

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



PONTIFICIA
**UNIVERSIDAD
CATÓLICA**
DEL PERÚ

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN DISPOSITIVO
ELECTRÓNICO DE AYUDA DE DESPLAZAMIENTO PARA
PERSONAS CIEGAS**

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

Juan Manuel Quezada Castillo

ASESOR: PhD. Ing. Luis Alberto Vilcahuamán Cajacuri

Lima, Junio de 2014

RESUMEN

Las personas ciegas presentan diversas dificultades al desarrollar sus actividades en el día a día. Una de estas actividades es desplazarse de un lugar a otro. Para este fin generalmente utilizan una herramienta, el bastón para ciegos es la más común, de tal manera que logren evadir los obstáculos que puedan presentárseles en su andar, con la finalidad de evitar golpes o caídas.

Existen dispositivos electrónicos de ayuda de desplazamiento (Electronic Travel Aid, ETA) los cuales tienen la característica de detectar los obstáculos sin la necesidad de hacer contacto directo con estos a diferencia del bastón. El precio de adquisición de estos dispositivos es relativamente elevado para un gran número de personas con problemas de visión (entre 420.00 y 1295.00 dólares americanos). Por lo tanto, solo las personas capaces de pagar estos precios pueden beneficiarse con estos avances tecnológicos.

Se diseñó e implementó un dispositivo electrónico de ayuda de desplazamiento para personas ciegas de bajo costo y de fácil manejo que permita detectar obstáculos ubicados en la parte frontal de la persona a un rango de 150 centímetros, además de detectar desniveles. En el desarrollo del proyecto se utilizó cinco sensores ultrasónicos, tres para detectar los objetos que se encuentren adelante y dos para detectar los desniveles. Por otro lado, para advertir a la persona ciega de los diversos obstáculos se utilizaron motores vibradores. La intensidad de vibración varía según la altura a la cual los tres sensores encargados de la detección de objetos identifiquen un obstáculo. El sistema se encuentra acoplado a un bastón.

Finalmente, realizadas las pruebas se analiza la funcionalidad del dispositivo diseñado y el cumplimiento de los objetivos establecidos con el propósito de determinar si el sistema podría brindar una nueva alternativa de desplazamiento en busca de mejorar la calidad de vida de las personas ciegas.

FACULTAD DE
CIENCIAS E
INGENIERÍAPONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DEL PERÚ**TEMA DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO ELECTRÓNICO**

Título : Diseño e implementación de un dispositivo electrónico de ayuda de desplazamiento para personas ciegas.

Área : Bioingeniería # 1206

Asesor : Luis Alberto Vilcahuaman Cajacuri

Alumno : Juan Manuel Quezada Castillo

Código : 20062174

Fecha : 5 de mayo del 2014

**Descripción y Objetivos**


La pérdida de la capacidad sensorial visual afecta la orientación de la persona con su entorno. Uno de los principales problemas que presentan las personas ciegas es la dificultad de desplazarse de un lugar a otro, debido a la presencia de obstáculos en su transitar. El uso de herramientas como el tradicional bastón blanco facilita de alguna manera esta actividad, sin embargo la detección de un objeto se hace mediante contacto directo. Por otro lado, existen diversos dispositivos electrónicos comerciales de ayuda de desplazamiento que superan al rango de detección del bastón blanco, aunque tienen un precio de adquisición elevado.

El objetivo de este trabajo es el diseño e implementación de un dispositivo electrónico de ayuda de desplazamiento para ciegos, semejante a los dispositivos existentes en el mercado, con la finalidad de introducir este tipo de tecnologías en el país en busca de brindar a la persona invidente una mejora en su calidad de vida. Este dispositivo será capaz de detectar objetos que se encuentren en frente de la persona, así como desniveles o gradas. El sistema será realizado a base de sensores ultrasónicos y será acoplado a un bastón para ciegos.

El dispositivo de bajo costo y consumo a desarrollar tendrá un rango máximo de un metro y medio para la detección de objetos. El modo de alerta que recibirá la persona ante un obstáculo o un desnivel será a través de vibraciones. Los sensores ultrasonido estarán acoplados a diferentes alturas del bastón para detectar objetos de diversos tamaños. La intensidad de vibración variará según la altura de detección. Los sensores encargados para la detección de desniveles estarán ubicados en el extremo del bastón.

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA


M. Sc. Ina. MIGUEL ANGEL CATAÑO SÁNCHEZ



MÁXIMO 50 PÁGS

FACULTAD DE
CIENCIAS E
INGENIERÍA



PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DEL PERÚ

TEMA DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO ELECTRÓNICO

Título : Diseño e implementación de un dispositivo electrónico de ayuda de desplazamiento para personas ciegas.

Índice

Introducción

1. Problemática general de ayuda tecnológica para personas ciegas.
2. Fundamentos tecnológicos de detección para el desplazamiento de ciegos.
3. Diseño e implementación del sistema electrónico de ayuda de desplazamiento para personas ciegas.
4. Pruebas y resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Bibliografía

Anexos



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA

M. Sc. Ing. MIGUEL ANGEL CATANO SÁNCHEZ
Coordinador de la Especialidad de Ingeniería Electrónica

MÁXIMO 50 PÁGINAS



***A mi familia, por el apoyo incondicional brindado durante
todos estos años.***

ÍNDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO 1: Problemática general de ayuda tecnológica para personas ciegas.	2
1.1 Problemática general	2
1.1.1 Problemática general sobre personas invidentes en el mundo.....	2
1.1.2 Problemática general sobre personas invidentes en el Perú	5
1.1.3 Métodos de desplazamiento de las personas invidentes.....	6
1.2 Declaración del marco problemático	7
1.3 Justificación	8
1.4 Objetivos.....	9
1.4.1 Objetivo general.....	9
1.4.2 Objetivos específicos	9
CAPÍTULO 2: Fundamentos tecnológicos de detección para el desplazamiento de ciegos.....	10
2.1 Tecnologías de detección de objetos	10
2.1.1 Sensores de proximidad.....	10
2.1.1.1 Sensores fotoeléctricos	10
2.1.1.2 Sensor de proximidad infrarrojo.....	11
2.1.1.3 Sensor ultrasónico.....	12
2.2 Método de procesamiento.....	15
2.2.1 Microcontrolador	15
2.3 Interfaz de usuario	15
2.3.1 Modo sonido	16
2.3.2 Modo vibración.....	17
2.4 Antecedentes del estudio	17
CAPÍTULO 3: Diseño e implementación del sistema electrónico de ayuda de desplazamiento para personas ciegas.....	22
3.1. Descripción general del diseño	22
3.2. Requerimientos de diseño.....	23
3.3 Selección de principales componentes	23
3.3.1 Etapa de detección de objetos	23
3.3.1.1 Selección del sensor	23
3.3.1.2 El sensor ultrasónico HC-SR04	25
3.3.2 Etapa de procesamiento de señales	26
3.3.2.1 Microcontrolador ATmega8	26

3.3.2.2 Lenguaje de programación	28
3.3.3 Etapa de interfaz de usuario.....	29
3.3.3.1 Selección del modo de alerta	29
3.3.3.2 Controlador de motor L293.....	29
3.3.3.3 Motor Vibrador.....	30
3.3.4 Etapa de regulación de voltaje	31
3.3.4.1 Regulador LM2575-5V	31
3.4 Diseño de la etapa de detección de objetos.....	31
3.4.1 Diagrama de flujo del programa a desarrollar en el microcontrolador de la etapa de detección.	32
3.5 Diseño de la etapa de procesamiento de señales	33
3.5.1 Diagrama de flujo del programa a desarrollar en el microcontrolador de la etapa de procesamiento de señales.	34
3.5.2 Circuito esquemático la etapa de procesamiento de señales	36
3.6 Diseño de la etapa de interfaz de usuario	37
3.6.1 Diagrama de flujo del programa a desarrollar en el microcontrolador de la etapa de procesamiento de señales	39
3.6.2 Circuito esquemático la etapa de interfaz de usuario	40
3.7 Diseño de la etapa de regulación de voltaje.....	41
3.7.1 Circuito esquemático de la etapa de regulación de voltaje	41
CAPÍTULO 4: Pruebas y resultados	42
4.1 Simulación de etapas.....	42
4.1.1 Simulación de la etapa de detección.....	42
4.1.2 Simulación de la etapa de procesamiento de señales.....	43
4.1.3 Simulación de la etapa de interfaz de usuario	45
4.2 Pruebas de las etapas	47
4.3 Pruebas del dispositivo	48
4.3 Pruebas de uso.....	50
4.4 Costos del proyecto	52
CONCLUSIONES.....	53
RECOMENDACIONES.....	54
BIBLIOGRAFÍA.....	55

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Causas de ceguera a nivel mundial en 2010	4
Gráfico 2. Limitaciones permanentes de las personas en el Perú.....	5
Gráfico 3. Sensor fotoeléctrico LaserSight™ de 18 mm	10
Gráfico 4. El emisor de señales infrarrojas produce una señal que rebota en el objeto y es captado por el receptor de infrarrojos.....	11
Gráfico 5. El sensor ultrasónico Parallax Ping))).....	12
Gráfico 6. Funcionamiento del sensor ultrasónico Parallax Ping))).....	13
Gráfico 7. La zona ciega se ubica en los primeros centímetros del sensor.	14
Gráfico 8. Situaciones adversas para el sensor ultrasónico.	14
Gráfico 9. Procesamiento de la señal utilizando el microcontrolador.....	15
Gráfico 10. Las personas ciegas hacen uso de otros sentidos como el oído, para percatarse de sonidos como el de los autos, o el olfato, para percibir olores que le indiquen que se encuentran cerca de un lugar como una panadería.	16
Gráfico 11. La presencia de obstáculos es advertida a través de sonidos o mensajes grabados.	16
Gráfico 12. A través de la vibración se da la señal de alerta de la existencia de un objeto.....	17
Gráfico 13. GuineCane. Compuesto por diez sensores ultrasónicos	18
Gráfico 14. Ultracane. Detecta obstáculos mediante ondas ultrasónicas	18
Gráfico 15. K-Sonar. Utiliza el ultrasonido para la detección.....	19
Gráfico 16. Hand Guide. Utiliza tecnología infrarroja para la detección.....	19
Gráfico 17. iSONIC. Detecta obstáculos a través de ultrasonido.	20
Gráfico 18. Long Laser Cane. Detecta los obstáculos a través de láser	20
Gráfico 19. La persona será advertida ante la presencia de objetos que se encuentren delante de ella.....	22
Gráfico 20. La persona será advertida de la presencia de desniveles y gradas.	22
Gráfico 21. Diagrama de bloques del sistema electrónico de ayuda de desplazamiento para personas ciegas.....	22
Gráfico 22. Diagrama de bloques detallado por etapas del sistema electrónico de ayuda de desplazamiento para personas ciegas.	23
Gráfico 23. El HC-SR04 consta un transmisor ultrasónico, un receptor, y circuitos de control.....	25
Gráfico 24. Funcionamiento de las señales del sensor ultrasónico HC-SR04.	25
Gráfico 25. Funcionamiento del sensor ultrasónico HC-SR04.....	26
Gráfico 26. Distribución de pines del microcontrolador AVR ATmega8.....	27
Gráfico 27. Plataforma de programación del VMLAB.....	28
Gráfico 28. Distribución de pines del controlador L293.	29

Gráfico 29. Motor vibrador.	30
Gráfico 30. Regulador LM2575-5V.....	31
Gráfico 31. Simulación de la etapa de detección.	42
Gráfico 32. Pulso inicial para el funcionamiento del sensor ultrasónico.	43
Gráfico 33. Periodo de la señal de impulso inicial.	43
Gráfico 34. Tiempo en que se monitorea el estado del pin de salida Echo del sensor ultrasónico para determinar la presencia de un objeto.....	43
Gráfico 35. Periodo de la señal de monitoreo.	44
Gráfico 36. Simulación de la etapa de procesamiento de señales.	44
Gráfico 37. Señales de los pines de salida del ATmega8, PC0 y PC1, ante la detección de un objeto captado por el sensor ultrasónico.	45
Gráfico 38. Simulación de la etapa interfaz de usuario.	46
Gráfico 39. Situación al detectarse un obstáculo en la parte baja, DC = 25%.	46
Gráfico 40. Situación al detectarse un obstáculo en la parte media, DC = 35%.	47
Gráfico 41. Situación al detectarse un obstáculo en la parte alta así como para la detección de desniveles, DC = 45%.....	47
Gráfico 42. Prototipo del dispositivo electrónico para personas ciegas implementado.	48
Gráfico 43. Vista frontal de la parte encargada de la detección de objetos.	49
Gráfico 44. Vista lateral de la parte encargada de la detección de objetos.	49
Gráfico 45. Vista frontal de la parte encargada de la detección de desniveles.....	49
Gráfico 46. Parte encargada de la detección de desniveles vista desde abajo.	49
Gráfico 47. Evasión de obstáculos con el bastón electrónico.....	50

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Categorías de discapacidad visual OMS.....	2
Tabla 2. Clasificación de los países estudiados en el año 2010 por la OMS.....	3
Tabla 3. Estimación mundial del número de personas con discapacidad visual por edad, 2010; para todas las edades en paréntesis el porcentaje correspondiente (%)	3
Tabla 4. Número de personas con discapacidad visual por Región OMS, 2010.	4
Tabla 5. Características de dispositivos de ayuda de desplazamiento para personas invidentes existentes en el mercado.....	21
Tabla 6. Requerimientos de diseño del sistema.....	23
Tabla 7. Lista de sensores ultrasónicos.	24
Tabla 8. Parámetros más importantes del ATmega8	27
Tabla 9. Descripción de pines del ATmega8.....	27
Tabla 10. Características generales del motor vibrador	30
Tabla 11. Tabla de estados para la intensidad de vibración de los motores para la detección de objetos.	38
Tabla 12. Tabla de estados para la intensidad de vibración de los motores para la detección de desniveles.	38
Tabla 13. Valores de tensión obtenidos durante las mediciones. Los niveles de tensión corresponden a la intensidad de vibración de los motores para los diferentes casos.....	47
Tabla 14. Principales características del dispositivo electrónico	48
Tabla 15. Pruebas realizadas con el dispositivo	50
Tabla 16. Resultados del recorrido sin variar la posición de los obstáculos. Los valores mostrados corresponden a la velocidad a la que se desplaza la persona invidente.	51
Tabla 17. Resultados del recorrido variando la posición de los obstáculos. Los valores mostrados corresponden a la velocidad a la que se desplaza la persona invidente.	51
Tabla 18. Valores correspondientes a los costos del proyecto.....	52

INTRODUCCIÓN

Cuando se habla de una persona ciega se refiere a aquella persona que presenta una limitación total o muy seria del sentido de la vista. Esto trae como consecuencia diversas restricciones en la realización de actividades cotidianas, como por ejemplo el poder desplazarse de forma autónoma de un lugar a otro.

Dentro de las herramientas de desplazamiento más utilizadas por las personas ciegas se puede nombrar al bastón blanco. Este tiene por finalidad rastrear, detectar e informar el tipo de superficie transitada y la presencia de obstáculos en el suelo.

El avance tecnológico ha permitido el desarrollo y diseño de herramientas que suplan las necesidades de las personas de manera más eficiente en los diversos campos. La Electrónica ha jugado un rol muy importante en este desarrollo. En la actualidad existen diversos dispositivos electrónicos para personas ciegas que utilizan diferentes métodos de detección de objetos. La finalidad de estos dispositivos es brindar a la persona ciega una mayor autonomía para interactuar con su entorno aunque el precio de estos es elevado para muchas de ellas (entre 420.00 y 1295.00 dólares americanos).

El objetivo es poder implementar un dispositivo electrónico de ayuda de desplazamiento de bajo costo para personas ciegas que pueda advertir al usuario de la presencia de obstáculos en su camino de manera anticipada.

El presente trabajo de tesis está dividido en cuatro capítulos. En el primer capítulo se aborda la problemática general de las personas ciegas en el mundo así como en el Perú. En el segundo capítulo se mencionan los conceptos de las tecnologías empleadas para la detección de objetos, así como los elementos que implican el desarrollo de un dispositivo electrónico para ciegos. Adicionalmente se indican las características de algunos productos comerciales. El tercer capítulo corresponde al diseño del dispositivo a implementar describiendo las etapas que involucran su construcción. Finalmente, en el cuarto capítulo se muestran las diferentes pruebas realizadas con el prototipo.

CAPÍTULO 1: Problemática general de ayuda tecnológica para personas ciegas.

1.1 Problemática general

1.1.1 Problemática general sobre personas invidentes en el mundo

La discapacidad es la restricción o imposibilidad de realizar una actividad dentro de lo calificado como normal para el ser humano; la deficiencia visual es considerada como una discapacidad sensorial que consiste en la pérdida total o parcial del sentido de la vista. Este tipo de discapacidad origina dificultades importantes en el desarrollo cotidiano de la persona, específicamente en las personas con ceguera, debido a que afecta su orientación y con ello la dificultad para ubicar el entorno y sus características. [1]

El concepto ceguera ha sufrido adaptaciones y modificaciones desde el campo legal, político y laboral. La Organización Mundial de la Salud (OMS) clasifica la deficiencia visual y la ceguera en varios niveles. A partir del año 2009, las categorías 3, 4 y 5 son consideradas ceguera. [1]

Tabla 1. Categorías de discapacidad visual OMS. [1]

Categoría	Agudeza Visual (AV) lejana	
	AV menor a:	AV igual o mayor a:
0 : Discapacidad visual leve o sin discapacidad	No aplica	6/18 3/10 (0.3) 20/60
1: Discapacidad visual moderada	6/18 (metros) 3/10 (0.3) 20/60 (pies)	6/60 (metros) 1/10 (0.1) 20/200 (pies)
2: Discapacidad visual severa	6/60 (metros) 1/10 (0.1) 20/200 (pies)	3/60 (metros) 1/20 (0.05) 20/400
3: Ceguera	3/60 (metros) 1/20 (0.05) 20/400	1/60 (cuenta dedos a 1 metro) 1/50 (0.0.2) 5/300 (20/1200)
4: Ceguera	1/60 (cuenta dedos a 1 metro) 1/50 (0.0.2) 5/300 (20/1200)	Percepción de luz
5: Ceguera	No percepción de luz (NPL)	

La Organización Mundial de la Salud, con el fin de establecer políticas y prioridades referentes a la salud global del ojo, a través de su Programa de Prevención de la

Ceguera y Sordera ha llevado a cabo, en el año 2010, una búsqueda sistemática y una revisión de todos los datos disponibles para obtener una estimación global de la discapacidad visual. [2]

Tabla 2. Clasificación de los países estudiados en el año 2010 por la OMS. [2]

Región OMS	Países en estudio
Región África	Botswana, Camerún, Eritrea, Etiopía, Gambia, Ghana, Kenya, Malí, Nigeria, Ruanda, Uganda, República Unida de Tanzania.
Región de las Américas	Argentina, Brasil, Chile, Cuba, República Dominicana, Guatemala, México, Paraguay, Perú, Venezuela.
Región del Mediterráneo Oriental	República Islámica de Irán, Omán, Pakistán, Qatar.
Región Europea	Federación de Rusia, Turkmenistán.
Región sur este asiático	Bangladesh, la República Democrática de Timor-Leste, la India, Indonesia, Myanmar, Nepal.
Región del Pacífico Occidental	Camboya, China, Papua Nueva Guinea, Filipinas, Vietnam.

