

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DEL PERÚ

**DISEÑO DE DISPOSITIVO BASADO EN ULTRASONIDO PARA
DESPLAZAMIENTO DE PERSONAS EN CONDICIÓN DE
DISCAPACIDAD VISUAL**

Tesis para optar el Título de Ingeniero Electrónico, que presenta el bachiller:

Magno Parra Farfán

ASESOR: Luis Alberto Vilcahuamán Cajacuri

Lima, Julio del 2014

RESUMEN

El siguiente trabajo describe el diseño de un dispositivo de ayuda para personas en condición de discapacidad visual, específicamente en lo relativo al desplazamiento, para así brindarles mayor seguridad.

Se logró diseñar un dispositivo sencillo que permite la detección de obstáculos, el cual puede ser aplicado a apoyar a personas en condición de discapacidad visual a moverse de una manera más segura, llegando a detectar objetos hasta a una distancia de 2.50 metros e identificar una posición aproximada del objeto detectado. En el primer capítulo se estudiará la realidad de una persona en condición de discapacidad visual tanto nacional como mundialmente, se mostrarán los medios con que la persona en condición de discapacidad visual cuenta comúnmente; lo cual nos dará la justificación para el desarrollo de este trabajo, así como plantear los objetivos a lograr. A continuación, se abordarán aquellas tecnologías desarrolladas, tanto en laboratorio como comerciales, que son dirigidas a las personas en condición de discapacidad visual, específicamente aquellas tecnologías relativas al desplazamiento de la persona. Asimismo se estudiarán aquellos temas que nos serán útiles en el desarrollo del diseño, el cual será explicado más ampliamente en el modelo teórico. Luego, se plantearán los requerimientos del equipo que deberán cumplirse para lograr alcanzar los objetivos anteriormente planteados. Se presentarán los equipos seleccionados, así como el principio de funcionamiento del diseño propuesto. Finalmente, se mostrarán los resultados a las pruebas realizadas para estudiar los límites de los equipos seleccionados, así como pruebas del funcionamiento correcto del equipo diseñado y las conclusiones a las que se ha llegado.

FACULTAD DE
CIENCIAS E
INGENIERÍA



PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DEL PERÚ

TEMA DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO ELECTRÓNICO

Título : Diseño de Dispositivo Basado en Ultrasonido para Desplazamiento de Personas en Condición de Discapacidad Visual
 Área : Bioingeniería 1153
 Asesor : Luis Vilcahuamán
 Alumno : Magno Parra Farfán
 Código : 20060270
 Fecha : 09/09/2013



Descripción y Objetivos

Una persona en condición de discapacidad visual enfrenta grandes dificultades en su adaptación a la sociedad, una de éstas es la gran dificultad al momento de desplazarse, ya sea asistido por otra persona, usando animales o usando instrumentos que existen en la actualidad, como bastones.

La persona discapacitada se enfrenta a un entorno inseguro, pues la información que recibe de su medio de apoyo, por ejemplo el bastón blanco, es sumamente limitada a pesar de que haya logrado dominar su uso correcto. Incluso pueden suponer una disminución en las capacidades de la persona invidente al crearse una dependencia, como es el caso de los perros guía. Estas limitaciones impiden que la persona discapacitada pueda integrarse debidamente a la sociedad.

Por esto, este trabajo buscará desarrollar un equipo basado en ultrasonido que detecte obstáculos y mida distancias tal que le permita a la persona en condición de discapacidad desplazarse con mayor facilidad, al obtener mayor información de su entorno inmediato que la que recibe con un bastón simple, la cual le será transmitida de una manera amigable, permitiendo que la persona discapacitada obtenga una mayor independencia y seguridad.

Para el desarrollo del equipo se estudiarán las cualidades y limitaciones de un sensor ultrasónico, asimismo se desarrollará el método por el cual un microcontrolador pueda procesar la información de un sensor ultrasónico. Se desarrollará un programa el cual permita transferir la información del equipo al usuario de una manera amigable. Logrando así contribuir a la inclusión de un vasto sector de nuestra sociedad.

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
SECCIÓN ELECTRICIDAD Y ELECTRONICA

MÁXIMO 50

PÁGINAS

Ing. BENJAMÍN CASTAÑEDA APHAN
Coordinador de la Especialidad de Ingeniería Electrónica

FACULTAD DE
CIENCIAS E
INGENIERÍA



PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DEL PERÚ

TEMA DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO ELECTRÓNICO

Título : Diseño de Dispositivo Basado en Ultrasonido para Desplazamiento de Personas en Condición de Discapacidad Visual.

Índice

Introducción

1. Realidad de una Persona en Condición de Discapacidad Visual.
2. Fundamentos. Instrumentación con Ultrasonido y su Procesamiento.
3. Diseño de Detector de Obstáculos y Distancia usando Sensores Ultrasonicos.
4. Pruebas y Resultados.

Conclusiones

Recomendaciones

Bibliografía

Anexos

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
SECCIÓN ELECTRICIDAD Y ELECTRÓNICA

Dr. ING. BENJAMIN CASTANEDA APHAN
Coordinador de la Especialidad de Ingeniería Eléctrica

MÁXIMO 50 PÁGINAS

INDICE

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1: REALIDAD DE UNA PERSONA EN CONDICIÓN DE DISCAPACIDAD VISUAL	
1.1 Problemática de la persona en condición de discapacidad visual	2
1.1.1 Entorno social	2
1.1.2 Métodos de desplazamiento	2
1.1.3 Declaración de la Problemática	3
1.2 Estado del Arte	4
1.2.1 Presentación del Asunto de Estudio	4
1.2.2 Estado de la Investigación	5
1.2.3 Síntesis Sobre el Asunto Estudiado	8
1.3 Justificación de la Investigación	8
1.4 Objetivos	9
1.4.1 Objetivo General	9
1.4.2 Objetivos Específicos	9
CAPÍTULO 2: FUNDAMENTOS DE INSTRUMENTACIÓN CON ULTRASONIDO Y SU PROCESAMIENTO	
2.1 Tecnologías Aplicadas a Personas en Condición de Discapacidad Visual	9
2.2 Sensores Ultrasónicos para Detección de Obstáculos y Distancias	13
2.3 Métodos de Procesamientos de Señal y Microcontrolador	15
2.4 Dispositivos de Comunicación en Personas Invidentes	16
2.5 Codificador de Sonido	19
2.6 Modelo Teórico	20

CAPÍTULO 3: DISEÑO DE DETECTOR DE OBSTACULOS Y DISTANCIA USANDO SENSORES ULTRASÓNICOS

3.1	Requerimientos Cualitativos y Técnicos del Detector	21
3.2	Propuesta de Solución y Diagramas de Bloques	22
3.3	Selección de Sensor y Configuración	24
3.4	Procesamiento de Señal y Microcontrolador	27
3.5	Dispositivos de Salida/Comunicación	30
3.6	Posicionamiento de Sensores e Interfaz Usuario	34
3.7	Diseño de Dispositivo de Ayuda: Bastón Electrónico	35

CAPÍTULO 4: PRUEBAS Y RESULTADOS

4.1	Detector de obstáculos	40
4.2	Cálculo de la distancia	43
4.3	Alerta a usuario	46
4.4	Circuito de Potencia	49
4.5	Resultado General del Sistema	49

CONCLUSIONES 54

RECOMENDACIONES 55

BIBLIOGRAFÍA 56

ANEXOS

- Anexo A. Programa final desarrollado.
- Anexo B. Programa utilizado para pruebas de exactitud.
- Anexo C. Diagrama de flujo. Completo.
- Anexo D. Diagrama de Flujo. Configuración LCD.

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Bastón Blanco.	6
Figura 2. Prototipo, Escáner Láser Sobre Servomotores.	11
Figura 3. Idea Básica de Prótesis Retinal.	12
Figura 4. Señal reflejada no regresa al sensor.	14
Figura 5. A) Falso eco, B) Crosstalk	14
Figura 6. Señal se refleja más de una vez.	15
Figura 7. Tiempos para Sensor HC-SR04.	16
Figura 8. Motor Vibrador.	17
Figura 9. Posición de Sensores y Motores en Equipo Desarrollado en (SHAH, 2006)	18
Figura 10. SyncBraille.	18
Figura 11. Esquema de un Codificador Perceptual de Audio.	19
Figura 12. Diagrama de Bloques de Detector de Obstáculos.	23
Figura 13. Sensor Ultrasónico HC-SR04	25
Figura 14. Partes de Ciclo de Detección.	26
Figura 15. Dispersión Angular de Señal Ultrasónica.	26
Figura 16. Posición de Sensores.	27
Figura 17. Pines ATmega16.	28
Figura 18. Tiempo Para Señal 'Echo'	28
Figura 19. Control de Sensor Ultrasónico. Detección.	29
Figura 20. Pantalla LCD 16x2.	30
Figura 21. Control de Pantalla LCD.	31
Figura 22. Diseño de Manubrio.	32
Figura 23. Control de Motores.	33
Figura 24. Vista Superior de Módulo.	34
Figura 25. Diseño Final del Bastón.	36
Figura 26. Programa Final.	37
Figura 27. Simulación de circuito de control y potencia.	38
Figura 28. Optocoplador 4N33	39
Figura 29. Retraso por Generación de Señal Ultrasónica.	40
Figura 30. Prueba de Detección versus Ángulo.	41
Figura 31. Pruebas para Determinar α .	42
Figura 32. Distancia en LCD.	46
Figura 33. Señal PWM.	47
Figura 34. Circuito de Potencia.	49

Figura 35. Prueba de Bastón con Módulo. Detección de Pared.	51
Figura 36. Prueba de Bastón con Módulo. Detección de Silla.	52



INDICE DE TABLAS.

Tabla 1. Ángulo de Detección.	41
Tabla 2. Determinación de α .	43
Tabla 3. Distancia vs. Tiempo para Detección.	43
Tabla 4. Distancia vs. Tiempo de Detección.	44
Tabla 5. Distancia vs. Distancia en LCD	45
Tabla 6. Distancia vs. Ciclo de Trabajo.	48
Tabla 7. Distancia y Posición Real versus Medida	50
Tabla 8. Costos.	53



INTRODUCCIÓN

En el siguiente trabajo se presenta el diseño de un equipo dirigido a personas en condición de discapacidad visual, el cual les permitirá una mayor facilidad durante su desplazamiento cotidiano.

Comúnmente la persona en condición de discapacidad visual solo cuenta con el bastón blanco el cual le brinda información acerca de obstáculos o posibles peligros en un área alrededor de no mayor de 1 metro cuadrado, por ello mediante la electrónica se busca no solo aumentar el área de detección, sino también ser capaces de detectar objetos suspendidos sobre el suelo.

Mediante el uso de sensores ultrasónicos se buscará diseñar un equipo simple y accesible que se incorpore al bastón blanco, aumentando la cantidad de información que este puede brindar, todo aprovechando las habilidades y conocimientos que la persona ha desarrollado a lo largo de su vida para con el bastón blanco.

Además, se buscará, obtener información acerca de la distancia exacta al objeto detectado. Así, como la posición de este respecto al usuario, esto mediante el uso adecuado de sensores y el correcto procesamiento de la información que nos brindan.

Finalmente, se presentará el diseño final del equipo; pruebas con sus respectivos resultados, las cuales llevaron a la realización del diseño y la identificación de los límites del mismo.

CAPITULO 1. REALIDAD DE UNA PERSONA EN CONDICIÓN DE DISCAPACIDAD VISUAL.

1.1 Problemática de la Persona en Condición de Discapacidad Visual

1.1.1 Entorno Social

En nuestro país un plan integral de salud ocular entró en acción a mediados del año 2014 [MINISTERIO DE SALUD DEL PERÚ, 2013]. De acuerdo a información del Ministerio de Salud del Perú, en nuestro país los mejores servicios y profesionales se encuentran en las cuatro ciudades más grandes del país, generalmente alejados de la población con mayor riesgo, volviéndose de difícil acceso. Aunque se promulgan leyes a favor de las personas con discapacidad, estas no se enfocan en la prevención o tratamiento temprano.

En un aspecto internacional, el asegurar la inclusión de las personas con discapacidad a la sociedad se vuelve cada vez más importante, no limitándose al aspecto legal, sino en una mayor demanda de tecnologías e innovaciones. Cada vez se brinda más apoyo en investigaciones destinadas a desarrollar nuevas tecnologías a favor de las personas en condición de discapacidad [UNESCO, 2012].

1.1.2 Métodos de Desplazamiento

La persona en condición de discapacidad visual peruana tiene a su alcance dos métodos para desplazarse.

El bastón es el medio más utilizado, debido a la simpleza del mismo. Se requiere aprender el uso adecuado del bastón junto con el aprender a usar puntos de referencia. Debido a esto, al desplazarse por un lugar nuevo, la persona tiene que ser más cautelosa al no contar con puntos de referencia. El bastón le permite a la persona detectar objetos o anomalías en el terreno, la longitud del bastón delimitará el área efectiva del bastón. Asimismo, la persona dependerá de su experiencia con el bastón para detectar los posibles peligros. Además, si un objeto está suspendido sobre el suelo es posible que la persona no pueda detectarlo a

tiempo, esto resulta en menos tiempo para la persona en condición de discapacidad para reaccionar apropiadamente o en su defecto el tener que desplazarse a poca velocidad. [LIONS CLUB INTERNATIONAL, 2009]

La persona en condición de discapacidad visual cuenta además con perros guías entrenados para apoyar a la persona discapacitada. El perro guía reconoce posibles peligros para la persona y se asegura de llevar a la persona por un camino seguro. El obtener un perro guía resulta costoso, pues se requiere entrenar y mantener al perro. Adicionalmente se requiere tiempo para desarrollar una relación entre el perro y la persona en condición de discapacidad. Más aún, el uso del perro guía puede causar dependencia, pues la persona pierde habilidades para desplazarse por sí mismo. Finalmente, en nuestro país la presencia de perros guías aún no es muy aceptada pues las cualidades de los perros (limpieza y entrenamiento) no son conocidas y se les trata como animales comunes, impidiéndoles el ingreso a ciertos establecimientos.

1.1.3 Declaración de la Problemática.

Internacionalmente se está buscando que los avances en la tecnología puedan ayudar a las personas con discapacidad que por mucho tiempo fueron desatendidas, como el ojo biónico visto en [Royal Victorian Eye and Ear Hospital, 2012]; ya sea en apoyo a prevención, recuperación o modos de llevar esta discapacidad de la mejor manera posible, todo con el fin de que puedan sentirse parte de la sociedad. Sin embargo, en nuestro país, estos avances solo llegan a aquellos que tienen los recursos económicos.

Muchas veces la persona con discapacidad solo cuenta con el apoyo de su familia, pues por mucho tiempo no se han considerado a las personas con discapacidad y se les ha ignorado a fin de no tener que lidiar con las necesidades que esta parte de la población tiene, causando así que la sociedad no desarrolle un sentimiento de deseo de apoyar a la persona con discapacidad y en su lugar busque hacerla a un lado o simplemente ignorarla.

Se han hecho esfuerzos para tratar las discapacidades, pero estos en su mayoría son más orientados a la recuperación que a la prevención como lo visto en [MINISTERIO DE SALUD DEL PERÚ, 2013].

Aunque en estos últimos años se han promovido leyes que sirven de apoyo a las personas con discapacidad, poco se hace para fomentar el desarrollo de tecnologías que puedan enfocarse en las necesidades específicas que se presentan en nuestro entorno nacional, y solo se importan tecnologías, las cuales en su mayoría, solo son accesibles a las personas en la capital o en las grandes ciudades.

Las maneras más comunes que una persona con discapacidad encuentra de apoyo al momento de desplazarse son el bastón blanco y el perro guía las cuales presentan varias limitaciones. En el caso del bastón blanco, la sencillez de su diseño también implica una rigidez en cuanto a su uso, dando al discapacitado solo una manera limitada de interactuar con su entorno. Además de que requiere un largo tiempo de entrenamiento para lograr un manejo adecuado del bastón, este desarrollo es muy limitado impidiendo una adaptación adecuada del invidente para con su entorno social.

