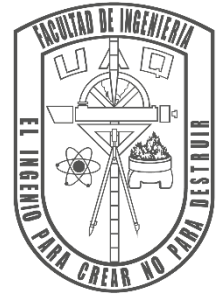


**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE
QUERÉTARO
FACULTAD DE INGENIERÍA
CAMPUS AEROPUERTO**



**SISTEMA DE ALERTA EMPLEANDO SENSORES DE
DETECCIÓN DE OBSTÁCULOS PARA PERSONAS CON
DISCAPACIDAD VISUAL.**

TESIS

Como parte de los requisitos para obtener el título de
INGENIERO BIOMÉDICO

Línea Terminal

BIOSEÑALES Y BIOINSTRUMENTACIÓN

Presenta

Luis Fernando Argaez Martínez

Directores

Dr. Carlos Andrés Pérez Ramírez

Santiago de Querétaro, Querétaro, Septiembre de 2022.



Dirección General de Bibliotecas y Servicios Digitales
de Información



SISTEMA DE ALERTA EMPLEANDO SENSORES PARA
DETECCIÓN DE OBSTÁCULOS PARA PERSONAS
CON DISCAPACIDAD VISUAL

por

Luis Fernando Arguez Martínez

se distribuye bajo una [Licencia Creative Commons
Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0
Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/).

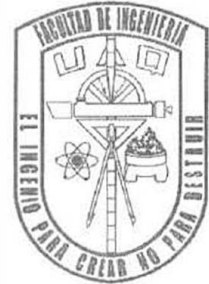
Clave RI: IGLIN-257414



Universidad Autónoma de Querétaro

Facultad de Ingeniería

Ingeniería Biomédica



“SISTEMA DE ALERTA EMPLEANDO SENSORES DE DETECCIÓN DE OBSTÁCULOS PARA PERSONAS CON DISCAPACIDAD VISUAL.”

Tesis

Que como parte de los requisitos para obtener el título de
Ingeniero Biomédico.

Presenta:

Luis Fernando Arguez Martínez

Dirigido por:


Dr. Carlos Andrés Pérez Ramírez


Dr. Carlos Andrés Pérez Ramírez
Presidente

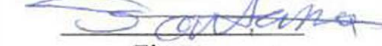
LDI. Alejandro Antonio Salinas Aguilar
Secretario


Ing. José de Jesús Santana Ramírez
Vocal

Dr. Jesús Alberto Basurto Hurtado
Suplente


Firma


Firma


Firma


Firma

Centro Universitario
Querétaro, Qro.
Septiembre, 2022

Resumen

En México se estima que existen alrededor de 2 millones personas con deficiencia visual y casi 415 mil con ceguera, para este sector de la población una de las mayores dificultades es el desplazamiento en exteriores. Si bien en la actualidad existen opciones que buscan facilitar a los pacientes con esta discapacidad sus tareas diarias, sigue siendo un reto importante encontrar un dispositivo que pueda satisfacer la necesidad del desplazamiento. Entre los ejemplos más destacados está el bastón blanco o perros guías, pero ambos cuentan con sus desventajas operacionales. Esta tesis propone el diseño de un dispositivo que sea capaz de ser utilizado para el desplazamiento del usuario con discapacidad visual en exteriores. La iniciativa del proyecto surge de la ineficacia de los métodos actuales y su alto costo para el usuario, por ello se busca implementar el uso de sensores ultrasónicos como método de medición y motovibradores como actuadores de alarma. El prototipo busca que el usuario tenga mayor conocimiento de su entorno utilizando alarmas por medio de vibración y que pueda tener las extremidades superiores libres. Se realizaron pruebas con usuarios para comprobar la efectividad del prototipo y se exponen los resultados obtenidos en este trabajo de tesis.

Palabras clave: dispositivo, sensores ultrasónicos, discapacidad visual, motovibradores.

Abstract

In Mexico it is estimated that there are around 2 million people with visual impairment and almost 415 thousand with blindness, for this sector of the population one of the greatest difficulties is outdoor movements. Although there are currently options that seek to facilitate daily tasks for patients with this disability, it is still a major challenge to find a device that can meet the need of displacement. Among the most prominent examples is the white cane or guide dogs, but both have their operational disadvantages. This thesis proposes the design of a device that is capable of being used for the displacement of the visually impaired user outdoors. The project initiative arises from the ineffectiveness of current methods and their high cost for the user, so it seeks to implement the use of ultrasonic sensors as a measurement method and motor-vibrators as alarm actuators. The prototype seeks to provide the user with greater awareness of his environment by using vibration alarms and to allow him to have his upper limbs free. Tests were carried out with users to verify the effectiveness of the prototype and the results obtained in this thesis work are presented.

Keywords: device, ultrasonic sensors, visual impairment, vibration motor.

Dedicatoria

Para mis hermanas, por ser mi mayor fuente de inspiración y fuerza.

Para mi madre, que me enseñó a ser perseverante.

Para mi padre, por su apoyo incondicional.

Gracias por creer en mí.

Agradecimientos

Primeramente, quiero agradecer a toda mi familia que es una parte importante de mi vida, que me han brindado las palabras adecuadas en momentos importantes, que me apoyaron en cada etapa del desarrollo de mi proyecto y durante mi vida. Agradezco a mis padres por creer en mí, por su paciencia y su perseverancia. Reconozco especialmente a mis hermanas que son las personas que me inspiran con sus personalidades únicas.

Tengo un agradecimiento especial para mis amigos que han sido parte de mi desarrollo como persona y profesionista motivándome a lo largo de mi tiempo como estudiante en la universidad. Gracias por la fuerza que me dieron durante los momentos difíciles.

Agradezco a mi director de tesis, Dr. Carlos Andrés Pérez Ramírez, por su tiempo, sus enseñanzas, la confianza que deposito en mí, su amistad y sobre todo su dedicación como maestro.

De igual modo, agradezco LDI. Alejandro Antonio Salinas Aguilar por su apoyo durante el proyecto y por brindar puntos clave para el planteamiento de este. También agradezco al Ing. José de Jesús Santana Ramírez por los conocimientos que compartió en sus clases, por su apoyo en el desarrollo de proyectos y su dedicación a inspirar a los estudiantes en la búsqueda de la innovación tecnológica. Al sinodal, Dr. Jesús Alberto Basurto Hurtado por su participación durante el proceso de titulación y desarrollo del proyecto.

A la Universidad Autónoma de Querétaro, agradezco que fuera mi hogar durante 5 años de carrera, donde tuve la oportunidad de conocer gente extraordinaria, desarrollar ideas, cometer errores y adquirir conocimientos que me serán útiles por el resto de mi vida.

Por último, quiero recalcar lo infinitamente agradecido que estoy con cada una de las personas que me han acompañado en mi vida y quiero que sepan que nada de esto hubiera sido posible sin ustedes. Este proyecto de tesis es el resultado de un sinnúmero de acontecimientos y momentos que al ver hacia atrás parecen insignificante, pero en su momento fueron un reto. Gracias.

Índice

Resumen	3
Abstract	4
Dedicatoria	5
Agradecimientos	6
Índice	7
Índice de figuras	8
Índice de tablas	10
Índice de formulas	11
Introducción	12
Capítulo 1	13
1.1 Antecedentes.....	13
1.2 Objetivos.....	22
1.2.1 Objetivo general.....	22
1.2.2 Objetivos específicos.....	22
1.3 Descripción del problema.....	23
1.4 Justificación.....	24
1.5 Planteamiento general.....	25
Capítulo 2	26
2.1 Fundamentación teórica.....	26
2.1.1 Sentido de la vista.....	26
2.1.2 Causas de la disminución de la agudeza visual.....	29
2.1.3 Discapacidad visual.....	32
2.1.4 Sensores.....	33
Capítulo 3	44
3.1 Metodología.....	44
3.1.1 Descripción del sistema.....	45
3.2 Diseño de prototipo.....	46
3.2.1 Modelos del prototipo.....	48
3.3 Diseño electrónico del prototipo.....	56
3.4 Programa desarrollado para el sistema.....	57

3.5 Selección de materiales	61
3.6 Selección y valoración de participantes	62
Capítulo 4	63
4.1 Clasificación de objetos	63
4.2 Pruebas de la matriz de sensores con cuerpos geométricos	65
4.3 Pruebas de la matriz de sensores con objetos en vía pública	67
4.4 Validación del sistema	75
Capítulo 5	83
5.1 Discusión.....	83
5.2 Conclusiones	85
5.3 Recomendaciones finales	86
Capítulo 6	87
6.1 Referencias.....	87

Índice de figuras

Figura 1.1 Tipos de bastones (Reinoso, 2019).....	14
Figura 1.2Ejemplo de uso de perro guía (Escuela para entrenamiento de perros guía para ciegos I.A.P, 2021).....	14
Figura 1.3 Prototipo de Haptic radar (Cassinelli, et al., The Haptic Radar / Extended Skin Project, 2006).....	16
Figura 1.4 Prototipo del ojo de Dobelle (Fox, 2000).	16
Figura 1.5 Esquema ilustrativo del Argus II (Franco, Infotecno Visión, 2017).....	17
Figura 1.6 Diagrama del dispositivo Orión I (Franco, Infotecnovision , 2017).....	18
Figura 1.7Prototipo de gafas para ciegos de la Universidad de Oxford (Archivos de la Universidad de Oxford, 2014).	19
Figura 1.8 Diagrama de funcionamiento del Innomake (Tec-Innovation, 2021).....	19
Figura 1.9 Imagen promocional del Ultrawear (Augem Technologies, 2021).....	20
Figura 1.10 Esquema del general planteamiento del proyecto (imágenes por elaboración propia).....	25
Figura 2.1 Anatomía del globo ocular humano. (Team Pro visu, 2019).....	27
Figura 2.2 Diagrama del funcionamiento del ojo desde el punto de vista físico. (Graft, 2013).....	28
Figura 2.3 Diagrama topográfico de los límites normales del campo visual del ojo humano (Fonticiella, 2016)....	28
Figura 2.4 Diagrama campo visual eje horizontal (Montserrat, 2021).	29
Figura 2.5 Diagrama de campo visual eje v ertical. (Montserrat, 2021).	29
Figura 2.6 Funcionamiento del sensor ultrasónico (Diosdado, 2020).....	37
Figura 2.7 Rango de funcionamiento del sensor ultrasónico HC-SR04 (Cytron Technologies, 2021).	39
Figura 2.8 Diagrama de funcionamiento y comunicación del sensor HC-SR04 (Cytron Technologies, 2021).	39
Figura 2.9 Arduino Mega2560.....	42
Figura 2.10 Esquema de pines de la placa Arduino Mega2560	42
Figura 2.11 Ejemplo de un mini moto-vibrador.....	43
Figura 2.12 Diagrama con medidas del mini moto-vibrador	43

Figura 3.1 Esquema de la metodología propuesta para resolver la problemática descrita (imágenes por elaboración propia).....	44
Figura 3.2 Diagrama de bloques de un sistema de lazo cerrado. (Guevara, 2018).	46
Figura 3.3 Diagrama por bloques del sistema propuesto (imágenes por elaboración propia).....	46
Figura 3.4 Diagrama de distribución de sensores en matriz de 3 por 3 (imágenes por elaboración propia).....	47
Figura 3.5 Diagrama ilustrativo de división de la zona frontal del usuario (imágenes por elaboración propia).....	47
Figura 3.6 Diagrama de distribución de moto-vibradores (imágenes por elaboración propia).....	47
Figura 3.7 Localización de los moto-vibradores en el usuario (imágenes por elaboración propia).....	47
Figura 3.8 Arnés marca Acelit. (Acelit, 2021).....	48
Figura 3.9 Esquema propuesto de base para sensores (Perspectiva lateral Izquierda, Perspectiva de frente y Perspectiva lateral derecha).....	48
Figura 3.10 Diagrama de ángulos de forma vertical para detección de objetos (imágenes por elaboración propia).	49
Figura 3.11 Diagrama de ángulos de forma horizontal para detección de objetos (imágenes por elaboración propia).	49
Figura 3.12 Plano del Soporte de sensores (imágenes por elaboración propia).	51
Figura 3.13 Plano del soporte para la parte electrónica (imágenes por elaboración propia).	53
Figura 3.14 Imagen del prototipo (elaboración propia).	55
Figura 3.15 Imagen de actuadores sin tela (elaboración propia).....	55
Figura 3.16 Imagen de actuadores con tela en matriz 9 por 9 (elaboración propia).	55
Figura 3.17 Esquema de conexión del circuito de actuadores (elaboración propia).	56
Figura 3.18 Diagrama del circuito utilizado en el proyecto (elaboración propia).....	57
Figura 3.19 Plataforma de programación de Arduino (Caballero, 2019).....	58
Figura 3.20 Ejemplo de declaración de librerías utilizadas en el proyecto (elaboración propia).....	58
Figura 3.21 Algoritmo con funciones "Distancia" y "Objetos" (imagen por elaboración propia).....	60
Figura 3.22 Diagrama de flujo del programa utilizado (imagen por elaboración propia).....	61
Figura 4.1 Cuerpos geométricos seleccionados para realizar pruebas (imagen por elaboración propia).....	65
Figura 4.2 Prueba de funcionamiento de matriz de sensores en diferentes posiciones con prisma rectangular (imagen por elaboración propia).	66
Figura 4.3 Prueba de funcionamiento de matriz de sensores en diferentes posiciones con cilindro (imagen por elaboración propia).....	66
Figura 4.4 Medición con los sensores en 3 posiciones diferentes con un árbol (imagen por elaboración propia). ..	68
Figura 4.5 Medición con los sensores en 3 posiciones diferentes con un poste de alumbrado público (imagen por elaboración propia).....	68
Figura 4.6 Medición con los sensores en 3 posiciones diferentes con una señal de alto (imagen por elaboración propia).	69
Figura 4.7 Sujeto de prueba en posición inicial de la prueba (imagen por elaboración propia).	76
Figura 4.8 Ejemplo de ruta con obstáculos (imagen por elaboración propia).....	76
Figura 4.9 Ejemplo de usuario con el prototipo en el pecho (imagen por elaboración propia).	76
Figura 4.10 Usuario desplazándose con el dispositivo hacia la derecha (imagen por elaboración propia).	77
Figura 4.11 Posiciones con respecto a la horizontal (izquierda, centro y derecha) con el dispositivo y el paciente (imagen por elaboración propia).	77
Figura 4.12 Posiciones con respecto a la vertical (arriba de la cintura, a la altura del pecho y debajo de la cintura) con el dispositivo y el paciente (imagen por elaboración propia).....	78

Figura 4.13 Grafico de resultados de pruebas en posición horizontal con cilindro (imagen por elaboración propia).	81
Figura 4.14 Gráfico de resultados de pruebas en posición vertical con cilindro (imagen por elaboración propia).	81
Figura 4.15 Grafico de resultados de pruebas en posición vertical con prisma rectangular (imagen por elaboración propia).	82
Figura 5.1 Ejemplo de caso con objeto a menos de 10 cm (imagen por elaboración propia).	84
Figura 5.2 Ejemplo de desniveles encontrados en vía pública (imagen por elaboración propia).	84

Índice de tablas

Tabla 2.1 Principales causas de la disminución visual.	31
Tabla 2.2 Clasificación de la discapacidad visual.	33
Tabla 2.3 Tipos de sensores	34
Tabla 2.4 Ejemplos de magnitudes que pueden ser medibles por sensores.	34
Tabla 2.5 Diferentes sensores ultrasónicos en el mercado.	38
Tabla 2.6 Tabla con resultados de las pruebas con el sensor ultrasónico.	41
Tabla 3.1 Modelo del soporte de los sensores (imágenes por elaboración propia).	50
Tabla 3.2 Modelo del soporte de electrónica (imágenes por elaboración propia).	52
Tabla 3.3 Ensamble de las piezas que componen el prototipo (imágenes por elaboración propia).	54
Tabla 3.4 Ensamble de las piezas junto con sensores (imágenes por elaboración propia).	54
Tabla 4.1 Obstáculos en la vía pública (imágenes por elaboración propia).	64
Tabla 4.2 Pruebas de matriz de sensores con Prisma rectangular.	67
Tabla 4.3 Pruebas de matriz de sensores con cilindro.	67
Tabla 4.4 Mediciones obtenidas en exterior con un árbol a 25 cm.	69
Tabla 4.5 Mediciones obtenidas en exterior con un árbol a 75 cm.	69
Tabla 4.6 Mediciones obtenidas en exterior con un árbol a 125 cm.	70
Tabla 4.7 Mediciones obtenidas en exterior con un árbol a 175cm.	70
Tabla 4.8 Mediciones obtenidas en exterior con un poste de alumbrado público a 25 cm.	70
Tabla 4.9 Mediciones obtenidas en exterior con un poste de alumbrado público a 75 cm.	70
Tabla 4.10 Mediciones obtenidas en exterior con un poste de alumbrado público a 125 cm	71
Tabla 4.11 Tabla de mediciones obtenidas en exterior con un poste de alumbrado público a 175cm.	71
Tabla 4.12 Mediciones obtenidas en exterior con un señalamiento vial "alto" a 25 cm.	71
Tabla 4.13 Mediciones obtenidas en exterior con un señalamiento vial "alto" a 75 cm.	71
Tabla 4.14 Mediciones obtenidas en exterior con un señalamiento vial "alto" a 125 cm.	72
Tabla 4.15 Mediciones obtenidas en exterior con un señalamiento vial "alto" a 175cm.	72
Tabla 4.16 Porcentaje de error relativo durante prueba en exterior con árbol.	73
Tabla 4.17 Porcentaje de error relativo durante prueba en exterior con poste de alumbrado público.	74
Tabla 4.18 Porcentaje de error relativo durante prueba en exterior con señalamiento vial.	75
Tabla 4.19 Resultados de la identificación de objetos con paciente en posiciones horizontales (derecha, centro, izquierda).	79
Tabla 4.20 Resultados de la identificación de objetos con paciente en posiciones verticales (arriba de la cintura, a la altura del pecho y abajo de la cintura).	80

Índice de formulas

Frecuencia (2.1)	34
Longitud de onda (2.2).....	35
Longitud de onda con respecto al periodo (2.3).....	35
Potencia acústica (2.4)	35
Intesidad acústica (2.5).....	35
Impedancia acústica (2.6).....	36
Densidad del medio de transmisión (2.7).....	36

Introducción

Existen aproximadamente 2200 millones de personas que viven con algún tipo de deficiencia visual, según datos de la Organización Mundial de la Salud (2019). En México, la Sociedad Mexicana de Oftalmología estima que existen alrededor de 2 millones 237 mil personas con deficiencia visual y 415 mil 800 con ceguera (Xantomila, 2019), lo que genera que esta sea una de las principales causas de discapacidad en el país.