En el estudio realizado se determinó que el número estimado de personas con discapacidad visual en el mundo es de 285 millones, 39 millones son ciegos y 246 millones tienen baja visión. Además, el 82% de todos los ciegos tienen 50 años o más. (Tabla 3) [2]

Tabla 3. Estimación mundial del número de personas con discapacidad visual por edad, 2010; para todas las edades en paréntesis el porcentaje correspondiente (%). [2]

Edad (En años)	Población (Millones)	Ciegos (Millones)	Baja Visión (Millones)	Discapacidad Visual (Millones)
0 -14	1,848.500	1.421	17.518	18.939
15 - 49	3,548.200	5.728	74.463	80.248
50 a más	1,340.800	32.160	154.043	186.203
Todas las edades	6,737.500	39.365 (0.58)	246.024 (3.65)	285.389 (4.24)

La distribución de las personas con discapacidad visual en las seis regiones de la OMS se muestra en la Tabla 4. El porcentaje de la discapacidad global se muestra entre paréntesis. [2]

Tabla 4. Número de personas con discapacidad visual por Región OMS, 2010. [2]

Región OMS	Población (Millones)	Ciegos (Millones)	Baja Visión (Millones)	Discapacidad Visual (Millones)
AFR	804.9 (11.9)	5.888 (15)	20.407 (8.3)	26.295 (9.2)
AMR	915.4 (13.6)	3.211 (8)	23.401 (9.5)	26.612 (9.3)
RMO	580.2 (8.6)	4.918 (12.5)	18.581 (7.6)	23.499 (8.2)
EUR	889.2 (13.2)	2.713 (7)	25.502 (10.4)	28.215 (9.9)
RSEA (sin India)	579.1 (8.6)	3.974 (10.1)	23.938 (9.7)	27.913 (9.8)
RPO (sin China)	442.3 (6.6)	2.338 (6)	12.386 (5)	14.724 (5.2)
India	1,181.4(17.5)	8.075 (20.5)	54.544 (22.2)	62.619 (21.9)
China	1,344.9 (20)	8.248 (20.9)	67.264 (27.3)	75.512 (26.5)
Total	6,737.5 (100)	39.365 (100)	246.024 (100)	285.389 (100)

Asimismo, se determinaron las causas de ceguera a nivel mundial, siendo la catarata (opacificación total o parcial del cristalino del ojo) la principal causa de esta discapacidad con 51%, el glaucoma (aumento patológico de la presión intraocular) 8%, la degeneración macular relacionada con la edad (AMD) 5%, la ceguera infantil y opacidades de la córnea 4% cada una, los errores no corregidos de refracción así como el tracoma (infección ocular causado por la bacteria Chlamydia trachomatis) 3% respectivamente, la retinopatía diabética (complicación ocular de la diabetes causada por daño a los vasos sanguíneos de la retina) 1% y finalmente las causas indeterminadas 21%. [2]

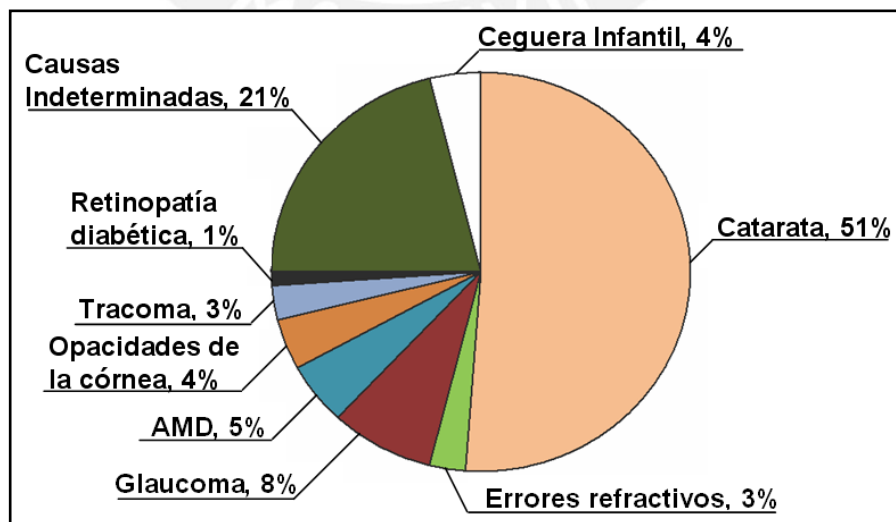


Gráfico 1. Causas de ceguera a nivel mundial en 2010. [2]

1.1.2 Problemática general sobre personas invidentes en el Perú

En julio del 2013, el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) presentó los resultados de la Primera Encuesta Nacional Especializada sobre Discapacidad (ENEDIS). Esta encuesta muestra que en el Perú existen 1 millón 575 mil 402 personas con algún tipo de discapacidad, es decir, alrededor del 5,2% de la población total. [3]

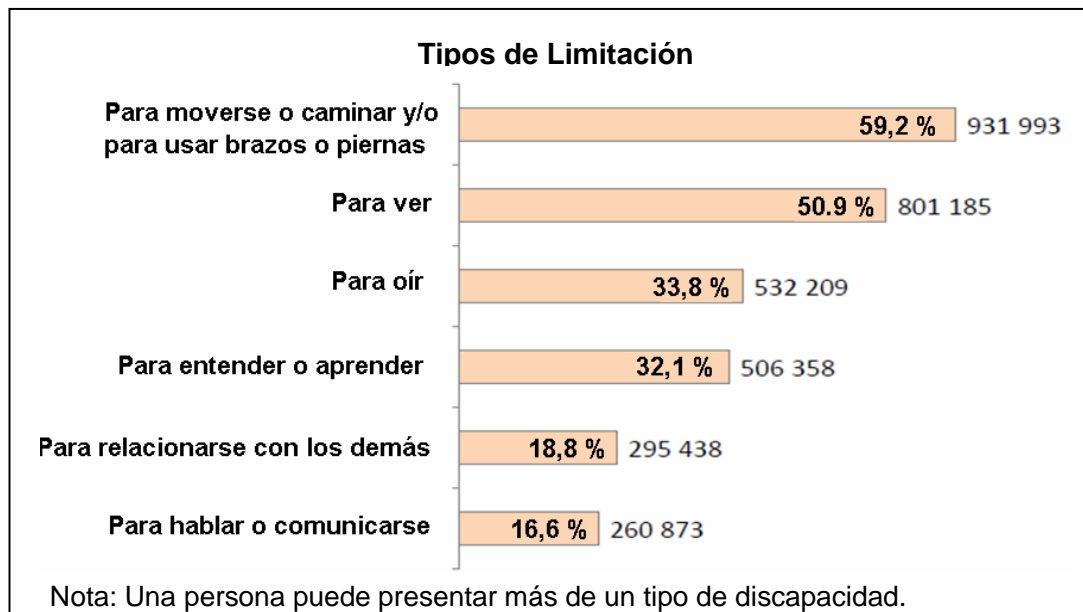


Gráfico 2. Limitaciones permanentes de las personas en el Perú. [3]

La encuesta reveló que el 50,9% de la población encuestada presenta limitaciones para ver, lo que representa un total de 801 185 personas con este tipo de discapacidad. [3]

De los datos mostrados se puede concluir que cerca de un 45% de la carga mundial de personas con discapacidad visual se concentra en los países en desarrollo. Esto generalmente debido a que en estas naciones parte de su población no puede costear el precio de alguna cirugía oftalmológica. En el estudio realizado por la OMS, se pudo contabilizar aproximadamente 3 211 000 personas ciegas en la región de las América, de las cuales alrededor del 24% se encuentran en el Perú. En el país, el ingreso promedio mensual de una familia que tiene entre sus miembros una persona con discapacidad es de 800 soles, según una consulta nacional que hizo el Parlamento en el 2009 [32]. Eso conlleva a que las personas con ceguera tengan dificultades de acceder a la tecnología médica en busca de una mejoría visual, tomando en cuenta que algunos diagnósticos tardíos tienen efectos irreversibles, o de adquirir algún tipo de dispositivo tecnológico, de ser el caso, que les facilite la relación con su entorno en su vida cotidiana.

1.1.3 Métodos de desplazamiento de las personas invidentes

La enseñanza y el aprendizaje de técnicas de movilidad independiente constituyen contenidos esenciales en el proceso de rehabilitación integral de personas con discapacidad visual, según la cual las personas con deficiencia visual grave suelen presentar tres tipos de limitaciones esenciales: en el rango y variedad de experiencias que pueden incorporar a su repertorio conceptual, en la habilidad para desplazarse y en el control del medio. Así, en efecto, la movilidad independiente no sólo comprende la posibilidad de desplazarse de un punto a otro, sino también de saber dónde nos encontramos, dónde pretendemos ir y cómo podemos alcanzar nuestro objetivo, aspectos estos que justifican la importancia primordial que se concede a la instrucción de movilidad en las técnicas de autonomía personal. En consecuencia, ha surgido la necesidad de usar herramientas, como el bastón blanco o un perro guía, que ayude a las personas con ceguera a tener una mejor orientación del espacio. [4]

El bastón blanco es la herramienta de desplazamiento más exitosa y utilizada por las personas ciegas. Este dispositivo puramente mecánico se utiliza para la detección de obstáculos en el suelo: superficies irregulares, agujeros, escaleras y otros peligros. Las técnicas comúnmente empleadas por la mayoría de las personas ciegas que utilizan el bastón blanco son: los dos puntos de contacto y el contacto constante. [4, 5]

La técnica de los dos puntos de contacto consiste en balancear el bastón de lado a lado describiendo un arco levemente superior al ancho del cuerpo de la persona. Por otra parte, la técnica de contacto constante reside en el barrido del bastón de lado a lado manteniendo la punta de este en contacto con la superficie en todo momento. [5]

Los perros son guías muy capaces para personas ciegas, sin embargo requieren de un amplio entrenamiento y formación. El costo de un perro guía es muy alto, entre doce mil y veinte mil dólares, y son útiles por aproximadamente cinco años. [6]

Con lo que respecta al Perú, en la encuesta realizada por el INEI, se obtuvo que el 61,7 % no utiliza ninguna herramienta para desplazarse, lo que implica que estas personas corren el riesgo de tener golpes o caídas en todo momento. [3]

1.2 Declaración del marco problemático

Las personas ciegas tienen dificultad para desplazarse de un lugar a otro, debido a los obstáculos que se presentan en el entorno cotidiano, por ello utilizan herramientas que les permitan desenvolverse de una mejor manera en su entorno. Asimismo, en diversas ciudades no se cuenta con un sistema para personas ciegas, es decir, no existen entornos adaptados que los ayuden a ubicarse y desplazarse de manera segura. Además de los numerosos obstáculos que tienen que sortear al caminar a través de una vía pública.

Para facilitar de algún modo la realización de sus actividades hacen uso generalmente del bastón, dispositivo de ayuda que utilizan las personas con ceguera para desplazarse y advertir obstáculos en su camino. La detección de obstáculos se realiza a través del contacto directo, es decir se debe tocar el objeto con el bastón.

En la actualidad hay una variedad de productos electrónicos como alternativa de apoyo para personas ciegas, conocidos como dispositivos de ayuda de desplazamiento (Electronic Travel Aid). Están basados en sensores electrónicos, los cuales permiten la detección de obstáculos, y de un sistema diseñado para enviar información de alerta al usuario ante la presencia de estos. Estos tipos de dispositivos buscan facilitar y mejorar la experiencia individual que tiene la persona al relacionarse con su entorno, permitiendo detectar objetos a un mayor rango en comparación a la distancia de detección del bastón blanco. El costo de adquisición de estos dispositivos, entre 420.00 y 1295.00 dólares americanos, es uno de los inconvenientes para muchas personas con ceguera.

En el caso particular del Perú, la información que tienen las personas con ceguera acerca de estas ayudas electrónicas es nula, debido a que el mercado que ofrece este tipo de productos no existe.

1.3 Justificación

El desarrollo de dispositivos electrónicos de ayuda de desplazamiento para personas ciegas permite ofrecer nuevas alternativas a las ya conocidas, con miras a una mejoría en la calidad de vida de estas personas. A diferencia de las herramientas convencionales, como el bastón blanco, estos dispositivos ayudarán al usuario a percibirse de manera más anticipada de un obstáculo.

En el Perú, la demanda de dispositivos electrónicos de ayuda de desplazamiento para personas ciegas no existe. Esto se debe a la falta de información de su existencia y al precio de adquisición que presentan.

La implementación de tecnologías modernas y económicas resultaría beneficiosa para las personas ciegas que existen en el país. El ingreso mensual de una familia que tiene una persona con discapacidad es de 800 soles, por lo que ofrecer un producto de ayuda por debajo de esta cifra, como 400 soles por ejemplo, podría acercar a las personas al uso de nuevas alternativas. Al presentarse dispositivos de ayuda de desplazamiento a un precio aceptable se generaría una demanda por ellos y como consecuencia la apertura de un nuevo mercado, de ese modo se contribuiría al desarrollo de este tipo de tecnologías con miras al futuro.

El presente estudio se considera importante porque busca mejorar de cierta forma la calidad de vida de las personas con ceguera, ofreciendo una alternativa nueva a las herramientas ya conocidas.

Otro factor es la importancia de adquirir nuevos conocimientos acerca de las tecnologías actuales, con la finalidad de poder aplicarlos y desarrollarlos de tal manera que pueda generarse una contribución a la sociedad.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Diseñar e implementar un dispositivo electrónico de ayuda para el desplazamiento de personas ciegas de bajo costo utilizando sensores que permitan detectar obstáculos con la finalidad de buscar una mejor interacción entre la persona y su entorno.

1.4.2 Objetivos específicos

- Detectar obstáculos dentro de un rango de 5 centímetros a 1,5 metros.
- Detectar desniveles que puedan presentarse en el suelo.
- Implementar un dispositivo electrónico de ayuda de desplazamiento de bajo costo, alrededor de 400.00 soles, y de fácil uso para las personas ciegas.
- Estudiar los requerimientos tecnológicos útiles para personas ciegas.
- Implementar sistemas detectores basados en ultrasonido para la detección de objetos.

CAPÍTULO 2: Fundamentos tecnológicos de detección para el desplazamiento de ciegos.

2.1 Tecnologías de detección de objetos

Las tecnologías utilizadas en los productos comerciales, para la detección de obstáculos, se basan en el uso de sensores láser, infrarrojos y ultrasonido. Así como los modos de alerta son el sonido y la vibración. A continuación se mencionará algunas características de estas formas de detección y alerta.

2.1.1 Sensores de proximidad

Un sensor de proximidad es un transductor que detecta objetos sin necesidad de hacer contacto físico con este. La medición de la distancia de un objeto situado delante o por una entidad en movimiento es requerida en un gran número de aplicaciones. Los dispositivos utilizados para este fin pueden ser pequeños o grandes, y también muy sencillos o complejos. Asimismo, el bajo costo y precisión de estos, así como su velocidad de respuesta deben de tomarse en cuenta. [7]

2.1.1.1 Sensores fotoeléctricos

Su utilización principal es como detectores de posición en la industria. El principio de funcionamiento está basado en la generación de un haz luminoso por parte de un fotoemisor. Este haz se proyecta sobre un fotoreceptor o sobre un dispositivo reflectante. La interrupción o reflexión del haz por parte del objeto a detectar provoca el cambio de estado en la salida de la fotocélula. Los sensores fotoeléctricos de pulso modulado responden únicamente a la luz emitida por su propia fuente de luz. [8]



Gráfico 3. Sensor fotoeléctrico LaserSight™ de 18 mm [33]

Se clasifican según su sistema de detección:

- Sistema de barrera: Dispone de un emisor y un receptor de haz luminoso dispuestos separadamente. [8]
- Sistema reflex: Concentra en un solo bloque el emisor y receptor, siendo más fácil su instalación aunque requiere un dispositivo reflector. [8]
- Sistema autoreflex: En este sistema es el propio objeto a detectar el que funciona como elemento reflector. Dispone de menor distancia de detección comparada con los dos tipos anteriores. [8]

2.1.1.2 Sensor de proximidad infrarrojo

La tecnología de infrarrojos (IR) se dirige a una amplia variedad de aplicaciones inalámbricas, especialmente en las áreas de detección y control remoto. Detectan la longitud de onda y la radiación espectral de la luz. [9] El sensor de proximidad infrarrojo se compone de un emisor y un receptor. El emisor genera una señal de infrarrojos. Ante la presencia de un objeto una porción de esta señal rebotará en este y será captado por el receptor.

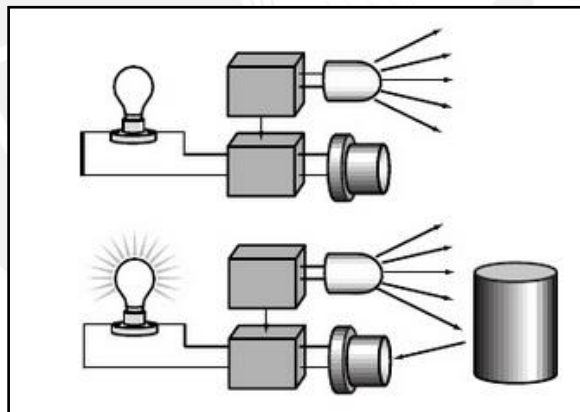


Gráfico 4. El emisor de señales infrarrojas produce una señal que rebota en el objeto y es captado por el receptor de infrarrojos. [15]

Dentro de las ventajas que ofrece este tipo de tecnología se puede mencionar: [9]

- Alta inmunidad al ruido: no tan susceptible a la interferencia de señales de otros dispositivos.
- Pocas restricciones normativas internacionales.
- Los requisitos de energía relativamente bajos.

Por otro lado, entre sus desventajas se pueden nombrar: [9]

- Los transmisores y receptores deben estar casi directamente alineados.
- Corto alcance: el rendimiento disminuye con distancias más largas.
- La luz solar directa, la lluvia, la niebla, el polvo y la contaminación podrían afectar la transmisión.

2.1.1.3 Sensor ultrasónico

Los sensores ultrasónicos generan ondas sonoras de alta frecuencia y evalúan el eco que reciben de nuevo. Los sensores calculan el intervalo de tiempo entre el envío de la señal y la recepción del eco para determinar la distancia a un objeto. Son similares a los sensores infrarrojos, no obstante, la detección ultrasónica tiene un mejor rango de detección. [10]

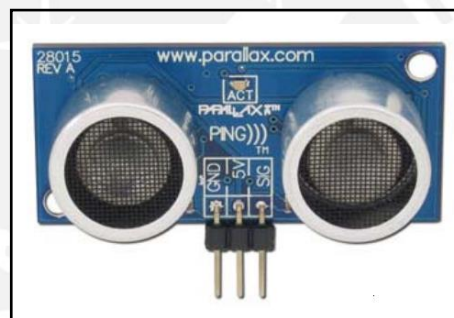


Gráfico 5. El sensor ultrasónico Parallax Ping))). [34]

Los sensores ultrasónicos son muy versátiles en la medición de la distancia. Además de proporcionar las soluciones más baratas. La medición de la distancia se calcula según el tiempo de propagación. [7]

La relación entre la distancia y el tiempo de propagación están relacionados por la fórmula: [11]

$$\text{Distancia} = \frac{\text{Tiempo de propagación} \times \text{Velocidad del propagación}}{2} \quad (1)$$

Donde:

- El tiempo de propagación se refiere al periodo transcurrido entre la emisión del sonido y la percepción del eco.