Respecto al perro guía, el gasto en la obtención, mantenimiento y crianza del animal, además del tiempo que lleva a la persona con discapacidad y al perro poder interactuar de manera adecuada, significa una gran dificultad; además el uso del perro guía puede llevar al discapacitado a desarrollar una dependencia hacia el perro guía, generando que el discapacitado pierda capacidades respecto a actuar por su cuenta, lo que causa una mayor dificultad al momento de lograr una adaptación a su entorno social.

1.2 Estado del Arte

1.2.1 Presentación del Asunto de Estudio

Aun siendo la discapacidad visual la de mayor prevalencia en nuestro país, las necesidades de una persona discapacitada visualmente no se atienden completamente, especialmente en la forma en que pueden transportarse de forma

segura, ya sea con un bastón blanco o un perro guía, la persona discapacitada aún se enfrenta a un ambiente inseguro.

En la actualidad se ha hecho un esfuerzo en las necesidades de un invidente en los puntos donde este necesita realizar una tarea, pero la forma en cómo se traslada de un punto a otro no ha logrado ser mejorada más allá del uso del bastón, ya que no se ha logrado una tecnología que pueda superarle en efectividad y simplicidad, se considera también el uso de perros guía, pero debido al costo y cuidado se vuelve algo no muy accesible. Actualmente, un sensor ultrasónico se puede usar para determinar la presencia de un objeto a una mayor distancia a la que un bastón podría.

Diversos equipos se han desarrollado para brindar apoyo a los invidentes con respecto a lograr una autonomía al desplazarse, desde equipos que buscan aumentar las capacidades de un bastón común, que puedan reemplazar completamente al bastón o incluso de devolver parcial o completamente la visión a la persona discapacitada y eso es lo que se repasará a continuación.

Pero, a pesar de que existen tales tecnologías, muchas de ellas no llegan a pasar de ser prototipos, y las que logran volverse comerciales, se encuentran fuera del alcance de la mayoría de la población invidente del Perú.

1.2.2 Estado de la Investigación

Las formas en que una persona invidente puede movilizarse son variadas, desde un bastón, un perro guía, la electrónica ha empezado a intervenir, pero sus propuestas aún están en etapa de prototipo. Algunas de estas medidas de apoyo a los invidentes son los siguientes:

A) Bastón Blanco

Su origen no es claro, se le atribuye a José Fallótico quien, al no saber si debía ayudar a una persona a cruzar la calle, no sabiendo si era invidente, buscó una manera de poder reconocer a una persona con discapacidad; otro posible inventor es el sargento Richard Hoover, quien al trabajar en la rehabilitación de militares

invidente, patento un bastón liviano, de tamaño correcto y de color blanco para el apoyo de los pacientes.

El bastón blanco, como el de la Figura 1, es internacionalmente reconocido como el bastón usado por una persona invidente y que permite garantizar su tránsito libre y seguro, como su nombre lo señala se trata de un bastón de color blanco, que puede tener la parte inferior de color rojo, de 1 a 1,2 metros, dependiendo de la altura del usuario. Una modificación es el bastón plegable o bastón Hoover, hecho de tubos de aluminio plegables entre sí mediante un resorte, como se ve en [Maurer, 2012].



Figura 1. Bastón Blanco [LIONS CLUB INTERNATIONAL, 2009]

B) Perro Guía

Conocidos también como lazarillos, en su mayoría son perros de raza Pastor Alemán, Labrador Retriever y Golden Retriever. Se les entrena para desobedecer inteligentemente, es decir saber cuándo debe desobedecer a su amo a fin de evitar daño a la persona invidente. Para obtener un perro guía la persona invidente deberá pasar un estudio socioeconómico y un examen médico completo, luego tendrá pasar alrededor de un mes en las instalaciones donde se entrenan a los perros, donde convivirá con su futuro perro guía, como se ve en [Escuela para entrenamiento de perros guía para ciegos, 2012].

C) Bastón Electrónico

Dos prototipos desarrollados por el francés René Farsi, son:

Tom Puce: puede detectar objetos a cuatro metros, alerta al usuario mediante vibraciones.

Teletac II: Llega a 15 metros, posee mayor precisión al usar un barrido laser que detecta perfiles y reconoce formas.

En España, miembros del Instituto de Automática Industrial desarrollan el “OCUS” (Orientación para Ciegos mediante Ultrasonidos), basado en un doble sistema de emisión reflexión y recepción de ultrasonidos, visto en [Guerrero, 2008].

Estos equipos no han llegado más lejos de investigación o prototipo. Otros equipos similares se explicarán en el siguiente capítulo donde se presentarán nuevas tecnologías ligadas a las personas con discapacidad visual.

iSONIC: Detecta objetos a 2 metros de distancia, informa mediante vibraciones con diferentes fuerzas, capacidad de reconocer colores e informar mediante mensajes de voz además de reconocer el brillo en un habitación; con una duración de 6 horas en operación consecutiva, como se encuentra en [PRIMPO, 2010].

D) Ojo Biónico

Investigadores de BionicVision Australia, un grupo de expertos en oftalmología, ingeniería biomédica, ingeniería eléctrica y ciencia de los materiales, neurociencia, ciencia de la visión, psicofísica, diseño inalámbrico de circuitos integrados, y la práctica quirúrgica, pre clínica, clínica, han logrado dar un gran paso en el desarrollo de un ojo biónico.

Introduciendo 24 electrodos, en forma de implante, en la retina del paciente, conectando esto a un receptor que se coloca en el oído, y luego a un laboratorio, diferentes tipos de señales llegan a los electrodos, los cuales dan impulsos eléctricos a las células nerviosas en los ojos, causando que el paciente pueda percibir destellos de luz. Estudiando que tipos de señal causan que efecto, se podrá desarrollar un procesador de visión que permita crear imágenes a partir de estos destellos. Se está buscando añadir una cámara que detecte las imágenes, y de señales a los electrodos, además se planea incrementar el número de electrodos a

98 e incluso a 1024, como se ve encuentra en [Royal Victorian Eye and Ear Hospital,2012].

1.2.3 Síntesis Sobre el Asunto Estudiado

Una persona discapacitada visualmente tiene gran dificultad al desplazarse, aún contando con un bastón, la persona invidente tendrá que movilizarse con extremo cuidado pues la información que el bastón le brinda es muy limitada y el medio por el que se moviliza tiende a ser muy difícil.

Se han logrado avances en cuanto a medios de apoyo a personas invidentes, desde perros guía hasta dispositivos electrónicos, pero estos suelen ser demasiado caros, difíciles de mantener, o encontrarse en etapa experimental.

En nuestro país, muchas personas invidentes no cuentan con los recursos para obtener algo más allá de un bastón, además se enfrentan a una sociedad que recién empieza a tomar en consideración sus necesidades, por lo que el desarrollo de sistemas de apoyo para personas discapacitadas, teniendo en cuenta la realidad de esta persona en nuestro país, resulta necesario.

1.3 Justificación de la Investigación

El avance tecnológico respecto a sensores nos permite desarrollar equipos cada vez más complejos, y es mediante el estudio de estos sensores que se pueden hacer mayores avances basados en las nuevas limitaciones y características que se presentan. Los conocimientos sobre las propiedades del ultrasonido nos permiten desarrollar equipos cada vez más diversos y así poder cumplir un mayor número de tareas.

En el Perú la discapacidad que afecta al mayor número de personas es la discapacidad visual, y en su mayoría se trata de personas que no tiene los medios necesarios para acceder a tratamientos o equipos que le ayuden a sobrellevar esta discapacidad. Además, las medidas que se toman para apoyar a un discapacitado no son suficientes, pues no toman en consideración el entorno de la persona y las

necesidades específicas que esto trae, no es lo mismo ser invidente en la costa, en la sierra o en la selva, así mismo como en la ciudad o en un ambiente rural.

El desarrollo de tecnologías que brinden apoyo a las personas con discapacidad es una necesidad en nuestro país, esto debido a las necesidades específicas que se presentan en nuestro entorno, como el desplazarse por terrenos irregulares y las diversas condiciones climáticas; estas necesidades son más fáciles de reconocer por una persona que conoce tanto el entorno como la realidad en la que vive la persona en condición de discapacidad.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

Diseñar un dispositivo de ayuda para el desplazamiento, basado en sensores ultrasónicos, que permitan a la persona en condición de discapacidad visual obtener una mayor información de su entorno inmediato para un caminar seguro; esta información deberá ser transmitida a dicha persona de una manera amigable.

1.4.2 Objetivos Específicos

1. Estudiar las cualidades y limitaciones de un sensor ultrasónico.
2. Estudiar la forma en que un microcontrolador puede procesar la información brindada por el sensor.
3. Implementar un equipo que pueda detectar objetos frente a un usuario.
4. Implementar un equipo que permita basado en motores vibradores para comunicar sobre los objetos detectados manera aceptable para el usuario.
5. Desarrollar un programa que permita la transmisión de información al usuario a partir de los motores vibradores de manera aceptable.

CAPITULO 2. FUNDAMENTOS DE INSTRUMENTACIÓN CON ULTRASONIDO Y SU PROCESAMIENTO

2.1 Tecnologías Aplicadas a Personas en Condición de Discapacidad Visual

Se le denomina Tiflotecnología a conocimientos tecnológicos aplicados a personas en condición de discapacidad visual. Estas técnicas y conocimientos buscan integrar a la persona en condición de discapacidad visual a nuestra sociedad, estas tecnologías se pueden dividir por su funcionalidad, como: programas OCR, dispositivos de escritura e impresión en braille, dispositivos de ayuda a la movilidad. A continuación se presentarán algunas de estas tecnologías, las cuales son estudiadas en el trabajo [Bermudez, 2004].

Los sistemas OCR (OpticalCharacterRecognition) o reconocimiento óptico de caracteres, permite reconocer texto de una imagen, un equipo que posea este programa podría capturar la imagen de un texto, y transformarla en texto, esta información podrá ser transmitida a la persona en condición de discapacidad mediante sonido o braille. Programas OCR son encontrados como funciones de diferentes programas y equipos, muchos ya incluyen formato parlante, es decir reproducción del texto en audio. Solo requieren una PC con tarjeta de sonido y un escáner.

Impresoras Braille, las cuales datan desde los años 70; así como equipos con display en braille, aunque sus precios son aún altos, estos equipos son portables y de fácil manejo para una persona en condición de discapacidad visual, como se encuentra en [Morales, 2003].

Referente a equipos de ayuda a la movilidad se cuenta con detectores de obstáculos, basados en ultrasonido o láser, permiten al usuario saber en cierto grado la distancia a la que un posible obstáculo se encuentra, esta información es enviada al usuario de manera sonora o a través de vibraciones, e incluso mediante estimulación de distintas partes de la piel, la cual está en contacto con una placa codificadora, esta tecnología será descrita con mayor detalle en el punto dos de este capítulo. También existen dispositivos de descodificación de escenas, ya sea

con señales puestas en lugares que pueden ser de interés para la persona, la cual debe poseer un equipo capaz de recibir y procesar las señales, sistemas como estos se están desarrollando en ciudades con San Francisco y diferentes ciudades de Japón; mapas táctiles en relieve, los cuales presentes a la persona información de los puntos clave o de interés acerca del entorno de la persona; existen también sistemas basados en GPS, aplicando esta tecnología a las necesidades de la persona invidente, se busca dar la mayor cantidad de información posible, en base a mapas y referencias desarrollados previamente en [Bermúdez,2004]-

El equipo desarrollado en [Gomez, 2012], visto en la Figura 2, busca utilizar cámaras infrarrojas, que gracias a servomotores, pueda movilizarse independientemente y así lograr un mapeo tridimensional del área en el que se encuentra, la investigación citada busca tener como producto final un equipo que pueda desplazarse por sí mismo y detectar un camino seguro el cual una persona en condición de discapacidad visual pueda seguir.



Figura 2. Prototipo, escáner láser sobre servomotores [Gomez, 2012].

La identificación por radiofrecuencia (RFID) es una tecnología que permite desarrollar métodos que permitan a las personas en condición de discapacidad visual desplazarse en ambientes cerrados, para así servir de complemento a tecnologías basadas en GPS que permiten el desplazamiento en lugares más abiertos, de acuerdo a lo mostrado en [Fernandes, 2014] y [Alghamdi, 2014], la tecnología RFID permite a la persona en condición de discapacidad visual moverse fácilmente por lugares conocidos o nuevos, pero presenta dificultades en su

aplicación, como es la necesidad de obtener e instalar equipos en los lugares donde se usaría la tecnología, además de la necesidad de la persona en condición de discapacidad de obtener equipos que le permitan interactuar con esta tecnología.

En [Picalini, 2014] se estudia el uso de la realidad virtual para enseñar a una persona en condición de discapacidad visual a moverse a través de un espacio desconocido, utilizando audios capturados en el espacio a utilizarse, se crea un medio interactivo para la persona en condición de discapacidad visual, apoyado de un mando que le permita moverse a través de este espacio virtual, basándose en la capacidad de la persona en reconocer el espacio a su alrededor a través del sonido, asimismo se utiliza un sensor de orientación en la cabeza de la persona, esto para permitirle a la persona mover su cabeza dentro del espacio virtual y así tener una experiencia más real, pues el poder mover su cabeza implica variar las señales sonoras que la persona obtiene del medio. Aunque se obtiene buenos resultados, el sistema se puede mejorar, especialmente para casos donde el ambiente es muy complejo, además de mejorar el modo en que la persona se desplaza por el medio virtual.

En [Theogarajan, 2012] se presentan investigaciones referidas a la restauración de la visión, se hace referencia a implantes retinales electrónicos, como en la Figura 3, se presenta avances prometedores, logrando que el paciente pueda reconocer letras grandes u objetos claros en un fondo oscuro, pero los mayores retos permanecen, ya sea el tamaño del implante como los materiales a utilizarse.

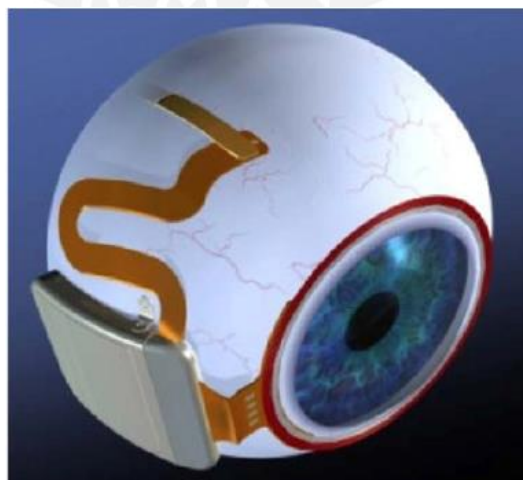


Figura 3. Idea Básica de PrótesisRetinal. [Theorarajan, 2012]

2.2 Sensores Ultrasónicos para Detección de Obstáculos y Distancias

La detección de objetos es una tarea requerida por muchos equipos, así también lo es la medición de la distancia a este objeto. Sistemas que cumplen estas tareas son varios, similares unos de otros se puede catalogarlos por su precio, exactitud o rapidez. En este trabajo se presentará un sistema basado en sensores ultrasónicos.

Sistemas basados en ultrasonido pueden trabajar tanto en aire como bajo el agua, son rápidos y pueden llegar a ser muy económicos, modelos simples pueden ser controlados por microcontroladores de 8-bits, sistemas como estos han sido usados en la robótica por mucho tiempo.

Estos sistemas aprovechan las características del ultrasonido en una frecuencia específica, 40KHz en este caso, la velocidad de la señal ultrasónica emitida es la misma que la velocidad del sonido, la cual se observa en la ecuación (1).

$$V = 340 + 0.6(t - 15) \text{ m/s, } t = \text{Temperatura en } ^\circ\text{C} \quad (1)$$

El sensor ultrasónico emitirá pulsos ultrasónicos a 40KHz, el tiempo (t) entre la emisión de la señal y la recepción del eco, nos permite determinar la distancia a la que se encuentra el objeto detectado. La fórmula, la cual depende de la velocidad del sonido en el aire se observa en la ecuación (2).

$$d = \frac{1}{2} V * t \quad (2)$$

El sensor ultrasónico presenta ciertas limitaciones, debido a las características de la señal ultrasónica, las limitaciones más importantes, vistas en [Pérez de Diego, 2013] para este trabajo son las siguientes:

- La señal ultrasónica emitida por el sensor se dispersa de forma cónica, debido a esto la señal de eco recibida por la parte receptora del sensor es la del objeto más cercano dentro del área efectiva del sensor, debido a esto no es posible determinar la posición exacta del objeto, es decir el objeto puede no estar directamente frente al sensor. La dispersión de la señal es diferente para cada modelo de sensor ultrasónico.
- La calidad de la señal reflejada dependerá del material de la superficie del objeto detectado, materiales rugosos podrían impedir una reflexión

apropiada. En otros casos, aunque la señal se refleje apropiadamente, dependiendo del ángulo con el que la señal se refleja, puede que el sensor nunca reciba el eco, causando que no detecte el obstáculo (Figura 4).

