



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 INGENIERO MECATRÓNICO**

**TEMA: “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE IMPLANTE SENSORIAL
PARA PERCEPCIÓN DE OBJETOS Y ORIENTACIÓN PARA LA
EMPRESA FABCAD SA - HANDEYES”**

AUTOR: CARVAJAL BARZALLO, CRISTIAN ARMANDO

DIRECTOR: ING. LUIS FERNANDO ESCOBAR CARVAJAL

SANGOLQUÍ

2019



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, "***DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE IMPLANTE SENSORIAL PARA PERCEPCIÓN DE OBJETOS Y ORIENTACIÓN PARA LA EMPRESA FABCAD SA - HANDEYES***" fue realizado por el señor ***Carvajal Barzallo, Cristian Armando*** el mismo que ha sido revisado en su totalidad, analizado por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Firma:

Sangolquí, 28 de enero del 2019

Ing. Luis Fernando Escobar Carvajal
C.C: 1002403200



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Yo, *Carvajal Barzallo, Cristian Armando*, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: ***DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE IMPLANTE SENSORIAL PARA PERCEPCIÓN DE OBJETOS Y ORIENTACIÓN PARA LA EMPRESA FABCAD SA - HANDEYES*** ... es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Consecuentemente el contenido de la investigación mencionada es veraz.

Sangolquí, 28 de enero del 2019

Firma:

.....
Cristian Armando Carvajal Barzallo

C.C: 1003672399



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

AUTORIZACIÓN

*Yo, Carvajal Barzallo, Cristian Armando autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: “**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE IMPLANTE SENSORIAL PARA PERCEPCIÓN DE OBJETOS Y ORIENTACIÓN PARA LA EMPRESA FABCAD SA - HANDEYES**” en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.*

Sangolquí, 28 de enero del 2019

Firma:

Cristian Armando Carvajal Barzallo
C.C: 1003672399

DEDICATORIA

Este trabajo se lo dedico a mis padres, Armando Guillermo y Marcia quiénes fueron el pilar fundamental en mi proceso de formación como profesional. A mis hermanos Kevin y Guillermo quiénes me han sabido dar una palabra de aliento este proceso. A mi novia Tatiana por ser esa persona que siempre me ha alentado a superarme y cumplir todas mis metas y objetivos. Finalmente, a todos esos amigos y familiares que de algún modo respaldaron el esfuerzo realizado durante este camino.

Cristian Carvajal Barzallo

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por la bendición de haber recibido en mi vida a las personas adecuadas para poder culminar satisfactoriamente este proceso.

A mi madre Marcia, por siempre tener las palabras adecuadas para reconfortarme a la distancia. A mi papá Armando Guillermo que siempre ha velado por el bienestar de sus hijos, aunque nos encontremos lejos de casa.

Agradezco a la Universidad de las Fuerzas Armadas, que a través de mis profesores me han preparado como profesional exigiéndome al máximo y dándome esa capacidad de hacer que las cosas sucedan.

A mis amigos Diego y Fabricio, por abrirme las puertas de su empresa para llevar a cabo tan importante proyecto y por ser una guía importante para la culminación del mismo.

De manera muy especial al Ing. Luis Escobar por creer en el potencial de este proyecto, fortalecer las ideas para obtener mejores resultados y continuar en mi proceso de formación como profesional.

Cristian Carvajal Barzallo

ÍNDICE DE CONTENIDOS

| | |
|---|-----|
| CERTIFICACIÓN TRABAJO DE TITULACIÓN | i |
| AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD | ii |
| AUTORIZACIÓN | iii |
| DEDICATORIA | iv |
| AGRADECIMIENTO | v |
| RESUMEN | xiv |
| ABSTRACT | xv |
| CAPÍTULO I | 1 |
| GENERALIDADES Y OBJETIVOS | 1 |
| 1.1 Introducción | 1 |
| 1.2 Antecedentes | 1 |
| 1.2 Justificación e importancia | 4 |
| 1.3 Alcance del Proyecto | 5 |
| 1.3.1 Componentes mecánicos | 6 |
| 1.3.2 Componentes electrónicos | 7 |
| 1.3.3 Componentes del sistema de control | 8 |
| 1.3.4 Software para implementación, análisis y simulación | 8 |
| 1.4 Objetivos | 9 |
| 1.4.1 Objetivo General | 9 |
| 1.4.2 Objetivos Específicos | 9 |
| CAPÍTULO II | 10 |

| | |
|---|----|
| MARCO TEÓRICO | 10 |
| 2.1 Determinación de necesidades específicas referentes a la movilidad de personas con discapacidad visual para su mejor movilización e inclusión social a través de sistemas robóticos | 10 |
| 2.1.1 Necesidades específicas referentes a la movilidad de personas con discapacidad visual .. | 10 |
| 2.1.1.1 Nivel perceptivo de adquisición de habilidades de mapeo espacial y orientación | 12 |
| 2.1.1.2 Nivel conceptual de adquisición de habilidades de mapeo espacial y orientación | 12 |
| 2.1.2 Características de productos tecnológicos inclusivos orientados a personas con discapacidad visual..... | 13 |
| 2.2 Estudio del arte de sistemas robóticos de movilidad para personas no videntes | 14 |
| 2.2.1 Bastón Blanco | 14 |
| 2.2.2 Egara..... | 15 |
| 2.2.3 Sistema de prótesis de retina Argus II..... | 16 |
| 2.2.4 SMARTCANE | 18 |
| 2.2.5 SUNUBAND..... | 19 |
| 2.2.6 EYECLIP | 20 |
| 2.3 Uso de manufactura aditiva en dispositivos tecnológicos inclusivos..... | 21 |
| 2.4 Tecnologías recientes e Investigaciones a fin | 24 |
| 2.4.1 GIVE VISION..... | 25 |
| 2.4.2 DISNEY RESEARCH | 26 |
| 2.4.3 BIONIC EYE | 26 |
| 2.5 Resumen..... | 27 |
| CAPÍTULO III | 29 |

DISEÑO MECATRÓNICO DEL DISPOSITIVO EN BASE A LAS NECESIDADES

| | |
|---|----|
| DETECTADAS..... | 29 |
| 3.1 Parámetros Generales de Diseño..... | 29 |
| 3.2 Diseño Conceptual | 30 |
| 3.3 Disposición de Elementos Electrónicos | 32 |
| 3.4 Selección de Elementos Electrónicos para Dispositivo en base a necesidades detectadas | 33 |
| 3.4.1 Sensor de distancia para la identificación de objetos y distancia a la que se encuentran .. | 34 |
| 3.4.2 Actuador para brindar sensación de distancia a las personas | 39 |
| 3.4.3 Microcontrolador..... | 42 |
| 3.5 Diseño de la placa electrónica..... | 44 |
| 3.5.1 Acondicionamiento del sensor | 44 |
| 3.5.2 Acondicionamiento del motor | 45 |
| 3.5.3 Regulador de tensión..... | 46 |
| 3.5.4 Disposición de los elementos | 47 |
| 3.5.4.1 Capa Superior..... | 47 |
| 3.5.4.2 Capa Posterior | 47 |
| 3.5.5 Medidas Finales..... | 48 |
| 3.6 Software del Dispositivo | 49 |
| 3.6.1 Sistema EyeBorg | 49 |
| 3.7 Diseño y Dimensionamiento de la carcasa del dispositivo | 51 |
| 3.7.1 Trascendencia de la impresión 3D dentro del proyecto Eyeborg..... | 51 |
| 3.7.2 Consideraciones de diseño | 51 |
| 3.7.3 Modelado..... | 53 |

| | |
|--|----|
| CAPÍTULO IV | 55 |
| IMPLEMENTACIÓN DEL DISPOSITIVO..... | 55 |
| 4.1 Circuito Electrónico | 55 |
| 4.2 Carcasa | 56 |
| 4.3 Consideraciones de diseño previo al ensamble | 57 |
| 4.3.1 Diseño para la manufactura DPM | 57 |
| 4.3.1.1 Estimar los costos de manufactura | 57 |
| 4.3.1.2 Reducir los costos de los componentes | 59 |
| 4.3.1.3 4.3.1.3 Rediseñar componentes para eliminar pasos de procesamiento..... | 59 |
| 4.3.1.4 Disminuir los costos de ensamble | 60 |
| 4.3.1.5 Reducir los costos de apoyo de la producción | 61 |
| 4.3.1.6 Considerar el efecto de diseño para la manufactura en otros factores | 61 |
| 4.3.2 Ensamblaje | 62 |
| CAPÍTULO V | 64 |
| PRUEBAS DEL DISPOSITIVO Y RESULTADOS..... | 64 |
| 5.1 Metodología de la prueba de funcionamiento | 64 |
| 5.2 Resumen de entrevistas de la prueba de funcionamiento..... | 68 |
| CAPÍTULO VI..... | 71 |
| CONCLUSIONES | 71 |
| RECOMENDACIONES | 72 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 73 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1. <i>Parámetros generales del implante sensorial</i> | 29 |
| Tabla 2. <i>Comparación de sensores.</i> | 34 |
| Tabla 3. <i>Ponderación de criterios de evaluación para el sensor</i> | 38 |
| Tabla 4. <i>Comparación y selección de motor.</i> | 42 |
| Tabla 5. <i>Cotización Fabricación Carcasa Eyeborg</i> | 58 |
| Tabla 6. <i>Preguntas para entrevista.</i> | 68 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| <i>Figura 1.</i> Descripción de Componentes Mecánicos | 6 |
| <i>Figura 2.</i> Descripción de Componentes Electrónicos y Eléctricos | 7 |
| <i>Figura 3.</i> Descripción de Componentes del Sistema de Control..... | 8 |
| <i>Figura 4.</i> Descripción de componentes de software..... | 8 |
| <i>Figura 5.</i> Bastón Blanco | 14 |
| <i>Figura 6.</i> Puntas utilizadas en el bastón blanco..... | 15 |
| <i>Figura 7.</i> Bastón Egara..... | 16 |
| <i>Figura 8.</i> Dispositivo Argus II | 17 |
| <i>Figura 9.</i> Componentes del implante de retina utilizado por el sistema Argus II | 17 |
| <i>Figura 10.</i> Dispositivo SmartCane | 18 |
| <i>Figura 11.</i> Dispositivo Sunuband | 19 |
| <i>Figura 12.</i> Dispositivo EyeClip con accesorio de bastón..... | 21 |
| <i>Figura 13.</i> Representación gráfica de impresión 3D por FDM | 22 |
| <i>Figura 14.</i> Ejemplo de impresión 3D FDM..... | 22 |
| <i>Figura 15.</i> Dispositivo Soundwords | 23 |
| <i>Figura 16.</i> Dispositivo Palabra Viva | 24 |
| <i>Figura 17.</i> Prototipo del dispositivo EyeClip..... | 24 |
| <i>Figura 18.</i> GiveVision actual y diseño conceptual..... | 25 |
| <i>Figura 19.</i> Ejemplo de imagen representada en pantalla con electro vibración | 26 |
| <i>Figura 20.</i> Dispositivo Bionic Eye | 27 |
| <i>Figura 21.</i> Modelo Conceptual 1..... | 31 |
| <i>Figura 22.</i> Diseño Conceptual 2..... | 31 |

| | |
|--|----|
| Figura 23. Diseño Conceptual 3..... | 32 |
| Figura 24. Disposición de sistema con sensor individual | 32 |
| Figura 25. Disposición de sistema con varios sensores | 33 |
| Figura 26. Vista de perfil de usuarios | 33 |
| Figura 27. Sensor ultrasónico Maxbotix MB1000 | 36 |
| Figura 28. Sensor láser ToF VL53L0X..... | 37 |
| Figura 29. Sensor láser ToF VL53L1X..... | 37 |
| Figura 30. Micromotor DC sin núcleo vibratorio | 40 |
| Figura 31. Micromotor corriente directa tipo moneda LRA - 307-105 | 41 |
| Figura 32. Microcontrolador Atmega328P-MU | 43 |
| Figura 33. Esquema de aplicación del VL53L0X | 44 |
| Figura 34. Configuración de elementos para sensor VL5310x | 45 |
| Figura 35. Acondicionamiento del motor | 45 |
| Figura 36. Configuración de regulador de tensión LP2992 | 46 |
| Figura 37. Configuración VIN 3,7 V a VOUT 3,3 V | 46 |
| Figura 38. Disposición de elementos capa superior dispositivo EyeBorg | 47 |
| Figura 39. Disposición de capa posterior dispositivo EyeBorg | 48 |
| Figura 40. Medidas reales de placa electrónica ensamblada..... | 48 |
| Figura 41. Proceso de Estimulación vibratoria | 50 |
| Figura 42. Ángulo de inclinación de la frente a 16° | 52 |
| Figura 43. Ángulo de inclinación de la frente a 10° | 53 |
| Figura 44. Base de armazón de dispositivo EyeBorg..... | 53 |
| Figura 45. Tapa de armazón dispositivo EyeBorg..... | 54 |

| | |
|---|----|
| Figura 46. Dispositivo EyeBorg vista explotada..... | 54 |
| Figura 47. Circuitos Electrónicos dispositivo EyeBorg | 55 |
| Figura 48. Tamaño referencial de circuito electrónico | 56 |
| Figura 49. Modelo impreso en tecnología SLA | 57 |
| Figura 50. Partes de Carcasa prototipo EyeBorg | 60 |
| Figura 51. Carcasa del dispositivo EyeBorg impresa en SLA | 61 |
| Figura 52. Imagen referencial de la medida del dispositivo | 63 |
| Figura 53. Dispositivo ensamblado..... | 63 |
| Figura 54. Usuario de dispositivo Eyeborg sin tapa. | 65 |
| Figura 55. Prueba de obstáculos para dispositivo Eyeborg..... | 66 |
| Figura 56. Miguel Ángel Tixilema, usuario de HandEyes probando el dispositivo Eyeborg | 66 |
| Figura 57. Darío Nuñez, persona con discapacidad visual probando el dispositivo Eyeborg | 67 |
| Figura 58. Mario Puruncajas, ex presidente de la FENCE, probando el dispositivo Eyeborg | 67 |
| Figura 59. Miguel Ángel Tixilema demostrando el dimensionamiento de objetos con el dispositivo Eyeborg..... | 68 |

RESUMEN

En la actualidad una persona no vidente o de baja visión puede llegar a sufrir de dos a cuatro accidentes diariamente según HandEyes. Existen dispositivos que tratan de solventar esta problemática pero no lo han logrado de manera satisfactoria, esto, debido a un factor común el cuál es el uso de sensores ultrasónicos para la detección de los obstáculos, este tipo de sensores permiten detectar los objetos que se encuentran en la trayectoria de la persona, pero no permiten el dimensionamiento adecuado de cada objeto. Este proyecto trata del diseño y construcción de un prototipo de implante sensorial que permita a las personas no videntes generar un mapa mental más real de los obstáculos y así disminuir la cantidad de accidentes que se pueden suscitar, es un dispositivo con forma de rombo que se coloca sobre la frente de la persona, permite sentir cuán cerca están los objetos y detectar los obstáculos a través de sensaciones vibratorias que estimulan el sistema nervioso. Para esto el dispositivo cumple varias características, entre ellas, que utiliza sensores con un haz de detección delgado para poder dimensionar los objetos de manera más precisa, y brindan un rango de detección de hasta dos metros. El dispositivo está hecho a partir de materiales que no son tóxicos y permiten estar en contacto con la piel de las personas por largos períodos de tiempo. La placa de circuito impreso, ha sido desarrollada mediante microelectrónica para que el dispositivo pueda tener un tamaño adecuado. Finalmente, el control se ha desarrollado utilizando el lenguaje de programación avanzado. El prototipo ha realizado una serie de pruebas para verificar su correcto funcionamiento y el cumplimiento de las especificaciones requeridas, obteniendo resultados positivos.

