



**ESPE**

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA  
ENERGÍA Y MECÁNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA**

**TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN  
DEL TÍTULO DE INGENIERA EN MECATRÓNICA**

**TEMA: INVESTIGACIÓN DE UN SISTEMA  
ELECTRÓNICO CON DETECCIÓN DE OBSTÁCULOS  
PARA PERSONAS NO VIDENTES**

**AUTORA: MARÍA CRISTINA LOAYZA JARAMILLO**

**DIRECTORA: ING. PATRICIA NATALY CONSTANTE  
PRÓCEL**

**LATACUNGA**

**2016**



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA**

**CERTIFICACIÓN**

Certifico que el trabajo de titulación, “**INVESTIGACIÓN DE UN SISTEMA ELECTRÓNICO CON DETECCIÓN DE OBSTÁCULOS PARA PERSONAS NO VIDENTES**” realizado por la señorita **MARÍA CRISTINA LOAYZA JARAMILLO**, ha sido revisado en su totalidad y analizado por el software anti-plagio, el mismo cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, por lo tanto me permito acreditarlo y autorizar a la señorita **MARÍA CRISTINA LOAYZA JARAMILLO** para que lo sustente públicamente.

**Latacunga, 23 de agosto del 2016**

Atentamente,



Ing. Patricia Constante  
**DIRECTORA DEL PROYECTO**



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA**

**AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD**

Yo, **MARÍA CRISTINA LOAYZA JARAMILLO**, con cédula de identidad N° 0706410230, declaro que este trabajo de titulación “**INVESTIGACIÓN DE UN SISTEMA ELECTRÓNICO CON DETECCIÓN DE OBSTÁCULOS PARA PERSONAS NO VIDENTES**” ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se ha respetado los derechos intelectuales de terceros considerándose en las citas bibliográficas.

Consecuentemente declaro que este trabajo es de mi autoría, en virtud de ello me declaro responsable del contenido, veracidad y alcance de la investigación mencionada.

**Latacunga, 23 de agosto del 2016**

---

MARÍA CRISTINA LOAYZA JARAMILLO

C.C. 0706410230



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA**

**AUTORIZACIÓN**

Yo, **MARÍA CRISTINA LOAYZA JARAMILLO**, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar en la biblioteca Virtual de la institución el presente trabajo de titulación **“INVESTIGACIÓN DE UN SISTEMA ELECTRÓNICO CON DETECCIÓN DE OBSTÁCULOS PARA PERSONAS NO VIDENTES”** cuyo contenido, ideas y criterios son de mi autoría y responsabilidad.

**Latacunga, 23 de agosto del 2016**

---

MARÍA CRISTINA LOAYZA JARAMILLO

C.C. 0706410230

## DEDICATORIA

A mis queridos padres Oswal Polibio y Mercy de Jesús, bases principales de mi vida, quienes con amor, sabiduría y templanza cimentaron en mí las bases sólidas de una formación humana, que con la bendición de Dios me permitirán vivir a plenitud la vida.

A mis hermanos Karen y César, con quienes nos hemos venido apoyando mutuamente en el alcance de nuestros objetivos.

A la Familia Pichucho Duque, que me acogieron como una hija, brindándome el calor familiar.

En general a toda mi familia que de una u otra forma han guiado y acompañado mis pasos, aunque no siempre de manera física, pero sí en sus oraciones.

María Cristina Loayza Jaramillo

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios, mi Padre Celestial, que me ha regalado el don de la vida, con su amor y misericordia, ha guiado mis pasos, y en los problemas me ha infundido de fortaleza para levantarme y seguir adelante.

Al Programa “Plan de Contingencia”, que me permitió continuar los estudios universitarios en esta Alma Máter de excelencia académica.

A cada uno de los docentes que durante mi carrera universitaria tuve la oportunidad de conocer, y de quienes he recibido bases para una sólida formación académica, de manera especial a la Ingeniera Patricia Constante Prócel, Tutora de mi Trabajo de Titulación, que me acompañó y guió en el desarrollo del mismo, y al Doctor Oscar Chang, Colaborador Científico en el presente trabajo.

A mi familia y amigos en general.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>CARÁTULA</b> .....	<b>i</b>
<b>CERTIFICACIÓN</b> .....	<b>ii</b>
<b>AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD</b> .....	<b>iii</b>
<b>AUTORIZACIÓN</b> .....	<b>iv</b>
<b>DEDICATORIA</b> .....	<b>v</b>
<b>AGRADECIMIENTO</b> .....	<b>vi</b>
<b>ÍNDICE DE CONTENIDOS</b> .....	<b>vii</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	<b>xi</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>xiii</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>xvi</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>xvii</b>
<b>PRESENTACIÓN</b> .....	<b>xviii</b>

## CAPÍTULO I

<b>GENERALIDADES Y ESTADO DEL ARTE</b> .....	<b>1</b>
1.1. Introducción .....	1
1.2. Dispositivos desarrollados para personas con discapacidad visual .....	1
1.3. Concepto de personas no videntes .....	6
1.4. Tipos de discapacidad visual .....	6
1.4.1. Discapacidad visual, moderada y grave .....	6
1.4.2. Ceguera .....	7
1.5. Métodos de recepción de información de las personas no videntes .....	7
1.6. Tipos de sensores y actuadores .....	10
1.6.1. Medidores de distancia ultrasónicos .....	11
1.6.2. Servomotores .....	15
1.7. Procesamiento de información .....	16
1.7.1. Microcontroladores .....	17
1.7.2. Tarjetas de desarrollo .....	18
1.7.3. Software de programación .....	20
1.7.4. Software de simulación .....	22

## **CAPÍTULO II**

### **INVESTIGACIÓN, DISEÑO Y SELECCIÓN DE DISPOSITIVOS.....23**

2.1.	Parámetros de diseño. ....	23
2.2.	Selección del sensor medidor de distancia. ....	25
2.3.	Selección del código portador de información a emplear. ....	28
2.3.1.	Código proporcional .....	30
2.3.2.	Código binario .....	30
2.3.3.	Código analógico.....	31
2.4.	Selección del actuador. ....	32
2.5.	Selección de la tarjeta de control. ....	40
2.6.	Selección del modelo de ergonomía. ....	45
2.7.	Cálculo de consumo energético del dispositivo.....	50
2.8.	Diseño electrónico y de control del dispositivo.....	52
2.9.	Diseño del sistema mecánico del medidor de distancias. ....	59

## **CAPÍTULO III**

### **IMPLEMENTACIÓN Y MONTAJE DEL EQUIPO .....65**

3.1.	Desarrollo del sistema de comunicación del dispositivo detector.....	65
3.2.	Implementación del sistema electrónico del dispositivo. ....	66
3.3.	Construcción del sistema mecánico del dispositivo.....	72
3.4.	Montaje del dispositivo detector de obstáculos. ....	75

## **CAPÍTULO IV**

### **PRUEBAS Y RESULTADOS .....78**

4.1.	Pruebas de funcionamiento del sensor de distancia. ....	78
4.1.1.	Definición de los objetivos del ensayo de medición de distancia. ....	78
4.1.2.	Diseño del ensayo de medición de distancia.....	78
4.1.3.	Planificación del ensayo de medición de distancia.....	78
4.1.4.	Prototipo y banco de ensayo para la medición de distancia.....	79
4.1.5.	Interpretación y validación de los resultados del ensayo de medición de distancia.....	79



4.2.	Pruebas activación y detección de microservomotores.....	83
4.2.1.	Definición de los objetivos del ensayo de activación y detección de microservomotores.....	83
4.2.2.	Diseño del ensayo de detección de microservomotores. ....	83
4.2.3.	Planificación del ensayo de detección de microservomotores. ....	84
4.2.4.	Prototipo y banco de ensayo de detección de microservomotores. ...	84
4.2.5.	Interpretación y validación de los resultados del ensayo de detección de microservomotores.....	85
4.3.	Pruebas de funcionamiento total.....	86
4.3.1.	Definición de los objetivos del ensayo de respuesta de microservomotores.....	86
4.3.2.	Diseño del ensayo de respuesta de los microservomotores. ....	87
4.3.3.	Planificación del ensayo de respuestas de microservomotores. ....	87
4.3.4.	Prototipo y banco de ensayo de respuesta de microservomotores. ...	88
4.3.5.	Interpretación y validación de los resultados del ensayo. ....	88
4.4.	Pruebas con personas con discapacidad visual.....	91
4.4.1.	Definición de los objetivos del ensayo de uso de dispositivo en personas con discapacidad visual.....	91
4.4.2.	Diseño del ensayo de uso de dispositivo en personas con discapacidad visual. ....	91
4.4.3.	Planificación del ensayo de uso de dispositivo en personas con discapacidad visual. ....	91
4.4.4.	Prototipo y banco de ensayo de uso de dispositivo en personas con discapacidad visual.....	92
4.4.5.	Interpretación y validación de los resultados del ensayo de uso de dispositivo en personas con discapacidad visual. ....	93
4.5.	Validación de la hipótesis. ....	97
4.6.	Costos.....	98
 <b>CAPÍTULO V</b>		
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>		<b>100</b>
5.1.	Conclusiones.....	100

5.2. Recomendaciones.....	101
---------------------------	-----

<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>102</b>
---	------------

<b>GLOSARIO.....</b>	<b>109</b>
----------------------	------------

<b>ANEXOS.....</b>	<b>110</b>
--------------------	------------

**ANEXO A** Hojas de especificaciones y manuales de dispositivos usados.

**ANEXO B** Planos de la carcasa del dispositivo detector de obstáculos.

**ANEXO C** Encuestas a personas no videntes.

**ANEXO D** Ensamble dispositivo de detección de obstáculos.

**ANEXO E** Manual de operación y configuración del dispositivo.

**ANEXO F** Ensamble del mecanismo leva seguidor.

**ANEXO G** Diagramas de flujo del dispositivo detector de obstáculos.

**ANEXO H** Fotografías de evidencia de trabajo de campo.

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Métodos de recepción de información .....	7
<b>Tabla 2</b> Sensores de distancia o posición actuales.....	10
<b>Tabla 3</b> Características del Micro Servo Tower-pro.....	15
<b>Tabla 4</b> Evaluación del peso específico de cada criterio.....	26
<b>Tabla 5</b> Evaluación del criterio accesibilidad.....	27
<b>Tabla 6</b> Evaluación del criterio alcance.....	27
<b>Tabla 7</b> Evaluación del criterio tamaño.....	28
<b>Tabla 8</b> Cálculo de las conclusiones.....	28
<b>Tabla 9</b> Desglose del código proporcional.....	30
<b>Tabla 10</b> Desglose del código binario.....	31
<b>Tabla 11</b> Desglose del código analógico.....	32
<b>Tabla 12</b> Grados de importancia de las especificaciones del actuador.....	33
<b>Tabla 13</b> Evaluación del criterio detección.....	34
<b>Tabla 14</b> Evaluación del criterio del costo.....	35
<b>Tabla 15</b> Evaluación del criterio disponibilidad.....	35
<b>Tabla 16</b> Conclusiones del actuador seleccionado.....	36
<b>Tabla 17</b> Dispositivos de entrada y salida.....	40
<b>Tabla 18</b> Pesos específicos de los criterios de la tarjeta de control.....	42
<b>Tabla 19</b> Análisis del criterio de adquisición.....	43
<b>Tabla 20</b> Análisis del criterio de la existencia de un reseteo físico.....	43
<b>Tabla 21</b> Análisis del criterio de costo.....	44
<b>Tabla 22</b> Evaluación del criterio de tamaño.....	44
<b>Tabla 23</b> Conclusiones del actuador seleccionado.....	45
<b>Tabla 24</b> Grados de importancia de los criterios del modelo de carcasa.....	48
<b>Tabla 25</b> Evaluación del criterio agarre.....	48
<b>Tabla 26</b> Evaluación del criterio de interacción.....	49
<b>Tabla 27</b> Evaluación del criterio portable.....	49
<b>Tabla 28</b> Conclusiones del modelo de carcasa seleccionado.....	50

<b>Tabla 29</b>	Consumo de los dispositivos empleados.....	50
<b>Tabla 30</b>	Dimensiones de la mano de la norma DIN 33402 empleadas.....	61
<b>Tabla 31</b>	Propiedades mecánicas del material PLA. ....	62
<b>Tabla 32</b>	Valores de distancia del código analógico.....	65
<b>Tabla 33</b>	Valores de distancia del código binario. ....	66
<b>Tabla 34</b>	Planificación del ensayo de medición de distancia.....	78
<b>Tabla 35</b>	Pruebas de medición de distancia en la maniobra A.....	80
<b>Tabla 36</b>	Pruebas de medición de distancia en la maniobra B.....	81
<b>Tabla 37</b>	Pruebas de medición de distancia en la maniobra C.....	82
<b>Tabla 38</b>	Errores en el ensayo de medición de distancia. ....	83
<b>Tabla 39</b>	Planificación del ensayo de detección de microservomotores.....	84
<b>Tabla 40</b>	Detección de las Maniobras en la activación de los microservomotores.....	86
<b>Tabla 41</b>	Planificación del ensayo de respuestas de microservomotores. ..	87
<b>Tabla 42</b>	Detección de objetos en la maniobra A.....	89
<b>Tabla 43</b>	Detección de objetos en la maniobra B.....	90
<b>Tabla 44</b>	Errores totales del ensayo de respuestas de microservomotores.....	91
<b>Tabla 45</b>	Desglose del ensayo de pruebas con discapacitados visuales. ...	92
<b>Tabla 46</b>	Desglose de la maniobra A, ensayo 4.....	93
<b>Tabla 47</b>	Desglose de la maniobra B, ensayo 4.....	94
<b>Tabla 48</b>	Desglose de la maniobra C, ensayo 4.....	95
<b>Tabla 49</b>	Resumen errores en el ensayo total.....	95
<b>Tabla 50</b>	Costos de los elementos para implementación del dispositivo.....	99

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Kit de discapacidad visual de Microsoft. ....	2
<b>Figura 2</b> Reconocimiento a los creadores de handeyes. ....	2
<b>Figura 3</b> Investigación de: a) gafas inteligentes y b) ferrotouch. ....	3
<b>Figura 4</b> Dispositivos y servicios disponibles para personas no videntes: a) anillo, b) pantalla táctil, c) libro 3D. ....	3
<b>Figura 5</b> Elementos del Sonar For the Blind.....	5
<b>Figura 6</b> Ángulo de medida del sensor SRF04.....	13
<b>Figura 7</b> Falso eco. ....	13
<b>Figura 8</b> Conexión para microservomotor. ....	15
<b>Figura 9</b> Esquema del procesamiento de información .....	16
<b>Figura 10</b> Datos a considerar en el proyecto .....	17
<b>Figura 11</b> Distribución de pines del PIC 16F628A.....	18
<b>Figura 12</b> Pines del Arduino Nano .....	20
<b>Figura 13</b> Paquete del PCWH IDE Compiler.....	21
<b>Figura 14</b> Ambiente de trabajo del Arduino IDE .....	21
<b>Figura 15</b> Ambiente de trabajo del software de simulación Proteus.....	22
<b>Figura 16</b> Despliegue de la función de la calidad del detector háptico.....	24
<b>Figura 17</b> Diagrama de desplazamiento del sistema leva-seguidor.....	36
<b>Figura 18</b> Datos y procedimiento a seguir al elevarse el seguidor.....	37
<b>Figura 19</b> Trazo de la leva correspondiente al mecanismo leva-seguidor. .	37
<b>Figura 20</b> Mecanismo leva-seguidor para un desplazamiento de 2mm. ....	38
<b>Figura 21</b> Mecanismo leva-seguidor para un desplazamiento de 2mm. ....	39
<b>Figura 22</b> Microservomotores: a) desactivos y b) activos. ....	39
<b>Figura 23</b> Solución con: a) PIC, b) Arduino nano c) Arduino Pro mini d) Mini orangután. ....	41
<b>Figura 24</b> Opción 1 del modelo de carcasa.....	45
<b>Figura 25</b> Opción 2 del modelo de carcasa.....	46
<b>Figura 26</b> Opción 3 del modelo de carcasa.....	47
<b>Figura 27</b> Alimentación para el circuito del dispositivo.....	52

<b>Figura 28</b>	Flujograma del dispositivo detector de obstáculos.....	52
<b>Figura 29</b>	Diagrama modo de trabajo.....	53
<b>Figura 30</b>	Conexiones para el cambio de modo y activación de alarma. ....	54
<b>Figura 31</b>	Flujograma de medición de distancia.....	56
<b>Figura 32</b>	Conexiones del sensor de distancia en el simulador. ....	56
<b>Figura 33</b>	Simulación de la distancia en cm.....	57
<b>Figura 34</b>	Flujograma de activación de servomotores.....	57
<b>Figura 35</b>	Uso del Servomotor en el simulador .....	58
<b>Figura 36</b>	Conexiones para la simulación de los actuadores. ....	59
<b>Figura 37</b>	Elementos de contacto manual.....	60
<b>Figura 38</b>	Dispositivo aplicando la simetría.....	60
<b>Figura 39</b>	Diagrama de la mano según norma DIN 33 402.....	61
<b>Figura 40</b>	Vista interior de la carcasa del dispositivo. ....	62
<b>Figura 41</b>	Análisis de caída del dispositivo de detección de obstáculos. ....	64
<b>Figura 42</b>	Partes de la placa shell del arduino. ....	67
<b>Figura 43</b>	Herramienta de encapsulado. ....	68
<b>Figura 44</b>	Selección del encapsulado del componente. ....	69
<b>Figura 45</b>	Conexiones globales del PCB.....	69
<b>Figura 46</b>	Placa: a) en proceso de soldado, b) culminada. ....	70
<b>Figura 47</b>	Espadines macho (90°) para microservomotores. ....	70
<b>Figura 48</b>	Espadines hembra para arduino nano. ....	71
<b>Figura 49</b>	Espadines macho de alimentación, sensor y pulsador. ....	71
<b>Figura 50</b>	Conexiones físicas de la placa PCB. ....	72
<b>Figura 51</b>	Servo 3D .....	72
<b>Figura 52</b>	Impresión 3D de la tapa posterior del dispositivo: a) inicio, b) fin.	73
<b>Figura 53</b>	Impresión 3D del cuerpo del dispositivo, etapa: a) inicial y, b) final. ....	74
<b>Figura 54</b>	Agarre del cuerpo y tapa trasera de la impresión 3D.....	74
<b>Figura 55</b>	Tapa frontal del dispositivo. ....	75

<b>Figura 56</b>	Elementos en el cuerpo del dispositivo. ....	75
<b>Figura 57</b>	Elementos de la tapa trasera y frontal.....	76
<b>Figura 58</b>	Colocación de la placa PCB y tarjeta Arduino Nano. ....	76
<b>Figura 59</b>	Fijación de tapa de dispositivo. ....	77
<b>Figura 60</b>	Almacenamiento del dispositivo detector de obstáculos. ....	77
<b>Figura 61</b>	Elementos para el ensayo de medición de distancia. ....	79
<b>Figura 62</b>	Lectura de 15 cm de distancia, entre objeto y sensor.....	80
<b>Figura 63</b>	Lectura de 126 cm de distancia, entre pared y sensor.....	81
<b>Figura 64</b>	Lectura de 316 cm de distancia, entre objeto y sensor.....	82
<b>Figura 65</b>	Elementos para el ensayo de detección de microservomotores.	84
<b>Figura 66</b>	Secuencias de: a) 60°, b) 90° y c) 115°.....	85
<b>Figura 67</b>	Maniobra A del ensayo de detección. ....	85
<b>Figura 68</b>	Elementos para el ensayo de medición de distancia. ....	88
<b>Figura 69</b>	Detección de escalón de la maniobra A.....	89
<b>Figura 70</b>	Detección de una pared de la maniobra A. ....	90
<b>Figura 71</b>	Partes del ensayo de uso de dispositivo por personas con discapacidad visual. ....	92
<b>Figura 72</b>	Reconocimiento en la maniobra A. ....	93
<b>Figura 73</b>	Reconocimiento en la maniobra B. ....	94
<b>Figura 74</b>	Reconocimiento en la maniobra C. ....	96
<b>Figura 75</b>	Letras del sistema Malosi.....	97
<b>Figura 76</b>	Sistema de detección de obstáculos final. ....	98

## **RESUMEN**

Esta investigación detalla los diferentes tipos de discapacidad visual y los respectivos sistemas de apoyo desarrollados. Existen dispositivos que contribuyen para que la persona con discapacidad visual pueda desplazarse. Se ha creado un nuevo sistema electrónico de detección de obstáculos que proporciona información al usuario empleando un sistema háptico compuesto por el contacto entre cuatro microservomotores y cuatro dedos de la mano. Para la detección de obstáculos se empleó el sensor de distancia de tipo ultrasónico HC SR04 y se fabricó una placa PCB que utiliza una arduino nano para controlar dichos microservomotores. La máxima distancia a medir es cuatro metros que se dividen en rangos de distancia. La activación de uno o más actuadores indica que un objeto se encuentra en un rango de distancia establecido y alerta a la persona con discapacidad visual para que se detenga o continúe caminando. Existen dos modos de trabajo automáticos: analógico y binario, con 4 y 16 rangos respectivamente, y un modo manual que sirve para memorizar las combinaciones de los actuadores. Se emplearon materiales de fácil adquisición y amigables con el ambiente. La carcasa fue impresa en 3D usando PLA. El dispositivo se colocó en un canguro, adquirido en el mercado local. Estos aspectos hacen que el dispositivo sea de bajo costo para que las personas con discapacidad visual de escasos recursos económicos puedan adquirirlo sin problemas, de esta forma la Mecatrónica proporciona opciones para mejorar la calidad de sus vidas.

## **PALABRAS CLAVE:**

- **DISCAPACIDAD VISUAL**
- **GUÍA PARA PERSONAS CIEGAS**
- **PERSONAS CIEGAS – DETECCIÓN DE OBSTÁCULOS**



**ABSTRACT**

This research details the different types of visual impairment and respective support systems developed. There are devices that contribute to the visually impaired person can move. It has created a new electronic obstacle detection system which send information to the user using a haptic system comprising four microservomotores contact and four fingers. In order to detect obstacles, an ultrasonic distant sensor HC SR04 was used and a PCB plate using an arduino nano to control microservomotores was manufactured. The maximum measuring distance is four meters which are divided into distance ranges. Activation of one or more actuators indicates that an object is in a distance range set and alert the person with visual disability to stop or continue walking. There are two modes of automatic work: analog and binary, with ranges respectively 4 and 16, and a manual mode that is used to memorize combinations of the actuators. All materials used were environmental friendly and easy to find. The case was 3D printed using PLA. The device was set in a pouch bought in the local market. All these aspects make the device low priced for low income people, thus the Mechatronics help improve life quality.

**KEYWORDS:**

- **VISUAL IMPAIRMENT**
- **GUIDE FOR THE BLIND PEOPLE**
- **BLIND PEOPLE- DETECTION OF OBSTACLES**

## PRESENTACIÓN

El presente trabajo se planteó para proporcionar un sistema auxiliar para que las personas no videntes puedan desenvolverse en sus actividades rutinarias y moverse de un lugar a otro dentro del hogar, en oficinas entre otros lugares que son visitados por primera vez.

En el capítulo 1, se muestra la fundamentación teórica del proyecto y estado del arte con la que se basan cada una de las etapas siguientes del proyecto como base a las acciones a tomar en cuenta al momento de trabajar con personas con discapacidad visual.

En el capítulo 2, se encuentran los elementos que forman parte del diseño, como son: componentes electrónicos, mecánicos y de traducción de información.

En el capítulo 3, se indica el proceso de implementación y de conformación del dispositivo final que está destinado a un usuario final, en este caso las personas con discapacidad visual.

En el capítulo 4, constan las pruebas efectuadas y el análisis que se efectúa en cada una de ellas para dar paso a la validación de hipótesis del sistema en general.

En el capítulo final se concluye y se recomienda al lector acerca de posibles dificultades que se pudieron presentar, así como consideraciones a realizarse como información para la realización de proyectos similares

Como en todo proceso de investigación como parte final se encuentran cada una de las fuentes de información que se han considerado para la realización del proyecto y evidencias de realización.

# CAPÍTULO I

## GENERALIDADES Y ESTADO DEL ARTE

### 1.1. Introducción

En la actualidad se pueden encontrar sistemas electrónicos de apoyo a personas no videntes en donde se transmite cierta información de los obstáculos que los rodean, los mismos que consisten en conocer por medio de dispositivos electrónicos (audífonos) si el obstáculo se encuentra muy cerca o muy lejos para que la persona no vidente ejecute acciones como por ejemplo detenerse o continuar caminando. También existen sistemas que se componen de cámaras inteligentes que son combinadas con sistemas de voz para describir objetos que interrumpen la circulación de la persona no vidente.

En el país se cuenta con un total de 401.538 personas que sufren algún grado de discapacidad y aproximadamente el 12% lo constituyen las personas con discapacidad visual, con la ayuda de encuestas realizadas y la adquisición de información en trabajos ya culminados se efectuará el presente proyecto para cumplir con uno de los principales objetivos del plan nacional para el buen vivir (2009-2013), que es el objetivo 3, en donde manifiesta: mejorar la calidad de vida de la población. (Plan Nacional Para el Buen Vivir, 2013).

### 1.2. Dispositivos desarrollados para personas con discapacidad visual

Para realizar una contribución en la movilidad de personas con discapacidad visual, algunas empresas como Microsoft se han integrado a labores de búsqueda de proyectos acordes a esta necesidad. Ellos desarrollaron un proyecto en donde se hace presente la ayuda de un perro guía y a la vez de la tecnología, ya que cuenta con un instrumento que alerta a la persona por medio de un auricular, ubicado cerca del oído, acerca de los lugares en los cuáles se encuentra, así como de recorridos a seguir

obteniendo información desde su smartphone, vía bluetooth y señales wifi. En la figura 1 se muestra el dispositivo implementado en la persona no vidente.



**Figura 1 Kit de discapacidad visual de Microsoft.**

Fuente: (Ciencia y biología, 2014)

También existe investigación y desarrollo de dispositivos para personas con discapacidad visual por parte de estudiantes y docentes universitarios, es el caso de un dispositivo denominado Handeyes creado por estudiantes de la Universidad de las Fuerzas Armadas Espe, su objetivo es idear los objetos que están cercanos al usuario a través de sonidos graves y agudos que cambian conforme los objetos se alejan o se acercan, respectivamente. El proyecto cuenta con dos presentaciones, además es capaz de detectar el color y alerta al usuario mediante comandos de voz y reproductor de audio MP3. En la figura 2 se muestra un reconocimiento internacional otorgado a los creadores del proyecto handeyes.