- La velocidad de propagación corresponde a la velocidad del sonido que es 340 m /s en condiciones de temperatura ambiente. [11]

Las ondas de ultrasonido se mueven a través de aire, por tanto las influencias en el ambiente podrían ocasionar una variación en el funcionamiento del sensor. La temperatura tiene un efecto en la velocidad del sonido en el aire. Esta relación puede expresarse aproximadamente según: [14]

$$C_{\text{Aire}} = 331,5 + (0,6 \times T_C) \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad (2)$$

Donde:

- 331,5 m/s es la velocidad del sonido en el aire a 0° C.
- Donde T_C es la temperatura en grados Celsius (-273 Kelvin)

Un sistema sensor ultrasónico incluye un transmisor y un receptor de sonido de alta frecuencia. Las personas pueden detectar sonidos en el rango de 20 Hz a 20 KHz o gama sónica, sin embargo, este tipo de sensor opera en el rango de 40 KHz, es decir, dentro de la gama ultrasónica. Cuando se encuentra correctamente conectado, un microcontrolador envía un comando al sistema sensor ultrasónico, ordenándole que emita un pulso de sonido corto y de alta frecuencia hacia un objeto para posteriormente medir la cantidad de tiempo que tarda el pulso de sonido en retornar de este. [12]

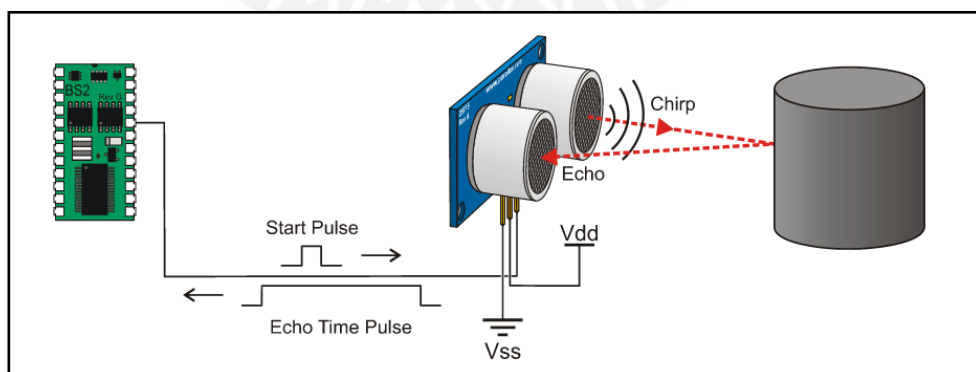


Gráfico 6. Funcionamiento del sensor ultrasónico Parallax Ping)). [14]

Se debe tomar en cuenta que los sensores ultrasónicos presentan una zona ciega. Dentro de esta zona no deben encontrarse objetos o reflectores perturbantes, de lo contrario las mediciones podrían sufrir algunas variaciones. [13]

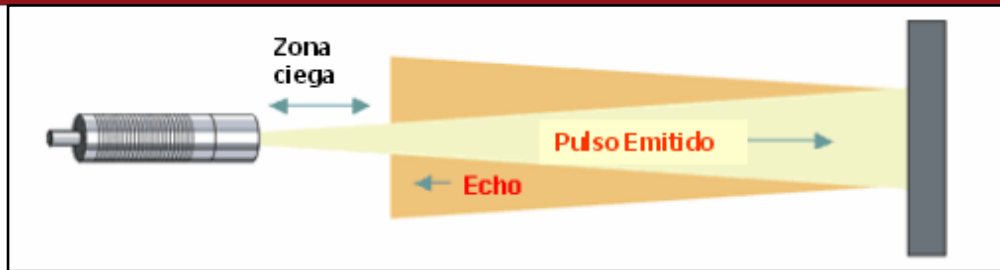


Gráfico 7. La zona ciega se ubica en los primeros centímetros del sensor. [35]

Se pueden citar las siguientes ventajas de los sensores ultrasónicos: [13]

- Pueden detectar materiales transparentes o láminas delgadas.
- La respuesta del sensor no depende del color de la superficie ni de la reflectividad óptica del objeto.
- Relativamente insensibles a la suciedad y el polvo.

Dentro de las desventajas se pueden nombrar:

- Los sensores ultrasónicos deben estar dirigidos, preferentemente, hacia una superficie perpendicular para recibir un eco amplio. Ante superficies inclinadas el sonido se desvía. [15]
- Los objetos demasiado pequeños no podrían ser detectados, debido a que estos no reflejan suficiente sonido de retorno al sensor. [14]
- Los objetos que absorben el sonido o que tienen una superficie blanda o irregular, pueden no reflejar suficiente sonido para ser detectada con precisión. [14]
- Los cambios en las características del ambiente, como la temperatura, la presión, la humedad, el aire y las partículas transmitidas por este, afectan la respuesta ultrasónica. [15]

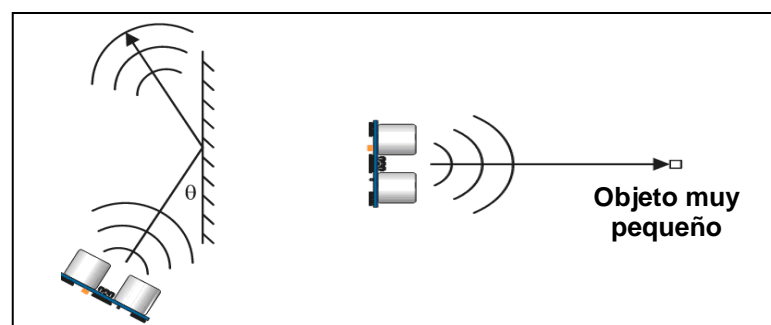


Gráfico 8. Situaciones adversas para el sensor ultrasónico. [14]

2.2 Método de procesamiento

Una señal es un flujo de información proveniente de una fuente, la cual puede tener una naturaleza diversa: mecánica, óptica, magnética, eléctrica, acústica, etc. Por lo general, para poder ser procesadas, las señales se transforman en señales eléctricas mediante transductores. En este caso en particular el transductor permitirá realizar una comunicación con el objeto a detectar. [30]

El procesamiento de señales se refiere a los pulsos eléctricos, ondas sonoras u ópticas emitidas por un sensor, que son enviados a un control electrónico donde serán tratados y transformados en cierto código para que pueda ser usado por un actuador. Este control electrónico puede ser un microcontrolador, estos captan señales y las transforman en señales de voltaje que pueden ser leídas por los actuadores. [30] De esta forma, ante la presencia de algún obstáculo, se enviará una señal de alerta a la persona.

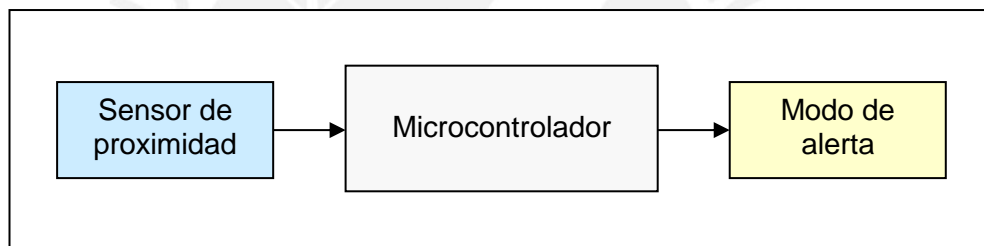


Gráfico 9. Procesamiento de la señal utilizando el microcontrolador.

2.2.1 Microcontrolador

Es un circuito integrado desarrollado para cubrir las más diversas aplicaciones. Está concebido fundamentalmente para ser utilizado en aplicaciones puntuales, es decir, donde el microcontrolador debe realizar un número determinado de tareas, al menor costo posible. En estas aplicaciones, el microcontrolador ejecuta un programa almacenado permanentemente en su memoria, la cual trabaja con algunos datos almacenados temporalmente e interactúa con el exterior a través de las líneas de entrada y salida que dispone. [16]

2.3 Interfaz de usuario

Las personas con discapacidad visual deben dedicar un esfuerzo mayor al transitar por entornos desconocidos a comparación de las personas videntes.

Así como las personas ciegas utilizan herramientas para desplazarse, hacen uso también de sus propias herramientas, los sentidos. Por tanto, al no contar con el sentido de la vista deben sacarle el mayor beneficio a los sentidos restantes para buscar compensar de algún modo las funciones de la vista.

Es poco probable que utilicen o adopten un sistema nuevo si este distrae las habilidades que utilizan para desplazarse. En consecuencia, cualquier sistema debe minimizar el potencial para distraer a los usuarios. [17]



Gráfico 10. Las personas ciegas hacen uso de otros sentidos como el oído, para percatarse de sonidos como el de los autos, o el olfato, para percibir olores que le indiquen que se encuentran cerca de un lugar como una panadería.

2.3.1 Modo sonido

Consiste en enviar a través un parlante o audífonos un mensaje de alerta sonoro a la persona ante la presencia de un objeto. Este tipo de alerta puede darse de dos formas. La primera, puede ser un sonido que se encuentre entre los 20 Hz y 20 KHz, rango audible del espectro del sonido que inicia impulsos nerviosos interpretados por el cerebro humano. [19] La segunda opción es advertir mediante un mensaje grabado la existencia de un obstáculo en el camino.

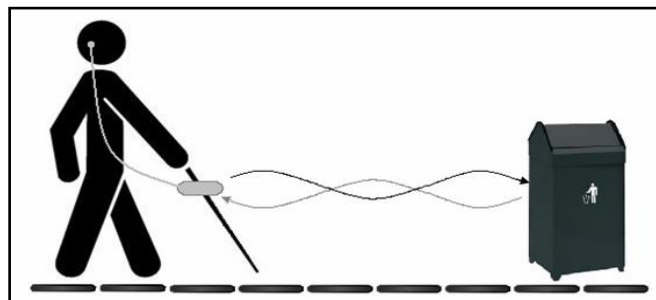


Gráfico 11. La presencia de obstáculos es advertida a través de sonidos o mensajes grabados.

2.3.2 Modo vibración

La retroalimentación táctil utiliza mecanismos de vibración en contacto con el cuerpo para presentar la información al usuario ante la presencia de un obstáculo. Una de las ventajas de este modo de alerta es que las personas con discapacidad visual podrán utilizar los sonidos del medio ambiente para poder desplazarse. [17]

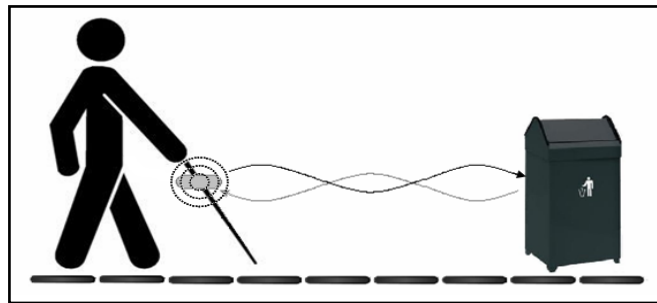


Gráfico 12. A través de la vibración se da la señal de alerta de la existencia de un objeto.

2.4 Antecedentes del estudio

En las últimas décadas, una serie de dispositivos electrónicos de ayuda de desplazamiento (Electronic Travel Aid) fueron introducidos con la finalidad de mejorar la movilidad de las personas ciegas en términos de seguridad y velocidad. [18] A continuación se mencionarán algunos productos comerciales:

El GuideCane ha sido diseñado para ayudar a los usuarios con discapacidad visual con la finalidad de permitirles navegar de forma rápida y segura entre obstáculos. Se utiliza como un bastón blanco, donde el GuideCane es sostenido en frente del usuario mientras camina. Posee ruedas que están equipadas con codificadores para determinar el movimiento. Consta de un servomotor, controlado por el ordenador integrado, el cual puede dirigir las ruedas de izquierda a derecha con respecto al bastón. Para detectar obstáculos, el GuideCane está equipado con diez sensores ultrasónicos. Un mini joystick situado en el mango permite que el usuario especifique la dirección de movimiento deseada. Adicionalmente, consta de un botón de control en el mango, este puede seleccionar cuatro direcciones diferentes. El costo es una debilidad en este proyecto, al ser el precio demasiado alto, alrededor de \$ 1000.00 dólares americanos. [10]



Gráfico 13. GuineCane. Compuesto por diez sensores ultrasónicos. [36]

El Ultracane es un dispositivo que utiliza ondas ultrasónicas al igual que el sistema de ecolocalización de los murciélagos y los delfines. De hecho, fue a partir del conocimiento y la comprensión de los murciélagos que Ultracane fue desarrollado. El murciélago emite un pulso ultrasónico y mide los tiempos de retorno del eco. Este conocimiento ha sido transferido a la Ultracane, que funciona de una manera similar. Las ondas ultrasónicas se emiten a través de dos transductores, ubicados en el mango del Ultracane. Este dispositivo tiene dos gamas para elegir: el modo de corto alcance, detecta los obstáculos en un rango de dos metros aproximadamente, y el modo de largo alcance, capaz de detectar objetos a cuatro metros de distancia. El transductor superior puede localizar objetos a aproximadamente 1,6 m del tirador. [20] El precio del Ultracane es de \$1295.00 dólares americanos.



Gráfico 14. Ultracane. Detecta obstáculos mediante ondas ultrasónicas. [37]

El K-Sonar permite a las personas ciegas percibir el ambiente por medio del ultrasonido y ser más móviles en su necesidad de desplazamiento. El K-Sonar ha sido diseñado para ser unido a un bastón largo. También puede ser usado sin el bastón, como ayuda independiente para aquellos que han aprendido a usarlo bien en situaciones adecuadas, familiares y reconocibles. Funciona como una linterna común excepto que irradia sonido en lugar de un haz de luz. La información de la trayectoria a seguir es recopilada por el sonar proporcionando un mapa mental de los objetos que se encuentran hacia el frente y los costados del usuario. La punta del bastón actúa como alerta al entrar en contacto con un objeto que no haya sido

evitado. Los sonidos varían de acuerdo a cuán lejos esté el objeto del K-Sonar indicando la distancia al mismo. El usuario oye estos sonidos por intermedio de pequeños auriculares. [21] El K-Sonar tiene un precio en el mercado de 1085.00 dólares americanos.



Gráfico 15. K-Sonar. Utiliza el ultrasonido para la detección. [38]

El HAND GUIDE aumenta la movilidad y la independencia de las personas con discapacidad visual. Tiene un conector para la muñeca y un soporte para el cinturón. Utiliza la tecnología infrarroja para detectar objetos en un radio de cuatro pies (1,22 m). Consta de dos modos de distancia para identificar los obstáculos: el modo de audio, usa un sonido que varía en intensidad y el modo silencioso, utiliza variaciones de nivel de vibración. HAND GUIDE es una ayuda suplementaria y se adapta cómodamente a la mano y utiliza tecnología de infrarrojos para detectar obstáculos, como un bastón de apoyo: En conjunto, el bastón puede proporcionar la identificación apropiada agujeros y escalones, mientras el HAND GUIDE permite percibir los obstáculos que se encuentran en un nivel superior. [22]



Gráfico 16. Hand Guide. Utiliza tecnología infrarroja para la detección. [39]

El iSONIC detecta obstáculos mediante ultrasonido a dos metros de distancia, 50 grados en sentido vertical y 25 grados en sentido horizontal. La información transmitida al usuario es a través de la vibración con diversos niveles de intensidad. Asimismo, el iSONIC identifica el color de ciertos objetos a través de mensajes de voz. Del mismo modo proporcionar información sobre el brillo de los alrededores. [23] El iSONIC tiene un precio de 420.00 dólares americanos.



Gráfico 17. iSONIC. Detecta obstáculos a través de ultrasonido. [40]

Long Laser Cane es un dispositivo electrónico que en la parte frontal del mango alberga un láser y un receptor que detecta obstáculos a 1,60 metros, a través de la reflexión de la luz láser. El diseño asimétrico de la mango permite la alineación del haz láser de manera que se proyecta por encima del bastón. La salida de la luz de rayos láser forma con la vertical una amplitud de 30 grados. La alineación del rayo sólo detecta los obstáculos directamente por encima del bastón en la cabeza y el pecho. Tan pronto como la luz reflejada por un obstáculo es detectada, el sistema de alerta comienza a vibrar. Una vibración continua se produce durante el tiempo que la luz reflejada se recibe, es decir, durante el tiempo que se detecta un obstáculo por encima del bastón en la zona de cabeza y pecho. [24]



Gráfico 18. Long Laser Cane. Detecta los obstáculos a través de láser. [41]

En el siguiente cuadro se muestran las principales características de los productos anteriormente mencionados.

Tabla 5. Características de dispositivos de ayuda de desplazamiento para personas invidentes existentes en el mercado.

Dispositivos de ayuda de desplazamiento	Tipo de detección (sensor)	Rango de detección horizontal máximo	Información de Alerta	
Guide Cane	Ultrasonido	0,6 – 0,9 m/s		
Ultracane	Ultrasonido	4 m	vibración	
K-Sonar	Ultrasonido	5 m		Sonido
Hand Guide	Infrarrojo	1,22 m	vibración	Sonido
iSONIC	Ultrasonido	2 m	vibración	
Long Laser Cane	Láser	1,60 m	vibración	

CAPÍTULO 3: Diseño e implementación del sistema electrónico de ayuda de desplazamiento para personas ciegas.

3.1. Descripción general del diseño

El dispositivo electrónico de ayuda de desplazamiento para personas ciegas a diseñar será una herramienta que permita a la persona invidente advertir objetos sin necesidad de hacer contacto directo con estos. Asimismo, permitirá detectar desniveles

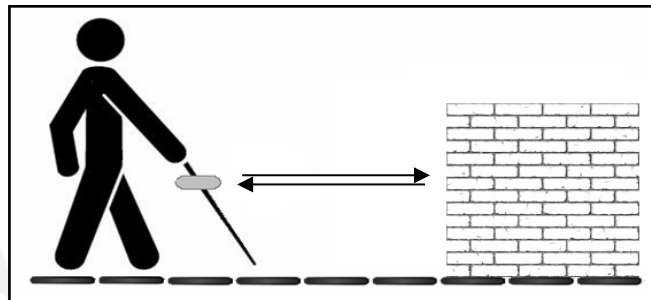


Gráfico 19. La persona será advertida ante la presencia de objetos que se encuentren delante de ella.



Gráfico 20. La persona será advertida de la presencia de desniveles y gradas.

A continuación se muestra el diagrama de bloques del sistema.