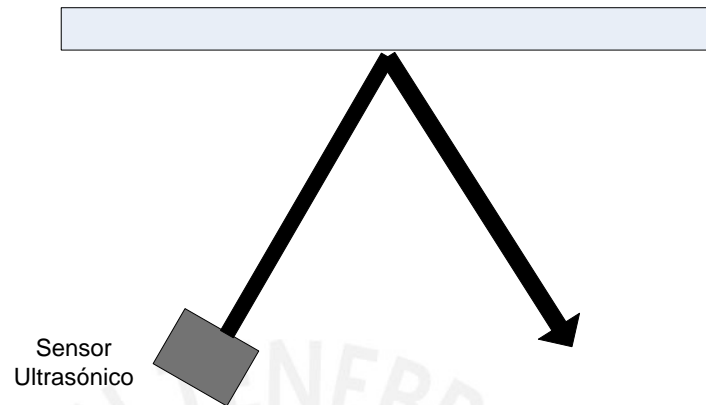


Figura 4. Señal reflejada no regresa al sensor.

- Entornos con temperaturas diferentes a la asumida durante la programación causarían errores en el cálculo de la distancia, pues como se mencionó, este cálculo depende de la velocidad del aire y por lo tanto de la temperatura del entorno.
- En caso de usarse más de un sensor, se presenta el caso denominado falsos ecos, estos ocurren cuando un sensor detecta la señal emitida (crosstalk) o el eco causado por la señal de otro sensor (Figura 5), ya que ambos trabajan a la misma frecuencia, el sensor no tiene manera de distinguir si es o no es la señal que emitió, causando detecciones falsas.

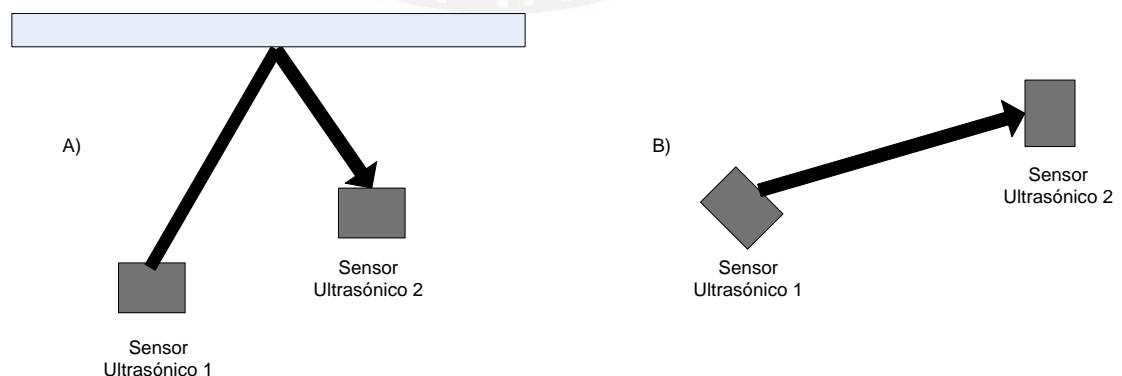


Figura 5. A) Falso eco, B) Crosstalk

- Al estar sujeto a las leyes de reflexión de las ondas, la señal ultrasónica puede reflejarse más de una vez antes de volver al sensor, causando un error en la determinación de la distancia.(Figura 6)

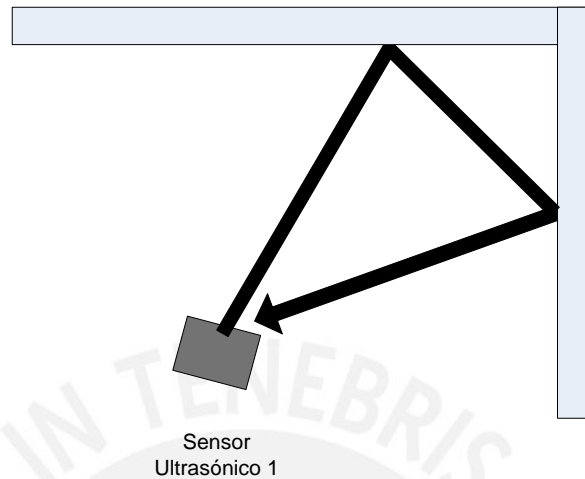


Figura 6. Señal se refleja más de una vez.

En (HAN, 2001) se utilizaron dos sensores ultrasónicos para calcular la posición e incluso crear una imagen del objeto detectado. La posición se logra utilizando la toma de datos más recientes de dos sensores, procesando las distancias obtenidas. Esto incluso para objetos en movimiento, lo cual permitió la creación de un autómata que pudiera seguir un objeto en movimiento, todo mediante el uso de sensores ultrasónicos y el correcto procesamiento de la información obtenida.

2.3 Métodos de Procesamiento de Señal y Microcontrolador

La comunicación entre el sensor ultrasónico y el microcontrolador es de dos vías, una señal de activación hacia el sensor ultrasónico y una señal eco producida por el sensor, que brinda la información a procesar.

La señal de activación debe ser, para el sensor ultrasónico, una señal TTL de 10 microsegundos, en la entrada 'Trigger' del sensor. La señal 'Echo' brindada por el sensor será la de un pulso de cinco voltios, el cuál pasará a cero voltios, cuando el sensor detecte la señal reflejada, el tiempo del pulso en 'Echo' es directamente proporcional a la distancia del objeto detectado. Existen otros factores a la hora de interpretar la señal del sensor ultrasónico, como el momento en que la señal en

'Echo' se activa, y el periodo máximo que se debe esperar antes de enviar otro pulso de activación, para el sensor ultrasónico el tiempo máximo a esperar es de 38 milisegundos, como se observa en la Figura 7, además es recomendable dar 10 milisegundos extra antes de enviar otra señal de activación, de acuerdo en lo visto en [Cytron Technologies SDN. BHD, 2013].

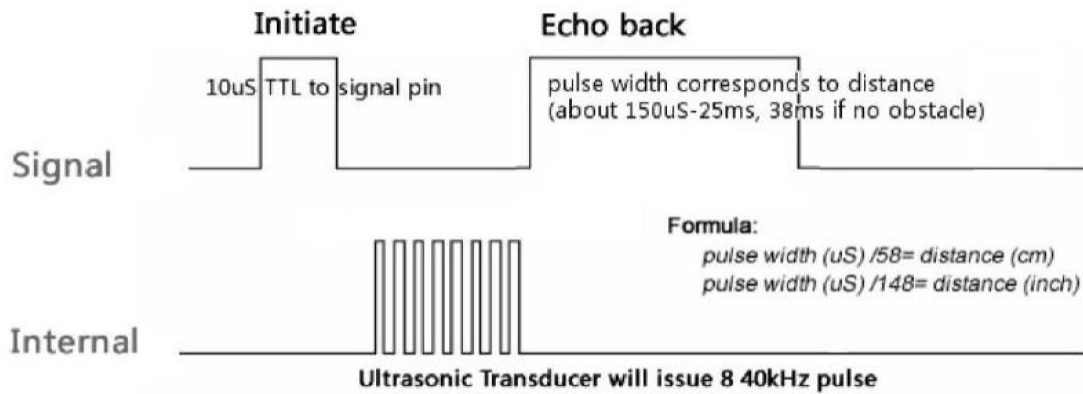


Figura 7. Tiempos para sensor HC-SR04. [Cytron Technologies SDN. BHD, 2013]

Como se mencionó en un punto anterior, un microcontrolador de 8-bits es suficiente para operar junto al sensor ultrasónico, el microcontrolador debe ser capaz de operar al menos a una frecuencia de 1MHz, esto puede variar dependiendo de la exactitud que se desee en el cálculo de la distancia, pues a mayor frecuencia de trabajo, será capaz de una mayor exactitud en el tiempo y por lo tanto en el cálculo de la distancia.

2.4 Dispositivo de Comunicación en Personas Invidentes

La manera en que el equipo transmita información a la persona invidente es un aspecto muy importante al momento de diseñar el equipo, el método no solo debe ser fácil de entender, en especial al tratarse de un equipo que ayuda a la movilidad debe evitarse que la señal distraiga demasiado, pues la persona invidente debe estar atenta a su entorno.

Utilizar sonido es uno de los medios más comunes, ya sean desde ruidos simples hasta mensajes hablados, dependiendo de la información a brindar, la complejidad del mensaje aumenta, en caso de equipos de reconocimiento de caracteres (OCR),

como los mencionados en puntos anteriores, es necesario mensajes hablados. Para equipos de ayuda a la movilidad se puede variar en complejidad de acuerdo al tipo de información, si se dan datos concretos, el uso de palabras es necesario, en caso de que se quieran evitar obstáculos o alertar de peligros, una señal sonora como alarma es suficiente, variaciones en el tiempo de la señal, intensidad o frecuencia del sonido son medios aceptables, aunque señales sonoras que duren mucho tiempo pueden resultar inapropiadas en algunos casos. Esto será estudiado con mayor extensión en un punto posterior en este trabajo.

Motores vibradores pequeños como los vistos en la Figura 8, similares a los usados en celulares. Sea con vibraciones cortas que funcionan como alarmas o una vibración continua que varía su intensidad, la cual representa cambios en la magnitud que se está midiendo, como distancia; resulta ser un método que brinda información fácil de entender. Asimismo, controlando apropiadamente la intensidad de la vibración se impide que se vuelva una distracción inaceptable.



Figura 8. Motor Vibrador.

En [Shah, 2006] también se observa el uso de un arreglo de motores, vistos en la Figura 9, que brinda información diferente dependiendo de su localización, permitiendo transmitir una mayor cantidad de datos al usuario, la información de cada sección de motores es respectiva a sensores posicionados de manera que se obtenga una mayor cantidad de información.

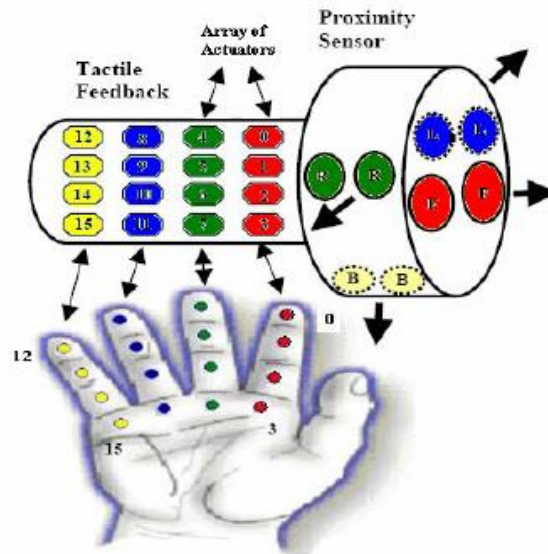


Figura 9. Posición de sensores y motores en equipo desarrollado en [Shah, 2006]

El uso de pantallas Braille actualizables o líneas Braille (Figura 10), son dispositivos electrónicos que permiten la reproducción de información en código Braille, a diferencia de un papel impreso, se tiene un número limitado de celdas (tres filas y dos columnas), las cuales se actualizan ante un comando iniciado por el usuario. Estos equipos pueden ser conectados a computadores, permitiendo a la persona conocer la información que se presenta en la pantalla, utilizando programas informáticos dedicados al uso de estos equipos, como se ve en [Instituto de Tecnologías Educativas,2005].



Figura10. SyncBraille[HIMS Korea CO.LTD, 1999]

2.5 Códex de Audio

La generación de audio puede ir desde generar notas usando una señal PWM, hasta el uso de algoritmos para codificar y decodificar datos auditivos, llamados códec de audio.

La generación mediante el método PWM consiste en la generación de una onda cuadrada a la frecuencia adecuada, correspondiente a la nota musical deseada, esto nos permite reproducir desde sonidos únicos hasta melodías relativamente simples.

Los códec de audio permiten la reproducción y manipulación de audio más complejo, implica el uso tanto de software como hardware. El número de códec de audio es cada vez mayor, y son más fáciles de conseguir y usar, en este trabajo nos centraremos en el códec basado en la codificación perceptual de audio, este códec es estudiado en [F. Cádiz, 2008], este tipo de códec nos permite reducir la cantidad de datos que representa la señal de audio, aunque se sacrifica la calidad de audio. Basándose en la habilidad del cerebro humano de enmascarar ciertos sonidos, es decir un sonido hace inaudible otro sonido que se encuentra en la misma banda crítica de frecuencia, si es que la amplitud del sonido enmascarado es menor que el umbral de la banda crítica; el codificador ignora aquellos componentes del audio que serían enmascarados, esto se traduce en una reducción de datos. El codificador permite descomponer la señal de audio en diferentes bandas, permitiendo que cada componente de la señal pueda ser procesado de manera independiente, La Figura 11 presenta el esquema de los componentes principales del codificador.

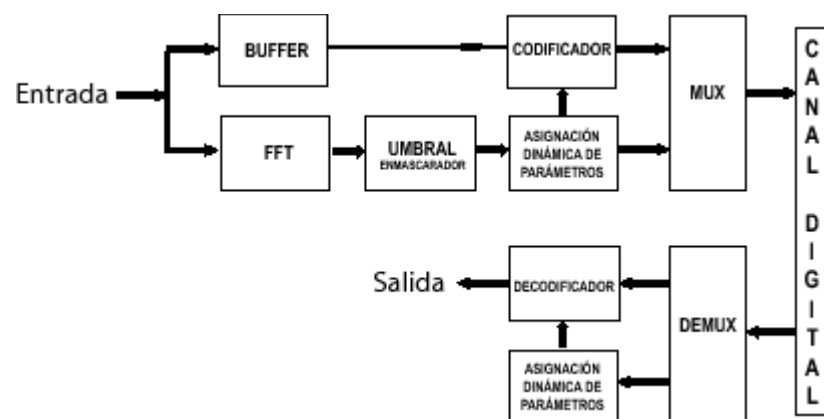


Figura 11. Esquema de un Codificador Perceptual de Audio[F. Cádiz, 2008].

2.6 Modelo Teórico

Se usará el ultrasonido como medio para detectar y obtener la distancia a la que se encuentra un obstáculo. Tanto la activación del sensor ultrasónico, como el procesamiento de los datos obtenidos serán manejados por un microprocesador, el cual además se encargará de enviar la señal de alerta al usuario de la manera más amigable posible, ya sea mediante la vibración de un motor o una señal sonora.

El microprocesador enviará una señal de activación al sensor ultrasónico, el cual será posicionado entre la empuñadura y la caña del bastón, se determinará un periodo de tiempo el cual será fijado de acuerdo a las necesidades del usuario y requerimientos de los equipos, esto a fin de evitar que se generen demasiadas señales de alerta para el usuario. Luego de que la señal ultrasónica regrese, el sensor enviará información al microprocesador, el cual no solo alertará si se ha detectado un obstáculo, sino a qué distancia se encuentra dicho obstáculo. Esta información será transmitida al usuario de dos posibles maneras: mediante un motor vibratorio si se desea hacer una detección de obstáculos continua; o mediante una señal sonora, si el usuario desea activar el detector de obstáculos a su conveniencia.

Además, se buscará lograr diferenciar la posición del obstáculo así como obtener la mayor exactitud posible de los equipos con los que se cuenta.

La discapacidad visual es un problema que afecta a mayor número de la población que cualquier otra discapacidad y que en muchos casos es ignorada. La necesidad de desplazarse de una persona se ve gravemente truncada por esta discapacidad, impidiendo así que la persona se sienta completamente parte de la sociedad. El desarrollo de nuevas tecnologías no solo debe concentrarse en revertir la pérdida de la visión, sino tener en cuenta la realidad a la que la persona se enfrentará hasta que se encuentre un medio accesible de tratar la pérdida de la visión.