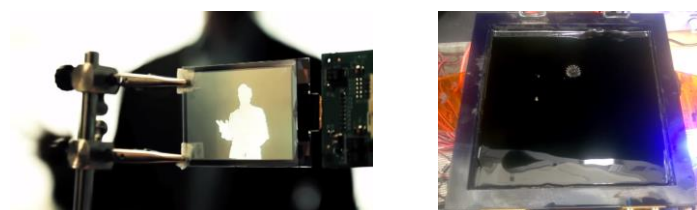


**Figura 2 Reconocimiento a los creadores de handeyes.**

Fuente: (El Comercio, 2014)

En Harvard una estudiante creó un dispositivo denominado Ferrotouch que a partir de una sustancia llamada ferrofluido, también conocido como metal líquido, y una matriz de electroimanes es capaz de conformar formas

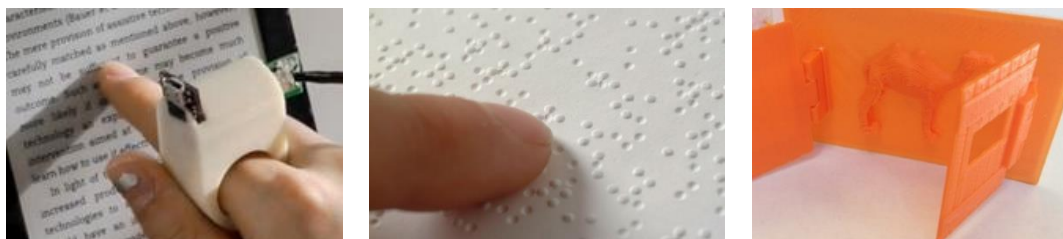
fácilmente detectables ante el tacto, mientras que en Oxford un docente creó un prototipo de gafas inteligentes para ciegos en donde se parte de la poca visión que posea la persona con discapacidad visual para ayudarle a identificar por medio de cámaras y software patrones de objetos y más. En la figura 3 se muestra la investigación de gafas inteligentes y ferrotouch, realizada por docente y estudiante universitario respectivamente.



**a) b)**  
**Figura 3 Investigación de: a) gafas inteligentes y b) ferrotouch.**

Fuente: (OpenMind, 2014)

A nivel comercial existe la posibilidad de adquirir varios instrumentos y servicios para personas con discapacidad visual, aunque actualmente el costo puede estar fuera del alcance de muchos es importante que exista constante investigación porque en muchos casos esto instrumentos pueden ser adquiridos por instituciones y beneficiar a muchas personas que posean esta discapacidad. En la figura 4 se muestra a) un anillo que puede leer diferentes textos, b) una pantalla táctil que muestra caracteres del sistema braille y c) un libro infantil impreso en 3D.



**a) b) c)**  
**Figura 4 Dispositivos y servicios disponibles para personas no videntes: a) anillo, b) pantalla táctil, c) libro 3D.**

Fuente: (OpenMind, 2014)

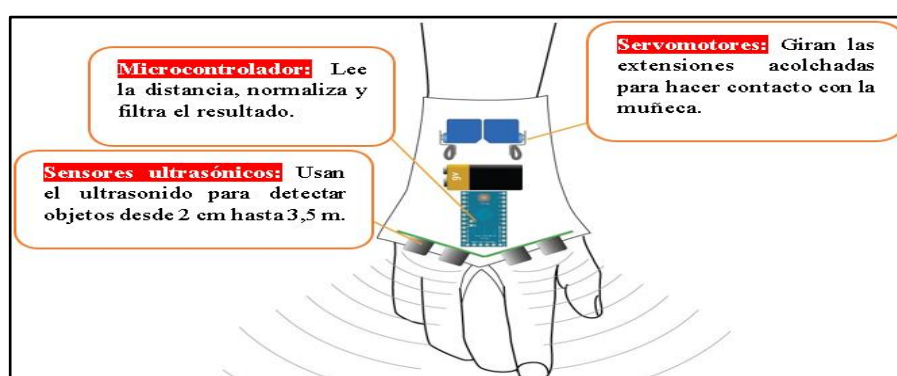
Junto a estas existen muchas otras aplicaciones pensadas y creadas para mejorar la calidad de vida de las personas con discapacidad visual, algunas de ellas consisten en un software para ser instalado en un dispositivo móvil y se basan de una fotografía para leer un texto impreso o para realizar una descripción de un objeto e indicaciones de algún medicamento, otras identifican el color de alguna prenda de vestir u otro objeto y otras pueden contar el dinero y recibir dinero sin problemas de estafa. (Barbuzano, 2015)

Cada contribución e idea propuesta para trabajar con las personas con discapacidad visual hacen que exista una inclusión de las mismas ante la sociedad y que consigan un alto grado de preparación académica, existe una aplicación en donde se ha convertido una gran cantidad de libros en audio-libros y otras que ayudan a la conversión y descarga de aplicaciones de personas que no poseen discapacidad visual a otras para personas que si la posean, éstas pueden llegar a ser sistemas operativos completos como es el caso de los comunes y habituales programas de Windows. También existe una emisora para escuchar en la radio temas de interés para personas con discapacidad visual. iPhone y Samsung admiten la conexión de dispositivos braille y uso de escáner óptico junto con comandos de voz respectivamente.

Mientras se realiza una investigación de la tecnología táctil empleada por las personas con discapacidad visual, se involucran aspectos del sistema braille. En la actualidad existen muchos estudios en donde se construyen celdas braille con la activación o desactivación de diferentes tipos de actuadores. En una investigación se construyó un estimulador de caracteres braille (BCS) para realizar un análisis al visualizar las imágenes de ciertas regiones cerebrales mientras que son capturadas mientras se ejecuta la lectura de un código braille, este procedimiento conocido como fMRI es aplicado a un grupo de personas que poseen discapacidad visual con diferentes características pero en condiciones similares. (Debowskaa, Wolakb, Soluchc, Orzechowskid, & Kossuta, 2013)

Las celdas braille consideran estimulaciones mecánicas como el contacto con muescas o estimulaciones vibro-táctil. La investigación de pantallas con código braille que involucre la intervención de actuadores piezoeléctricos, han logrado la creación de estos dispositivos, en donde se logra que el punto de la celda braille pueda elevarse en cualquier posición basado en un código de asignación de caracteres, para lo cual se estudian las fuerzas ejercidas para la lectura, el desplazamiento requerido del punto y otros temas de preferencia como el radio de curvatura del punto, entre otros. (Smithmaitrie, 2009)

Conforme se tienen mejoras en los sistemas de apoyo a las personas con discapacidad visual, ha existido la inclusión de otras técnicas, como la lógica borrosa o fuzzy. Existe un sistema conocido como ANFIS que se encarga de encontrar los mejores parámetros para obtención de una o varias señales de salida conforme las entradas que se proporcionan a determinado sistema. En una investigación se englobaron las propiedades y características del diseño asistido por computador (CAD) y el sistema ANFIS, para obtener una pantalla braille, que como entradas asigna a la tensión de alimentación y resistencia de la bobina de cobre; y como salidas se tiene la temperatura máxima del relé (actuador del sistema) y la fuerza de accionamiento del punto (elemento de contacto para la lectura). (Yeh, Tsay, & Liang, 2003)



**Figura 5 Elementos del Sonar For the Blind.**

Fuente: (Grathio Labs, 2011)

El empleo del servomotor como actuador en dispositivos de detección de obstáculos reduce costos y garantiza la recepción de información. Sonar For

the Blind es un dispositivo que mide distancias y la traduce en información para el no vidente con la activación y desactivación de microservomotores. En la figura 5 se observa la disposición de los elementos del Sonar For the Blind, en donde todos los elementos son ubicados en el dorso de la mano, conformando una muñequera para las personas con discapacidad visual.

### **1.3. Concepto de personas no videntes**

Según (Wordreference, s.f.), el término vidente es atribuido a la capacidad de ver, por lo tanto una persona no vidente es aquella que no posee dicha capacidad. En (Registro oficial, 2012) el término persona con discapacidad se refiere a aquella persona que como consecuencia de poseer una o varias deficiencias sea de tipo física, sensorial, etc., ve restringida otras capacidades como la biológica y la psicológica para sus actividades cotidianas. En conclusión una persona no vidente es aquella que tiene algún tipo de discapacidad visual.

### **1.4. Tipos de discapacidad visual**

La discapacidad visual se divide en dos tipos: la baja visión y la ceguera; dentro de la baja visión se encuentra la discapacidad visual moderada y la discapacidad visual grave. (Organización Mundial de la Salud, 2014)

#### **1.4.1. Discapacidad visual, moderada y grave**

Se refiere a que el individuo posee una pérdida parcial de la capacidad visual la cual puede formar parte de varias subcategorías como la baja visión, la limitación visual y el impedimento visual. (Vaquero, 2009)

- **Baja visión:** El individuo tiene limitaciones en cuanto a poder visualizar objetos distantes, pero mantiene la capacidad de visión para los objetos que se encuentran cerca de él.
- **Limitación visual:** El individuo no puede observar los objetos con la iluminación habitual sino que necesita el uso de elementos de iluminación artificial y así poder conseguir la adecuada para que el



individuo pueda observar los objetos, así como también el uso e implementación de lupas especiales.

- Impedimento visual: En esta subcategoría debido a ciertas condiciones de los elementos que forman parte del ojo o de daños en la estructura del mismo, imposibilitan al individuo lograr una correcta visión.

#### 1.4.2. Ceguera

Es cuando el individuo pierde totalmente la capacidad visual, o cuando puede percibir la luz sin proyección. Esta carencia de la visión se puede haber producido debido a lesiones en el ojo, lesiones que han afectado el sistema nervioso, encargado de unir al ojo con el cerebro, entre otros.

### 1.5. Métodos de recepción de información de las personas no videntes

Las personas no videntes necesitan una fase de adaptación en donde deben efectuar ciertos cambios para realizar cada una de las tareas deseadas. En el caso de las personas no videntes congénitas esta etapa de adaptación se va realizando de manera “natural”, lo cual permite un mayor tiempo de aplicación de dichos cambios que los no congénitos.

**Tabla 1**  
**Métodos de recepción de información**

Desplazamiento	Comunicación
Acompañante	
Bastón	Tiflotecnología
Perro guía	

En la tabla 1 se muestra los métodos de recepción de información que son aplicados por parte de las personas no videntes tanto en el desplazamiento como en la comunicación de las mismas. Según (Asociación Discapacidad Visual Cataluña, 2015) entre los métodos de recepción de información para que las personas no videntes logren desplazarse se encuentra el acompañante o guía, el uso del bastón y el perro guía, mientras que para lograr la comunicación e intercambio de ideas de las personas no videntes

con otras se emplea la Tiflotecnología como método de recepción de información.

Con la Tiflotecnología se emplean conocimientos y técnicas de la tecnología actual para la modificación de equipos que comúnmente son empleados ya sea en el ámbito laboral, personal o entretenimiento. Por lo tanto en esta tecnología de apoyo se encuentran equipos que han aplicado sistema braille, equipos adaptados y, específicos.

El braille es más difícil de entender, pero se garantiza la oportunidad necesaria para interactuar con la fuente de información y una actitud activa mientras que con dispositivos de voz el usuario tiene actitud pasiva y requiere mayor esfuerzo para centrar la atención y retener información útil. El braille no es la única técnica desarrollada en relieve para proporcionar información táctil para personas con discapacidad visual algunas difieren en cuanto a la disposición del código, así como de la distancia existente entre puntos que conforman el código, la impresión en relieve, gráficos táctiles, entre otros. (Motto, y otros, 2014)

En el uso del sistema braille infiere el hecho de ser una persona no vidente de nacimiento (congénito) o haber perdido la capacidad visual en la edad adulta. Una persona no vidente congénita se convierte con el tiempo en un experto lector llegando a alcanzar hasta 350 p/m (palabras por minuto), mientras que los lectores que aprenden en una edad adulta llegan hasta aproximadamente un 300% menos. (Simón, Ochaíta, & Huertas, 1995)

Existen personas no videntes con resto auditivo, otras que escuchan totalmente y otras que han perdido este sentido completamente. De acuerdo a cada uno de estos casos se emplea uno o varios métodos de recepción de información, es por ello que en ciertos casos se logrará emplear el canal de recepción táctil o el canal de recepción auditivo o ambos conjuntamente. (Arregui, s.f.)

Existe un sistema que ayuda a la Tiflotecnología para que llegue al usuario final, se trata del sistema táctil. Gracias al tacto las personas no videntes logran conocer los cambios que se manifiestan a su alrededor y con ello consiguen la información que necesitan para proceder a su desplazamiento con las precauciones debidas y con ayuda de otros sentidos como en el caso de personas que poseen audición sin resto, es decir una buena audición. (Castejón & Navas, 2013)

El tacto, siendo parte de un sistema de recepción de información, puede ser empleado en dos modalidades o versiones: como tacto activo o buscado y como tacto pasivo o no buscado; el tacto activo también es conocido como sistema háptico, la persona no vidente lo emplea en el momento de buscar información a través del tacto en superficies que ejerzan algún tipo de presión o que presenten específicos relieves según la circunstancia. (González, 2009)

Aunque existen receptores que puede proporcionar información a la persona a través de distintas partes del cuerpo tales como las manos y la espalda, es mayormente común y óptimo receptar información por medio de las manos ya que es en este lugar o parte del cuerpo que se aloja un alto porcentaje de correcta recepción. Existen cuatro sensaciones y fuerzas que se consideran de básica percepción como lo es el frío, el calor, la presión y el dolor; gracias a ellas el individuo ejecuta acciones como desplazarse o enterarse de algún acontecimiento desarrollándose en el ambiente en el que se encuentra.

En actividades de carácter artístico como lo es entonar el saxofón, el tacto constituye base fundamental para su aprendizaje ya que al momento de desarrollar alguna técnica de ejecución la destreza con los dedos y la correcta posición de la mano permiten desarrollar la técnica y lograr con éxito una buena interpretación de melodías. Es así que un correcto manejo y ubicación de los dedos de las manos en las llaves del instrumento, además de aplicar una combinación correcta de las teclas, permiten al artista conseguir una nota única y precisa que esté leyendo en ese momento o que ya ha memorizado.








(Teal, 1997). En este estudio se busca el efecto inverso es decir que sea una combinación de teclas activas la que transmita una información única y precisa al usuario, específicamente una medida de distancia.

El sistema háptico contiene cuatro subsistemas entre los cuáles se encuentra el sistema gustativo, olfativo, auditivo y visual. Los primeros dos sistemas son receptados gracias a ciertos elementos o sustancias ubicadas o contenidas tanto en agua como en aire llegando a establecer un activo contacto con el individuo. Los otros dos sistemas proporcionan la mayor percepción posible siendo partes importantes de estudio y desarrollo especialmente en personas con algún grado de discapacidad en el sentido de la vista y auditivo. (Jaume & Sánchez, 2014)

### 1.6. Tipos de sensores y actuadores

Los sensores de distancia o posición han ido evolucionando en tamaño, variedad y costo pero su principio de funcionamiento se conserva, por ejemplo un tipo de clasificación de estos sensores es la siguiente: potenciómetros, encoders, sincros y resolvers, inductosyn, sensores láser, sensores ultrasónicos y sensores magnetostrictivos. (Balcells & Romeral, 1997)

**Tabla 2**  
**Sensores de distancia o posición actuales.**

Sensores de distancia o posición														
Nombre	Ping		SRF05		HC-	SR04	LV-EZ0	GP2YX	X	IS471F	QRD11	14 Y		
Alcance	3cm	3m	3cm	3m	3cm	4m	30cm	6m	20cm	150cm	1cm	15cm	0	3cm
Pines	3		5		4		3	3		4		4 y 3		
Gráfico														

En la actualidad existen sensores de distancia que funcionan mediante ultrasonido. Las señales ultrasónicas son generadas por medio de una tarjeta de control, y se les da un tratamiento para que por medio del rebote que se produzca contra el objeto que se encuentra frente al sensor se logre conocer a que distancia se ubica en determinado momento. También existen sensores de distancia que emplean componentes y señales infrarrojas, en la tabla 2 se muestran los sensores que miden distancia o posición en la actualidad. (Torrente Artero, 2013)

#### 1.6.1. Medidores de distancia ultrasónicos

Son sensores que consisten en un emisor, el cual lanza un tren de pulsos ultrasónicos y en un receptor, que espera el rebote de aquel tren de pulsos. Posterior a ello gracias a la medición del tiempo que transcurre entre la emisión y el retorno y conjuntamente teniendo en cuenta la velocidad del sonido se logra calcular la distancia hacia un objeto. En (Carletti, 2007) se menciona que existen dos clases principales de medidores de distancia ultrasónicos, los cuales son:

- Sensores con emisor y receptor separados.
- Sensor con un mismo emisor/receptor piezoeléctrico.

Como se señaló en la tabla 2 existen varios modelos de sensores ultrasónicos cuyo emisor y receptor se encuentran separados o en distintos pines, así como también existen varios modelos de sensores ultrasónicos que engloban la emisión y recepción de señal en un mismo pin; algunos ejemplos característicos de sensores que se utilizan en robots son los siguientes:

- Los módulos de ultrasonido contenidos en las viejas cámaras Polaroid con autofocus.
- Los módulos SRF de Devantech (SRF04, SRF05, SRF08, SRF10, etc.)

La velocidad de propagación las ondas sonoras o también conocida como velocidad acústica es aquella velocidad que se tarda en transmitir la energía

sonora empleando un medio, la cual depende de la distancia recorrida dividida por el tiempo que se tarda en dicho recorrido. (Ver Ec. 1)

$$C = \lambda * f$$

### **Ec. 1 Velocidad de propagación del sonido.**

En donde:

$C$  =Velocidad de propagación del sonido (m/s)

$f$  =Frecuencia en Hertz (Hz)

$\lambda$ =Longitud de onda (m)

Para conocer la intensidad de onda de reflexión o de transmisión es importante conocer el concepto de impedancia acústica (Ver Ec. 2), que es la resistencia u oposición de un medio para que las ondas se distribuyan y se desplacen en él. (Acústica, 1992)

$$Z = \rho * C$$

### **Ec. 2 Impedancia acústica**

En donde:

$Z$  =Impedancia acústica (Kg/ (m<sup>2</sup> \* s))

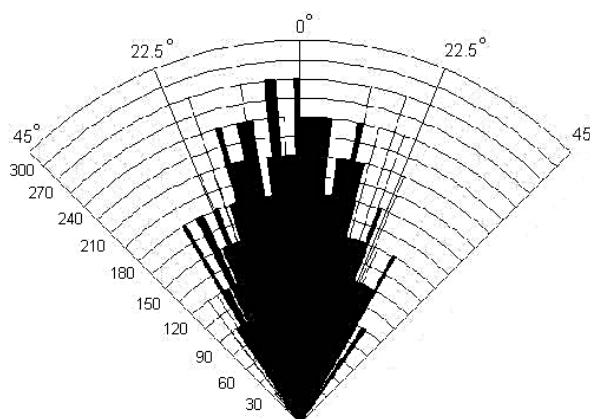
$\rho$  =Densidad del medio (Kg/m<sup>3</sup>)

$C$ = Velocidad de propagación (m/s)

Los sensores ultrasónicos cuentan con ciertas limitaciones que hacen que sea indispensable un tratamiento en cuanto a la información de distancia adquirida, a continuación se detallan algunas: (Pérez, 2006)

- Un sensor ultrasónico tiene que estar sometido a pequeñas variaciones en cuanto al valor de la constante del valor de la velocidad del sonido.

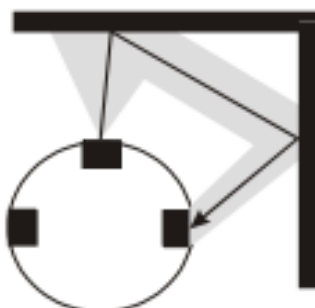
- Se necesita un tiempo en blanco o blanking time que consiste en una pausa para que el sensor inicie su funcionamiento.
- Existe aquella dispersión de la señal ultrasónica, conocida como la atenuación que se manifiesta al momento de medir objetos muy lejanos.
- Es necesario conocer el ángulo de medida traducido al inglés como field of view que permite establecer el espacio dónde el sensor va a estar capacitado para detección de objetos. (Ver figura 6)



**Figura 6 Ángulo de medida del sensor SRF04.**

Fuente: (Superrobotica, 2016)

- Se puede tener complejas reflexiones, es decir la señal ha rebotado de un objeto o superficie hacia otro y no directamente hacia el receptor del sensor ultrasónico, y causar así medidas erróneas o poco reales.



**Figura 7 Falso eco.**

Fuente: (Sánchez, Fernández, & Porras, 2015)

- Riesgo de crosstalk o falsos de ecos que se refiere a un cruce de señales al momento de contar con más de un sensor ultrasónico. En la figura 7 se puede observar este fenómeno el mismo que puede ocasionar que la señal que salga de uno de los sensores sea contabilizada o tomada en cuenta como objeto por el otro sensor ultrasónico y ocasionar detección incorrecta.

Un actuador o elemento final es aquel que realiza las acciones (movimiento) que un sistema de control le proporciona o le ordena, para su selección se toman en cuenta aspectos como: la potencia necesaria, dimensiones o espacio disponible en el cuál va a ser instalado y ambiente en el que va a trabajar y al cual va a ser expuesto, entre otros. (Vildósola, s.f.)

Existen varios tipos de actuadores, que se clasifican de acuerdo al tipo de energía con el cuál logran trabajar o funcionar, los principales son: neumáticos, hidráulicos y eléctricos; también existen aquellos que transforman la energía de un animal, la energía potencial de una material elástico y la energía potencial gravitacional en energía mecánica. (Sánchez R. , 2008)

Para la creación de la tecnología empleada para personas con discapacidad visual se realiza una selección entre los distintos tipos de actuadores, según sus características. Las distintas pantallas táctiles para personas con discapacidad visual utilizan como actuadores: solenoides, que presentan inconvenientes en su funcionamiento con la presencia de polvo; relés, que pese a sus ventajas su peso hace que no sea un actuador adecuado; actuadores piezo-eléctricos, que manejan un costo elevado frente a otro tipo de tecnologías; SMA, cuya alta tasa de generación de calor hace necesario un sistema de refrigeración; y actuadores de electro-reológicos fluido (ER), que debido a la alta tensión aplicada este sistema debe ser cuidadosamente manejado con alto énfasis en la seguridad del usuario. (Fung-Huei, Huoy-Shyi, & Shih-Hao, 2003)



### 1.6.2. Servomotores

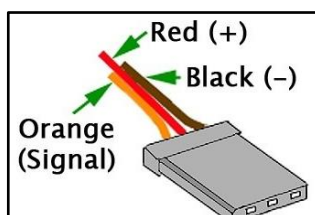
Son motores que controlan su posición utilizando un sistema de control, el mismo que consiste en modificar o alterar el ancho de pulso que es emitido hacia el mismo, gracias a estas señales el servo ejecuta movimientos siendo estos últimos proporcionales a la señal que reciben.

En (Pompa, 2015) se recomienda que aunque los voltajes de los servos oscilan en los voltajes de 4,8 y 6 voltios, un servo que trabaje a 6 voltios alcanza su máxima potencia, al igual que la velocidad del mismo y estos parámetros pueden mejorar o beneficiar la aplicación en la cual se encuentra inmerso.

**Tabla 3**  
**Características del Micro Servo Tower-pro**

Característica	Valor
<b>Velocidad</b>	0,12 sec/60°
<b>Torque</b>	0,4 Kg-cm
<b>Peso</b>	3,7 g
<b>Rango de Voltaje</b>	4.8 - 6V
<b>Corriente de funcionamiento</b>	100 Ma

Para aplicaciones donde es importante reducir dimensiones en cuanto al espacio destinado para el servomotor existen los microservomotores mediante los cuales se pueden ejecutar tareas que optimicen recursos. Existe un modelo de microservomotor denominado Mini servo H301, cuyas características principales se muestran en la tabla 3.



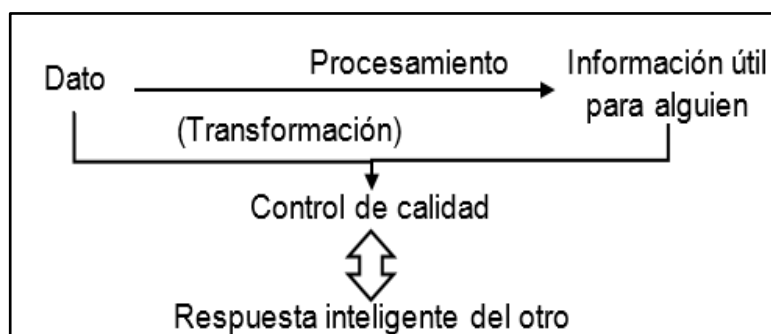
**Figura 8 Conexión para microservomotor.**

Fuente (Bigtronica, s.f.)

Las conexiones que son necesarias para el funcionamiento del microservomotor se muestran en la figura 8. El cable naranja también puede ser de color blanco, mientras que el negro puede ser marrón o café.

### 1.7. Procesamiento de información

En el procesamiento de información se toma en cuenta las aplicaciones en las cuáles se trabaja, por lo tanto la utilidad de la información que se requiere luego de haber procesado los datos. Un factor importante en dicho procedimiento es el control de calidad que consiste en obtener una respuesta inteligente del dispositivo en funcionamiento y de esta forma corroborar que el funcionamiento es el ideal. (Ver figura 9)



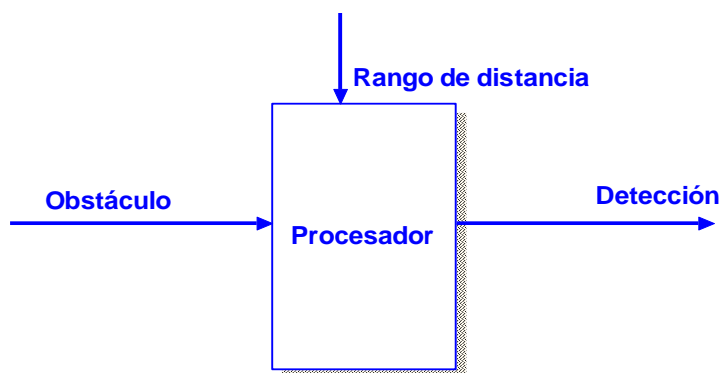
**Figura 9 Esquema del procesamiento de información**

Fuente: (Universidad del Cauca, 2016)

Para el presente proyecto se toman en cuenta algunos datos para el procesamiento de información, la figura 10 muestra un esquema de los datos a considerar en el proyecto. Como entrada el obstáculo presente, como dato a controlar el rango de distancia en el cual se ubica determinado obstáculo y, luego de lograr un procesamiento de información se obtiene como salida la detección de determinado obstáculo y la reacción que se debe adoptar según la distancia existente.

Una vez identificados de manera general los datos a considerar en el proyecto se elige el procesador más adecuado para la aplicación, los mismos que se encargarán de designar las tareas a realizar con la ayuda de un código

de programación en un lenguaje determinado. Entre los principales procesadores y controladores de información se encuentran los microcontroladores y a los arduinos.