PALABRAS CLAVE:

- **IMPLANTE SENSORIAL**
- **MAPA MENTAL**
- **MICROELECTRÓNICA**

ABSTRACT

Currently, a blind or low vision person can suffer from two to four accidents daily according to HandEyes. There are devices that try to solve this problem but have not achieved it satisfactorily, this, due to a common factor which is the use of ultrasonic sensors for the detection of obstacles, this type of sensors allows detecting objects that are found in the trajectory of the person, but do not allow the proper sizing of each object. This project aims to describe the design and construction of a sensory implant prototype that allows blind people to generate a more real mental map of the obstacles and thus reduce the number of accidents that can arise, it is a diamond-shaped device that placed on the forehead of the person, allows to feel how close are the objects and detect obstacles through vibratory sensations that stimulate the nervous system. For this, the device fulfills several characteristics, among them, that it uses sensors with a thin detection beam to be able to dimension the objects in a more precise way, and provide a detection range of up to two meters. The device is made from materials that are not toxic and allow to be in contact with the skin of people for long periods of time. The printed circuit board has been developed by microelectronics so that the device can have an adequate size. Finally, the control has been developed using the advanced programming language. The prototype has carried out a series of tests to verify its correct operation and compliance with the required specifications, obtaining positive results.

KEYWORDS:

- **SENSORIAL IMPLANT**
- **MENTAL MAP**
- **MICROELECTRONICS**

CAPÍTULO I

GENERALIDADES Y OBJETIVOS

1.1 Introducción

Para cumplir el proceso de obtención del título de Ingeniero en Mecatrónica, de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, es requisito indispensable realizar un trabajo de investigación que tenga aprobación por parte del consejo académico de la Carrera Ingeniería Mecatrónica de esta institución.

A los 31 días del mes de mayo de 2018, el Consejo Académico de la Carrera de Ingeniería Mecatrónica de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE aprueba el perfil de tesis titulado “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE IMPLANTE SENSORIAL PARA PERCEPCIÓN DE OBJETOS Y ORIENTACIÓN PARA LA EMPRESA FABCAD-HANDEYES” que será realizado por el estudiante Cristian Armando Carvajal Barzallo en el plazo de 8 meses.

1.2 Antecedentes

Alrededor de 1300 millones de personas sufren algún tipo de discapacidad visual en el mundo, al menos 36 millones son ciegas y 217 millones tienen baja visión, según ha publicado la Organización Mundial de la Salud. (OMS, 2018)

Según el CONADIS, en Ecuador la cantidad de personas con esta condición ascienden a 51500 aproximadamente. Todas estas personas se encuentran repartidas en todos los estratos socioeconómicos. (CONADIS, 2018)

La movilidad es una habilidad que requiere el funcionamiento de diferentes procesos, perceptivos, motores, asociativos, etc.; y por lo tanto de gran complejidad y de difícil estudio (Ochaita & Huertas, 1988). Para las personas con discapacidad visual este proceso se vuelve

mayormente complicado debido a que deben reemplazar con sus otros sentidos estas funciones que no representan mayor esfuerzo para una persona sin esta condición.

La empresa FABCAD SA – HANDEYES, creada por emprendedores ecuatorianos, se dedica al desarrollo de tecnología inclusiva para personas no videntes. Han obtenido reconocimiento tanto a nivel nacional como internacional por su producto insignia, “EYECLIP”, dicho producto funciona a través de vibraciones y sonidos cuyo fin es generar un mapa mental para los invidentes que los alerta sobre los obstáculos que se pueden encontrar en el camino y así evitar golpes. FABCAD SA – HANDEYES ha introducido satisfactoriamente este producto al mercado, realizando el lanzamiento del mismo en la “Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE”. Con la finalidad de continuar esta línea de investigación nace la idea de lanzar al mercado un dispositivo dedicado que permita brindar una percepción aumentada del entorno a las personas invidentes y sea parte de la persona a través de una implantación del mismo, nombrando a este dispositivo “EYEBORG”. Para el desarrollo del proyecto se necesita una persona comprometida, con los conocimientos necesarios que abarcan todas las áreas de estudio del mismo, por lo que FABCAD SA – HANDEYES ha buscado un estudiante de ingeniería mecatrónica de la Universidad de las Fuerzas Armadas “ESPE” para el desarrollo del mismo.

En la actualidad se define el término de “cyborg” (acrónimo en inglés) como un organismo cibernético, generalmente con la intención de mejorar la parte orgánica mediante el uso de la tecnología. Un cÍborg es un concepto futurista que describe a un ser humano con mecanismos tecnológicos. En la ciencia médica se pueden encontrar ejemplos de seres humanos con dispositivos tecnológicos (por ejemplo, personas con marcapasos o implantes cocleares), pero en estos casos no se utiliza la palabra cÍborg.

Actualmente existen otras iniciativas de innovación que permiten dar un sentido de percepción del entorno a las personas con discapacidad visual, pero no como un dispositivo que forme parte de la persona, este es el caso de “Sunu Band”, pulsera que funciona con un sensor de proximidad que emite una onda de ultrasónica que rebota en objetos que el usuario va encontrando a su paso, las vibraciones que se producen cambian dependiendo que tan cerca o lejos esté el objeto u obstáculo del usuario (SUNU, Inc, 2017) . El usuario siente vibraciones en su muñeca que comienzan a ser cada vez más frecuentes entre más se acerca a un objeto u obstáculo.

El dispositivo “Smartcane” se suma a este tipo de dispositivos, el cual es una ayuda electrónica de movilidad que se adapta como un accesorio del bastón blanco. Como el bastón blanco solo puede detectar obstáculos hasta la altura de la rodilla, “SmartCane” complementa su funcionalidad al detectar obstáculos desde la altura de la rodilla hasta la cabeza (AssisTech, IITD, 2016). Detecta obstáculos utilizando ondas ultrasónicas y la presencia de obstáculos se transmite a través de patrones vibratorios intuitivos. Se alimenta con una batería recargable de ion de litio, y se puede usar tanto en los modos de navegación interior como exterior. (AssisTech, IITD, 2016)

Estos dispositivos son gadgets que permitirán a la persona moverse de manera más independiente pero no dejan de ser accesorios externos.

El dispositivo “Eyeborg”, planea brindar un nuevo sentido a la persona, un sentido de percepción de obstáculos, exclusivo para personas con discapacidad visual, ya sea de baja visión o no vidente. No será nada más un accesorio electrónico como los ya mencionados si no que se quiere que forme parte del cuerpo y funcione como una extensión de sus sentidos, lo que le permitirá movilizarse de manera más autónoma y convertir en ciborgs a las personas no videntes.

Como primer prototipo y a lo que apunta esta tesis, se realiza un dispositivo que sea adherido de manera superficial en la piel del usuario, para realizar pruebas iniciales y determinar como el

cerebro reacciona ante este nuevo estímulo. Posteriormente se analizará la opción o etapa adecuada de la investigación en la que se pueda implantar de manera invasiva.

1.2 Justificación e importancia

La vista es una de las herramientas principales de percepción y relación con el mundo. Algunos autores (Gessel, Getman y Kane, 1964) mantienen que el ser humano es la criatura viviente más orientada hacia la visión que existe, aproximadamente el 80% de la información que recibe para su maduración neuropsicológica tiene lugar a través del canal visual.

Diariamente una persona no vidente llega a sufrir de dos a cuatro accidentes, que pueden ir desde golpes leves hasta golpes tan fuertes que les pueden ocasionar lesiones de por vida e incluso la muerte. (Aguinsaca, 2018)

Con el análisis del comportamiento de usuarios de HandEyes frente al uso del dispositivo EyeClip, el diálogo, el trabajo de observación y seguimiento se encontró una problemática muy fuerte en las personas con discapacidad visual. El hecho de que los dispositivos más comunes que fueron previamente mencionados utilizan sensores ultrasónicos en su mayoría, permiten detectar objetos, más no les permite dimensionar y tener una respuesta adecuada de acuerdo a cada obstáculo que detecta. Debido al área de detección de cada sensor. Sin duda es primordial desarrollar tecnologías que faciliten las actividades que tienen diariamente y mejoren su calidad de vida.

En base a todo lo mencionado, la empresa FABCAD SA - HANDEYES, se ha visto la necesidad de investigar un segundo dispositivo que permita tener una percepción más detallada de los objetos dentro de la trayectoria del usuario con discapacidad visual, para disminuir la cantidad de accidentes diarios que pueden llegar a tener los no videntes que se movilizan regularmente. Un

dispositivo que a través de sensores y actuadores estratégicamente colocados en la frente de cada persona llegue a ser una extensión de los sentidos, y permita a los no videntes que lo utilicen generar un mapa mental del entorno más real. De manera simultánea se puede generar un sistema de alarmas mediante conexión inalámbrica y un acelerómetro, para informar a un ser querido que el usuario del dispositivo ha sufrido una caída o ha tenido un tipo de percance.

1.3 Alcance del Proyecto

El proyecto de investigación busca obtener un prototipo, pequeño, estético, resistente, que permita a una persona con discapacidad visual percibir objetos que se encuentren delante de él o ella. A través de sensores y actuadores el dispositivo deberá brindar al usuario la sensación de que algo está frente a él y permitirle tener una apreciación de la distancia a la que se encuentra el objeto y la posición del mismo para mejorar la movilidad. Debe tener la forma adecuada y los materiales que permitan estar adherido para que no cause ningún malestar o rechazo por parte del cuerpo.

El dispositivo posee tres subsistemas: mecánico, electrónico y sistema de control.

1.3.1 Componentes mecánicos

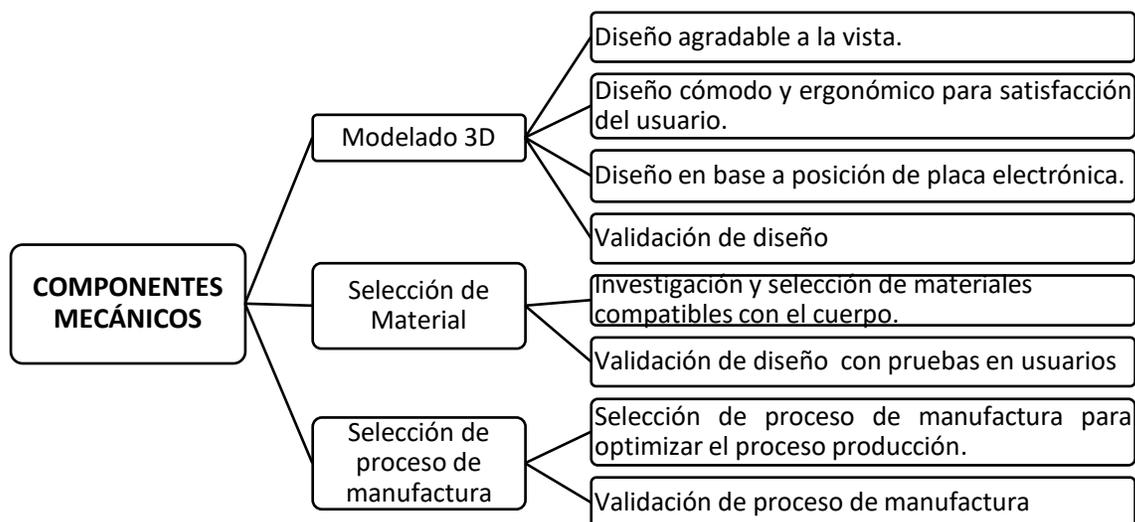


Figura 1. Descripción de Componentes Mecánicos

Dentro del subsistema mecánico tenemos como primer punto el modelado 3D del armazón del producto, donde se debe tener a consideración la posición de la placa electrónica, sensores y actuadores. El prototipo debe tener la capacidad de adherirse a la frente del usuario por lo que debe ser ergonómico y cómodo. Se debe realizar una selección adecuada de materiales ya que va a estar adherido al cuerpo y que de igual manera se pueda maquinar mediante el proceso de manufactura seleccionado, tratando de disminuir costos y optimizar el tiempo de maquinado.

1.3.2 Componentes electrónicos

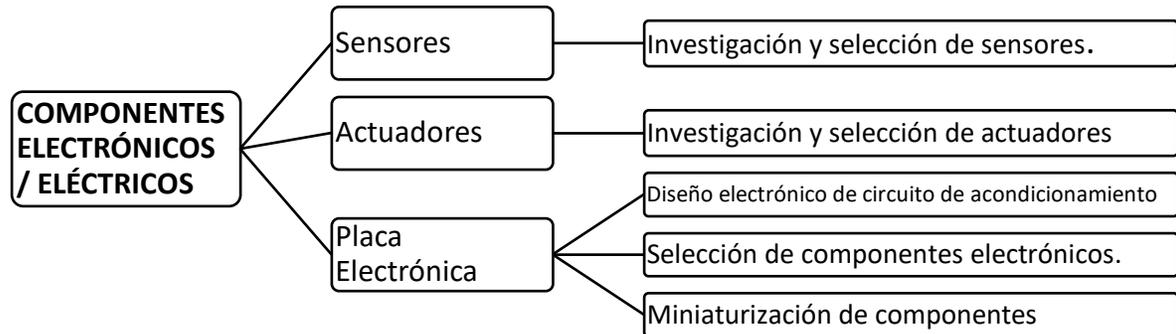


Figura 2. Descripción de Componentes Electrónicos y Eléctricos

La placa de circuito impreso (PCBA) que se va a desarrollar debe ser similar a la de un producto final, debe tener un microcontrolador que permita la programación del dispositivo, y que por conveniencia tenga capacidad de manejar varios sensores y actuadores de manera simultánea. Se debe realizar la miniaturización de los componentes para optimizar el espacio y disminuir el tamaño del prototipo final, teniendo en cuenta la toxicidad de cada componente debido al lugar donde se colocará.

Los materiales y el diseño de la placa se realizaran acorde a la norma IPC 2221A “Generic Standard on Printed Board Design”.

1.3.3 Componentes del sistema de control

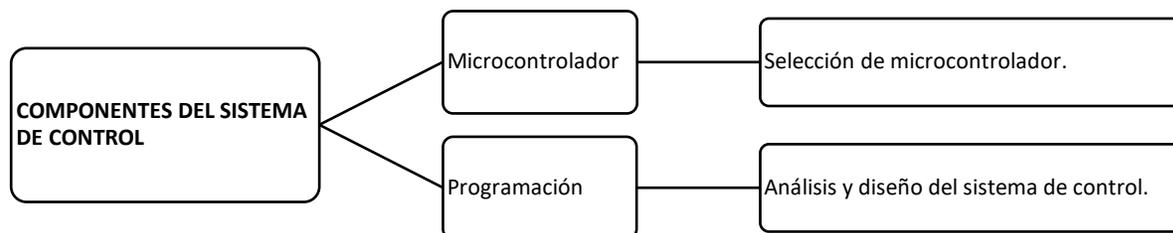


Figura 3. Descripción de Componentes del Sistema de Control

Nuestro sistema de control compone la selección del microcontrolador que tenga las características necesarias para el manejo de varios sensores y actuadores de manera simultánea. A través de la programación lograremos controlar los actuadores para lograr brindar la percepción de acuerdo a la distancia de cada objeto.

1.3.4 Software para implementación, análisis y simulación

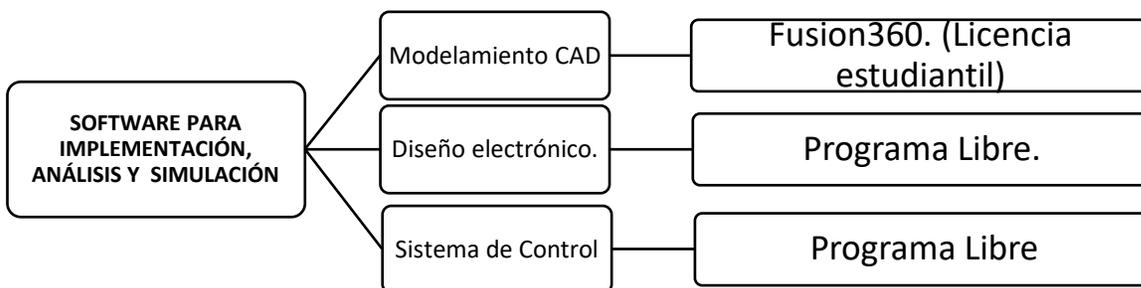


Figura 4. Descripción de componentes de software

Utilizaremos Fusion360 para el diseño mecánico del prototipo haciendo uso de la licencia brindada por la institución educativa, y se utilizarán programas libres tanto para el diseño electrónico como para el sistema de control.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

- Diseñar y construir un implante sensorial que permita brindar una percepción de la distancia de objetos y mejorar la orientación para personas con discapacidad visual.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Diseñar una prototipo ergonómico y resistente que brinde comodidad al usuario y permita el funcionamiento óptimo del dispositivo.
- Diseñar una placa PCBA con las características necesarias para garantizar el funcionamiento prolongado de manera eficiente.
- Desarrollar un sistema de control confiable, que facilite el uso del dispositivo para los usuarios.
- Desarrollar un dispositivo mecatrónico que sea validado por la empresa FABCAD SA – HANDEYES.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Determinación de necesidades específicas referentes a la movilidad de personas con discapacidad visual para su mejor movilización e inclusión social a través de sistemas robóticos

2.1.1 Necesidades específicas referentes a la movilidad de personas con discapacidad visual

Existen autores que se refieren a la movilización como un proceso resultado de varias habilidades del ser humano, es el caso de (Lahav & Mioduser, 2008) quien indica:

Movilizarse de manera independiente, segura y eficiente es el resultado de habilidades motoras, sensoriales y cognitivas. El ejercicio normal de movilizarse tiene influencia directa en la calidad de vida de cada individuo. El mapeo mental de los espacios, y los posibles caminos para trasladarse, es esencial para el desarrollo de habilidades de orientación y movilidad.