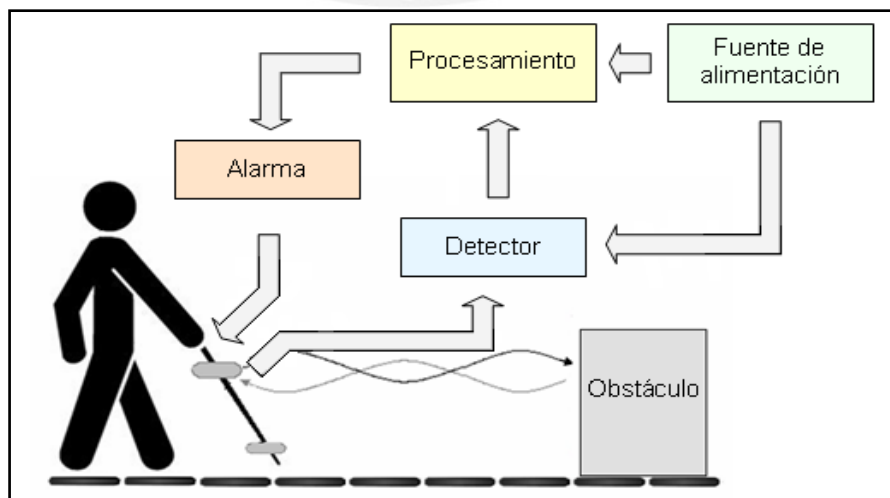


Gráfico 21. Diagrama de bloques del sistema electrónico de ayuda de desplazamiento para personas ciegas.

3.2. Requerimientos de diseño

Los parámetros para el diseño del sistema electrónico de ayuda de desplazamiento para personas ciegas son los siguientes:

Tabla 6. Requerimientos de diseño del sistema.

Rango detectable de obstáculos (cm.)	5 a 150
Rango detectable para desniveles (cm.)	10
Voltaje de operación (V)	9

El diseño consiste en poder realizar un dispositivo de bajo consumo, peso y de fácil manejo.

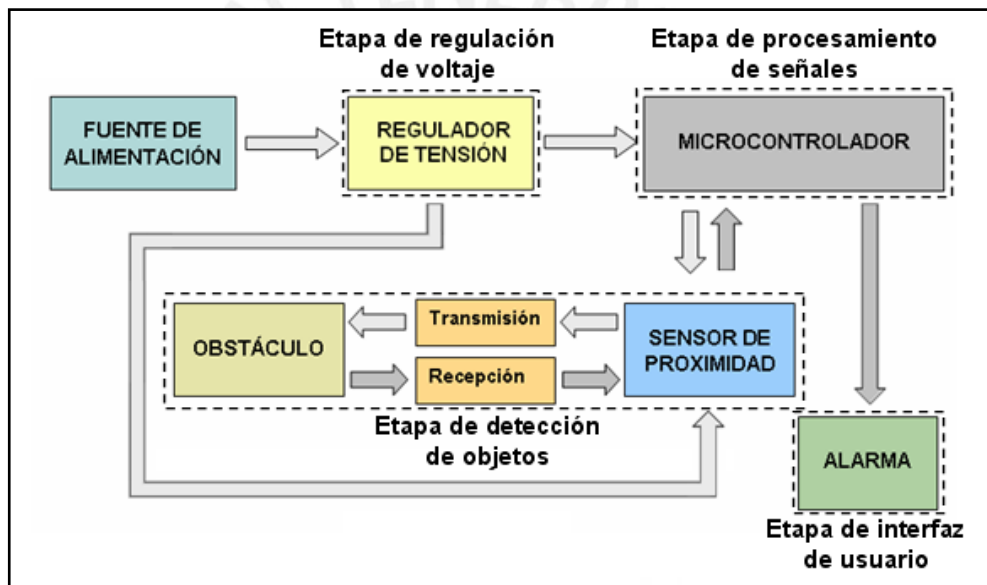


Gráfico 22. Diagrama de bloques detallado por etapas del sistema electrónico de ayuda de desplazamiento para personas ciegas.

El diagrama para la detección de objetos como para la detección de desniveles es semejante. La diferencia entre una forma de detección y otra es el código de programa que será implementado en el microcontrolador.

3.3 Selección de principales componentes

3.3.1 Etapa de detección de objetos

3.3.1.1 Selección del sensor

Para escoger el sensor que utilizará el dispositivo, se debe tener en cuenta parámetros como la distancia de detección, la amplitud de detección y el costo. Se pudo observar anteriormente de los sensores expuestos que todos tienen ventajas y

desventajas. Los sensores ultrasónicos tienen como ventaja la capacidad de detectar objetos dentro de una zona, que es un arco cuyo ángulo depende del diseño del fabricante, en comparación a los otros tipos de sensores mencionados anteriormente cuya detección es más puntual. Asimismo, se tomó en consideración que los dispositivos comerciales utilizan en su gran mayoría tecnología de sensores ultrasónicos, debido a su eficiencia y su estructura relativamente sencilla.

Por tanto, los sensores de proximidad a utilizar para el desarrollo del proyecto serán los sensores ultrasónicos. Dentro de los diferentes modelos de sensores ultrasónicos se pueden nombrar los siguientes:

Tabla 7. Lista de sensores ultrasónicos.

Sensor ultrasónico	Distancia de detección (cm)	Corriente típica (mA)	Costo (soles)
PING))) PARALLAX	2 a 300	30	55
HC-SR05	2 a 450	40	28
HC-SR04	2 a 400	15	20
SRF05	3 a 400	30	75
SRF08	3 a 600	12	150

El rango de distancia del dispositivo de ayuda de desplazamiento para personas ciegas a implementar es de 5 a 150 centímetros para detectar objetos que se ubiquen adelante y una distancia de 10 centímetros para detectar desniveles (gradas). Por tanto los distintos sensores ultrasónicos mostrados en el cuadro anterior serían factibles para tales propósitos. Las dimensiones de los sensores mencionados son bastantes similares, alrededor de 20 mm de alto por 45 mm de ancho por 15 mm de profundidad. Otro factor a considerar es el consumo del sensor, con la finalidad de que la batería a utilizar perdure por más tiempo, se puede observar que el sensor ultrasónico que consume menos corriente es el SRF08, 12 mA, seguido por el HC-SR04 que requiere de 15 mA. Por otro lado, el factor costo influye, debido a que se busca desarrollar un dispositivo económico, la diferencia entre el precio de los sensores anteriormente mencionados es de 130.00 nuevos soles, tomando en cuenta que se utilizará más de un sensor ultrasónico, finalmente se opta por elegir el HC-SR04 para el desarrollo del proyecto.

Para la detección de objetos se utilizarán tres sensores ultrasónicos que ubicarán en la parte alta del bastón uno a continuación del otro. Con lo que respecta a la detección de desniveles se utilizarán dos sensores ultrasónicos ubicados en la parte baja del bastón.

3.3.1.2 El sensor ultrasónico HC-SR04

El sensor ultrasónico HC-SR04 según su hoja de datos tiene un rango de detección de 2 a 400 centímetros con un ángulo de 30 grados. Este sensor tiene un voltaje de operación de 5 VDC y consume 15 mA. [11]

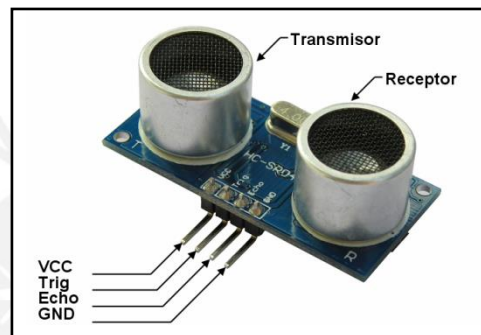


Gráfico 23. El HC-SR04 consta un transmisor ultrasónico, un receptor, y circuitos de control. [11]

Para iniciar la medición, el pin Trig del sensor HC-SR04 debe de recibir un pulso en alta por al menos 10us, esto ocasionará que el sensor transmita 8 pulsos de ultrasonido de 40 kHz y colocará su salida Echo en alta. Esta salida se mantendrá en alta hasta recibir el eco reflejado por algún objeto. Cuando el sensor detecta la onda ultrasónica a través de su receptor, pondrá el pin Echo en baja. Este periodo (ancho de pulso) es proporcional a la distancia. Para obtener la distancia se debe calcular el ancho de pulso en alta (T_{on}) del pin de salida Echo. [11]

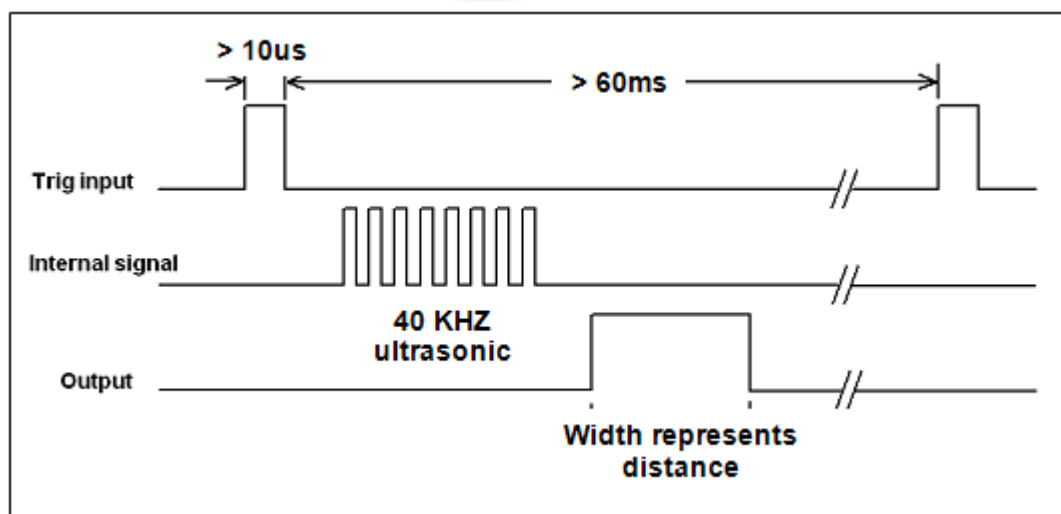


Gráfico 24. Funcionamiento de las señales del sensor ultrasónico HC-SR04. [11]

Notas: [11]

- La anchura de la señal de disparo debe ser mayor que 10us.
- El intervalo de repetición de la señal de disparo debe ser mayor que 60 ms para evitar interferencias.
- El retardo entre lectura y lectura de detección corresponde al valor asignado al periodo.

La distancia detectada en metros se puede calcular por la siguiente fórmula:

$$\text{Distancia} = \frac{\text{Ancho de pulso del pin Echo} \times \text{Velocidad del sonido}}{2} \quad (3)$$

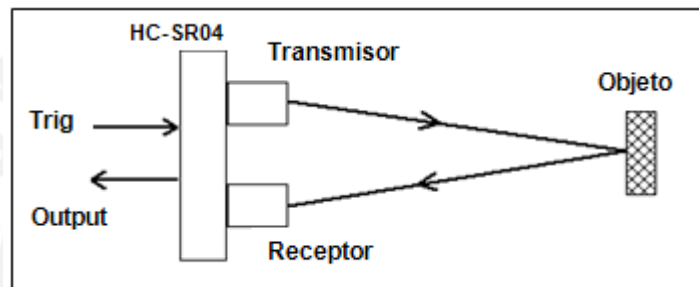


Gráfico 25. Funcionamiento del sensor ultrasónico HC-SR04. [11]

3.3.2 Etapa de procesamiento de señales

El sensor ultrasónico necesita un pulso en alta en su pin de entrada para realizar los diferentes procesos que comprenden la detección de un obstáculo. Por otro lado, se necesita enviar una señal de alerta ante la presencia de este. Estos procesos que conllevan el desarrollo del proyecto serán realizados por el microcontrolador.

3.3.2.1 Microcontrolador ATmega8

El Atmel AVR ATmega8 es un microcontrolador de 8 bits. Utiliza tecnología RISC (Reduced Instruction Set Computing), es decir, presenta instrucciones con complejidad reducida, a diferencia de otros microcontroladores que tienen tecnología CISC (Complex Instrucción Set Computing). Esto permite una rápida ejecución de las instrucciones, las cuales solo necesitan de un solo ciclo de reloj, el ATmega8 consigue obtener 1 MIPS por MHz, permitiendo al diseñador del sistema optimizar su consumo de energía y obtener un alto rendimiento con lo que respecta a su procesamiento. Las instrucciones, en la memoria de programa, son ejecutadas con estructura segmentada (pipelining), es decir, al mismo tiempo que una instrucción se

está ejecutando, se realiza la búsqueda de la próxima instrucción. Este concepto permite habilitar instrucciones para ser ejecutadas con cada ciclo de reloj. [25]

Tabla 8. Parámetros más importantes del ATmega8. [25]

Características	Descripción
Tensión de funcionamiento	4.5 a 5.5 voltios (ATMEGA8) 2.7 a 5.5 voltios (ATMEGA8L)
Velocidad de operación	0 – 8 MHz (ATMEGA8L) 0-16 MHz (ATMEGA8)
Memoria Flash	8 Kbytes
Memoria SRAM	1 Kbytes
Memoria EEPROM	512 bytes
Puertos programables I/O	Puerto B, con 8 líneas Puerto C, con 7 líneas Puerto D, con 8 líneas
Registros de propósito general	32 registros de 8 bits (R0...R31)

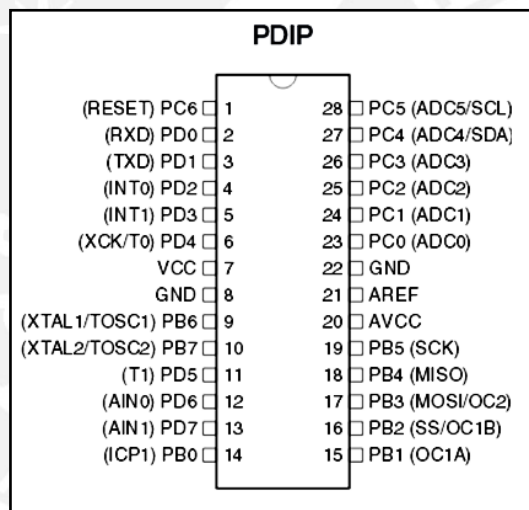


Gráfico 26. Distribución de pines del microcontrolador AVR ATmega8. [31]

Tabla 9. Descripción de pines del ATmega8. [25]

Vcc Y GND	Pines de alimentación (+5 v) y tierra (0 v).
XTAL1 y XTAL2	Conectores del cristal de reloj externo.
AVCC	Pin para conectar la fuente de alimentación al convertor A/D.
AREF	Pin para conectar una tensión de referencia para el convertor A/D interno.
Puerto B	Compuesto de 8 bits bidireccionales de entrada/salida.
Puerto C	Compuesto de 7 bits bidireccionales de entrada/salida.
PC6/RESET	Puede ser usado como entrada/salida o para la entrada Reset.
Puerto D	Compuesto 8 líneas bidireccionales de entrada/salida

Los pines correspondientes a los diferentes puertos cumplen con otras funciones descritas entre las páginas 56 y 61 del manual del ATmega8. [25]

El proyecto implica dos tipos de detección, una para obstáculos y otra para desniveles, por tanto se utilizarán dos microcontroladores ATmega8.

3.3.2.2 Lenguaje de programación

Es un lenguaje que se utiliza para asignar y controlar procesos específicos a máquinas como las computadoras a través de instrucciones. [25]

El lenguaje utilizado será el assembler, y el software que se empleará para desarrollar el código fuente en la programación de los procesos es el VMLAB. Este IDE (Integrated Development Environmental) de prototipos virtuales desarrollada para la familia de microcontroladores ATmel permite escribir, depurar y optimizar aplicaciones. Este software incluye un editor de texto, un simulador entre una serie de herramientas que facilitan el desarrollo de proyectos. [26]

Modelos de AVR soportados por el VMLAB: ATiny11, ATiny12, ATiny15, ATiny22, AT90S2343, AT90S2323, AT90S1200, AT90S2313, AT90S4433, AT90S4414, AT90S8515, AT90S4434, AT90S8535, ATmega8, ATmega16, ATmega161, ATMEGA162, ATmega32, ATMEGA64, ATmega128. [26]

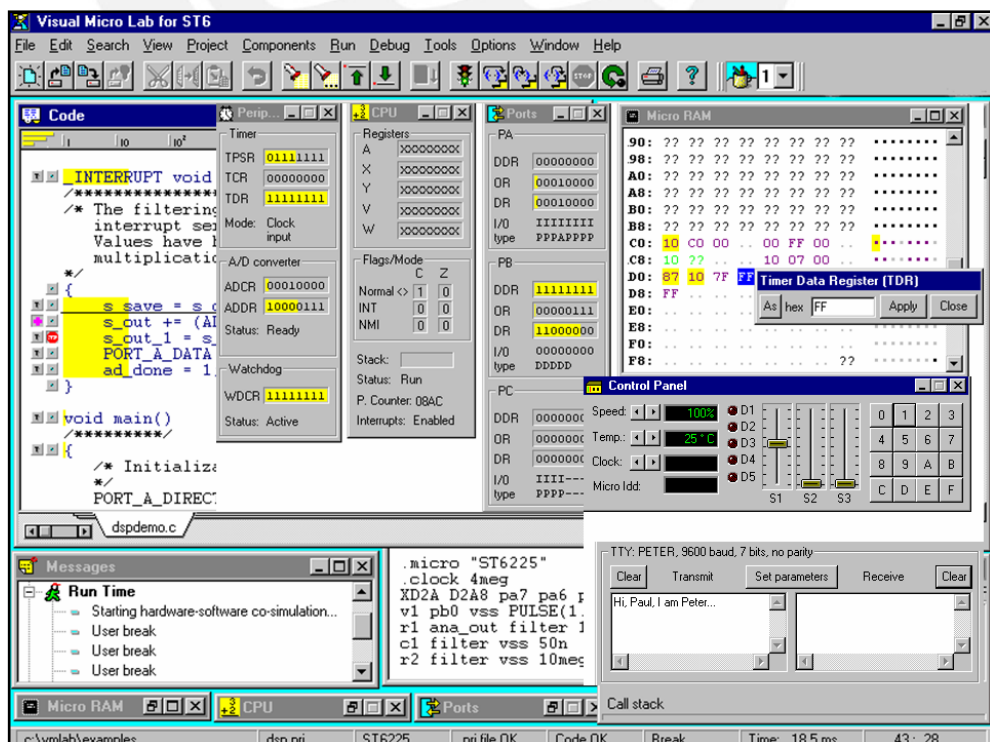


Gráfico 27. Plataforma de programación del VMLAB. [26]

3.3.3 Etapa de interfaz de usuario

3.3.3.1 Selección del modo de alerta

Las personas ciegas no usarán dispositivos que demanden demasiada concentración, ni tampoco dispositivos con los cuales se sientan incómodos. Esto debido a que al interactuar con el entorno se distraerían y no se enfocarían en el reconocimiento del medio con el que se relacionan. En consecuencia, es necesario que el dispositivo le ofrezca un complemento de ayuda sin causarle incomodidad. [17] Por ese motivo, el modo de alerta a implementarse será el de vibración en lugar del modo sonido, esto permitirá a la persona utilizar el sentido del oído para que pueda guiarse por los sonidos presentes en el ambiente.

Para realizar la alerta por medio de vibraciones se emplearán pequeños motores vibradores. Una vez que los sensores ultrasónicos detecten un objeto el microcontrolador enviará una señal para activar los motores, sin embargo el ATmega8 no puede suministrar la corriente necesaria para este fin, por ello es necesario utilizar un controlador.