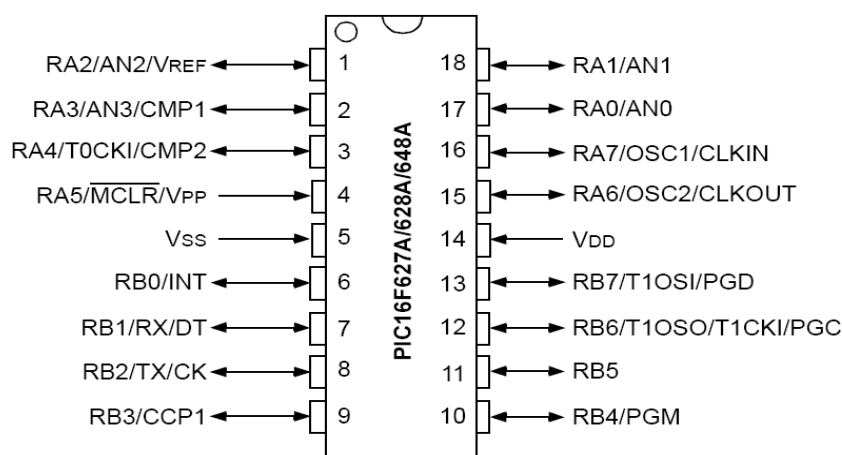
**Figura 10 Datos a considerar en el proyecto**

#### 1.7.1. Microcontroladores

Según (Torrente Artero, 2013) la principal característica de estos componentes es la de ser programable, es decir que las tareas que realizan pueden ser modificadas de acuerdo a la aplicación a desarrollar, al poseer un cierto número de entradas y salidas hacen posible tomar en cuenta varios aspectos o condiciones para que se realicen ciertas acciones. Existen microcontroladores que pueden llegar a tener 100 pines en su estructura, así como los que cuentan con apenas 6 pines. Esta configuración y número de pines permiten al dispositivo manipular una mayor cantidad de información, existen microcontroladores de 8 bits, considerados como los más sencillos y, existen los que cuentan con 32 bits lo cual los hace muy poderosos en cuanto a aplicaciones y utilidades. Conforme ha pasado el tiempo se han ido mejorando ciertas características en los microcontroladores PIC, de forma que se pueden encontrar tres tipos de gama o familias en el mercado. Los de gama baja, los de media y los de alta. (Rossano, 2009)

Una de las empresas destinada a la creación y distribución de microcontroladores es Microchip, la misma que posee dispositivos que pese a no tener un gran tamaño contienen grandes ventajas y beneficios. Un

ejemplo de dichos dispositivos es el PIC 16F628a, el mismo que pertenece a la gama media, contiene 18 pines distribuidos en 2 puertos de entradas/salidas que pueden ser configurados para la realización de otras tareas tales como emitir señales PWM, y los respectivos pines de alimentación. En la figura 11 se encuentra la distribución de pines en forma más detallada.



**Figura 11 Distribución de pines del PIC 16F628A**

Fuente: (Microchip, s.f.)

### 1.7.2. Tarjetas de desarrollo.

Son tarjetas electrónicas cuyas características permiten ser integradas en distintos sistemas embebidos o sistemas portátiles y autónomos. Aunque existen muchas versiones o tipos de tarjetas se emplean ciertos parámetros para distinguir la una de la otra según la aplicación deseada, como es el caso del tipo específico del procesador de la tarjeta, el número de entradas y salidas y la posibilidad de adicionar periféricos como módulos de conexión Bluetooth y Ethernet, etc.

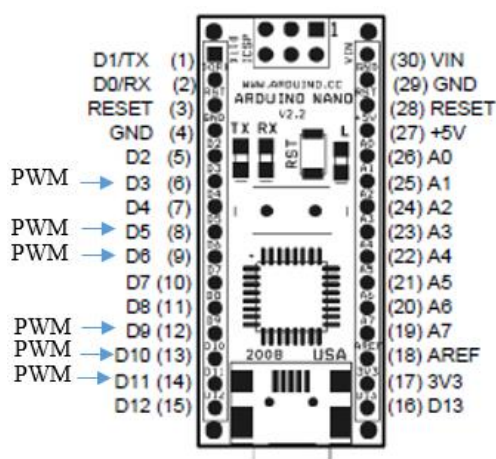
Un ejemplo de tarjeta de desarrollo es la Raspberry Pi, que es empleada en sistemas que pueden ser ubicados en muchos lugares por ejemplo para llevar el control de la seguridad de una fábrica o como medio para enviar información inalámbricamente. Así mismo existe otro tipo de tarjeta que ofrece ventajas similares de portabilidad con mejoras en cuanto al tamaño del

procesador y tipo de memoria, su nombre es BeagleBone Black y cuenta con un sistema Linux preinstalado por lo que no se requiere de una tarjeta SD y cuenta a la vez con un conector MicroHDMI para entrada y salida de video y audio. (Unocero, 2013)

Existe una tarjeta de desarrollo ampliamente usada en proyectos de electrónica, la tarjeta arduino, está basada en un procesador AVR Atmel y tiene ventajas similares al microcontrolador aunque difiriendo un poco en el número de entradas y salidas. Contiene varias versiones que han sido mejoradas en cuanto a dimensiones de la placa para hacerla más portable y de esta forma poderlas adaptar a las distintas aplicaciones a ejecutar. (Bayle, 2013)

- Arduino UNO: Es el arduino más básico, cuyas dimensiones permiten una señalización adecuada para el usuario, a la vez que le permite también poder reemplazar su respectivo AVR y de esta forma la tarjeta podrá continuar funcionando si por alguna razón se produjo daños en el AVR o se ha quemado definitivamente.
- Arduino MEGA: Algunos beneficios que ofrece este arduino es el hecho de poseer más pines tanto de entrada como de salida, y por lo tanto ofrece otras prestaciones y mejoras con respecto al arduino UNO. En varios casos evita el uso de acoples y protecciones (shield) que son necesarios en placas como el arduino UNO.
- Arduino LILYPAD: En este tipo de arduino se puede hacer uso tanto de sensores como de actuadores que se puedan acoplar al arduino empleando hilo conductor o tela conductiva, de forma que es el más indicado para aplicaciones donde se empleen este tipo de telas y ropa inteligentes, lo cual a la vez que economiza espacio aumenta ventajas de flexibilidad en las aplicaciones.
- Arduino NANO: Varias de las prestaciones de los anteriores arduinos se pueden encontrar en esta tarjeta, con la ventaja adicional de contar con un reducido tamaño, para lograr una optimización de espacio y esto se traduce a la optimización general de recursos en determinada

aplicación. En la figura 12 se puede observar la distribución de los pines del nano arduino que especifican pines de alimentación externa e interna, reseteo, transmisión y recepción de datos y la presencia de pines de entrada y salida analógica y digital.



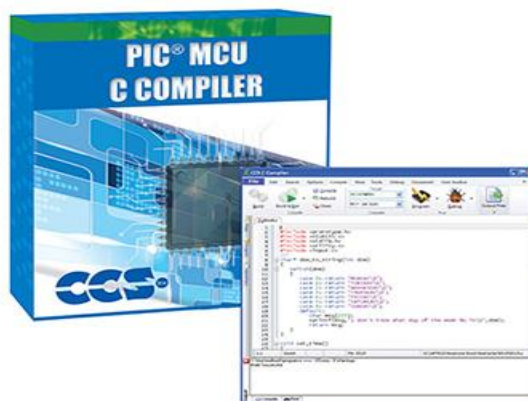
**Figura 12 Pines del Arduino Nano**

Fuente: (Arduino, s.f.)

### 1.7.3. Software de programación

Para asignar las distintas tareas a realizar tanto en los microcontroladores como los arduinos se debe trabajar con el software adecuado, el mismo que se encargará de compilar dichas tareas o líneas de programación en un archivo apto para ser colocado en la memoria interna de los microcontroladores, denominado archivo hexadecimal (.hex).

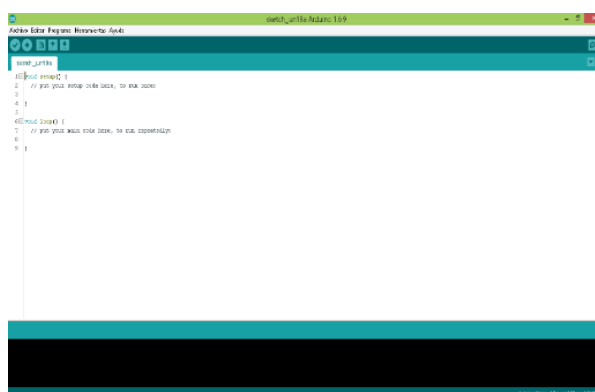
PIC C Compiler es un compilador IDE para PICs desarrollado por Microchip con lo que permite al usuario trabajar de una forma directa sin instalar ningún otro software para realizar los códigos de programación. Éste proporciona como salida los archivos hexadecimales necesarios para los programas. En la figura 13 se puede observar el ícono así como el ambiente de trabajo del software una vez instalado.



**Figura 13 Paquete del PCWH IDE Compiler**

Fuente: (CCS, s.f.)

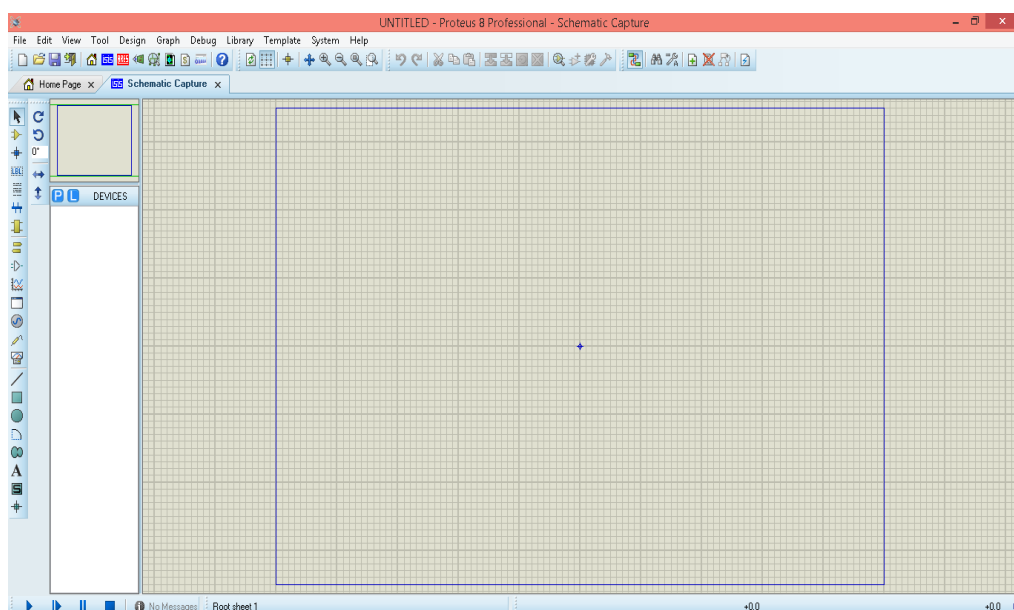
Arduino se caracteriza por ser una plataforma que engloba hardware y software. El software para realizar el código de programación o también conocido Arduino IDE (Entorno de desarrollo integrado) es fácil de instalar y no requiere de licencia alguna ya que es libre y gratuito. En la figura 14 se muestra el ambiente de trabajo que se utiliza al momento de escribir el código de programación. Al igual que un software de microcontrolador PIC, arduino ofrece un archivo .hex, cuya dirección se puede visualizar en las notificaciones del programa (parte baja del programa) una vez compilado el proyecto.



**Figura 14 Ambiente de trabajo del Arduino IDE**

#### 1.7.4. Software de simulación

En la etapa del diseño de circuitos se necesita efectuar las respectivas simulaciones de los mismos para efectuar correcciones y mejoras a los diagramas en una fase anterior a la construcción final. El software Proteus es el encargado de realizar estas tareas, además tiene la ventaja de contar con su propio diseñador de placas PCB con la opción denominada Ares. En la figura 15 se muestra el ambiente de trabajo del software de simulación Proteus Design, la misma que es la que contiene internamente la opción de simular los circuitos, diseñar su placa y finalmente la posibilidad de observar la disposición de los elementos en la placa en formato 3D y así tener una mejor visión en cuanto a la ubicación de los elementos.



**Figura 15 Ambiente de trabajo del software de simulación Proteus.**



## **CAPÍTULO II**

### **INVESTIGACIÓN, DISEÑO Y SELECCIÓN DE DISPOSITIVOS**

El dispositivo electrónico detector de obstáculos para personas no videntes envía información táctil acerca de la presencia de obstáculos, así como de la distancia a la cual se encuentran. De esta manera permite que el usuario se pueda desplazar o esquivar los objetos que amenazan con golpearlo. Comúnmente la detección de obstáculos e información de la misma es enviada a la persona no vidente mediante sonidos lo cual hace que la persona no vidente preste atención a dicha información y no a otros eventos que se llevan a cabo en el lugar donde se encuentra, que puede ser desde el sonido de un vehículo hasta mensajes de otras personas hacia la persona no vidente.

En este capítulo se plantea la solución del problema que busca mejorar tanto la recepción de información como la portabilidad del instrumento detector de obstáculos para que su transporte no sea un problema. De igual manera se presenta la mejor alternativa de diseño electrónico en donde se busca facilitar el uso del dispositivo y así contribuir a la frecuencia de su uso en actividades rutinarias.

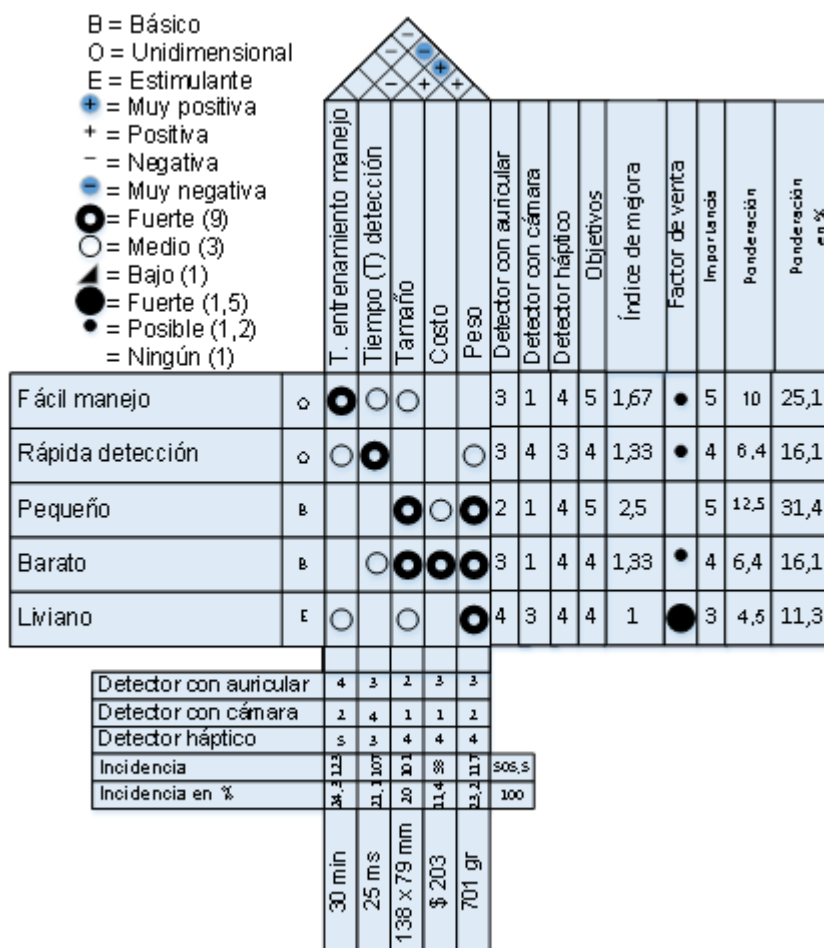
#### **2.1. Parámetros de diseño.**

Durante el desarrollo del proyecto se plantean las alternativas de mejora, teniendo un alto grado de importancia enfocarse a las necesidades del usuario que en este caso son las personas no videntes. Los parámetros de diseño son justamente consideraciones a tomarse en cuenta a lo largo de la construcción del dispositivo, las mismas que son recomendadas por medio de encuestas realizadas (Ver Anexo D). Algunos aspectos a considerar son los siguientes:

- El dispositivo es fácil de manipular.
- El dispositivo detector de obstáculos debe ser usado como un sistema auxiliar al bastón blanco, y no ocupa mucho espacio.

- El dispositivo detecta objetos de forma rápida.
- El dispositivo es liviano, por lo que no fatiga al usuario.
- El dispositivo es de bajo costo.

Los parámetros de diseño son englobados en la construcción del despliegue de la función de la calidad en donde se compara el producto a elaborar con productos ya elaborados, en la figura 16 se muestra la QFD construida la cual muestra la asertividad de la creación del producto frente a las necesidades de los usuarios. (Riba, 2002)



**Figura 16 Despliegue de la función de la calidad del detector háptico.**

Gracias al despliegue de la función de la calidad se puede priorizar las necesidades del usuario para la mejora del producto, en primer lugar con un 31,4 % se encuentra que el dispositivo sea pequeño y como segunda prioridad

con un 25,1% se ubica que el dispositivo sea fácil de manipular. Ambas necesidades deberán priorizar el diseño y construcción del dispositivo detector de obstáculos. El resto de necesidades también serán tomadas en cuenta pero en menor porcentaje. Dentro de las características técnicas, existen dos que tienen una mayor incidencia a considerar para la mejora del producto y son: tiempo de entrenamiento en el manejo y el peso (24,27%, 23,2% respectivamente). Se debe considerar los compromisos establecidos entre las características técnicas y tener cuidado con los que poseen correlación negativa, y son: mientras el peso, costo y tamaño sean menores aumenta el tiempo de detección y mientras el tamaño y costo sean menores, aumenta el tiempo de entrenamiento en el manejo del dispositivo. Mientras exista un balance adecuado entre las modificaciones que posean correlación negativa y positiva, el producto podrá ofrecer mejores ventajas que otros existentes.

## 2.2. Selección del sensor medidor de distancia.

Para el desarrollo del presente proyecto se busca detectar obstáculos que se encuentren dentro del ángulo de detección del sensor a emplear y a la vez conocer la lejanía del objeto. Mediante un sensor medidor de distancias se logra esta detección, por lo tanto se busca plantear las posibles para satisfacer los requerimientos planteados.

Existe una gran variedad de sensores para dicha medición de distancias, entre los cuales se encuentran los que funcionan mediante ultrasonido y los que funcionan mediante una señal infrarroja. Dentro de los sensores que funcionan mediante ultrasonido se puede efectuar una selección pero aunque poseen características que los diferencian entre sí su principio de funcionamiento es el mismo. Para un proceso de selección del sensor adecuado se emplea el método de evaluación de soluciones, para lo cual se definen las posibles soluciones que son: (Riba, 2002)

- Solución A: Medir distancias empleando el sensor ultrasónico HC-SRF04.

- Solución B: Medir distancias empleando el sensor ultrasónico LV-EZ0.
- Solución C: Medir distancias empleando el sensor infrarrojo.

Los criterios de valoración a considerarse en cada una de las soluciones planteadas se plantean de acuerdo a las necesidades y especificaciones técnicas y son las siguientes:

- Pequeño tamaño, ya que el sensor debe ocupar el menor espacio posible para la disposición de los otros elementos del sistema.
- Que sea accesible, mediante una pronta adquisición en el mercado y un precio moderado permite agilizar los diseños.
- Alto alcance, porque es necesaria la detección de objetos tanto cercanos como lejanos al usuario.

**Tabla 4**  
**Evaluación del peso específico de cada criterio.**

Accesibilidad > Alcance > Tamaño					
Criterio	Accesibilidad	Alcance	Tamaño	$\sum +1$	Ponderación
Accesibilidad		1	1	3	0,5
Alcance	0		1	2	0,33
Tamaño	0	0		1	0,17
	Suma			6	1

De acuerdo al grado de importancia que contienen los criterios para el diseño y fabricación del medidor de distancias se debe asignar una valoración o peso específico. Para la solución del problema de medición de distancia se establece que la accesibilidad es más importante que el alcance y el tamaño y, el alcance es más importante que el tamaño. En la tabla 4 se muestra la evaluación del peso específico de cada uno de los criterios planteados.

En la tabla 5 se muestra la evaluación del peso específico del criterio que involucra a la accesibilidad con que cuenta el dispositivo de medición de distancia, es decir la facilidad para poder adquirirlo en el mercado con la

optimización de recursos. Se considera la solución A mayor a la B, mientras que la accesibilidad de la solución B es equivalente o igual que la de la solución C.

**Tabla 5**  
**Evaluación del criterio accesibilidad.**

Solución A > Solución B = Solución C					
Accesibilidad	Solución A	Solución B	Solución C	$\Sigma +1$	Ponderación
Solución A		1	1	3	0,5
Solución B	0		0,5	1,5	0,25
Solución C	0	0,5		1,5	0,25
Suma				6	1

Para la tabla 6 se considera que el alcance de la solución A es mayor al alcance que posee la solución B y también al de la solución C. También se considera que el alcance perteneciente a la solución B es mayor al alcance que posee la solución C, por lo tanto en dicha tabla se muestra la evaluación realizada del peso específico del criterio alcance, al igual que las ponderaciones obtenidas mediante el análisis.

**Tabla 6**  
**Evaluación del criterio alcance.**

Solución A > Solución B > Solución C					
Alcance	Solución A	Solución B	Solución C	$\Sigma +1$	Ponderación
Solución A		1	1	3	0,5
Solución B	0		1	2	0,33
Solución C	0	0		1	0,17
Suma				6	1

En el criterio del tamaño se establece que la solución B alcanza un valor mayor a la solución A y a la solución C. Además se establece que existe una equivalencia entre las soluciones C y A en cuanto a sus valores, es decir

poseen tamaños semejantes. En la tabla 7 se muestra la evaluación del peso específico del criterio ya mencionado.

**Tabla 7**  
**Evaluación del criterio tamaño.**

Solución B > Solución A = Solución C					
Tamaño	Solución A	Solución B	Solución C	$\Sigma +1$	Ponderación
Solución A		0	0,5	1,5	0,25
Solución B	1		1	3	0,5
Solución C	0,5	0		1,5	0,25
Suma				6	1

Como conclusión se establece que la solución A tiene la mayor prioridad es decir constituye como la mejor alternativa con respecto a las otras soluciones planteadas para realizar la medición de distancias. En la tabla 8 se muestra el cálculo de las conclusiones para cada una de las soluciones planteadas y en la misma se puede observar la solución con mayor valor.

**Tabla 8**  
**Cálculo de las conclusiones.**

Conclusión	Accesibilidad	Alcance	Tamaño	$\Sigma$	Prioridad
Solución A	$0,5*0,5$	$0,5*0,33$	$0,25*0,17$	0,4575	1
Solución B	$0,25*0,5$	$0,33*0,33$	$0,5*0,17$	0,3189	2
Solución C	$0,25*0,5$	$0,17*0,33$	$0,25*0,17$	0,2236	3

### 2.3. Selección del código portador de información a emplear.

La información de distancia ayuda a la persona no vidente para que su desplazamiento sea el adecuado, por lo tanto éste debe ser tal que proporcione la información con características óptimas y con la facilidad del caso para que la persona no vidente la recepte sin inconveniente y de esta manera pueda reaccionar ante un obstáculo que se le presente mientras se desplace.

En el sistema braille las combinaciones de la presencia o ausencia de puntos en una célula de dimensiones 2x3 son 64, es decir se pueden representar 64 caracteres diferentes. Las personas con discapacidad visual congénita tienen mayor facilidad en la lectura de celdas braille, ya que han aprendido este sistema desde temprana edad, por lo tanto no es igual enseñar a leer braille a un niño que posee una discapacidad visual de nacimiento con sus sentidos táctiles intactos, que a un adulto que ha perdido su capacidad visual de un momento a otro, con hábitos de lectura previos a dicha pérdida y que no está acostumbrado a emplear el tacto como medio de percepción para leer. (Ministerio de Educación de España, s.f.)

Así mismo el método de lectura braille conlleva el estudio adecuado del mismo y de varias técnicas de aprendizaje, ya que si bien es cierto la lectura del braille emplea celdas para realizar la lectura del movimiento y generación de puntos, existen muchas combinaciones que han sido configuradas para leer textos en otros idiomas lo cual dificulta hasta cierto punto el aprendizaje del lenguaje braille. (AT Braille, s.f.)

Según (Díaz, 2008), en muchas ocasiones la comunicación mediante el braille se limita debido a que no existe la información suficiente requerida, mientras que personas con capacidad visual cuentan con información disponible en un sin número de fuentes. Además otra desventaja del sistema es el hecho de no ser manejado por algunas personas con discapacidad visual, tanto en escritura como en lectura, por distintas razones.

Con el presente proyecto se pretende realizar una combinación de 1x4 señales, que permitirá a una persona con discapacidad visual poder emplear el sistema sin necesidad de saber leer el código braille, conociendo las asignaciones de los rangos de activación que se representan mediante distancias que existen entre los objetos y el usuario; dichas distancias se encuentran clasificadas en rangos y numeradas en orden ascendente. Mediante los rangos de activación y su respectivo uso se conforma un código

de activación de señales, los códigos a obtener pueden ser el proporcional, el binario o el analógico.

### 2.3.1. Código proporcional

Se conforma por cinco códigos de activación, lo cual ayuda a un rápido entendimiento del sistema. (Ver tabla 9)

**Tabla 9**  
**Desglose del código proporcional.**

Clasificación de rangos	Código de activación
Rango 1	0001
Rango 2	0010
Rango 3	0100
Rango 4	1000
Rango 5	0000

### 2.3.2. Código binario

En la tabla 10 se muestran los códigos de activación del código binario. Una de las ventajas de este código es la de ofrecer una mayor resolución con respecto a la distancia total a medir, es decir es posible tener un mayor conocimiento de las distancias intermedias que existen por lo que los rangos de las distancias aumentan en número. La expectativa del presente proyecto es que con un poco de práctica el usuario puede leer sin problemas estas combinaciones, como ocurre a la inversa en el caso del saxofón (ver sección 1.2). De manera que con un poco de práctica el usuario memoriza los rangos de distancias y los códigos de activación, de manera que los asocia rápidamente uno con respecto del otro al momento de efectuar un uso continuo del dispositivo.

Pese a contar con la posibilidad de un rápido aprendizaje, el tiempo invertido para el mismo puede constituir una desventaja en determinados casos. Un factor importante que influye para que el tiempo de entrenamiento sea de corta o larga duración, es que el usuario sea una persona no vidente



congénita o que por el contrario haya perdido la capacidad visual debido a algún accidente o enfermedad en su edad adulta y que por lo tanto no dispone de las destrezas necesarias.