Usar el ultrasonido como medio no solo de detección de obstáculos sino para obtener mayor información del terreno es un medio sencillo y rápido de brindar mayor apoyo a un discapacitado al momento de moverse.

CAPITULO 3. DISEÑO DE DETECTOR DE OBSTACULOS Y DISTANCIA USANDO SENSORES ULTRASÓNICOS

3.1 Requerimientos Cualitativos y Técnicos de Detector

El detector de obstáculos debe cumplir ciertos requerimientos no solo para asegurar el funcionamiento del detector, sino para su futuro uso por personas en condición de discapacidad visual.

Para asegurar el funcionamiento adecuado, asimismo lograr que el equipo sea manipulado por personas invidentes, se definen los siguientes requerimientos cualitativos:

- ✓ Área de detección apropiada, debe brindarse suficiente información para justificar utilización de equipo.
- ✓ Determinación de posición de obstáculo.
- ✓ Equipo de tamaño pequeño que se pueda posicionar en un bastón, equipo debe ser económico.
- ✓ Uso de una pantalla LCD que muestre la distancia, usado en pruebas para ajustes en determinación de distancia y exactitud.
- ✓ Control adecuado de potencia del motor vibrador, debe asegurarse que se pueda diferenciar entre distancias y posiciones diferentes.
- ✓ Panel de control adecuado para personas invidentes, información necesaria hacia usuario. Encendido y apagado de funciones o equipo en general.

Los requerimientos básicos del equipo detector así como poder cumplir los requerimientos cualitativos, se tendrán los siguientes requerimientos técnicos:

- ✓ Diseño de una fuente de alimentación adecuada para el microcontrolador, sensor ultrasónico y demás componentes de baja potencia.
- ✓ Diseño de etapa de potencia para el motor vibrador.
- ✓ Posicionamiento adecuado de sensores, interfaz de usuario y panel LCD, considerando tamaño y peso.
- ✓ Generación de señal de activación de sensor ultrasónico por parte de microcontrolador.
- ✓ Procesamiento de señal del sensor ultrasónico.
- ✓ Control de motor vibrador, definir tipo de señal de control.

- ✓ Delimitar distancias máxima y mínima apropiadas para detector.
- ✓ Determinación de exactitud apropiada de detector de distancia.
- ✓ Generación de señal de control de pantalla LCD.
- ✓ Comunicación con panel de control.

3.2 Propuesta de Solución y diagrama de Bloques

Basándose en el sensor ultrasónico, se desarrollará un equipo que pueda sujetarse al bastón blanco, el cual es comúnmente usado por personas en condición de discapacidad visual. Este equipo permitirá a la persona detectar posibles obstáculos en su camino, ya sea que estén en el suelo o suspendidos en el aire, además se brindará al usuario información acerca de la distancia exacta a la que se encuentra el objeto, esta información será transmitida principalmente a través de motores vibradores colocados en la empuñadura del bastón, esto de acuerdo a lo visto en [Senem, 2012] y [Shah, 2006], es en la mano donde se obtiene una mayor sensibilidad para detectar vibraciones, esto permitirá que la información del equipo no distraiga a la persona de sus otros sentidos; la posición específica de los motores irá de acuerdo al modo en que la persona sujeta el bastón, permitiendo aprovechar el poco espacio para brindar la mayor información posible.

El equipo debe ser portable y ligero, pues se busca que este complemente al bastón, así la persona en condición de discapacidad visual podrá aprovechar aquellas habilidades adquiridas con el bastón sin ningún problema, esto será de suma importancia pues siguiendo lo visto en [Cheng-Lung, 2013], la persona en condición de discapacidad visual, se siente más segura si cuenta con el bastón, esto a pesar de que la información obtenida por un equipo electrónico sea mayor y fácil de entender; además en caso de falla del equipo o de la batería del mismo, la persona en condición de discapacidad contará aún con el bastón para desplazarse.

Se buscará que el costo total del equipo sea el menor posible, pues se quiere lograr que el equipo sea accesible a la mayor cantidad de personas en condición de discapacidad, asimismo como se trata de algo nuevo, resultará más atractivo para aquellos que deseen probar esta nueva tecnología. Se buscará un diseño simple, pero sin dejar de lado el que cumpla las funciones descritas en su totalidad.

El Diagrama de bloques mostrado en la Figura 12, muestra el diseño básico del dispositivo detector, centrado en el microcontrolador, una entrada será la interfaz de usuario, cuyas funciones fueron descritas en el punto anterior; el sensor ultrasónico será quien interactúe con el entorno y nos brinde información del mismo. El motor vibrador y el panel LCD serán las salidas de nuestro sistema.

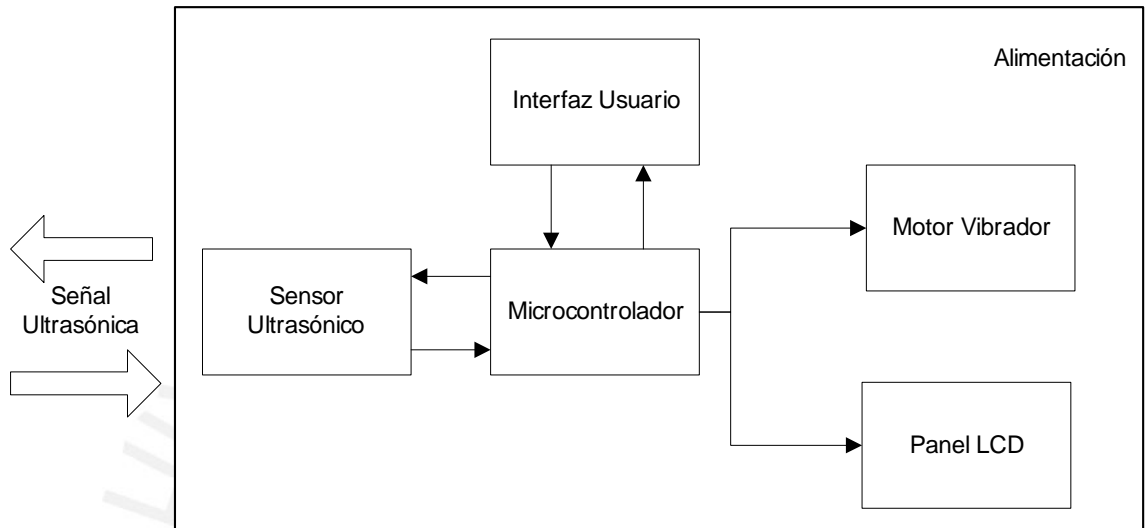


Figura 12. Diagrama de Bloques de Detector de Obstáculos

Cabe resaltar que el panel LCD será usado en la etapa de pruebas para corroborar la exactitud del equipo, y el motor vibrador será usado para transmitir la información al usuario final. Asimismo el control referido al motor no solo será en potencia, sino cuales de los motores se activarán.

La interfaz usuario incluirá lo necesario para un manejo simple del equipo, es decir se incluirá lo requerido para encender y apagar el equipo, así como una alarma para avisar en caso de que se requiera que la batería esté a punto de acabarse.

El circuito ligado al motor será aislado del resto, tanto en alimentación como en control, para evitar que el ruido eléctrico producido por el motor afecte las señales del sensor y del microcontrolador produciendo posibles errores.

3.3 Selección de Sensor y Configuración

La selección del sensor ultrasónico debe ser basada en los siguientes parámetros:

- Distancia máxima capaz de detectar.
- Costo, tamaño y peso.
- Potencia consumida.
- Tiempos de señales.
- Especificaciones de señal ultrasónica.

En general los sensores ultrasónicos tienen diseños parecidos, siendo pequeños y ligeros, el consumo de energía por parte de este dispositivo es pequeño, por ello puede usarse la misma fuente de alimentación del microcontrolador; en cuanto a especificaciones, lo más notable es la distancia máxima a la que el sensor es capaz de detectar, esta característica está ligada directamente al costo del equipo, además debe considerarse que esta distancia máxima indicada por el fabricante no es la distancia máxima obtenida en la realidad, ya que la capacidad de detectar un objeto está ligada a las características del objeto a detectar y al entorno en que se encuentra el equipo; de manera similar es la manera en que la señal ultrasónica se dispersa en el aire. Estas características no cambian el funcionamiento básico del detector, pero serán estudiadas para realizar los cambios necesarios y cumplir los requerimientos cualitativos.

Otra característica que puede diferenciar los sensores es si el receptor y emisor de la señal ultrasónica están separados o no, en este caso se utilizará un sensor con el emisor y receptor separados, al no tener que configurar al sensor para servir como emisor o receptor la programación del mismo se simplificará, asimismo los tiempos necesarios para el control disminuyen.

Se usará el sensor ultrasónico HC-SR04, mostrado en la Figura 13, el sensor es económico, pequeño y ligero, el módulo incluye transmisor y receptor separados, esto permite un mejor manejo de los tiempos durante el funcionamiento, punto que será visto con mayor profundidad más adelante; el módulo incluye además los filtros respectivos para lograr obtener una señal clara para el control del equipo, logrando así reducir el tamaño y costo del equipo final. Demás características del sensor serán mencionadas a continuación, comparando lo establecido en la hoja de datos con el funcionamiento real del módulo.

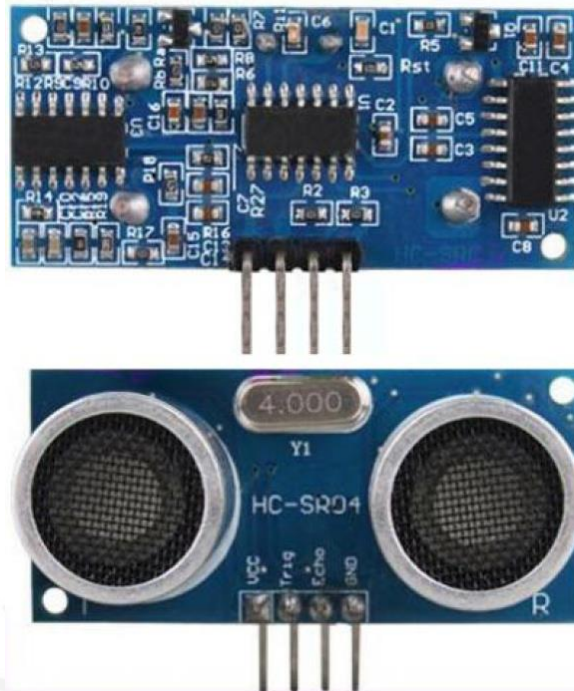


Figura 13. Sensor Ultrasónico HC-SR04.

El sensor ultrasónico HC-SR04, de acuerdo a los datos proporcionados por la hoja de datos en [Cytron Technologies SDN. BHD, 2013], tiene una distancia máxima de detección de 4 metros, en pruebas con el modulo se obtuvo una distancia de detección máxima de 2 metros, dependiendo del objeto a detectar, esto de acuerdo a lo visto en el capítulo anterior. La hoja de datos indica un tiempo de detección máximo de 38 milisegundos, para delimitar el tiempo de funcionamiento de cada ciclo de detección, además se debe considerar el tiempo de activación del sensor ultrasónico de 10 μ S, un tiempo de 10ms entre cada ciclo de detección para asegurar correcto funcionamiento, como se estudia en [Pérez de Diego, 2013], además el tiempo durante el que se genera la señal ultrasónica (tiempo entre señal de activación e inicio de tiempo de detección), como se ve en la Figura 14. Obteniendo un tiempo no mayor de 0,1 segundos por cada ciclo de detección, el sensor HC-SR04 cumple con los requisitos propuestos.

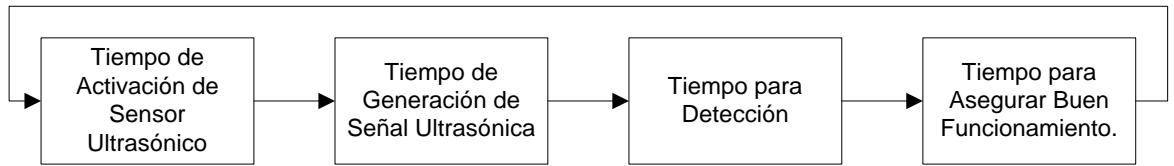


Figura 14. Partes de Ciclo de Detección

De acuerdo a la hoja de datos, se observa que la señal ultrasónica se abrirá alrededor de 30° , como se ve en la Figura 15, la distancia máxima también variará con cambios en el ángulo. Esta información se tomará en cuenta al desarrollar el equipo detector, para diferenciar posiciones. Resultados relacionados a pruebas específicas a la identificación del ángulo máximo al que se abre la señal, hasta donde es posible la detección se mostrará en el capítulo siguiente.

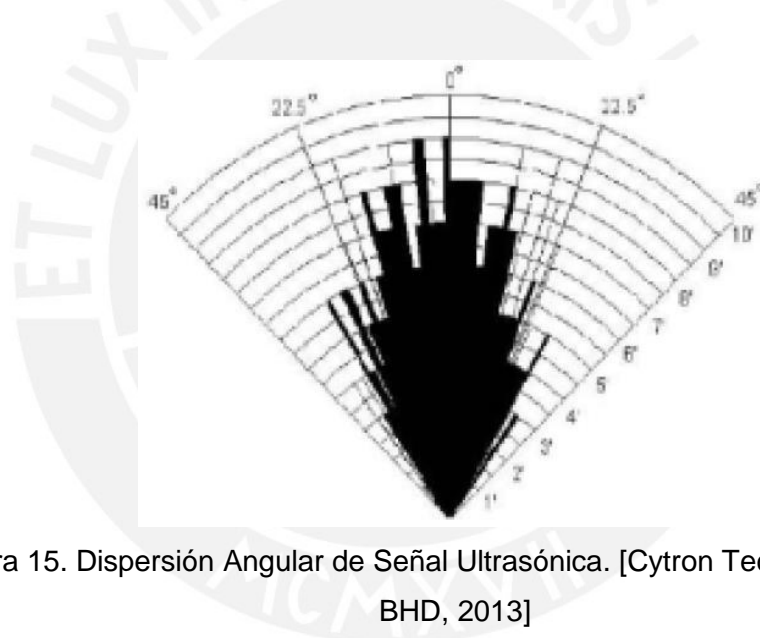


Figura 15. Dispersión Angular de Señal Ultrasónica. [Cytron Technologies SDN. BHD, 2013]

Como se mencionó en puntos anteriores, no es posible saber la posición exacta del objeto detectado respecto al sensor ultrasónico, por ello se ha considerado el uso de dos sensores ultrasónicos trabajando simultáneamente, como en la Figura 16, así no solo se obtendrá un área de detección mayor, sino una mejor idea de la posición del objeto detectado; esto permitirá al equipo diferenciar entre obstáculos a la izquierda, centro o derecha del usuario.

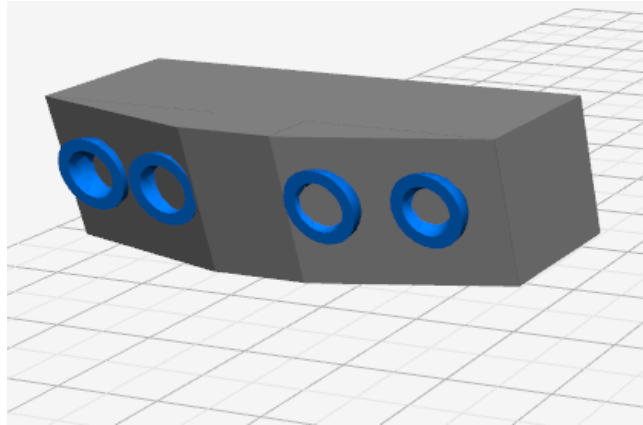


Figura 16. Posición de Sensores.

La posición exacta de los sensores se delimitará teniendo en cuenta las limitaciones del sensor ultrasónico, estas consideraciones son mencionadas más adelante en este capítulo.

3.4 Procesamiento de Señal y Microcontrolador

La señal obtenida del sensor ultrasónico, será un pulso de 5 voltios, cuya duración es directamente proporcional a la distancia a la que el objeto detectado se encuentra. Como se mencionó en el punto anterior, los tiempos de la señal son un punto importante a considerar. El correcto procesamiento de esta señal será la base de la correcta operación del dispositivo.