3.3.3.2 Controlador de motor L293

El integrado L293 incluye cuatro circuitos de medios puentes H. Permite el manejo directo de cargas inductivas tales como relés, solenoides, motores de corriente continua y motores a pasos. [27]

Es capaz de conducir corrientes de hasta 1A en el modelo L293 y hasta 600mA en el modelo L293D en voltajes que van de 4,5V a 36V en ambos modelos. Asimismo el L293D a diferencia del L293 posee internamente diodos de protección de contracorriente para cargas inductivas. Todas sus entradas son compatibles con niveles de lógica TTL.

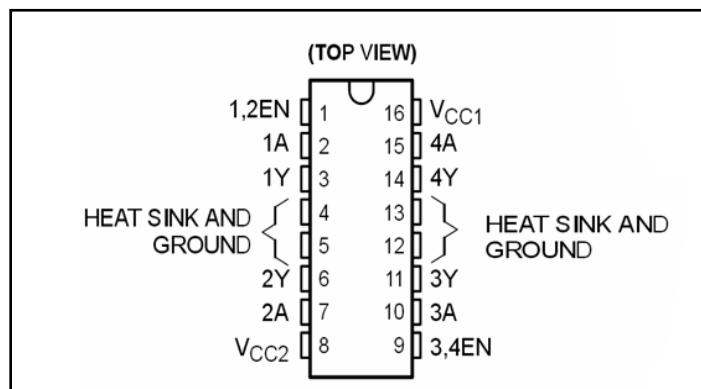


Gráfico 28. Distribución de pines del controlador L293. [27]

El integrado permite formar dos puentes H completos con los cuales se puede realizar el manejo de dos motores. Los circuitos de manejo de potencia 1 y 2 se habilitan con la señal 1,2EN y los circuitos 3 y 4 con la señal 3,4EN. Además a través de estas entradas de habilitación se puede regular la velocidad de los motores a través de una modulación de ancho de pulso.

En el instante en que una señal de habilitación está en alta sus salidas correspondientes estarán activas. Mientras que cuando la señal de habilitación está en baja, las salidas se encontrarán desactivadas y en un estado de alta impedancia. Por otro lado, el integrado L293 se caracteriza por el funcionamiento de 0 a 70 ° C.

El integrado a utilizar para implementar el dispositivo será el L293D. Cada integrado puede controlar dos motores. Se emplearán cuatro motores vibradores en total, dos para la alerta de obstáculos y dos para la alerta de desniveles, En consecuencia se utilizarán dos de estos integrados. [27]

3.3.3.3 Motor Vibrador

Tienen la función de alertar a la persona ante la presencia de un objeto cada vez que el microcontrolador envíe una señal en alta al controlador.

El motor vibrador de corriente directa, es un motor que gira normalmente como cualquier otro, con la diferencia que este tiene una pequeña pieza en el eje que actúa como un contra peso. Esta pieza logra que el eje del motor pierda balance cuando empieza a girar, produciendo así una vibración por parte del motor. [28]



Gráfico 29. Motor vibrador. [28]

Tabla 10. Características generales del motor vibrador. [28]

Características	Descripción
Tensión nominal	3,0 V
Tensión de funcionamiento	2,2 ... 3,6 V
Máxima Corriente nominal	100 mA
Temperatura de operación	-30 ° a 70 ° C
Dimensión	4 x 13,6 mm

3.3.4 Etapa de regulación de voltaje

El dispositivo de ayuda de desplazamiento para personas ciegas a implementar funcionará con una tensión de alimentación de 9v. Sin embargo los sensores ultrasónicos así como el microcontrolador ATmega8 deben ser alimentados con una tensión de 5V. Por lo tanto es necesario reducir el voltaje de 9V a 5V. Para ello se utilizará un regulador de tensión.

3.3.4.1 Regulador LM2575-5V

El regulador switcher simple LM2575-5V es un circuito integrado monolítico que proporciona una salida de tensión fija de 5V. Es capaz de accionar una carga de 1A con una excelente regulación. Requiere un número mínimo de componentes externos, es simple de usar e incluye una compensación de frecuencia interna y un oscilador de frecuencia fija. Brinda una alta eficiencia en comparación a los populares reguladores lineales de tres terminales. Reduce sustancialmente el tamaño del disipador de calor, y en muchos casos este no se requiere. Del mismo modo, incluye de apagado térmico para la protección completa en caso de fallo. [29]

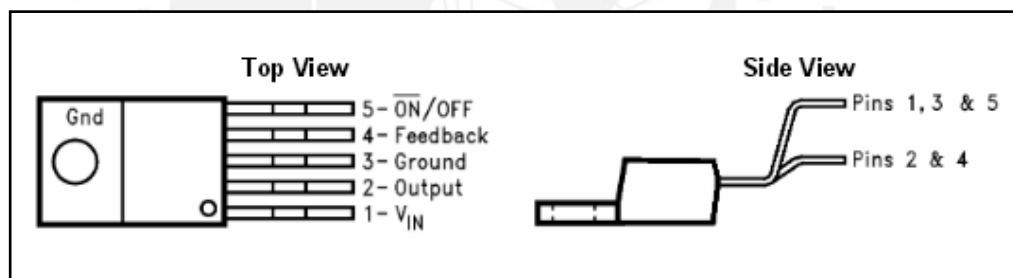
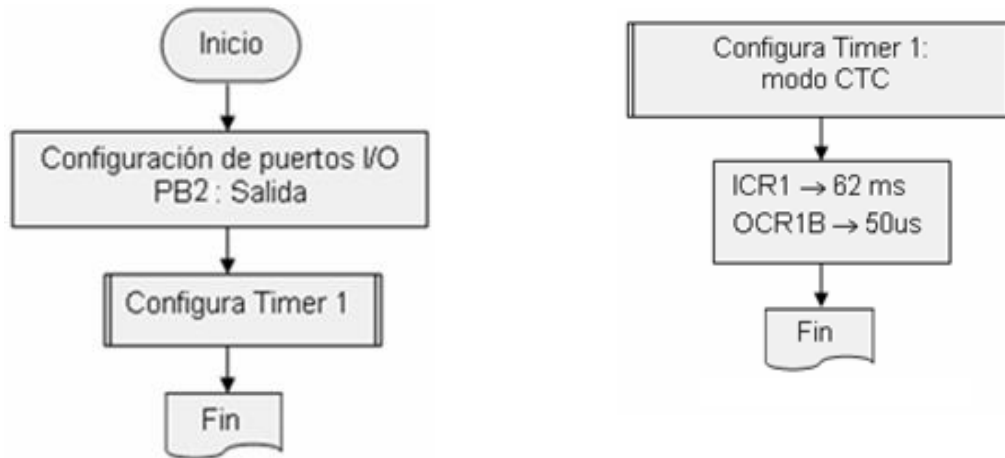


Gráfico 30. Regulador LM2575-5V. [29]

3.4 Diseño de la etapa de detección de objetos

Para hacer funcionar el sensor ultrasónico y que opere bajo una distancia determinada, el microcontrolador ATmega8 debe de enviar un pulso mayor de 10us al pin de entrada Trig. En este caso, el pulso que se enviará al sensor será de 50 μ s. Una vez ocurrido el suceso, el sensor ultrasónico HC-SRF04 enviará 8 pulsos de 40Khz y su pin de salida Echo se pondrá en alta. Posteriormente, si la señal enviada por el transmisor del sensor es percibida por su receptor, el pin Echo se pondrá en baja. Este proceso se repite por tanto se debe de dar bajo un periodo programado en el microcontrolador.

3.4.1 Diagrama de flujo del programa a desarrollar en el microcontrolador de la etapa de detección.



El Timer 1 del ATmega8 es un temporizador de 16 bits con un registro contador llamado TCNT1 con el cual se puede configurar una frecuencia deseada. Este temporizador cuenta con dos registros de comparación de 16 bits OCR1A y OCR1B. Cuando el contador iguala el valor de estos registros se dice que se ha producido una comparación exitosa. [31]

En este caso el Timer será utilizado en modo CTC (Clear Timer on Compare Match), en este modo de operación cada vez que ocurre una comparación exitosa el contador TCNT1 vuelve a \$0000, es decir contará desde \$0000 a \$XXXX, donde \$XXXX es el valor que hemos fijado en uno de los registros de comparación. [31]

El OCR1B corresponde al impulso de 50 μ s que se envía al pin de entrada Trig del sensor. Tal como se mencionó este proceso es periódico, por lo que se utilizará el registro ICR1 para este fin. Según la hoja de datos del sensor ultrasónico HC-SRF04 se requiere un periodo mayor a 60ms, el periodo asignado por tanto será de 62ms.

A continuación se muestran las fórmulas para obtener los valores deseados de los registros ICR1 y OCR1B: [31]

$$ICR1 = \frac{\text{Periodo} \times \text{Frecuencia}_{\text{clock}}}{\text{Preescaladr}} - 1$$

(4)

$$\text{OCR1B} = \frac{\text{Periodo} \times \text{Frecuencia}_{\text{clock}}}{\text{Preescalador}} - 1 \quad (5)$$

Donde:

- El Periodo es el tiempo que se desea programar.
- La Frecuencia_{clock} corresponde a la frecuencia interna de oscilación del ATmega8, la cual es 1MHz.
- El Preescalador utilizado es el Módulo1.

3.5 Diseño de la etapa de procesamiento de señales

Una vez enviado el pulso correspondiente para el funcionamiento del HC-SRF04 utilizando el microcontrolador se necesita procesar esta información.

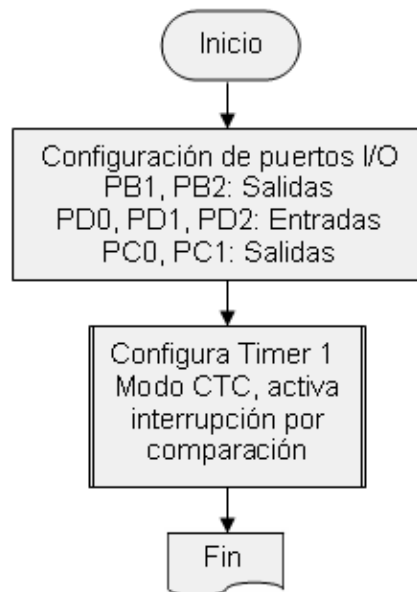
El microcontrolador debe de monitorear en qué estado se encuentra el pin de salida Echo para determinar si el sensor ha detectado o no un objeto para advertir posteriormente de la presencia de un obstáculo. El monitoreo debe darse, al igual que la señal para iniciar el sensor ultrasónico, bajo un periodo.

Para la detección de obstáculos que se encuentran delante de la persona se utilizarán tres sensores ultrasónicos y para la detección de desniveles dos. Para cada tipo de detección, objetos y desniveles, se utilizará un microcontrolador.

Los sensores encargados de la detección de obstáculos, una vez procesada la señal, enviarán un pulso en alta para activar los motores vibradores cada vez que detecten un objeto, por otra parte enviarán un pulso en baja si no captaron nada.

Por otro lado, para la detección de desniveles, uno de los sensores estará ubicado de manera frontal para detectar gradas y el otro dirigido hacia abajo para detectar los desniveles. El sensor frontal tendrá la misma lógica que los sensores de detección de obstáculos, mientras que el otro sensor, de detectar un desnivel enviará al puerto de salida del microcontrolador un pulso en alta, en caso de no detectar nada un pulso en baja.

3.5.1 Diagrama de flujo del programa a desarrollar en el microcontrolador de la etapa de procesamiento de señales.



El siguiente diagrama se aplica para ambos tipos de detección, de objetos y desniveles, la diferencia es que el segundo emplea solo dos sensores ultrasónicos.

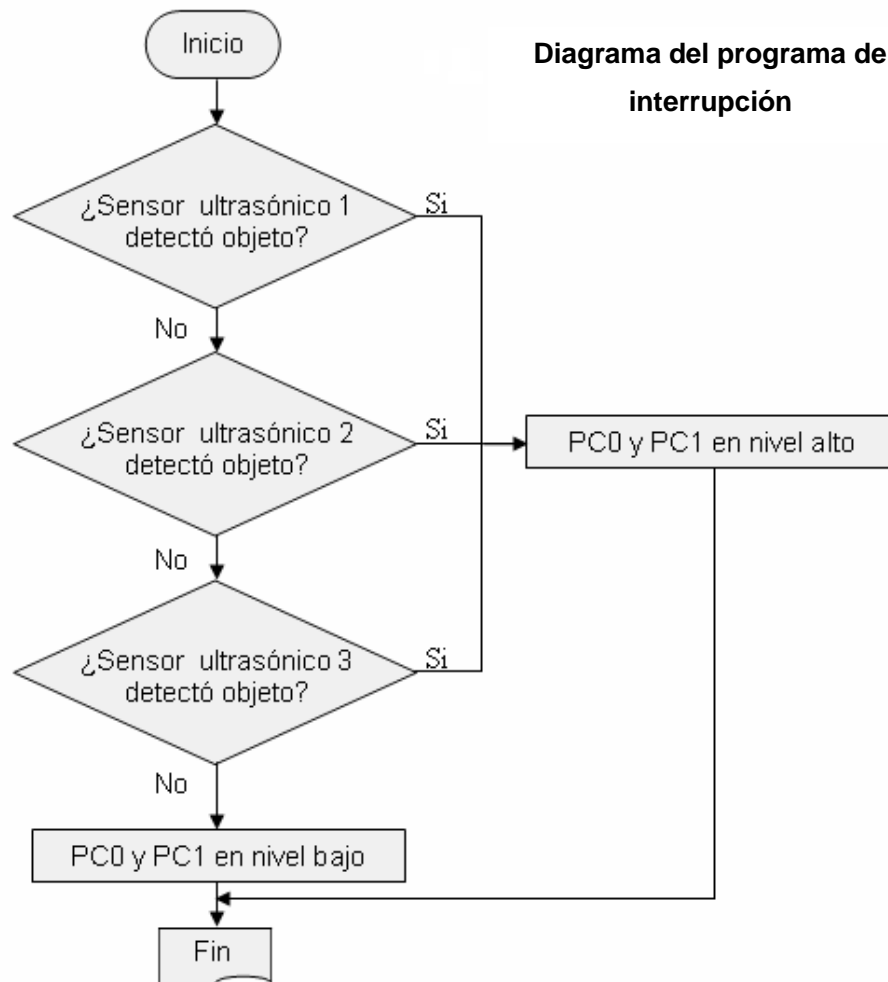


Diagrama del programa de interrupción

Se utilizará de igual modo el Timer1 del ATmega8. El registro empleado será el OCR1A, en este se asignará el tiempo T encargado de monitorear el valor del pin de salida Echo del sensor. Este tiempo es proporcional a la distancia y se relacionan según la fórmula vista en la parte relacionada al sensor HC-SRF04.

Se conoce que el sensor ultrasónico HC-SRF04 se encuentra en baja, “0” lógico, si detecta un objeto, en caso contrario estará en alta, “1” lógico. En consecuencia se necesita configurar puertos de entrada y salida del microcontrolador ATmega8 para recibir las señales y procesarlas. Para analizar el estado del pin de salida Echo del sensor, y con ello determinar la presencia de un objeto, se utilizará una interrupción, una de las funciones del ATmega8. Esta consiste en monitorear el valor del pin de salida cada tiempo T que es el tiempo máximo para verificar el rebote de la señal en un objeto, es decir, la distancia máxima programada de detección.

Los pulsos enviados por los sensores ultrasónicos una vez procesados por el microcontrolador se transmitirán por los pines PC0 y PC1.

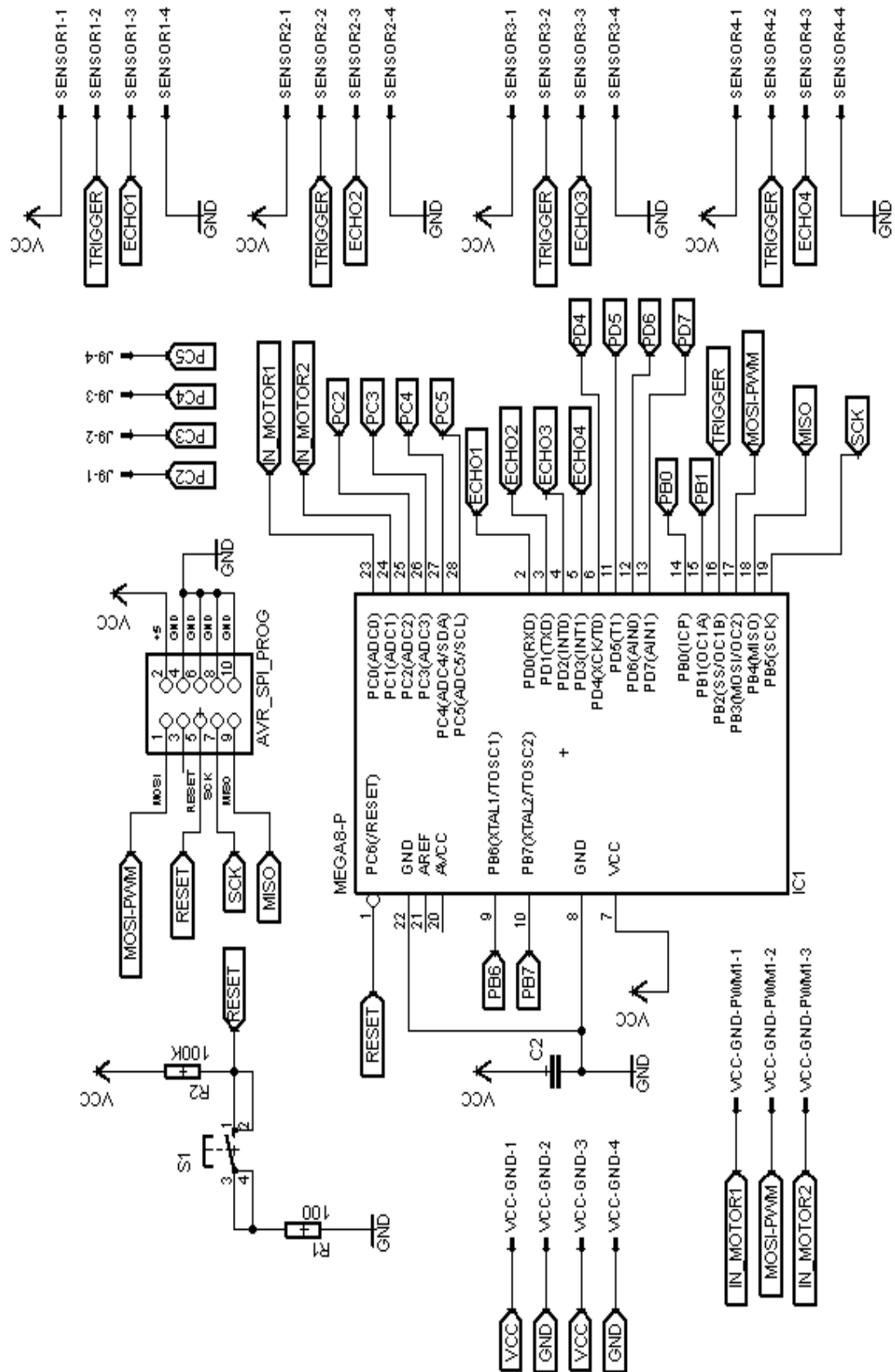
A continuación se muestran la fórmula para obtener el valor deseado en el registro OCR1A: [31]

$$\text{OCR1A} = \frac{\text{Periodo} \times \text{Frecuencia}_{\text{clock}}}{\text{Preescalador}} - 1 \quad (6)$$

Donde:

- El Preescalador utilizado es el Módulo1.