**Tabla 10**  
**Desglose del código binario.**

Clasificación de rangos	Código de activación
Rango 1	0001
Rango 2	0010
Rango 3	0011
Rango 4	0100
Rango 5	0101
Rango 6	0110
Rango 7	0111
Rango 8	0100
Rango 9	0101
Rango 10	1010
Rango 11	1011
Rango 12	1100
Rango 13	1101
Rango 14	1110
Rango 15	1111
Rango 16	0000

### 2.3.3. Código analógico

En este código existe una subdivisión de los rangos de distancia establecidos, es por ello que los códigos de activación tendrán una representación analógica que se irá incrementando conforme el valor en la distancia aumente. Cada rango es dividido en partes iguales para de esta forma conocer un mayor número de distancias que conformen los rangos de distancias que el detector de obstáculos se encuentre identificando en ese momento.

Una ventaja es la de poder aumentar el número de combinaciones según se requiera, lo único que se debe establecer es el valor de  $n$ , que puede ser el mismo o varias en cada uno de los rangos establecidos. En la tabla 11 se puede observar el desglose del código analógico que esquematiza el modo de actuar del código.

**Tabla 11**  
**Desglose del código analógico.**

Rango principal	Desglose del rango
Rango principal 1	Distancias que están dentro del rango 1
Rango principal 2	Distancias que están dentro del rango 2
Rango principal 3	Distancias que están dentro del rango 3
Rango principal 4	Distancias que están dentro del rango 4

#### 2.4. Selección del actuador.

Para la selección del método de emisión de información de distancia aparte del tratamiento de información de distancia se debe considerar el elemento portador de dicha información. Según (Garzón, 2015) un elemento para transmitir información a las personas sordo-ciegas son los microvibradores. En (Cherres, 2015) se menciona que un método para transmitir información a las personas no videntes es la utilización de actuadores manipulados mediante motores paso a paso que logran un cambio de relieve de forma automática en la línea Braille. La construcción de las celdas braille ha ido en constante mejora en cuanto a los actuadores empleados para la misma, por lo cual la tecnología empleada optimiza la mayor cantidad de recursos posibles. En (Lafuente, 2011) se indica que es aconsejable la lectura del braille con ambas manos para mejorar la orientación del usuario hacia dónde se dirige su lectura y de esta forma leer de una manera eficaz y rápida.

Con la información recopilada se procede a establecer tres tipos de soluciones que contribuyen para que la persona con discapacidad visual

reciba el código usando un determinado actuador. Las posibles soluciones son las siguientes:

- Solución A: Alertar al usuario mediante un cambio de relieve empleando micro servomotores.
- Solución B: Alertar al usuario al sentir vibraciones empleando motores vibradores.
- Solución C: Alertar al usuario mediante una celda braille empleando actuadores piezoeléctricos.

En cada una de las soluciones se encuentra el tipo de actuador a emplear para efectuar su desarrollo, conviene emplear el método de ponderación para realizar una selección para lo cual se asignan ciertas condiciones o especificaciones que son las adecuadas para el desarrollo del proyecto, a continuación se detallan:

- Disponibilidad en el mercado, que quiere decir que sea fácil de encontrar en el mercado local para no tener inconvenientes para conseguirlo rápidamente.
- Costo, para que su uso optimice recursos.
- Rápida detección, para que al momento de estar funcionando el usuario pueda sentir su presencia y ausencia según sea el caso.

**Tabla 12**  
**Grados de importancia de las especificaciones del actuador.**

Detección > Costo > Disponibilidad					
Criterio	Detección	Costo	Disponibilidad	$\sum +1$	Ponderación
Detección		1	1	3	0,5
Costo	0		1	2	0,33
Disponibilidad	0	0		1	0,17
	Suma			6	1

Para la solución del problema de selección del mejor actuador se fija a la detección como el criterio o especificación más importante que el costo, a su vez se considera que el costo es un criterio que tiene un mayor peso o grado de importancia que el criterio de la disponibilidad. A continuación en la tabla 12 se muestra el peso específico de cada criterio, asignado conforme el grado de importancia que ha sido asignado o considerado para el análisis.

En la tabla 13 se observa la evaluación del criterio de detección referente a la facilidad para reconocer la activación de uno o más actuadores. Se considera que la detección que tiene el elemento planteado en la solución A es mayor a la que poseen los elementos tanto la solución B como de la solución C, es decir que se logra detectar un cambio de relieve de forma instantánea t certera. Mientras que la detección correspondiente al elemento de la solución C es mayor que la que pertenece el elemento propuesto en la solución B.

**Tabla 13**  
**Evaluación del criterio detección.**

Solución A > Solución C > Solución B					
Detección	Solución A	Solución B	Solución C	$\sum +1$	Ponderación
Solución A		1	1	3	0,5
Solución B	0		0	1	0,17
Solución C	0	1		2	0,33
Suma				6	1

A continuación para la construcción de la tabla 14 se considera que el criterio costo a analizar de la solución A es mayor al que posee la solución B al igual que la solución C, lo que quiere decir que dicha solución (solución A) posee menor costo frente a las otras soluciones. También se considera que el costo perteneciente a la solución B es mayor al costo que posee la solución C.

En el requerimiento denominado disponibilidad, la solución A es mayor que la solución B y la solución C, mientras que la disponibilidad de la solución B es mayor que la que posee la solución C. En la tabla 15 se muestra la evaluación del peso específico del criterio ya mencionado, junto con las ponderaciones obtenidas del análisis.

**Tabla 14**  
**Evaluación del criterio del costo.**

Solución A > Solución B > Solución C					
Costo	Solución A	Solución B	Solución C	$\Sigma +1$	Ponderación
Solución A		1	1	3	0,5
Solución B	0		1	2	0,33
Solución C	0	0		1	0,17
Suma				6	1

En la tabla 16 se muestra que para alertar al usuario se debe usar con prioridad 1, los microservomotores para que su contacto con él sea de un cambio de relieve.

**Tabla 15**  
**Evaluación del criterio disponibilidad.**

Solución A > Solución B > Solución C					
Disponibilidad	Solución A	Solución B	Solución C	$\Sigma +1$	Ponderación
Solución A		1	1	3	0,5
Solución B	0		1	2	0,33
Solución C	0	0		1	0,17
Suma				6	1

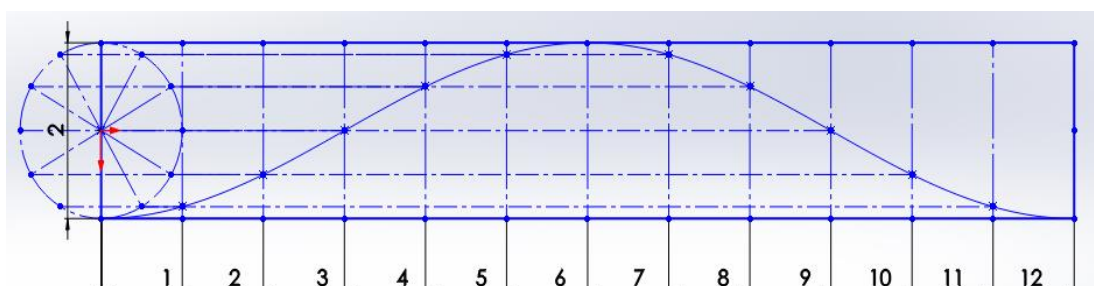
De acuerdo al método de ponderaciones empleado en la presente investigación se considera el empleo de microservomotores. Según (Candelas & Corrales, 2007) las ventajas de los servomotores en cuanto su precisión para posicionarse lo hacen un actuador ideal en aplicaciones de robótica, automática, modelismo, etc. En cuanto a su movimiento radial, se puede

efectuar una conversión de este tipo de movimiento a un movimiento lineal, empleando un mecanismo de leva-seguidor. Un mecanismo leva-seguidor, consiste en un elemento mecánico (leva) que entra en contacto directo con otro elemento (seguidor) para conseguir un cierto desplazamiento lineal. (Shigley & Uicker, 1995)

**Tabla 16**  
**Conclusiones del actuador seleccionado.**

Conclusión	Detección	Costo	Disponibilidad	$\Sigma$	Prioridad
Solución A	0,5*0,5	0,5*0,33	0,5*0,17	0,5	1
Solución B	0,17*0,5	0,33*0,33	0,33*0,17	0,25	2
Solución C	0,33*0,5	0,17*0,33	0,17*0,17	0,25	2

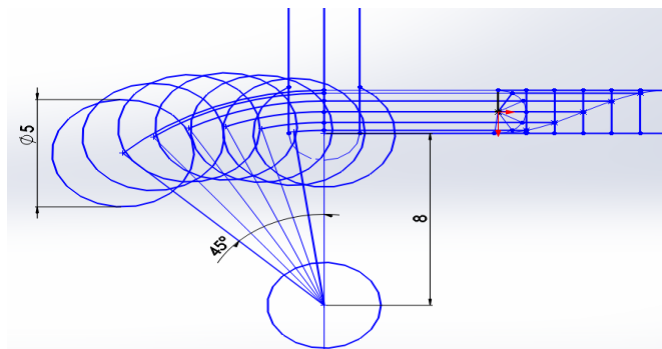
Por efectos de tamaño se selecciona el estudio de una leva de tipo placa y un seguidor de tipo rodillo, conjuntamente con el movimiento armónico simple en la elaboración del diagrama de desplazamiento que evita cambios de estado de manera brusca. La elección del mecanismo leva-seguidor aporta aspectos tales como reducción de tamaño en el sistema, sin embargo no son indispensables los denominados movimientos RFD o de subida-bajada-detenimiento, ya que el actuador seleccionado es un servomotor y este estará encargado del ascenso y descenso del seguidor de una forma directa. (Norton, 2009)



**Figura 17 Diagrama de desplazamiento del sistema leva-seguidor.**

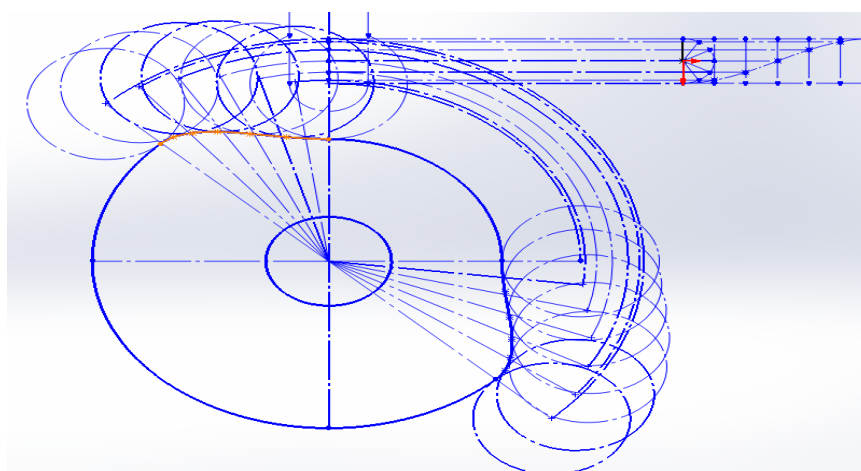
Se procede a la elaboración del diagrama de desplazamiento, en donde se grafica un círculo con diámetro igual al desplazamiento máximo a obtener,

el cual se encuentra dividido en partes iguales, siendo conveniente un mayor número de divisiones, en la figura 17 se muestra el diagrama de desplazamiento que indica que el mayor desplazamiento del seguidor es de 2mm y se ha dividido la circunferencia en doce partes iguales.



**Figura 18 Datos y procedimiento a seguir al elevarse el seguidor.**

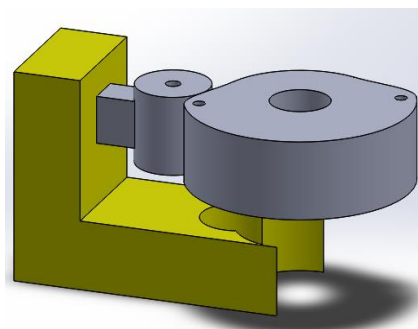
A continuación se establecen las medidas del diámetro del rodillo, de la separación entre el eje del rodillo y el eje del motor que hace girar la leva y del ángulo requerido para que el seguidor alcance su desplazamiento máximo. En la figura 18 se muestra las medidas, dadas en milímetros y grados, requeridas para la construcción de la leva, así como del procedimiento a seguir desde la posición inicial hasta que el seguidor alcance su desplazamiento máximo en donde se requiere hacer girar el seguidor en sentido contrario al sentido de giro del motor que hace girar la leva.



**Figura 19 Trazo de la leva correspondiente al mecanismo leva-seguidor.**

Pese a que el mecanismo requerido no realiza una revolución completa, sino solo se realiza la activación de un servomotor hacia un sentido de giro y luego del sentido contrario, es necesario establecer un ángulo de detenimiento, en donde la leva mantendrá la elevación máxima alcanzada, este ángulo tiene un valor de  $180^\circ$  y posterior a dicho ángulo se establece el descenso del seguidor durante los  $45^\circ$  siguientes, cuyo procedimiento es similar al anterior sólo que esta vez el perfil de la leva tendrá un sentido opuesto por el mismo hecho de tratarse de la desactivación del seguidor, es decir retorno a la posición inicial. Los ángulos restantes corresponden a otra sección de detenimiento en donde el seguidor se mantiene en la posición de inicio. Para el trazo del perfil de la leva se coloca una línea tangente a cada uno de los rodillos proyectados tanto en la activación como en la desactivación del seguidor, mientras que en las secciones de detenimiento se realizan arcos cuyo centro es el eje de giro del motor que hace girar la leva. En la figura 19 se muestra el perfil de la leva completo correspondiente al mecanismo leva-seguidor.

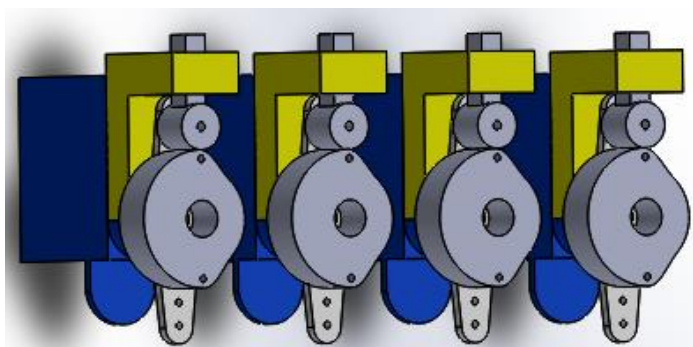
Una vez establecido el perfil de la leva encargada de efectuar el desplazamiento lineal se añade el seguidor y el elemento fijo que se encargará de asegurar que el recorrido del seguidor mantenga una trayectoria adecuada, en la figura 20 se muestran los elementos del mecanismo leva-seguidor listos para ser acoplados al motor encargado de hacer girar la leva.



**Figura 20 Mecanismo leva-seguidor para un desplazamiento de 2mm.**

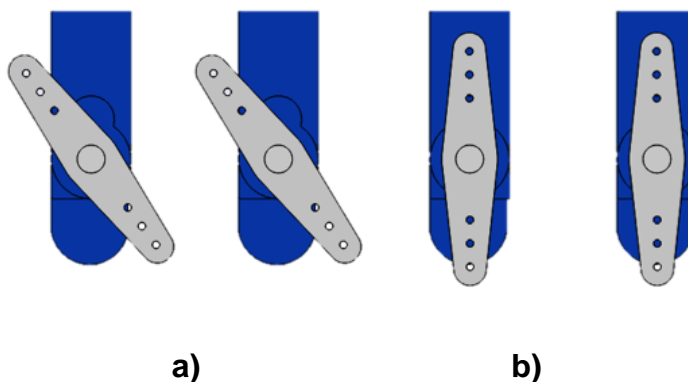


El mecanismo leva-seguidor es accionado mediante la activación de un micro servomotor, por lo cual a cada micro servomotor le corresponde tener alojado un mecanismo leva-seguidor. En la figura 21 se muestra un bando de cuatro mecanismos leva-seguidor con su correspondiente micro servomotor de accionamiento.



**Figura 21 Mecanismo leva-seguidor para un desplazamiento de 2mm.**

El uso de un mecanismo de accionamiento conjuntamente con los microservomotores puede constituir una desventaja en cuanto a tamaño, ya que los elementos de un mecanismo ocupan espacio y ocasionan mayor peso al banco al cual estén sujetos. Por esta razón se descarta el uso del mecanismo leva-seguidor, y se adopta el uso de los microservomotores que de forma directa es decir sin la intervención de otro mecanismo se encuentran en activa comunicación con las personas con discapacidad visual para que comuniquen mediante cambios de estado la distancia que los separa de los objetos detectados. (Ver figura 22).



**Figura 22 Microservomotores: a) desactivos y b) activos.**

Los códigos de activación planteados tanto para el código binario como para el proporcional hacen llegar la información de distancia a la persona no vidente mediante la activación o desactivación de un microservomotor por cada uno de los dígitos del código de activación existentes. Existen 4 microservomotores que para estar en funcionamiento necesitan una sola señal para su activación así como para su desactivación. En el código de activación existen los valores de 0 y 1 lógico, en donde el 1 significa activación y el 0 significa desactivación. Los microservomotores representan los dígitos de los códigos de activación.

Los códigos de activación correspondientes al código binario pueden incrementarse al momento de acoplar otro microservomotor al sistema, contando con 32 combinaciones, capaces de contener todo el alfabeto conjuntamente con otros caracteres si fuese requerido por el usuario.

## 2.5. Selección de la tarjeta de control.

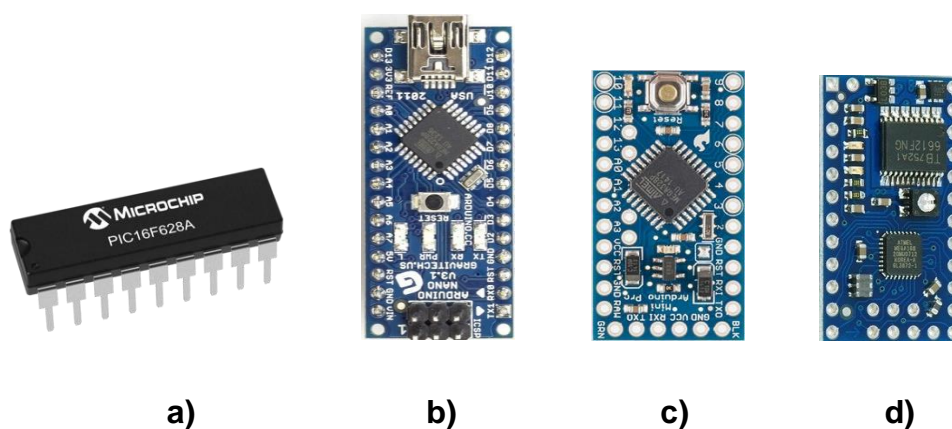
Para la selección de la tarjeta de control se toma en cuenta el número de elementos de entrada y de salida necesarios para el desarrollo del proyecto; de igual forma se consideran otros aspectos importantes tales como el tamaño y los costos de los elementos. En la tabla 17 se muestra el número de pines de los dispositivos usados.

**Tabla 17**  
**Dispositivos de entrada y salida.**

Dispositivo	Pines		Señal
	Entrada	Salida	
Microservomotores		4	PWM
Pulsante de cambio de modo	1		Digital
Sensor ultrasónico	2		Digital
Alarma		1	Digital
Lector de nivel de voltaje	1		Analógica
Total de pines	4	5	

En base a lo analizado no es necesario el empleo de tarjetas de desarrollo sofisticadas como es el caso de la tarjeta de desarrollo Raspberry pi que tiene validez en otro tipo de aplicaciones como la de ser usada como reproductor multimedia, emulador de máquinas de juego y recreativas, en sistemas completos de vigilancia, etc. (Pascual, 2015); por lo que se procede a plantear cuatro soluciones para el tratamiento de información y sistema de control del proyecto, las soluciones se detallan a continuación:

- Solución A: Emplear el PIC 16f628a para el sistema de control.
- Solución B: Emplear la tarjeta de desarrollo Arduino Nano para el sistema de control.
- Solución C: Emplear la tarjeta de desarrollo Arduino Pro Mini para el sistema de control.
- Solución D: Emplear la tarjeta de desarrollo Mini Orangután para el sistema de control.



**Figura 23 Solución con: a) PIC, b) Arduino nano c) Arduino Pro mini d) Mini orangután.**

Fuente: (Tdrobotica.co, s.f.)

En la figura 23 se muestra la imagen de cada una de las soluciones planteadas para la selección de la tarjeta de control; en a) la solución A, en b) la solución B, en c) la solución C, y en d) la solución D.

Se han planteado las soluciones considerando el ahorro de espacio en el detector de obstáculos. Adicionalmente se presentan los criterios para tomar

en cuenta en la selección de la tarjeta de control, para lo cual se pretende aplicar el método de ponderaciones con los siguientes criterios:

- Que se pueda adquirir fácilmente, al igual que otros elementos seleccionados es importante que se encuentre en el mercado local.
- Que sea de tamaño pequeño, ya que se pretende hacer el sistema portable y por lo tanto es importante optimizar espacio.
- Que no posea un costo elevado, ya que es importante optimizar costos y aprovechar la existencia de tarjetas económicas que cumplen con los requerimientos del proyecto.
- Que posea un pulsador de reseteo físico, para que se evite de usar un pulsante externo para que el sistema se pueda reiniciar.

En la tabla 18 se muestran los pesos de los criterios considerados para el análisis de selección de la tarjeta de control, en donde se considera que la adquisición de la tarjeta de control es más importante que la existencia de un reseteo físico, éste último es más importante que el costo y tamaño y estas dos últimas son iguales.

**Tabla 18**  
**Pesos específicos de los criterios de la tarjeta de control.**

Adquisición > Reseteo f. > Costo = Tamaño						
Criterio	Adquisición	Reseteo f.	Costo	Tamaño	$\Sigma +1$	Peso e.
Adquisición		1	1	1	4	0,45
Reseteo f.	0		1	1	3	0,35
Costo	0	0		0,5	1,5	0,10
Tamaño	0	0	0,5		1,5	0,10
Suma					10	1

En la tabla 19 se muestra el análisis del criterio de la adquisición de la tarjeta de control, para poder realizarlo se realizan consideraciones en cuanto a la facilidad que posee cada una de las soluciones planteadas. Primeramente se considera que el nivel de adquisición de la solución (Sol.) A es igual al que

posee la solución B, y a la vez se considera que es mayor al que contienen las soluciones C y D. A continuación se considera que el nivel de adquisición que posee la solución C es mayor a la facilidad para adquirir que posee la solución D.

**Tabla 19**  
**Análisis del criterio de adquisición.**

Solución A = Solución B > Solución C > Solución D						
Adquisición	Sol. A	Sol. B	Sol. C	Sol. D	$\Sigma +1$	Ponderación
Sol. A		0,5	1	1	3,5	0,35
Sol. B	0,5		1	1	3,5	0,35
Sol. C	0	0		1	2	0,20
Sol. D	0	0	0		1	0,10
				Suma	10	1

En la tabla 20 se muestra el análisis del criterio de la existencia de un reseteo físico, en donde se consideran B y C mayores a D y A.

**Tabla 20**  
**Análisis del criterio de la existencia de un reseteo físico.**

Solución B = Solución C > Solución A = Solución D						
Reseteo f.	Sol. A	Sol. B	Sol. C	Sol. D	$\Sigma +1$	Ponderación
Sol. A		0	0	0,5	1,5	0,15
Sol. B	1		0,5	1	3,5	0,35
Sol. C	1	0,5		1	3,5	0,35
Sol. D	0,5	0	0		1,5	0,15
				Suma	10	1

En la tabla 21 se muestra el análisis del criterio costo. Para la realización de dicha tabla se considera que el costo que posee la solución A es más conveniente que el que posee la solución B y la solución C, lo que quiere decir que la solución A tiene mayor ponderación que las otras soluciones. También se considera que el costo de la solución B es mayormente

conveniente que el costo que posee tanto la solución C como la solución D. Finalmente existe la consideración, en donde el costo que posee la solución C es mayormente conveniente al que posee la alternativa o solución D del presente análisis.

**Tabla 21**  
**Análisis del criterio de costo.**

Solución A > Solución B > Solución C > Solución D						
Costo	Sol. A	Sol. B	Sol. C	Sol. D	$\Sigma +1$	Ponderación
Sol. A		1	1	1	4	0,40
Sol. B	0		1	1	3	0,30
Sol. C	0	0		1	2	0,20
Sol. D	0	0	0		1	0,10
Suma					10	1

La tabla 22 muestra la evaluación y consideraciones del criterio tamaño, con las soluciones iguales A y C mayores a las soluciones iguales D y B.

**Tabla 22**  
**Evaluación del criterio de tamaño.**

Solución A > Solución C = Solución D > Solución B						
Tamaño	Sol. A	Sol. B	Sol. C	Sol. D	$\Sigma +1$	Ponderación
Sol. A		1	1	1	4	0,40
Sol. B	0		0	0	1	0,10
Sol. C	0	1		0,5	2,5	0,25
Sol. D	0	1	0,5		2,5	0,25
Suma					10	1

Para la selección de la mejor solución de la tarjeta de control se toma en cuenta los datos de los criterios especificados, en la tabla 23 se muestra el resultado en forma de prioridades, siendo la prioridad 1 la selección más adecuada frente al problema.

El uso y programación de los códigos de activación para el manejo de los microservomotores se la realiza empleando nano ARDUINO, considerando los resultados obtenidos del método de ponderaciones. En la sección 2.5 se detallará la secuencia de tareas para la realización de emisión de información del medidor de distancias. Las características y especificaciones técnicas del dispositivo seleccionado solventan las necesidades del proyecto en cuanto al número de entradas y salidas demás requerimientos para el tratamiento de señales que intervienen en el sistema.

**Tabla 23**  
**Conclusiones del actuador seleccionado.**

Conclusión	Adquisición	Reseteo f.	Costo	Tamaño	$\Sigma$	Prioridad
Sol. A	0,35*0,45	0,15*0,35	0,4*0,10	0,4*0,10	0,290	2
Sol. B	0,35*0,45	0,35*0,35	0,3*0,10	0,1*0,10	0,320	1
Sol. C	0,2*0,45	0,35*0,35	0,2*0,10	0,25*0,10	0,258	3
Sol. D	0,1*0,45	0,15*0,35	0,1*0,10	0,25*0,10	0,133	4

## 2.6. Selección del modelo de ergonomía.

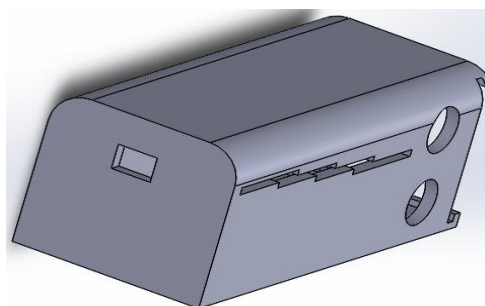
Comúnmente las personas con discapacidad visual emplean teclados u otros elementos como anotadores parlantes para efectuar la lectura o escritura del código braille. En la figura 24 se muestra la opción 1 del modelo de carcasa, que consiste en la intervención de ambas manos para lograr una comunicación activa entre el dispositivo y el usuario.