La Clasificación Internacional de Enfermedades, especifica que la deficiencia visual se divide en dos grupos según el tipo de visión: lejana y cercana (Organización Mundial de la Salud, 2018). La deficiencia de la visión lejana se clasifica en 4 niveles: leve (agudeza visual menor a 6/12), moderada (agudeza visual menor a 6/18), grave (agudeza visual menor 6/60) y ceguera (agudeza visual menor a 3/60); por otra parte, la deficiencia de la visión cercana se define cuando la agudeza visual de corto alcance es limitada en el rango comprendido entre 40 cm a 1 m. Las causas más comunes que provocan este padecimiento se encuentran los errores de refracción no corregidos, cataratas, degeneración macular relacionada con la edad, glaucoma, retinopatía diabética, opacidad de la córnea y tracoma (Ramos *et al.*, 2019). Entre las limitaciones que genera la discapacidad se encuentra una dependencia visual del paciente para desplazarse, ya que las personas invidentes para identificar el espacio a su alrededor deben recurrir a distintas fuentes de información como cinestésica, háptica, auditiva y propioceptiva. Por esta razón, existen obstáculos que no logran identificar, lo que dificulta su valía por sí mismos; también, los espacios públicos no son aptos para su acceso, ya que contienen desniveles o irregularidades en la superficie que resultan difíciles de prevenir y adaptar su movimiento.

Si bien existen alternativas terapéuticas que un paciente puede realizar, en los casos donde las personas presentan ceguera o un caso avanzado de debilidad visual grave, se pierde el sentido de la vista (Organización Nacional de Ciegos Españoles, 2011). Por esta razón, es necesario emplear alternativas que le permitan a la persona adquirir o conservar la autonomía en la realización de las tareas cotidianas.

Capítulo 1

1.1 Antecedentes

El proceso de envejecimiento conlleva la aparición de enfermedades que afectan la salud y la independencia de las personas. Una de las más comunes es la deficiencia visual, esto puede derivar de enfermedades oftalmológicas asociadas al envejecimiento siendo la degeneración macular asociada a la edad una de las mayores causas de problemas con el sentido de la vista.

La deficiencia visual tiene un impacto que ocasiona que el desempeño tanto de actividades básicas e instrumentales de la vida diaria, por lo mismo se ha encontrado que existe una relación con trastornos emocionales, especialmente con manifestaciones depresivas. Los adultos mayores tienen gran número de limitaciones por la edad y al perder la independencia de moverse, pierden gran parte de sus actividades que en algunos casos incluyen asistir a citas médicas, esto presenta un impacto muy importante en el estado emocional y psicológico. En Norteamérica los adultos mayores con deficiencia visual conforman una tercera parte de la población según indican las estadísticas, y la mayoría experimentan sintomatología depresiva, como el sentimiento de tristeza permanente o la pérdida de interés que caracterizan a la depresión grave, pueden provocar una variedad de trastornos emocionales y físicos (Díaz Veiga, 2005). En México existe un 67.8% de adultos mayores con discapacidad visual, y en el estado de Querétaro existe un 60.8% de personas que tienen discapacidad visual según datos obtenidos de la Encuesta Nacional de la Dinámica Demográfica (2015).

En cuanto a dispositivos de apoyo el bastón blanco, es uno de los más usados en el mundo para los ciegos y que consiste en una vara ligera y alargada que supone para una persona con discapacidad visual una extensión de su cuerpo, ya que le sirve de herramienta táctil para guiar sus pasos, consta de un puntero que al tocar el suelo genera unas vibraciones, haciéndole notar al usuario qué tipo de superficie es la que está caminando. Existen gran variedad de tipos de bastones, así como una gama de modelos con aditamentos extras o con agarres diferentes. Los bastones se adaptan según la función que desempeñarán por lo mismo, se clasifican por los modelos:

- Modelo B1, especializado para personas con ceguera total.
- Modelo B2, diseñado para las personas que distinguen levemente luces y sombras.
- Modelo B3, bastón que sirve para orientar los pasos de usuarios con nivel de ceguera bajo.

Los bastones también se pueden distinguir por los colores que tiene, por ejemplo, el bastón blanco es uno de los más distribuidos en el mundo para las personas ciegas como apoyo en sus desplazamientos en las calles. Existen otros tipos de bastones como el rojo y blanco, los colores del bastón sirven de señal para identificar a las personas que padecen sordoceguera, aunque la Federación Mundial de Sordociegos estableció esta combinación de colores no se ha establecido normas estrictas sobre el diseño de los bastones, por ejemplo, en España se instauró que el tramo más cercano al suelo es blanco, posteriormente se alterna el color rojo y el blanco a medida que sube por el bastón (Reinoso, 2019). De los más recientes es el bastón verde, la idea se origina en Argentina, el color tiene la función de identificar a las personas

con baja visión, es decir que tienen un nivel bajo de ceguera o tienen una disminución de campo visual. En otras partes del mundo se usa el bastón amarillo o negro como sustituto del bastón blanco y el bastón verde, pero todos son una forma de identificar a las personas ciegas, en la figura 1.1 se muestran los tipos.



Figura 1.1 Tipos de bastones (Reinoso, 2019).

Otra alternativa común es la utilización de un perro adiestrado específicamente para ayudar a las personas con deficiencia visual grave o ciegas con el objetivo de mejorar su movilidad. Los perros están entrenando para reconocer y evitar obstáculos que pueden estar en movimiento o a distintas alturas, también advierte a su dueño de bordes, escaleras o desniveles del pavimento, busca puertas de acceso, asientos libres en transportes públicos y tiene iniciativa para encontrar la mejor alternativa de paso en situaciones comprometidas, todo para que su dueño no corra peligro. De igual forma en algunos casos el perro puede desobedecer una orden de su dueño cuando su ejecución podría poner en peligro la integridad física, debido a una circunstancia que no haya advertido. Los perros son animales con alto grado de sociabilidad, capaces de mantener un buen comportamiento bajo distintas situaciones, por ende, ningún perro guía es agresivo (Fundación Once Perro Guía, 2021). La raza de dichos perros puede variar, aunque los más conocidos son los de raza Labrador Retriever, aunque también se utilizan Golden, Pastor alemán, Flat Coated Retriever y Caniche Gigante. El uso de perros guías no solo ayuda al paciente a poder moverse también proporciona un apoyo emocional, sin embargo, su uso conlleva un costo mayor, además de una serie de responsabilidades adicionales, como son alimentarlo, llevarlo al veterinario, bañarlo, etc. Esta es una opción muy usada, pero se vuelve dependiente de alguien más.



Figura 1.2Ejemplo de uso de perro guía (Escuela para entrenamiento de perros guía para ciegos I.A.P, 2021)

En los últimos años, la robótica ha trabajado en el desarrollo de sistemas de sensores para detectar obstáculos y guiar diferentes tipos de sistemas automatizados como es el caso de robots móviles para realizar tareas de exploración, transporte de objetos, vigilancia, entre otras. Estos emplean diversos sensores y técnicas para la obtención de información útil para la navegación. Entre los sensores que se pueden destacar por su bajo costo y alta velocidad de respuesta, son los sensores infrarrojos, los cuales son

ampliamente utilizados en robótica para la detección de obstáculos. Un ejemplo de este tipo de sistema es el utilizado para un robot móvil, en el Congreso Nacional de Control del 2015. En este caso el sistema de visión tenía como principal objetivo el apoyo para la navegación del autómatas, para ello se creó un sistema formado por una cámara digital y 2 sensores infrarrojos modelo GP2Y0A02YK, que tiene un rango de detección de 0.2 m a 1.5 m. El sistema decide el camino a recorrer por las señales de los sensores y las imágenes obtenidas por la cámara, ya que ésta reconoce los puntos importantes y las referencias de posición, mientras que los sensores de proximidad la distancia de los obstáculos, esto resulta en que el robot evita chocar de frente con los objetos en su camino (Granados-Contreras, Velásquez-Aguilar, A.Ramírez-Agundis, & Oubram, 2015). Otra forma de interacción con el entorno que emplean los robots móviles es el uso de sensores ultrasónicos e infrarrojos para la detección de objetos, donde se logró el control y activación de los actuadores a través de la comunicación con un sistema superior, integrando diversas tareas en un solo microcontrolador.

El robot usa sensores ultrasónicos para encontrar la distancia entre él y un objeto, y para obtener los datos de odometría del robot; también usa sensores de proximidad infrarroja para detectar los obstáculos y evitar colisiones (Arturo, G., Francisco, & Gustavo, 2016). Los sistemas de detección de obstáculos son también empleados con los robots humanoides, los cuales tienen como característica tener un aspecto parecido al ser humano, contando con 4 extremidades por lo que se mueven de forma erguida. Los robots de este tipo se espera que tengan cierta autonomía. En este sentido, el funcionamiento del sistema de sensores o “cabeza del robot” propuesto en el artículo de Zannatha *et al.* Consiste en que un sensor de proximidad infrarrojo transmite la distancia de cualquier objeto a menos de 30 cm, mientras que la interfaz gráfica captura una imagen, la cual convierte de RGB a niveles grises. Mediante un algoritmo de procesamiento de imágenes, se determina de qué lado es más probable que se encuentre el borde del obstáculo. Una vez que se determina el borde del obstáculo, se calcula la cantidad de pasos que debe dar hacia el borde para evitar el óbice (Zannatha *et al.*, 2008).

Los ejemplos de los sistemas antes mencionados han demostrado ser efectivos en el campo de la robótica y actualmente existen propuestas con relación con estos principios. Entre las investigaciones que existen con el fin de mejorar la calidad de vida de las personas con discapacidad visual, está el diseño de un bastón blanco con sensores ultrasónicos, dicho prototipo tiene como objetivo la utilización de estos sensores para identificar obstáculos a la altura del esternón y mediante un buzzer alertar al usuario de la existencia de un obstáculo (Ontiveros-Paredes *et al.*, 2014).

Otro complemento para el bastón blanco es un dispositivo de tipo *wearable* (dispositivos que se pueden llevar puestos como ropa). El prototipo utiliza sensores ultrasónicos y un módulo de voz montados en una gorra. El funcionamiento se basa en la detección de objetos por medio de ultrasonido y mediante comandos de voz se puede seleccionar dos modos de operación: el primero el modo ayuda, el cual sólo detecta objetos cercanos a la cabeza del usuario y el segundo el modo escape, permite realizar un escaneo del espacio donde se encuentre el usuario para encontrar una posible ruta de salida del lugar (Rivas, 2016). Aunque el uso de una alarma para advertir al usuario parece ser una buena opción, lo cierto es que las personas con discapacidad visual, al tener la falta de un sentido necesitan a mayor grado de los demás. El sentido auditivo, al ya estar cargado de información ambiental que la persona invidente usa para identificar su entorno, al estar al pendiente de una alarma puede distraerse de algún otro ruido de advertencia. Por esta razón, el prototipo inspirado en el dispositivo “*Haptic radar*” (Cassinelli & Ishikawa, Haptic

radar/extended skin Project, 2006), desarrollado en la Universidad Nacional de Mar del Plata en Argentina, consiste en una banda alrededor de cabeza que vibra al detectar algún obstáculo (figura 1.3). La detección la realiza por medio de sensores infrarrojos, los cuales, por medio de un haz de luz y la incidencia de este, se puede calcular la distancia del objeto al sensor. Utilizando este método se sabe cuándo un objeto está muy cerca se genera una vibración para indicarle al usuario (Cervellini, *et al.*, 2011).

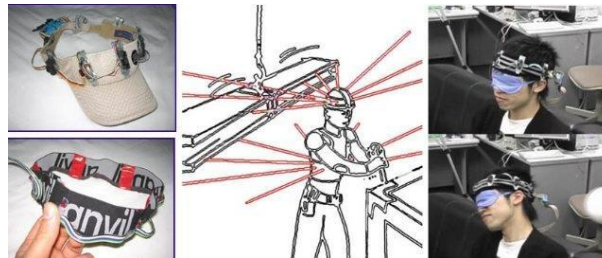


Figura 1.3 Prototipo de Haptic radar (Cassinelli, *et al.*, *The Haptic Radar / Extended Skin Project*, 2006)

Se han desarrollado nuevos dispositivos de visión para ciegos con la utilización de microcontroladores y otros tipos de tecnologías. Una de las investigaciones que se han desarrollado es la realizada por el científico Williams H. Dobbie que es un proyecto de visión artificial para ciegos, llamado “*el ojo de Dobbie*”. El proyecto consiste en un implante en el interior del cráneo compuesto de un procesador y una cámara que se monta en unos anteojos (Fox, 2000). El dispositivo se conecta con los nervios ópticos, la idea es conectar un cable por detrás de la cabeza para generar en el cerebro una realidad alternativa. Es un ejemplo de los avances tecnológicos hay 3 líneas de investigación de dispositivos invasivos principales, una de ellas es el desarrollo de dispositivos que reemplazan parcial o totalmente alguna parte del sistema óptico, otra línea es la de utilización de electrodos que estimulan los nervios ópticos y la investigación de la estimulación del cerebro directamente, aunque las pruebas en humanos se han realizado cautelosamente para evitar dañar algún paciente.



Figura 1.4 Prototipo del ojo de Dobbie (Fox, 2000).

Otros ejemplos de proyectos para el mejoramiento de la visión tenemos el Argus II y el Orión I, ambos creados por la compañía estadounidense *Second Sight*. La visión artificial ya es una tecnología real en nuestros tiempos, como se puede ver en el dispositivo Argus II, el cual es un dispositivo que funciona estimulando la retina de manera eléctrica para aumentar la percepción visual en personas ciegas. El

proyecto está compuesto por dos partes, la primera es una parte externa que son unas gafas con una cámara integrada y una unidad de procesamiento de video digital de señales unido a las gafas por medio de un cable, y la segunda parte es de manera interna la cual es implantada dentro del ojo está formada por una antena con un estuche electrónico y una microplaca de aproximadamente sesenta electrodos que es implantada de forma subretinal situada cerca del centro de la mácula lútea. La cámara captura las imágenes de exterior dentro de un campo de unos 20° de apertura, posteriormente las imágenes se convierten en patrones de estímulos eléctricos que se envían de modo inalámbrico desde las gafas y las recibe el implante dentro del paciente. En la microplaca de electrodos estimula eléctricamente la retina siguiendo el patrón que anteriormente se obtuvo a partir de las imágenes (Franco, Infotecnología Visión, 2017).

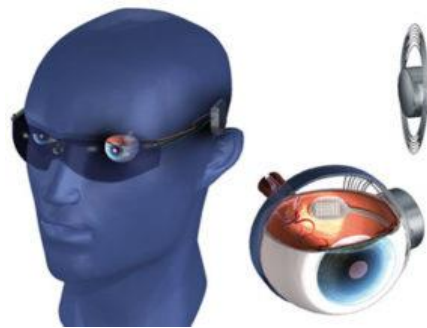


Figura 1.5 Esquema ilustrativo del Argus II (Franco, Infotecnología Visión, 2017).

El Argus II, un dispositivo que muestra un gran avance en la tecnología de nuestros tiempos, sin embargo, presenta limitaciones como el hecho de que es necesario que el paciente tenga el nervio óptico, si por alguna razón el paciente tiene un daño en dicho nervio, lo descarta como posible usuario. Además, que la visión que produce es aún rudimentaria esto debido a que para generar los estímulos en la retina se deben colocar electrodos y cada electrodo corresponde a un píxel de la imagen. La cámara externa envía una imagen de alta calidad, pero el dispositivo al momento de enviarla baja la calidad a 60 píxeles. Otro factor importante es el costo el cual asciende a unos 150,000€ que es el costo del dispositivo y todos procedimientos incluyendo el entrenamiento para la utilización.