3.5.2 Circuito esquemático la etapa de procesamiento de señales



Los pulsos de $50\mu\text{s}$ se envían a los sensores ultrasónicos por el pin PB2 (OC1B) etiquetado como TRIGGER. Este pin envía la señal a todos los sensores utilizados para que estos inicien con el proceso de detección. Los datos proporcionados por estos sensores se reciben por los pines PD0, PD1, PD2, PD3 (ECHOS1, ECHO2, ECHO3, ECHO4 respectivamente). Procesados estos datos, según el programa implementado en el VMLAB, se determinan los estados para los pines PC0 y PC1 (IN_MOTOR1, IN_MOTOR2) para posteriormente enviar estas señales a los motores vibradores en la etapa de interfaz de usuario. La señal del pin PB3 (MOSI-PWM), la cual se detallará más adelante, se envía de igual forma a esta etapa.

Por otro lado, se implementó el reset externo para utilizarse de ser necesario, también se añadió el bloque AVR_SPL_PROG, el cual permite la programación del ATmega8 directamente en el circuito diseñado, es decir se puede conectar un dispositivo grabador de programas a través de un conector para cable plano de 10 hilos.

El número de sensores ultrasónicos son cinco en total, tres para detectar obstáculos y dos para detectar desniveles, utilizando para ello dos microcontroladores que se encargarán de cada tipo de detección. Por lo tanto se necesitarán realizar dos tarjetas. Cada tarjeta permitirá conectar hasta cuatro sensores ultrasónicos en caso se desee optimizar el programa ya diseñado. Igualmente se pueden utilizar los pines PC2, PC3, PC4 y PC5 para una nueva programación en el caso que esta se realice.

3.6 Diseño de la etapa de interfaz de usuario

Anteriormente se mencionó que la alerta que recibirá la persona ciega es mediante vibraciones, por lo que se utilizarán dos motores vibradores para cada tipo de detección. La señal enviada del microcontrolador ATmega8 pasará previamente por un controlador, el cual otorgará a los motores la corriente suficiente para que funcionen.

Para el caso de la detección de obstáculos los sensores vibrarán a diferentes intensidades según una determinada situación. A continuación se muestra la tabla de estados para los diferentes casos:

Tabla 11. Tabla de estados para la intensidad de vibración de los motores para la detección de objetos.

Sensor 3 (S1)	Sensor 2 (S2)	Sensor 1 (S3)	Motor 1 (M1)	Motor 2 (M2)	Ciclo de trabajo (DC)
0	x	x	1	1	45%
1	0	x	1	1	35%
1	1	0	1	1	25%
1	1	1	0	0	00 %

Los sensores estarán ubicados uno a continuación del otro de la siguiente forma en el bastón: primero el sensor 3, seguido por el sensor 2 y finalmente por el sensor 1. Los cuales estarán dirigidos a diferentes alturas. Los motores vibrarán según la altura a la que se detecte un objeto. A mayor altura detectada mayor será la intensidad de vibración y viceversa. Hay que recordar que el nivel bajo del sensor corresponde a la salida de su pin Echo al detectar un objeto.

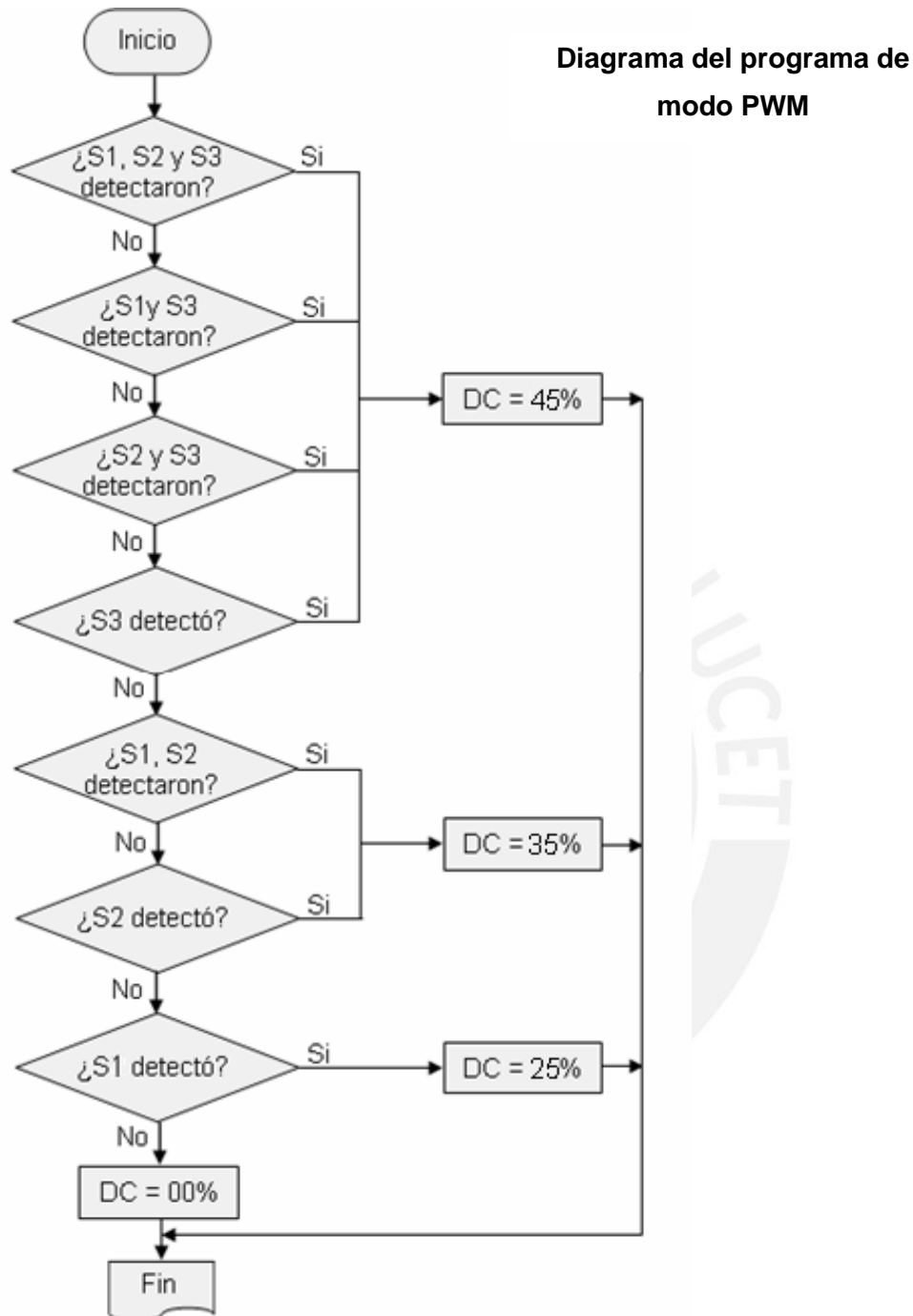
Por otro lado para la detección de desniveles, se utilizarán otros pares de motores. Estos vibrarán a una misma intensidad ya sea para detectar gradas o desniveles. La intensidad se realizará con un ciclo de trabajo de 45%.

Tabla 12. Tabla de estados para la intensidad de vibración de los motores para la detección de desniveles.

Sensor 4 (S4)	Sensor 5 (S5)	Motor 3 (M3)	Motor 4 (M4)	Ciclo de trabajo (DC)
0	0	1	1	45%
0	1	1	1	45%
1	0	0	0	00%
1	1	1	1	45%

El sensor 4, ubicado en la parte frontal enviará un "0" lógico de detectarse un objeto a una distancia de 10 centímetros y con ello activará los motores M3 y M4. El sensor, que apuntan hacia abajo, enviará un "1" lógico al detectarse un desnivel y activará los motores M3 y M4. El sensor 5 (S5) se encuentra detectando permanentemente el suelo, por lo que envía un pulso en baja por su pin de salida. Cuando el sensor se encuentra a una altura mayor a la que estaba anteriormente respecto del nivel del piso (mayor a 10 cm según la programación) envía una señal en alta por su salida, indicando de ese modo la presencia de un desnivel.

3.6.1 Diagrama de flujo del programa a desarrollar en el microcontrolador de la etapa de procesamiento de señales



La modulación del ciclo de trabajo se realizará utilizando el Timer2 del microcontrolador ATmega8 operando en modo PWM. Los valores asignados al registro OCR2, encargado de brindar los ciclos de trabajo de las señales de salida, se obtuvieron a partir de las siguientes fórmulas: [31] Con lo que respecta a la detección de desniveles, el diagrama es semejante tomando en cuenta los valores requeridos en la tabla de estado correspondiente. Los códigos de los programas están ubicados en el anexo 3.

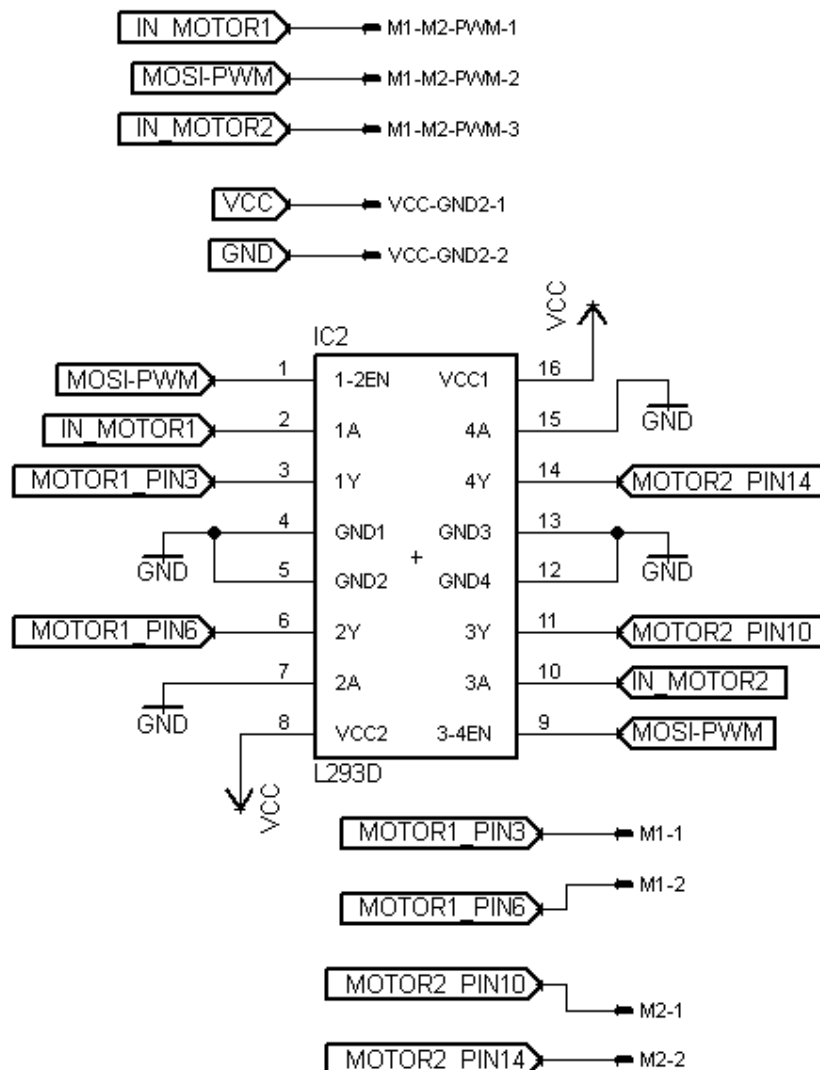
$$\text{Frecuencia}_{\text{PWM}} = \frac{\text{Frecuencia}_{\text{clock}}}{\text{Preescalabr} \times 256} - 1 \tag{7}$$

$$\text{OCR2} = \frac{\text{Periodo}_{\text{PWM}} \times \text{Frecuencia}_{\text{clock}} \times \text{Ciclo de trabajo}}{\text{Preescalabr}} \tag{8}$$

Donde:

- El Preescalador utilizado es el Módulo 32.

3.6.2 Circuito esquemático la etapa de interfaz de usuario



Las señales de la etapa de procesamiento enviadas por los pines PC0 y PC1 corresponden al estado que determina el funcionamiento de los motores como se

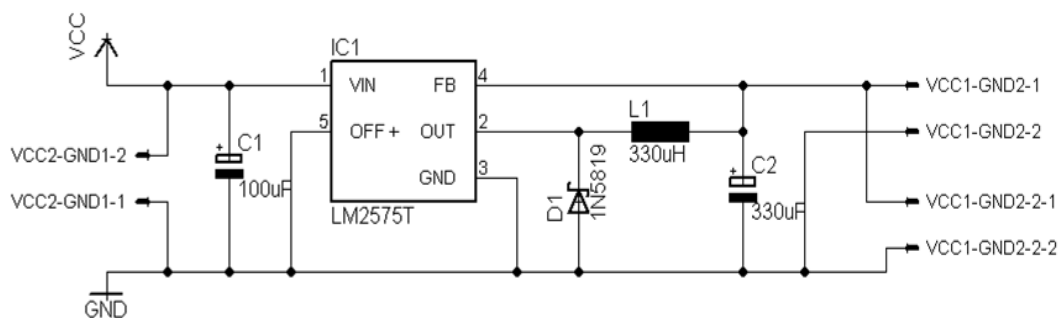
mencionó anteriormente. El pin PB3 y el pin PB9 (MOSI-PWM) son utilizados para variar el ciclo de trabajo de los motores según un caso en particular. Estos 4 pines que contienen estas señales van conectados al controlador de motores L293D, el cual se encarga de brindar la corriente necesaria para activar los motores vibradores conectados en los pines: MOTOR_PIN3, MOTOR_PIN6, MOTOR_PIN10 Y MOTOR_PIN14.

Se decidió realizar el circuito de la etapa de procesamiento y la etapa de interfaz de usuario por separado para acoplar los circuitos al bastón de tal forma que ocupen el menor espacio posible.

Al igual que la etapa de procesamiento de señales, en la etapa de interfaz de usuario se utilizarán dos tarjetas, cada tarjeta se encargará de controlar el funcionamiento de dos motores.

3.7 Diseño de la etapa de regulación de voltaje

3.7.1 Circuito esquemático de la etapa de regulación de voltaje



El circuito mostrado corresponde al regulador LM2575, el cual permite la alimentación de todos los circuitos y sensores a partir de una alimentación de 9V. La conexión se realizó según la hoja de datos del integrado.

CAPÍTULO 4: Pruebas y resultados

Diseñadas las diversas etapas del dispositivo se procedió a simularlas con el software Proteus. Seguidamente se elaboraron las tarjetas electrónicas, realizando pruebas para cada etapa. Posteriormente las diversas partes fueron ensambladas en un tubo de aluminio de 16 mm (diámetro de un bastón para ciegos). Culminado el ensamblaje se desarrollaron ensayos con la finalidad de verificar si el dispositivo realizaba la detección de obstáculos y de desniveles apropiadamente. Finalmente se realizó pruebas con una persona invidente para analizar la funcionalidad del dispositivo implementado.

4.1 Simulación de etapas

4.1.1 Simulación de la etapa de detección

En la etapa de detección de objetos se procedió a enviar un pulso de $50\mu\text{s}$ para activar el sensor ultrasónico HC-SRF04, así como el periodo de esta señal. Para ello se utilizó el Timer1 del microcontrolador ATmega8. El registro OC1B es el encargado de enviar el pulso inicial para el funcionamiento del sensor y el registro ICR1 se utiliza para asignar el periodo de la señal.

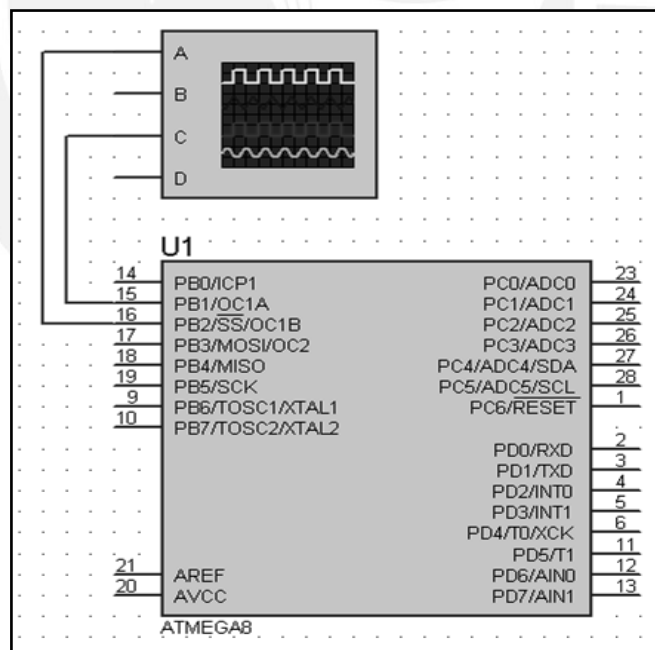


Gráfico 31. Simulación de la etapa de detección.

Seguidamente se analizaron los registros OC1B e ICR1. Se cargó el programa desarrollado en el software de programación VMLAB y se conectó PB2 (OC1B) en el terminal del osciloscopio A. Las señales que se muestran corresponden al pulso inicial de $50\mu\text{s}$ que activa al sensor ultrasónico y a su periodo.

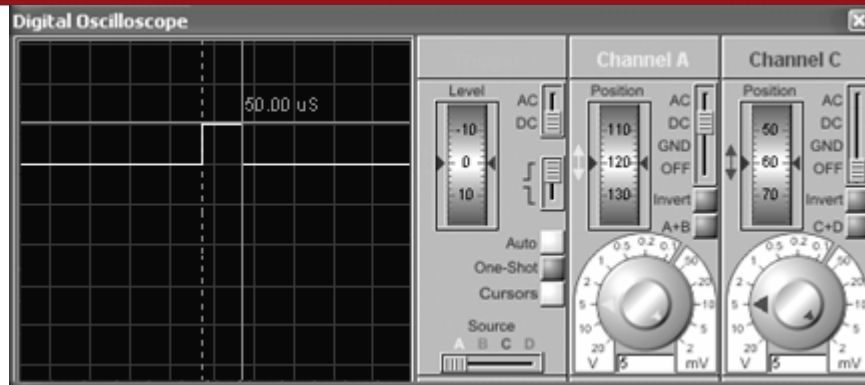


Gráfico 32. Pulso inicial para el funcionamiento del sensor ultrasónico.

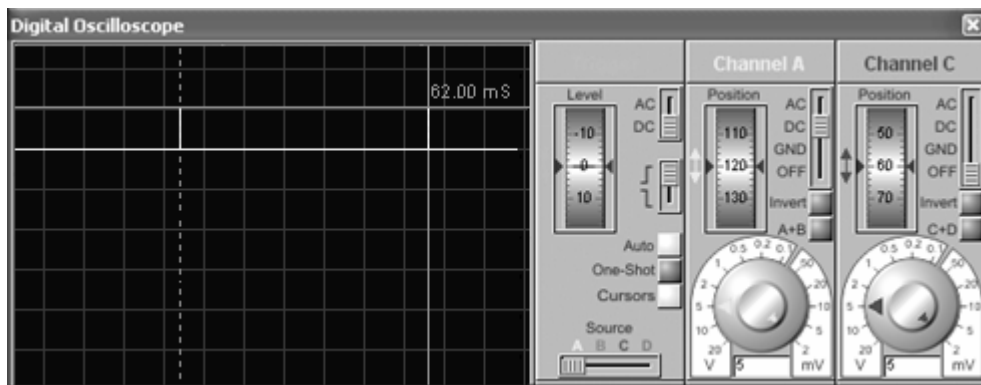


Gráfico 33. Periodo de la señal de impulso inicial.