Con respecto al microcontrolador, se usarán los pertenecientes a la familia ATMEL, siendo de tamaño pequeño y fácil de conseguir, además de que incluyen un reloj interno, permiten ahorrar espacio y componentes para su correcto funcionamiento.

Específicamente se elegirá el ATmega16, cuenta con la memoria necesaria para nuestras necesidades, se cuenta con un número de pines adecuados para nuestras necesidades, visto en la Figura 17: once pines para el LCD, cuatro para los sensores, tres para los motores y uno para la señal sonora, además se debe considerar que al usarse la capacidad de Fast PWM del microcontrolador, es necesario considerar que pines son exclusivos para PWM.

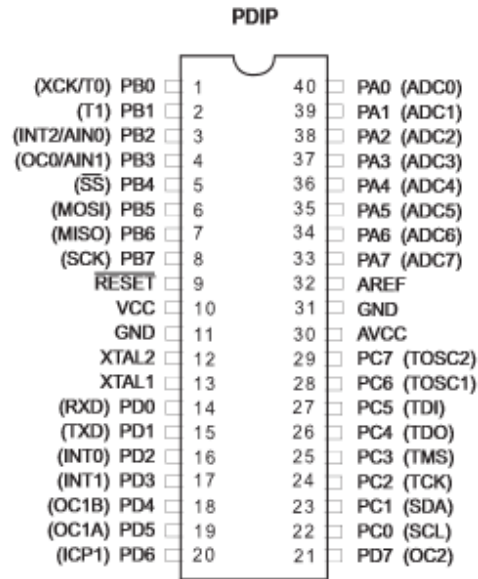


Figura 17. Pines ATmega16

La frecuencia a la que trabaja el dispositivo puede ser variada mediante programación. Además permite agregar un reloj externo a fin de obtener una frecuencia diferente. Se trabajará con una frecuencia de 1 MHz, esto permitirá un cálculo más simple de la distancia.

Ya que la resolución permitida por el sensor ultrasónico es de hasta 0,3 centímetros, es posible trabajar con una frecuencia de 1MHz y una resolución de 1 centímetro. El cálculo de la distancia se hará mediante un contador basado en los tiempos vistos en la Figura 18.

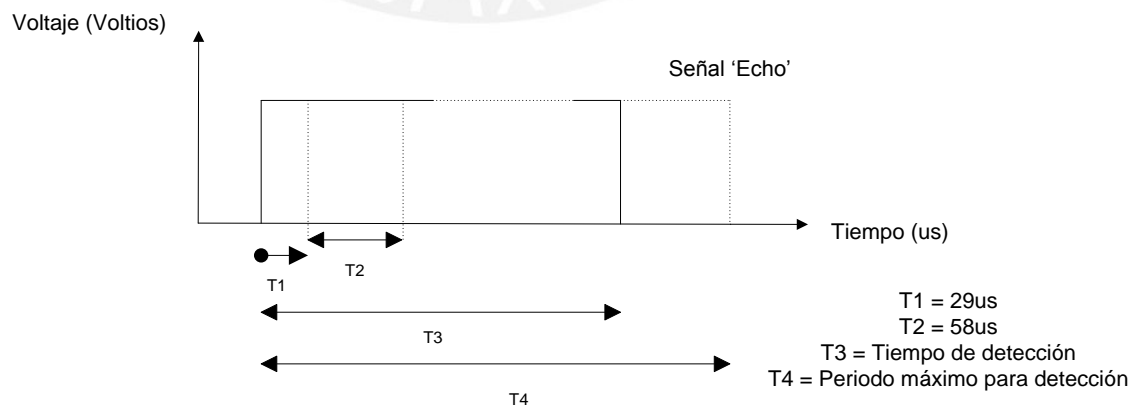


Figura 18. Tiempo Para Señal 'Echo'

El microcontrolador revisará la señal de 'echo', si esta permanece igual (5 Voltios), el contador aumentará en una unidad para luego esperar 58 microsegundos (T2) antes de revisar la señal nuevamente, esto por 38 milisegundos (T4), en caso de haber detectado algo (T3) se procederá al control del motor guardando el valor del contador que representa la distancia; en caso no se detecta nada, se esperaran 10 milisegundos extras antes de reiniciar el proceso, esta secuencia se puede observar en la Figura 19.

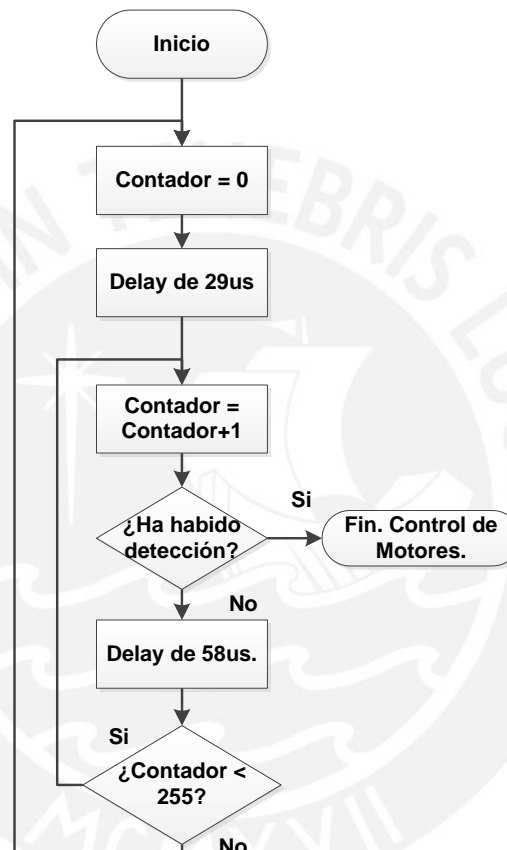


Figura 19. Control de Sensor Ultrasónico. Detección.

Para obtener una mayor exactitud, la primera revisión de la señal 'echo' se hará 29 microsegundos (T1) después de que la señal 'echo' se activa, esto permitirá un error no mayor ± 0.5 centímetros, en lugar de un error máximo de 1 centímetro en caso la revisión de la señal se haga en el momento en que esta se activa, pues en este caso una distancia de 1.1 centímetros sería detectada cuando el contador pase a 2, generando un error de 0.9 centímetros.

El contador que representa la distancia será procesado y convertido en una representación numérica para el display LCD, y en una señal de control para el

motor vibrador, este procesamiento se verá en los siguientes puntos de este capítulo.

3.5 Dispositivos de Salida/Comunicación

Serán dos las maneras en que la información, distancia, será transmitida al usuario, mediante una pantalla LCD y mediante motores vibradores.

Para la etapa de pruebas se usará una pantalla LCD 16x2, como la vista en la Figura 20, que mostrará la distancia a la que se encuentra el obstáculo frente al equipo, en centímetros; esto nos permitirá conocer si el equipo funciona correctamente, y la exactitud del mismo.



Figura 20. Pantalla LCD 16x2.

De este modo se podrá verificar que se cumple con lo deseado, pero al mismo tiempo nos permitirá estudiar los límites del equipo, referido a la exactitud en la detección de distancias, información que permitirá mejorar el equipo e incluir nuevas tareas. La subrutina encargada de realizar el control de la pantalla LCD, se puede observar en la Figura 21. El contador respectivo a la distancia, tiene que convertirse en información que el LDC pueda reproducir, ya que el contador representa la distancia se debe transformar en datos ascii que puedan ser transmitidos al LCD, asimismo la pantalla debe actualizarse constantemente, teniendo en cuenta los tiempos mínimos requeridos por la pantalla LCD.

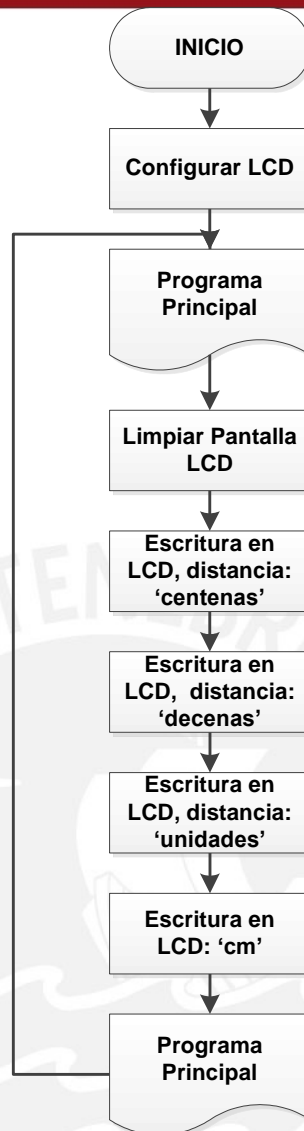


Figura 21. Control de Pantalla LCD

Para la utilización del LCD se debe tener en consideración los tiempos de las subrutinas, pues el LCD tiene tiempos mínimos a los cuales puede reaccionar adecuadamente. Esto se adecúa al diseño planteado, pues como se denotó en puntos anteriores, el sensor ultrasónico también requiere un tiempo mínimo entre activaciones, para asegurar un correcto funcionamiento. En el capítulo siguiente se denotará cuál es el tiempo mínimo adecuado para el periodo de funcionamiento, es decir el tiempo desde la activación del sensor hasta la activación de motores y muestra de mensaje en la pantalla. Para mayor información se puede referir al Anexo D

Para el equipo final se usaran motores vibradores, la potencia con la que estos vibran es inversamente proporcional a la distancia a la que el objeto se

encuentra. Se tomará en consideración lo estudiado en [Cheng-Lung, 2013], integrando tanto el detector de obstáculos con el bastón comúnmente usado por personas en condición de discapacidad visual. Sin el bastón, la persona, actúa de manera más cautelosa, aunque la información que recibe del detector sea mejor que la que puede obtener con el bastón, la persona no es capaz de aprovecharla al máximo; si se utilizan ambos dispositivos al mismo tiempo, la persona siente mayor seguridad y es capaz de aprovechar la nueva información que recibe del detector de obstáculos. De acuerdo a [Cheng-Lung, 2013] y [Shah, 2006] se colocarán motores en el manubrio del bastón, como se muestra en la Figura 22, para así brindar mayor información al usuario.

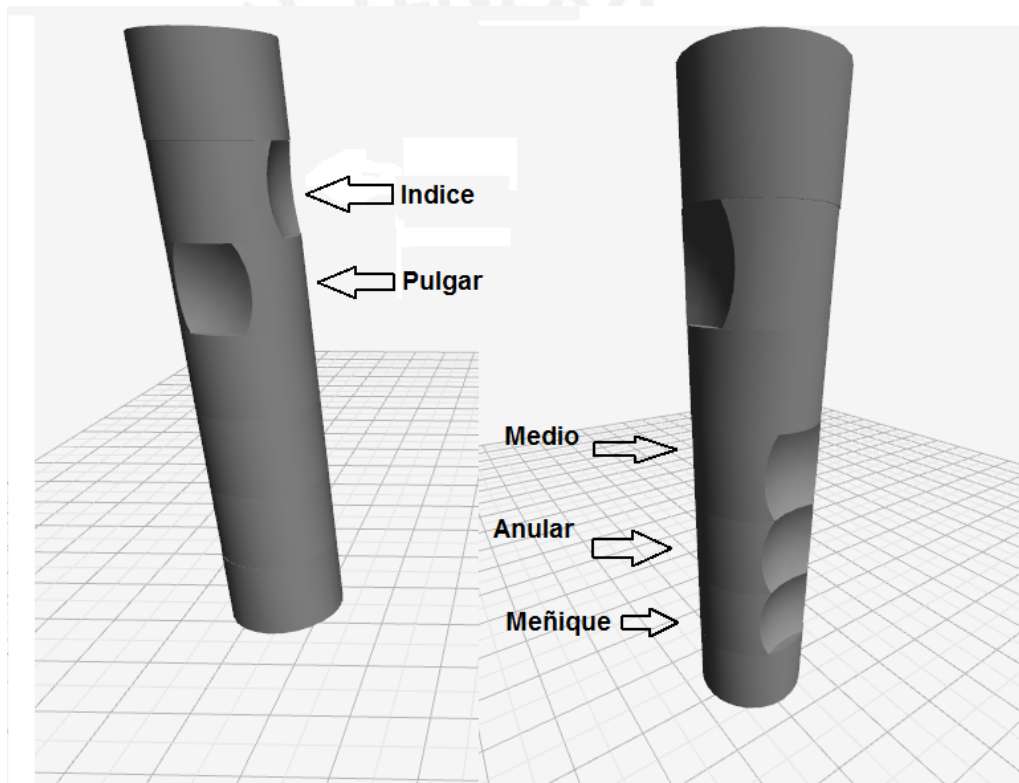


Figura 22. Diseño de Manubrio.

Para el diseño se tomará en cuenta el modo en que la persona en condición de discapacidad visual sujeta el bastón al momento de escanear el camino. Esto nos permite situar los motores en lugares fijos donde se asegura que la persona pueda sentirlos claramente.

Se buscará aprovechar el número de motores y la posición de esto para brindar la información de la manera más clara posible. En la posición del dedo pulgar se

brindará la información de la distancia al obstáculo, independientemente de la posición del objeto. En caso de que se encuentre un obstáculo al lado derecho o izquierdo, se brindará información adicional respectiva a la posición, esto mediante motores que vibrarán a una potencia fija, para obstáculos a la derecha vibrará el motor respectivo al dedo anular, para obstáculos a la izquierda vibrará el motor respectivo al dedo medio; además se determinará una distancia mínima la cual será considerada como peligrosa, en este caso se activarán todos los motores (medio y anular) a la máxima potencia. La secuencia principal se mostrará en la Figura 23.

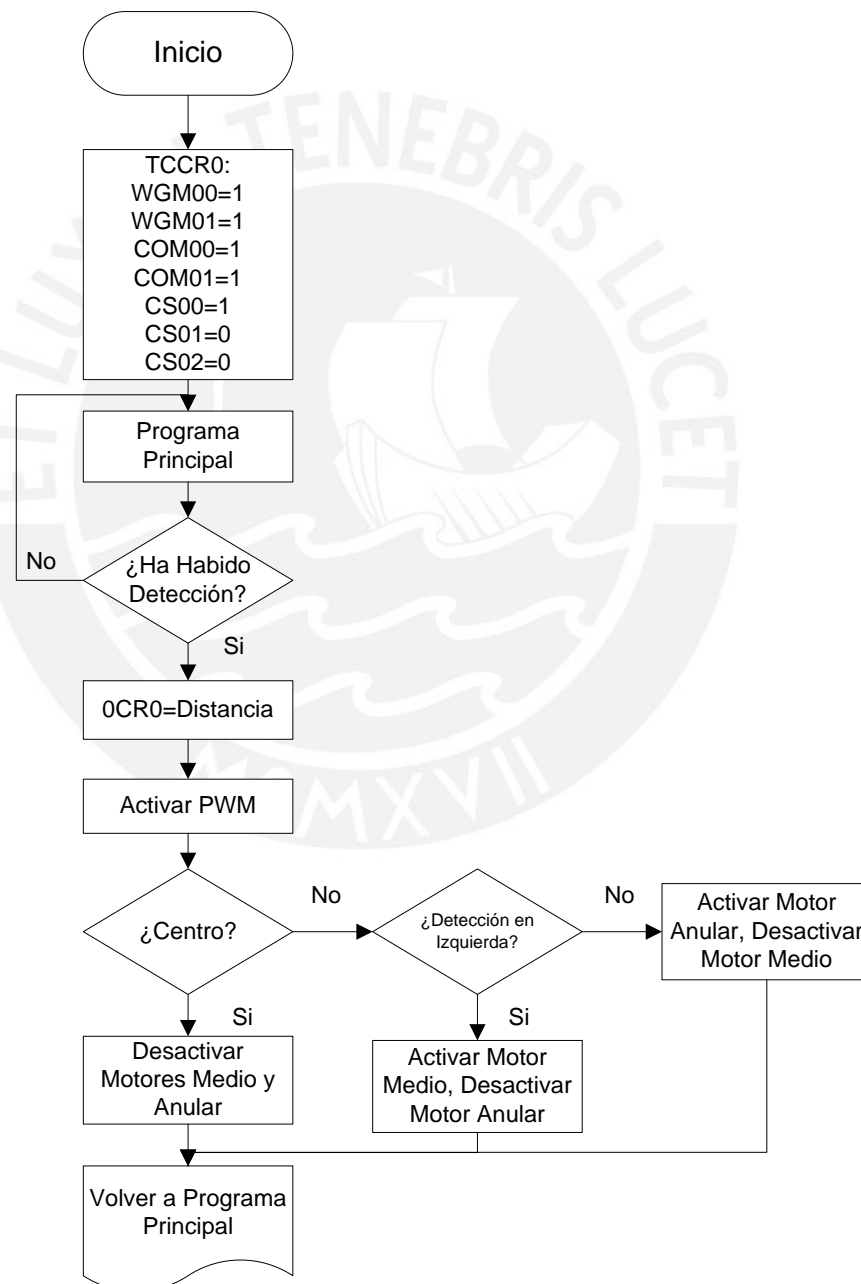


Figura 23. Control de Motores.