Por otro lado, se tiene el Orión I, que se podría decir es la nueva versión de Argus II, ya que hereda mayor parte de sus componentes y su funcionamiento. El dispositivo está compuesto por unas gafas que tienen una microcámara de alta definición y una mini antena situadas en las patillas de las gafas (figura 1.4). El microcontrolador sirve como procesador de video conectado a las gafas por medio de un cable, teniendo una forma cómoda para llevarse en el bolsillo. Al igual que su versión anterior se implanta una prótesis cortical, que es una microplaca y 60 electrodos que se inyectan en el área de la visión de la corteza cerebral, este implante tiene una antena receptora que recibe la información enviada por la microcámara.

La captura de imágenes es en tiempo real dentro de un campo de 20°, se procesa la información en el microcontrolador quien es el encargado de convertir las imágenes en un patrón de impulsos eléctricos que envían a la prótesis cortical. La diferencia entre los dos dispositivos es que el Argus II se encarga de estimular la retina mientras que el Orión I estimula la corteza cerebral, la empresa Second Sight ha desarrollado una matriz de electrones que se adapta especialmente a esa zona del cuerpo, así como un

nuevo software y algoritmos para procesar y convertir de manera más adecuada la información visual recogida por la cámara y estimular la corteza cerebral de forma adecuada.

La intervención quirúrgica de la prótesis cortical consiste en realizar una pequeña apertura en la parte posterior de cráneo, cerca del lóbulo occipital, por donde se accede al espacio subdural para colocar la matriz de electrodos, para la colocación de los electrodos es necesario realizar una resonancia magnética para poder ubicar las posiciones correctas para cada paciente, puesto que cada paciente tiene ciertas variaciones y es necesario colocarlos correctamente sobre la corteza visual primaria (Franco, Infotecno Visión, 2017). El dispositivo estimula directamente a la superficie de la corteza visual, es decir la parte que procesa la información visual, por lo que se podría implementar en pacientes con parte del nervio óptico dañado. Entre las desventajas es que el procedimiento quirúrgico es más invasivo que otros métodos, ya que consiste en abrir parte del cráneo, aunque todavía no es comercial este tipo de procedimiento conlleva una elevación de los precios para el paciente.

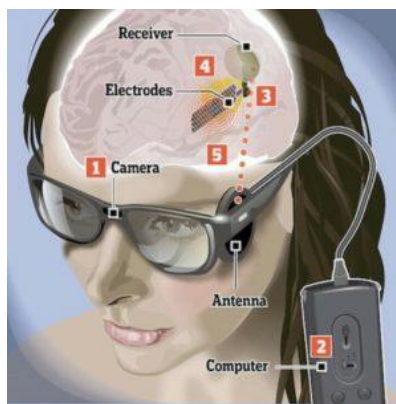


Figura 1.6 Diagrama del dispositivo Orión I (Franco, Infotecnovision , 2017).

El empleo de dispositivos que toman como base unas gafas es algo frecuente por ejemplo las gafas desarrolladas por la universidad de Oxford que alertan a los usuarios sobre los objetos y personas que tienen frente de ellos. El funcionamiento de las gafas es a través de la combinación de sensores infrarrojos y cámaras que se encuentran en la montura de las gafas. Una minicomputadora, del tamaño para guardarla en un bolsillo, procesa las imágenes y da nitidez e iluminación a los objetos cercanos. Las gafas fueron desarrolladas para pacientes que todavía tienen cierto grado de visión o tienen ceguera parcial, gracias a las gafas los pacientes podrán distinguir contornos, algunos objetos e incluso distinguir rostros (Brimelow, 2014). Dicho proyecto ha sido probado en 30 personas, según el artículo revisado, donde dichas pruebas han resultado un éxito, sin embargo, el proyecto aún tiene áreas de mejora ya que su tamaño lo vuelven un poco estorboso además que actualmente se estima que tiene un costo de 1500 dólares.



Figura 1.7 Prototipo de gafas para ciegos de la Universidad de Oxford (Archivos de la Universidad de Oxford, 2014).

Un ejemplo de una variante de la localización de los sensores en el usuario es la investigación desarrollada en la Universidad Tecnológica de Graz en Austria. Los investigadores junto con la compañía vienesa Tec-Innovation han creado un dispositivo para los zapatos que ayuda a los invidentes a detectar obstáculos o bloqueos durante la circulación por calles públicas. Los zapatos cuando se encuentran con un obstáculo a menos de cuatro metros le avisan al usuario por medio de una aplicación del teléfono del objeto, para recomendar una ruta a seguir y evitar el bloqueo del camino (Tec-Innovation, 2021). El dispositivo para calcular la distancia del sensor a los objetos utiliza sensores ultrasónicos que emiten señales que rebotan en los obstáculos y con ello se calcula la distancia. Como una mejora los investigadores a los modelos anteriores agregaron cámaras y han desarrollado un algoritmo de reconocimiento para interpretar el contenido de la imagen. Usando la información de la cámara el prototipo es capaz de determinar las zonas libres de obstáculos y de distinguir los diferentes tipos de objetos que hay en el camino. Los zapatos emitirán distintas señales que indicarán al usuario si puede pasar sobre el objeto, en caso de evitar pisarlo o si tiene que parar. Existe un modelo ya en venta de los zapatos llamado Innomarket, sin embargo, utilizan únicamente los sensores ultrasónicos, los nuevos modelos con cámaras siguen en fase experimental (Kardoudi, 2021). Entre las desventajas que se pueden destacar es la aplicación, el uso de un teléfono como medio de interpretación entre el dispositivo y el usuario. Al tener el sensor en los zapatos deja descubierto la parte superior del usuario, donde existe la posibilidad de que haya algún objeto u obstáculo que bloquee el camino del usuario.

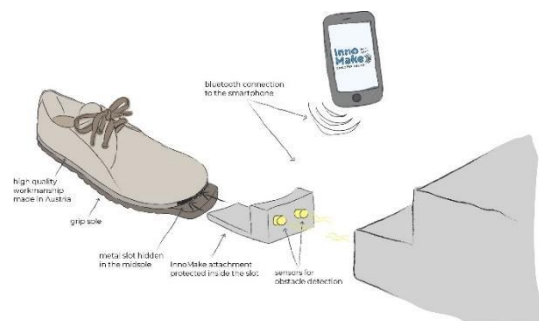


Figura 1.8 Diagrama de funcionamiento del Innomake (Tec-Innovation, 2021).

Una investigación de la Universidad de Manchester a cargo de Vasileios Tsormpatzoudis, ha creado un bastón inteligente llamado MySmart Carre con el objetivo de apoyar a las personas ciegas o con deficiencias visuales. El proyecto consiste en mejorar el bastón blanco ya existente agregando un

ordenador de bajo costo con la finalidad de dar aviso de objetos de forma más precisa al usuario. El MySmart Cane transmite un sonido de forma de alarma para avisar al usuario de algún objeto y dependiendo de la distancia entre el sensor y los objetos la alarma aumentará su intensidad o disminuirá (Arteaga, 2016). El proyecto por medio la impresión 3D bajo muchos su costo, pero el uso de alarmas audibles causa que el usuario esté pendiente del sonido del bastón y podría provocar que el usuario no preste atención a otros sonidos o en su defecto la misma alarma utilizable podría ser confundida con la de algún otro dispositivo.

Otra opción de dispositivos complementarios del bastón blanco es el Ultrawear, dicho dispositivo está hecho para que el usuario tenga una mayor autonomía y seguridad. La forma de alerta al usuario sobre obstáculos que no detecta el bastón es por medio de vibración. Incluyendo una interfaz por voz que indica el color de algunos objetos lo que facilita actividades cotidianas como conocer la denominación de los billetes (Ruiz, 2020). El funcionamiento consiste en sensores que mandan fotones y dependiendo del tiempo que tardan en regresar se calcula la distancia de los obstáculos. Las alarmas son por medio de vibración y por comandos de voz. El segundo es útil para la función de identificación de colores que se puede usar para identificar letreros, ramas y la denominación de los billetes (figura 1.9). Entre sus ventajas se encuentran que puede estar en uso continuo por 8 horas, comandos sencillos de 3 botones, su tamaño es cómodo, con forma de pin lo hace fácil de usar y voz de alta calidad (Augem Technologies, 2021). Entre las desventajas es que la función de identificación de billetes solo se aplica para los billetes mexicanos, además que el bastón sigue siendo el principal dispositivo de guía y tener un segundo dispositivo divide la atención del usuario. Esta situación puede provocar que el paciente no se concentre adecuadamente aumentando el riesgo de un accidente. Por último, el costo es de \$4900 pesos mexicanos, que es un costo elevado ya que todavía es necesario la compra del bastón blanco.



Figura 1.9 Imagen promocional del Ultrawear (Augem Technologies, 2021).

En la creación de robots de tipo humanoide, los investigadores tuvieron que definir las condiciones en las que se realizaron las pruebas del prototipo. Entre las condiciones que se tomaron en cuenta fueron el tipo de iluminación, el suelo y la forma de los obstáculos, debido a que estas variables aumentan de dificultad en la programación del robot (Zannatha, *et al.*, 2008). En la creación de dispositivos para personas invidentes, los investigadores encontraron conflictos en la identificación de obstáculos, ya que en ocasiones los sensores detectaban objetos que no eran un estorbo para el invidente como es el caso en

el uso de ultrasonido o ecolocación (Rivas, 2016). En el caso de los dispositivos que tienen sensores infrarrojos uno de los problemas más frecuentes en los algoritmos, es que se detectan objetos que el tamaño no se define, por lo que cualquier cosa que detecten es considerada un impedimento para la movilidad (Cervellini, *et al.*, 2011), haciendo que el usuario tenga falsas alarmas. En el caso de la reacción de los actuadores, se debe tomar en cuenta que se necesita una alta demanda computacional para el procesamiento de varios sensores para identificar un obstáculo de manera correcta y enviar un alertar por medio de los actuadores (Granados-Contreras, *et al.*, 2015).

En los artículos antes mencionados se pueden observar que los dispositivos están diseñados de manera de que solo detectan la parte superior a la cintura o inferior a la cintura, así que es necesario el uso de dos o más dispositivos para poder detectar de manera eficiente obstáculos en ambos planos del cuerpo. El uso de varios dispositivos vuelve difícil la movilidad del usuario, ya que transmiten información y alertas de maneras diferentes lo que vuelve confusa la interpretación de estas señales, perdiéndose el objetivo de informar adecuadamente al usuario. Por tanto, la hibridación de tecnologías de diferentes sensores pudiera permitir el desarrollo de un dispositivo que tenga un campo de visión tanto por delante como por detrás con un tamaño reducido y compacto, lo que ayudaría a que el usuario pudiera ganar movilidad y autonomía.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

Diseñar un sistema de detección y monitoreo de objetos por medio de actuadores mecánicos y sensores, para que las personas con discapacidad visual puedan evitar obstáculos durante su desplazamiento en exteriores.

1.2.2 Objetivos específicos

- Generar un algoritmo, empleando técnicas de procesamiento de señales, donde por medio de sensores puede detectar objetos en un ambiente controlado.
- Estudiar y analizar el comportamiento de los sensores bajo condiciones controladas para comprobar su efectividad.
- Determinar tiempo de respuesta de los actuadores con respecto a lo que detecten los sensores
- Determinar el filtro adecuado para obtener información por medio de sensores.
- Definir código de alertas para la comunicación entre el dispositivo y el usuario, regulando la intensidad del mecanismo de actuadores.
- Elaborar algoritmo de diferenciación de obstáculos, por medio de la información obtenida de los sensores para ajustar la respuesta del sistema.
- Plantear mecanismos de actuadores para funcionar como respuesta del prototipo, tomando en cuenta la ergonomía y el funcionamiento del sistema de sensores.
- Evaluar variables de comportamiento del sistema en diferentes ambientes poco controlados, con el fin de eliminar posibles errores.
- Proponer diseño de prototipo integrando sistema de sensores y actuadores.
- Evaluar el funcionamiento del prototipo en un ambiente poco controlado.
- Corroborar funcionalidad del prototipo con un usuario invidente.

1.3 Descripción del problema

La discapacidad visual es tratada como una invalidez de tipo físico y sensorial. Esta situación limita la capacidad de las personas afectadas para realizar actividades cotidianas, lo que deteriora su calidad de vida. La dificultad para trasladarse con autonomía e independencia es uno de los obstáculos más habituales en las personas que sufren de esta discapacidad; sin embargo, no solo afecta su movilidad, sino que puede trascender a que enfrenten problemas a nivel emocional como depresión y ansiedad, como también de tipo laboral y social (Huertas *et al.*, 1998).

Entre los apoyos que existen están los bastones y los guías. Los bastones a pesar de ser una de las opciones más populares, no transmiten toda la información necesaria como son los detalles en el camino que serían obstáculos en el plano superior del individuo, además de que, al sostenerlo con la mano, repercute en tener ocupada una de las extremidades superiores y dificulta la reacción rápida en el caso de caídas o choques para salvaguardar su integridad. El uso de un guía restringe al invidente al criterio del sujeto, debido a que sea animal o una persona, el guía es quien toma la decisión del camino a tomar, restándole independencia al paciente.

Se han buscado opciones para complementar el bastón blanco, y así mejorar la eficiencia del mismo, dando origen a variantes similares, uno de los más sobresalientes se le han agregado sensores de proximidad y posicionamiento satelital global (GPS), sin embargo, el producto fue diseñado para una vialidad mucho más amigable para el paciente y lamentablemente en la actualidad México no cuenta con ese tipo de vialidad pública, además que el costo aproximado del dispositivo es de \$10,000 pesos (Vargas, 2019). De igual forma existen otros tipos de apoyo como son gafas o cascos con sensores de proximidad, pero estos sensores solamente identifican objetos en el plano superior, por lo que a pesar de usar el dispositivo es necesario también el uso del bastón blanco.

El uso de ambas herramientas vuelve incómodo su uso, ya que por una parte se deben colar de manera apropiada los sensores sino provocan deficiencias en el funcionamiento, de igual forma llevar dos herramientas hace que el paciente esté al pendiente de dos alarmas diferentes, provocando que no preste la debida atención a otras señales de alerta del su entorno (Cervellini *et al.*, 2011). Muchos de estos dispositivos tienen problemas similares como el costo elevado, el estancamiento del proyecto en fases de desarrollo, los dispositivos no se encuentran disponibles en México o no han sido ajustados para su uso en el país.

En México solamente el 39.9% de las personas con discapacidad visual tiene alguna actividad económica, donde la mayoría tienen el salario mínimo que para el año 2022 se estableció en \$172.87 pesos mexicanos diarios, siendo insuficiente el salario para cubrir los gastos personales y poder adquirir tecnología para mejorar la calidad de vida (Valor compartido, 2021). Dentro de este grupo existen personas de la tercera edad donde solamente el 41.4% son económicamente activas, lo que incrementa la probabilidad de no poder comprar dispositivos para mejorar su desplazamiento (Monroy, 2020). Por otro lado, actualmente no existe un programa público que facilite el acceso a dicha tecnología, por esta razón es importante la búsqueda de opciones dentro de las posibilidades económicas de las personas de la tercera edad con discapacidad visual.

1.4 Justificación

Las personas que tienen una deficiencia visual en un nivel elevado enfrentan limitaciones en su entorno, en sus actividades y en su desarrollo personal. Uno de los problemas más evidentes es su capacidad para desplazarse de un lugar a otro, debido a que la mayoría de las vialidades públicas no están adaptadas para que los pacientes con esta discapacidad, además de que existen obstáculos en todo el trayecto lo que dificulta su independencia al andar por su cuenta.

El uso de guías o de bastones como apoyo, no es suficiente, existen obstáculos que no se pueden identificar con el bastón, mientras que el uso de guías hace que se pierda independencia y su uso este sujeto a disposición del guía para realizar sus actividades. Los adultos mayores con esta discapacidad son propensos a tener accidentes, que puede llegar a ser más riesgos.

Por esta razón se pretende desarrollar un dispositivo que sea útil para que la población invidente supere ciertas barreras en el entorno, facilitándoles el desplazamiento por la ciudad, evitando peligros y dejando de lado el uso del bastón. Además, la realización de este proyecto establece una herramienta con la que esta población tiene la posibilidad de sobresalir en actividades que mejorarán su autoestima e inclusión social.