**Figura 24 Opción 1 del modelo de carcasa.**

Fuente: (Universidad del país Vasco, s.f.)

Conforme se tienen especificados los dispositivos de entrada y salida a emplear (ver sección 2.5), así como también los elementos de conexión (cables, terminales y conectores), se toma en cuenta sus dimensiones para el diseño de una carcasa que aloje el total de estos elementos; en la figura 25 se muestra la opción 2 del modelo de carcasa, que considera los aspectos ya mencionados.



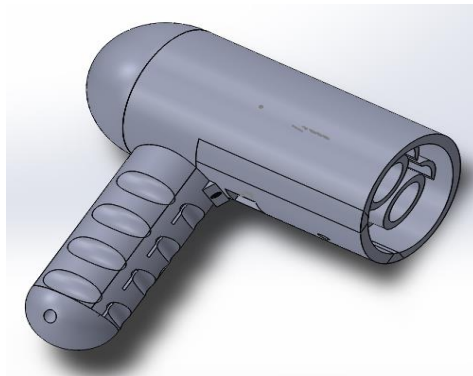
**Figura 25 Opción 2 del modelo de carcasa.**

La ergonomía es muy importante para el uso de dispositivos manuales, ya que utiliza ciertas características de las partes del cuerpo humano con las cuales va a estar en contacto el dispositivo. De esta forma gracias a las consideraciones ergonómicas la persona logra una buena comunicación con la máquina y a su vez con el entorno. (Notas técnicas de prevención, 1990)

Según (Melo, 2009), a la ergonomía interviene en varias disciplinas que tienen que ver o que involucran el desempeño de las personas. Algunos ejemplos de aplicaciones de la ergonomía están en el trabajo, en el hogar, en los medios de transporte, entre otras áreas en las cuáles se desenvuelve el ser humano.

Se propone un modelo de carcasa en donde su diseño elimine los filos existentes, posea consideraciones ergonómicas y características de la mano, en la figura 26 se muestra un modelo de carcasa que contiene ciertas muescas para que los dedos del usuario puedan descansar en ellas.





**Figura 26 Opción 3 del modelo de carcasa.**

Para seleccionar qué opción es la adecuada para la construcción y diseño del modelo de carcasa se emplea el método de ponderaciones, cuyas soluciones son las siguientes:

- Solución A: Seleccionar la opción 1 del modelo de carcasa.
- Solución B: Seleccionar la opción 2 del modelo de carcasa.
- Solución C: Seleccionar la opción 3 del modelo de carcasa.

De acuerdo a lo analizado previamente para la construcción de un dispositivo manual existen ciertas consideraciones o criterios a tomar en cuenta en cada una de las soluciones que han surgido; estos criterios ayudan a la selección de la mejor alternativa de diseño y por lo tanto a desechar las alternativas poco adecuadas para el presente proyecto y son:

- Fácil agarre, con las consideraciones ergonómicas necesarias para la mayor cantidad de usuarios.
- Que permita la interacción entre dispositivo y usuario, mediante una colocación estratégica de sensor y actuadores.
- Que sea portable, para que pueda ser trasladado de un lugar a otro.

Se establece que la facilidad de agarre tiene mayor grado de importancia que la interacción, y esta última es más importante que el ser portable, en la tabla 24 se muestra el valor asignado o ponderación de cada criterio.

**Tabla 24**  
**Grados de importancia de los criterios del modelo de carcasa.**

Agarre > Interacción > Portable					
Criterio	Agarre	Interacción	Portable	$\Sigma +1$	Ponderación
Agarre		1	1	3	0,5
Interacción	0		1	2	0,33
Portable	0	0		1	0,17
Suma				6	1

En la tabla 25 se muestran los resultados de la evaluación del criterio de agarre. Considerando que el agarre que se logra obtener empleando la solución C es considerablemente mayor a la que se puede conseguir empleando las otras soluciones existentes, mientras que la solución B es mayor a la solución A, lo que quiere decir que esta última no posee una facilidad de agarre adecuada para el correcto desempeño del dispositivo.

**Tabla 25**  
**Evaluación del criterio agarre.**

Solución C > Solución B > Solución A					
Agarre	Solución A	Solución B	Solución C	$\Sigma +1$	Ponderación
Solución A		0	0	1	0,17
Solución B	1		0	2	0,33
Solución C	1	1		3	0,5
Suma				6	1

En la tabla 26 se muestra la evaluación del criterio de interacción, que se refiere a la correcta comunicación que se logra entre el dispositivo y el usuario, en donde se considera que la interacción que se consigue empleando la solución B es igual a la que se obtiene con la solución C, mientras que la interacción con el usuario que se consigue empleando la solución B y el que puede llegar a obtener empleando la solución C son mayores a la que se logra empleando la solución A como alternativa final.

**Tabla 26**  
**Evaluación del criterio de interacción.**

Solución B = Solución C > Solución A					
Interacción	Solución A	Solución B	Solución C	$\sum +1$	Ponderación
Solución A		0	0	1	0,16
Solución B	1		0,5	2,5	0,42
Solución C	1	0,5		2,5	0,42
Suma				6	1

En el criterio de ser portable, se considera que la alternativa de la solución C es significativamente mayor a la solución A y a la solución B, lo que quiere decir que la solución C tiene mayor facilidad para portar de un lugar a otro y por lo tanto para transportar la carcasa del dispositivo, mientras que B es mayor que A.

En la tabla 27 se muestra la evaluación del criterio portable, en donde se detallan que ponderación posee cada una de las soluciones a analizar.

**Tabla 27**  
**Evaluación del criterio portable.**

Solución C > Solución B > Solución A					
Portable	Solución A	Solución B	Solución C	$\sum +1$	Ponderación
Solución A		0	0	1	0,17
Solución B	1		0	2	0,33
Solución C	1	1		3	0,5
Suma				6	1

Con los resultados obtenidos en las tablas de evaluación de criterios para el problema de selección de carcasa se construye la tabla de conclusiones. En la tabla 28 se encuentran las conclusiones, que ayudan a establecer el orden de prioridad en cuanto a la selección de alternativas frente al problema planteado.

La opción a escogerse para el diseño del modelo de carcasa en el dispositivo es la Solución C, teniendo la mayor prioridad.

**Tabla 28**  
**Conclusiones del modelo de carcasa seleccionado.**

Conclusión	Agarre	Disposición	Portable	$\Sigma$	Prioridad
Solución A	0,17*0,5	0,16*0,33	0,17*0,17	0,1667	3
Solución B	0,33*0,5	0,42*0,33	0,33*0,17	0,3597	2
Solución C	0,5*0,5	0,42*0,33	0,5*0,17	0,4736	1

### 2.7. Cálculo de consumo energético del dispositivo.

Con ayuda de los elementos seleccionados, se procede a realizar una sumatoria de toda la corriente necesaria para el funcionamiento de cada uno, de manera que se pueda dar el funcionamiento del sistema completo y no existan inconvenientes en el abastecimiento de voltaje en el circuito de control. En la tabla 29 se detalla el consumo de corriente de los dispositivos empleados.

**Tabla 29**  
**Consumo de los dispositivos empleados.**

Cantidad.	Dispositivo	Corriente (mA)	
		Valor unitario	Valor total
4	Microservomotores	100	400
1	Sensor ultrasónico HC SR04	15	15
1	Buzzer	30	30
Total de corriente (mA)			445

Es necesario que el voltaje de alimentación, superen los 5 voltios (al menos 7 voltios), de esta forma se está garantizando el correcto funcionamiento de los reguladores de voltaje, tanto de la tarjeta de control arduino nano como del circuito de alimentación para los microservomotores. Las baterías recargables cuentan con una especificación técnica muy

importante, y es la carga eléctrica con la que cuenta, en Ec. 3 se muestra su equivalencia.

$$Q = I * t$$

### Ec. 3 Carga eléctrica de la batería

En donde:

$Q$  = Carga eléctrica de la batería (mAh)

$I$  = Intensidad (mA)

$t$  = Tiempo (h)

Se seleccionó una batería Li-ion recargable de 1500mAh, 7.4 Voltios. Para conocer el tiempo de carga de la batería, se emplean la corriente que proporciona el cargador de la batería igual a 800mA y la carga eléctrica de la batería. De Ec.3 se puede despejar el tiempo, y se obtiene Ec.4.

$$t = \frac{I}{Q}$$

### Ec. 4 Tiempo de carga de la batería

En donde:

$Q$  = Carga eléctrica de la batería (mAh)

$I$  = Intensidad de salida del cargador (mA)

$t$  = Tiempo de carga de la batería (h)

Según Ec. 4 y los datos especificados en el cargador y en la batería se tiene que el tiempo de carga de la batería es igual a:

$$t = \frac{1500\text{mAh}}{800\text{mA}}$$

$$t = 1,87 \text{ h}$$

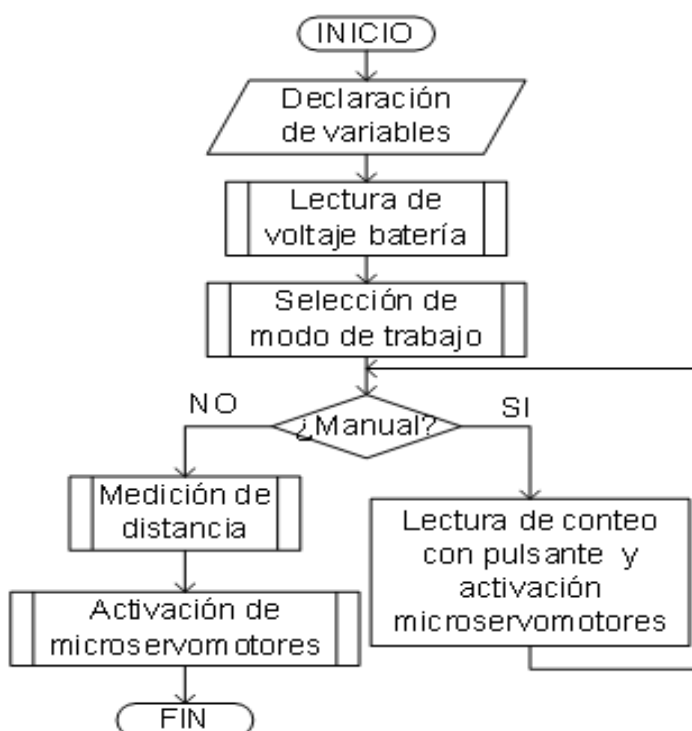


**Figura 27 Alimentación para el circuito del dispositivo.**

Fuente: (AliExpress, s.f.)

En la figura 27 se muestra la alimentación para el circuito del dispositivo conformada por una batería Li-ion recargable de 7,4 V, y 1500mAh, y un cargador de 7,4V y 800mA. Debido a la disponibilidad en mercado se procedió a su selección, por su capacidad de corriente y comercialización con su respectivo cargador, con lo que se está alargando la vida útil de la batería.

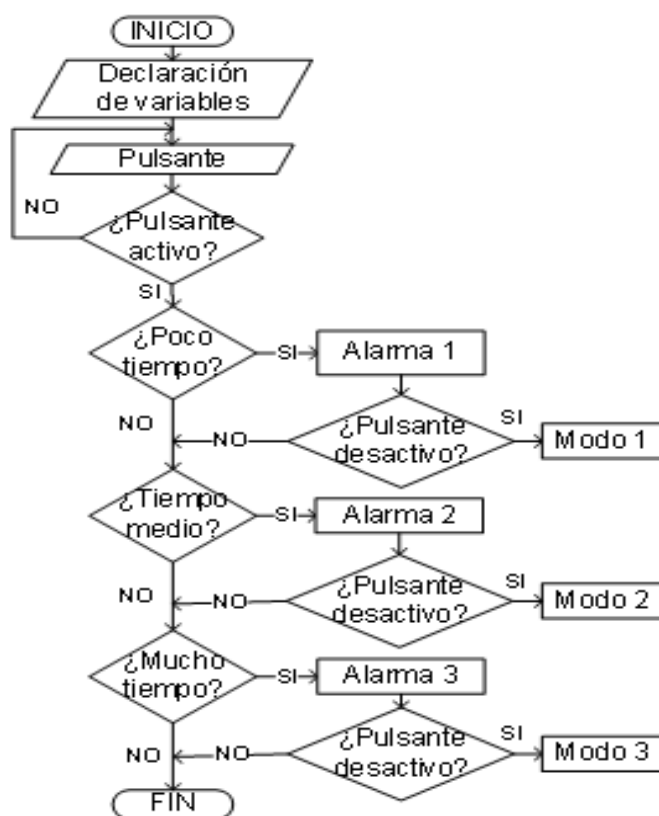
## 2.8. Diseño electrónico y de control del dispositivo.



**Figura 28 Flujograma del dispositivo detector de obstáculos.**

Para el diseño electrónico del medidor de distancias se debe implementar un código de programación empleando el software Arduino IDE, para lo cual se emplean diagramas de flujo; estos son aquellos que sirven para establecer las tareas a realizar y variables a considerar, a la vez que proporciona una idea en forma general del funcionamiento del proyecto.

En la figura 28 se muestran los subprocesos del dispositivo detector de obstáculos, y se indica que una vez declaradas las variables, se efectúa la lectura del voltaje de la batería a emplear, luego se lee el modo de trabajo y sólo si es diferente al modo manual se efectúa la medición de distancia y activación de microservomotores respectiva, caso contrario de acuerdo al estado de un pulsador se efectúa de forma manual la activación de estos actuadores.

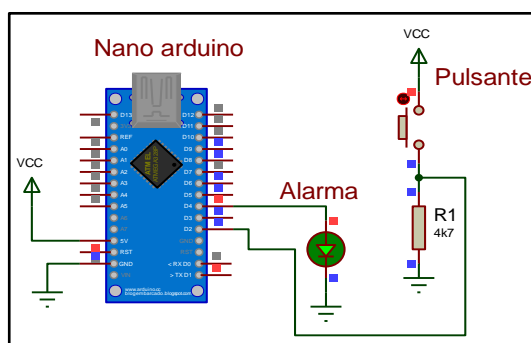


**Figura 29 Diagrama modo de trabajo.**

Como se analizó en la sección 2.3, existe más de un tipo de código de activación para los microservomotores, en la figura 29 se muestra el diagrama de flujo para el cambio de modo de trabajo y activación de una alarma según los tres tipos de modos existentes.

En (Arduino, s.f.), al momento de necesitar el uso de un pulsador se utiliza una configuración PULL DOWN, para que el valor de la corriente que llega al pin de la tarjeta arduino sea el menor posible y se logre la activación del pulsador cuando se presione el mismo. La alarma o BUZZER es conectada directamente al pin de la tarjeta nano arduino debido a su consumo mínimo del 30 Ma. (Ver Anexo A).

Para la simulación del cambio de modo y activación de alarma, esta última va a estar representado por la activación de un led, por efectos de visualización. En la figura 30, se muestran las conexiones para la simulación del cambio de modo y activación de su respectiva alarma.



**Figura 30 Conexiones para el cambio de modo y activación de alarma.**

Para efectuar la medición de distancia se debe enviar un pulso de inicio hacia el sensor de ultrasonido, es decir se coloca en alto el pin de disparo con una duración de 20 milisegundos y luego se coloca en bajo. Posterior a ello se inicia un bucle o lazo en donde se constata si existe o no un objeto presente; para conseguirlo se espera una señal en alto recibida del pin retorno del sensor ultrasónico. Para calcular la distancia se toma en cuenta la mitad del valor de la velocidad del sonido, esto es debido a que la señal se dirige



hacia al objeto y rebota hacia el sensor, es decir hace un doble recorrido. En Ec. 5 se muestra la distancia a obtener con el sensor HC SR04, en donde se muestra la relación que existe entre la distancia y el tiempo que transcurre al enviar y recibir la señal del pin retorno.

$$d = \frac{C * t}{2}$$

#### **Ec. 5 Distancia con sensor HC SR04.**

En donde:

**d** = Distancia con sensor HC SR04 (m)

**C**= Velocidad de propagación (m/s)

**t** = Tiempo de retorno de señal ultrasónica (s)

En la Ec. 6 se muestra la distancia convertida en centímetros. Dicho valor ha sido obtenido al reemplazar la velocidad de propagación del sonido a través del aire por su constante igual a 340m/s, y se efectuar la conversión de unidades, para trabajar con la distancia en centímetros y el tiempo en microsegundos.

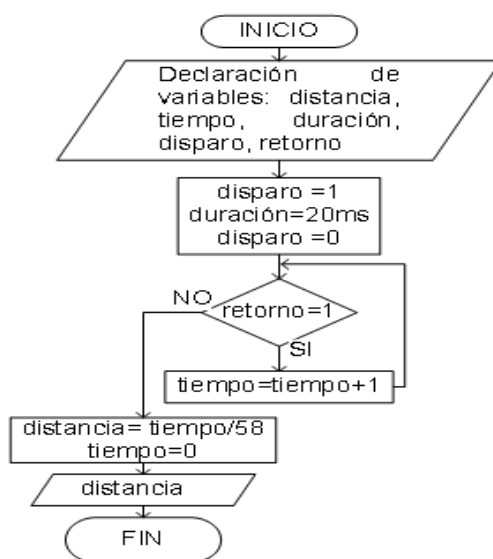
$$d(\text{cm}) = \frac{340 \text{ m}}{2 \text{ s}} * t(\text{us}) * \frac{100 \text{ cm}}{1 \text{ m}} * \frac{1 \text{ s}}{1000000 \text{ us}}$$

$$d(\text{cm}) = \frac{170 * 100 \text{ cm}}{1000000 \text{ us}} * t(\text{us})$$

$$d(\text{cm}) \approx \frac{t(\text{us})}{58}$$

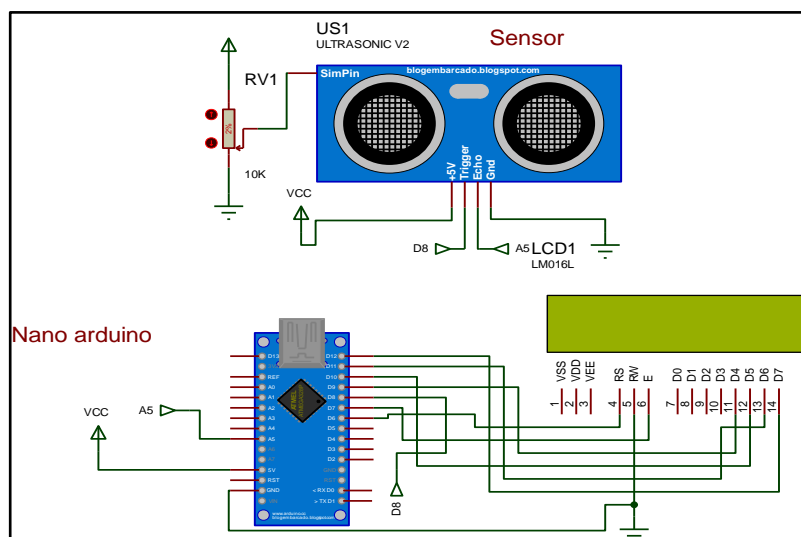
#### **Ec. 6 Distancia en centímetros.**

En la figura 31 se muestra el flujograma o diagrama de flujo de medición de distancia, las variables o datos que se usan son: la distancia obtenida en la medición, el tiempo que se demora en regresar la señal de ultrasonido al sensor, el disparo de inicio y la señal de retorno. Estas dos últimas señales, efectúan la comunicación entre sensor y tarjeta de control, por lo que envían y reciben pulsos de forma continua.



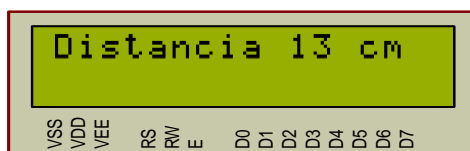
**Figura 31** Flujograma de medición de distancia.

Se efectúa una simulación para verificar las conexiones realizadas, conjuntamente con el código de programación previamente compilado; para dichas conexiones se cuenta con las hojas de datos del anexo A, que al poseer la información necesaria tanto de pines de alimentación como de pines transmisores de datos contribuyen para que el proceso de armado del circuito sea el ideal.



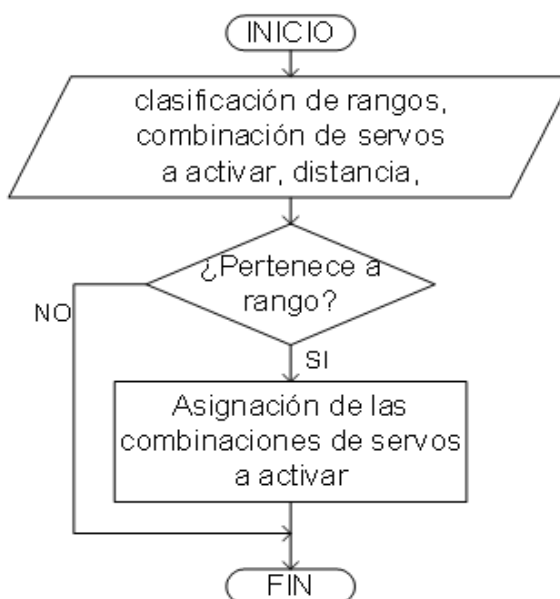
**Figura 32** Conexiones del sensor de distancia en el simulador.

En la figura 32 se tienen las conexiones que son necesarias para la comprobación del medidor de distancias. En una etapa inicial se ha incluido una pantalla LCD para la comprobación de distancias, posteriormente este elemento se retirará para liberar los pines empleados y conectar los elementos que contribuirán a un óptimo desempeño del medidor.



**Figura 33 Simulación de la distancia en cm.**

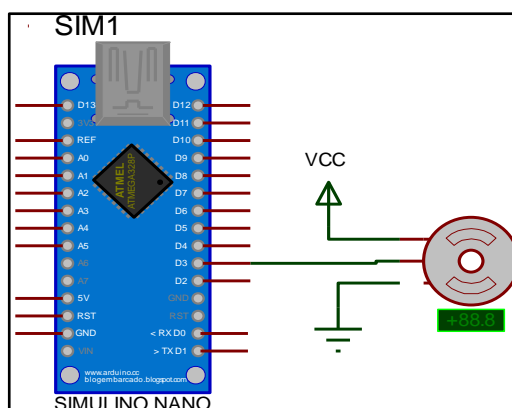
La etapa de simulación permite al diseñador tener en cuenta las acciones que se realizan de acuerdo a la programación, pese a que no garantiza el desenvolvimiento de un dispositivo en tiempo real, da una idea clara de lo que se logra hacer de acuerdo a la programación con qué se cuenta. En la figura 33 se muestra un ejemplo de simulación en cuanto a la distancia obtenida con el sensor ultrasónico, el procedimiento consiste en variar el potenciómetro ubicado como entrada al sensor por efectos de simulación y al hacer esto se consigue la distancia proporcional a esa variación.



**Figura 34 Flujograma de activación de servomotores**

En la figura 34 se observa la activación de los servomotores, como ya se conoce la distancia a la que se encuentra determinado objeto se clasifica ésta información en forma de rangos de distancia.

Es necesario clasificar la distancia en rangos, para de esta forma asignar la combinación de los servos activos y por lo tanto los que no están activos también. Tanto el código analógico como el binario obedecen a la misma estructura, es decir evaluar la distancia existente para efectuar la activación y desactivación de determinado actuador o a su vez varios al mismo tiempo.

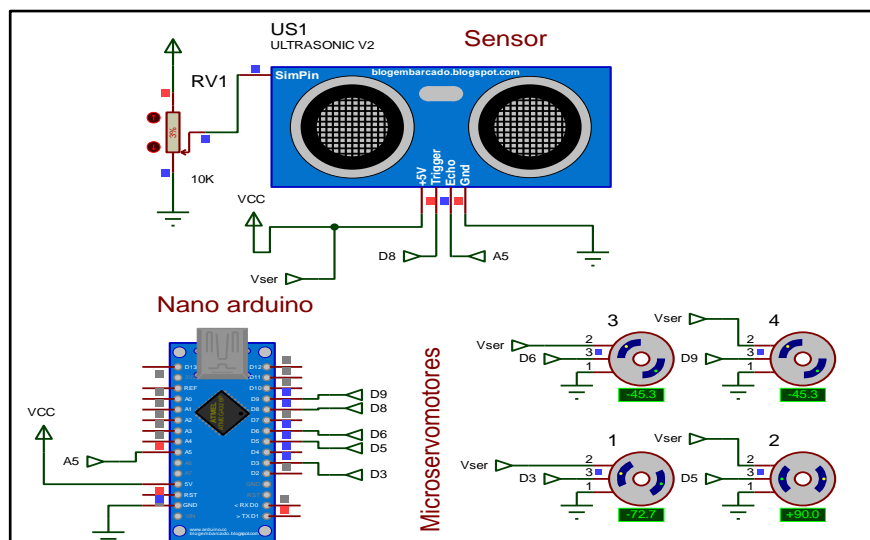


**Figura 35 Uso del Servomotor en el simulador**

Para la simulación de la activación y desactivación de los micros servomotores se emplea el software pertinente utilizando elementos de similares características como lo es un servomotor, en la figura 35 se muestra el dispositivo servomotor que se encuentra conectado a la tarjeta de control Nano Arduino, listo para su uso. En (Arduino, s.f.) se efectúa el control de posición de un servomotor empleando en forma directa pines con señal PWM.

Se realizan las conexiones para la simulación de los actuadores con los elementos a emplear, que son: el sensor ultrasónico, el nano arduino y cuatro servomotores. (Ver figura 36); seguidamente se carga el programa en la tarjeta de control, y se varía el valor del potenciómetro para observar la activación y desactivación de cada micros servomotor. Para la manipulación de

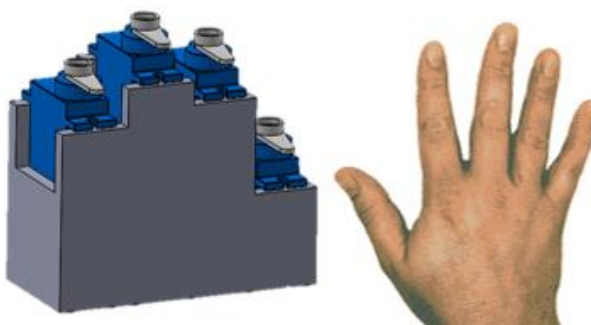
los servomotores se debe tener en cuenta los pines de la tarjeta de control que posean señal PWM. (Ver anexo A)



**Figura 36 Conexiones para la simulación de los actuadores.**

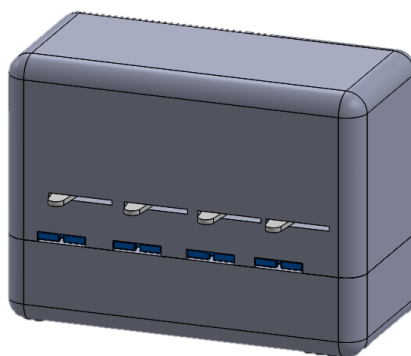
## 2.9. Diseño del sistema mecánico del medidor de distancias.