4.1.2 Simulación de la etapa de procesamiento de señales

Utilizando el circuito del gráfico 31 se procedió a observar la señal en el pin PB1 correspondiente al registro OC1A, para ello se conectó dicho pin al terminal C del osciloscopio. La señal mostrada corresponde al tiempo T en el cual se analiza el estado del pin de salida del sensor y se determina si este ha detectado algún objeto. En el gráfico se observa un tiempo de 7ms que corresponde a una distancia aproximada de 120 cm.

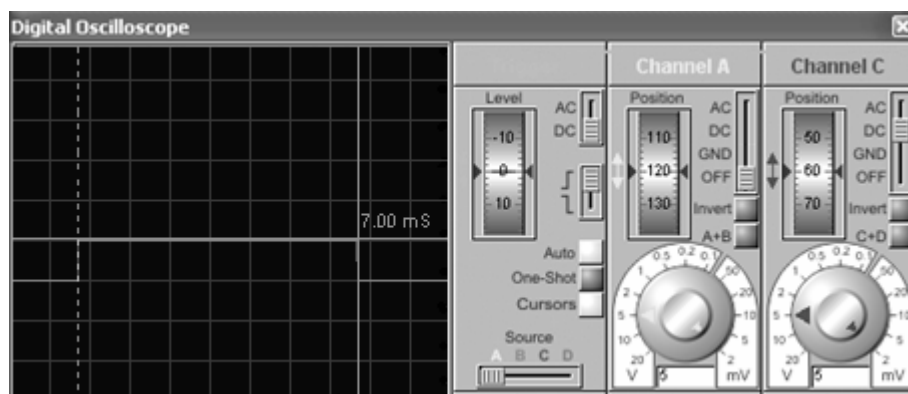


Gráfico 34. Tiempo en que se monitorea el estado del pin de salida Echo del sensor ultrasónico para determinar la presencia de un objeto.

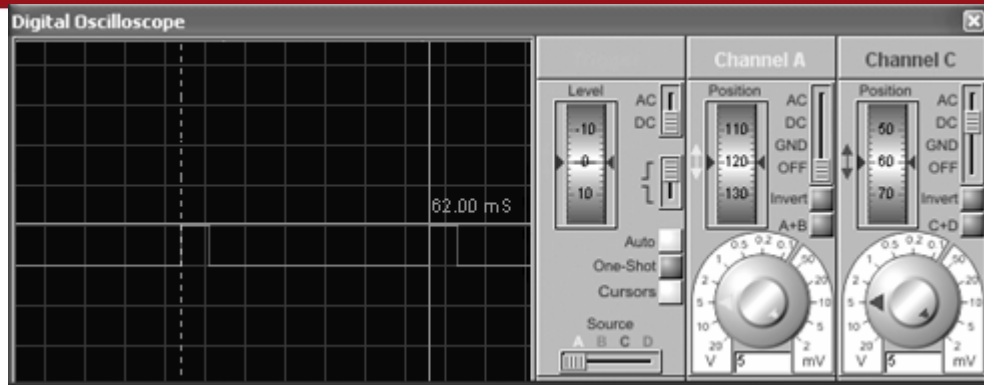


Gráfico 35. Periodo de la señal de monitoreo.

La etapa de procesamiento de señales consiste en recibir las señales de los sensores ultrasónicos y determinar si se detectó algún obstáculo. Estas señales son enviadas hacia los pines programados como entradas del microcontrolador ATmega8, los cuales son el pin 0, el pin 1 y el pin 2 correspondientes al puerto D (PD0, PD1, PD2)

De recibir una señal que indique la presencia de un obstáculo se enviará a través de los pines de salida del microcontrolador una señal en alta que será utilizada en la etapa de interfaz de usuario y que activará los motores vibradores para advertir a la persona ciega de este evento. Los pines de salida son el pin 0 y el pin 1 del puerto C. (PC0, PC1)

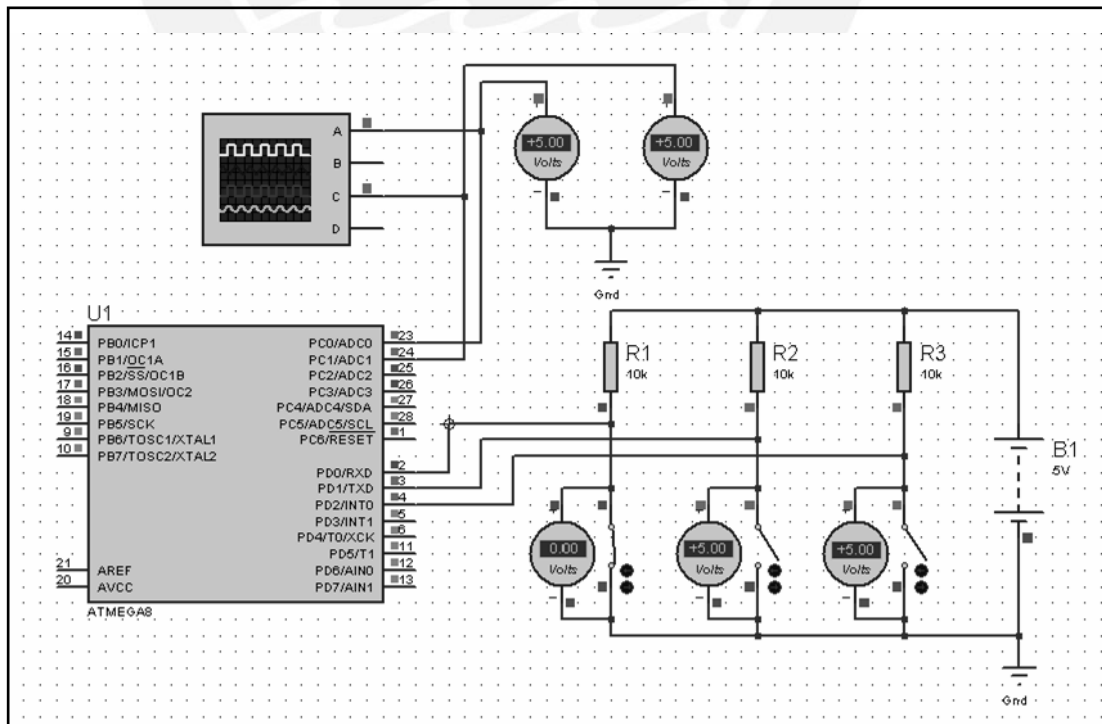


Gráfico 36. Simulación de la etapa de procesamiento de señales.

La parte conformada por una resistencia y un pulsador representan a un sensor ultrasónico. En este caso, se está representando los tres sensores. Cuando el interruptor está abierto, se envía a un pin de entrada del microcontrolador un "1" lógico, que son 5 voltios, esto significa que el sensor no ha detectado ningún objeto. Caso contrario se enviará un "0" lógico, 0 voltios.

En el gráfico 36 se puede observar que dos interruptores se encuentran abiertos y uno cerrado. Este último envía 0 voltios a uno de los pines de entrada del ATmega8 (PD0) lo que representa la presencia de un objeto, generando una salida en alta en los pines PC0 y PC1.

Los pines de salida que serán enviados a la etapa de interfaz de usuario se encuentran conectados al osciloscopio. El pin PC0 y el pin PC1 están conectados a los pines A y C respectivamente.

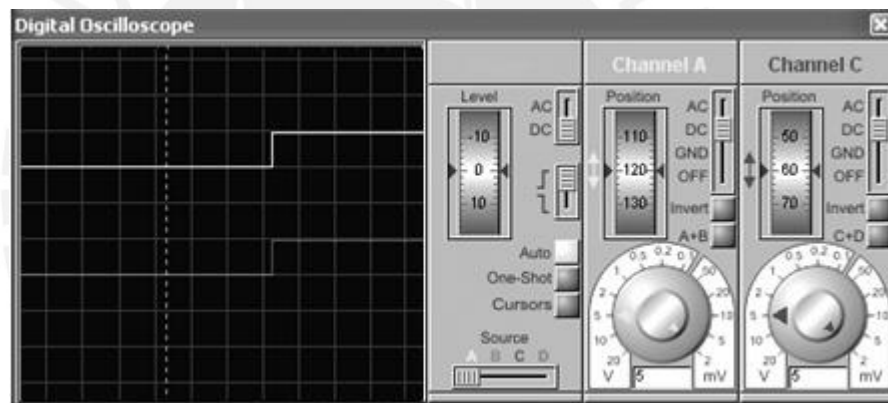


Gráfico 37. Señales de los pines de salida del ATmega8, PC0 y PC1, ante la detección de un objeto captado por el sensor ultrasónico.

La simulación correspondiente a la detección de desniveles es similar a la realizada, la diferencia radica en los estados de las salidas (PC0 y PC1) que se determinaron para cada caso en la tabla de estados mostrada en el capítulo 3.

4.1.3 Simulación de la etapa de interfaz de usuario

Procesada la señal, se deben activar los motores vibradores según los estados de los pines de salida PC0 y PC1. Por lo tanto se utiliza el controlador de motores L293D.

La variación de la intensidad de vibración de los motores se realiza a través del pin PB3 (OC2) utilizando el Timer2. Este pin se conecta a los pines Enable correspondientes al controlador de motores.

Para el caso de la detección de obstáculos, las intensidades son del 45%, 35% y 25% del ciclo de trabajo según la altura a la que se detecte. Por otro lado, para la detección de desniveles la intensidad de vibración es de 45%.

En el siguiente circuito se muestran las conexiones realizadas entre el microcontrolador ATmega8 y el controlador de motores L293D. Los diodos emisores de luz mostrados representan a los motores vibradores.

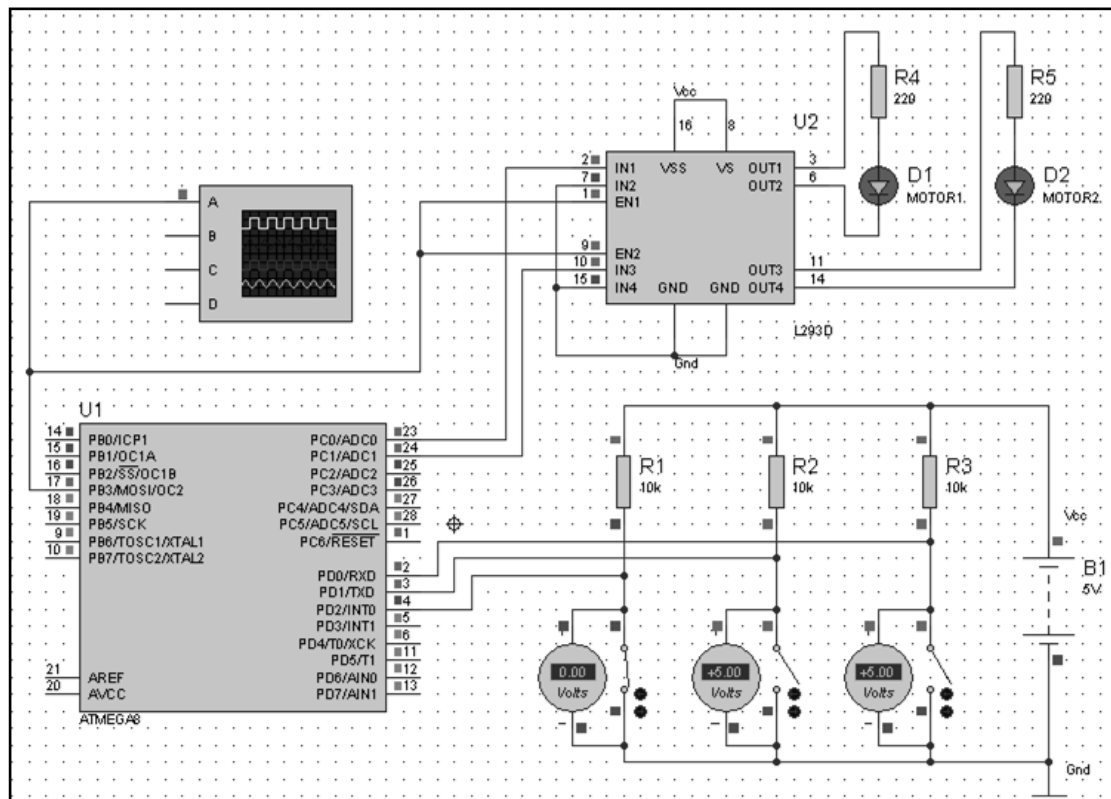


Gráfico 38. Simulación de la etapa interfaz de usuario.

En los siguientes gráficos se observa la señal enviada por el pin PB3 (OC2) en las diferentes situaciones que puedan presentarse.

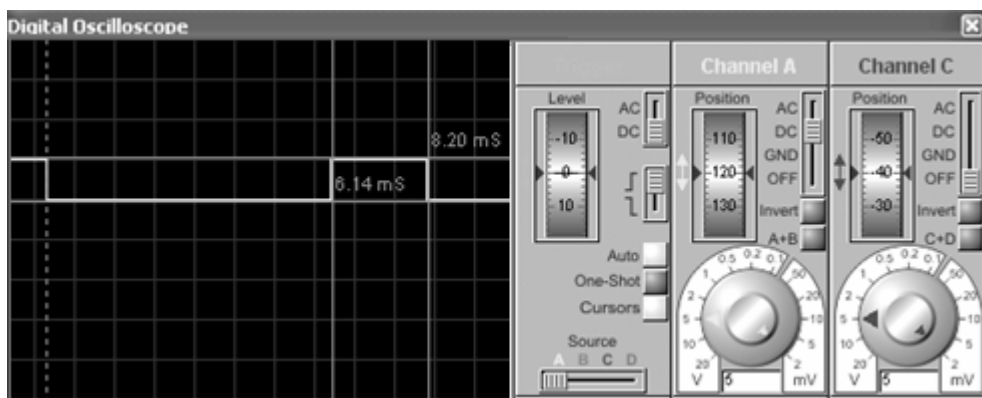


Gráfico 39. Situación al detectarse un obstáculo en la parte baja, DC = 25%.

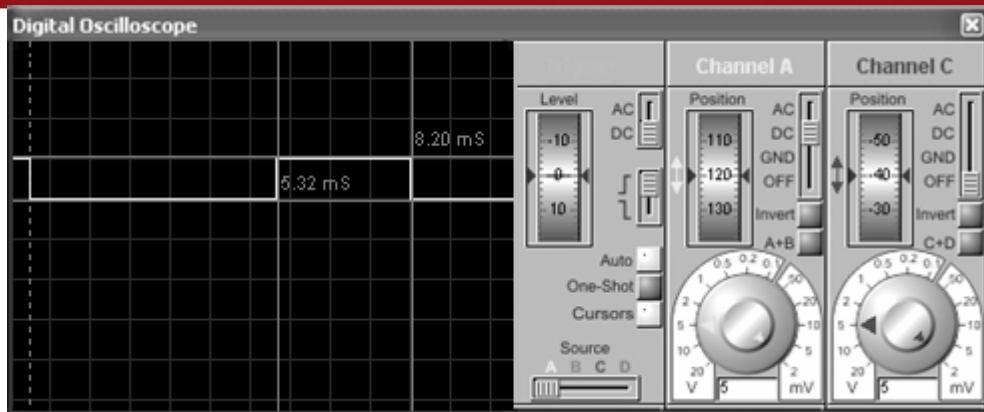


Gráfico 40. Situación al detectarse un obstáculo en la parte media, DC = 35%.

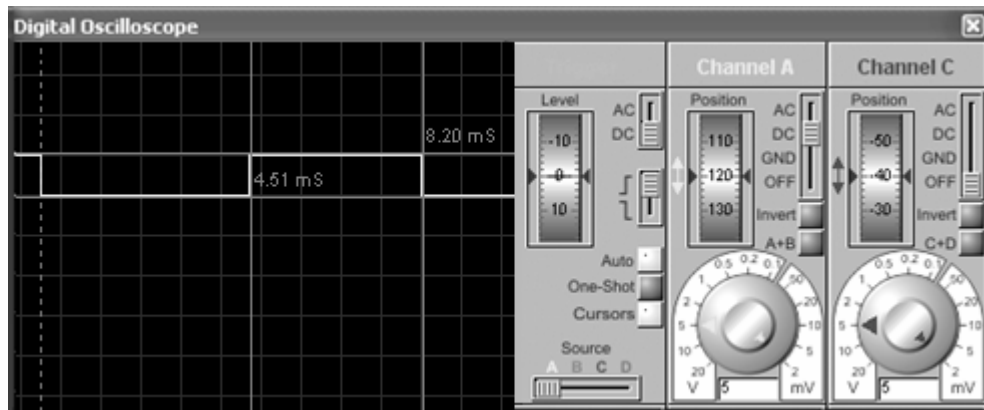


Gráfico 41. Situación al detectarse un obstáculo en la parte alta así como para la detección de desniveles, DC = 45%.

4.2 Pruebas de las etapas

Realizadas las simulaciones de cada etapa se procedió a materializar y a hacer las pruebas de las diversas tarjetas requeridas para el diseño del dispositivo, esta información puede ser revisada en los anexo 1 y 2. A continuación se muestra de manera resumida los valores obtenidos en las diversas mediciones realizadas.

Tabla 13. Valores de tensión obtenidos durante las mediciones. Los niveles de tensión corresponden a la intensidad de vibración de los motores para los diferentes casos.

Situación	Tensión obtenida (V)
Detección de objetos en la parte baja (DC 25%)	2,09
Detección de objetos en la parte media (DC 35%)	2,61
Detección de objetos en la parte alta (DC 45%)	3,00
Detección de una grada (DC 45%)	3,11
Detección de un desnivel (DC 45%)	3,11

4.3 Pruebas del dispositivo

Posteriormente se ensambló el dispositivo electrónico para personas ciegas.



Gráfico 42. Prototipo del dispositivo electrónico para personas ciegas implementado.

Las diversas partes fueron ensambladas en un tubo de aluminio de 16 mm de diámetro, medida similar a la de un bastón para ciegos, se decidió utilizar el tubo de aluminio con la finalidad de abaratar costos.

Tabla 14. Principales características del dispositivo electrónico

Características Principales	
Longitud	1, 20 m
Peso	1,55 Kg
Consumo	1,1 Wh
Tiempo de detección (retardo)	62 ms

El bastón se encuentra alimentado por dos baterías recargables de 9V de 250 mA conectadas en paralelo, lo que proporciona teóricamente 4,5 Wh. La corriente, a la salida del regulador de 5V, demandado por el dispositivo es de 220 mA (con los motores en funcionamiento) produciendo un consumo de 1,1 Wh. Por tanto, el bastón electrónico implementado tendría un lapso de funcionamiento continuo de 4 horas aproximadamente. Pasado dicho tiempo las baterías utilizadas necesitarían ser recargadas. El tiempo de uso de 4 horas se cree conveniente para las personas invidentes durante el día ya que en ocasiones estas se encuentran acompañadas de personas videntes que les pueden servir de guías. Sin embargo, de no ser suficiente dicho tiempo, podría agregarse una batería más, teniendo en cuenta que esto

aumentaría el peso del dispositivo. Otra opción es utilizar una batería de mayor amperaje. Respecto al tiempo de detección, una persona camina aproximadamente a 1 m/s lo que produciría un margen de error de 6,2 cm. De tratarse de una persona con ceguera su andar, utilizando un bastón blanco es de alrededor de 0,75 m/s produciendo un error de 4,65 cm en la detección del rango del bastón.