Entre las características que debe tener el dispositivo propuesto es que no es necesario llevarlo en las manos, sino que este se coloca mediante un arnés ajustable en el pecho de la persona, para poder ser usado sin la necesidad de limitar el uso de las extremidades del paciente. Además de que debe dar alertas de forma eficiente sin el uso del sentido auditivo, para evitar que el usuario ignore ruidos en su entorno. El dispositivo debe poder detectar objetos a la altura de la cabeza, del pecho y por debajo de la cintura del usuario para disminuir la posibilidad de un impacto con algún obstáculo que puedan dañar a su portador. En resumen, se busca diseñar un dispositivo que el usuario pueda usar con las manos libres, alarmas por medio de vibración y detección de obstáculos en todo el frente del usuario (arriba del pecho, a la altura del pecho y debajo de la cintura). Es necesario para el diseño tomar en cuenta características mecánicas, eléctricas, anatómicas, biológicas y poder ensamblar todos estos conceptos con la finalidad de obtener un dispositivo con mayor compatibilidad con el usuario, por ello es importante la intervención de la ingeniería biomédica siendo esta una de las ramas de la ingeniería que toma en cuenta conceptos médicos, anatómicos y biológicos que pueden contribuir a la delimitación de los parámetros durante el desarrollo del prototipo.

1.5 Planteamiento general

El planteamiento general del proyecto se proyecta en 4 etapas como se puede observar en la figura 1.10.



Figura 1.10 Esquema del general planteamiento del proyecto (imágenes por elaboración propia).

Prueba de sensores: En la primera etapa, se pondrán a prueba los sensores analizando las señales que transmiten al microcontrolador. Las señales adquiridas por los sensores serán comprobadas y se identificará el error entre las mediciones.

Análisis del comportamiento de sensores: En la segunda etapa, se aplicarán algoritmos de manera que los sensores trabajen en conjunto y tomen en cuenta las variaciones entre los sensores.

Identificación de objetos y obstáculos: En la tercera etapa, se programará el sistema de sensores para que mediante las señales adquiridas se identifiquen posibles obstáculos que se puedan encontrar en la vía pública.

Implementación de sistema de alerta: Finalmente, en la cuarta etapa del proyecto, se clasificaron los obstáculos en diferentes clases, que a su vez cada categoría generará una reacción diferente de los actuadores para dar alerta al usuario de la existencia de algún impedimento en el camino.

Capítulo 2

2.1 Fundamentación teórica

2.1.1 Sentido de la vista

El sentido de la vista es el que nos permite identificar objetos y nuestro entorno a distancia, ya sean objetos conocidos o que sea la primera vez que se nos presentan. El sentido de la vista es uno de los sentidos más evolucionados y nos permite interpretar la información visual sobre luz, color, forma, distancia, posición o movimiento (Perea García, 2017). El órgano que tiene dicha función es el globo ocular o también llamado ojo, se encuentra alojado en las cavidades orbitales, en el cráneo humano.

Anatomía del ojo

El ojo humano es el órgano anatómico que tiene una función equivalente a la de una cámara, ya que en su interior tiene una estructura sensible que nos da la capacidad de ver. Por su forma también se le conoce como globo ocular que se encuentra a ambos lados del plano sagital, protegido por grasa y tejidos blandos y por las paredes óseas que componen las cavidades orbitarias, donde además del globo ocular se aloja el nervio óptico, los músculos oculares, la glándula lagrimal, vasos y nervios (Latarjet & Ruiz Liard, 2018). También como protecciones extras tenemos las pestañas y párpados

El globo ocular tiene una forma esférica de aproximadamente 24 mm de diámetro anteroposterior, cuenta con 3 capas concéntricas de afuera hacia dentro:

- La capa exterior es la túnica fibrosa que a su vez está compuesta por dos segmentos el anterior es la córnea que es una porción más pequeña y destacada, el segmento posterior es la esclerótica. La capa de tejido conectivo se encarga de la protección de las capas superficiales de la córnea y de mantener la forma del ojo.
- La capa intermedia es la túnica vascular, la cual se compone del iris y coroides, que están unidos por el cuerpo ciliar que es un engrosamiento. Su función es la de mantener nutrido el ojo, controlar la presión que ejercen los líquidos en globo ocular y mantener la temperatura ideal para el funcionamiento de la retina.
- La capa interna es la túnica nerviosa o retina, que recibe y transmite los estímulos por medio del nervio óptico, es aquí donde se forman las imágenes invertidas.

Tal y como se muestra en la figura 2.1 las partes del ojo humano son diversas, donde encontramos la córnea que es la porción anterior, siendo la capa fibrosa externa y siendo transparente la vuelve la mayor superficie reflectante del ojo y la más sensible del cuerpo, ya que contiene gran cantidad de terminales nerviosas (Gutiérrez-de Piñeres Botero, 2019). La córnea tiene como función principal mantener lisa y transparente la superficie del globo ocular, y al mismo tiempo tiene que resguardar el contenido intraocular. Para mantener la forma del ojo es necesario

tener un tipo de esqueleto, esa función la tiene la esclerótica, está compuesta de tejido conectivo y fibras elásticas que permiten tener una consistencia fuerte y mantener la forma. En la esclerótica podemos encontrar las inserciones de los músculos extrínsecos, y en la parte posterior está la salida del nervio óptico, la arteria y vena de la retina.

El globo ocular resulta ser el primer paso para el sistema visual, los estímulos que recibe el son enviados al cerebro quien es el encargado del procesamiento de las imágenes. La trayectoria que conecta ambas partes se le denomina nervio óptico, ubicado en la parte posterior del ojo, siendo una de las partes vitales del proceso del sentido de la vista.

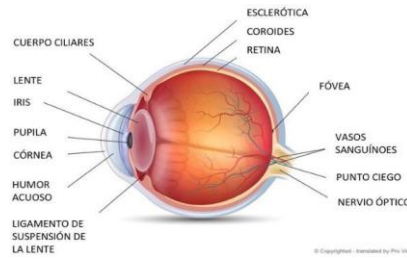


Figura 2.1 Anatomía del globo ocular humano. (Team Pro visu, 2019).

Sistema óptico

El ojo humano se puede comparar con un sistema óptico, tiene un funcionamiento similar a una cámara oscura cuyo objetivo está conformado por un conjunto de medios transparentes o lentes; en el caso del ojo humano, empezando de afuera hacia dentro con la capa delgada de lágrimas, seguido de la córnea, el humor acuoso, el cristalino, el vítreo y las capas de la retina seguidas de los conos y los bastones (Méndez, 2001). La transparencia, curvatura e índice de refracción de los diversos medios, junto con la precisión de la superficie limitante, logran crear una imagen en la capa sensible de la retina.

El primer punto que es atravesado por la luz en el proceso óptico de la vista es la córnea que se puede considerar como una lente de tipo convergente de aproximadamente de 43 dioptrías de potencia. Posteriormente la luz se topa con el humor acuoso que tiene un índice de refracción de 1.33, lo que no modifica en gran medida la trayectoria. A continuación, la cristalina es el segundo lente con la diferencia de que tiene un índice refractivo variable, gracias a los músculos ciliares que aumentan o disminuyen su grosor según sea necesario para poder enfocar los objetos y obtener una imagen más clara. El mecanismo de enfoque se le denomina acomodación, que consiste en que el cristalino mediante un incremento de su espesor de la curvatura de las superficies del cristalino por la contracción del músculo ciliar. En el estado relajado, el ojo puede enfocar objetos lejanos, a medida que queremos enfocar un objeto más cercano empezamos a realizar el proceso de acomodación. Este proceso va acompañado de la contracción de la pupila y la convergencia de las líneas visuales (Fernández J. L., 2020).

Cuando los haces de luz atraviesan el cristalino, pasan por el humor vítreo que no tiene gran influencia en la refracción, pero debido a la potencia refractiva de la córnea y del cristalino el foco del sistema óptico del ojo se proyectará en la cámara vítrea, creando un efecto donde los rayos invierten su trayectoria, haciendo que la imagen se encuentre de cabeza o al revés sobre la retina (figura 2.2). Una vez que la retina tiene la imagen, es enviada a la corteza cerebral por medio del nervio óptico, donde se reordenará la imagen en la posición correcta.

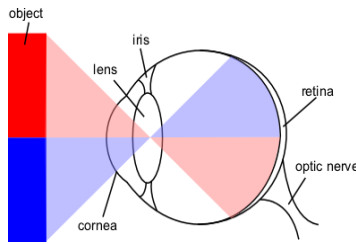


Figura 2.2 Diagrama del funcionamiento del ojo desde el punto de vista físico. (Graft, 2013)

Campo visual

El campo visual es otro de los conceptos más importantes cuando se habla del sentido de la vista, se puede definir como el espacio en el que nuestro sistema visual puede detectar la presencia de estímulos. El campo visual es la facultad del ojo para ver cuando fijamos la vista en un punto específico y estático; lo que permite ver lo que se encuentra alrededor de ese punto, es decir la periferia (Fonticiella, 2016).

El campo visual nos permite percibir nuestro entorno en el día a día, pero este tiene sus limitantes (CogniFit, 2020). Los límites normales del campo visual del ojo humano son:

- Porción nasal: Los ojos están separados por la porción nasal, por esta razón el límite normal es del centro del campo visual hacia la nariz. Se denomina que el límite visual en el eje horizontal es de 60° .
- Porción temporal: El límite se refiere al espacio que va del centro del campo visual hacia la oreja. Se denomina que el eje horizontal tiene un límite normal de 100° .
- Porción superior: En parte superior de la cavidad ocular tenemos el hueso frontal, que tiene función de límite superior. El límite se establece del centro del campo de visión hacia arriba. Se denomina que en el eje vertical el campo visual es de 60° .
- Porción inferior: El campo visual que va del centro del campo de visión hacia abajo. El límite normal en el eje vertical es de 75° .

En la figura 2.3 se muestra la distribución topográfica de los límites antes mencionados, formando lo que llamamos el campo de visión que es todo lo que una persona puede ver al fijar la mirada en un punto, cuando existe una disminución de este, significa que las limitantes son mayores generando dificultades para desplazarse por su entorno entre otros.

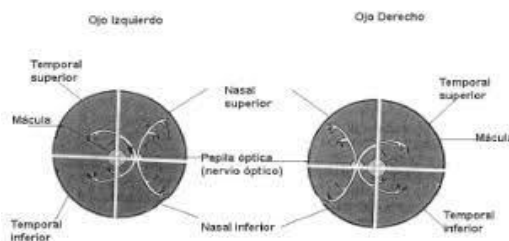


Figura 2.3 Diagrama topográfico de los límites normales del campo visual del ojo humano (Fonticiella, 2016).

Los ojos humanos tomando en cuenta los límites anatómicos y las porciones, antes mencionadas, forman un campo de visual de aproximadamente de 130° de apertura en el sentido vertical, un 60° por encima y un 70° por debajo de la horizontal, y 150° de apertura en sentido horizontal, aunque con la superposición de ambos ojos se puede abarcar 180° en la figura 2.4 se

muestra un diagrama del campo visual que se forma en el eje horizontal y en la figura 2.5 el eje vertical.

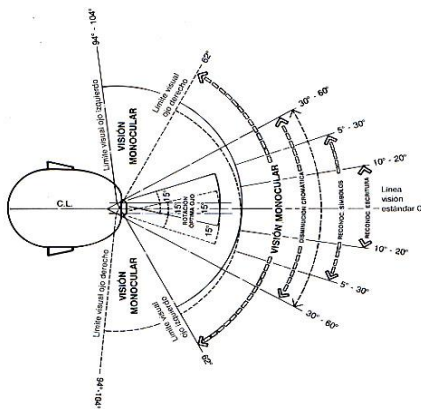


Figura 2.4 Diagrama campo visual eje horizontal (Montserrat, 2021).

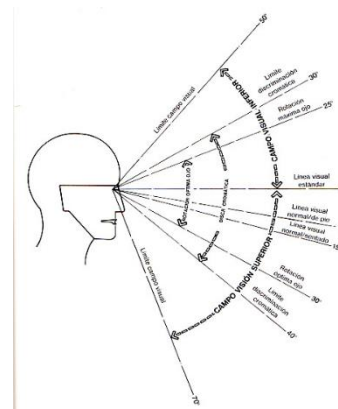


Figura 2.5 Diagrama de campo visual eje vertical. (Montserrat, 2021).

Vista

Los elementos que se mencionaron anteriormente nos dan la visión, que para su estudio la podemos dividir en: sentido de la forma, sentido cromático y sentido luminoso.

El primero es el sentido de la forma o también conocida como agudeza visual, es cuando el ojo humano percibe las figuras y las formas de los objetos en una distancia establecida, en otras palabras, es la habilidad para ver y diferenciar los objetos dentro del campo visual. Las personas que cuentan con una agudeza visual útil son aquellas que tienen una agudeza visual superior al 30% (Latarjet & Ruiz Liard, 2018).

El sentido cromático es la capacidad del ojo de discriminar los colores, como antes se mencionó, los conos son los encargados de identificar los colores, sin embargo, son sensibles solo con iluminación de gran intensidad, por ello cuando estamos bajo condiciones de baja iluminación o de oscuridad podemos ver los objetos en un color grisáceo.

El sentido luminoso es la facultad del ojo para distinguir gradaciones de intensidad de la luz, gracias a esta capacidad podemos diferenciar el tono o la saturación de un color en un objeto.

El sentido de la vista es afectado por diversos factores que disminuyen alguna de las características visuales anteriores o el campo visual. La pérdida de las características provoca que el sentido de la vista disminuya y con eso las dificultades que conlleva.

2.1.2 Causas de la disminución de la agudeza visual

Las causas de la disminución de la agudeza visual son variadas, en algunos casos es posible corregir con lentes convencionales o con lentes de contacto, sin embargo, en otros casos las causas pueden llegar a provocar ceguera crónica (Organización Panamericana de la salud, 2018).

Las principales causas de la disminución de la agudeza visual:

Causa	Características
-------	-----------------

1. Catarata	<p>El cristalino del ojo normalmente es transparente.</p> <p>A medida que una persona envejece, las proteínas del cristalino comienzan a descomponerse, en consecuencia, se torna opaca.</p>
2. Glaucoma	<p>Este grupo de afecciones oculares se caracteriza por la degeneración del nervio óptico.</p> <p>Aumento en la presión intraocular mayor de 21 mmHg.</p> <p>Existen cuatro tipos principales de glaucoma:</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Glaucoma de ángulo abierto ● Glaucoma de ángulo cerrado o glaucoma de cierre angular ● Glaucoma congénito ● Glaucoma secundario
3. Retinopatía diabética	<p>Las personas con diabetes pueden padecer esta enfermedad.</p> <p>Cuando los niveles altos de azúcar en la sangre causan daño a los vasos sanguíneos en la retina, se pueden hinchar y provocar fugas de líquido o cerrarse e impedir que la sangre fluya.</p>
4. Degeneración macular asociada a la edad	<p>Se caracteriza por ser un trastorno que destruye progresiva y lentamente la visión central y aguda.</p> <p>La enfermedad es más común en personas de más de 60 años.</p>
5. Obstrucción de los vasos sanguíneos	<p>En el caso de una arteria obstruida provoca una falta de riego de los tejidos de la retina, con ello la falta de nutrientes en niveles adecuados.</p> <p>Mientras que una vena obstruida provoca un encharcamiento de la retina debido a que el flujo de salida de sangre no es posible.</p>
6. Fibroplasia retrolenticular	<p>En los recién nacidos que son prematuros, existe la posibilidad del desarrollo anormal de vasos sanguíneos en la retina del ojo.</p>
7. Ojo perezoso o ambliopía	<p>Es la pérdida de la capacidad para ver claramente a través de un ojo, es causado por la falta de desarrollo durante la infancia.</p> <p>El ojo anormal envía una imagen borrosa o equivocada al cerebro.</p>
8. Neuritis óptica	<p>El nervio óptico se hincha o inflama, puede causar reducción repentina de la visión en el ojo afectado.</p>
9. Accidente cerebrovascular	<p>Cuando el flujo de sangre se detiene a una parte del cerebro, por más de pocos segundos, las células pueden morir, lo que causa el daño permanente.</p> <p>Se le denomina “ataque cerebral”.</p>
10. Retinitis pigmentaria	<p>Es una enfermedad ocular que puede ser hereditaria o por varios defectos genéticos.</p> <p>Causa daño en la retina, siendo los bastones los más propensos a resultar afectados.</p>
11. Tumores como retinoblastoma y glioma óptico	<p>Retinoblastoma</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Es un tumor maligno (canceroso) ocular que se presenta en la retina ● Se presenta con mayor frecuencia en niños <p>Glioma óptico</p>

	<ul style="list-style-type: none"> • Es un tumor que puede crecer en varias partes del cerebro, afectando los nervios o el quiasma ópticos.
--	--

Tabla 2.1 Principales causas de la disminución visual.

