo completamente terminado



Fuente: Autor

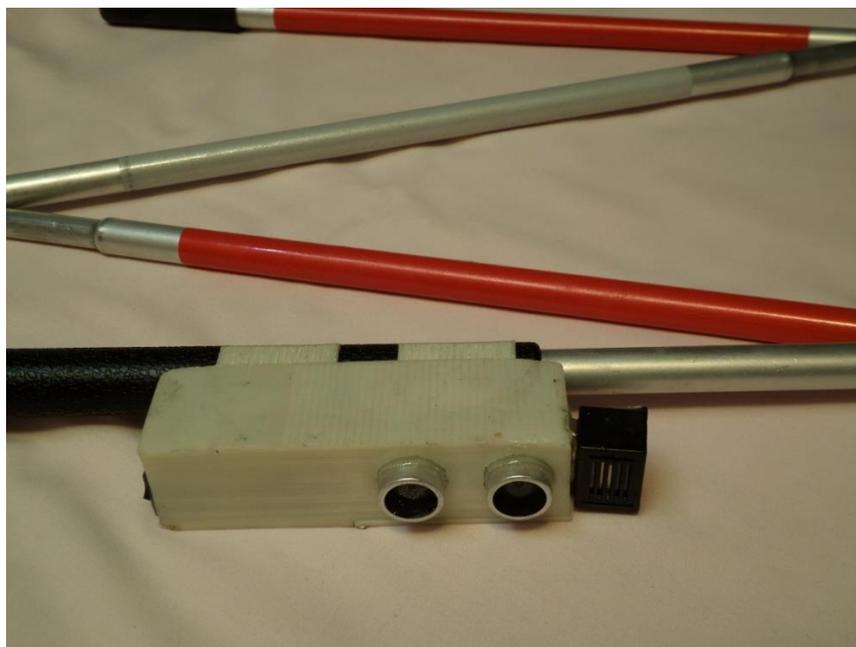
Originalmente en el diseño se buscaba dejar el zumbador dentro del compartimiento electrónico, pero nos encontramos con que, al activarse el zumbador, se producía una “especie” de realimentación positiva ocasionada por la vibración y la única forma de “normalizar” el sistema era reiniciando por medio de un swich, debido a esto se optó por dejar a fuera el zumbador y de esta manera se solucionó el inconveniente.

4. RESULTADOS

- Como resultado se obtuvo un bastón con componentes electrónicos, el cual es preciso; de tamaño reducido, no incomodando la agarradera del bastón; portable y a un costo aproximado de 100 mil pesos; y en el momento de necesitarse producirse en masa, se puede usar un molde para la caja, con lo

cual el costo se reduciría sustancialmente, alrededor de un 50% si se trabajará con un molde para mínimo 200 unidades, con lo cual el precio de cada dispositivo podría estar rondando por debajo de los 50 mil pesos.

Figura 27. Bastón Electrónico Desarrollado



Fuente: Autor

- El dispositivo ha probado ser resistente y preciso en ambientes exteriores, no se recomienda su uso en espacios interiores debido al rango de 30° en la medición del sensor, ya que se pueden generar “falsas detecciones” puesto que un tren de pulsos puede viajar reflejado por las condiciones estructurales del medio y en un momento dado pueden llegar al receptor, generando así este tipo de falsos ecos.
- También es importante señalar que como el ultrasonido viaja por el aire y la densidad de este depende de la temperatura, influyendo este factor sobre la



velocidad de propagación de la onda, en otras palabras, la temperatura del ambiente afecta la capacidad de detección del sensor.

- El presente documento pretende ser usado dentro de la documentación necesaria para la patente, a fin de iniciar el respectivo trámite ante la Superintendencia de Industria y Comercio.



5. RECOMENDACIONES

- En Colombia no existen fabricantes conocidos de este tipo de dispositivos, razón por la cual se sugiere se revise la posibilidad de producirlos en masa y hablar con las secretarías de Salud Departamental y Municipales para que se apoye en la fabricación y distribución del mismo con los invidentes de la región, de tal forma que se logren estadísticas que promuevan el uso a nivel nacional.
- Es importante generar conciencia entre los estudiantes de la Universidad de los Llanos para que se motiven a trabajar en campos de la electrónica que propicien desarrollo de dispositivos que puedan mejorar la calidad de vida de cualquier individuo con una discapacidad específica.
- Se recomienda para futuros trabajos, que la Universidad de los Llanos contribuya con las diferentes dependencias Municipales y Departamentales en el acceso a información sobre estadísticas, ya que fue difícil acceder a las mismas y no se encontraban datos actualizados.