Una vez seleccionados los elementos para la medición y para la emisión de información al usuario (ver secciones 2,2 y 2,3), se procede a la disposición de dichos elementos dentro de una carcasa, la misma que debe ser diseñada con la ayuda de una herramienta o software CAD. Al existir varios diseños posibles se trabaja con el más adecuado en dimensiones, facilidad de agarre y portabilidad (ver sección 2.6). Para la disposición de los microservomotores en el diseño se debe tomar en cuenta la disposición de los dedos de la mano, de forma que a cada dedo le corresponde un microservomotor para que el eje principal que es controlado mediante programación gire un ángulo determinado para que exista contacto entre la flecha y el dedo. En la figura 37 se muestran los dos principales elementos de contacto que son: la mano de la persona no vidente y el conjunto de cuatro microservomotores; Se observa también que la alineación de los microservomotores es la considerada para portar el dispositivo con la mano derecha.



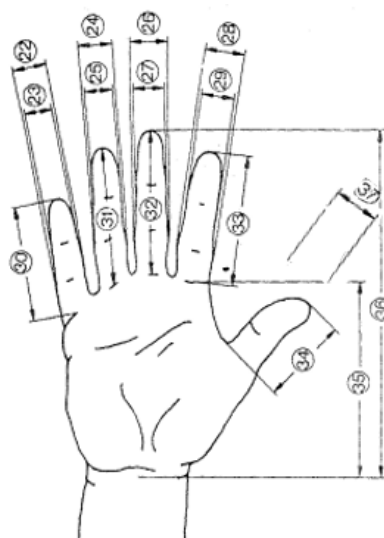
**Figura 37 Elementos de contacto manual**

Es necesario encontrar una alineación adecuada para portar el dispositivo en ambas manos con lo cual se estarían tomando en cuenta a un mayor número de usuarios. En la figura 38 se muestra un dispositivo que cuenta con una alineación horizontal de cada uno de los cuatro microservomotores, así como de una simetría en cuanto a las flechas. Esta simetría tiene como objetivo el poner a disposición del usuario el agarre que puede ser usando la mano derecha o la izquierda según este lo requiera.



**Figura 38 Dispositivo aplicando la simetría**

En (Méndez, 2012) se emplean algunas normas para el diseño de un sistema articulado compuesto por dos dedos como la DIN 33 402, que se encarga de especificar las dimensiones de las manos y es usada especialmente para el diseño de herramientas que van a ser manipuladas y van a estar en contacto con esta parte del cuerpo humano. (Ver figura 39)



**Figura 39 Diagrama de la mano según norma DIN 33 402.**

Fuente: (Etrucplan, 2002)

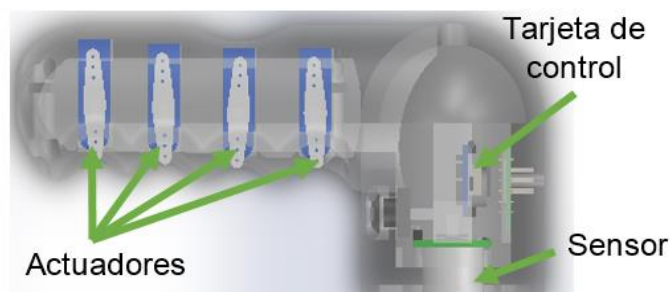
Una carcasa ergonómica toma en cuenta el ancho de los dedos y logra un buen agarre, para que la mano pueda estar siempre en contacto con los actuadores del sistema. En la tabla 30 se muestran los valores de las medidas que fueron consideradas para la construcción de la carcasa.

**Tabla 30**  
**Dimensiones de la mano de la norma DIN 33402 empleadas.**

Nº	Dimensiones (cm)	Hombres 50%
22	Ancho del meñique en la palma de la mano	1,7
24	Ancho del dedo anular en la palma de la mano	2,0
26	Ancho del dedo mayor en la palma de la mano	2,1
28	Ancho del dedo índice en la palma de la mano	2,1
32	Largo del dedo mayor	8,3
37	Ancho del dedo pulgar	2,3

Teniendo en cuenta los espesores de los dedos se diseñó una carcasa capaz de alojar el sensor, actuadores y la tarjeta de control, y a la vez tenga consideraciones ergonómicas. En la figura 40 se muestra la vista interior, con la ubicación de los elementos principales del sistema. El lugar donde se encuentran los actuadores, es donde se van a alojar los dedos de la mano,

mientras que tanto el sensor como la tarjeta de control se ubican en la cabeza del dispositivo.



**Figura 40 Vista interior de la carcasa del dispositivo.**

En (Arrieta, 2014) se estudian y especifican las propiedades del material comúnmente conocido como PLA, que quiere decir Poli ácido láctico; éste es un polímero cuya característica principal es ser biodegradable. En la tabla 31 se muestran las principales propiedades mecánicas del PLA, con su respectiva nomenclatura, valores y unidades correspondientes a cada propiedad citada.

**Tabla 31**  
**Propiedades mecánicas del material PLA.**

Propiedad	Nomenclatura	Valor	Unidad
Módulo elástico	$E$	$\approx 3000$	MPa
Resistencia a la tracción	$TS$	50 - 70	MPa
Elongación a la rotura	$\epsilon$	$\approx 4$	%
Coeficiente de Poisson		0,3	
Densidad	$\rho$	1250	$\text{Kg/m}^3$

En (TargetMAP, s.f.), se muestra que la altura promedio de las personas de sexo masculino en Ecuador es de 1.7 metros. Se considera dicha altura para simular que el dispositivo cayó mientras el usuario efectuaba una medición al nivel de su cabeza.



Se pretende encontrar la velocidad final con la que llega el dispositivo al suelo. En Ec. 7 se muestran los parámetros que se deben conocer para encontrar la velocidad que se tiene al finalizar de caer un objeto.

$$V_f^2 = V_o^2 + 2 g h$$

### Ec. 7 Velocidad al finalizar de caer el objeto.

En donde:

$V_f$  =Velocidad al finalizar de caer el objeto (m/s)

$V_o$  =Velocidad inicial (m/s)

$g$ = Gravedad ( $m/s^2$ )

$h$ = Altura de la caída (m)

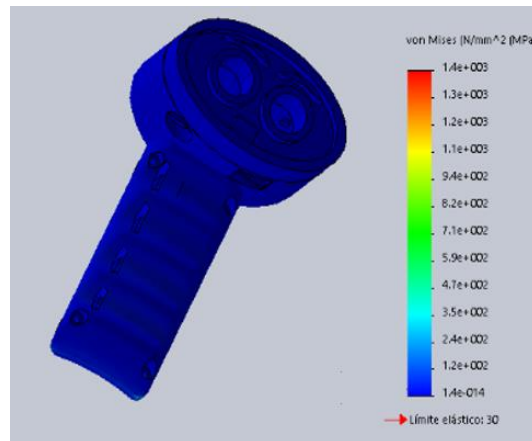
Se procede a reemplazar el valor de la altura de prueba establecida en Ec. 5, además se considera que el dispositivo parte del reposo por lo que la velocidad inicial es cero y se reemplaza el valor de la gravedad en el sistema internacional, que es una constante que equivale  $9,8 m/s^2$ .

$$V_f^2 = (0)^2 + 2 \left( 9,8 \frac{m}{s^2} \right) (1,7m)$$

$$V_f = \sqrt{33,32 \frac{m^2}{s^2}}$$

$$V_f = 5,77 \frac{m}{s}$$

Se realiza un análisis de caída, mediante el software Solidwork, empleando la teoría de Von Mises se conoce si el material es resistente y se analiza el diseño en condiciones críticas. Para ejecutar el análisis es necesario considerar el límite elástico del material, en (Macas & Pilco, 2016) se especifica que el límite elástico del PLA es igual a 30MPa, conjuntamente con los datos especificados en la tabla 31 y la velocidad final obtenida con la que va a caer el objeto. En la figura 41 se muestra el análisis de caída aplicado al dispositivo de detección de obstáculos.



**Figura 41 Análisis de caída del dispositivo de detección de obstáculos.**

Los datos obtenidos en el análisis de caída muestran que el límite elástico es de 30 MPa y se encuentra en la región azul o región segura del elemento. Quiere decir que la mayor parte del elemento no está sometido a cargas mayores al momento de impactarse con el suelo, por lo que si soporta una caída a las condiciones establecidas.

## CAPÍTULO III

### IMPLEMENTACIÓN Y MONTAJE DEL EQUIPO

#### 3.1. Desarrollo del sistema de comunicación del dispositivo detector.

La medición de distancias debe establecer comunicación activa con los elementos finales, esto conlleva a que mediante un código programado se indique las acciones a realizar según se cense una distancia determinada. Para el desarrollo del sistema de comunicación del medidor de distancia se reemplaza las distancias pertenecientes a los códigos presentados en la sección 2.3 por valores numéricos enteros.

Por medio del sensor ultrasónico se busca hacer llegar la distancia al usuario con actuadores que estén en contacto con el usuario (Ver Sección 2.4), para lo cual se descarta el código proporcional debido a que se trata de aprovechar el mayor número de rangos de distancias, para que el usuario se referencie y pueda orientarse hacia qué dirección movilizarse.

Con el código analógico los actuadores realizan una función rampa para los valores de distancias. La velocidad para llegar hacia la medida deseada depende de la constante denominada paso, mientras mayor sea más rápido se logra llegar hacia la medida que el sensor ha detectado en ese instante. En la tabla 32 se muestran los valores de distancia del código analógico.

**Tabla 32**  
**Valores de distancia del código analógico.**

Nº distancia	Rango de distancia (cm)	Paso o incremento(cm)
1	0-100	
2	101-200	
3	201-300	De 5 en 5
4	301-400	

En la tabla 33 se muestran los valores de distancias del código binario, en donde los actuadores obedecen a cierto código de activación según el rango de distancia que el sensor haya detectado en ese momento.

**Tabla 33**  
**Valores de distancia del código binario.**

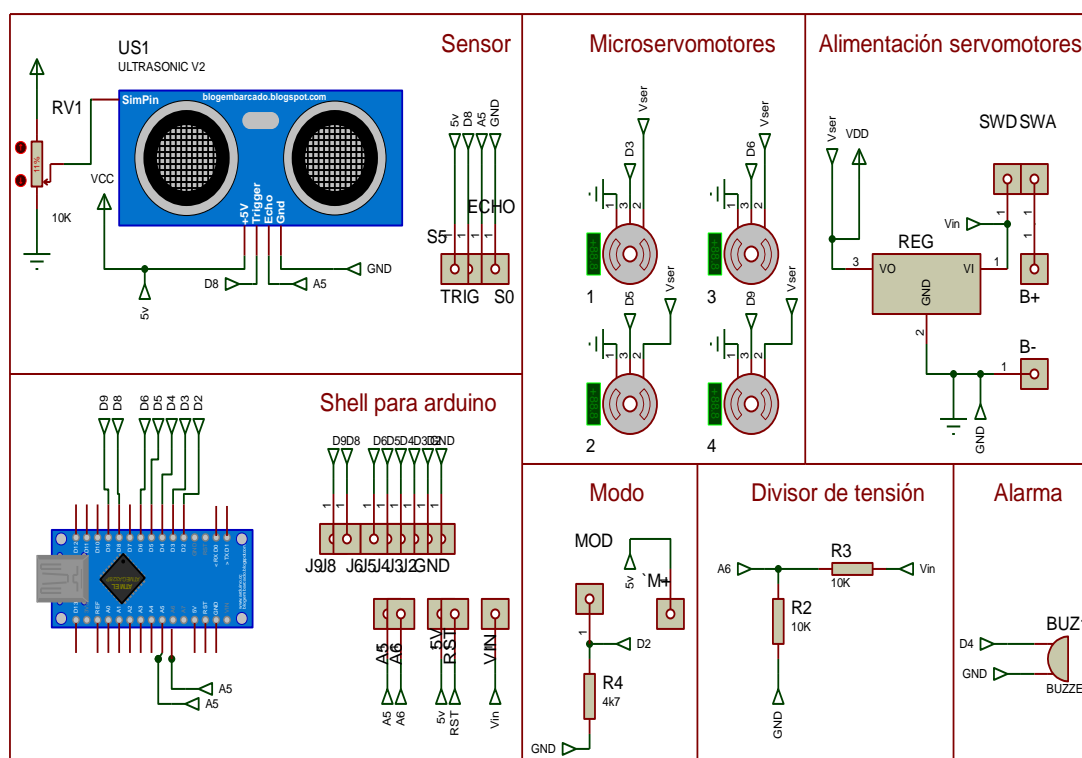
Nº distancia	Rango de distancia (cm)
1	8-23
2	24-46
3	47-69
4	70-92
5	93-115
6	116-138
7	139-161
8	162-184
9	185-207
10	208-230
11	231-253
12	254-276
13	277-299
14	300-322
15	323-345
16	346-400

### **3.2. Implementación del sistema electrónico del dispositivo.**

En esta sección se engloban los circuitos diseñados en un solo archivo del software Proteus y se utiliza la herramienta de Ares para la creación de la placa PCB, que permite al diseñador ubicar los elementos en lugares idóneos y convenientes para el armado del dispositivo final.

Se desea acoplar la placa PCB al arduino, para lo cual se procede a unir cada parte y diseño elaborado en un solo archivo del simulador. En la figura

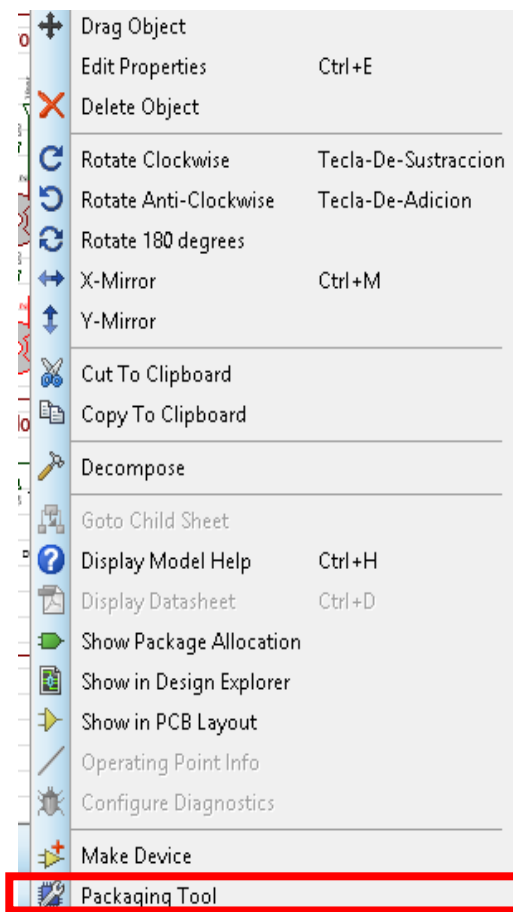
42, se muestra las partes de la placa de acople o shell del arduino, la misma que consta de los conectores y circuito de alimentación de los microservomotores, de la alarma, de un divisor de tensión para conocer el nivel de voltaje de la batería de entrada, de los pines de conexión del sensor y del arduino. Mediante el software Proteus es posible activar y desactivar la participación de los elementos para que formen parte o no de la lista de materiales, de la simulación y del diseño del PCB; se ha desactivado la participación del sensor y el arduino nano en el diseño del PCB, de manera que su presencia ayuda solamente a conocer la funcionalidad de sus respectivos conectores y así tener consideraciones en cuanto a la separación de pines adecuada.



**Figura 42 Partes de la placa shell del arduino.**

Una vez colocados los elementos, se comprueba que contengan su respectivo encapsulado y en caso de no tenerlo se asigna el que pertenezca a un elemento distinto en su funcionalidad pero con el mismo número de pines.

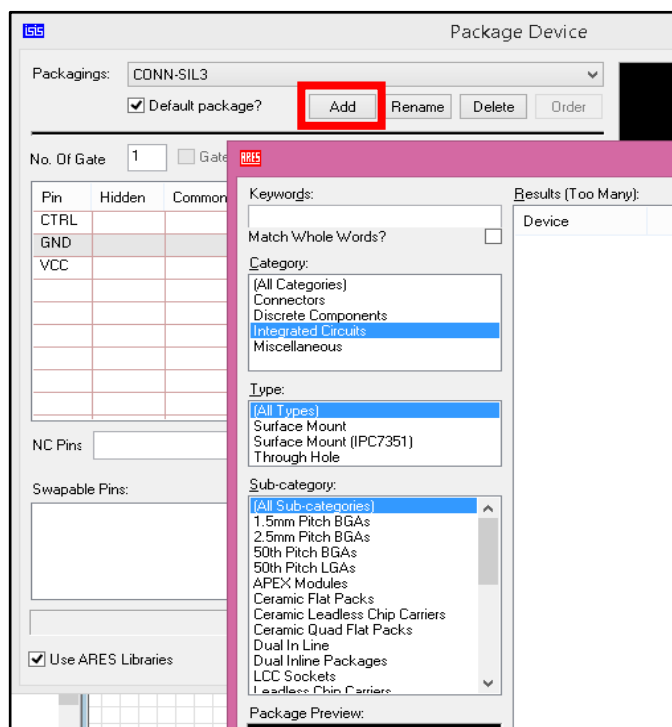
En la figura 43 se muestra la herramienta de encapsulado, que aparece al dar clic derecho en el componente.



**Figura 43 Herramienta de encapsulado.**

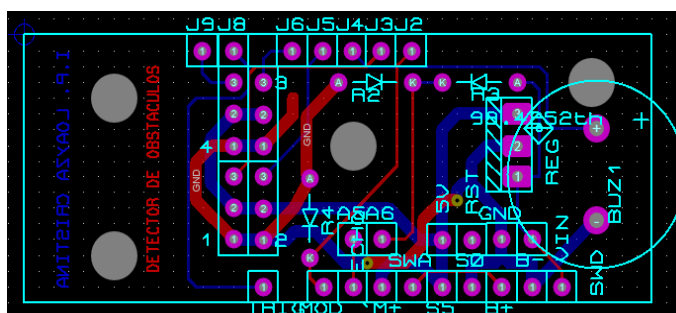
Luego se despliega una ventana en donde se muestran los pines del elemento seleccionado, en la figura 44 se muestra la selección para encontrar el encapsulado ideal. Conforme se da clic en cada encapsulado existente aparece una vista previa del mismo en la parte inferior izquierda, para tener una idea de las dimensiones que se va a necesitar para el uso de cierto dispositivo o elemento.

Cuando se tienen establecidos los encapsulados, los elementos están listos para formar parte de la placa PCB. En (Gallardo, 2015) se detalla el procedimiento a seguir para efectuar el diseño del PCB, desde el procedimiento para la creación de bordes hasta el trazado de pistas.



**Figura 44 Selección del encapsulado del componente.**

En la figura 45 se muestra el diseño PCB culminado. Se pueden visualizar líneas de color cian, rojo y, azul, las cuales corresponden a los elementos, pistas sobre la placa y pistas debajo de la placa, respectivamente. También se visualizan círculos y rectángulos de color magenta, que corresponden a los agujeros en los cuales se ubicarán los elementos, y finalmente se visualizan círculos plomos, los cuales corresponden a agujeros para sujeción de la placa PCB.

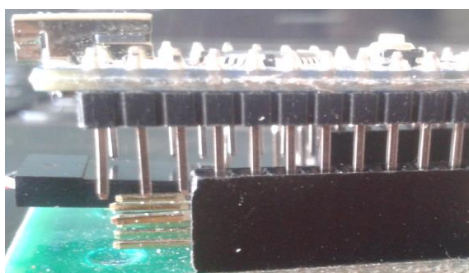


**Figura 45 Conexiones globales del PCB.**



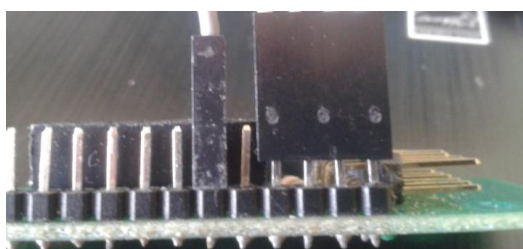


La placa arduino nano cuenta con espadines tipo macho, en la figura 48 se muestran los espadines hembra que porta la placa PCB ideales para realizar la conexión deseada entre estos dos elementos. Los espadines se encuentran organizados en dos bloques, de 7 y 8 pines cada uno, los mismos que se encuentran ubicados frente a frente conformando los extremos de la placa PCB.



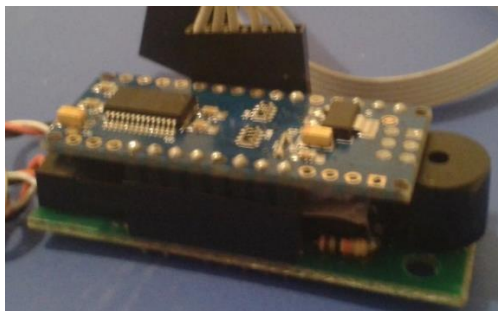
**Figura 48 Espadines hembra para arduino nano.**

Finalmente se necesita la presencia de espadines macho, para efectuar la conexión del sensor de ultrasonido, la alimentación de todo el sistema, y la conexión del pulsador para el cambio de modo de trabajo. En la figura 49 se muestran los espadines dispuestos en una sola fila, correspondiente a uno de los extremos de la placa PCB.



**Figura 49 Espadines macho de alimentación, sensor y pulsador.**

En la figura 50 se muestran las conexiones físicas de la placa PCB que constan de los respectivos actuadores, el sensor ultrasónico, la tarjeta de control y los elementos de control o encendido. En esta etapa la placa está lista para introducirla en el interior de la carcasa del dispositivo, teniendo en cuenta que la dirección de la placa sea la adecuada para facilitar la posición del cableado.

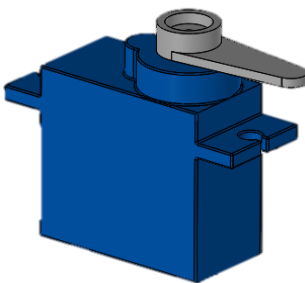


**Figura 50 Conexiones físicas de la placa PCB.**

### **3.3. Construcción del sistema mecánico del dispositivo.**

En el sistema mecánico del medidor de distancias se añaden los elementos finales, que son los microservomotores, estos elementos son los encargados de transmitir la información de distancia a la persona no vidente y para ello se apoya de una carcasa en la cual están se encuentran fijos; la importancia en la distribución de los servos asegura una buena comunicación o transmisión de información que llega a las personas no videntes a través de los dedos de la mano.

Para la correcta ubicación de los microservomotores es necesario tener en cuenta el recorrido que va a realizar la flecha del microservomotor, la cual debe tener la capacidad de sobresalir de la carcasa cuando se lo requiera y a la vez de poder ocultarse en la misma, según el código de programación proporcionado.



**Figura 51 Servo 3D**

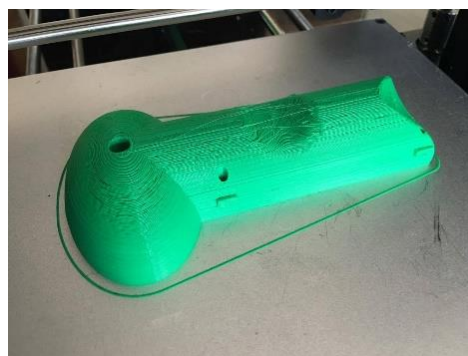
Con ayuda del software CAD se puede crear el espacio ideal para almacenar los microservomotores y para comprobar la ubicación de la ranura para el recorrido de la flecha se puede utilizar el dibujo en 3D del microservomotor. En la figura 51 se muestra el dibujo en 3D del microservomotor, el mismo que puede ser utilizado para simular el recorrido de su flecha.

Cada uno de los microservomotores del dispositivo están en continuo movimiento mientras el dispositivo se encuentre encendido, es por ello que su cuerpo necesita estar en una posición fija. Para lograr una fijación se emplean separadores entre ellos y controlando que el espacio dispuesto para los microservomotores sea el que se requiera justamente para los mismos, evitando dejar fugas o tolerancias excesivas facilitando el movimiento de los mismos.

Una vez realizadas las consideraciones del diseño de la carcasa, se procede a su construcción. Como se señaló en la sección 2.9, el material que se va a emplear es el PLA, conjuntamente con la técnica de prototipado rápido. En (Fonda, 2014) se muestran los pasos a seguir tanto para configurar como para efectuar la impresión 3D desde varios tipos de impresora existentes. En la figura 52 se muestra la impresión 3D de la tapa trasera del prototipo, empleando la impresora Prusa I3.



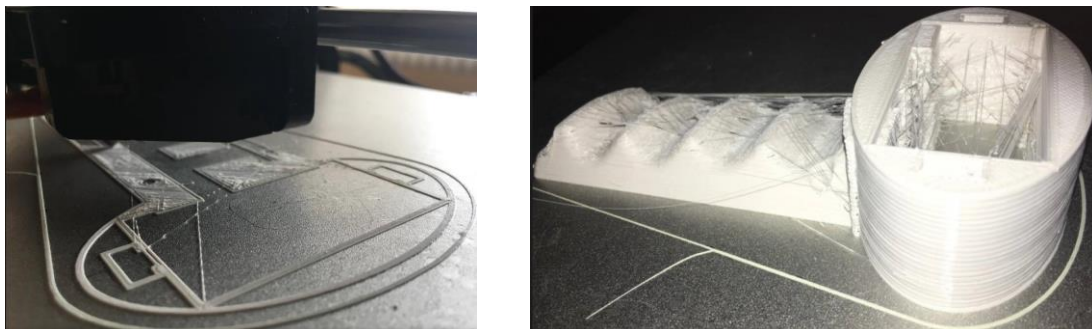
a)



b)

**Figura 52 Impresión 3D de la tapa posterior del dispositivo: a) inicio, b) fin.**

En la figura 53 se muestra la impresión 3D del cuerpo del dispositivo, tanto en su etapa inicial como la finalización del mismo.



a) b)  
**Figura 53 Impresión 3D del cuerpo del dispositivo, etapa: a) inicial y, b) final.**

En la figura 54 se muestra el acople entre el cuerpo y la tapa trasera del prototipo ya ensambladas entre sí, en esta primera etapa se procede a efectuar una comprobación para constatar un buen agarre de las piezas impresas.



**Figura 54 Agarre del cuerpo y tapa trasera de la impresión 3D.**

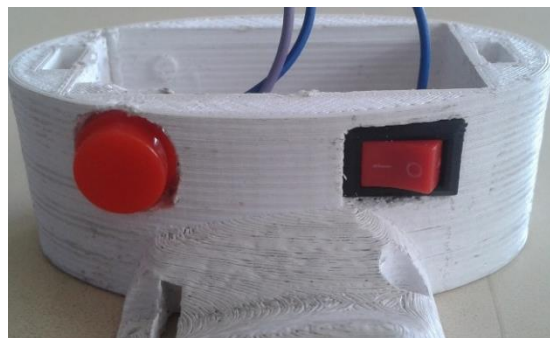
En la figura 55 se muestra la impresión de la tapa frontal del dispositivo, que cuenta con varios accesorios que conforman la cara que aloja el sensor ultrasónico para efectuar la medición de distancia.