Causas principales en la adultez

Uno de los grupos de personas que tiene problemas de visión con mayor frecuencia son las personas mayores o personas de la tercera edad. Se tiene que alrededor de un 30% de las personas mayores a 65 años tienen algún problema de visión (LARESCV, 2021). Las enfermedades más comunes que afectan a los adultos mayores son:

- Presbicia o vista cansada: es causada por el proceso normal de envejecimiento del ojo y al mismo tiempo la pérdida de elasticidad del cristalino es normal que al paso de los años nuestro cuerpo se desgaste, siendo este caso un ejemplo. Los efectos de la vista cansada se pueden notar a partir de los 40 años, se pueden utilizar gafas para corregir la vista, sin embargo, no es una cura, será necesario el uso de las gafas para ver correctamente.
- Cataratas: se producen por la pérdida progresiva de transparencia del cristalino, causando que exista una disminución de la agudeza visual. Una de las primeras alertas sobre el padecimiento es tener una sensación de deslumbramiento, pérdida de la capacidad para diferenciar los contrastes y dificultad para identificar los relieves y los colores de los objetos. Las cataratas afectan a la mayoría de los ancianos a partir de los 65 años, se puede realizar un tratamiento quirúrgico y la recuperación es muy rápida.
- Glaucoma: es una enfermedad donde aumenta la presión intraocular por falta de drenaje del líquido acuoso, la presión generada produce lesiones en el nervio óptico. Algunos de los síntomas son la visión con “moscas volando” o centelleantes, también la pérdida de visión lateral o periférica, dolor en los ojos, visión borrosa, visión de halos tipo arco iris y migrañas. El glaucoma si no se corrige a tiempo produce ceguera.
- Degeneración macular: Es un proceso degenerativo que no tiene cura y que suele aparecer en las personas de edad avanzada. Uno de los primeros síntomas es que se produce la pérdida de visión en un ojo o ambos. Este padecimiento es progresivo y puede llegar a la ceguera.

La pérdida de la agudeza visual puede provocar accidentes, miedo y falta de relación con el entorno, debido a las dificultades para identificar los objetos o el propio ambiente. Los adultos mayores llegan a desarrollar un sentimiento de aislamiento entre otras dificultades.

Dificultades de la pérdida de visión

La pérdida visual puede ser causada por diversas razones, sin embargo, lo que tienen en común es que alteran el sentido de la vista que a su vez interfiere en mayor o menor medida la rutina diaria de la persona, entre las funciones que se pueden alterar se encuentra cocinar, cortar comida, pasear sin ningún apoyo, leer artículos impresos, coser, utilizar un teléfono, maquillarse o afeitarse. Otro de los elementos que afectan a las personas con pérdida de visión es el aislamiento debido a que se restringe su participación en varias actividades como acudir a lugares públicos, servicios religiosos o a convivencias familiares (Piñero Martínez, 2018). La pérdida progresiva de la funcionalidad visual o su ausencia significa que la persona se debe adaptar a muchas cuestiones de la vida cotidiana, a este proceso se le llama proceso de ajuste psicosocial a la discapacidad

visual que implica modificar, activar o aprender estrategias instrumentales, emocionales y cognitivas (Instituto Nacional de las Mujeres, 2015).

Entre los conceptos que pueden afectar a las personas que están pasando por la pérdida de la visión o el campo visual, encontramos la ansiedad, depresión, baja autoestima e incluso suicidio. Todos estos padecimientos son provocados por la falta de inclusión de la sociedad o la inhabilidad que tienen para realizar ciertas actividades, sin embargo, no significa que no pueden llevar una vida activa y plena, simplemente necesitan un periodo de adaptación a sus nuevos alcances y sobre todo apoyo de las personas a su alrededor. Las personas en esta situación son denominadas personas con discapacidad visual.

2.1.3 Discapacidad visual

Se le denomina discapacidad a la condición de vida de un individuo, que puede ser adquirida durante su gestión, nacimiento o en algún momento durante su vida. La discapacidad se manifiesta por limitaciones en uno o varios funcionamientos intelectual, motriz, sensorial, y/o en la conducta adaptativa, esto se refiere a la forma de convivencia con su entorno. La existencia de una discapacidad implica una dificultad u obstáculo para el desarrollo pleno del individuo, sin embargo, no implica que el sujeto no pueda llegar a realizar las mismas actividades que los que no padecen una discapacidad (Castillero Mimenza, 2021). Como lo mencione anteriormente existen varios tipos de discapacidades que son clasificadas en función del tipo de problemática que se presenta al individuo, bajo estos criterios se establecen diferentes grupos como:

- discapacidad física
- discapacidad sensorial
- discapacidad intelectual
- discapacidad psíquica
- discapacidad visceral
- discapacidad múltiple

Uno de los grupos más numerosos es el grupo de discapacidad sensorial, se referiré a la presencia de limitaciones en alguno de los sentidos que causa que la percepción del medio externo o interno. Existen muchas variaciones en todos los sentidos del cuerpo humano, sin embargo, las más conocidas son la discapacidad auditiva y discapacidad visual.

La discapacidad visual es uno de los subgrupos de la discapacidad sensorial, que es la condición que afecta la percepción de imágenes en forma total o parcial, para la clasificación de este tipo de se debe tomar en cuenta el campo de visión, que se refiere al espacio visible con mirada fija en un punto, y la agudeza visual que es la capacidad del ojo para percibir objetos. La clasificación basada en estos aspectos permite diagnosticar un tratamiento para mejorar la calidad de vida del paciente.

Clasificación de discapacidad visual

Actualmente la categorización que se utiliza es la Clasificación Internacional de Enfermedades 10 (CIE-10) publicadas por la Organización Mundial de la Salud (OMS), la cual se basa principalmente en la agudeza visual, esta capacidad visual puede medirse con ayuda del optotipo de escala aritmética o test de Snellen. Para la realización de estas mediciones el paciente debe

sentarse a la distancia que el especialista le indique e ir leyendo las líneas de letras o símbolos que éste le indique con cada ojo por separado, tapándose el contrario. Dependiendo de las respuestas se determina la severidad de la discapacidad visual y se clasifica según la tabla 2.2.

#	Categorías	Agudeza Visual (AV) lejana					
		AV menos a:			AV igual o mayor a:		
		Metros	Pies	Porcentaje	Metros	Pies	Porcentaje
0	Discapacidad visual leve o sin discapacidad	No aplica			6/18	20/60	3/10 (0.3)
1	Discapacidad visual moderada	6/18	20/60	3/10	6/60	20/200	1/10
2	Discapacidad visual severa	6/60	20/200	1/10	3/60	20/400	1/20
3	Ceguera	3/60	20/400	1/20	1/60	5/300 (20/1200)	1/50
4	Ceguera	1/60	5/300 (20/1200)	1/50	Percepción de luz		
5	Ceguera	No percepción de luz (NPL)					
9		Indeterminado o especificado					

Tabla 2.2 Clasificación de la discapacidad visual.

En este momento estos términos ayudan a la clasificación de los pacientes con cierto nivel de discapacidad visual, por ejemplo, el concepto de ceguera ha sufrido varias adaptaciones y modificaciones, desde diferentes campos como puede ser el político, laboral y social. A partir de la tabla 2.1 anterior podemos observar que la ceguera corresponde a 3 categorías, de las cuales abarcan desde agudeza visual menor a 1/60 metros hasta la percepción nula de la luz.

2.1.4 Sensores

Los dispositivos actualmente llevan un conjunto de partes que tienen la capacidad para detectar estímulos externos y generar una respuesta a la acción externa, esta parte se le denomina sensores. Los sensores pueden transformar las magnitudes físicas o químicas en una equivalencia en magnitud eléctrica (Dewesoft, 2020).

Los sensores son la parte esencial para la adquisición de información, parecido al sistema sensorial de los humanos, las máquinas necesitan este tipo de partes para identificar su entorno. Los sensores identifican diferentes magnitudes por ende existen otros tipos de acuerdo con lo que se tenga que medir o detectar (Corona Ramírez, Abarca Jiménez, & Mares Carreño, 2014). En la tabla 2.3 se muestran los tipos de sensores, y por otra parte en la tabla 2.4 se muestran las magnitudes más comunes:

Tipo de sensores:
De contacto.
Ópticos.
Térmicos.
De humedad.

Magnitudes:
Distancia
Gas
Redox
Temperatura

Magnéticos.
De infrarrojos.

Tabla 2.3 Tipos de sensores

Sonido
Indicador de nivel
Caudal/Flujo
Luz
Presión
Vibración/Oscilación
Humedad
Valor de pH

Tabla 2.4 Ejemplos de magnitudes que pueden ser medibles por sensores.

Sensores ultrasónicos

Los sensores ultrasónicos son los que realizan mediciones mediante el uso de ondas ultrasónicas. El funcionamiento se basa principalmente en generar un impulso de onda, la onda se encontrará con algún objeto durante su trayectoria, en ese momento la onda rebotará en dicho objeto regresando la onda al punto de origen, basándose en el tiempo que tarda la onda en salir y regresar se puede estimar la distancia a la que se encuentran los objetos (Mayur Gandhi, 2011).

Principios de funcionamiento de los sensores ultrasónicos

Sonido

El sonido es una onda, que se propaga gradualmente a partir de una perturbación caracterizada por una vibración de las moléculas. Por lo tanto, después de una perturbación provocada generalmente por una fuente mecánica, generando pequeñas perturbaciones de presión, se les denomina presión acústica. Las moléculas bajo estas condiciones chocan entre ellas propagando la perturbación a través de micro desplazamientos. Una vez que la perturbación pasa, las moléculas vuelven a su posición original (Laforga Fernández, 2021).

Por definición el sonido es una propagación de energía en un medio material sin transporte de materia. Una onda sonora se puede comportar de diferentes formas, generalmente son ondas mecánicas longitudinales y se mueven de forma paralela a la dirección del estímulo de programación de la onda (Pérez, 2021). En el caso de que la onda se transmita por un sólido puede que existan componentes transversales.

Otro de los componentes es el periodo, se simboliza con una T , este se refiere al intervalo de tiempo que hay entre dos estados vibratorios idénticos sucesivos de un punto del medio en el que se propaga la onda.

La frecuencia también forma parte de los componentes de las ondas, que es el número de periodos por unidad de tiempo, en otras palabras, es el inverso del periodo. Lo podemos expresar como:

$$f = \frac{1}{T} \quad (2.1)$$

donde f es la frecuencia en Hertz y T es el periodo en segundos.

Las ondas sonoras tienen otro elemento que es la longitud de onda, el cual se refiere a la distancia recorrida por la onda durante un periodo. Si la longitud de onda aumenta y al mismo tiempo se reduce la frecuencia, lo mismo a la inversa, cuanto menor sea la longitud de onda mayor será la frecuencia. La relación entre la frecuencia y la longitud de onda están relacionadas por la fórmula:

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (2.2)$$

donde λ es la longitud de onda en metros, c corresponde a la velocidad de la onda generalmente expresado en metros sobre segundo ($\frac{m}{s}$).

La longitud de onda también se puede calcular a partir del periodo, en ese caso se expresa como:

$$\lambda = c * T \quad (2.3)$$

donde T es el periodo en unidades de tiempo, c es la velocidad de la onda y λ es la longitud de onda.

El sonido tiene una característica con respecto a la energía que le brinda la fuente de origen durante una unidad de tiempo determinada, esta es la potencia sonora. La potencia sonora es medida en vatios(W) y se puede representar con la fórmula:

$$P = \frac{E}{\Delta t} \quad (2.4)$$

la cual P es la potencia acústica o sonora, E es la energía que contiene que se mide en Julios(J), y Δt es el intervalo de tiempo.

La intensidad o densidad del sonido es la energía acústica que transita por una superficie en forma perpendicular a las ondas sonoras, la unidad utilizada para representarla son los vatios por metro cuadrado ($\frac{W}{m^2}$). La intensidad varía según la fuente, en el caso de una fuente esférica, esta se encuentra relacionada con la potencia del sonido, esto se puede obtener con la fórmula:

$$I = \frac{W}{4\pi r^2} \quad (2.5)$$

donde la I es la intensidad acústica, W es la potencia acústica y r es el radio entre la fuente del sonido y un punto con la circunferencia. Es importante destacar que la intensidad no depende exclusivamente de la potencia, sino también en el radio de la fuente de origen.

Las ondas sonoras se pueden ajustar según su utilización o bien dependiendo del medio en el que se desean transmitir, sin embargo, en cada medio tienen comportamientos.

Transmisión de ondas sonoras en el aire

El sonido para trasladarse por un medio aéreo es afectado por tres factores principales:

- Temperatura
- Presión
- Modificaciones del medio

La velocidad del sonido se puede ver afectada por dichos factores principalmente por el cambio de densidad que existe, cuando la temperatura aumenta la densidad del aire disminuye, a su vez cuando la presión del aire es menor la densidad del aire es menor haciendo que la velocidad del sonido sea mayor, por ende, se puede decir que a menor densidad del aire mayor será la velocidad del sonido y el efecto contrario si aumenta la densidad, la velocidad disminuye proporcionalmente.

La modificación del medio por su parte teniendo una presión y una temperatura determinadas puede contener agua en estado gaseoso, es decir que la densidad del aire es modificada por la presencia de otro gas como sería el agua. La humedad del aire es una de las modificaciones del ambiente más comunes, por esta razón el sonido tiene una velocidad de transmisión mayor en los ambientes secos, donde la humedad es muy baja.

Impedancia acústica

La impedancia acústica (Z) es la resistencia que existen con respecto al paso de una onda sonora por un medio determinado, la impedancia se puede expresar como el producto de la densidad (D) del medio por la velocidad (V) de la onda, es decir:

$$Z = D * V \quad (2.6)$$

Cuando pasa de un medio a otro la diferencia que existe entre ellos permitirá el paso de la onda o en otro caso la onda se refleja.

La onda plana en su situación particular es posible aproximar la impedancia con la ecuación $\rho = Z$ o también:

$$\rho = Z * c \quad (2.7)$$

donde ρ es la densidad del medio donde se transmite la onda y c es la velocidad con la que viaja el sonido. Tomando en cuenta lo último, se puede decir que una onda que viaja por el aire, la impedancia que maneja es de aproximadamente $444 \frac{kg}{m^2s}$. Una onda puede pasar de un medio a otro, pero cuando el medio tiene una impedancia alta causa que una fracción de la onda se refleje, tal es caso de los objetos sólidos (Lorenzi, Chaix, Ducourneau, & Gil-Loyzaga, 2016).

La impedancia acústica es utilizada en varios campos como es el caso de oceanografía, medicina o arquitectura, esto se puede lograr ajustando las impedancias de los medios y las ondas utilizadas para cada caso.

Ultrasónico

Uno de los tipos de ondas que se utilizan para sensores son las ondas ultrasónicas, las cuales se refieren a sonidos de tono alto, que generalmente son inaudibles para los humanos. Las ondas ultrasónicas, tienen un valor de longitud de onda de 10 mm, mientras que la frecuencia de este tipo de onda es de 20 kHz o mayor.

Sensores ultrasónicos digitales

Las ondas ultrasónicas, como se ha ido comentando, son vibraciones mecánicas en forma de ondas elásticas longitudinales que tienen la capacidad de extenderse en un medio elástico, como sería el caso del aire, dichas ondas generalmente se encuentran fuera de la percepción del oído humano. La razón de que sean utilizadas en tareas como la medición de distancias o detección de objetos, es porque se pueden ver afectadas por los fenómenos de reflexión, difusión y/o refracción. Los dispositivos electrónicos que utilizan las ondas ultrasónicas consisten en una parte emisora, una receptora y un dispositivo de medición (Manterola & del Fresno, 2013).

Los dispositivos de medición de distancia generan una onda ultrasónica que viaja por el medio con una velocidad aproximadamente de $340 \frac{m}{s}$ a una temperatura ambiente de $25^\circ C$, dichas ondas colisionan de forma perpendicular con las superficies que se encuentren en su trayectoria, provocando un rebote en las ondas con la misma velocidad, pero en sentido opuesto. Los

dispositivos de medición de distancia por medio de las ondas que rebotan en la superficie calculan el tiempo que tardó en regresar, para obtener la distancia entre el origen y la superficie de rebote.

Los sensores de este tipo generan las ondas ultrasónicas por medio de campos eléctricos, principalmente por el efecto piezoeléctrico de deformación de algunos cristales, regularmente se utiliza cuarzo, el cual, al introducirse en un campo magnético, el cristal oscila en una frecuencia de 40KHz. Dichos sensores tendrán dos partes: la parte emisora que transmite la onda ultrasónica generada por el elemento piezoeléctrico y la parte receptora o también llamada eco que se encargará de recibir la onda de rebote. Utilizando este método, los sensores calculan el tiempo que pasa entre la emisión y el retorno de la onda, conociendo el comportamiento del ultrasonido en el aire y la velocidad constante, se puede estimar la distancia entre el dispositivo y el objeto con el que rebotó la onda figura 2.6.

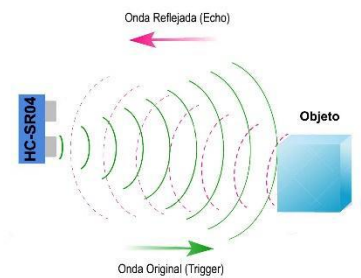


Figura 2.6 Funcionamiento del sensor ultrasónico (Diosdado, 2020).

La transmisión de la onda por lo general tiene una frecuencia de 40KHz y para evitar que exista una saturación del sistema, una interferencia entre ondas o distorsiones de las señales, tienen una emisión de $10-60\mu s$. Los sensores para evitar errores en distancias cortas toman un tiempo de seguridad de aproximadamente de 2ms. Después de que el sensor emite la onda y concluido el tiempo de seguridad o de espera, la parte del receptor es activada la cual estará a la espera de detectar la señal ultrasónica de rebote. Dependiendo del modelo del sensor será la distancia máxima de medición, lo cual significa que existe un tiempo de espera determinado para cada onda, en caso de no recibir ninguna señal de vuelta dentro este tiempo, se interpretará que no existen objetos en su trayectoria (National Institute of Biomedical Imaging and Bioengineering, 2019).