6. CONCLUSIONES

- El dispositivo ha sido probado por tres personas únicamente, ya que no se ha podido contar con más voluntarios para la realización de las pruebas, sin embargo, las tres han percibido mayor confianza en sus desplazamientos al hacerlos con este dispositivo ya que les alerta sobre objetos que pueden llegar a lastimarlos.
- Se espera que con la difusión de este trabajo se puedan realizar pruebas con un número significativo de invidentes con el fin de aplicar una encuesta de satisfacción que permita realizar una versión comercial incorporando sus observaciones, de a verlas; esto también permitirá la elaboración de un informe para ser presentado a las secretarías de Salud Municipales, Departamental y demás organizaciones interesadas en la elaboración y distribución del dispositivo dentro de la población con limitaciones visuales.
- Dado que en Colombia no existen fabricantes conocidos de este tipo de dispositivos, se denota una oportunidad de empresa en el desarrollo de aparatos electrónicos para el uso de personas alguna discapacidad.



REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

1. Ogata, Katsuhiko. Ingeniería de control moderna, 4ta Ed., Prentice Hall, México
2. Pallas, Ramon. Sensores y Acondicionadores, 4ta Ed. Editorial Marcombo, 1986
3. Garcia, Eduardo. Compilador CCS y Simulador Proteus para microcontroladores PIC, 1ra Ed. Alfaomega Grupo Editor – Marcombo, 2008
4. Martínez, Alain Dieter. Tesis “Bastón blanco para prevenir obstáculos”. México, D.F, Agosto 2012.



REFERENCIA CIBERGRÁFICA

1. Diccionario de la Real Academia de la Lengua Española DRAE – Discapacitado, da. Consultado el día 13 de Marzo de 2015 en <http://buscon.rae.es/drae/srv/search?id=WNB8kl3qpDXX2h9pcgvb>
2. DANE. Estadísticas Censo 2005, consultado el día 13 de Marzo de 2015 en <http://190.25.231.242/cgi-bin/RpWebEngine.exe/PortalAction?&MODE=MAIN&BASE=CG2005AMPLIADO&MAIN=WebServerMain.inl>
3. Nota descriptiva N° 282 – Agosto 2014. Consultado el día 13 de Marzo de 2015 en <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs282/es/>
4. Mónica Vargas, Irma Cecilia Cruz. 15 de octubre: Día internacional del bastón blanco. Consultado el día 02 de Abril de 2015 en http://ilumina.mx/?page_id=719
5. iSonic , consultado el día 02 de Abril de 2015 en <http://www.primpo.com/eng/products/isonic.html>
6. Bastón iSonic, consultado el día 02 de Abril de 2015 en <http://blog.pucp.edu.pe/item/92872/isonic-baston-vibratorio-para-invidentes>
7. MyMap, Consultado el día 02 de Abril de 2015 en <http://www.israelenbuenosaires.com.ar/cgi-bin/vernota.cgi?nota=313-8255126719>
8. Mygo, consultado el día 02 de Abril de 2015 en <http://www.tuexperto.com/2007/10/03/mygo-un-baston-para-invidentes-que-sirve-de-lazarillo-electronico/>
9. Eye Stick, consultado el día 02 de Abril de 2015 en <http://www.yankodesign.com/2013/01/14/light-saber-can-for-the-sight-impaired/>
10. PIC, consultado el día 16 de Mayo de 2015 en www.microchip.com/pic/
11. PIC, consultado el día 16 de Mayo de 2015 en <http://www.mikroe.com/chapters/view/79/capitulo-1-el-mundo-de-los-microcontroladores/>



12. Jorge L. Jimenez. Detector de proximidad por infrarrojo, consultado el día 19 de septiembre de 2015 en <http://unicrom.com/detector-de-proximidad-por-infrarrojo/>
13. Sensores Laser, consultado el día 19 de Septiembre de 2015 en http://www.ifm.com/ifmmx/web/pmain/010_070_030.html
14. Eduardo J. Carletti, Sensores de ultrasonido, consultado el día 19 de septiembre de 2015 en http://robots-argentina.com.ar/Sensores_ultrasonido.htm
15. HC-SR04, consultado el día 20 de Octubre de 2015 en http://biblioteca.geekfactory.mx/Sensor_HC-SR04/DS_HC-SR04.pdf
16. Sensores de distancia por ultrasonidos, consultado el día 10 de Noviembre de 2015 en http://picmania.garcia-cuervo.net/recursos/redpictutorials/sensores/sensores_de_distancias_con_ultrasonidos.pdf