**Figura 55 Tapa frontal del dispositivo.**

### **3.4. Montaje del dispositivo detector de obstáculos.**

Para el montaje del prototipo es necesario efectuar una etapa de pulido de la carcasa, de manera que los elementos puedan ingresar en sus lugares destinados sin mayor esfuerzo.



**Figura 56 Elementos en el cuerpo del dispositivo.**

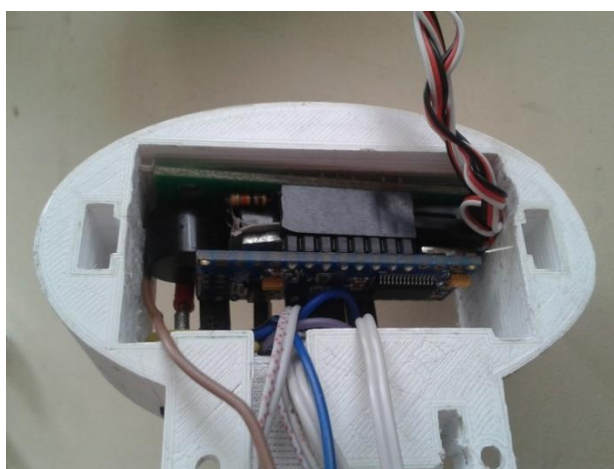
En la figura 56 se muestra el interruptor de encendido del circuito del dispositivo, junto con el pulsante de cambio de modo de trabajo. Estos elementos se encuentran fijados en el cuerpo del dispositivo, y cuentan los cables de conexión que se van a dirigir a la placa PCB y a la batería del dispositivo. Para colocar el pulsante primero se introduce el pulsador en el

espacio asignado y luego se realiza el acople del accesorio o cabeza del pulsante, la misma que estará en contacto con el usuario. Para que el mecanismo del pulsante funcione debe existir una tolerancia adecuada para que no se produzca choques al momento de su uso.



**Figura 57 Elementos de la tapa trasera y frontal.**

A continuación se colocan el sensor y actuadores del dispositivo, para lo cual se culmina con la impresión de la tapa frontal del dispositivo. En la figura 57 se muestran los elementos colocados en la tapa trasera y frontal del dispositivo, que consisten en el sensor HC SR04 y microservomotores H301.



**Figura 58 Colocación de la placa PCB y tarjeta Arduino Nano.**

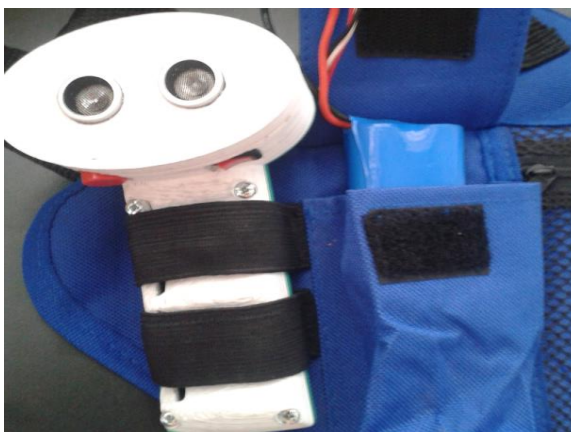
Otro elemento que va a estar alojado en el cuerpo del dispositivo es la placa PCB conjuntamente con la tarjeta de control, en la figura 58 se muestra la abertura designada para la ubicación de estos elementos.

Para asegurar la tapa trasera junto con el cuerpo del prototipo se encuentran cuatro perforaciones dispuestas en cada una de estas partes, en la figura 59 se muestra la fijación de la tapa realizando. Es necesario hacer coincidir las perforaciones de ambas partes, y realizar un proceso de pulido en las aberturas encargadas de alojar las tuercas de los pernos de fijación.



**Figura 59 Fijación de tapa de dispositivo.**

La alimentación del dispositivo va a estar fuera del mismo, es decir la batería se va a encontrar alojada en un canguro. Este último va a permitir que el usuario coloque el dispositivo detector de obstáculos cuando no desee usarlo. En la figura 60 se muestra el almacenamiento del detector de obstáculos, conjuntamente con la batería del mismo.



**Figura 60 Almacenamiento del dispositivo detector de obstáculos.**

## CAPÍTULO IV

### PRUEBAS Y RESULTADOS

#### 4.1. Pruebas de funcionamiento del sensor de distancia.

##### 4.1.1. Definición de los objetivos del ensayo de medición de distancia.

Se desea comprobar las distancias que se pueden detectar mediante el sensor ultrasónico, así como la identificación de posibles errores.

##### 4.1.2. Diseño del ensayo de medición de distancia.

Para efectuar las pruebas de medición de distancia se realizará una serie de mediciones (máximo 4 m.). Según las personas con discapacidad visual, se dice que a 1 metro y medio de distancia logran reaccionar con mayor facilidad si se le presenta un obstáculo, mientras que en medidas pequeñas menores a 30 centímetros sería importante considerar precisión, por lo que se prevén los siguientes tipos de maniobras, que simulan diferentes distancias entre objeto y sensor: Maniobra A, medir 15 distancias entre 4 cm y 30 cm; Maniobra B, medir 10 distancias entre 31 cm y 200 cm; Maniobra C, medir 10 distancias entre 201 cm y 400 cm.

##### 4.1.3. Planificación del ensayo de medición de distancia.

**Tabla 34**  
**Planificación del ensayo de medición de distancia.**

	Tipo de ensayo	Medidas	Porcentaje (%)
A	Mediciones de 4 a 30 cm.	15	42,86
B	Mediciones de 31 a 200 cm.	10	28,57
C	Mediciones de 201 a 400 cm.	10	28,57

Aunque el tiempo de cada ciclo de medida es mínimo, para la realización del ensayo de medición de distancia se asignará un tiempo aproximado de 20 segundos para llevarse a cabo una maniobra. Sumando todas las maniobras y multiplicándolas por la demora en las mismas, el ensayo tendrá una duración



de alrededor de dos horas. En la tabla 34 se muestra la planificación del ensayo de medición de distancia.

#### 4.1.4. Prototipo y banco de ensayo para la medición de distancia.

Para realizar el ensayo de medición de distancia se necesitan ciertos elementos, en la figura 61 se especifican los mismos: a) Sensor ultrasónico HC SR04, que realiza la medición de distancia; b) Arduino nano, para cargar el programa de medición de distancia; c) Portador del sensor, para fijar en el sensor y poder desplazarlo fácilmente; d) Flexómetro o regla, para efectuar la medida de la distancia real que existe; e) Computador, para visualizar las mediciones mediante monitor serial; f) Cable de alimentación de arduino nano, tanto para alimentar el circuito como para enviar los datos al computador que se obtienen de la medición.



**Figura 61 Elementos para el ensayo de medición de distancia.**

#### 4.1.5. Interpretación y validación de los resultados del ensayo de medición de distancia.

Una vez efectuada la conexión entre el sensor, la tarjeta arduino y el computador, se carga un programa a la tarjeta de control que se encarga de medir la distancia, y conjuntamente con el elemento de medición se procede a comprobar la veracidad de la información que se visualiza en el monitor serial del software arduino IDE. En la tabla 35 se muestran los datos obtenidos

de la maniobra A, en donde se obtiene un error de 3% en una de las mediciones realizadas.

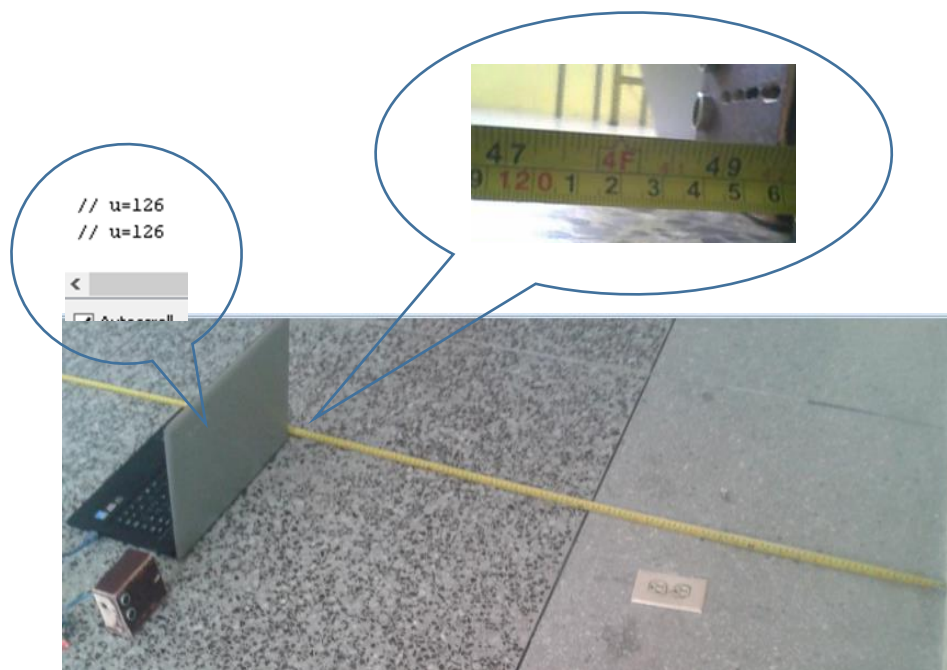
**Tabla 35**  
**Pruebas de medición de distancia en la maniobra A.**

Nº	Distancia real (cm)	Distancia leída(cm)	Error (%)
1	9	9	0
2	10	10	0
3	12	12	0
4	13	13	0
5	15	15	0
6	16	16	0
7	18	18	0
8	20	20	0
9	21	21	0
10	23	23	0
11	24	24	0
12	26	26	0
13	27	27	0
14	29	29	0
15	30	31	3

En la figura 62 se muestran los elementos empleados para toma de muestras en la maniobra A, en donde el objeto se ubica sobre una regla frente al sensor a una distancia de 15 centímetros y en pantalla o monitor serial se visualiza la misma distancia existente.



**Figura 62 Lectura de 15 cm de distancia, entre objeto y sensor.**



**Figura 63 Lectura de 126 cm de distancia, entre pared y sensor.**

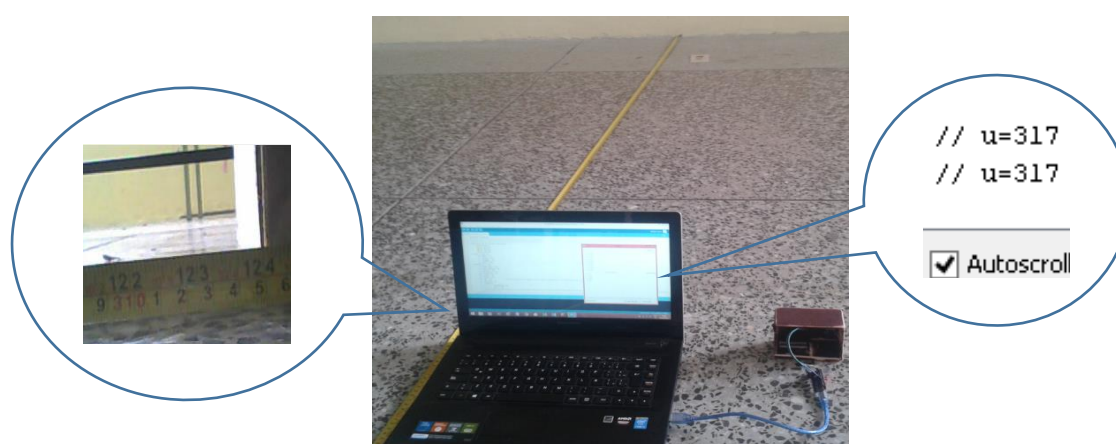
Una vez ejecutada la primera obra, se desplaza el banco de ensayos hacia una distancia mayor, en la figura 63 se muestra la lectura de una distancia perteneciente a la maniobra B, con el instrumento de medición y monitor serial respectivo mostrando una distancia de 126 cm.

**Tabla 36**  
**Pruebas de medición de distancia en la maniobra B.**

Nº	Distancia real (cm)	Distancia leída(cm)	Error (%)
1	58	58	0
2	60	60	0
3	65	65	0
4	68	67	1
5	70	71	1
6	150	150	0
7	181	181	0
8	198	198	0
9	199	199	0
10	200	200	0

En la tabla 36 se muestran los datos obtenidos de las pruebas de medición de distancia en la maniobra B, en donde se obtiene un error igual a 1% en dos distancias leídas. De manera similar a la maniobra A, las mediciones que poseen error difieren de la correcta en 1 cm.

A continuación se desplaza el banco de ensayos hacia una distancia mayor, en la figura 64 se muestra la lectura de maniobra C, con el instrumento de medición y monitor serial respectivo mostrando una distancia de 315 cm.



**Figura 64 Lectura de 316 cm de distancia, entre objeto y sensor.**

En la tabla 37 se muestran los datos obtenidos de las pruebas de medición de distancia en la maniobra C, en donde se obtiene un error del 0,4% y dos errores del 0,3% en tres distancias leídas.

**Tabla 37**  
**Pruebas de medición de distancia en la maniobra C.**

Nº	Distancia real (cm)	Distancia leída(cm)	Error (%)
1	200	200	0
2	245	245	0
3	249	249	0
4	250	251	0,4
5	260	260	0
6	280	280	0

CONTINÚA



7	302	302	0
8	303	304	0,3
9	316	317	0,3
10	400	400	0

En la tabla 38 se muestra que con la ejecución o puesta en marcha del presente ensayo se posee un error relativo de 0,5%, y que el error de medición hasta los 30 centímetros de distancia es igual al error existente en las mediciones de distancias mayores de 1 metro hasta 2 metros.

**Tabla 38**  
**Errores en el ensayo de medición de distancia.**

Maniobra	Error promedio (%)	Error relativo (%)
A	0,2	0,2
B	0,2	0,4
C	0,1	0,5

#### **4.2. Pruebas activación y detección de microservomotores.**

##### *4.2.1. Definición de los objetivos del ensayo de activación y detección de microservomotores.*

Se desea comprobar que la persona no vidente logre detectar la presencia y ausencia de la flecha del microservomotor.

##### *4.2.2. Diseño del ensayo de detección de microservomotores.*

Para efectuar la activación de los microservomotores se procede a establecer secuencias de funcionamiento en donde intervienen los cuatro actuadores del dispositivo detector de obstáculos. Se prevén los siguientes tipos de maniobras, que simulan los estados que primordialmente van a involucrarse al estar funcionando el dispositivo final: Maniobra A, Dirigir los microservomotores hacia los 60°, los microservomotores están inactivos y no existe contacto entre las flechas y los dedos del usuario; Maniobra B, Dirigir los microservomotores hacia los 90°, los microservomotores están en contacto

con los dedos del usuario y por lo tanto se encuentran activos; Maniobra C, dirigir los microservomotores hacia los  $115^{\circ}$ , los microservomotores han llegado al extremo final lo cual significa en el modo analógico que se da paso al funcionamiento del siguiente microservomotor.

#### 4.2.3. Planificación del ensayo de detección de microservomotores.

Cada secuencia tiene una duración de 20 segundos por cada maniobra, con un total de 60 segundos, en la tabla 39 se muestra la planificación del ensayo de medición de distancia.

**Tabla 39**  
**Planificación del ensayo de detección de microservomotores.**

	Tipo de ensayo	Cantidad de activaciones	Porcentaje (%)
A	Microservomotores a $60^{\circ}$	4	33,33
B	Microservomotores a $90^{\circ}$	4	33,33
C	Microservomotores a $115^{\circ}$	4	33,33

#### 4.2.4. Prototipo y banco de ensayo de detección de microservomotores.

En la figura 65 se muestran los elementos para el ensayo de activación de microservomotores: a) Mano de una persona no vidente, para que realice la detección; b) Pulsante para cambio de maniobra; c) Dispositivo detector de obstáculos encargado de portar los microservomotores.



**Figura 65 Elementos para el ensayo de detección de microservomotores.**

4.2.5. Interpretación y validación de los resultados del ensayo de detección de microservomotores.



a) b) c)

**Figura 66 Secuencias de: a) 60°, b) 90° y c) 115°.**

Para la activación de los microservomotores se comprueba que cada uno de los mismos llegue hasta el ángulo designado. En la figura 66 se muestran las secuencias pertenecientes a dos de los cuatro actuadores que se encuentran ejecutando en cada maniobra.

En la figura 67 se muestra el posicionamiento de las manos sobre el dispositivo detector de obstáculos por parte de una persona no vidente, para efectuar la detección de los microservomotores activos en la maniobra A.



**Figura 67 Maniobra A del ensayo de detección.**

A continuación se procede a realizar el reconocimiento de la presencia de la flecha del microservomotor por parte de la persona no vidente. En la tabla 40 se muestra un resumen de las tres maniobras y si el microservomotor es detectado por el usuario.

**Tabla 40**  
**Detección de las Maniobras en la activación de los microservomotores.**

	SERVO	1		2		3		4		Error (%)
		Detecta	Si	No	Si	No	Si	No	Si	
Maniobra A	1	X		X		X		X		0
	2	X		X		X			X	25
	3	X		X		X		X		0
	4	X		X		X		X		0
Maniobra B	1	X		X		X			X	25
	2	X		X		X		X		0
	3	X		X		X		X		0
	4	X		X		X		X		0
Maniobra C	1	X		X		X		X		0
	2	X		X		X		X		0
	3	X		X		X		X		0
	4	X		X		X			X	25
Error total										6,25

En la prueba de activación y detección de microservomotores se detectó un error total de 6,25%, con error de detección principalmente en el correspondiente al dedo meñique.

### 4.3. Pruebas de funcionamiento total.

#### 4.3.1. Definición de los objetivos del ensayo de respuesta de microservomotores.

Se desea comprobar el funcionamiento del detector de obstáculos, de manera que a determinada distancia se produzca la activación y desactivación



de un grupo de microservomotores y el usuario conozca que se encuentra frente a un obstáculo.

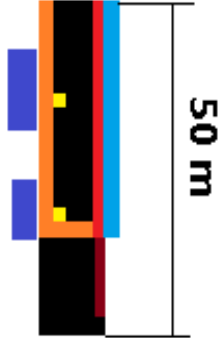
#### 4.3.2. Diseño del ensayo de respuesta de los microservomotores.

Para efectuar las pruebas de funcionamiento total se empleará el dispositivo bajo ciertas tipos de escenarios con circuitos de recorrido preestablecidos. Se prevén los siguientes tipos de maniobras, que se realizarán con diferentes usuarios. Maniobra A, Realizar un circuito en forma de L, en donde existan obstáculos de forma intercalada y cambios de nivel de superficies; Maniobra B, caminar en un circuito en línea recta correspondiente a una vereda de una calle poco transitada.

#### 4.3.3. Planificación del ensayo de respuestas de microservomotores.

Se prevé que el usuario va a completar un circuito en un tiempo estimado de 20 minutos. Por lo tanto el tiempo total del ensayo es de 40 minutos. En la tabla 41 se muestra la planificación del ensayo de respuesta de los microservomotores a la distancia existente.

**Tabla 41**  
**Planificación del ensayo de respuestas de microservomotores.**

Maniobra	Circuito a seguir	Símbolo		Obstáculos	Porcentaje (%)
		Color	Significado		
A			Bordillo	9	28
			Carro		
			Cerramiento de malla		
			Poste redondo de cemento		
			Cerramiento de hormigón		
			Puerta de metal		
			Bordillo de cemento		
B			Bordillo de cemento	23	72

CONTINÚA





#### 4.3.4. Prototipo y banco de ensayo de respuesta de microservomotores.

En la figura 68 se muestran los componentes del ensayo de respuesta de los microservomotores a la distancia existente: a) Usuario, para que realice el reconocimiento de objetos mediante el dispositivo; b) Dispositivo detector de obstáculos, para detectar los obstáculos; c) Portador del detector de obstáculos, para transportar el detector de obstáculos y d) Obstáculos, para activar las diferentes combinaciones en los microservomotores.



**Figura 68 Elementos para el ensayo de medición de distancia.**

#### 4.3.5. Interpretación y validación de los resultados del ensayo.

Para lograr completar los circuitos establecidos, el usuario deberá detectar: objetos que interrumpan el paso y que puedan llegar a ocasionar daño al mismo, esquinas presentes que impliquen considerar un cambio de dirección y cambios de nivel en el terreno o la presencia de pequeños escalones. Para conseguirlo se debe realizar un proceso de barrido o escaneado de lo que le rodea al usuario, realizando un movimiento repetitivo con el detector de obstáculos de arriba hacia abajo, de izquierda a derecha y viceversa. Los movimientos de barrido se recomiendan realizarlos mientras el

usuario se encuentra inmóvil para luego continuar con la marcha. En la tabla 42 se muestran los tipos de obstáculos detectados en la maniobra A, con un error de detección de 11,1%.

**Tabla 42**  
**Detección de objetos en la maniobra A.**

Cantidad	Descripción del objeto	Detectado		Error (%)
		SI	NO	
2	Poste redondo de cemento	X		11,1
1	Cerramiento de hormigón	X		
1	Puerta de metal	X		
1	Bordillo de tierra	X		
1	Bordillo de cemento	X		
2	Vehículos	X		
1	Cerramiento de malla		X	

En la figura 69 se muestra la detección de un escalón o bordillo de cemento que constituye un cambio de nivel del piso en el que el usuario circula, correspondiente al circuito de la maniobra A.



**Figura 69 Detección de escalón de la maniobra A.**

En la tabla 43 se muestran los tipos de obstáculos detectados perteneciente a la maniobra B, existe un error de detección de 4,3%, con respecto al total de obstáculos.

**Tabla 43**  
**Detección de objetos en la maniobra B.**

Cantidad	Descripción del objeto	Detectado		Error (%)
		SI	NO	
18	Pilar cuadrado de cemento	X		4,3
2	Pared de cemento	X		
1	Puerta de madera	X		
1	Bordillo de cemento	X		
1	Banca de malla		X	

En la figura 70 se muestra la detección de una pared que indica el cambio de dirección para el usuario, correspondiente al circuito de la maniobra B.



**Figura 70 Detección de una pared de la maniobra A.**

En la tabla 44 se muestran los resultados globales correspondientes al presente ensayo, por lo que existe un error del 15,4% provocada por el censo de elementos que no tengo algún componente habilitado.

**Tabla 44**  
**Errores totales del ensayo de respuestas de microservomotores.**

Maniobra N°	Error promedio (%)	Error relativo (%)
A	11,1	11,1
B	4,3	15,4

#### **4.4. Pruebas con personas con discapacidad visual.**

##### *4.4.1. Definición de los objetivos del ensayo de uso de dispositivo en personas con discapacidad visual.*

Se desea proporcionar la información de manipulación del dispositivo detector de obstáculos necesaria para comprobar el buen uso del sistema.

##### *4.4.2. Diseño del ensayo de uso de dispositivo en personas con discapacidad visual.*

Debido al desconocimiento del funcionamiento del sistema se plantea: como maniobra A, la selección del modo de trabajo según el requerimiento deseado; como maniobra B, el reconocimiento de combinaciones en el modo binario del sistema; y como la maniobra C, el desplazamiento de la persona no vidente en una oficina.

##### *4.4.3. Planificación del ensayo de uso de dispositivo en personas con discapacidad visual.*

Se considera que la maniobra A tiene una duración de 30 minutos, la maniobra B, cuenta con una duración de 1 hora, y la maniobra C tiene una duración de 30 minutos, dando un total de 2 horas para el ensayo. En la tabla 45 se muestra el porcentaje que cada maniobra aporta para que el ensayo sea el adecuado.

**Tabla 45**  
**Desglose del ensayo de pruebas con discapacitados visuales.**

Maniobra	Descripción	Pruebas	Porcentaje
A	Selección del modo de trabajo.	3	25
B	Reconocimiento combinaciones binarias.	6	50
C	Desplazamiento en oficina.	3	25

*4.4.4. Prototipo y banco de ensayo de uso de dispositivo en personas con discapacidad visual.*



**Figura 71 Partes del ensayo de uso de dispositivo por personas con discapacidad visual.**

En la figura 71 se muestran los componentes del ensayo de respuesta de los microservomotores a la distancia existente: a) Persona con discapacidad visual, para que realice el reconocimiento de objetos mediante el dispositivo; b) Dispositivo detector de obstáculos, para detectar los obstáculos; c) Supervisor, para que compruebe las distancias y combinaciones que son proporcionadas por la persona no vidente.

#### 4.4.5. Interpretación y validación de los resultados del ensayo de uso de dispositivo en personas con discapacidad visual.

Para la maniobra A, se procedió a capacitar a la persona con discapacidad visual, acerca de los modos existentes en el dispositivo, en la tabla 46 se muestran las pruebas efectuadas y su respectivo error, que es igual a cero.

**Tabla 46**  
**Desglose de la maniobra A, ensayo 4.**

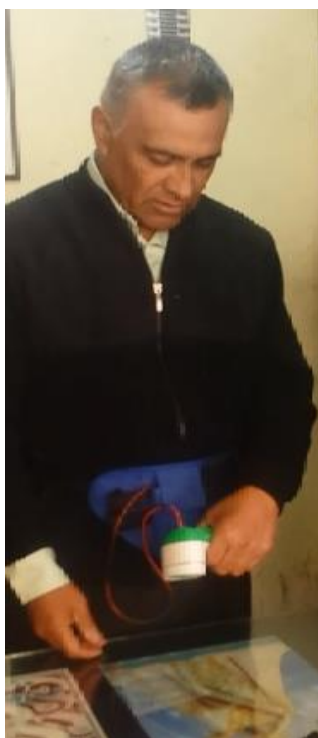
Nº	Descripción	Reconoció	Error (%)
1	Reconozca el método analógico.	SI	0
2	Reconozca el método binario.	SI	
3	Reconozca el método manual.	SI	

En la figura 72 se muestra el reconocimiento de uno de los modos de trabajo, conocido como analógico, el mismo que pertenece a la maniobra A.



**Figura 72 Reconocimiento en la maniobra A.**

En la figura 73 se muestra el reconocimiento que se consigue por parte de la persona con discapacidad visual, dicha detección pertenece a la maniobra B, es decir el usuario siente las combinaciones que se sienten en sus dedos, alternando las activaciones de los microservomotores.



**Figura 73 Reconocimiento en la maniobra B.**

En la tabla 47 se muestran las pruebas a realizarse en el modo binario, para de esta forma llevar a cabo el ensayo. Se obtiene un error del 0%, ya que reconoció todas las activaciones del sistema.