La señal PWM también nos permitirá generar una señal sonora, la potencia de esta señal será mayor conforme uno se acerque al objeto detectado, por ello se utilizará la misma señal PWM que se usa para los motores. En este caso no se tendrá en cuenta la posición del objeto (izquierda, derecha o en frente), solo se tomará en cuenta la distancia, pues la señal sonora sería difícil de distinguir a menos que se usen audífonos. Los cuales no se consideran apropiados pues impiden que la persona pueda distinguir ruidos de su alrededor que le permiten moverse de una manera más fácil y segura.

3.6 Posicionamiento de Sensores e Interfaz de Usuario

Como se denotó en un punto anterior, se usarán dos sensores ultrasónicos, estos serán colocados de manera que estén paralelos, pero se considerará un ángulo α , como en la Figura 24, el cual permitirá no solo mejorar el área de detección sino lograr detectar una mayor cantidad de objetos los cuales no podían ser detectados por limitaciones del sensor ultrasónico vistas en puntos anteriores.

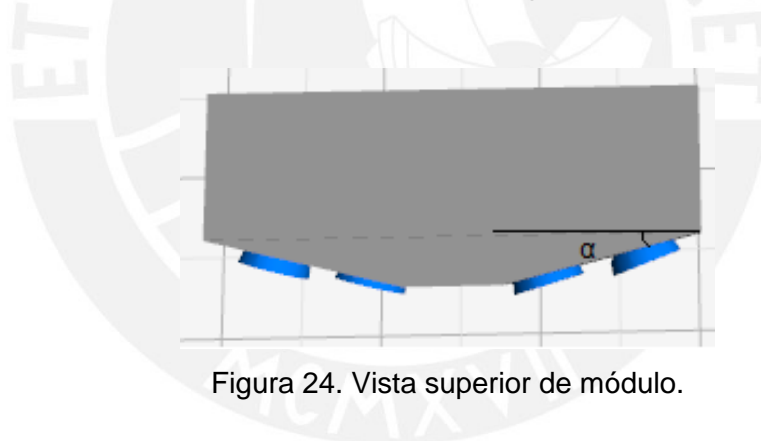


Figura 24. Vista superior de módulo.

El tamaño del módulo dependerá principalmente de los circuitos electrónicos, se plantea un tamaño de 12 centímetros de ancho, 7 centímetros de alto y 7 centímetros de profundidad; debido a que el tamaño es considerable, si se toma en cuenta el usuario final, se buscará utilizar un material ligero como acrílico, así el peso del equipo será solo el de los circuitos electrónicos y la batería.

La posición del módulo respecto del bastón será aproximadamente a la altura de la cintura del usuario, así permitiremos detectar obstáculos suspendidos en el aire, cosa que no se puede lograr con el bastón por sí solo. Una explicación más detallada de este punto se verá en el capítulo cuatro, junto con el estudio de las limitaciones del sensor ultrasónico. Debe asegurarse que los sensores apunten de

frente, para así permitir una mejor propagación de la señal ultrasónica, como se estudió en capítulos anteriores.

Para el control del dispositivo, el usuario contará con un botón de encendido y apagado, además se dará la capacidad de anular cualquiera de las señales al usuario, es decir motores o señal sonora, esto de acuerdo a las necesidades del usuario. Asimismo, en el caso de la señal sonora se dará la capacidad disminuir el volumen, para adecuarse a las preferencias del usuario. Con esto se busca evitar que tanto los motores como el sonido se conviertan en una molestia o distracción innecesaria.

3.7Diseño de Dispositivo de Ayuda: Bastón Electrónico

En la Figura 25 se observa el diseño final del bastón, en el cual se considera lo visto en puntos anteriores, se eligió utilizar dos sensores ultrasónicos, a fin de que el equipo pueda detectar entre obstáculos a la derecha, frente o a la izquierda del usuario; esto se logra teniendo un área común donde ambos sensores detectarán el mismo objeto, esto significará que el objeto está frente al usuario, si la detección ocurre en solo un sensor, esto indicará una dirección específica. El diseño del módulo que contendrá los sensores, también incluirá espacio para los circuitos, así como para la alimentación de los circuitos; aunque el peso de los componentes no es demasiado, se debe buscar equilibrar el peso del equipo en el bastón para permitir una adecuada manipulación del bastón por parte del usuario, así como posicionar los sensores fijamente para asegurar que apunten al frente como se mencionó anteriormente.

Para brindar información al usuario se usarán tres motores vibradores, los cuales serán colocados en el manubrio del bastón, como fue presentado en un punto anterior; esto permitirá al usuario diferenciar que tipo de información se le está brindando; el manubrio asimismo incluirá la interfaz de usuario: Encendido y apagado, control de funciones y volumen de sonido.

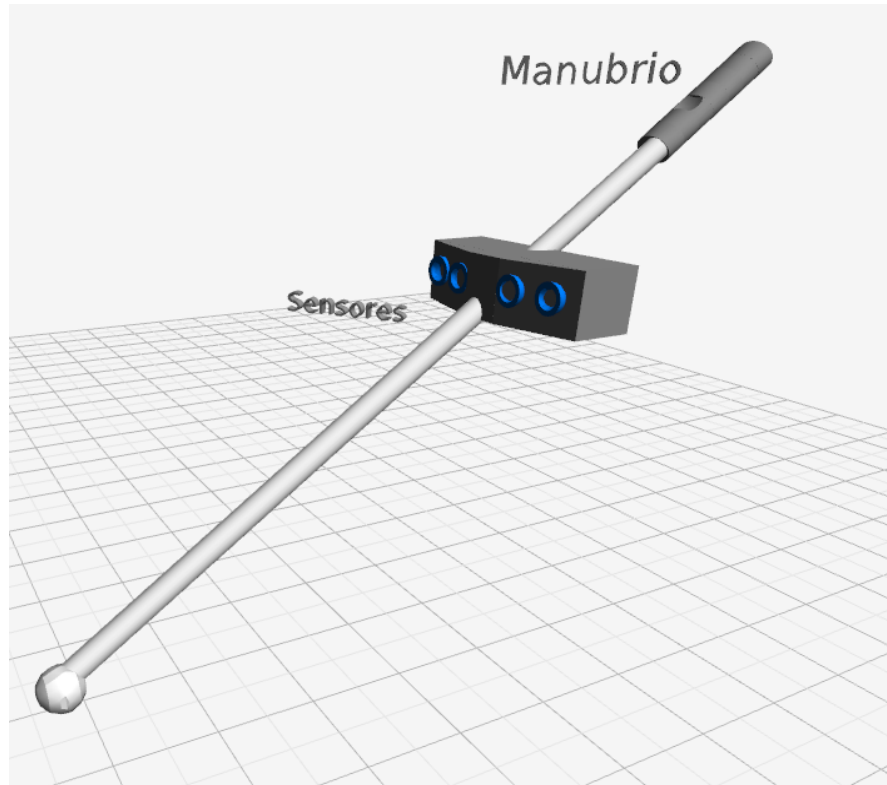


Figura 25. Diseño Final del Bastón

Tomando en cuenta lo planeado en puntos anteriores, y lo mostrado en la Figura 19 y la Figura 21, se presenta en la Figura 26 el diagrama de flujo correspondiente al programa final.

Se incluyen las configuraciones iniciales necesarias, así como las principales subrutinas necesarias para el cumplimiento de las tareas planteadas.

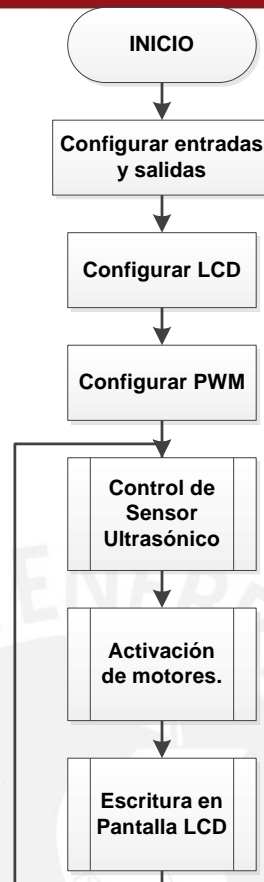


Figura 26. Programa Final

El circuito correspondiente al equipo se puede apreciar en la Figura 27. La etapa de control incluye el microprocesador, con sus salidas y entradas respectivas, el LCD podrá ser conectado directamente al microcontrolador pues no tiene un requerimiento de corriente alto.

Además se cumple con lo mencionado en puntos anteriores, los pines exclusivos para PWM no interrumpen el funcionamiento de las demás funciones.

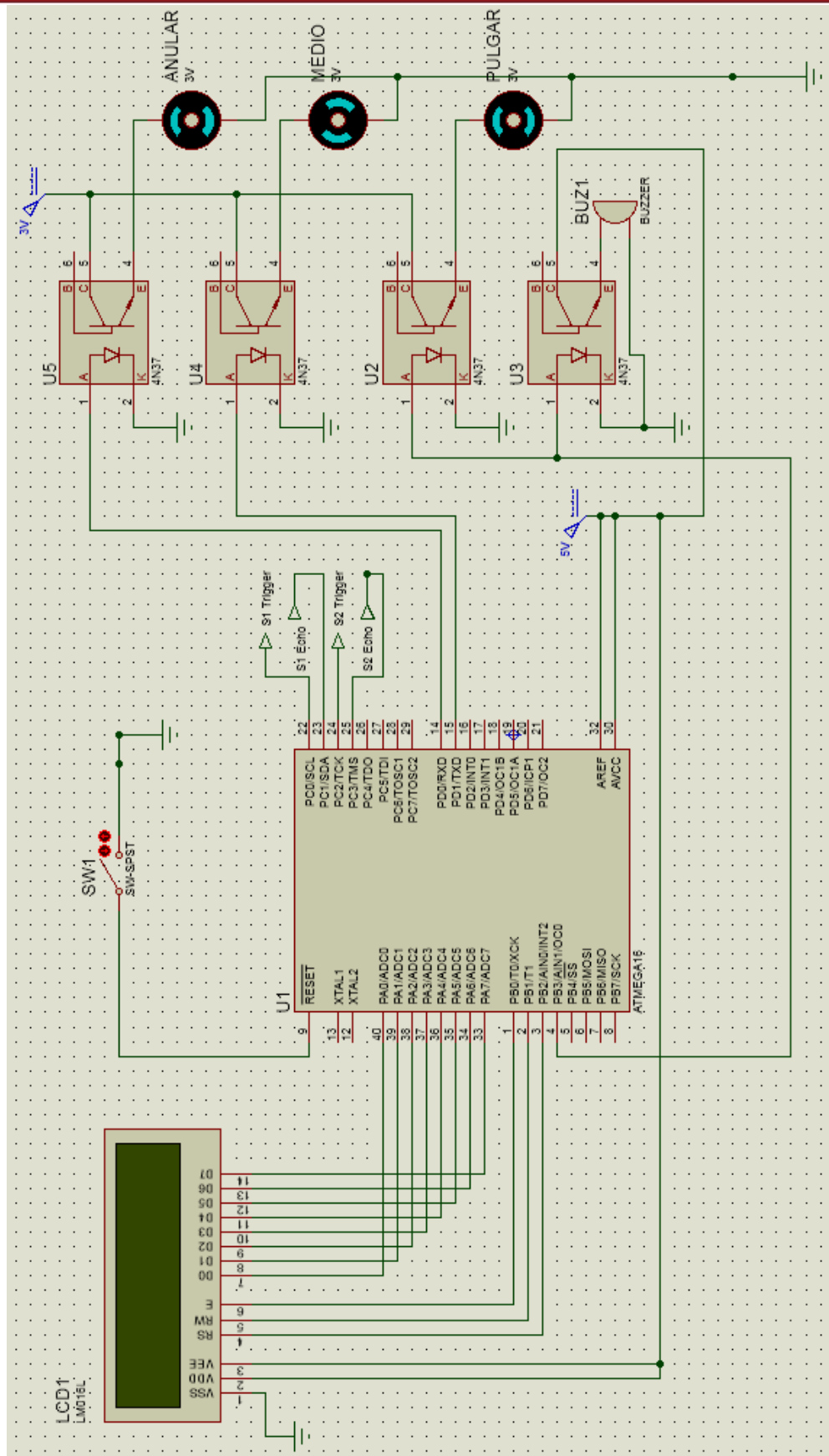


Figura 27. Simulación de circuito de control y potencia.

Para el caso de control de los motores se incluye el optocoplador 4N33, que se observa en la Figura 28, el cual nos permite brindarle la potencia requerida a los motores sin exigirle demasiado al microcontrolador, asimismo nos permite utilizar la fuente adecuada para los motores sin mayor dificultad.

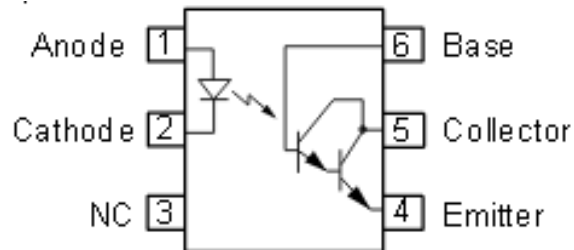


Figura 28. Optocoplador 4N33 [Vishay Semiconductor, 2008]



CAPITULO 4. PRUEBAS Y RESULTADOS

4.1 Detector de Obstáculos

Para asegurar el correcto funcionamiento del detector de obstáculos se estudia las características del sensor ultrasónico, especialmente distancias máximas, ángulo máximo para detección, tanto a los lados como superior e inferior, así como tiempos de respuesta.

Primero se observa que existe un tiempo entre el final de la señal de activación (trigger), es decir cuando para '1' lógico a '0' lógico, y el comienzo de la señal 'echo', este tiempo no debe incluirse para el cálculo de la distancia, pues este es el tiempo durante el cual se generan las señales ultrasónicas. Al realizarse pruebas se puede ver en la Figura 29 que el tiempo de retraso por la generación de la señal ultrasónica es de alrededor de 560 microsegundos. Se incluirá en el programa una subrutina que permita obviar este retraso en el cálculo de la distancia, para así asegurar la exactitud.