En el caso de los sensores ultrasónicos digitales, la información que adquieren por el método explicado anteriormente es transmitida en forma de voltaje o dicho de otra manera por una señal digital. El sensor se debe comunicar con un intérprete, como puede ser un microcontrolador, el cual se encargará de descifrar las variaciones de voltaje generadas por el sensor con ayuda de cálculos físicos-matemáticos dando como resultado un valor bajo las unidades de medida deseadas por el usuario.

Sensores ultrasónicos en el mercado.

En la tabla 2.5 comparativa se muestran algunos ejemplos de sensores ultrasónicos en el mercado:

Modelo del sensor	Marca	Tipo de sensor	Rango de medición	de Imagen





SRF05	Devantech	Digital	0.03 – 3 m	
SRF04	Devantech	Digital	0.03 – 3 m	
LV-MaxSonar-EZ1 MB1010	MaxBotix	Digital	0 – 6.4m	
SRF235		Digital	10cm-1.2m	

Tabla 2.5 Diferentes sensores ultrasónicos en el mercado.

Sensor ultrasónico HC-SR04

La información del sensor fue obtenida de la hoja de datos proporcionada por el proveedor, los datos se muestran a continuación de manera de resumen:

- Dimensiones: 4.3 x 2 x 1.5 cm
- Peso: 10 gr.
- Voltaje de funcionamiento: 5V
- Voltaje mínimo de funcionamiento: 4.5V
- Voltaje máximo de funcionamiento: 5.5V
- Corriente de trabajo o consumo en funcionamiento del sensor: 15mA
- Corriente de trabajo mínima: 1mA
- Corriente de trabajo máxima: 20mA
- Corriente estática o consumo en reposo del sensor: bajo condiciones normales trabaja con 2mA
- Corriente estática mínima: 1.5mA
- Corriente estática máxima: 2.5mA
- Frecuencia de las ondas ultrasónicas que emite: 40kHz
- Ángulo de medición: 30°, efectivo a 15°
- Rango de detección: 0.02m a 4.5m
- Precisión de medición: varía entre los 2 – 3mm
- Señal de salida (pin trig): pulso inicial de 10µs a nivel TTL.
- Señal de entrada (pin echo): pulso a nivel TTL, la duración del retorno dependerá del contacto

El sensor ultrasónico HC-SR04 cuenta con un módulo que permite su enlace con cualquier microcontrolador. El sensor tiene rango de 0.002m y con un máximo de 4m que es un rango

perfecto para la detección y evasión de obstáculos. La información del fabricante indica que tiene un mejor desempeño cuando los objetos se encuentra afrete de él dentro de un rango de 30 grados.

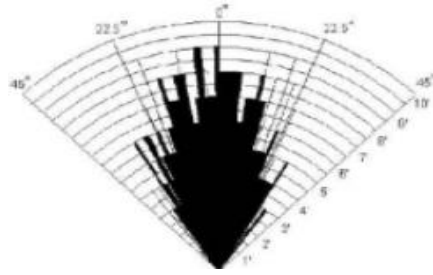


Figura 2.7 Rango de funcionamiento del sensor ultrasónico HC-SR04 (Cytron Technologies, 2021).

En la información proporcionada por el fabricante nos muestra que el tiempo para la detección de un objeto tiene un máximo de 38 milisegundos, así como también el tiempo de activación en el sensor es de 10 us. En la figura 2.8 se muestran los tiempos del HC-SR04. Para iniciar la medición, el puerto Trigger de SR04 debe recibir una señal de alto, durante al menos 10us, esto iniciará el sensor que transmitirá 8 ciclos de ultrasonidos, es decir una ráfaga a 40 kHz y espera la ráfaga ultrasónica reflejada. Cuando el sensor detecta una señal en el receptor, establecerá el pin Echo en alto y se retrasará durante un período que proporcione al microcontrolador. El cálculo de la distancia se realiza midiendo el ancho de la señal recibida desde el pin Echo.

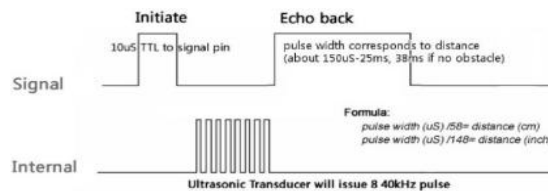


Figura 2.8 Diagrama de funcionamiento y comunicación del sensor HC-SR04 (Cytron Technologies, 2021).

El tiempo que se obtiene con el sensor es igual al ancho de la señal del pin Echo, dicho tiempo está dado en microsegundos. Las ecuaciones que nos proporciona la hoja de datos del sensor para el cálculo de la distancia en unidades de longitud son las siguientes:

- Distancia en centímetros = Tiempo / 58
- Distancia en pulgadas = Tiempo / 148
- O puede utilizar la velocidad del sonido, que es de 340 m /s

Caracterización de los sensores

Como parte del trabajo de investigación se realiza una simulación del prototipo electrónico, donde se realizan pruebas de medición con el sensor ultrasónico con la finalidad de comprobar la información de la hoja de datos. La metodología efectuada para realizar la comprobación de los sensores ultrasónicos fue colocar un objeto a distancias determinadas dentro de la zona de detección de 45 grados de apertura frente al sensor.

El experimento se hace dentro del primer metro de medición del sensor a pesar de que se pueda realizar mediciones hasta 3 m, debido a que existen mayor prioridad por detectar objetos dentro del primer metro. Los grados se tomarán con respecto al horizontal, dejando el sensor sobre la horizontal, para que el objeto que se encuentre en un ángulo de 90 grados quede exactamente al frente. Se utilizó como referencia una botella de agua de un litro para llevar a cabo el experimento.

#Prueba	Posición (Grados)	Distancia real (cm)	Distancia media medida (cm)	Desviación estándar	Error estándar
1.	0	10	Sin objeto	Sin objeto	Sin objeto
2.	0	20	Sin objeto	Sin objeto	Sin objeto
3.	0	50	Sin objeto	Sin objeto	Sin objeto
4.	0	100	Sin objeto	Sin objeto	Sin objeto
5.	20	10	Sin objeto	Sin objeto	Sin objeto
6.	20	20	Sin objeto	Sin objeto	Sin objeto
7.	20	50	Sin objeto	Sin objeto	Sin objeto
8.	20	100	Sin objeto	Sin objeto	Sin objeto
9.	40	10	Sin objeto	Sin objeto	Sin objeto
10.	40	20	Sin objeto	Sin objeto	Sin objeto
11.	40	50	Sin objeto	Sin objeto	Sin objeto
12.	40	100	Sin objeto	Sin objeto	Sin objeto
13.	60	10	Sin objeto	Sin objeto	Sin objeto
14.	60	20	20.7	1.25166556	0.3958114
15.	60	50	Sin objeto	Sin objeto	Sin objeto
16.	60	100	Sin objeto	Sin objeto	Sin objeto
17.	80	10	10.4	0.51639778	0.16329932
18.	80	20	20.1	0.56764621	0.17950549
19.	80	50	49.6	0.6992059	0.22110832
20.	80	100	99.5	0.70710678	0.2236068
21.	90	10	10.1	0.56764621	0.17950549
22.	90	20	20.3	0.48304589	0.15275252
23.	90	50	49.4	0.84327404	0.26666667
24.	90	100	100.3	0.8232726	0.26034166
25.	100	10	10.4	0.6992059	0.22110832
26.	100	20	20.1	0.56764621	0.17950549
27.	100	50	49.5	0.52704628	0.16666667
28.	100	100	99.5	0.70710678	0.2236068
29.	120	10	Sin objeto	Sin objeto	Sin objeto

30.	120	20	Sin objeto	Sin objeto	Sin objeto
31.	120	50	Sin objeto	Sin objeto	Sin objeto
32.	120	100	Sin objeto	Sin objeto	Sin objeto
33.	140	10	Sin objeto	Sin objeto	Sin objeto
34.	140	20	Sin objeto	Sin objeto	Sin objeto
35.	140	50	Sin objeto	Sin objeto	Sin objeto
36.	140	100	Sin objeto	Sin objeto	Sin objeto
37.	160	10	Sin objeto	Sin objeto	Sin objeto
38.	160	20	Sin objeto	Sin objeto	Sin objeto
39.	160	50	Sin objeto	Sin objeto	Sin objeto
40.	160	100	Sin objeto	Sin objeto	Sin objeto
41.	180	10	Sin objeto	Sin objeto	Sin objeto
42.	180	20	Sin objeto	Sin objeto	Sin objeto
43.	180	50	Sin objeto	Sin objeto	Sin objeto
44.	180	100	Sin objeto	Sin objeto	Sin objeto

Tabla 2.6 Tabla con resultados de las pruebas con el sensor ultrasónico.

El resultado de las pruebas de los sensores indica que tiene un área de muestreo de 45 grados, como lo indicaba la hoja de datos, dicha área se encuentra entre los 67.5 grados y 112.5 grados con respecto de la horizontal. Es importante destacar que al no detectar objeto marca un valor igual a 1182, que es un valor fuera del rango de medición posible del sensor, atribuible a que el micrófono no recupera la onda que se envía. Las medidas que se realizaron dentro del área de mostró ideal del sensor tuvo un promedio de error estándar de 0.2234, lo que resultaba ser un valor bajo, asegurándonos que el funcionamiento de los sensores es correcto.

Microcontrolador

Los microcontroladores son el tipo de procesador que consta de un circuito integrado donde se le pueden grabar instrucciones por medio de un lenguaje de programación computacional. Las instrucciones en el microcontrolador permiten crear programas que interactúan con los circuitos de la placa. El funcionamiento es el de automatizar procesos y procesar información.

Los microcontroladores tienen como elementos:

- El microprocesador es la parte que se encarga de la lógica y la aritmética que tiene como objetivo realizar operaciones
- Los periféricos (unidades de entrada/salida) son los circuitos digitales que nos permiten una interacción con el mundo externo. La función es la de poder habilitar o deshabilitar las salidas digitales o sacar señales analógicas de una conversión digital.
- La memoria se divide en tres, la memoria para el programa llamada FLASH, la memoria para los datos o variantes del programa que se esté ejecutando llamada RAM y la memoria para la configuración o también memoria programable se le llama EEPROM.

Microcontrolador Arduino

El microcontrolador de la compañía Arduino, posee lo que se llama una interfaz de entrada, es una conexión en la que podemos conectar en la placa diferentes tipos de conexiones periféricas. Los periféricos se conectan al microcontrolador, que al final procesa los datos que le lleguen a través de ellos (Fernández Y., 2020). También cuenta con una interfaz de salida que es la que se encarga de llevar la información que se ha procesado en el Arduino a otros periféricos, por esta razón es una de las plataformas más utilizadas.

El microcontrolador que utilizamos en este proyecto es la placa Arduino Mega 2560 es una placa de desarrollo basado en el modelo microcontrolador ATmega2560 (figura 2.0). Dicha placa consta de 54 periféricos que pueden funcionar como entradas/salidas, tiene una memoria flash de 256 KB, una memoria RAM de 8 KB y una frecuencia de reloj de 16MHz, en la figura 2.10 se muestra el esquema de la placa (Arduino, 2021).



Figura 2.9 Arduino Mega2560

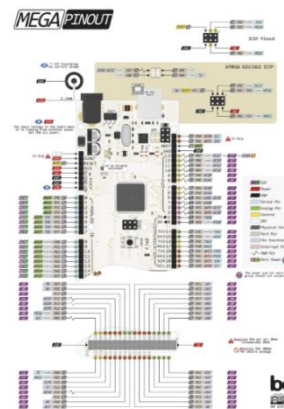


Figura 2.10 Esquema de pines de la placa Arduino Mega2560

Actuadores

Los actuadores son un dispositivo cuya función es proporcionar fuerza para mover o como su nombre lo indica para actuar, ya sea otro dispositivo o un sistema compuesto de más actuadores. Los actuadores se dividen según la fuente de la fuerza que provoca, que son presión neumática, presión hidráulica y fuerza motriz eléctrica.

Los actuadores eléctricos son los que se usan más comúnmente para dispositivos que requieren mayor exactitud y repetitividad, como gran parte de los dispositivos electrónicos. Los actuadores eléctricos son altamente versátiles y prácticamente no hay restricciones respecto a la distancia entre la fuente de poder y el actuador, por esta razón existen una gran cantidad de modelos y distintas formas de utilizarlo.

Motovibradores

Los actuadores eléctricos que se utilizaran en este proyecto son los mini moto-vibrador (figura 2.11), este tipo de actuador son pequeños discos con un diámetro de 10 mm, un ancho de 2.7mm y su peso es de 0.9g, completamente sellados, tienen dos cables que sirven como conexión para el control/potencia, un cable rojo es la entrada positiva y otro cable color azul que corresponde al negativo. El actuador trabaja con un voltaje de 2V a 5V, al aumentar el voltaje genera una

vibración más fuerte, pero provoca un consumo mayor de corriente, cuando trabaja con 2V el consumo de corriente es de 40mA.

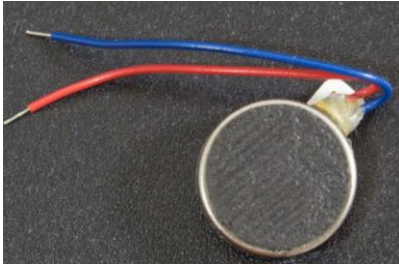


Figura 2.11 Ejemplo de un mini moto-vibrador

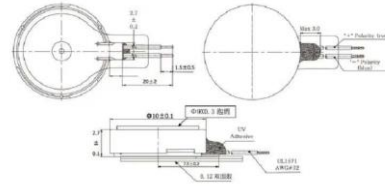


Figura 2.12 Diagrama con medidas del mini moto-vibrador

Como parte del trabajo de investigación se realiza una simulación del prototipo electrónico, donde se realizan pruebas del funcionamiento de los actuadores. El objetivo de los motovibradores es alarmar al usuario, así que se busca ajustar la frecuencia de vibración para que sean posible alertar al usuario de objetos próximos. La metodología utilizada será conectar los sensores junto con el microcontrolador para realizar cambios de tiempo de vibración, diferentes frecuencias y analizar la percepción de los actuadores por el usuario.

Capítulo 3

3.1 Metodología

En este capítulo se presenta la metodología empleada en este trabajo de tesis para resolver el problema que se plantea al principio de este. En la se puede apreciar un diagrama esquemático de la metodología seguida para el desarrollo del prototipo.

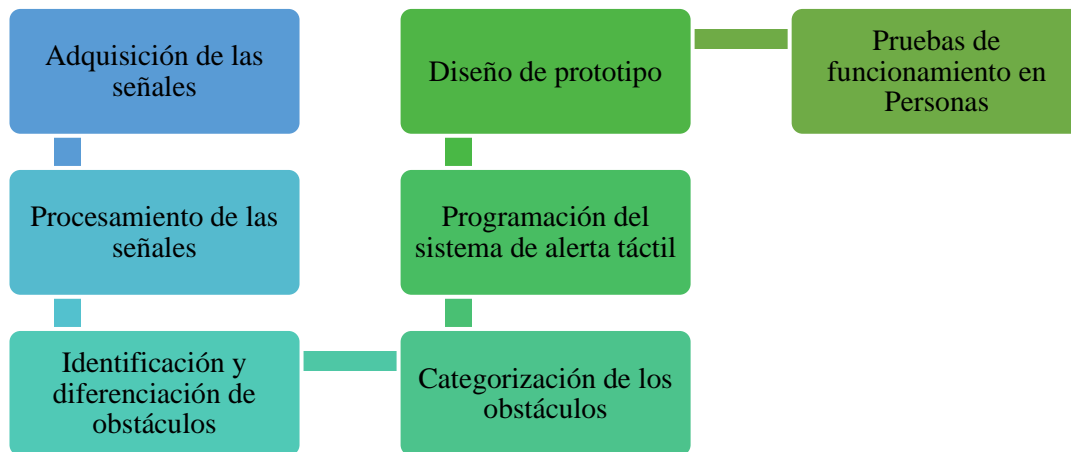


Figura 3.1 Esquema de la metodología propuesta para resolver la problemática descrita (imágenes por elaboración propia).