La mayoría de la información requerida para realizar el mapeo mental es captada a través del canal visual (Lynch, 1960). En consecuencia, las personas no videntes carecen de esta información por lo que enfrentan grandes dificultades al momento de generar mapas mentales de los espacios en los que se encuentran, lo que no permite que se movilicen de manera efectiva.

Un resultado de este déficit en movilidad es que muchas personas con discapacidad se vuelven pasivas, dependiendo de otros para ayuda continua (Foulke, 1971). Más del 30% de las personas ciegas no se movilizan de manera independiente afuera de sus hogares (Clark-Carter, Heyes, & Howarth, 1986).

Diferentes usuarios del dispositivo EyeClip en la ciudad de Quito coinciden en que las personas con discapacidad visual poseen un sentido de la audición más agudo, así como una memoria del

espacio más desarrollada para poder movilizarse e identificar objetos cercanos a ellos. En sitios conocidos como sus hogares, o lugares de trabajo no necesitan de ayuda alguna, porque saben de manera muy precisa dónde se van a encontrar con un obstáculo y porque en ese lugar pueden movilizarse libremente; conocen la ubicación de gradas, puertas, cuartos, baño, etc. (Tixilema, Vargas, & Freire, 2018).

Esta situación contrasta a los momentos en que tienen que movilizarse por lugares que son desconocidos, entonces, obstáculos como postes, rejillas de alcantarillas, gradas, baches, piedras y todo tipo de objeto que se encuentre en la trayectoria por la que están caminando significa un peligro. El tradicional bastón blanco, para personas no videntes es la solución para la mayoría de estos obstáculos porque a través del tacto se puede identificarlos antes de lastimarse (Tixilema, Vargas, & Freire, 2018).

No obstante, encontramos objetos que no se logran identificar por el bastón blanco y significan una constante amenaza, provocando que las personas con discapacidad visual se movilen con mayor alerta y por lo tanto de forma más lenta. Hacemos referencia a objetos que no se encuentran sobre el suelo, o su detección se torna muy complicada a través del bastón tradicional. Letreros, ramas de árboles, y todo tipo de objeto que se encuentre sobre la cintura de las personas. Por esto es necesario tener una herramienta que avise la presencia de este tipo de obstáculos. (Puruncajas, 2018)

Este trabajo se basa en el supuesto de que el suministro de información espacial adecuada a través de canales sensoriales compensatorios, como alternativa al canal visual (deteriorado o inexistente), puede contribuir al mapeo mental de los espacios y, en consecuencia, a una mejor movilidad de las personas con discapacidad visual. La investigación sobre la movilidad de las personas ciegas en espacios conocidos y desconocidos, indican que el apoyo para la adquisición de

habilidades de mapeo espacial y orientación debe proporcionarse en dos niveles principales: perceptual y conceptual como lo mencionan los autores (Golledge, Klatzky, & Loomis, 1996).

2.1.1.1 Nivel perceptivo de adquisición de habilidades de mapeo espacial y orientación

En el nivel perceptivo, la deficiencia en el canal visual debe compensarse con la información receptada a través de canales alternativos. El tacto y la audición se convierten en poderosos proveedores de información sobre entornos conocidos y desconocidos. Además, la información háptica parece ser esencial para el desempeño espacial apropiado. El sistema háptico se define en el diccionario Webster (1993), como "de, o relacionados con, el sentido del tacto". Los autores (Fritz, Way, & Barner, Kenneth, 1999) definen el sistema háptico en el siguiente enunciado: "táctil se refiere al sentido del tacto, mientras que háptico abarca el tacto y la información kinestésica, o un sentido de posición, movimiento y fuerza". La información háptica es comúnmente cubierta por el bastón blanco para un escaneo en baja resolución del entorno más cercano. Se utilizan las palmas y los dedos para el reconocimiento fino de la forma, texturas y ubicación de los objetos, piernas y pies intervienen con respecto a la información de la superficie que se encuentra movilizándose.

El canal auditivo proporciona información complementaria sobre sucesos, la presencia de otras personas (o máquinas o animales) en el entorno, los materiales de los que están hechos los objetos o las estimaciones de las distancias dentro de un espacio (Hill, Rieser, Hill, Halpin, & Halpin, 1993).

2.1.1.2 Nivel conceptual de adquisición de habilidades de mapeo espacial y orientación

En cuanto al nivel conceptual, el enfoque está en apoyar el desarrollo de estrategias apropiadas para un mapeo eficiente del espacio y la generación de rutas de navegación. Se conocen dos estrategias principales de reconocimiento de trayectorias utilizadas por las personas no videntes:

estrategias de rutas y estrategia de mapas. Las estrategias de ruta se basan en el reconocimiento lineal (por lo tanto, secuencial) de las características espaciales. Las estrategias de mapas, consideradas más eficientes que las anteriores, son innatas holísticas, y comprenden múltiples perspectivas del espacio objetivo (Fletcher, 1980). Investigaciones previas muestran que las personas ciegas utilizan principalmente estrategias de ruta para reconocer y navegar por nuevos espacios (Fletcher, 1980).

2.1.2 Características de productos tecnológicos inclusivos orientados a personas con discapacidad visual

Existen en la actualidad ciertos sistemas que permiten la inclusión de personas con distintos tipos de discapacidad, citaremos las características que deben cumplir estos sistemas para considerarse inclusivos (Stow, 2016).

El producto debe tener un uso equitativo, esto quiere decir que puede ser utilizado por personas con distintas habilidades inclusive personas con discapacidades sensoriales significativas, en este caso personas completamente ciegas. El uso del sistema debe ser flexible, el diseño del producto debe permitir que el mismo tenga la versatilidad adecuada para que no se limite su uso por la manera en la que debe ser utilizado (Stow, 2016).

Otra característica importante es que el uso del dispositivo tiene que ser de forma simple e intuitiva, y, brindar información mediante canales sensoriales complementarios que permitan recibir la información adecuada a la persona con discapacidad visual, esto considerando una tolerancia para el error, el dispositivo tecnológico debe minimizar las consecuencias adversas del mal uso sin intención o accidental. Una robustez en general es importante para las personas con discapacidad visual en general porque son las personas que tienen mayor probabilidad de golpearse (Stow, 2016).

Finalmente, el tamaño debe ser minimizado y su forma de uso no debe representar mayor esfuerzo para que el dispositivo pueda ser utilizado a lo largo de toda la jornada (Stow, 2016).

2.2 Estudio del arte de sistemas robóticos de movilidad para personas no videntes

En los últimos años ha crecido la tendencia mundial en desarrollar dispositivos inteligentes que ayuden a las personas no videntes. En este apartado se hace una descripción del tradicional bastón blanco para no videntes y de los dispositivos electrónicos y robóticos más destacados en el mundo que mejoran la movilidad de las personas con discapacidad visual.

2.2.1 Bastón Blanco

El bastón blanco es una vara ligera y alargada que identifica a las personas ciegas y les sirve de guía para desplazarse de manera autónoma por la vía pública, se puede apreciar un ejemplo en la Figura 5.



Figura 5. Bastón Blanco

Fuente: (Florida Division of Blind Services, 2018)

Los bastones suelen tener una empuñadura de goma y en la parte inferior una punta rodante que suele ser de diferentes formas o materiales de acuerdo a la necesidad de cada usuario.



Figura 6. Puntas utilizadas en el bastón blanco, 1) Punta en forma de malvavisco de bajo perfil, 2) Punta de gancho de metal deslizante para retroalimentación acústica, 3) Punta estilo lápiz para bajo perfil, 4) Punta en forma de malvavisco rotatoria para contacto constante con el piso, 5) Punta cerámica que provee la retroalimentación más intensa, 6) Punta rodante con protector de rodillo que gira de lado a lado

Fuente: (Ambutech, 2018)

El tamaño del bastón puede llegar a la altura del pecho y la medida puede variar dependiendo de la altura de la persona que lo usa.

Desarrolladores e investigadores han tratado de crear un dispositivo que sea capaz de reemplazar al bastón blanco, pero no lo han conseguido. Actualmente existen algunos dispositivos que funcionan como complemento al bastón blanco (Aguinsaca, 2018).

2.2.2 Egara

Es un proyecto que nace en España, en el 2013, luego de que una persona no vidente preguntara en la ONCE (Organización Nacional de Ciegos Españoles) acerca de un sistema que le brinde ayuda para detectar obstáculos que puedan golpear su pecho o cabeza. La respuesta fue que no existe (Sánchez, 2015).

Solicitó el desarrollo de un prototipo y en el transcurso de los meses siguientes probó algunos dispositivos que le presentaron técnicos de la ONCE, luego de descartar varios modelos se presentó

un dispositivo de bastón electrónico inteligente, que se observa en la Figura 7, con ciertas características que satisficieron las necesidades de la persona que solicitó su desarrollo.



Figura 7. Bastón Egara

Fuente: Egara

Este dispositivo consta de tres sensores que detectan obstáculos que el invidente tiene a su alrededor, envía una señal que activa una manilla vibratoria. (Sánchez, 2015)

2.2.3 Sistema de prótesis de retina Argus II

Un sistema de prótesis de retina denominado “Argus II” es también conocido como “ojo biónico” o “implante de retina”. Tiene la función de proporcionar la estimulación eléctrica de la retina para inducir la percepción visual en personas ciegas y a través de una microcámara alojada en las gafas del usuario, captura una escena y esta se envía a un pequeño sistema embebido que posee una unidad de procesamiento de video. (Second Sight, 2016)

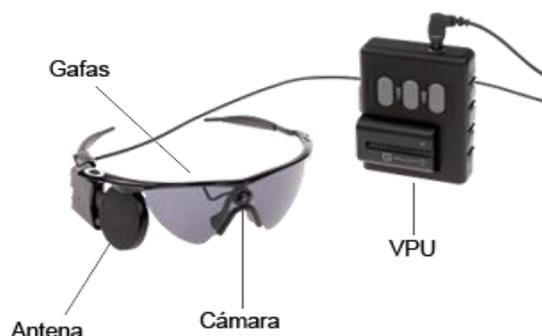


Figura 8. Dispositivo Argus II

Fuente: (Second Sight, 2016)

Una vez procesadas las imágenes estas instrucciones se transmiten de forma inalámbrica a la antena del implante de retina ver Figura 9. Las señales se envían al conjunto de electrodos, que emite pequeños impulsos de electricidad. Estos impulsos pasan por alto los fotorreceptores dañados y estimulan las células que quedan en la retina y que transmiten la información visual a través del nervio óptico al cerebro, para crear la percepción de patrones de luz. Los pacientes aprenden a interpretar estos patrones visuales. (Second Sight, 2016)

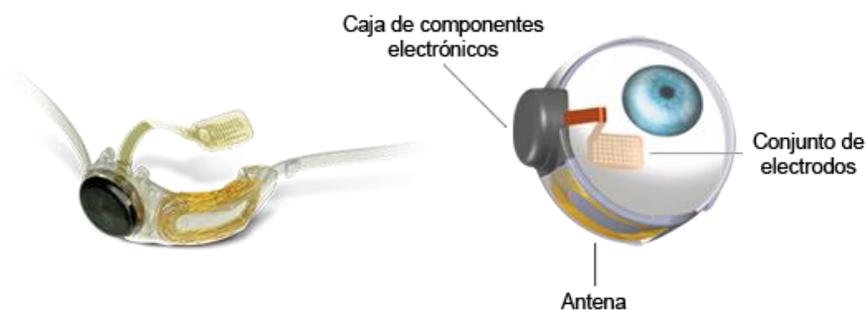


Figura 9. Componentes del implante de retina utilizado por el sistema Argus II

La implantación del Argus II sistema está valorada en \$ 150 000,00 aproximadamente.

2.2.4 SMARTCANE

Nació como un proyecto dentro del programa “Innovadores menores a 35” patrocinado por el Instituto de Tecnología de Massachusetts (MIT) y tuvo alto impacto debido al alcance social del mismo. El objetivo de SmartCane es resolver necesidades reales y por eso trabaja con el centro de no videntes de Nueva Deli en la India. Actualmente este dispositivo no ha superado las barreras de su país de origen, la India, pero ya es usado por más de 20000 personas con discapacidad visual en ese país. (AssisTech, IITD, 2016)

El SmartCane es un dispositivo similar a Egara, posee dos sensores ultrasónicos en la parte de la empuñadora como podemos apreciar en la Figura 10, funciona de manera que detecta objetos que se encuentren en la trayectoria de la persona no vidente y a través de una alerta vibratoria las personas sientan que hay algo por delante y que no se encuentra al nivel del piso, de esta manera SmartCane permite que sus usuarios cambien de dirección evitando los obstáculos. Con sencillas orientación y capacitación, cualquier persona con discapacidad visual que esté acostumbrado a moverse con el bastón blanco va a verse beneficiado con este dispositivo. (AssisTech, IITD, 2016).



Figura 10. Dispositivo SmartCane

Fuente: (AssisTech, IITD, 2016)

2.2.5 SUNUBAND

Sunuband nace a finales del año 2012, cuando Marco Trujillo, fundador de Sunu, realizó servicio social en la Escuela de Niñas Ciegas de Guadalajara. Durante este servicio social Trujillo encontró la inspiración necesaria para desarrollar un dispositivo para la obtención de su título como ingeniero en mecatrónica. Al finalizar su servicio social tenía una idea clara de las dificultades con respecto a la movilidad que tenían las alumnas y de qué manera iba a implementar una solución tecnológica para dimitir estas dificultades (Franco, 2018).

Actualmente el dispositivo ya se encuentra a la venta, se trata de un dispositivo que se viste como un reloj o pulsera, es muy ligero y discreto, tanto en su apariencia como en su funcionamiento. El dispositivo cuenta con un sensor ultrasónico y brinda una respuesta vibratoria de acuerdo a la distancia de los objetos que se encuentren en la trayectoria de las personas no videntes. Lo interesante de este dispositivo es que posee una APP ya sea para Android o para iOS en donde se puede configurar las distancias a las que el sensor trabaja. (SUNU, Inc, 2017)



Figura 11. Dispositivo Sunuband

Fuente: (SUNU, Inc, 2017)

2.2.6 EYECLIP

Eyeclip de HandEyes es un dispositivo ecuatoriano que nació a mediados del año 2013 como un proyecto de aula de Diego Aguinaca, fundador y director ejecutivo de HandEyes. (Aguinaca, 2018)

El dispositivo inicialmente era un guante que poseía diferentes funcionalidades como; detector de colores, radio, calculadora, reproductor de música y un sensor ultrasónico para detección de objetos a determinada distancia. Debido a su modo de utilización el dispositivo se le dio el nombre de HandEyes. Durante el año 2017 el dispositivo fue introducido al mercado, completamente rediseñado y con el nombre de EyeClip, un dispositivo enfocado en la detección de obstáculos sobre las rodillas para personas no videntes, teniendo gran impacto a nivel de América Latina. Actualmente ya existen más de 250 usuarios de EyeClip. (Aguinaca, 2018)

El dispositivo EyeClip posee un clip para ser utilizado como un accesorio en cualquier tipo de prenda de vestir y que de esta manera se direcciona hacia al frente de la persona con discapacidad visual, el dispositivo le va a permitir detectar objetos que se encuentren en el camino y que puedan significar cualquier tipo de accidente. De acuerdo a la distancia EyeClip genera algunos tipos de estímulos, ya sean vibratorios, sonoros o vibratorios y sonoros simultáneamente. De acuerdo a la distancia se generarán estos estímulos que le permitan a la persona no vidente movilizarse con mayor seguridad y de manera más independiente. EyeClip posee dos botones para configurar la distancia a la que detecta los objetos, seleccionar el tipo de alarma, detectar el nivel de batería, etc. El dispositivo posee un accesorio impreso en 3D que es utilizado para adaptarlo a cualquier tipo de bastón. (Aguinaca, 2018)



Figura 12. Dispositivo EyeClip con accesorio de bastón

Fuente: (HandEyes, 2018)

2.3 Uso de manufactura aditiva en dispositivos tecnológicos inclusivos

La impresión 3D es considerada la nueva revolución industrial debido a la facilidad con la que se pueden materializar ideas, además del bajo costo que representa hacer un prototipo con esta tecnología. No hace mucho tiempo, la velocidad de impresión y el rendimiento de las impresoras 3D era limitado solo para la creación rápida de prototipos, pero en los próximos años, las impresoras 3D estarán en el centro de las capacidades de producción a gran escala en varias industrias, desde la industria aeroespacial, la automatización, la salud, etc (Reichental, 2018).