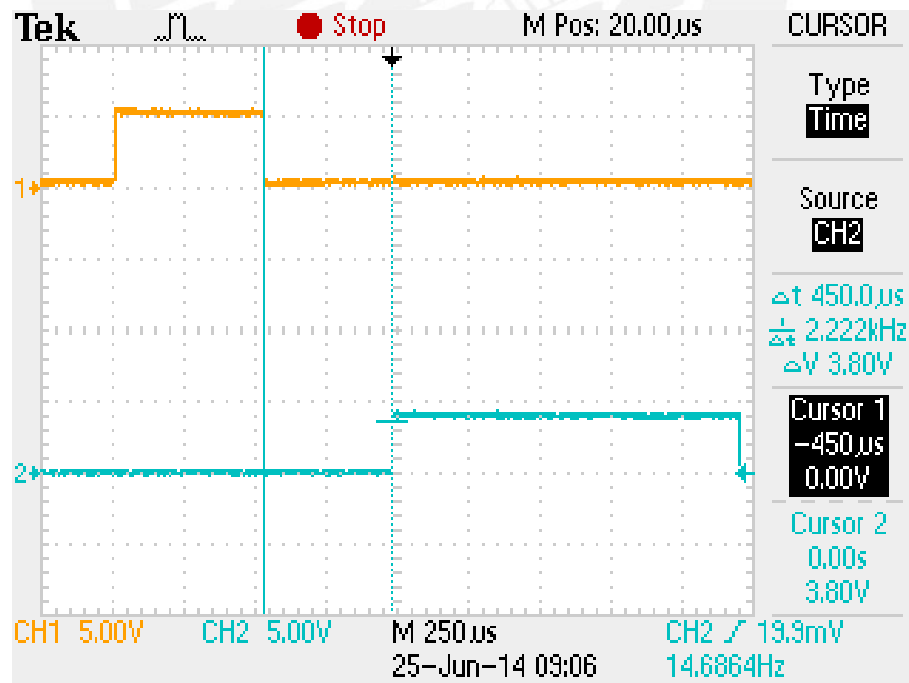


Figura 29. Retraso por Generación de Señal Ultrasónica

Para probar los límites del sensor ultrasónico se realizarán medidas de la distancia mínima a la que hay detección versus el ángulo de detección, como se muestra en la Figura 30, los resultados se mostrarán en la Tabla 1. Cabe resaltar que se supondrá un objeto a detectar, que permita la mejor reflexión de la señal ultrasónica, es este caso se utilizó una madera plana paralela al sensor, la cual se movía de acuerdo a lo requerido por la prueba.

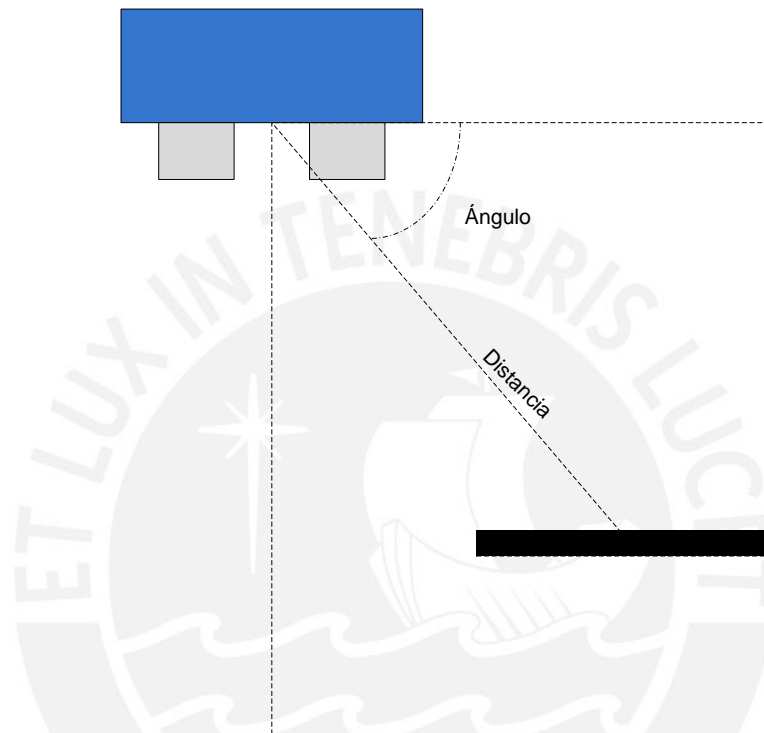


Figura30.Prueba de Detección Versus Ángulo.

Tabla 1. Ángulo de Detección

Distancia Mínima (cm)	Ángulo (°)
No detecta	11.25
No detecta	22.50
No detecta	33.75
2.00	45.00
2.00	56.25
2.00	67.50
1.00	78.75
1.00	90.00

Mayores distancias implicaron una reducción del área efectiva de detección, de una detección entre los 45° a 90° , se redujo hasta los 70° a 90° , esto para distancias mayores a 10cm.

También se buscará asegurar que se puedan detectar objetos suspendidos en el aire, así como objetos pequeños en el suelo. Para esto también se medirá el ángulo máximo para detectar respecto hacia arriba y abajo.

A una distancia de 30 centímetros se detectaron objetos hasta 16 centímetros por encima del sensor. Realizando cálculos se tiene un ángulo de 28.07° , realizando cálculos, asumiendo que el sensor se encuentra a 90 centímetros se detectará objetos en el piso a 1.68 metros frente al sensor. En la prueba realizada se logró detectar a una distancia alrededor de 1.63 metros.

En el capítulo anterior se propuso que los sensores se colocaran paralelos, pero no mirando directamente hacia adelante, se propuso un ángulo α que nos permitiría una mayor facilidad de diferenciar entre izquierda, derecha o centro; además esto cambiará la distancia máxima a la que se detectarán objetos directamente frente al usuario. Se realizaron diferentes pruebas a diferentes ángulos, los resultados se muestran en la Tabla 2, aquí se verán los cambios en α , y las distancia mínimas a las que detecta frente al sensor, como se ve en la Figura 31.

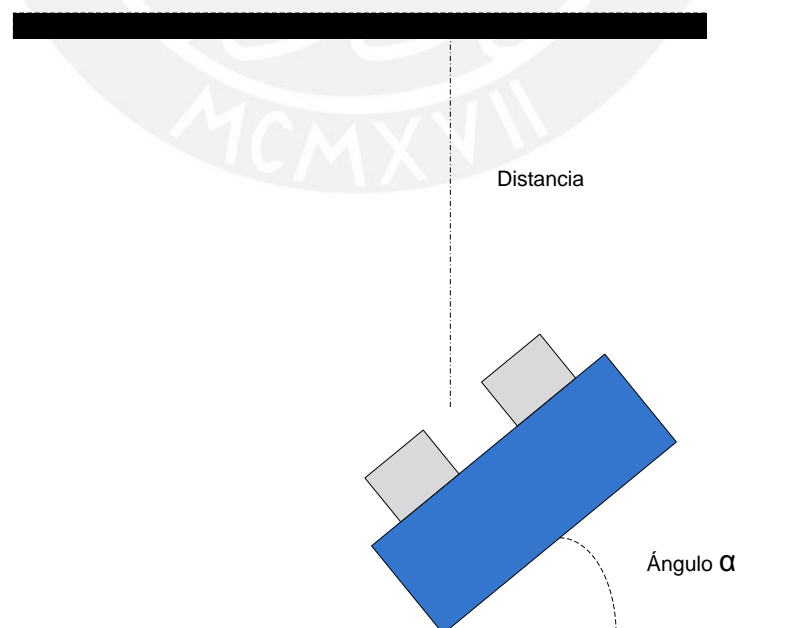


Figura 31. Pruebas para Determinar α .

Tabla 2. Determinación de α .

Distancia Mínima (cm)	Ángulo α (°)
0.50	0
0.50	11.25
0.50	22.50
0.50	33.75
No detecta	45.00
No detecta	56.25
No detecta	67.50
No detecta	78.75
No detecta	90.00

A partir de esta prueba se usará una α de 22.50 °, esto permitirá tener un espacio común para ambos sensores de 11.25° y otro exclusivo de cada sensor de también 11.25°. Mayores pruebas mostraron que el área común no era suficiente, por lo que se redujo α a 22°, permitiendo diferenciar un centro suficientemente claro a 25 centímetros de distancia.

4.2 Cálculo de la Distancia

Se realizaron pruebas para relacionar el tiempo del pulso 'echo' con la distancia real, los datos se muestran en la Tabla 3, a partir de estos resultados se pueden realizar los ajustes necesarios para el método de cálculo de la distancia, la cual será mostrada en una pantalla LCD, lo cual será mostrado más adelante.

Tabla 3. Distancia vs. Tiempo para detección.

Distancia (cm)	Tiempo (ms)
70	4.08
75	4.36
80	4.64
90	5.20
100	5.72
110	6.32
150	8.80

Los resultados de otra prueba, vistos en la Tabla 4, se centran en las distancias entre 70 y 80 centímetros, con separaciones de 1 centímetro. Con el microprocesador trabajando a 1MHz se obtuvo en el osciloscopio los siguientes tiempos:

Tabla 4. Distancia vs. Tiempo de Detección

Distancia (cm)	Tiempo (ms)
70	4.08
71	4.16
72	4.20
73	4.24
74	4.32
75	4.36
76	4.40
77	4.48
78	4.52
79	4.60
80	4.64

Como se describió en el anterior capítulo, se planteó un contador el cual aumentará cada 58 microsegundos, los cuales representan 1 centímetro, además de un retraso de 29 microsegundos al inicio para lograr que el error máximo sea de 0,5 centímetros, de esto se concluye que el periodo original de 58 microsegundos no es el más adecuado, el promedio de los datos encontrados nos indica un periodo menor para permitir una mejor detección, esto se tendrá en cuenta para lograr un resultado óptimo.

Además se comprobará la distancia real con lo mostrado en el LCD. Para distintas pruebas los datos se encuentran en la Tabla 5.

Tabla 5. Distancia vs. Distancia en LCD

Distancia (cm)	Distancia en LCD (cm)
5	5
10	10
12.5	14
20	20
25.5	25
30	30
35	35
40	39-40
50	48-50
60	59-60
70	68-69
75	74-75
80	79-81
90	89-91
100	99-100
125	124-125
150	149-151
175	174.175
200	199-201
225	224-225
250	248-250

Se observa que lograr una medida exacta a una frecuencia de detección alta es difícil, esto debido a que las ondas ultrasónicas no viajarán de manera idéntica en cada activación del sensor, Un resultado se ve en la Figura 32. Para una mayor comprensión, el programa utilizado en esta prueba se encuentra en el Anexo B.



Figura 32. Distancia en LCD.

Además se incluirá la capacidad de distinguir objetos frente al usuario que este hacia la derecha, izquierda o directamente frente al usuario, esta información será presentada tanto en el LCD como en motores. Para este caso se controlarán cada sensor por separado, esto para evitar que un sensor detecte la señal del otro sensor, esto fue presentado en capítulos anteriores.

4.3 Alerta a Usuario

Se probará la capacidad del microcontrolador de cambiar el ciclo de trabajo de su señal PWM constantemente al cambiar el registro OCR0, esto nos permitirá conocer tanto la potencia máxima del motor vibrador. En las pruebas se pueden apreciar variaciones en la señal PWM, vista en la Figura 33, un análisis más detallado de estos cambios se observa en la Tabla 6.

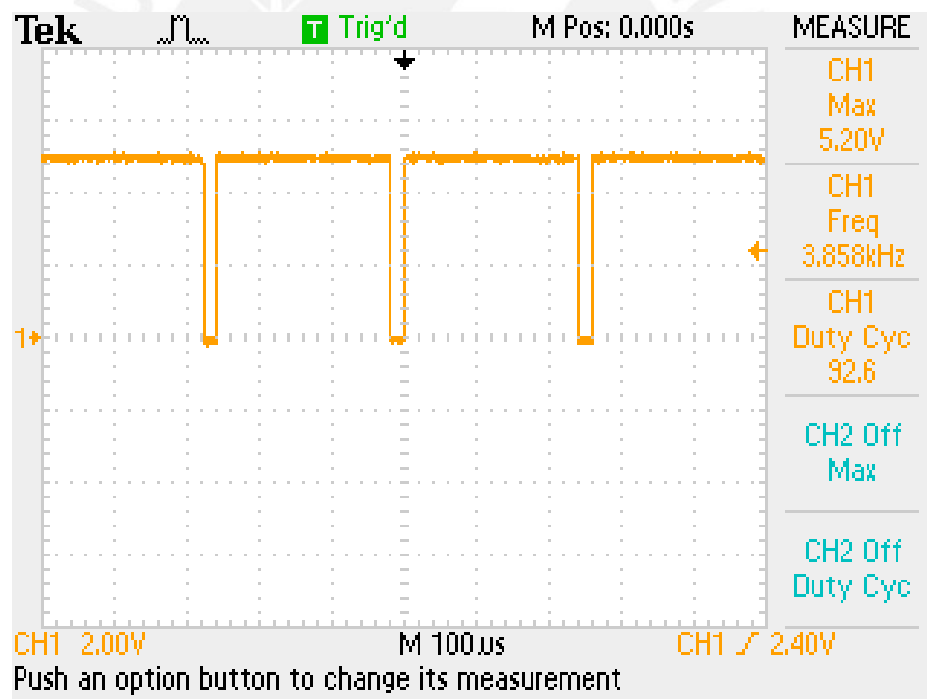


Figura 33. Señal PWM.

Tabla 6. Distancia vs Ciclo de trabajo.

Distancia (cm)	Cicle de Trabajo (%)
10	95.2
25	89.4
40	84
50	80.1
51	79.6
52	79.2
53	78.9
54	78.4
55	78.1
56	77.6
57	77.3
58	76.5
59	76.1
60	75.8
70	72.7
90	64.8
100	61
251	0

Esta misma prueba se realizará para reproducir el sonido de alerta, también logrado mediante PWM. Cabe resaltar que en caso de no detectarse nada, la señal PWM será apagada automáticamente hasta haber una nueva detección, esto es adecuado pues, aunque se disminuía su ciclo de trabajo al mínimo, las vibraciones aún eran notables.

Para ambos casos también se ha visto adecuado agregar una manera en que el usuario pueda variar la potencia máxima del sonido de alerta, para ello se agregará un potenciómetro de perilla en la etapa de potencia.

Asimismo para el caso de los motores que alertan acerca de la posición del objeto detectado, se observó que la potencia a la que funcionan es la adecuada, ya que solo actúan de manera de alarma temporal.

4.4 Circuito de Potencia

El circuito de potencia considera el uso de un optocoplador 4N33, el circuito se puede ver en la Figura 34. La señal que entra a este circuito se obtiene del programa final el cual se puede ver en el Anexo A.

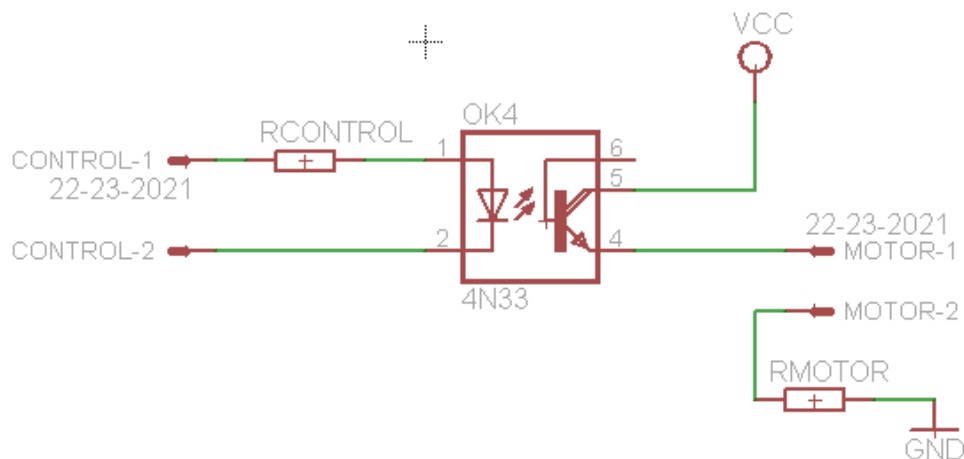


Figura 34. Circuito de Potencia.

La respuesta obtenida luego el optocoplador no presenta mayor diferencia de la señal PWM original, en cuanto a tiempos se refiere, más si permite el uso de una mayor corriente sin exigir al microcontrolador.

4.5 Resultado General del Sistema

Se logró diseñar un equipo que detecte objetos frente al usuario, logrando determinar la distancia a dicho objeto con una sensibilidad de 1 centímetro, y un error no mayor a 1 centímetro.

El equipo es además capaz de distinguir si el objeto frente al usuario, está directamente frente al usuario o hacia la derecha o izquierda, cabe destacar que la distancia detectada es la distancia de los sensores al objeto, la cual no es exactamente la misma a la del usuario al objeto, pero esta diferencia no es importante para la función de alerta al usuario final, mediante los motores

vibradores. Los resultados correspondientes al módulo detectando posición como distancia, del centro del módulo al objeto, se encuentran en la Tabla 7, para la prueba se utilizó una superficie plana de 5 centímetros de ancho y 15 centímetros de alto y un α de 20° . Para la posición se agrega la distancia, en centímetros, del centro del objeto detectado a lo que sería la posición directamente en frente del módulo (centro).