**Tabla 47**  
**Desglose de la maniobra B, ensayo 4.**

Nº	Descripción	Reconoció	Error (%)
1	Reconozca la primera activación binaria.	SI	0
2	Reconozca la quinta activación binaria.	SI	
3	Reconozca la sexta activación binaria.	SI	
4	Reconozca la sexta activación binaria.	SI	
5	Reconozca la tercera activación binaria.	SI	
6	Reconozca la séptima activación binaria.	SI	

Para la realización de la maniobra C, el usuario debe memorizar cada rango de distancia al mismo tiempo que cada una de las activaciones respectivas. Se realizó la medición de tres superficies que se encuentran



dentro de una oficina. En la tabla 48 se indican las distancias a las que se encontraban dichos objetos, así como de la que fue proporcionada o anunciada por la persona no vidente.

**Tabla 48**  
**Desglose de la maniobra C, ensayo 4.**

Nº	Descripción	Distancia aproximada	Rango anunciado	Error (%)
1	Reconozca la distancia que existe hacia la pared de su izquierda.	120	116 -138	0
2	Reconozca la distancia a la que se encuentra la ventana que se encuentra en la parte frontal.	200	185 - 207	0
3	Reconozca la distancia a la que se encuentra el pasillo que se dirige al baño, en la parte de atrás.	150	69 - 92	38,67

Conforme el dispositivo es colocado de manera perpendicular hacia determinado objeto, el sensor detecta el objeto ubicado en la parte frontal, sin embargo si existe el ángulo de inclinación insuficiente o no adecuado para focalizarse en determinado objeto, los demás obstáculos se pueden atravesar hacia la medida a conocer, es por ello que en una de las pruebas efectuadas en lugar de indicar la distancia hacia la puerta del baño el sensor detectó la pared más cercana al usuario, logrando un error total en el ensayo de 12,9%.

**Tabla 49**  
**Resumen errores en el ensayo total.**

Maniobra	Errores individuales (%)	Error promedio (%)
A	0	
B	0	4,3
C	12,9	

En la tabla 49 se muestra un resumen de los errores que resultaron del ensayo del uso del dispositivo por parte de personas no videntes, en donde se realiza un promedio de los errores cometidos, para de esta forma tener un error global.

En la figura 74 se muestra el reconocimiento efectuado como parte de la maniobra C, el usuario, se encuentra dirigiendo el dispositivo hacia la pared que se encuentra a su lado izquierdo.



**Figura 74 Reconocimiento en la maniobra C.**

Existen sistemas alfabéticos que son diseñados exclusivamente para personas con discapacidad visual, que en ocasiones poseen otro de los sentidos primordiales para poder comunicarse, como lo es el sentido auditivo. Uno de los sistemas ya nombrados, es el denominado Malosi, en donde mediante la imaginación del abecedario en ciertas regiones de la mano, las personas logran comunicarse tocando dichas letras de manera que logran formar palabras que se convertirán en mensajes. En la figura 75 se muestra las letras que emplea el sistema alfabético Malosi.

De esta forma el sistema podría comunicar dichas palabras, reemplazando el sistema braille por uno que contiene un menor número de combinaciones, fácil de portar y fácil de aprender cómo se lo ha demostrado en el presente ensayo.



**Figura 75 Letras del sistema Malosi.**

#### **4.5. Validación de la hipótesis.**

La hipótesis formulada para la realización del presente proyecto es la siguiente:

- El sistema electrónico háptico de detección de objetos brindará ayuda en el desplazamiento de las personas no videntes.

De la hipótesis planteada se despliegan las variables dependiente e independiente, que se detallan a continuación:

- Variable independiente: Sistema electrónico háptico de detección de objetos.
- Variable dependiente: Ayuda en el desplazamiento de las personas no videntes.

El proyecto se planteó para contribuir para que la persona con discapacidad visual detecte de una forma rápida y segura, todos aquellos objetos que son señalados mediante el dispositivo. Gracias a las pruebas se concluye existe un grado de confiabilidad del 95,7%.

Una vez comprobado el funcionamiento del sistema, es posible comparar el uso de los bastones blancos frente al dispositivo de detección de obstáculos. Pese a que la persona con discapacidad visual necesita tener los conocimientos suficientes para proceder a manejar dicho bastón el portar el bastón en una única mano y hacia una sola dirección puede ocasionar que el usuario se golpee con otros obstáculos frente a él. En (INEM, 2016) se muestran las normas específicas para la construcción de varios elementos públicos, por ejemplo vías de circulación personal, bordillos, etc., los mismos que ayudan para que el usuario use el dispositivo en muchas otras superficies repentinas,



**Figura 76 Sistema de detección de obstáculos final.**

Para una mejor presentación del dispositivo se procedió a pintarlo y se agregaron detalles en la parte frontal del dispositivo que definen sus ojos y cejas, en la figura 76 se muestra la presentación del sistema de detección de obstáculos finalizada.

#### **4.6. Costos.**

Los costos de los gastos que fueron necesarios para la construcción del dispositivo de detección de obstáculos se muestran en la tabla 50, conjuntamente con su descripción de cantidad y calidad.

**Tabla 50**  
**Costos de los elementos para implementación del dispositivo.**

Nº	Cantidad	Descripción	Costo total
1	1	Sensor ultrasónico HC SR04	\$ 3,90
2	1	Arduino nano.	\$ 10,00
3	1	Elementos placa PCB.	\$ 6,90
4	4	Microservomotor H301	\$ 60,00
5	1	Interruptor de encendido.	\$ 1,00
6	1	Pulsante cambio de modo.	\$0,50
7	1	Cables de conexión.	\$ 2,00
8	1	Fabricación PCB.	\$ 49,00
9	1	Batería Li-ion + Cargador.	\$ 20,00
10	1	Fabricación Carcasa.	\$ 31,2
11	4	Pernos sujeción carcasa.	\$ 0,50
12	1	Pintura acrílica amarilla	\$ 5,00
13	1	Canguro de almacenamiento.	\$ 5,00
14	1	Varios.	\$ 25,00
TOTAL			\$ 203

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1. Conclusiones

Se ha diseñado un sistema electrónico de detección de obstáculos que reconoce objetos cercanos al usuario empleando medición ultrasónica y como actuadores cuatro microservomotores.

El modo analógico es un código fácil de aprender ya que permite detectar obstáculos sin necesidad de estudiar combinación alguna.

El modo binario es un código que contiene un mayor número de rangos, con lo que permite una mayor resolución de las distancias presentes.

El modo manual permite ejecutar una fase de entrenamiento del sistema, simulando así las combinaciones existentes en el código binario, sin necesidad de conexión del sensor de distancia.

El dispositivo detecta distancias de hasta 4 metros, luego de ese valor de distancia el tiempo se desborda y no se tiene control sobre él.

La posición del dispositivo detector de obstáculos es perpendicular al objeto para que la señal de rebote regrese al sensor ultrasónico para su medición.

La placa Arduino Nano es ideal para trabajar con los microservomotores, ya que proporciona pines de señal PWM con lo que los actuadores van a activarse en el tiempo adecuado.

Con una confiabilidad del 95,7% la persona con discapacidad visual puede hacer uso del sistema de detección de obstáculos de forma correcta.

## 5.2. Recomendaciones

Se recomienda emplear elementos que son de bajo costo y que el estudiante mecatrónico haya manipulado durante su proceso de estudio para agilizar la realización de pruebas mediante el análisis de las necesidades de las personas con discapacidad visual.

Analizar la posibilidad de aumentar el rango de mediciones para que la persona con discapacidad visual tenga un mayor conocimiento del lugar donde se encuentre, usando otro tipo de sensores que mejoren el alcance.

Disminuir el tamaño del dispositivo para que sea fácil de guardar empleando dispositivos de tecnología SMD u otros.

Considerar la posibilidad de añadir comandos de voz al sistema para que alerte al usuario de forma auxiliar y en ambientes pocos ruidos.

Aumentar la velocidad de detección para que la persona con discapacidad visual pueda acelerar su paso y detectar obstáculos de acuerdo a su ritmo de desplazamiento.

Se debe considerar primordial la intervención de las personas no videntes para de esta forma realizar un dispositivo acorde a sus necesidades empleando herramientas de rápido acceso.

Se debe efectuar versiones y modelos de carcasa futuras con la intervención de personas con discapacidad visual para recibir recomendaciones de mejoras.

Se debe considerar que al usar lenguaje de alto nivel el tamaño en ROM y RAM ciertas tarjetas de control pueden ser inadecuadas siendo un problema en cuanto a mejoras que se quieran realizar en las líneas de código de programación.

Si se desea obtener un mejor acabado en cuanto a la textura del dispositivo se recomienda que para versiones futuras se emplee un plástico ABS.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acústica. (1992). *Impedancia acústica*. Recuperado el 21 de Junio de 2016, de <http://www.hernanmouro.org/acustica/unidades/unidad-3/impedancia-acustica/>
- AliExpress. (s.f.). *18650 7.4 V 1500 Mah 15C de la batería Lipo 7.4 V cargador del Balance para MJX T40 T40C F39 F49 T39 Syma RC 822 helicóptero*. Recuperado el 6 de Julio de 2016, de <https://es.aliexpress.com/item/18650-7-4V-1500Mah-15C-Lipo-Battery-7-4V-Balance-Charger-Parts-For-MJX-T40-T40C/32558427802.html?spm=2114.43010208.4.23.XMF3Ny>
- Arduino. (s.f.). *Arduino Nano*. Recuperado el 1 de Julio de 2016, de <https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardNano>
- Arduino. (s.f.). *Formas de Conexionado de entradas y salidas*. Recuperado el 23 de Agosto de 2016, de <http://playground.arduino.cc/ArduinoNotebookTraduccion/Appendix>
- Arduino. (s.f.). *Servo library*. Recuperado el 23 de Agosto de 2016, de <https://www.arduino.cc/en/Tutorial/Knob>
- Arregui, B. (s.f.). *Técnicas de guía vidente para personas sordociegas*. Recuperado el 17 de Diciembre de 2015, de <http://www.once.es/otros/sordoceguera/HTML/capitulo10.htm>
- Arrieta, M. (2014). *"Films de PLA y PLA-PHB plastificados para su aplicación en envases de alimentos. Caracterización y análisis de los procesos de degradación"*. España. Recuperado el 22 de Julio de 2016, de <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/39338/Arrieta%20-%20Films%20de%20PLA%20y%20PLA-PHB%20plastificados%20para%20su%20aplicaci%C3%B3n%20en%20envases%20de%20alimentos.%20Caract....pdf?sequence=1>
- Asociación Discapacidad Visual Cataluña. (2015). *Discapacidad visual o ciega en edad adulta*. Recuperado el 17 de Diciembre de 2015, de [http://www.b1b2b3.org/es/Telefono\\_Ull/psicologia.html#Inicio](http://www.b1b2b3.org/es/Telefono_Ull/psicologia.html#Inicio)
- AT Braille. (s.f.). *Software DUXBURY-WIN Traductor de Braille*. Recuperado el 29 de Junio de 2016, de <http://www.atbraille.com.mx/index.php?contenido=producto&id=0109>



- Balcells, J., & Romeral, J. (1997). *Autómatas programables*. Barcelona: marcombo.
- Barbuzano, J. (15 de Abril de 2015). *5 ejemplos de tecnología para personas ciegas: más allá del Braille*. Recuperado el 20 de Junio de 2016, de OpenMind: <https://www.bbvaopenmind.com/tecnologia-para-invidentes-mas-alla-del-braille/>
- Bayle, J. (2013). *C Programming for Arduino*. Birmingham: Packt Publishing Ltd.
- Bigtronica. (s.f.). *Servomotor Mini MG90S*. Recuperado el 8 de Julio de 2016, de <http://bigtronica.com/servomotor/64-servomotor-mini-mg90s.html>
- Candelas, F. A., & Corrales, J. A. (20 de Septiembre de 2007). *Servomotores*. Recuperado el 12 de Julio de 2016, de <http://www.aurova.ua.es/previo/dpi2005/docs/publicaciones/pub09-ServoMotores/servos.pdf>
- Carletti, E. (2007). *Medidores de distancia ultrasónicos*. Recuperado el Noviembre de 2015, de [http://robots-argentina.com.ar/Sensores\\_ultrasonido.htm](http://robots-argentina.com.ar/Sensores_ultrasonido.htm)
- Castejón, J., & Navas, L. (2013). *Unas bases psicológicas de la Educación Especial*. España: ECU.
- CCS. (s.f.). *PCWHD IDE Compiler for Microchip*. Recuperado el 4 de Julio de 2016, de [http://www.ccsinfo.com/product\\_info.php?products\\_id=PCWHD\\_full](http://www.ccsinfo.com/product_info.php?products_id=PCWHD_full)
- Cherres, D. (2015). *Diseño y construcción de material tiflotécnico que facilite la lectura y escritura en sistema braille a niños de la unidad educativa especializada de no videntes de Cotopaxi*. Latacunga: Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.
- Ciencia y biología. (6 de Noviembre de 2014). *Microsoft diseña un dispositivo para ayudar a personas invidentes*. Recuperado el 16 de Julio de 2016, de <http://cienciaybiologia.com/microsoft-dispositivo-para-ayudar-personas-invidentes/>
- Debowska, W., Wolakb, T., Soluchc, P., Orzechowski, M., & Kossuta, M. (2013). Design and evaluation of an innovative MRI-compatible Braille stimulator. *Elsevier*, 32-38. Recuperado el 25 de Junio de 2016, de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0165027012004694>
- Díaz, E. (Mayo de 2008). *Sistema de orientación para invidentes y débiles visuales aplicado para el primer cuadro de la ciudad*. Recuperado el 28 de Junio de 2016, de <http://bpu.uaslp.mx/pdfs/Tesis%20Eduardo%20D%C3%ADaz.pdf>

- El Comercio. (12 de Octubre de 2014). *La discapacidad visual es un reto para los proyectos tecnológicos*. Recuperado el 10 de Julio de 2016, de [http://www.elcomercio.com/app\\_public\\_pro.php/tendencias/discapacidad-visual-reto-proyectos-tecnologicos.html](http://www.elcomercio.com/app_public_pro.php/tendencias/discapacidad-visual-reto-proyectos-tecnologicos.html)
- Etrucplan. (9 de Agosto de 2002). *Ergonomía*. Recuperado el 25 de Junio de 2016, de <http://www.estrucplan.com.ar/Producciones/entrega.asp?IdEntrega=64>
- Fonda, C. (Marzo de 2014). *Guía Práctica para tu primera impresión 3D*. Recuperado el 4 de Agosto de 2016, de [https://impresion3denelictp.files.wordpress.com/2014/03/guc3ada-prc3a1ctica-para-tu-primera-impresic3b3n-3d\\_carlo-fonda1.pdf](https://impresion3denelictp.files.wordpress.com/2014/03/guc3ada-prc3a1ctica-para-tu-primera-impresic3b3n-3d_carlo-fonda1.pdf)
- Fung-Huei, Y., Huoy-Shyi, T., & Shih-Hao, L. (2003). Applied CAD and ANFIS to the Chinese Braille display optimization. *Elsevier*, 213-222. Recuperado el 25 de Junio de 2016, de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0141938204000095>
- Gallardo, O. (Septiembre de 2015). *Fabricación de placas de circuito impreso con Proteus*. Recuperado el 28 de Julio de 2016, de <https://uvadoc.uva.es/bitstream/10324/14625/1/TFG-P-312.pdf>
- Garzón, C. (2015). *Diseño e implementación de un dispositivo con sistema de comunicación braille e interfaz android para la intercomunicación de personas sordociegas*. Latacunga: Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.
- Gerber, W., & Utreras, C. (Junio de 2009). *Ultrasonido (Formulas & Ejercicios)*. Recuperado el 21 de Junio de 2016, de <http://downloads.gphysics.net/UACH/Odontologia/UACH-Fisica-en-la-Odontologia-3-2-Ultrasonido-Ejercicios.pdf>
- González, R. (2009). *Programa psicopedagógico para el aprendizaje de las habilidades tifloinformáticas básicas en escolares ciegos que cursan el primer grado*. Cuba: Editorial Universitaria.
- Grathio Labs. (8 de Agosto de 2011). *Meet The Tacit Project. It's Sonar For The Blind*. Recuperado el 11 de Julio de 2016, de <http://grathio.com/2011/08/meet-the-tacit-project-its-sonar-for-the-blind/>
- INEM. (Febrero de 2016). *Accesibilidad de las personas con discapacidad y movilidad reducida al medio físico. Vías de circuitación peatonal*. Recuperado el 1 de Agosto de 2016, de <https://drive.google.com/a/espe.edu.ec/file/d/0Bxl4LLo2QyyJcjUwRy05UzluRHc/view?pref=2&pli=1>

- Jaume, E., & Sánchez, A. (2014). *Atención y percepción*. España: Larousse - Alianza Editorial.
- Lafuente, Á. (2011). *El sistema braille*. Recuperado el 30 de Junio de 2016, de [http://www.ite.educacion.es/formacion/materiales/129/cd/pdf/m5\\_dv.pdf](http://www.ite.educacion.es/formacion/materiales/129/cd/pdf/m5_dv.pdf)
- LPKF. Laser & Electronics. (s.f.). *Creación rápida de prototipos PCB*. Recuperado el 30 de Julio de 2016, de <http://www.lpkf.es/productos/creacion-rapida-prototipos-pcb/index.htm>
- Macas, C., & Pilco, K. (2016). *Construcción de un modelo de fundición mediante la utilización de la tecnología de impresión 3D*. Riobamba: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- Melo, J. (2009). *Ergonomía práctica*. Bueno Aires: FUNDACIÓN MAPFRE.
- Méndez, V. (2012). *Diseño y Construcción de un Sistema Mecatrónico Articulado de Dos Dedos, Actuado con Músculos Neumáticos*. México D. F.: Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico.
- Microchip. (s.f.). *PIC16F628A*. Recuperado el 9 de Julio de 2016, de <http://www.microchip.com/wwwproducts/en/PIC16F628A>
- Ministerio de Educación de España. (s.f.). *Didáctica del sistema braille*. Recuperado el 29 de Junio de 2016, de [http://www.ite.educacion.es/formacion/materiales/129/cd/unidad\\_5/m5\\_requisitos\\_basicos.htm](http://www.ite.educacion.es/formacion/materiales/129/cd/unidad_5/m5_requisitos_basicos.htm)
- Motto, P., Dante, V., Mesin, L., Petetti, E., Del Giudice, P., & Eros, P. (Abril de 2014). A new dynamic tactile display for reconfigurable braille: implementation and tests. *frontiers in Neuroengineering*, 7, 1-13. Recuperado el 25 de Junio de 2016, de <http://journal.frontiersin.org/article/10.3389/fneng.2014.00006/full>
- Norton, R. (2009). *Diseño de maquinaria*. México D. F.: McGraw.
- Notas técnicas de prevención. (1990). *NTP 226: Mandos: ergonomía de diseño y accesibilidad*. Recuperado el 15 de Julio de 2016, de [http://www.oect.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/201a300/ntp\\_226.pdf](http://www.oect.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/201a300/ntp_226.pdf)
- OpenMind. (12 de Diciembre de 2014). *Cinco aportes tecnológicos para personas invidentes*. Recuperado el 20 de Junio de 2016, de <http://www.semana.com/tecnologia/articulo/cinco-aportes-tecnologicos-para-personas-invidentes/411976-3>

- Organización Mundial de la Salud. (Agosto de 2014). *Ceguera y discapacidad visual*. Recuperado el 18 de Junio de 2016, de <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs282/es/>
- Pascual, J. (6 de Enero de 2015). *10 usos alternativos para tu Raspberry Pi*. Recuperado el 1 de Julio de 2016, de <http://computerhoy.com/noticias/hardware/10-usos-alternativos-tu-raspberry-pi-22605>
- Pérez, D. (2006). *Sensores de distancia por ultrasonidos*. Recuperado el 19 de Junio de 2016, de <http://www.alcabot.com/alcabot/seminario2006/Trabajos/DiegoPerezDeDiego.pdf>
- Plan Nacional Para el Buen Vivir. (2013). *Objetivo 3. Mejorar la calidad de vida de la población*. Recuperado el 1 de Noviembre de 2015, de <http://www.buenvivir.gob.ec/objetivo-3.-mejorar-la-calidad-de-vida-de-la-poblacion>
- Pompa, P. (11 de Noviembre de 2015). *Como utilizar los servos en nuestros proyectos*. Recuperado el Noviembre de 2015, de <http://www.superrobotica.com/Servosrc.htm>
- Registro oficial. (2012 de Septiembre de 2012). *Ley orgánica de discapacidades*. Recuperado el 21 de Junio de 2016, de [http://www.cepal.org/oig/doc/LeyesCuidado/ECU/2012\\_LeyOrg.deDiscapacidades\\_ECU.pdf](http://www.cepal.org/oig/doc/LeyesCuidado/ECU/2012_LeyOrg.deDiscapacidades_ECU.pdf)
- Riba, C. (2002). *Diseño concurrente*. Barcelona: UPC.
- Rossano, V. (2009). *Electronica & Microcontroladores PIC*. México D. F.: USERS.
- Salas, R., Pérez, J., & Ramírez, J. (s.f.). *Técnicas de diseño, desarrollo y montaje de circuitos impresos*. Recuperado el 28 de Julio de 2016, de [http://www.saber.ula.ve/bitstream/123456789/26205/1/tecnicas\\_diseno.pdf](http://www.saber.ula.ve/bitstream/123456789/26205/1/tecnicas_diseno.pdf)
- Sánchez, Á., Fernández, F., & Porras, J. (Octubre de 2015). *Sistemas mecatrónicos básicos. Sensores*. Recuperado el 16 de Agosto de 2016, de <http://docplayer.es/7382399-Sistemas-mecatronicos-basicos.html>
- Sánchez, R. (2008). *Accionamientos y actuadores eléctricos*. Recuperado el 6 de Enero de 2016, de <http://www.uhu.es/rafael.sanchez/ingenieriamaquinas/carpetaapuntes.htm/Apuntes%20Tema%206%20nuevo%20formato.pdf>
- Shigley, J., & Uicker, J. (1995). *Teoría de máquinas y mecanismos*. México D. F.: McGRAW-HILL.

- Simón, C., Ochaíta, E., & Huertas, J. (1995). El sistema Braille bases para su enseñanza-aprendizaje. *CL & E*, 91-102. Recuperado el 11 de Abril de 2016, de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2941799>
- Smithmaitrie, P. (2009). Analysis and Design of Piezoelectric Braille Display. *Intech*, 49-62. Recuperado el 25 de Junio de 2016, de <http://www.intechopen.com/books/rehabilitation-engineering/analysis-and-design-of-piezoelectric-braille-display>
- Superrobotica. (4 de Enero de 2016). *SRF04 Sensor distancias por ultrasonidos SRF04 S320110*. Obtenido de <http://www.superrobotica.com/S320110.htm>
- TargetMAP. (s.f.). *Average Height for males by countries*. Recuperado el 21 de Julio de 2016, de <http://www.targetmap.com/viewer.aspx?reportId=6467>
- Tdrobotica.co. (s.f.). *Baby Orangutan B-328*. Recuperado el 2 de Julio de 2016, de <http://tdrobotica.co/baby-orangutan-b-328/67.html>
- Teal, L. (1997). *El arte de tocar el saxofón*. Estados Unidos: Summy-Birchard Inc.
- Torrente Artero, Ó. (2013). *Arduino. Curso práctico de formación*. México D. F.: Alfaomega.
- Universidad del Cauca. (10 de Julio de 2016). *Aspectos Técnicos de los Sistemas de Información. Procesamiento de la información*. Obtenido de Aspectos Técnicos de los Sistemas de Información
- Universidad del país Vasco. (s.f.). *Otros productos de apoyo disponibles en la UPV/EHU*. Recuperado el 5 de Julio de 2016, de <http://www.ehu.eus/es/web/discapacidad/laguntza-produktuen-bankoa-lpb>
- Unocero. (5 de Octubre de 2013). *Otra tarjeta de desarrollo: la BeagleBone Black*. Recuperado el 27 de Junio de 2016, de <https://www.unocero.com/2013/10/05/otra-tarjeta-de-desarrollo-la-beaglebone-black/>
- Vaquero, J. (9 de Marzo de 2009). *Aspectos sobre las actividades acuáticas para personas con discapacidad visual*. Recuperado el 18 de Junio de 2016, de [http://www.munideporte.com/imagenes/documentacion/ficheros/20090309140108Discapacidad\\_visual-JoseL\\_Vaquero.pdf](http://www.munideporte.com/imagenes/documentacion/ficheros/20090309140108Discapacidad_visual-JoseL_Vaquero.pdf)
- Vildósola, E. (s.f.). *Actuadores*. Recuperado el 6 de Enero de 2016, de <http://www.aie.cl/files/file/comites/ca/abc/actuadores.pdf>

Wordreference. (s.f.). *vidente*. Recuperado el 21 de Junio de 2016, de <http://www.wordreference.com/definicion/vidente>

Yeh, F.-H., Tsay, H.-S., & Liang, S.-H. (Diciembre de 2003). Applied CAD and ANFIS to the Chinese Braille display optimization. *Elsevier*, 24, 213-222. Recuperado el 25 de Junio de 2016, de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0141938204000095>

## **GLOSARIO**

**Braille:** Sistema de signos que emplean los ciegos para leer y escribir; se basa en una correspondencia entre letras y caracteres formados por una serie de puntos en relieve distribuidos en una superficie.

**Háptica:** Es el conjunto de sensaciones no visuales y no auditivas que experimenta un individuo.

**Inclusión:** Es un enfoque que responde positivamente a la diversidad de las personas y a las diferencias individuales, entendiendo que la diversidad no es un problema, sino una oportunidad para el enriquecimiento de la sociedad, a través de la activa participación en la vida familiar, en la educación, en el trabajo y en general en todos los procesos sociales, culturales y en las comunidades.

**Muesca:** Hueco estrecho y alargado que se hace en una cosa para introducir o encajar otra.

**Piezoelectricidad:** Conjunto de fenómenos eléctricos que se manifiestan en algunos cuerpos sometidos a presión u otra acción mecánica.

**Pulimentar:** Alisar una superficie para que quede suave y brillante.

**Prototipo:** Primer ejemplar que se fabrica de una figura, un invento u otra cosa, y que sirve de modelo para fabricar otras iguales, o molde original con el que se fabrica.

**Táctil:** Que se percibe o se puede percibir a través del tacto.

**Ultrasonido:** Vibración mecánica de frecuencia superior a la de las que puede percibir el oído.

# **ANEXOS**






**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA**

**CERTIFICACIÓN**

Se certifica que el presente trabajo fue desarrollado la señorita: **MARÍA CRISTINA LOAYZA JARAMILLO**

En la ciudad de Latacunga, a los **23 días del mes de agosto del 2016.**

  
Ing. Patricia Constante  
**DIRECTORA DEL PROYECTO**

**Aprobado por:**

  
Ing. Vicente Hallo  
**DIRECTOR DE CARRERA**

  
Dr. Rodrigo Vaca  
**SECRETARIO ACADÉMICO**