FDM son las siglas en inglés (Modelado por Deposición Fundida) de esta tecnología que consiste en colocar capas muy finas de plástico, cuya representación gráfica se observa en la Figura 9. Lo hace a través de un extrusor con movimiento como en la Figura 10, que va creando la forma del prototipo. (Stratasys, 2018).

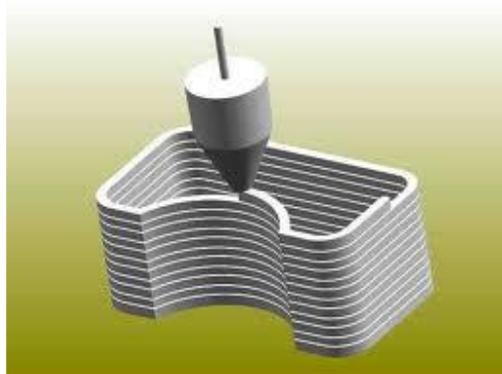


Figura 13. Representación gráfica de impresión 3D por FDM

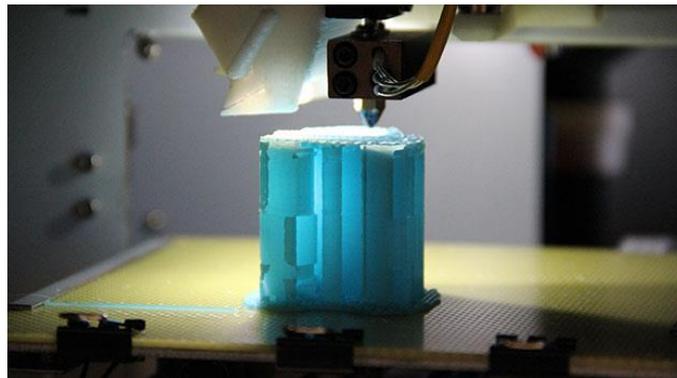


Figura 14. Ejemplo de impresión 3D FDM

Esta técnica necesita temperaturas entre 190 y 280 grados centígrados para derretir un filamento plástico que será extruido por una punta en movimiento que dará la forma final del modelo 3D (3dnatives, 2018) .

La flexibilidad de esta técnica de manufactura permite a diseñadores y desarrolladores de prototipos tecnológicos, acoplar de mejor manera sus sistemas con la forma del dispositivo final para la validación de especificaciones técnicas como pueden ser: durabilidad, resistencia, etc. (Silva, 2018).

Un circuito electrónico, por lo general, es parte de un prototipo o de un dispositivo que debe presentarse dentro de una carcasa, lo que suponía un problema ya que se tenía que acudir a carpinteros o metalmecánicos para darle forma al dispositivo. Ahora es posible diseñar libremente

un circuito electrónico sin tantas restricciones porque se tiene la capacidad de cambiar libremente su forma a través de un diseño computarizado y fabricarlo a muy bajo costo con la impresión 3D. (Zonamaker, 2018)

Algunos ejemplos de estos dispositivos desarrollados en la Universidad de las Fuerzas Armadas son: SOUNDWORDS, PALABRA VIVA y EYECLIP. Los dos primeros prototipos el tercero ya un producto que ha alcanzado mercado internacional, y cuyo prototipado se realizó a través de tecnología de impresión 3D.

SOUNDWORDS es un dispositivo que tiene un teclado impreso en 3D que en lugar de letras normales posee un relieve en braille para cada letra o número. Al presionarse el teclado emite el sonido acorde a la tecla presionada lo que permite el aprendizaje del lenguaje de manera inclusiva para niños con discapacidad visual. (Erazo, Salinas, & Ruiz, 2015)



Figura 15. Dispositivo Soundwords

PALABRA VIVA es un juguete que a través de una interfaz gráfica atractiva apunta al aprendizaje de letras y objetos para niños de corta edad.



Figura 16. Dispositivo Palabra Viva

EYECLIP previamente mencionado es un dispositivo, que ya se encuentra en el mercado, cuyo objetivo es entregarles a personas no videntes mayor autonomía al moverse. Se observa, en la Figura 17, un modelo de los primeros prototipos de este dispositivo el cual fue realizado mediante impresión 3D por FDM para la validación del método de sujeción al cuerpo de las personas. (Aguinsaca, 2018).

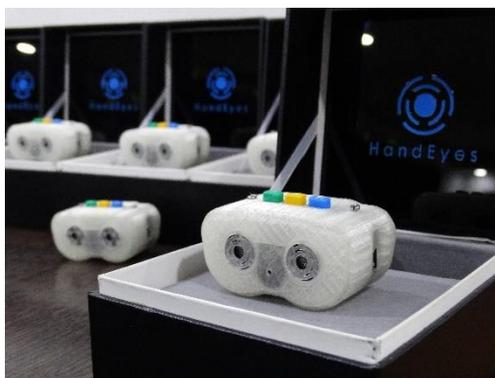


Figura 17. Prototipo del dispositivo EyeClip

Fuente: (HandEyes, 2018)

2.4 Tecnologías recientes e Investigaciones a fin

En los últimos años la tecnología ha avanzado a pasos agigantados, pero lastimosamente actualmente no se ha llegado conseguir ningún dispositivo que permita a las personas con discapacidad visual recuperar su visión. Lo que si se ha logrado es el desarrollo de dispositivos y herramientas que permiten brindar una mejor calidad de vida a estas personas.

Existen proyectos muy ambiciosos que se están llevando a cabo, que durante su etapa de desarrollo ya están impactando vidas, a continuación, conoceremos algunos de estos proyectos.

2.4.1 GIVE VISION

Give Vision desarrolla tecnología vestible, un tipo de visor denominado SightPlus que permite que las personas con baja visión puedan acercar, magnificar, cambiar el contraste o aplicar ciertos filtros para cualquier cosa que estén viendo, un dispositivo diseñado exclusivamente para actividades estacionarias, como ver televisión, reconocer el rostro de personas, pintura, etc. SightPlus funciona mediante manos libres de manera sumamente intuitiva lo que lo hace muy fácil de utilizar. (Give Vision, 2016)

Se ha validado el concepto utilizando la tecnología disponible en teléfonos inteligentes, a través de un acople similar a gafas para realidad virtual y además se ha comprobado el concepto de funcionamiento de este dispositivo con más de mil usuarios. El siguiente paso es el desarrollo de un dispositivo dedicado, que no se vea tan grande como el actual y que brinde las mismas prestaciones a las personas con discapacidad visual. (Give Vision, 2016).



Figura 18. GiveVision actual y diseño conceptual

Fuente: (Give Vision, 2016)

2.4.2 DISNEY RESEARCH

La interacción mediante el tacto y gestos con los dedos se ha vuelto la interfaz estándar en teléfonos inteligentes, tablets y laptops con pantallas táctiles. Sin embargo, estas pantallas no han sido capaces de proporcionar retroalimentación relacionada con la dimensión espacial. Disney Research ha desarrollado una pantalla con electro vibración que permite que las personas con discapacidad visual puedan sentir el tamaño de un objeto a través de un algoritmo de renderizado táctil que simula características geométricas en 3D a través de pantallas táctiles. El algoritmo es capaz de brindar la sensación de esquinas, relieves, agujeros y la combinación de estos mediante un sistema háptico que brinda la sensación de un objeto en 3D. De acuerdo al movimiento del dedo, ya sea toque, deslizamiento o apoyo en la pantalla el sistema envía una señal eléctrica que simula la profundidad del objeto del cual se quiera saber su tamaño, ya sea en videos, renderizados o mapas en relieve. (Lamonica, 2018)



Figura 19. Ejemplo de imagen representada en pantalla con electro vibración

2.4.3 BIONIC EYE

Se está llevando a cabo la investigación de un dispositivo que es implantado directamente en la región del cerebro que procesa las señales de la vista. Esto puede proveer un tratamiento para la mayoría de casos para que actualmente no existe tratamiento.

El dispositivo consiste de una cámara digital montada en un auricular portátil que envía información de las imágenes a un procesador, este procesador convierte las imágenes en señales que son transmitidas de forma inalámbrica al implante colocado en la parte posterior del cerebro.

El hecho de que esté implantado directamente en el cerebro evita el uso del canal visual, la retina o el nervio óptico, que son las partes que usualmente tienen algún daño y causan la discapacidad visual. Esta prótesis cortical apunta a poder ayudar en el 85% de los casos de ceguera, lo que supera en 75% más a las tecnologías de hoy en día. (Grey Innovation, 2017).



Figura 20. Dispositivo Bionic Eye

Fuente: (Grey Innovation, 2017)

2.5 Resumen

Gracias al estudio de dispositivos similares, la opinión de expertos y a la retroalimentación de personas no videntes hemos corroborado las necesidades que las personas poseen al momento de moverse. El desarrollo de este prototipo es conveniente para validar el principio de funcionamiento de un implante sensorial que facilite la movilidad y brinde mayor seguridad y confianza a personas que ya se movilizan diariamente y que así mismo permita a otras personas empezar a moverse de manera más independiente.

Este implante será orientado para todas las personas de baja visión o ciegas de todas las edades, independientemente del motivo del que haya ocasionado su ceguera.

Se desea alcanzar un prototipo que además de permitirles detectar los objetos y brindar una percepción de la distancia a la que estos se encuentran permita que la persona sea capaz de dimensionarlo de manera precisa para que su integridad no se vea comprometida al momento de esquivarlo.

El dispositivo no será un reemplazo para el uso del bastón blanco o perro guía, sino más bien funcionará como un complemento para las mencionadas herramientas de movilidad.

HandEyes, previo a años de trabajo con personas con discapacidad visual para el desarrollo de su primer dispositivo, recomienda la frente de las personas como un lugar adecuado del prototipo para que pueda detectar los objetos que se encuentren en la trayectoria del usuario. Por lo que debe ser de un tamaño adecuado para su colocación. De igual manera debe tener un tamaño que permita colocar dos o más sensores en la frente de la persona para poder validar conceptos de funcionamiento y de percepción para los usuarios.

CAPÍTULO III

DISEÑO MECATRÓNICO DEL DISPOSITIVO EN BASE A LAS NECESIDADES DETECTADAS

Este capítulo aborda el proceso de diseño del prototipo de implante sensorial y los parámetros que se utilizaron para la construcción. También se realiza un análisis de selección de componentes y de posibles componentes que se pueden utilizar para una segunda versión de este proyecto.

3.1 Parámetros Generales de Diseño

Gracias al estudio realizado en el capítulo 2 se han determinado las características necesarias para que el dispositivo pueda satisfacer esta etapa inicial de investigación. así como características generales consideradas en el punto 2.5. En la tabla 1 vamos a encontrar estas características, las cuáles serán la base para el desarrollo del prototipo.

Tabla 1.

Parámetros generales del implante sensorial

| Parámetros | Detalle |
|--------------------------------|--|
| Tamaño del dispositivo. | Menor a $2cm^2$. Se requiere que el área ocupada por cada sensor sea menor a $2cm^2$. Sabiendo que se pueden usar 2 o más sensores para la validación del funcionamiento. |

| | |
|-------------------------------|---|
| | Distancia de detección de hasta 2 m |
| Distancia de Detección | Muchos de los sensores estudiados funcionan con dos distancias de detección, siendo 2m utilizada para exteriores mientras que para interiores una distancia de 1m. |
| Sensación de Distancia | Háptico. El dispositivo debe brindar una sensación de la distancia a través de un sistema háptico ya que la señal no puede interferir de manera alguna con los sonidos generados |
| Duración de batería. | 10 horas de funcionamiento continuo. El dispositivo debe garantizar la capacidad de ser utilizado por al menos 10 horas de manera continua. Y en funcionamiento normal al menos 18 horas de uso. |
| Diseño industrial. | El diseño debe ser cómodo, y funcional, pensado en métodos de manufactura a través de impresión 3D y que sea adaptable a la forma de la frente de diferentes usuarios. |
| Software de Control | Licencia Libre. |

3.2 Diseño Conceptual

Como se mencionó en la propuesta del proyecto es necesario contemplar el diseño conceptual para que el prototipo cumpla las necesidades del usuario. La selección del diseño conceptual se realizó a través de entrevistas con usuarios de HandEyes.

Cada usuario pudo manipular un ejemplo de cómo sería el dispositivo final fabricado mediante el proceso de manufactura analizado en el punto 3.6. De las entrevistas se determinó que el concepto a utilizarse para brindar una sensación similar a lo que sería llevar un implante vendrá dado por la Figura 23.

Los prototipos probados fueron los siguientes:

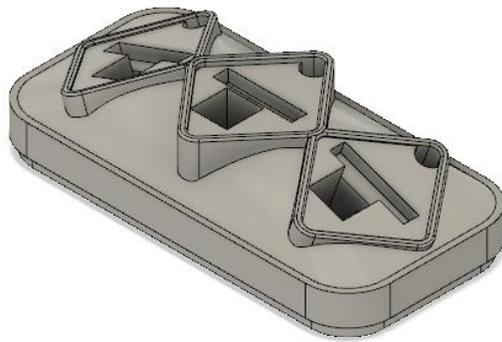


Figura 21. Modelo Conceptual 1

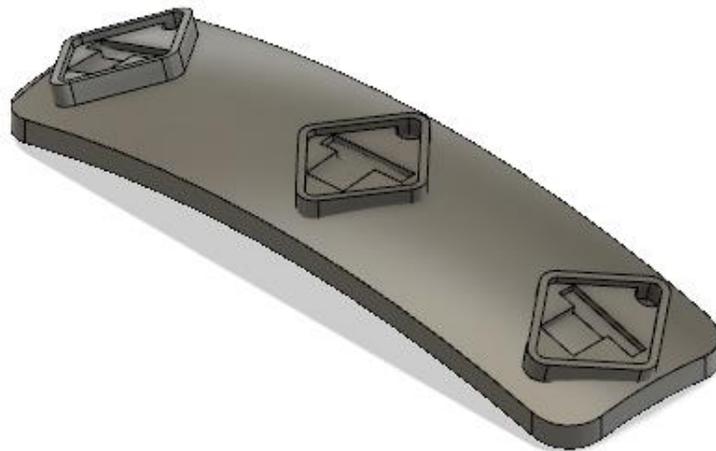


Figura 22. Diseño Conceptual 2



Figura 23. Diseño Conceptual 3

3.3 Disposición de Elementos Electrónicos

En la figura 24 se puede observar la disposición de los componentes del prototipo EyeBorg. Es un prototipo modular que cuenta con un sensor de proximidad, que, a través del circuito de acondicionamiento enviará la señal adecuada para que el microcontrolador procese esta señal y permita activar el actuador de acuerdo a la distancia a la que se encuentran los objetos.

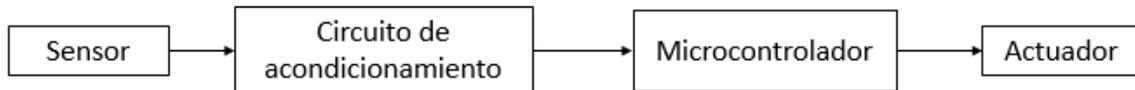


Figura 24. Disposición de sistema con sensor individual

El modo de uso final se plantea como un implante sensorial ubicado en la frente de las personas. Con este prototipo modular podemos crear sistemas compuestos por dos o más sensores como podemos ver en la figura 21, lo que nos permitirá validar de manera más precisa el funcionamiento de dicho prototipo en diferentes usuarios.