El dispositivo cuenta con dos tipos de detección: en la parte superior del bastón se ubican tres sensores ultrasónicos encargados de detectar objetos que se sitúen en la parte frontal del usuario; en la parte inferior, se encuentran dos sensores ultrasónicos empleados para detectar desniveles. Los motores están ubicados en el mango del bastón, los motores empleados tanto para la detección de objetos como para la detección de desniveles se encuentran en lados opuestos (adelante y atrás del mango).



Gráfico 43. Vista frontal de la parte encargada de la detección de objetos.



Gráfico 44. Vista lateral de la parte encargada de la detección de objetos.



Gráfico 45. Vista frontal de la parte encargada de la detección de desniveles.



Gráfico 46. Parte encargada de la detección de desniveles vista desde abajo.

Se procedió a realizar las diferentes pruebas para observar si el dispositivo implementado era capaz de detectar tanto a los objetos ubicados delante de este así como las gradas y desniveles. En el Anexo 4 se encuentra la información correspondiente a los ensayos realizados. En la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos de las pruebas.

Tabla 15. Pruebas realizadas con el dispositivo

Prueba	Resultado
Detección de objetos a una altura baja (al nivel del suelo)	OK
Detección de objetos a una altura media (a 90 cm de altura)	OK
Detección de objetos a una altura alta (a 155 cm de altura)	OK
Detección de una grada	OK
Detección de un desnivel	OK

El objetivo primordial es poder prevenir a la persona de la presencia de algún objeto dentro del rango de detección del bastón electrónico y que a su vez disponga de un tiempo para evadir dicho obstáculo. Asimismo se realizó un video (ver anexo 6) donde se muestra la detección del bastón frente a diferentes objetos.

4.3 Pruebas de uso

Finalizadas las pruebas anteriores, se procedió a realizar nuevos ensayos con el bastón electrónico, esta vez con una persona invidente. La finalidad era la de evaluar el funcionamiento del bastón electrónico para ciegos y la interacción de la persona con este.



Gráfico 47. Evasión de obstáculos con el bastón electrónico

Antes de comenzar con las pruebas, se realizó un entrenamiento en un pasaje. La finalidad era que la persona, un joven estudiante de 1,75 metros de altura, se vaya

adaptando al uso del dispositivo electrónico. Posteriormente, se realizó la primera prueba. Esta consistía en evaluar el desempeño del bastón blanco utilizado por la persona con respecto al dispositivo electrónico implementado. Es decir con cuál de estas dos herramientas podía desplazarse a una mayor velocidad. Esta prueba se realizó en un gimnasio de rehabilitación, utilizando un área de 55 m² aproximadamente para los diferentes ensayos. Los obstáculos utilizados fueron cojines propios del lugar. Estos se ubicaron en el área de trabajo y se pidió a la persona que atravesase el escenario armado, para ello se realizaron tres ensayos. La posición de los obstáculos se mantuvo a lo largo de la prueba 1, la velocidad a la que la persona se desplazaba utilizando el bastón electrónico iba mejorando en cada ensayo. De lo observado se presumía que la persona recordaba la posición de los objetos. Por tanto, se procedió a realizar una segunda prueba.

Tabla 16. Resultados del recorrido sin variar la posición de los obstáculos. Los valores mostrados corresponden a la velocidad a la que se desplaza la persona invidente.

Ensayo	Bastón blanco	Bastón electrónico
	Velocidad (m/s)	Velocidad (m/s)
1	0,64	0,39
2	0,69	0,51
3	0,78	0,75

En la segunda prueba la posición de los obstáculos se irían modificando en cada ensayo, la finalidad era de evitar que la persona pueda recordar la ubicación de los objetos.

Tabla 17. Resultados del recorrido variando la posición de los obstáculos. Los valores mostrados corresponden a la velocidad a la que se desplaza la persona invidente.

Ensayo	Bastón blanco		Bastón electrónico	
	Tiempo (s)	Velocidad (m/s)	Tiempo (s)	Velocidad (m/s)
1	17,6	0,71	27,0	0,46
2	20,0	0,68	27,0	0,50
3	17,9	0,74	21,0	0,60

Finalmente se realizó una tercera y última prueba en una pequeña plaza, en donde había algunos pequeños muros y escaleras. La velocidad a la que se desplazó la persona en dicha prueba fue de 0,56 m/s aproximadamente.

En el anexo 5 se encuentra información más detallada de las diferentes pruebas realizadas a la persona invidente. Asimismo, en el anexo 6 se pueden ver videos de algunas de las pruebas.

4.4 Costos del proyecto

Tabla 18. Valores correspondientes a los costos del proyecto

Descripción	Precio (Soles)
Sensor ultrasónico (5)	100
ATmega8 (2)	16
Controlador L293D (2)	8
Motor vibrador(4)	20
Componentes electrónicos	100
Otros	100
Batería recargable (2)	30
Cargador de batería	15
Costo de diseño (250 horas)	5000
Computadora (250 horas)	500
Total (Soles)	5889

El costo total del proyecto es de 5 889.00 nuevos soles, de los cuales 5 500.00 nuevos soles corresponden a costos de diseño del dispositivo. Si se proyectase un costo por unidad asumiendo una producción en serie, el precio del bastón para ciegos implementado se determinaría según el número de personas que lo demande de la siguiente manera:

$$\text{Costos de componentes} + \frac{\text{Costos de diseño}}{\text{Número de dispositivos}} = \text{Precio del bastón} \quad (9)$$

Asumiendo una demanda de 1000 dispositivos de una población total de 800 000 personas ciegas en el país se obtiene:

$$389 + \frac{5500}{1000} = 394.5$$

Por tanto, el precio por unidad del dispositivo implementado, para los valores asumidos, sería de 394.50 nuevos soles.

CONCLUSIONES

1. A partir de los resultados obtenidos se puede concluir que el dispositivo de ayuda de desplazamiento para personas ciegas desarrollado, es capaz de detectar objetos sin necesidad de hacer contacto con estos tal como los productos comerciales para ciegos empleados para este fin, cuyo valor puede oscilar entre 420.00 y 1295.00 dólares. La distancia máxima de detección del dispositivo implementado es de 150 centímetros.
2. Asimismo se lograron detectar desniveles. La detección de desniveles no lo realiza ninguno de los dispositivos comerciales mencionados en el presente estudio. Este tipo de detección surge a partir de la incursión por la detección de obstáculos más complejos en el andar de una persona ciega.
3. Realizadas las prueba con una persona invidente se pudo llegar a concluir que el dispositivo implementado podría ser utilizado como herramienta de desplazamiento para personas invidentes, siendo este aún un prototipo que aún puede ser mejorado. (ver anexo 4)
4. Se observó que la distancia de detección de obstáculos a la cual se debía elaborar el código de programación según la información teórica obtenida difería respecto al valor de la distancia real. Mientras mayor sea el valor de la distancia deseada habrá una mayor similitud con respecto a la distancia real obtenida. Para la detección de objetos se programó a una distancia teórica de 155 centímetros mientras que para la detección de desniveles a una distancia de 18 centímetros (ver anexo 1).
5. Ambos tipos de detección presentan limitaciones. El sensor ultrasónico necesita captar la señal ultrasónica que este emite para determinar si se ha detectado algún obstáculo. Los sensores ultrasónicos empleados no tienen problema alguno ante superficies regulares y duras. Sin embargo, ante cuerpos blandos, en los cuales la onda ultrasónica no puede ser reflejada, o cuerpos con formas irregulares, donde la señal podría desviarse y no ser captada por el sensor, probablemente existan errores de detección.
6. Como resumen general, el dispositivo implementado ha cumplido con el propósito esencial que es detectar objetos a distancia, a un bajo costo y a un simple manejo.

RECOMENDACIONES

1. El ángulo de detección de los sensores ultrasónicos es fundamental ya que esto conllevará a una detección exitosa.
2. Para mejorar el sistema de detección, podrían utilizarse un número mayor de sensores ultrasónicos. Al aumentarse el número de sensores se estará ampliando el área de detección, aunque demandaría más energía y costos.
3. Los valores del ciclo de trabajo, correspondientes a la etapa de interfaz de usuario, no deben de superar el 45%. Con este valor se obtiene una tensión de salida de 3,11V y el motor vibrador tiene una tensión de funcionamiento máxima de 3,5V. Esto tiene como finalidad no exigir demasiado a los motores vibradores empleados. De requerirse una alerta con mayor vibración podría utilizarse algún otro motor. El voltaje máximo con que podría funcionar este es de 5V.
4. Durante las pruebas realizadas con la persona invidente, la variación en la intensidad de vibración no fue tan perceptible, por lo que a la persona solo le bastaba con recibir la información mediante la vibración para evadir los obstáculos.
5. Adicionalmente, el principal problema en las pruebas con la persona fue el peso del bastón (1,55 Kg). Tomando en cuenta que el bastón blanco más liviano (300 g). El material utilizado, en su mayoría, para la elaboración del dispositivo fue el aluminio, podría emplearse otro tipo de material con la finalidad de disminuir el peso. Asimismo una mejora en el diseño, referido a la distribución de los componentes en el bastón, podría dar como resultado un dispositivo más liviano y ergonómico del que actualmente se presenta. Esto conllevaría a que la persona que lo utilice tenga un mejor desempeño en su desplazamiento.
6. La finalidad del presente trabajo fue buscar nuevas alternativas tecnológicas para personas con deficiencia visual, así como despertar el interés para el desarrollo de nuevos proyectos, que ayuden a mejorar la interacción de la persona ciega con su entorno. Se espera que el proyecto desarrollado pueda servir como referencia y ser mejorado. En él solo se abordaron dos problemas: la detección de obstáculos y desniveles quedando pendiente varios problemas aún por resolver.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] SUÁREZ ESCUDERO, Juan Camilo
2011 *Discapacidad visual y ceguera en el adulto: revisión de tema. Medicina UPB*, Julio - Diciembre, 170-180.
- [2] WORLD HEALTH ORGANIZATION
2012 *Global Data On Visual Impairments 2010*. Consulta: 15 de enero de 2014.
<<http://www.who.int/blindness/GLOBALDATAFINALforweb.pdf?ua=1>>
- [3] INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA E INFORMÁTICA, INEI
2013 *Primera Encuesta Nacional Especializada Sobre Discapacidad*. Consulta: 16 de enero de 2014.
<<http://www.conadisperu.gob.pe/images/MIMP/Resultados-Encuesta-Nacional-2012.pdf>>
- [4] ORGANIZACIÓN NACIONAL DE CIEGOS ESPAÑOLES
2012 *Discapacidad visual*. Consulta: 27 de Septiembre de 2013.
<<http://www.once.es/appdocumentos/once/prod/5206%20Notas%20y%20Comentarios1.doc>>
- [5] DAE SHIK Kim, Emerson ROBERT WALL y Amy CURTIS
2009 *Drop-off Detection with the Long Cane: Effects of Different Cane Techniques on Performance*. *Journal of Visual Impairment & Blindness*. Volumen 103, número 9, p 519-530.
- [6] ULRICH I. y J. BORENSTEIN
2001 *The Guide Cane – Applying Mobile Robot Technologies to Assist the Visually Impaired*. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part A: Systems and Humans*. Volumen 31, número 2, p.131-136.
- [7] SHRIVASTAVA A., A. VERMA, y S. SINGH
2010 *Distance Measurement of an object or obstacle by ultrasound sensors using P89C51RD2*. *International Journal of Computer Theory and Engineering*. Volumen 2.
- [8] GARCÍA MORENO, Emilio
1999 *Automatización de procesos industriales: robótica y automática*. España: Universidad Politécnica de Valencia Servicio de Publicación, p. 142-144. Consulta: 17 de enero de 2014
<http://books.google.com.pe/books?id=TVM-1QoZmuAC&hl=es&source=gbs_navlinks_s>
- [9] ROHM SEMICONDUCTORS
2011 *Optical Sensors*. Consulta 19 de enero de 2014.
<<http://www.rohm.com/documents/11308/12928/ROHM-PO-WP.pdf>>
- [10] ABD WAHAB M, TALIB A, MUTALIB A y otros
2011 *Smart Cane: Assistive Cane for Visually-impaired People*. *International Journal Of Computer Science Issues (IJCSI)*. Volumen 8, número 4, p 21-27.

- [11] ULTRASONIC RANGING MODULE HC - SR04
 2011 *Datasheet*. Consulta: 10 de enero de 2014
 <[http://www.accudiy.com/download/HC SR04_Manual.pdf](http://www.accudiy.com/download/HC_SR04_Manual.pdf)>
- [12] JOHNSON Richard y COTTON Samuel
 2008 *Electronic Sensors: Making the Connection*. Technology Teacher.
 Volumen 67, número 8, p 5-9.
- [13] MICRONICS
Sensores Ultrasónicos. Consulta: 10 de enero de 2014.
 <<http://www.microsonic.de/es/Interesting-facts/Ultrasonic-principle.htm>>
- [14] PARALLAX INC
 2009 *PING)))™ Ultrasonic Distance Sensor (#28015) Datasheet*.
 Consulta: 10 de enero de 2014.
 <<http://www.parallax.com/sites/default/files/downloads/28015-PING-Documentation-v1.6.pdf>>
- [15] ROCKWELL AUTOMATION/ ALLEN BRANDLEY
 2000 *Fundamentos del sensado o detección de presencia*. Consulta: 21
 de enero de 2014.
 <<http://es.scribd.com/doc/235027414/Fundamentos-de-sensado-de-Rockwell-Automation-Allen-Bradley-pdf>>
- [16] VALDÉS PÉREZ, Fernando y Ramón PALLÁS ARENY
 2007 *Microcontroladores: Fundamentos y aplicaciones con PIC*. Barcelona:
 Marcombo, p .12. Consulta: 28 de Septiembre de 2013.
 <books.google.com.pe/books?id=ODenKGOHMRkC&hl=es>
- [17] GEARHART Chris, Alex HEROLD, Brian SELF, BIRDSONG Charles,
 SLIVOVSKY Lynne
 2009 *Use of ultrasonic sensors in the development of an Electronic Travel
 Aid*. Sensors Applications Symposium, SAS 2009, IEEE, p.275-280.
- [18] DEBNATH N., HAILANI, Z.A., JAMALUDIN, S. y ALJUNID, S.A.K.
 2001 *An electronically guided walking stick*. Engineering in Medicine and
 Biology Society. Annual International Conference of the IEEE.
- [19] WILSON Jerry D. y Anthony J BUFFA
 2003 *Física*. Quinta Edición. México: Pearson Educación, p. 479. Consulta:
 28 de Septiembre de 2013.
 <books.google.com.pe/books?isbn=9702604257>
- [20] ULTRACANE
 2011 Consulta: 25 de Septiembre 2012. <<http://www.ultracane.com/>>
- [21] BAY ADVANCED TECHNOLOGIES LTD
 2006 *K-Sonar*. Consulta: 25 de Septiembre de 2013.
 <<http://www.ksonar.com/spanish/index.php> >

- [22] TIFLOTECNIA
2012 *HandGuide*. Consulta: 25 de Septiembre de 2013.
<<http://www.tiflotecnia.com/produtos/mobilidade/mobilidade.html>>
- [23] PRIMPO
2010 *iSONIC*. Consulta: 25 de Septiembre de 2013.
<<http://www.primpo.com/eng/products/isonic.html>>
- [24] VISTAC
2012 *Laser Long Cane*. Consulta: 25 de Septiembre de 2013.
<http://www.vistac.com/Alt/LLc_gb/VISTAC_Laser_Long_Cane.htm>
- [25] CUCHO Zenón, ORIHUELA Freri, SÁNCHEZ Rolando, RODRIGUEZ Laureano.
2007 *Microcontroladores, Atmega8*. Pontificia Universidad Católica del Perú, Facultad de Ciencias e Ingeniería, Sección de electricidad y electrónica.
- [26] VMLAB FOR AVR MICROCONTROLLERS
Consulta: 1 de febrero de 2014.
<<http://www.amctools.com/vmlab.htm>>
- [27] L293
Datasheet. Consulta: 8 de febrero del 2014.
<<http://pdf.datasheetcatalog.com/datasheet/texasinstruments/l293.pdf>>
- [28] MOTOR VIBRADOR Z4TH7B
Consulta: 11 de febrero de 2014.
<<http://www.endrich.com/es/56829/z4th7b>>
- [29] LM2575-5V
Datasheet. Consulta: 06 de febrero de 2014.
<<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm2575.pdf>>
- [30] COLLAGUAZO, Sandra
2012 *Implementación de un sistema de frenado automático progresivo para prevenir colisiones frontales y posteriores en un vehículo liviano dentro de la ciudad de Quito*. Ecuador: Universidad Tecnológica Equinoccial. p. 53. Consulta: 17 de enero de 2014
<http://repositorio.ute.edu.ec/bitstream/123456789/16377/1/53115_1.pdf>
- [31] ATMEL ATMEGA 8
Datasheet. Consulta: 01 de febrero de 2014.
<http://www.atmel.com/images/atmel-2486-8-bit-avr-microcontroller-atmega8_l_datasheet.pdf>
- [32] TORRES, Fabiola
2009 “No tienen trabajo siete de cada 10 discapacitados”. El comercio. Lima. Consulta: 17 de enero de 2014.
<<http://elcomercio.pe/lima/ciudad/no-tienen-trabajo-siete-cada-10-discapacitados-noticia-281631>>

- [33] ROCKWELL AUTOMATION
Sensor fotoeléctrico LaserSight™ de 18 mm. Recuperado de
<http://ab.rockwellautomation.com/es/Sensors-Switches/Laser-Sensors/42CM-LaserSight-Laser-Sensors>
- [34] PARALLAX INC
2009 *PING)))™ Ultrasonic Distance Sensor (#28015) Datasheet.*
Recuperado de
<http://www.parallax.com/sites/default/files/downloads/28015-PING-Detect-Distance.pdf>
- [35] ZONA CIEGA SENSOR ULTRASÓNICO
Recuperado de
http://galia.fc.uaslp.mx/~cantocar/automatas/APUNTES_CURSO/CAPITUL8.PDF
- [36] GUINECANE
Recuperado de <http://www.cs.cmu.edu/~iwan/papers/guidecane.pdf>
- [37] ULTRACANE
Recuperado de
<http://ultracane.com/download/UltraCane%20User%20Guide%20V1.6%20Jan2012-2.html>
- [38] K-SONAR
Recuperado de <http://www.ksonar.com/spanish/index.php>
- [39] HAND GUIDE
Recuperado de
http://www.tiflotecnia.com/produtos/fichas_tecnicas/ft_handguide.pdf
- [40] ISONIC
Recuperado de <http://www.primpo.com/eng/products/isonic.html>
- [41] LONG LASER CANE
Recuperado de
http://www.dlf-data.org.uk/product.php?product_id=0106676