Como se aprecia en la figura 3.1 anterior la metodología consta de 7 etapas esenciales para el desarrollo del proyecto:

i. Adquisición de las señales

La primera etapa, se realizará la adquisición de las señales de los sensores, comprobando su funcionamiento, así como calculando sus variantes en el funcionamiento de estos. También se analizará el comportamiento del microcontrolador con respecto a las señales adquiridas.

ii. Procesamiento de las señales

Posteriormente, se implementarán algoritmos de preprocesamiento de las señales para ajustar las señales adquiridas, así como aplicar técnicas de programación y de instrumentación para que varios sensores trabajen en conjunto sin interferir en sus mediciones.

iii. Identificación y diferenciación de obstáculos

En esta etapa se aplicarán algoritmos para la identificación y diferenciación de objetos con la información obtenida de los sensores, de manera que el sistema pueda reconocer cuando existan variaciones y cambios en el entorno.

iv. Categorización de los obstáculos

Una vez que se pueda diferenciar los obstáculos, se realizará una clasificación de los obstáculos que se puedan encontrar durante el desplazamiento del usuario. De manera que se pueda probar el funcionamiento de los sensores para la detección de diferentes superficies y formas.

v. Programación del sistema de alerta táctil

Teniendo las categorías definidas, se procederá a realizar un sistema de alerta táctil para que el usuario pueda ser informado de la existencia de algún obstáculo. La programación del sistema dependerá de las categorías antes definidas, siendo de esta forma, cada categoría dará una alerta diferente al usuario por medio del sistema de alerta táctil.

vi. Diseño de prototipo

En esta etapa, se diseñará un prototipo que tendrá los elementos de detección de obstáculos y el sistema de alerta táctil, de manera que ambos sistemas pueden ser portátiles. Se tomarán en cuenta aspectos como ergonomía y usabilidad, también se considerarán las variables ambientales para proteger los sensores, así como su correcto funcionamiento.

vii. Pruebas de funcionamiento en personas

Por motivos de contingencia derivado del brote de SARS-CoV-2, no se han realizado pruebas de funcionamiento en el grupo objetivo, debido a que el dispositivo está orientado a personas de la tercera edad que por el momento son un grupo vulnerable. Las pruebas que se esperan realizar para comprobar el funcionamiento correcto del prototipo se dividen en 2 subetapas:

En la primera subetapa durante esta se realizarán pruebas de uso del prototipo en personas sin discapacidad visual en un ambiente controlado. El procedimiento de la prueba será que el voluntario caminará por un camino recto, aproximadamente 10 metros de distancia, durante el camino colocaron obstáculos en frente del voluntario, el dispositivo deberá detectar el objeto con un metro de distancia. Los obstáculos estarán por arriba de la cintura y por debajo de la cintura aleatoriamente y no serán objetos que puedan dañar a la persona si por alguna razón el voluntario choca con ellos, solamente servirán para comprobar que el prototipo pueda detectar el obstáculo y advertir a su usuario.

En la segunda subetapa, se realizará el mismo procedimiento, pero esta ocasión los voluntarios serán personas con discapacidad visual. Los voluntarios serán acompañados por una persona en todo el recorrido, para asegurar el correcto funcionamiento del dispositivo y auxiliar en caso de que alguno de los obstáculos esté muy cerca al voluntario o corra algún riesgo durante la prueba. Los voluntarios que tienen ceguera serán acompañados y sus acompañantes serán un familiar o conocido de su entera confianza, ya que el acompañante podrá leerle la documentación presentada para realizar el estudio, además de que se le explicara antes de empezar el procedimiento y se asegurará que la persona haya entendido lo que se le explico.

Finalmente, en cada una de las etapas se realizarán las pruebas de funcionamiento para comprobar que el objetivo de cada una se alcance, con el objetivo de prever algún mal funcionamiento o retraso entre las etapas.

3.1.1 Descripción del sistema

El prototipo propuesto estará conformado por un sistema de tipo lazo cerrado, ya que la señal de salida afectará de manera directa la señal de entrada (figura 3.2). El diseño contará con una unidad de procesamiento y control, además de sensores que servirán para la adquisición de las señales, y por último están los elementos de salida que ejecutarán una serie de acciones equivalentes a la señal adquirida, de esta forma el usuario puede interpretar lo obtenido por el sistema, siendo este último el mecanismo de retroalimentación que modificara la señal de entrada.

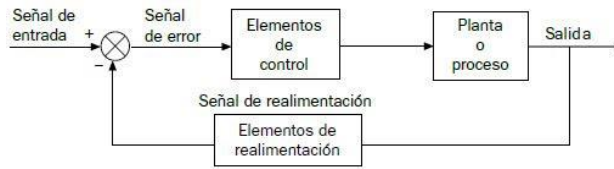


Figura 3.2 Diagrama de bloques de un sistema de lazo cerrado. (Guevara, 2018).

El diseño que se realiza en este trabajo de tesis se puede dividir por bloques según su funcionamiento dentro del sistema. La parte inicial es la fase de entrada, la cual está compuesta por una serie de sensores ultrasónicos, siendo las señales de entrada para el sistema el tiempo que tarda rebotar una onda ultrasónica con un objeto. Dichos datos son enviados al segundo bloque el cual le pertenece al dispositivo de procesamiento de señales, este se encargará de analizar los datos de funcionamiento para que posteriormente a partir de la información obtenida el dispositivo envíe una señal de salida proporcional a lo adquirido por los sensores ultrasónicos. La señal de salida será ejecutada por el bloque número tres, el cual estará conformado por actuadores de tipo mecánico, los motovibradores cambiarán el tiempo de vibración según la señal adquirida, esto tendrá como fin informar al usuario sobre objetos cercanos a él. La retroalimentación es por parte del usuario, ya que al recibir la señal de salida se modificará la posición de los sensores lo que cambiará la señal inicial. En el siguiente diagrama se muestra el sistema del prototipo propuesto:

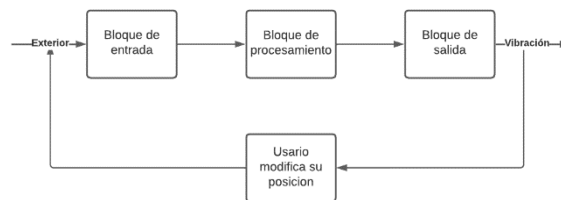


Figura 3.3 Diagrama por bloques del sistema propuesto (imágenes por elaboración propia).

El sistema propuesto tiene subniveles de programación y desarrollo que harán que el prototipo propuesto por este trabajo de tesis cumpla los objetivos planteados. Los subniveles dentro de cada bloque corresponden a protocolos o especificaciones entre las partes, como por ejemplo las características y la metodología a seguir para la adquisición, interpretación de datos, procesamiento, filtrado de información y movimiento de actuadores.

3.2 Diseño de prototipo

Tomando en cuenta la investigación efectuada se desarrolló un prototipo dividido en tres partes: el diseño electrónico, programación y prototipo físico. Las partes se explican a continuación detallando la forma en la que se subdividió durante la creación del prototipo.

El hardware del dispositivo estará conformado por el diseño electrónico. Dicho diseño eléctrico está conformado por sensores, actuadores y procesador. Los sensores utilizados son los ultrasónicos HC-SR04, el sistema contará con 9 de ellos, distribuidos en una matriz 3 por 3, donde cada sensor corresponderá a un espacio dentro de la matriz, la distribución se muestra en la figura 3.4. La distribución se realizó de manera que la parte frontal del usuario sea dividida de igual forma en 9 sectores, donde cada sensor estará monitoreando un sector (figura 3.5), se propuso esta

distribución para evitar zonas que no sean detectadas por los HC-SR04, reduciendo la posibilidad de choques con obstáculos durante el desplazamiento del usuario.

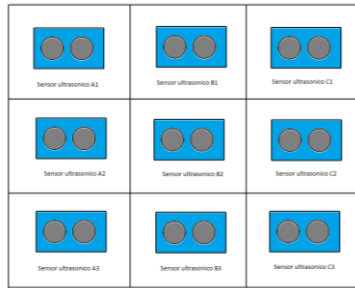


Figura 3.4 Diagrama de distribución de sensores en matriz de 3 por 3 (imágenes por elaboración propia).

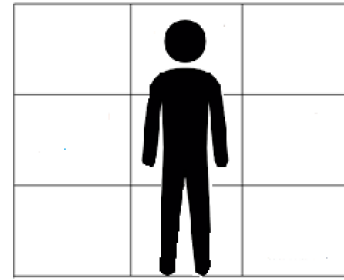


Figura 3.5 Diagrama ilustrativo de división de la zona frontal del usuario (imágenes por elaboración propia).

El soporte de los sensores ultrasónicos se diseñó siguiendo la distribución de la matriz 3 por 3, para mejorar el campo de reconocimiento del dispositivo de orientación los sensores ultrasónicos con distintos ángulos y abarcar mayor campo. Las bases superiores e inferiores para tener un mayor campo en la parte de arriba y de abajo, se inclinaron respectivamente cada base 75° grados con respecto a la horizontal, dependiendo si se encuentra en la parte superior o inferior se apunta hacia arriba o abajo.

La matriz de sensores es conectada al microcontrolador Arduino Mega 2560, será el fragmento del hardware que se encargará del procesamiento e interpretación de los datos obtenidos. El mismo microcontrolador está conectado a los elementos de salida que serán los motovibradores. Los actuadores que se utilizan en el proyecto se les puede modificar la intensidad de su vibración, de manera que sea posible alertar de mejor manera al usuario y dependiendo de la distancia obtenida modificar el tiempo de vibración. Los vibradores al ser la parte del hardware que estará en comunicación con el usuario estarán colocados sobre el pecho del usuario (figura 3.6) distribuidos de igual forma que los sensores en una matriz de 3 por 3 como se muestra en la figura 3.7. La distribución permitirá que el usuario pueda identificar con mayor facilidad la localización de los obstáculos.

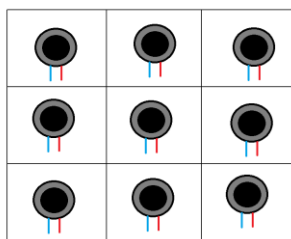


Figura 3.6 Diagrama de distribución de moto-vibradores (imágenes por elaboración propia).

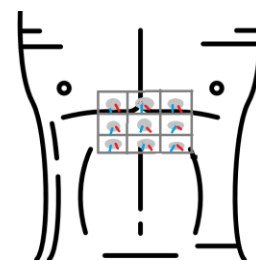


Figura 3.7 Localización de los moto-vibradores en el usuario (imágenes por elaboración propia).

Para la creación del dispositivo se utilizó un arnés ya existente en el mercado, como parte del diseño. El arnés seleccionado es de la marca Acelit (figura 3.8), originalmente hecho para el uso de una minicámara en la zona del pecho. Entre las ventajas que se encontró, es que el diseño permite que se pueda ajustar adecuadamente al usuario, cuenta con una hebilla buckle broche para

correas que facilita al usuario el poder asegurar el arnés y dicho soporte tiene un clip de gancho donde se puede conectar el hardware propuesto por este trabajo de tesis. Los componentes de dicho dispositivo son 3 correas de tipo resorte, conectado a una placa de aluminio de 10cm por 10cm, esta placa metálica no solo funcionará como conexión con el dispositivo, sino que también se aprovechará para nivelar el dispositivo, debido a que existen variaciones en la morfología del cuerpo humano. Entre los diferentes pacientes existen variaciones con la utilización del arnés el dispositivo se hace más ergonómico para el usuario. La placa metálica en su parte frontal tiene un clip de gancho para unir un adaptador de cámara.



Figura 3.8 Arnés marca Acelit. (Acelit, 2021)

El prototipo se genera a través de programas de modelado en 3D, para realizar un conjunto de piezas donde se pueden colocar los sensores y la parte electrónica en conjunto con el arnés. El método empleado para la creación de los componentes es manufactura por adición que produce objetos a través de la adición de material en capas que corresponden a las sucesivas secciones transversales, siguiendo un modelo 3D previamente seleccionado.

3.2.1 Modelos del prototipo

El modelo realizado tomó en consideración las posiciones que se deben adaptar para cada uno de los sensores ultrasónicos, por ello se modela un soporte en semicircular, dividido en 9 secciones que servirán de base para los sensores, se busca utilizar la menor cantidad de material sin afectar la funcionalidad. En la siguiente figura 3.9 se muestra un esquema del diseño propuesto.



Figura 3.9 Esquema propuesto de base para sensores (Perspectiva lateral Izquierda, Perspectiva de frente y Perspectiva lateral derecha).

En el modelado de la base se tuvo que tomar en cuenta el rango de detección de estos. Los sensores ultrasónicos HC-SR04 tienen un rango de funcionamiento ideal de 45° , dada esta información, se ajusta la inclinación de las bases. Uno de los objetivos del dispositivo es detectar los objetos en la parte superior de la cintura y en la parte inferior. Por ello la parte superior e inferior del modelo se inclinan las bases de los sensores para que el modelo con respecto a la vertical se efectúa una inclinación de la parte superior de 75° , dejando que los sensores queden

apuntando al plano superior de la cintura del usuario, de igual forma se realiza una inclinación de 75° en la parte inferior para la detección de objetos en la parte inferior de la cintura. La parte central no se inclinó para mantener una sección de los sensores directamente hacia el frente (figura 3.10).

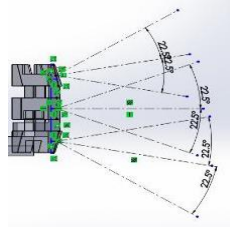


Figura 3.10 Diagrama de ángulos de forma vertical para detección de objetos (imágenes por elaboración propia).

El campo visual del ser humano tiene un espectro de visión semicircular siendo esta una ventaja para poder detectar objetos que se encuentran en nuestros costados, por ello se adapta una forma similar para tener un campo de detección más amplio, con respecto de la horizontal se aproxima a tener un ángulo ideal de 155° de apertura del campo de detección. En la pieza modelada para lograrlo se ladean las bases de los sensores hacia las laterales, dejando únicamente la parte central sin inclinar. Las bases de los costados se ladean 22.5° con respecto al lado que pertenecen, el costado derecho se inclina 22.5° a la derecha y el lado contrario se inclina 22.5° a la izquierda. En la figura 3.11 se muestra el campo generado por los rangos de funcionamiento del sensor ultrasónico y los ángulos que se tomaron de referencia para realizar el modelo del prototipo.

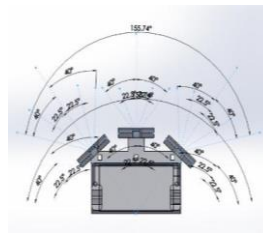


Figura 3.11 Diagrama de ángulos de forma horizontal para detección de objetos (imágenes por elaboración propia).

En la primera pieza corresponde a la estructura necesaria para colocar los sensores ultrasónicos, tomando en cuenta los ángulos antes mencionados. El soporte de los sensores toma en cuenta el espacio para las conexiones, al ser sensores del tipo alámbrico es necesario dejar espacio para el paso de los cables que se conectarán en el procesador. La forma de la pieza es una matriz de 3 por 3, lo que quiere decir es que se divide un rectángulo en 9 partes cada una de ellas con un tamaño de 2.25cm de altura y de ancho 4.8cm. Las partes están separadas por un espacio de 1.6cm en los costados y tienen una separación de 1.25cm en la parte inferior y superior. En cada una de las partes tiene una apertura de 1.05cm de ancho y 0.78cm de altura que se utilizara para el paso de cables de los sensores al microcontrolador. La matriz tendrá una forma semicircular como anteriormente se mencionó, dando como resultado una pieza de 9.2cm de altura y un ancho de 157cm en la parte de matriz. Esta primera pieza tiene también la función de tapa para la parte donde se encuentra el microcontrolador, por esta razón en la parte de atrás de la matriz se prolonga en un rectángulo de altura de 2.06cm y un ancho de 12.14cm en la zona media de la matriz, la tapa tendrá un largo de 5cm ancho. En la parte superior de prolongación rectangular se deja un par de aperturas de 0.6cm de altura y

1.43cm de ancho, separados entre sí de 2.35cm por las cuales pasan cables tanto a los sensores como a la parte de actuadores. En las siguientes imágenes se muestra el modelo desarrollado a partir de diferentes perspectivas:

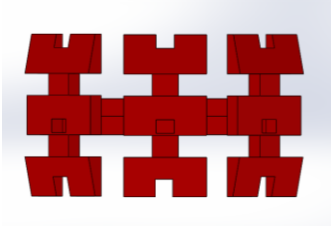
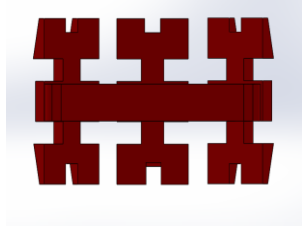
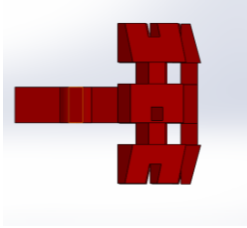
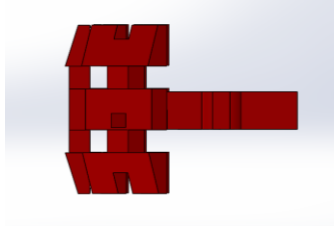
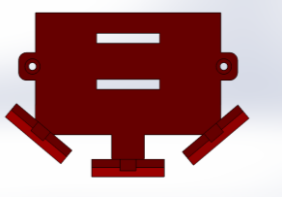

 <p>a) Vista frontal</p>	 <p>b) Vista posterior</p>
 <p>c) Vista lateral</p>	 <p>d) Vista lateral izquierda</p>
 <p>e) Vista superior</p>	 <p>f) Vista inferior</p>

Tabla 3.1 Modelo del soporte de los sensores (imágenes por elaboración propia).