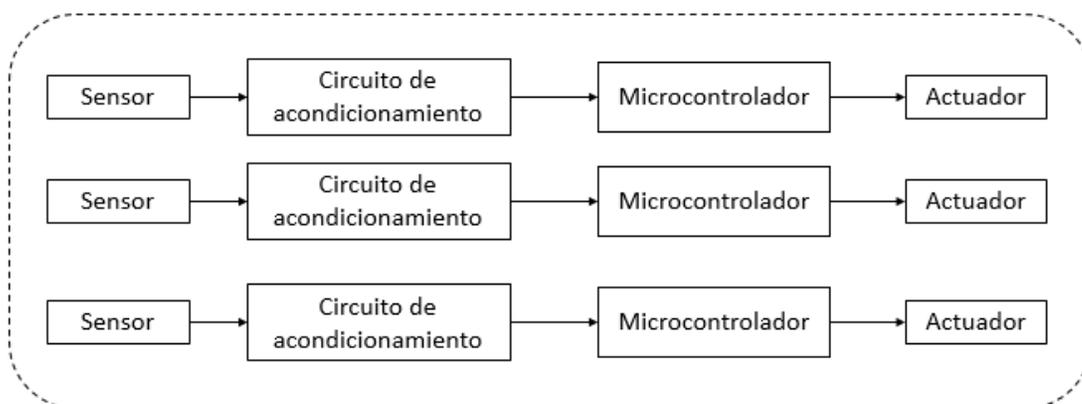


Figura 25. Disposición de sistema con varios sensores

De acuerdo a la edad, género o raza, la forma de la cabeza de las personas va a variar en ciertas características como tamaño o forma, como se puede apreciar en la Figura 26 (Burgué, s f). Es por esto que un prototipo modular nos ayudará a realizar pruebas en diferentes usuarios.

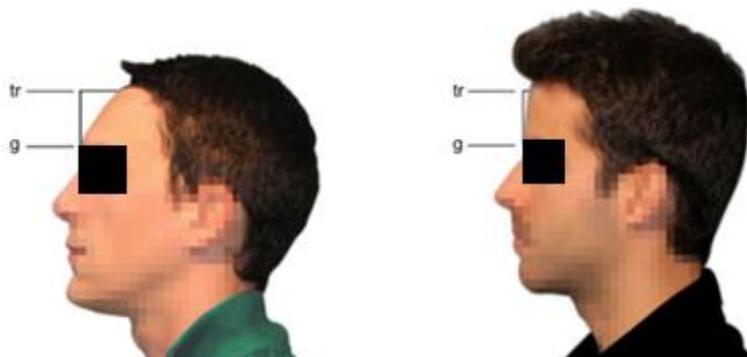


Figura 26. Vista de perfil de usuarios

Fuente: (HandEyes, 2018)

3.4 Selección de Elementos Electrónicos para Dispositivo en base a necesidades detectadas

Las alternativas de componentes para los subsistemas se propusieron haciendo referencia a los dispositivos estudiados en el Capítulo 2 y la opinión de expertos en el campo de desarrollo de productos para personas no videntes, y buscando satisfacer las especificaciones del prototipo detalladas en la Tabla 1.

3.4.1 Sensor de distancia para la identificación de objetos y distancia a la que se encuentran

Existen varios sensores en la actualidad que a través de diferentes tecnologías nos permiten detectar objetos y saber a qué distancia se encuentran con mucha exactitud. Podemos encontrarlos en aplicaciones industriales o en situaciones cotidianas como lo es el caso de vehículos, que poseen sensores ultrasónicos que asisten a conductores para estacionarse de manera más precisa. De igual manera encontramos que muchos de los dispositivos estudiados en el Capítulo 2 utilizan sensores ultrasónicos.

Hemos detallado los tipos de tecnologías que tenemos disponibles en la Tabla 2.

Tabla 2.

Comparación de sensores

| Sensor | Ventajas | Desventajas |
|--------------|--|--|
| Ultrasónicos | Salida lineal | Deben tener una superficie de alta densidad para buenos resultados, la ropa y espuma flex absorben las ondas de sonido emitidas. |
| | Respuesta no depende de los colores, transparencia, propiedades de reflexión óptica, o textura superficial | Ofrecen falsas respuestas para sonidos fuertes como mangueras de aire |

| | | |
|-------------|--|---|
| | No debe estar en contacto con el objetivo | Distancia corta (depende de la utilidad) |
| | Detección acertada de objetos pequeños | Temperatura, humedad, presión, afectan la respuesta |
| | Pueden trabajar en condiciones críticas | |
| | Disponibles en forma de cubo o cilíndrica | |
| Infrarrojos | Pueden detectar luz infrarroja en un área grande | Demasiado sensible a luces IR y luz del sol |
| | Operan en tiempo real | Problemas con colores oscuros |
| | Usa luz no visible para detección | |
| Láser | La distancia entre el sensor y el objetivo se mide calculando la velocidad del láser y el tiempo desde que la luz es emitida y receptada | Costoso |
| | Es muy preciso. | |

Por las características de funcionamiento hemos descartado la posibilidad de utilizar sensores infrarrojos debido a su alta sensibilidad a la luz del sol.

Lo que nos deja la tecnología de ultrasonido y láser. Para estas tecnologías hemos estudiado la oferta tanto local como extranjera donde hemos encontrado las siguientes opciones de sensores para nuestro dispositivo:

- Sensor ultrasónico: MAXBOTIC MB 1000
- Sensor láser ToF: ST VL53L0X
- Sensor láser ToF: ST VL53L1X

Las características que utilizaremos para basar nuestra selección son: tamaño, resolución, rango del sensor, costo, accesibilidad.

- Sensor ultrasónico: MAXBOTIX MB 1000



Figura 27. Sensor ultrasónico Maxbotix MB1000

Un sensor ultrasónico con una distancia de detección de hasta 6m y una resolución de 2,5cm. Tiene un rango de detección bastante amplio con un valor de 37 y sensible comparado con otros sensores ultrasónicos del mercado. Su tamaño es de aproximadamente 2,5cm³ debido a su transductor, y posee conectores que permiten que se pueda acoplar de manera fácil a diferentes sistemas electrónicos. Tiene un costo en Ecuador de \$ 45.

- Sensor láser ToF: VL53L0X



Figura 28. Sensor láser ToF VL53L0X

El sensor VL53L0X es un sensor láser de nueva generación, ToF sus siglas en inglés significan “tiempo de vuelo”. Utiliza tecnología reciente que le permite detectar la distancia de manera precisa independientemente de la reflectancia del objeto al que esté apuntando. Su distancia de detección máxima es de 2m, con un cono de detección para el ancho de los objetos de 27° haciendo que sea posible dimensionar dichos objetos de manera exacta. Este sensor tiene un tamaño de 4.40*2.40*1.00mm lo que lo hace uno de los más pequeños en su clase. Tiene un costo en Ecuador de \$ 35.

- Sensor láser ToF: VL53L1X



Figura 29. Sensor láser ToF VL53L1X

El sensor VL53L1X es un sensor láser nuevo anunciado en 2018, que se considera la segunda versión del VL53L0X por lo que comparten algunas características. Su distancia de detección máxima es de 4m, con un rango de detección similar al del sensor VL53L0X. Este sensor tiene un tamaño de 4.90*2.50*1.56mm, y no se encontró disponibilidad de este sensor en Ecuador.

Tanto el sensor VL53L0X como el VL53L1X comparten tecnología ToF patentada por ST Electronics denominada FlightSense™, a diferencia de otros sensores de proximidad que usan infrarrojo simple, que solo mide la intensidad de la señal y puede verse afectada por la reflectividad del objeto, los sensores con tecnología FlightSense™ miden directamente la distancia al objeto en función al tiempo en que se reflejan los fotones emitidos, lo que permite detectar la distancia de manera muy precisa independientemente de las características de la superficie del objeto. (STMicroelectronics, 2018).

Tabla 3.

Ponderación de criterios de evaluación para el sensor

| Parámetros de selección | Sensor: Maxbotix MB 1000 | Sensor: ST VL53L0X | Sensor: ST VL53L1X |
|--------------------------------|---------------------------------|---------------------------|---------------------------|
| Tamaño (Volumen) | 1 | 5 | 4 |
| Rango | 5 | 4 | 5 |
| Precisión | 3 | 4 | 4 |
| Costo | 4 | 5 | 3 |

| | | | |
|----------------------|----|----|----|
| Accesibilidad | 5 | 5 | 2 |
| | | | |
| PONDERACIÓN | 18 | 23 | 19 |

De la Tabla 3 se determina que la mejor opción en sensor de proximidad es el sensor láser ToF VL53L0X lo que permitirá que el dispositivo pueda detectar los objetos de manera muy precisa en cuanto a la distancia, así mismo que el cono de detección permita un dimensionamiento adecuado del ancho de los objetos, y debido a su tamaño permitirá que el diseño final tenga un tamaño acorde a las condiciones iniciales, para una segunda versión del dispositivo se puede utilizar el sensor VL53L1X.

3.4.2 Actuador para brindar sensación de distancia a las personas

El dispositivo tiene que brindar un estímulo que permita simular una sensación háptica de los objetos que se encuentran en la trayectoria de la persona, para lo que se utilizará motores vibratorios. La vibración de los motores va a variar proporcionalmente a la distancia a la cual los sensores apuntan, para cada sensor tendremos un motor en un punto específico.

En el mercado encontramos dos tipos de motores que se adaptan a nuestras necesidades.

- Micromotor DC sin núcleo, modelo: ERM – 304-016.002
- Micromotor DC tipo moneda, modelo: LRA – 307 - 105

Nuestro criterio de selección se basará en el volumen del motor, voltaje de funcionamiento, consumo de corriente y la forma del motor para que se pueda utilizar en nuestro prototipo.

- Micromotor DC sin núcleo, modelo: ERM – 304-016.002

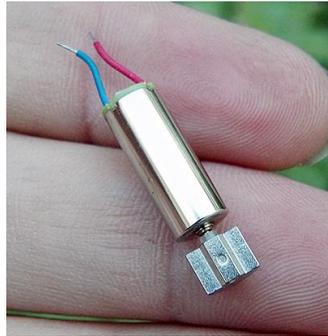


Figura 30. Micromotor DC sin núcleo vibratorio

Fuente: (Precision Microdrives, 2018)

Este es un motor vibratorio especialmente diseñado para aplicaciones de baja corriente y de bajo consumo de energía. Posee un soporte de montaje para que vaya directamente soldado a la placa electrónica. La vibración es generada gracias a la rotación de la masa excéntrica que se encuentra adaptada al eje rotatorio. (Precision Microdrives, 2018).

Características:

- Voltaje: 2,2 VDC – 3,6 VDC
 - Corriente: 17mA – 30mA
 - Diámetro: 4 mm
 - Largo: 12 mm.
 - Volumen: 150 mm^3
- Micromotor DC tipo moneda.



Figura 31. Micromotor corriente directa tipo moneda LRA - 307-105

Fuente: (*Precision Microdrives, 2018*)

Gracias a su pequeño tamaño, estos motores son utilizados en diferentes aplicaciones. Son unos de los actuadores más adecuados para instrumentos con retroalimentación háptica, de manera particular en dispositivos que son manejados con las manos donde el espacio es muy limitado. Teléfonos celulares, escáneres RFID, aplicaciones médicas, etc. Vibra debido a la fuerza creada por un resorte conectado a una masa, el cual crea una fuerza cuando se acciona. (*Precision Microdrives, 2018*)

Características:

- Voltaje: 2,3 VDC – 3,3 VDC
- Corriente: 21 mA – 45 mA
- Diámetro: 7 mm
- Largo: 2 mm.
- Volumen: 76,97 mm^3

Tabla 4.*Comparación y selección de motor*

| Parámetros de selección | ERM – 304-016.002 | LRA – 307 - 105 |
|--------------------------------|--------------------------|------------------------|
| Voltaje | 5 | 5 |
| Corriente | 5 | 4 |
| Volumen | 3 | 5 |
| Forma | 2 | 4 |
| | | |
| PONDERACIÓN | 15 | 18 |

De la tabla 4 determinamos que el actuador adecuado para nuestro dispositivo es el motor tipo moneda. Los dos motores son capaces de funcionar con bajas potencias, pero debido a su forma y volumen, el motor tipo moneda permitirá que el dispositivo sea de un tamaño acorde a las especificaciones técnicas.

3.4.3 Microcontrolador

Una vez seleccionado el motor y el sensor podemos condicionar las características de hardware que debe tener nuestro microcontrolador.

- Para comunicación y velocidad de funcionamiento del sensor necesita una interfaz I²C que permita una velocidad de comunicación de 400KHz.
- Para el motor necesitará una salida PWM que nos permita controlar la velocidad de vibración del motor.
- Compatibilidad con bus de conexión SPI para la programación del dispositivo.

En cuanto a software, existe un API desarrollado por el fabricante del sensor para la configuración, así mismo existen librerías de la plataforma Arduino que permiten trabajar con él.

Por conveniencia en cuanto a la programación y a disponibilidad hemos optado por trabajar con un microcontrolador Atmega328P-MU con las siguientes características:

- 32KB de memoria flash para programación,
- Tamaño de datos RAM: 2KB
- Interfaz: 2-wire, SPI, USART, I2C
- Velocidad: 20MHz
- Puertos de entrada/salida programables: 23
- Temporizadores: 3
- Canales de ADC: 6 canales de 10 bits
- Empaquetado: 32MLF
- Dimensiones: 5x5x0,88mm

Este microcontrolador cumple con las necesidades del trabajo de investigación.

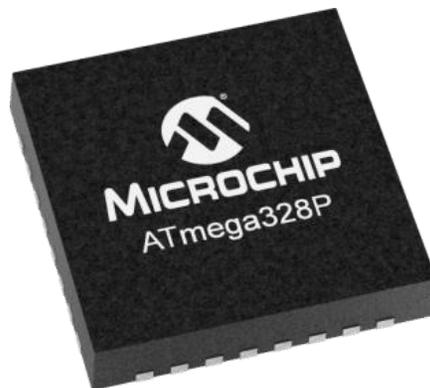


Figura 32. Microcontrolador Atmega328P-MU

Fuente: (Microchip, 2018)

3.5 Diseño de la placa electrónica

Como se mencionó en el punto 2.5, es importante que el dispositivo tenga un tamaño adecuado para que se pueda colocar en la frente de las personas. En este apartado analizaremos los elementos seleccionados y la importancia de la miniaturización de la PCBA para que el prototipo final tenga las características necesarias para validar el funcionamiento a través de pruebas con los usuarios.

3.5.1 Acondicionamiento del sensor

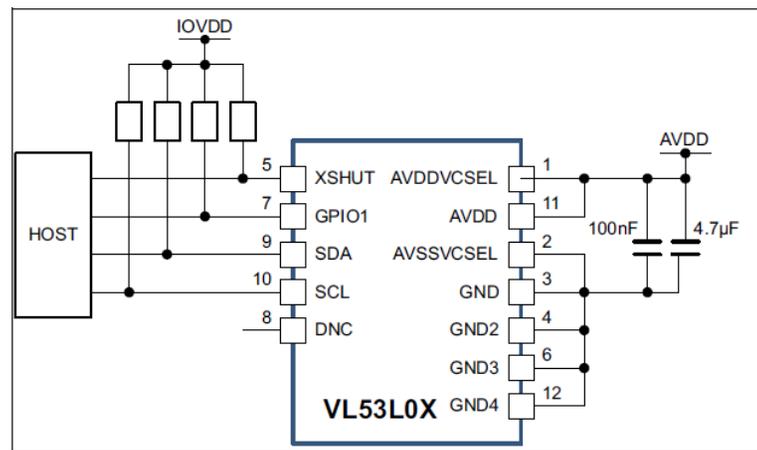


Figura 33. Esquema de aplicación del VL53L0X

Basándonos en la hoja de datos del sensor VL53L0X empezamos el diseño de la placa.

Tenemos que acondicionar la señal generada en la fase de operación del sensor, fase en la que se emiten varios pulsos, estos pulsos son reflejados por el objeto que estamos detectando. El tiempo promedio en el que obtenemos una medición es de 33ms. Una vez realizada la medición, el propio sensor realiza el procesamiento digital de la señal para saber la distancia a la que se encuentra el objeto. Si no se pudo medir la distancia (señal débil, no hay objetivo, etc), un código de error será generado. En la figura 30 podemos verificar el acondicionamiento del sensor.