Tabla 7. Distancia y Posición Real versus Medida

Distancia Real (m)	Posición Real	Distancia Medida (m)	Posición Detectada
0.25	Centro	0.27	Centro
0.25	Derecha (1 cm)	0.27	Derecha
0.50	Centro	0.51	Centro
0.50	Derecha (3 cm)	0.51	Derecha
0.75	Centro	0.76	Centro
0.75	Derecha (4 cm)	0.76	Derecha
1.00	Centro	1.01	Centro
1.00	Derecha (6 cm)	1.01	Derecha
1.00	Izquierda (6 cm)	1.01	Izquierda
1.50	Centro	1.50	Centro
1.50	Derecha (7 cm)	1.49	Derecha
1.50	Izquierda (6 cm)	1.49	Centro
1.50	Izquierda (7 cm)	1.49	Izquierda

Estos resultados muestran que el área común (centro) permanece pequeña hasta la distancia máxima, permitiendo a la persona en condición de discapacidad reconocer cuando un objeto está directamente en frente.

Al utilizarse 2 sensores se consideró alternar la activación de los mismos, para así evitar errores en la detección, respecto a las ondas ultrasónicas; así como errores al momento de calcular la distancia, de los datos brindados por ambos sensores solo se considera el de menor distancia, es decir la del objeto más cercano.

Para el caso de la presentación del dato en la pantalla LCD se tuvo que modificar el tiempo entre activaciones del sensor, pues en algunos casos la distancia variaba por un centímetro constantemente, impidiendo una lectura apropiada, por ello el tiempo se aumentó a cerca de un segundo para obtener lecturas más claras, este

aumento de tiempo no es necesario para el diseño final, pues los cambios de 1 centímetro vistos como ciclo de trabajo no son perceptibles.

Pruebas con el módulo sujetado al bastón muestran otras limitaciones del equipo. En la Figura 35 se observa que al mover el bastón, objetos cercanos pueden dejar de ser detectados debido a las características del desplazamiento de la señal ultrasónica, esto causa cambios bruscos en la magnitud de la distancia medida, lo cual causaría confusión en el usuario. En este caso la pared no es detectada a pesar de estar cerca al sensor, ya que la señal ultrasónica que rebota de la pared no regresa al sensor.



Figura 35. Prueba de Bastón con Módulo 1. Detección de Pared.

En otras pruebas se descubrió que algunos objetos, debido a su forma pueden no ser detectados por los sensores brindando información falsa. En la Figura 36 se

muestra un ejemplo, una silla es detectada debido a que la señal ultrasónica no logra regresar al sensor, esto a pesar de que el equipo este cerca del objeto.

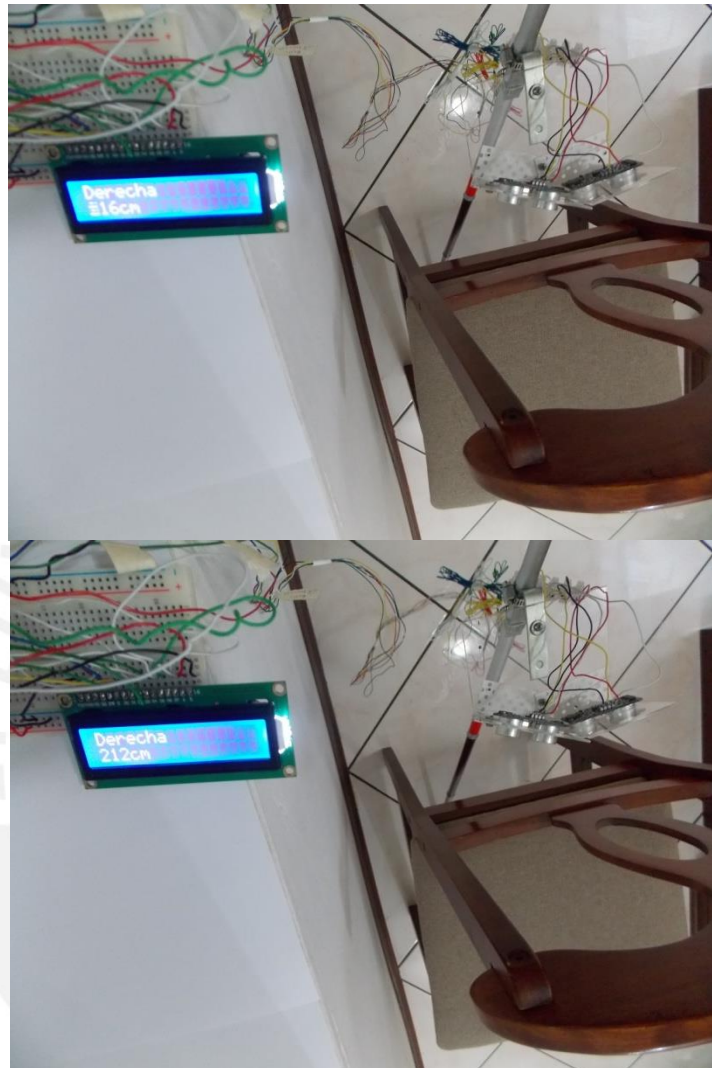


Figura 36. Prueba de Bastón con Módulo 2. Detección Silla.

Otra característica del equipo, es que la posición detectada es respecto del bastón, la cual no siempre es la misma que la del usuario, en especial si se considera el movimiento del bastón realizado por una persona en condición de discapacidad. Por ello es requerido fijar normas para el uso adecuado del equipo.

Pruebas con los motores vibradores como medio para transmitir información mostraron que aunque el funcionamiento era el esperado, la claridad con la información es transmitida no es suficiente. La información transmitida puede llegar a crear confusión acerca de la posición del obstáculo debido a los cambios bruscos en la distancia medida que se pueden llegar a presentar.

Ya que se busca diseñar un equipo que pueda llegar al mayor número de personas que lo requieran, se requiere analizar el aspecto del costo de los materiales requeridos para desarrollar el equipo, lo cual se puede apreciar más detalladamente en la Tabla 8.

Tabla 8. Costos

Nombre	Costo (Nuevo Sol)
Microcontrolador ATmega16L	20.00
2 Sensores HC-SR04	70.00
LCD	16.00
Componentes Electrónicos	10.00
Carcasa	5.00
Total Equipos	121.00
Costo de Diseño (S/. 65 por hora)	13 000.00
Costo Total Diseño	13 121.00

Considerando que el costo de los equipos no asciende a más de 121 nuevos soles, el equipo es aún accesible especialmente si es comparado a los modelos comerciales que existen, los cuales no son menores de los 100 dólares americanos. También se observa que el mayor costo es debido a los sensores, si se busca un equipo más barato, utilizando un solo sensor, el equipo costaría menos de 100 nuevos soles, con un solo sensor se puede lograr la detección de objetos y la misma exactitud, pero se perdería la capacidad de determinar la posición del objeto. Asimismo considerando que la pantalla LCD no será de utilidad al usuario final, se puede lograr un costo aún menor.

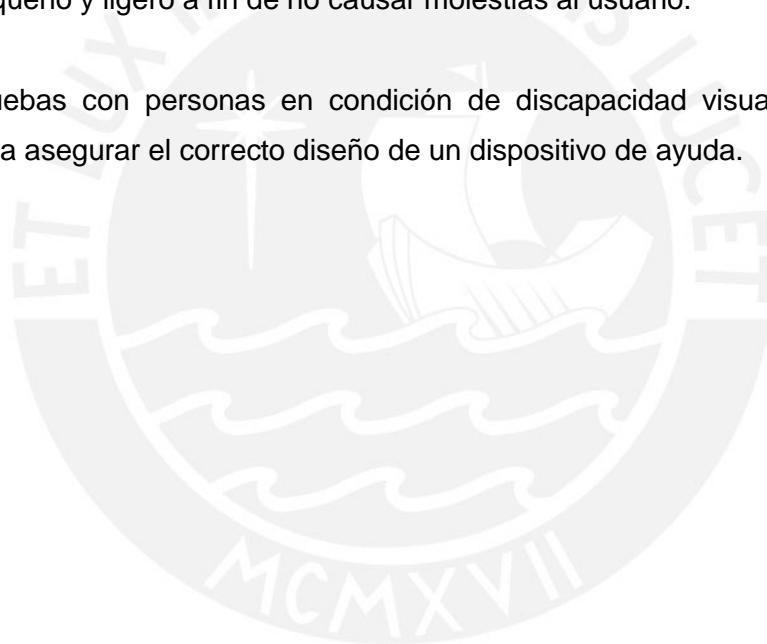
Como se presentó en el capítulo anterior, el equipo no presenta un tamaño mayor a 10cm^3 , no incluyendo el bastón, el módulo donde se situarán los sensores no pesa más de 0.250Kg lo cual no representa una molestia considerable al usuario al no comprometer el uso normal del bastón.

Conclusiones

1. Se logró diseñar un dispositivo el cual detecta y brinda información de la distancia (i.e., hasta 2.20 metros con paredes y objetos con superficies planas) y orientación discretizada (i.e., centro, derecha e izquierda) de obstáculos mediante el uso de sensores ultrasónicos. El dispositivo brinda dicha información a través de una pantalla LCD, motores vibradores y una señal sonora.
2. El dispositivo electrónico construido fue integrado a un bastón para estudiar su desempeño en campo. Los resultados de las pruebas preliminares realizadas sugieren que el bastón puede ser capaz de brindar información adecuada con respecto a distancias y orientaciones de objetos en ambientes controlados, pero se observaron diferentes limitaciones del desempeño como dependencia de la detectabilidad en la orientación entre el bastón y objeto y resultados erráticos en presencia de múltiples obstáculos. Estas limitaciones deben ser consideradas antes de aplicar el dispositivo al apoyo a personas en condición de discapacidad visual.
3. Se logró obtener la exactitud planteada de 1 centímetro mediante el uso adecuado de retrasos dentro del programa; así como el correcto uso de las instrucciones, teniendo en cuenta los ciclos requeridos de las mismas.
4. Se logró transmitir información relativa a la distancia y posición del objeto detectado a través de motores vibradores y de una señal sonora, mediante el uso de señales PWM, presentando limitaciones respecto a la claridad con la que la información es transmitida. Se requiere diseñar el acoplamiento de las vibraciones generadas por los motores hacia la mano del usuario del bastón.

Recomendaciones

1. La calidad de los sensores ultrasónicos mejora con el tiempo, y se vuelven más accesibles, el diseño debe variar conforme las capacidades de los sensores ultrasónicos mejoren.
2. Se deben buscar nuevas maneras de llevar la transmitir la información, siempre teniendo en consideración el no sobrecargar al usuario con información no necesaria.
3. Los materiales, tamaño y peso de los distintos equipos utilizados cambian y mejoran con el tiempo, se debe apuntar a lograr un equipo cada vez más pequeño y ligero a fin de no causar molestias al usuario.
4. Pruebas con personas en condición de discapacidad visual son necesarias para asegurar el correcto diseño de un dispositivo de ayuda.



BIBLIOGRAFÍA

1. ALGHAMDI, S., VAN SCHYNDEL, R., KHALIL, I. (2014). Accurate positioning using long range active RFID technology to assist visually impaired people. *Journal of Network and Computer Applications* 41: 135-147.
2. 2010 ATMEL CORPORATION. 8-bit AVR Microcontroller with 16K Bytes In-System Programmable Flash.
3. BERMÚDEZ A., MUÑOZ J., RODRÍGUEZ A, VARELA E. (2004). Necesidades tecnológicas y aplicaciones en la vida diaria de las personas con ceguera y deficiencia visual. *Tecnología y Discapacidad Visual*. Madrid, 2004.
4. CÁDIZ, R. (2008). Codificador Perceptual de Audio. *Introducción a la Música Computacional*. Santiago de Chile.
5. CHANDLER, E., WORSFOLD, J. (2013). Understanding the requirements of geographical data for blind and partially sighted people to make journeys more independently. *Applied Ergonomics* 44: 919-928
6. CHENG-LUNG, L. (2013). Assessment of a Simple Obstacle Detection Device for the Visually Impaired. *Applied Ergonomics* 30:1-8.
7. CIGARÁN J., DÍAZ L., ALONSO R. (1999). Generación de Sonido Usando PWM. *Desarrollo de Sistemas Basados en DSP*.
8. CYTRON TECHNOLOGIES SDN. BHD. (2013). Product User's Manual – HC-SR04 Ultrasonic Sensor. Johor.
9. ESCUELA PARA ENTRENAMIENTO DE PERROS GUIA PARA CIEGOS. (2012) ¿Cómo se entrena los perros guía? Coyoacán.
10. FERNANDEZ, H., FILIPE, V., COSTA, P., BARROSO, J. (2014) Location based services for the blind supported by RFID technology. *Procedia Computer Science* 27: 2-8.
11. GOMEZ, J., SANDNES, F. (2012). RoboGuideDog: Guiding blind users through physical environments with laser range scanners. *Procedia Computer Science* 14: 218-225
12. GUERRERO ORTIZ, Juan. (2008). Hacia la recuperación de la autonomía personal en situaciones de dependencia. *Revistas Salud.com*. España, volumen 4, número 14.
13. HAN, Y., HAN, M., CHA, H., HONG, M., HAHN, H. (2001). Tracking of a moving object using ultrasonic sensors based on a virtual ultrasonic image. *Robotics and Autonomous Systems* 36: 11-19
14. HIMS KOREA CO.,LTD. (2009). SyncBraille. *HIMS Korea Co., Ltd*. Korea.
15. INSTITUTO DE TECNOLOGÍAS EDUCATIVAS. (2005). Módulo 10: Tiflotecnología. *Educación Inclusiva: Discapacidad Visual*. España.
16. KOLARIK, A., CIRSTEAN S., PARDHAN S., MOORE, B. (2014). A summary of research investigating echolocation abilities of blind and sighted humans. *Hearing Research* 310: 60-68.
17. LAI, H., CHEN, Y. (2006). A study on the blind's sensory ability. *International Journal of Industrial Ergonomics* 36: 565-570.
18. LIONS CLUB INTERNATIONAL. (2009). Día del Bastón Blanco. Illinois.

19. MAURER, Marc. (2012). White Cane Safety Day: A Symbol of Independence. *National Federation of the Blind*. Maryland.
20. MINISTERIO DE SALUD DEL PERÚ. (2013). Plan Estratégico Nacional de Salud Ocular y Prevención de la Ceguera Evitable. Lima.
21. MORALES M, BERROCAL M. (2003). Tiflotecnología y Material Tiflotécnico. *I Congreso Virtual INTEREDVISUAL sobre Intervención Educativa y Discapacidad Visualtecnología y Discapacidad Visual*. Madrid.
22. PÉREZ DE DIEGO D. (2013). Sensores de Distancia por Ultrasonidos.
23. PICINALI, L., AFONSO, A., DENIS, M., KATZ, B. (2014) Exploration of architectural spaces by blind people using auditory virtual reality for the construction of spatial knowledge. *Int. J. Human-Computer Studies* 72: 393-407.
24. PRIMPO. (2010). iSONIC. *PRIMPO*. Korea del Sur.
25. ROYAL VICTORIAN EYE AND EAR HOSPITAL. (2012). First implantation of prototype bionic eye with 24 electrodes: 'All of the sudden I could see a little flash of light'. *ScienceDaily*. Australia, 31 de Agosto.
26. SENEM KURSUN, B. (2012). Wearable Obstacle Detection System Fully Integrated to Textile Structure for Visually Impaired People. *Sensors and Actuators A:Physical* 179: 297-311.
27. SHAH, C., BOUZIT M., YOUSEFF, M., VASQUEZ, L. (2006). Evaluation of RU-Netra – Tactile Feedback Navigation System for the Visually Impaired. *International Workshop on Virtual Rehabilitation 2006* 6:72-77.
28. UNESCO. (2012). Informe Sobre el Uso de las Tecnologías de Información y Comunicación (TIC) en la Educación para Personas con Discapacidad. Quito.
29. THEOGARAJAN, L. (2012) Strategies for restoring vision to the blind: current and emerging technologies. *Neuroscience Letters* 519: 129-133.
30. VISHAY SEMICONDUCTOR. (2008) Optocoupler, Photodarlington Output, High Gain, with Base Connection. Germany