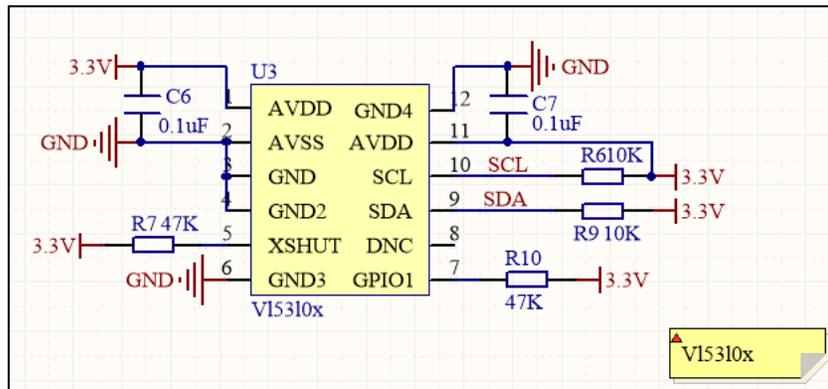


Figura 34. Configuración de elementos para sensor VI5310x

Los valores de los elementos que estamos utilizando en la figura 30 nos los recomienda el fabricante. Para la comunicación con el microcontrolador mediante los pines SCL y SDA, con esta configuración tendremos una comunicación I^2C estable a 400 KHz .

3.5.2 Acondicionamiento del motor

Utilizaremos un transistor NPN 2SD601A en configuración de emisor común que funcione como interruptor para nuestro motor, esta configuración permitirá controlar la vibración del motor y así generar la sensación de la distancia para el usuario. Como se puede apreciar en la figura 35, conectaremos una salida de PWM al punto PD5 para la activación del motor.

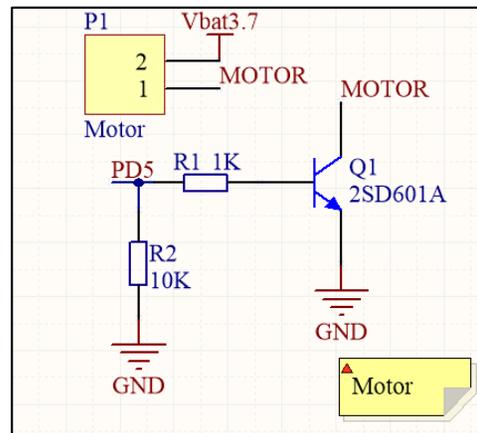


Figura 35. Acondicionamiento del motor

3.5.3 Regulador de tensión

Para el sensor VL53L0x es necesario una tensión de alimentación de entre 2,6 a 3,5 voltios (Datasheet). Utilizamos un regulador LP2992, un regulador de tensión de salida fija a 250 mA diseñado para proporcionar una caída ultra baja y un bajo nivel de ruido en aplicaciones alimentadas por batería por lo que resulta conveniente para esta aplicación. En la figura 32 podemos verificar la configuración basada en el datasheet.

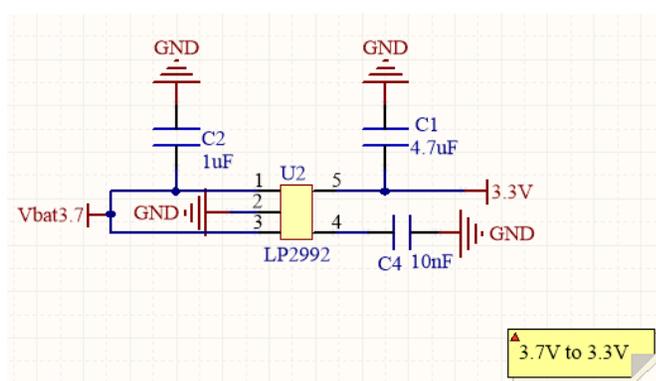


Figura 36. Configuración de regulador de tensión LP2992

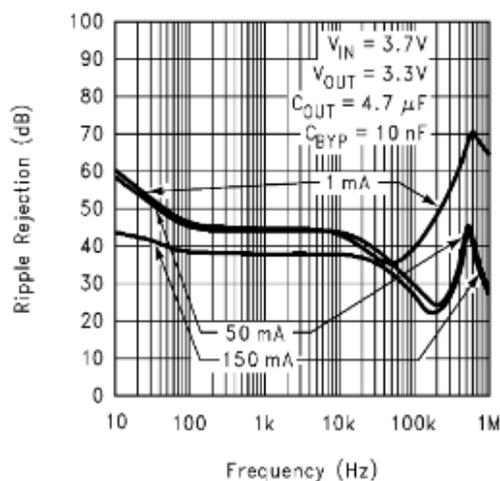


Figura 37. Configuración VIN 3,7 V a VOUT 3,3 V

Fuente: (Datasheet LP2992)

Encontraremos el esquema electrónico completo en el ANEXO 1.

3.5.4 Disposición de los elementos

3.5.4.1 Capa Superior

Partimos de la posición del sensor en el centro de la placa para el diseño de esta capa, colocamos los componentes de manera que podamos miniaturizar nuestro prototipo. Obteniendo así la disposición que podemos apreciar en la figura 38.

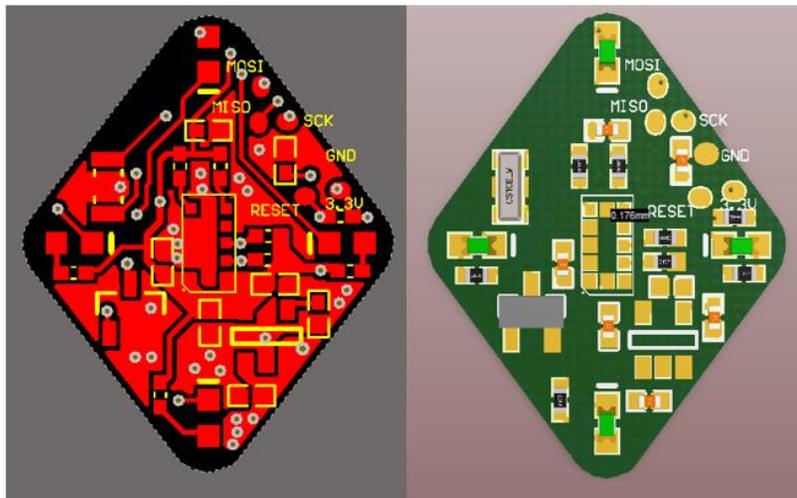


Figura 38. Disposición de elementos capa superior dispositivo EyeBorg

La placa tendrá esta forma romboidal para tener similitud con el diseño conceptual propuesto inicialmente.

3.5.4.2 Capa Posterior

En esta capa terminamos el diseño de la placa electrónica con la colocación del microcontrolador, el motor y las conexiones entre la capa superior e inferior.

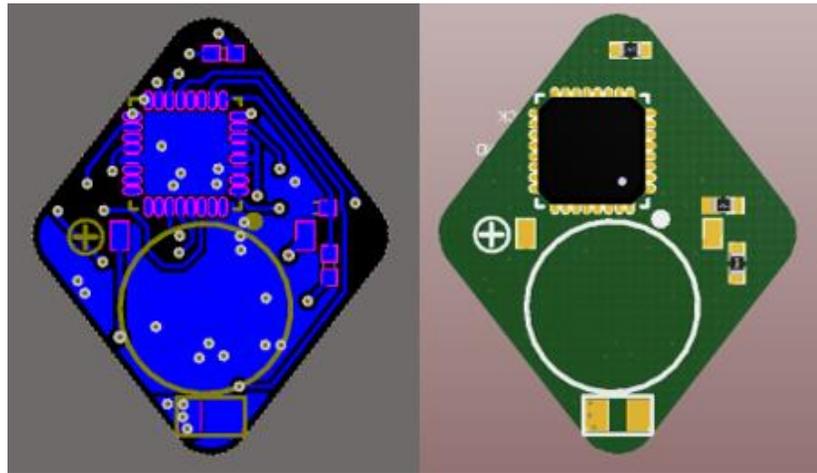


Figura 39. Disposición de capa posterior dispositivo EyeBorg

3.5.5 Medidas Finales

La placa electrónica ensamblada será la que determine el tamaño total del dispositivo, un logro importante alcanzado en el diseño de la placa es el tamaño de la misma, en la figura 36 tenemos las medidas reales de la placa.

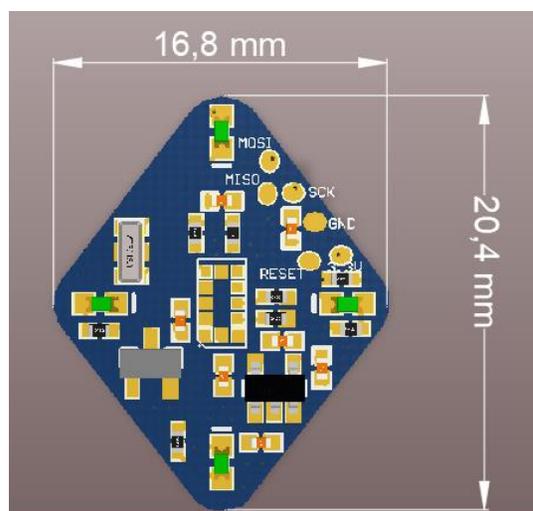


Figura 40. Medidas reales de placa electrónica ensamblada

3.6 Software del Dispositivo

3.6.1 Sistema EyeBorg

El dispositivo EyeBorg cuenta con un microcontrolador ATMEGA 328 central donde se encuentra el software del sistema. El mismo consiste de la programación para que la persona pueda sentir a través de vibración la distancia a la que se encuentran los objetos. La configuración de la frecuencia de vibración se la realizó en base a los comentarios de usuarios que han probado el dispositivo EyeClip de HandEyes.

En el software configuramos la distancia de detección para un metro como máxima, realizamos una conversión de acuerdo a la distancia a la que se detecta el objeto para que la vibración sea proporcional y la persona que se encuentra utilizando el dispositivo pueda tener la percepción exacta de esta distancia. Una vez que nos vamos acercando al objeto el dispositivo aumentará su frecuencia de vibración.

Finalmente, como método didáctico se programaron cuatro leds en las esquinas del dispositivo para que se enciendan de manera rotativa a la misma frecuencia del motor para que el investigador pueda apreciar a qué frecuencia está vibrando el prototipo de acuerdo a la distancia que se encuentra con el objeto.

A continuación, tenemos el diagrama de flujo que compone el software explicado del dispositivo.

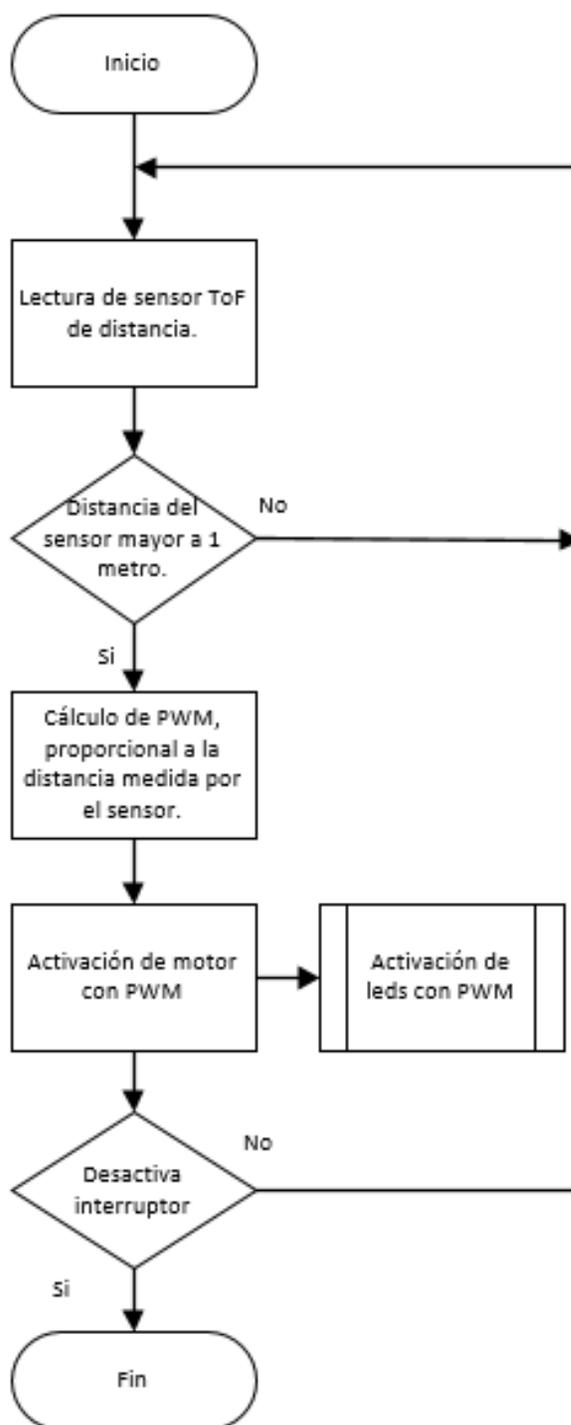


Figura 41. Proceso de Estimulación vibratoria

Encontraremos el código de la programación del dispositivo en el ANEXO 2.

3.7 Diseño y Dimensionamiento de la carcasa del dispositivo

3.7.1 Trascendencia de la impresión 3D dentro del proyecto Eyeborg

La impresión 3D es considerada una de las tecnologías más revolucionarias de las últimas décadas, por la facilidad de ejecución y bajo costo a la hora de fabricar prototipos.

En el área de la Ingeniería Mecatrónica, Electrónica, Mecánica o Medicina, la impresión 3D significa un gran avance tanto para estudiantes como empresas que desarrollen tecnología, debido a que en la actualidad tenemos la oportunidad de diseñar un circuito electrónico sin restricciones de forma o tamaño. Con este método de manufactura podemos generar paralelamente la carcasa del dispositivo que estemos desarrollando, y así tener como resultado un prototipo que satisfaga las características de ergonomía para el usuario final. Un prototipo de bajo costo y de ágil fabricación.

El método idóneo para la fabricación de la carcasa de este prototipo es la impresión 3D, debido a la adaptabilidad de la tecnología para la fabricación de cualquier forma que se deba utilizar en el sistema. Para el diseño de la carcasa del prototipo hay que tomar en cuenta las medidas y forma de la placa electrónica, la posición del sensor y la posición del actuador como ítems principales.

3.7.2 Consideraciones de diseño

Como se mencionó inicialmente, el prototipo debe tener la capacidad de poder adherirse a la frente de los usuarios y que el estímulo se sienta en la frente sin causar molestia, por lo que es necesario que el motor seleccionado esté lo más cercano a la frente de la persona.

La posición del sensor tiene que ser la adecuada para que la persona pueda detectar cualquier tipo de objeto que pueda significar un accidente, por lo que la carcasa debe tener un ángulo de superficie de contacto que compense el ángulo de la frente del usuario. Es importante que este

ángulo de compensación se verifique para cada usuario antes de realizar las pruebas para así garantizar el correcto funcionamiento del dispositivo a la hora de validar su funcionamiento.

En las figuras 42 y 43 podemos apreciar como interfiere el ángulo de inclinación de la frente de una persona con respecto a la posición del sensor.

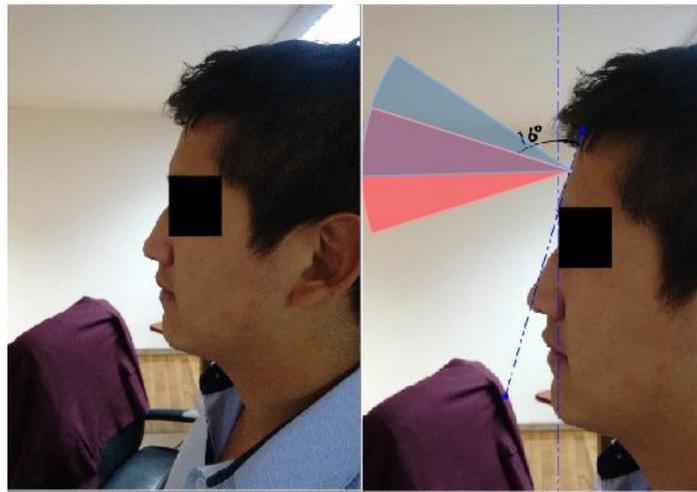


Figura 42. Ángulo de inclinación de la frente a 16°

El ángulo de inclinación de la frente de la persona de la figura 42 es de 16° por lo que se debe compensar este valor en la carcasa. En azul podemos visualizar el rango de detección sin la compensación mientras que en rojo la inclinación ideal del sensor. En la figura 43 tenemos el ángulo de inclinación de la frente de la persona de 10° .

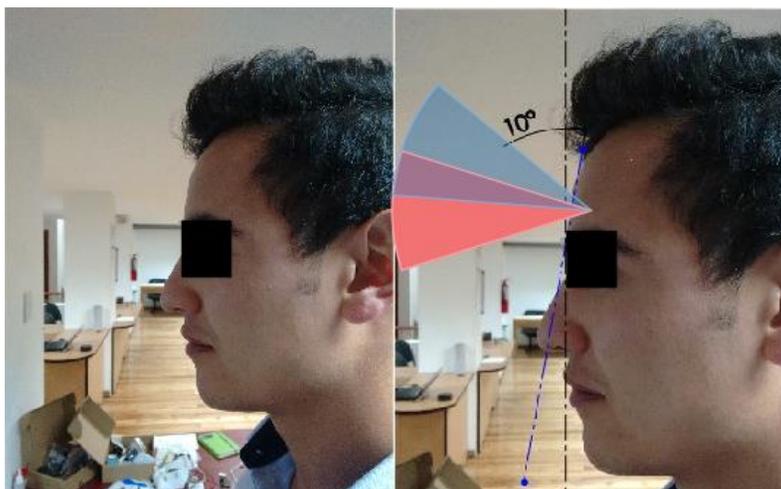


Figura 43. Ángulo de inclinación de la frente a 10°

3.7.3 Modelado

Para el modelado hemos considerado tres partes principales; forma del circuito electrónico, posición del motor y ángulo de compensación de la frente del usuario. En la figura 44 observamos la representación en software CAD.

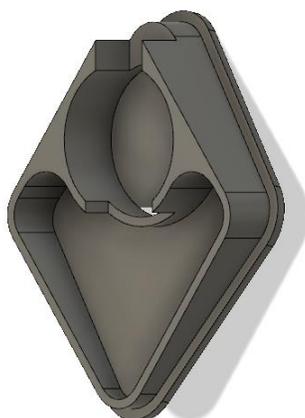


Figura 44. Base de armazón de dispositivo EyeBorg

En la figura 45. Podemos encontrar la segunda parte del armazón, esta pieza protege al circuito y se ensambla a presión para sostener la placa, el motor y dar paso a los cables para una batería externa, posee un agujero en la parte frontal que permite al sensor la detección de los objetos.

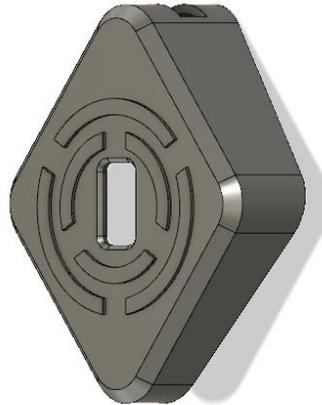


Figura 45. Tapa de armazón dispositivo EyeBorg

Finalmente en la figura 46. podemos ver una vista explotada de cómo se ensambla el dispositivo.

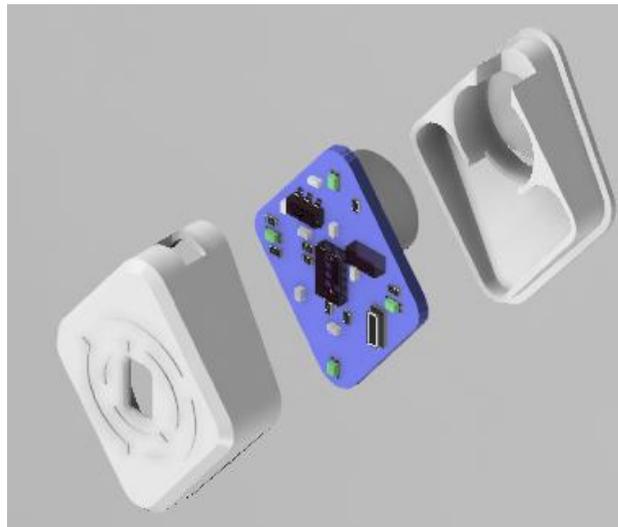


Figura 46. Dispositivo EyeBorg vista explotada

CAPÍTULO IV

IMPLEMENTACIÓN DEL DISPOSITIVO

En el presente capítulo desglosaremos el proceso de fabricación y ensamble de cada uno de los componentes del dispositivo.

4.1 Circuito Electrónico

Para la placa del circuito electrónico se necesita maquinaria especializada que permita fabricar el circuito con doble capa.

Por ser un prototipo y no un producto, fue necesario la fabricación de un número limitado de placas. Existen varias empresas en Ecuador que realizan placas electrónicas multicapa, pero ninguna ofrece el servicio de producción a baja escala. En consecuencia, se encontró una empresa en el extranjero que brinde el servicio. El circuito electrónico del prototipo fue fabricado en China cumpliendo estándares de fabricación de calidad, se fabricaron diez placas.

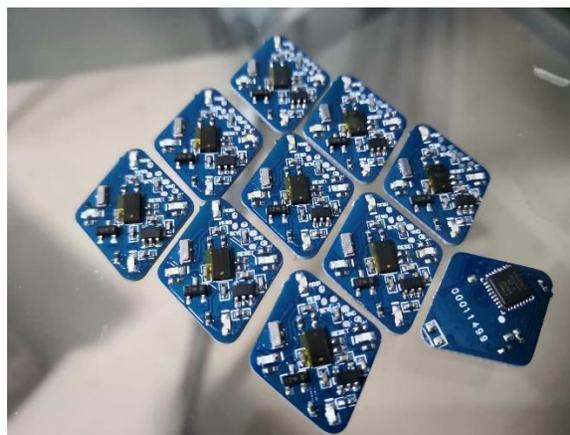


Figura 47. Circuitos Electrónicos dispositivo EyeBorg

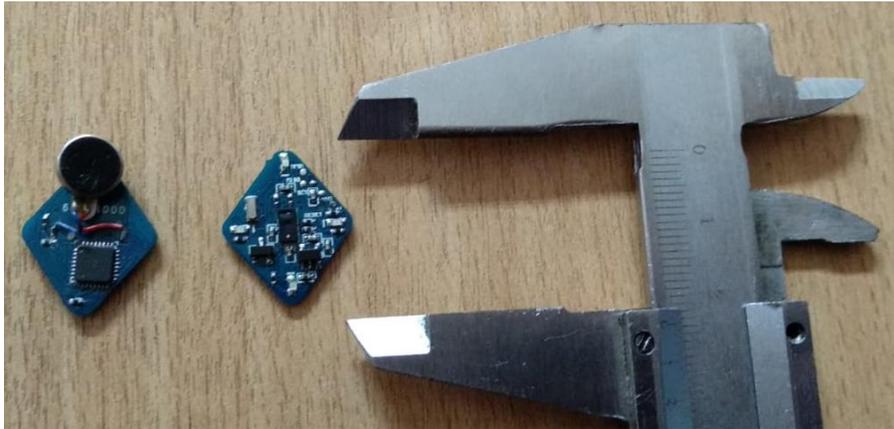


Figura 48. Tamaño referencial de circuito electrónico

En la figura 48 podemos ver el tamaño real del circuito electrónico, inferior a dos centímetros cuadrados.

4.2 Carcasa

Como hemos mencionado en el capítulo 3 el proceso de fabricación para nuestro dispositivo es mediante impresión 3D, en Ecuador existen varios métodos de impresión 3D, entre los más conocidos encontramos FDM (Fused Deposition Modeling) y mediante SLA (Estereolitografía).

Uno de los aspectos que más diferencia a estas tecnologías es la calidad de la impresión, una muy por encima de la otra. La tecnología de estereolitografía tiene una resolución de 0,01 a 0,05 mm de grosor de capa mientras que la tecnología FDM va desde 0,1mm hasta 0,5 mm (3dnatives, 2018).

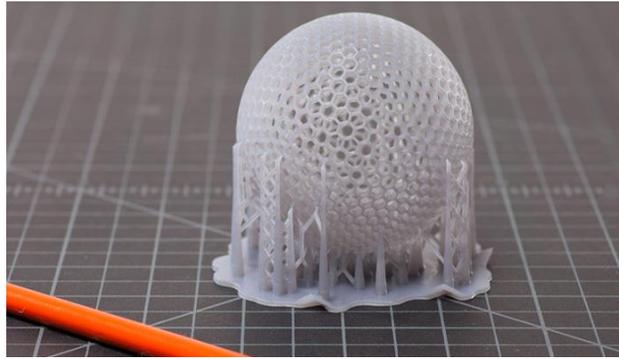


Figura 49. Modelo impreso en tecnología SLA

Fuente: (3dnatives, 2018)

Para la empresa Fabcad – HandEyes, es necesaria la utilización de un método de manufactura que garantice que la calidad del prototipo sea lo más cercano posible a un producto final por lo que se selecciona la tecnología de SLA como método de fabricación para el proyecto.

4.3 Consideraciones de diseño previo al ensamble

4.3.1 Diseño para la manufactura DPM

Para el proyecto EyeBorg que hemos desarrollado, utilizamos el concepto de diseño de manufactura para la parte de la carcasa del prototipo, que se refiere al “chasis” de nuestro dispositivo.

4.3.1.1 Estimar los costos de manufactura

Como hemos detallado en las especificaciones iniciales el método de producción será mediante impresión en 3D, y se propuso que el mejor método es el de impresión por SLA antes que por FDM, esto pensando en el acabado del dispositivo, por lo que analizaremos si en relación con el costo resulta mejor realizar el prototipado por FDM.

Se ha desarrollado el prototipo por partes en el programa de diseño Fusion 360, y tenemos las piezas que podemos apreciar en la figura 50.

En el país existen empresas que se dedican a la impresión 3D por lo que hemos solicitado se nos coticen el prototipado de todas las piezas tanto en FDM como en SLA obteniendo el siguiente resultado:

Tabla 5.

Cotización Fabricación Carcasa Eyeborg

| | FDM(SAIS3D) | SLS(TAICED3D) |
|---------------------------|--------------------|----------------------|
| Tiempo: | 8h16 min | 16h55min |
| Costo/hora: | 2.75\$ | 14\$ |
| Post | 30\$ | N/A |
| Tratamiento(6\$/h) | | |
| Total (\$) | 52,40 | 238 |
| Tiempo total. | 15h32 | 16h55 |

Analizando la comparación que hemos realizado entre los dos procesos, podemos deducir lo siguiente:

- El costo del método por SLA equivale 450% del método por FDM.
- El tiempo de los dos métodos es similar.
- Se requiere un post procesado para alcanzar un buen acabado en el método de FDM.

Por lo que la concluimos que el método adecuado para producción en masa es de SLS, mientras que para pruebas durante el tiempo que se continúe desarrollando el prototipo se recomienda usar el método de FDM, y sin darle el post procesado, ya que esto aumentará el costo en aproximadamente el 100% del valor original. De acuerdo a la demanda del producto se podría

pensar en adquirir una máquina de impresión 3D, pero de momento no es una opción ya que estas rodean los 3000\$, y no se ha hecho el estudio de mercado adecuado para determinar si resulta conveniente adquirir la máquina. Por lanzamiento del dispositivo se recurrirá a la fabricación en SLA de 3 carcasas para pruebas.

4.3.1.2 Reducir los costos de los componentes

Restricciones del proceso e impulsores de costos:

Dentro del desarrollo de nuestro dispositivo, hemos considerado desde un inicio que el proceso de prototipado iba a ser mediante impresión 3D, por lo que nuestras piezas han sido pensadas en que se pueda manufacturar acorde a este método, una de las partes más importantes dentro del proceso de prototipado en 3D es la correcta selección de la cara de la parte a manufacturarse para que se adhiera a la superficie de la impresora, es por esto que nuestras piezas cuentan con una cara recta para que su prototipado se realice sin contratiempos.

4.3.1.3 4.3.1.3 Rediseñar componentes para eliminar pasos de procesamiento

Inicialmente se diseñó el producto para que su estructura sea fabricada en 3 piezas individuales, pero se vio la posibilidad de que el diseño sea únicamente en 2 piezas, resultando en el diseño que podemos observar en la figura 50.



Figura 50. Partes de Carcasa prototipo EyeBorg

De esta manera se reducirán tiempos de prototipado como de ensamblaje. El tiempo de prototipado se reduciría en aproximadamente un 16% y de ensamblaje el tiempo se reduciría en un 50%

4.3.1.4 Disminuir los costos de ensamble

El diseño del case parte del hecho de que tiene que ser un modelo ergonómico y cómodo para los usuarios, es así que deben tener una forma que se adapte al tamaño de la cabeza promedio de una persona adulta, esta consideración hace que el dispositivo tenga una forma particular. Independientemente de la forma final del dispositivo para el ensamblaje hemos logrado que el armado del dispositivo sea muy intuitivo.

En el espacio intermedio irá la placa electrónica del dispositivo. Las piezas se unirán a través de presión aplicada a cada una de las piezas. Se utilizará un diseño con una ranura para que la posición del motor sea lo más cercana a la frente del usuario y que tampoco se necesite el uso de pegamentos para adherirlo. Los usuarios no podrán abrir el dispositivo. Podemos verificar una muestra impresa en la figura 51.



Figura 51. Carcasa del dispositivo EyeBorg impresa en SLA

4.3.1.5 Reducir los costos de apoyo de la producción

Con respecto a la armazón tendríamos un proceso de manufactura muy sencillo, esto debido a que las piezas se pueden ensamblar sin la necesidad de usar herramientas extra y que la forma de cada pieza no permita que se cometa errores en el ensamblaje, por lo que los costos de apoyo a la producción serán casi inexistentes. En lo que corresponde a la placa electrónica se necesita una persona con experiencia en soldado, y manejo de materiales electrónicos.

Se deberá hacer énfasis en la determinación de cada etapa de ensamblaje, si la persona electrónica es la que debe colocar la placa soldada ya en el armazón o la propia persona que va a sellar el dispositivo y realizar las pruebas sea la encargada de colocar la placa dentro del armazón.

4.3.1.6 Considerar el efecto de diseño para la manufactura en otros factores

- El efecto del DPM en el tiempo de desarrollo

En la actualidad no existe un dispositivo similar al que estamos tratando de desarrollar, que sea dedicado netamente a la asistencia de personas con discapacidad visual, es por eso que tenemos cierta holgura, más no podemos desperdiciar el tiempo que estamos empleando en el desarrollo

porque se conoce que a partir de un primer prototipo todavía se necesitará más investigación y desarrollo para llegar a un producto final para poder comercializarlo.

- El efecto del DPM en el costo del desarrollo

El DPM nos ha permitido reducir el costo de desarrollo debido a que mediante el rediseño de las piezas hemos logrado reducir tanto tiempo de producción como de ensamblaje.

- El efecto del DPM en la calidad del producto

Gracias al DPM tenemos un producto que se puede ensamblar de manera intuitiva, que no requiere herramientas para ensamblarse y que permite que el operador pueda identificar fácilmente cada pieza para que se realice el ensamblaje de manera eficiente, inicialmente se verá comprometido el acabado del dispositivo, pero esto en la etapa de desarrollo durante el tiempo en el que se sigan realizando pruebas en el mismo. Para la etapa de producción en masa ya tendremos un dispositivo con el acabado superficial necesario.

Resultados:

Para obtener un estimado más real de como el DPM ha influido dentro del proceso de desarrollo del proyecto “Diseño y Construcción de Implante Sensorial para percepción de Objetos y Orientación para la empresa Fabcad-Handeyes” tenemos que esperar a que se ejecute la etapa de producción, al momento trabajamos con costos estimados, pero desde ya podemos anticipar de qué manera vamos a reducir los costos de producción, el tiempo de ensamblaje y mejorar el desempeño del dispositivo, gracias a esta metodología de diseño.

4.3.2 Ensamblaje

Una vez programada la placa y comprobado su funcionamiento procedemos a ensamblar el prototipo.

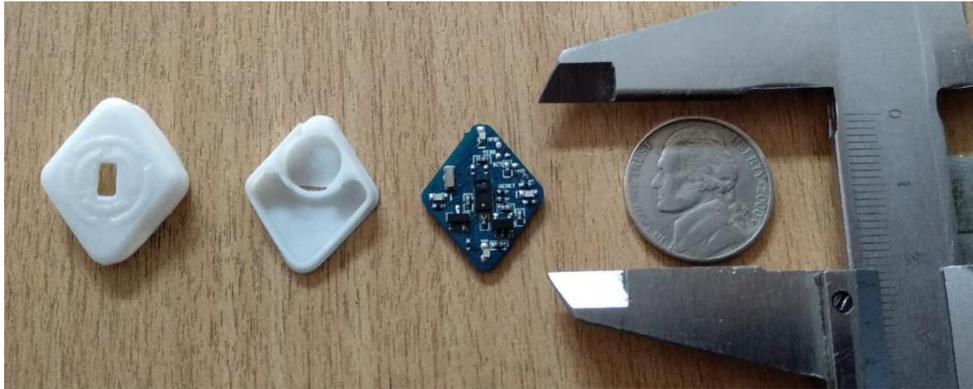


Figura 52. Imagen referencial de la medida del dispositivo

El ensamblaje del dispositivo es muy sencillo, colocamos el circuito electrónico sobre la base de la carcasa, teniendo en cuenta la posición del motor, y procedemos a cerrar el ensamblaje con la tapa de la carcasa, teniendo como resultado el dispositivo que podemos apreciar en la figura 53.

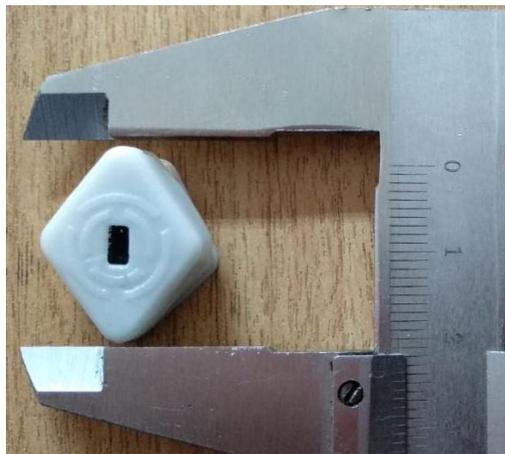


Figura 53. Dispositivo ensamblado

CAPÍTULO V

PRUEBAS DEL DISPOSITIVO Y RESULTADOS

En este capítulo se presenta una retroalimentación de personas que utilizaron el dispositivo, así como fotografías y videos de usuarios que comprueban el funcionamiento del mismo a través de una pista de obstáculos realizada en la empresa Fabcad SA – HandEyes. La empresa facilitó el contacto de personas no videntes, usuarios que han utilizado el dispositivo EyeClip y de personas con discapacidad visual que no poseen el dispositivo.

Se utilizó una metodología de entrevistas para analizar el impacto del dispositivo, encontraremos un modelo de entrevista en el Anexo 3. Se necesitó de entre 1 a 2 horas por persona para tener los datos necesarios. En Ecuador existen aproximadamente 53000 personas con discapacidad visual, en Quito el número se establece en aproximadamente en 500 personas con discapacidad mayor al 85% entre los 18 a 65 años. Para nuestro análisis realizamos entrevistas con doce personas debido a la disponibilidad de tiempo y predisposición de las personas para comprobar el funcionamiento del dispositivo.

5.1 Metodología de la prueba de funcionamiento

La prueba consistió en que el usuario se coloque el dispositivo en la frente con la ayuda del investigador.



Figura 54. Usuario de dispositivo Eyeborg sin tapa

Una vez colocado el dispositivo en la frente de la persona, se procede a indicarle la dirección que debe tomar para sortear los obstáculos. Se utilizarán tres obstáculos diferentes, uno de 40 cm de ancho, otro de 15 cm y otro de 3 cm de ancho. Cada uno situado en orden aleatorio para que la persona pueda determinar de qué obstáculo se trata y así comprobar que el dispositivo permita realizar el dimensionamiento, podemos verificar un ejemplo de la disposición de los obstáculos en la Figura 55. Para finalizar se utilizará el obstáculo de 15 cm de forma horizontal como se puede apreciar en la figura 57.

- El usuario debe realizar movimientos de cabeza horizontales y verticales para garantizar la detección de los objetos en la trayectoria de la persona.
- El usuario debe tratar de indicar que obstáculo es el que tiene en frente haciendo uso del dispositivo nada más, una vez que mencione el tamaño del mismo puede comprobar con las manos que obstáculo es el que tiene al frente.



Figura 55. Prueba de obstáculos para dispositivo Eyeborg

En las figuras 56, 57, 58 y 59 podemos apreciar a diferentes usuarios realizando pruebas con el dispositivo.



Figura 56. Miguel Ángel Tixilema, usuario de HandEyes probando el dispositivo Eyeborg



Figura 57. Darío Nuñez, persona con discapacidad visual probando el dispositivo Eyeborg



Figura 58. Mario Puruncajas, ex presidente de la FENCE, probando el dispositivo Eyeborg



Figura 59. Miguel Ángel Tixilema demostrando el dimensionamiento de objetos con el dispositivo Eyeborg

5.2 Resumen de entrevistas de la prueba de funcionamiento

Una vez culminada la fase de la prueba del dispositivo se procede a realizar una entrevista con la persona para determinar cuál fue su nivel de satisfacción. Las preguntas realizadas a cada usuario no son enfocadas al dispositivo como tal, sino a cómo ellos sienten que su cuerpo responde al uso del dispositivo y si estarían dispuestos a probarlo de manera prolongada o a realizar el implante.

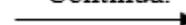
Las preguntas realizadas en la entrevista fueron las siguientes:

Tabla 6.

Preguntas para entrevista

| |
|--|
| ¿Cómo reaccionó cuando el dispositivo vibraba y la persona estaba distraída? |
| ¿Estaría dispuesto/a a realizar un entrenamiento para la adaptación? |
| ¿Sintió seguridad? ¿Se atrevería a recorrer lugares desconocidos? |
| ¿Qué opina del sistema con respecto a la ecolocalización? |
| ¿Preferiría el Eyeclip o el nuevo dispositivo? |

Continúa.



| |
|--|
| ¿Cómo se sentiría al llevarlo puesto, le hablaría a otras personas del dispositivo o pasaría de incógnito? |
| ¿Si el dispositivo fuera implementado en unas gafas, escogería las gafas o en la frente? ¿Por qué? |
| ¿De qué tamaño preferiría que fuera? |
| ¿Qué problema percibe sobre llevar el dispositivo vibratorio todo el tiempo? |
| Recomendaciones |

Para la empresa Fabcad SA – HandEyes es importante el análisis de las entrevistas para determinar cuál será la siguiente etapa para este proyecto.

Como primera impresión todos los usuarios se ven asombrados del tamaño del dispositivo, y se sorprenden por la precisión con la que responde frente a los obstáculos, un 83.3% (10) de los usuarios fueron capaces de cruzar la pista de obstáculos realizando uso mínimo del bastón.

Una vez culminada la prueba 91,6% (11) de los usuarios continuaron utilizando del dispositivo mientras se los entrevistaba, la persona restante decidió retirárselo porque sentía que la vibración era muy fuerte y le causaba malestar.

Con el uso de este dispositivo los usuarios mencionaron que otra posibilidad era el uso del prototipo adaptado a gafas de uso diario para que no se necesite implante quirúrgico y que puedan utilizarlo cuando ellos deseen y mas no todo el tiempo.

Todos los usuarios estarían dispuestos a realizar pruebas de nuevas versiones del dispositivo.

Los usuarios coincidieron en que ninguno se realizaría el implante sin saber que alguna persona antes ya se lo ha implantado, siempre y cuando el dispositivo sea imperceptible para las demás personas y no afecte con su estética.

Una vez culminado un período de uso de una hora, el 25% (3) personas más decidieron retirarse el prototipo por tener sensación de mareo.

Ocho de los doce participantes ya poseían el dispositivo EyeClip al tiempo de la entrevista, siete de estos usuarios coincidieron en que prefieren el dispositivo EyeClip en comparación con el nuevo prototipo.

La percepción de cada persona ante el estímulo vibratorio varía, desde sentir cosquilleo hasta sentir que una persona los está tocando.

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES

- Se desarrolló un prototipo de dispositivo mecatrónico para la empresa Fabcad SA – Handeyes, que abre las puertas para continuar con la investigación en la búsqueda de un segundo producto de alto impacto social.
- Se diseñó un dispositivo mecatrónico que brinda a personas con discapacidad visual una nueva percepción de la distancia a la que se encuentran los obstáculos y que puedan moverse de manera más segura.
- Se implementó una carcasa ergonómica y estética que facilitó la validación del funcionamiento del dispositivo, mediante la adaptabilidad a la forma de la frente de distintos usuarios.
- Se diseñó un circuito electrónico con las características necesarias para garantizar el uso confiable y prolongado del prototipo.
- Se desarrolló un prototipo mecatrónico validado por la empresa Fabcad SA – HandEyes.

RECOMENDACIONES

- Trabajar con un amplio rango de perfiles de usuarios para que la validación de conceptos abarque un mercado más grande.
- Dentro del proceso de innovación es importante no limitarse a trabajar con elementos electrónicos que encontremos en el mercado nacional.
- Para una segunda versión se puede trabajar con circuitos electrónicos flexibles que van a permitir una mejor adaptabilidad del dispositivo a la forma de la frente de la persona.
- Es importante fomentar la alianza entre la academia y la empresa privada para que más innovación de alto impacto social siga sucediendo.

FUTURAS ETAPAS

- Analizar el uso de un nuevo actuador que facilite un estímulo más amigable para el usuario.
- Estudiar la colocación de dos o más sensores para tener una eco localización más precisa.
- Probar un chasis más amigable para el alojamiento del sensor, que permita la colocación de varios sensores y de esta manera poder aumentar el índice de aceptación del usuario final.
- Diseñar un intercambiador de batería más amigable, tomando en cuenta las tendencias en el desarrollo de baterías para dispositivos vestibles, conjuntamente estudiar la posibilidad de integración de un sistema auto recargable. Se necesita es un recolector de energía que funcione continuamente y permita altos niveles de generación de energía eléctrica para garantizar el funcionamiento prolongado del dispositivo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 3dnatives. (2018). *3dnatives*. Obtenido de FDM o SLA que tecnología de impresión 3D elegir.:
<https://www.3dnatives.com/es/fdm-o-sla-impresion-3d-131220172/>
- 3dnatives. (2018). *La referencia de la impresión 3D*. Obtenido de
<http://www.3dnatives.com/es/plasticos-impresion-3d-22072015/>
- Aguinsaca, D. (2018). (C. Carvajal, Entrevistador)
- Ambutech*. (2018). Obtenido de <https://ambutech.com/shop-online/cane-tips/>
- AssisTech, IITD. (2016). *Indian Institute of Technology Delhi, AssisTech*. Obtenido de
<http://assistech.iitd.ernet.in/smartcane.php>
- Burgué, J. (s f). La Cara, sus Proporciones Estéticas. *Clínica Central "Cira García"*, 5-10.
- Castrillón, A. (2015). Palabra Viva. (F. Reyes, Entrevistador)
- Clark-Carter, D., Heyes, A., & Howarth, C. (1986). *The effect of non-visual preview upon the walking speed of visually impaired people*. *Ergonomics*.
- CONADIS. (2018). *Consejo Nacional para la Igualdad de Discapacidades*. Obtenido de
<https://www.consejodiscapacidades.gob.ec/estadisticas-de-discapacidad/>
- Erazo, B., Salinas, S., & Ruiz, J. (2015). Soundwords. (F. Reyes, Entrevistador)
- Fletcher, J. (1980). Spatial representation in blind children 1: development compared to sighted children. En *Journal of Visual Impairment and Blindness* (págs. 318-385).
- Florida Division of Blind Services*. (2018). Obtenido de <http://dbs.myflorida.com/>
- Foulke, E. (1971). *The perceptual basis for mobility*. Kentucky: Research Bulletin of the American Foundation for the Blind.

- Franco, J. (2018). *Infotecnovisión*. Obtenido de Análisis y valoración práctica de la pulsera-reloj Sunu Band: <https://www.infotecnovision.com/analisis-y-valoracion-practica-de-la-pulsera-reloj-sunu-band/>
- Fritz, J. P., Way, T., & Barner, Kenneth. (1999). *Haptic Representation of Scientific Data for Visually Impaired or Blind Persons*.
- Give Vision. (2016). *GiveVision*. Obtenido de <https://www.givevision.net/>
- Golledge, R. G., Klatzky, R. L., & Loomis, J. M. (1996). Cognitive Mapping and Wayfinding by Adults Without Vision. In *The Construction of Cognitive Maps* (J Portugali, Ed.). *Kluwer Academic Publishers*, 215-246.
- Grey Innovation. (2017). *BIONIC EYE*. Obtenido de <http://www.greyinnovation.com/bionic-eye/>
- HandEyes. (2018). *HandEyes*. Obtenido de Dispositivo Eyeclip: <https://handeyes.org/eyeclip/>
- Hill, J., Rieser, J., Hill, M., Halpin, J., & Halpin, R. (1993). How persons with visual impairments explore noval spaces: Strategies of good and poor performers. En J. Hill, J. Rieser, M. Hill, J. Halpin, & R. Halpin, *Journal of Visual Impairment and Blindness* (págs. 295-301).
- Lahav, O., & Mioduser, D. (2008). Multisensory virtual environment for supporting blind persons' acquisition of spatial cognitive mapping, orientation, and mobility skills. *Computers in Human Behavior*, 213-214.
- Lamonica, M. (2018). *Cnet*. Obtenido de Tablet-like touch interface comes to everyday objects: <https://www.cnet.com/news/tablet-like-touch-interface-comes-to-everyday-objects/>
- Lynch, K. (1960). *The Image of the City*. Massachusetts: The MIT Press.
- Microchip. (2018). *MicroChipDirect*. Obtenido de <https://www.microchiptdirect.com/product/ATmega328P?keywords=ATMEGA328P-MU>

- Ochaita, E., & Huertas, J. A. (1988). Conocimiento del espacio, representación y movilidad de las personas ciegas. En E. Ochaita, & J. A. Huertas, *Conocimiento del espacio, representación y movilidad de las personas ciegas*. (pág. 128). Madrid: Aprendizaje.
- OMS. (2018). *Organización Mundial de la Salud*. Obtenido de <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/blindness-and-visual-impairment>
- Precision Microdrives. (2018). *Vibration Motors*. Obtenido de <https://www.precisionmicrodrives.com/vibration-motors/>
- Puruncajas, M. (2018). Pruebas con prototipo de implante sensorial, Eyeborg. (C. Carvajal, Entrevistador)
- Reichental, A. (2018). *Forbes*. Obtenido de The Future Of 3-D Printing: <https://www.forbes.com/sites/forbestechcouncil/2018/01/23/the-future-of-3-d-printing/#26494d9865f6>
- Sánchez, C. (2015). *eldiario*. Obtenido de http://www.eldiario.es/hojaderouter/tecnologia/baston_blanco-ciegos-invidentes-tecnologia-bastones_0_396160531.html
- Second Sight. (2016). *Second Sight*. Obtenido de <http://www.secondsight.com/argus-ii-retinal-prosthesis-system-en.html>
- Silva, M. (2018). *FayerWayer*. Obtenido de <https://www.fayerwayer.com/2015/01/voxel8-la-impresora-3d-que-graba-circuitos-electricos/>
- STMicroelectronics. (2018). *Proximity Sensors*. Obtenido de <https://www.st.com/en/imaging-and-photonics-solutions/proximity-sensors.html?querycriteria=productId=SC1934>
- Stow, J. (2016). *Assistive and Inclusive Home Technology: A Guide for People with Sight Loss*. Thomas Pocklington Trust.

SUNU, Inc. (2017). *SUNU*. Obtenido de <https://www.sunu.io/en/index.html>

Tixilema, M. Á., Vargas, P., & Freire, K. (2018). (C. Carvajal, Entrevistador)

Zonamaker. (2018). *Zonamaker*. Obtenido de <http://www.zonamaker.com/impresion-3d/crea-impresora>