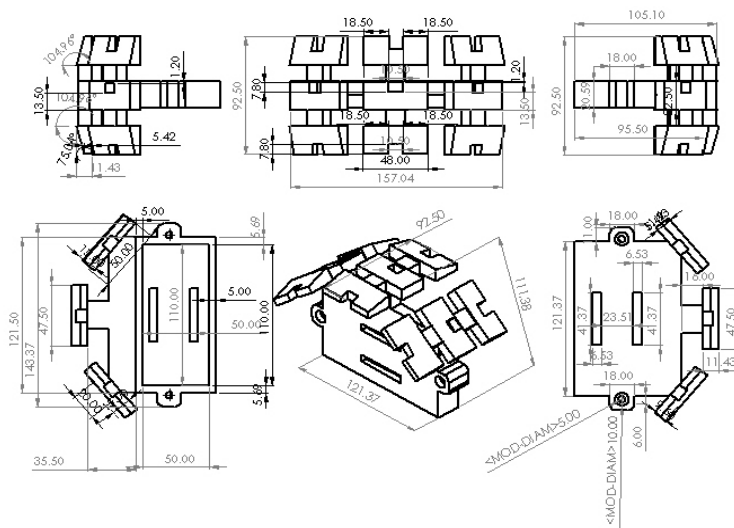


Figura 3.12 Plano del Soporte de sensores (imágenes por elaboración propia).

En cuanto a la construcción del dispositivo al usar un microcontrolador Arduino Mega, fue necesario hacer una segunda pieza que funcionará como soporte para la parte del sistema eléctrico. Además, servirá de unión entre la parte de los sensores y los actuadores. Dicha pieza contará con las conexiones para el arnés seleccionado, de manera que el usuario pueda colocarlo en el centro del pecho. El soporte tiene una forma de “L”, siendo la base la parte inferior tiene un tamaño de 14.4cm de ancho, 3.7cm de altura y largo de 10 cm. La en la parte interna tiene un espacio de 11cm de ancho, altura de 6cm y un fondo de 3cm, el espacio se utilizará para colocar el microcontrolador, la fuente de alimentación y las conexiones electrónicas, se le denomina sección de soporte de electrónica. La estructura de la pieza tiene una parte vertical de la forma en “L” tiene una medida de 11cm de ancho y una altura total de 12.5cm, así como un largo de 2cm, dicha parte de la pieza se aprovechará para conectar con el arnés. La electrónica pasa por un orificio en la parte superior la parte vertical, dicho orificio tiene un ancho de 1cm y de altura de 1.3cm, que permite que los cables de los actuadores que están conectados al microcontrolador se puedan conectar fácilmente.

Los actuadores al generar vibración deben estar lo más cerca posible del usuario, por esta razón se diseñó el soporte para que los cables puedan pasar la parte posterior del dispositivo donde también se conectará el arnés. El soporte en la parte posterior cuenta con dos estructuras que tienen la finalidad de servir de conexiones entre el arnés y el soporte de electrónica. La primera estructura que se encuentra en la parte superior es la continuidad del orificio para el paso de las conexiones de actuadores, la forma que tiene es parecido a un gancho con un tamaño de 4cm largo, ancho de 3 cm y altura de 3.8cm, que hará la función de enganchar con la parte superior de la placa metálica del arnés, de igual forma la estructura secundaria que se encuentra en la parte media del soporte que se utilizará como unión con el clip de gancho en la placa metálica. En conjunto ambas estructuras tendrán la ocupación de mantener fija la unión entre el soporte y la placa del arnés. En las siguientes imágenes se muestran diferentes perspectivas del modelo desarrollado:

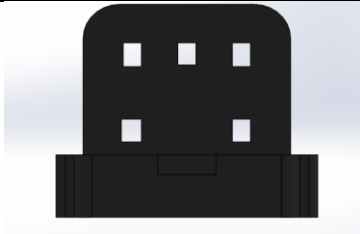
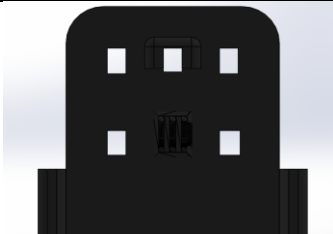
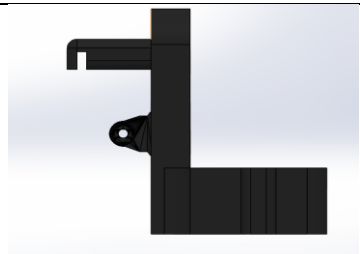
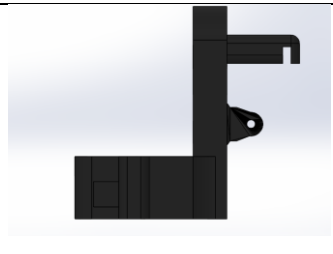
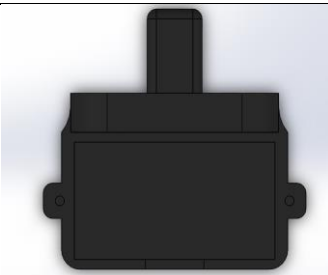
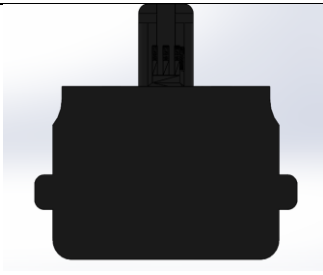
 <p>a) Vista frontal</p>	 <p>b) Vista posterior</p>
 <p>c) Vista lateral derecha</p>	 <p>d) Vista lateral izquierda</p>
 <p>e) Vista superior</p>	 <p>f) Vista inferior</p>

Tabla 3.2 Modelo del soporte de electrónica (imágenes por elaboración propia).

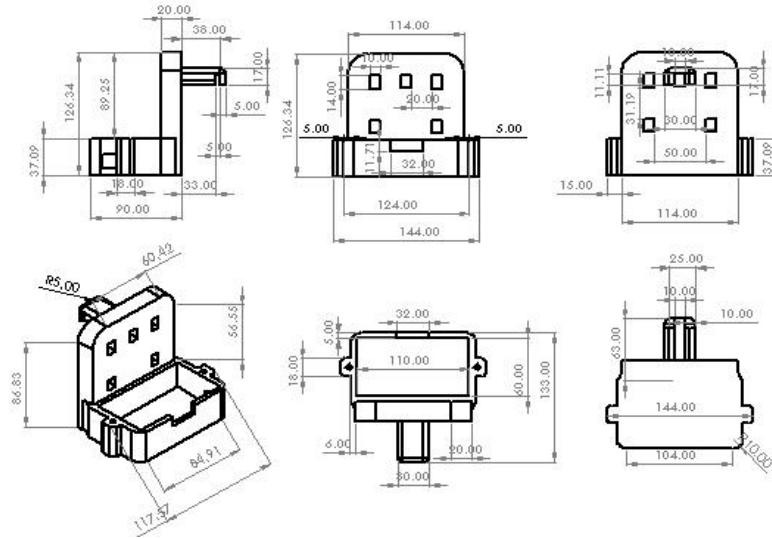
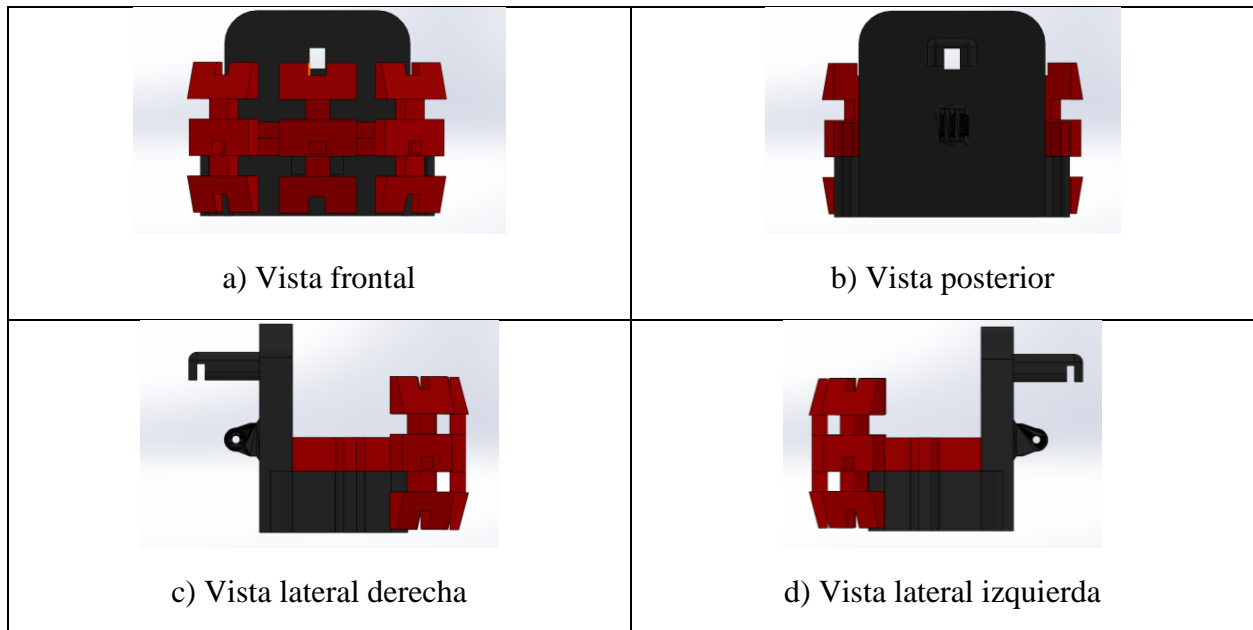


Figura 3.13 Plano del soporte para la parte electrónica (imágenes por elaboración propia).

El soporte de los sensores y el soporte de electrónica, trabajan en conjunto para ello, se conectan entre sí por medio de dos pestañas laterales una de cada lado diseñadas para colocar un tornillo en cada par de pestañas de 5 mm de diámetro, que será lo que mantendrá conectado ambas piezas, dichas pestañas se encuentran en ambas piezas. Las pestañas del soporte de sensores coinciden con las pestañas del soporte de electrónica. En las siguientes imágenes se muestra el ensamble del modelo desarrollado visto desde distintos ángulos.



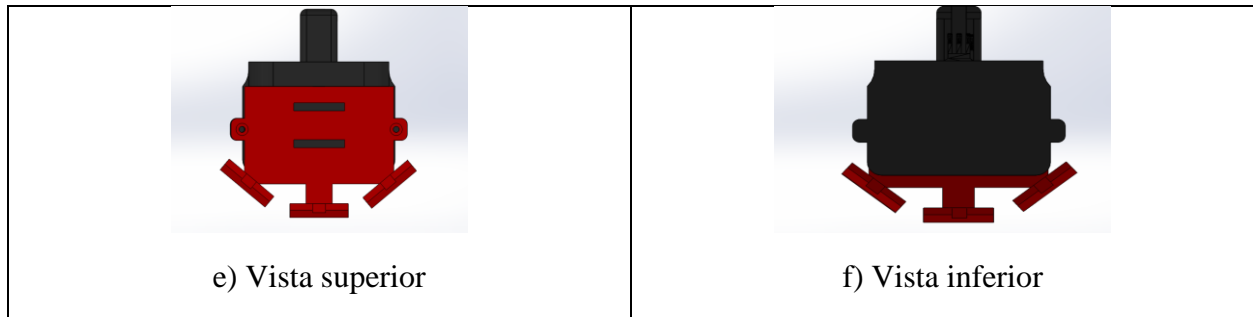


Tabla 3.3 Ensamble de las piezas que componen el prototipo (imágenes por elaboración propia).

En cada uno de los soportes se coloca uno de los sensores ultrasónicos dando como resultado la matriz 3 por 3 que se propone este trabajo de tesis. De forma gráfica que muestra el modelo de las piezas incluyendo los sensores en las posiciones que ocuparían en el prototipo final.

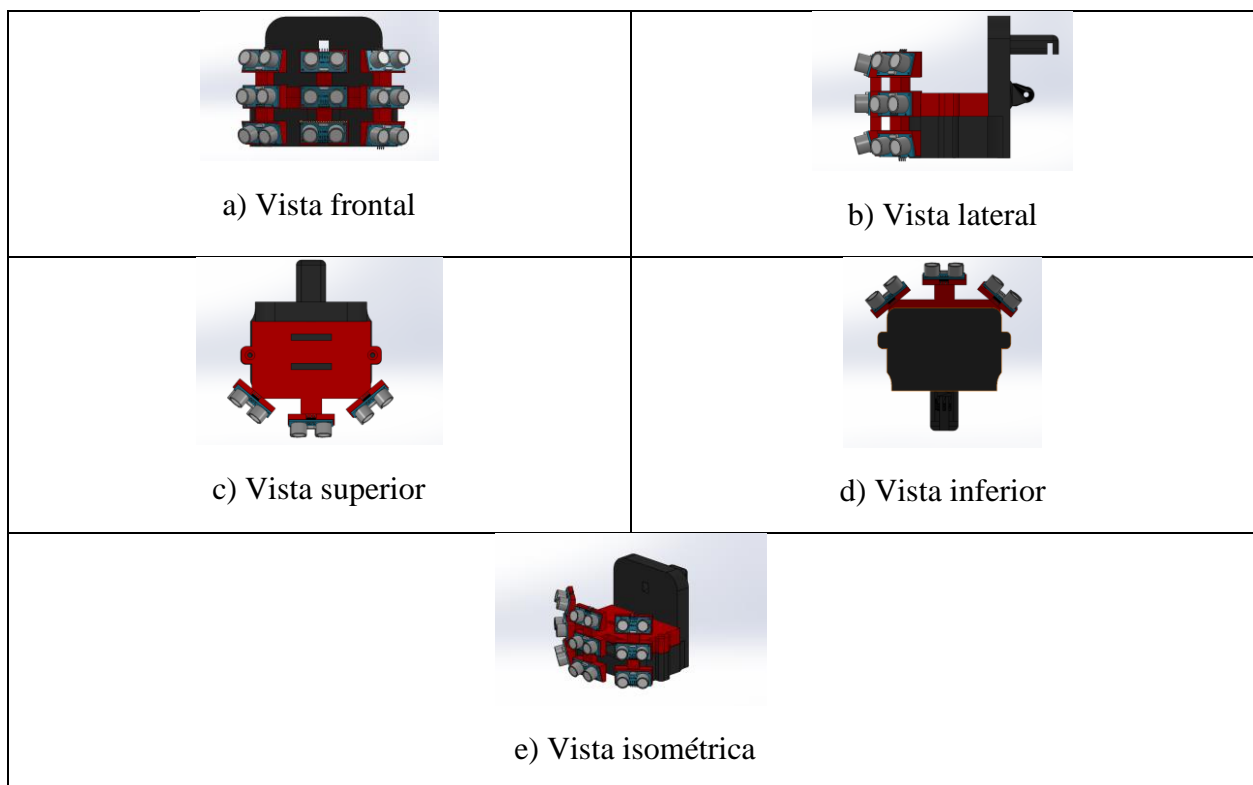


Tabla 3.4 Ensamble de las piezas junto con sensores (imágenes por elaboración propia).

El prototipo se une junto con el arnés, los elementos electrónicos y las piezas anteriormente mencionadas, como se puede visualizar en la figura 3.14. En el dispositivo se muestra los actuadores en la parte del arnés, la cual será la que esté en contacto con los pacientes, el dispositivo tiene una base plana lo que permite que se pueda dejar fácilmente sobre una superficie plana, además que el usuario podrá tomarlo fácilmente ya que mantiene una posición que facilita tomar las correas del arnés.

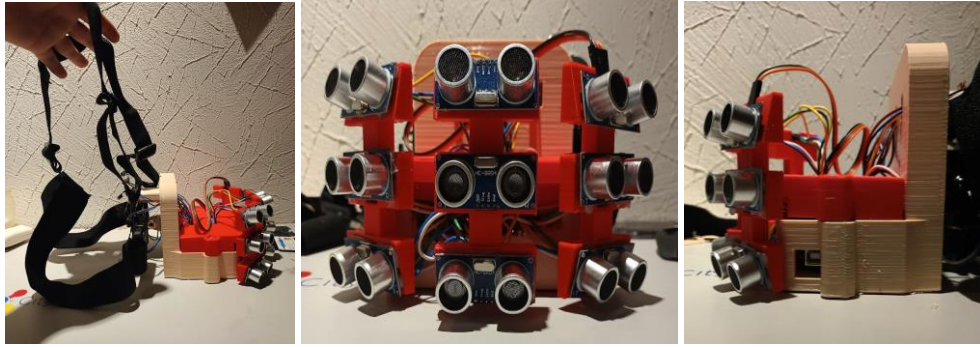


Figura 3.14 Imagen del prototipo (elaboración propia).

La parte que estará en contacto con el usuario para evitar algún peligro para evitar algún peligro por ende por ende se decidió colocar tela para aislar el contacto entre el usuario y los actuadores que son los motovibradores. como anteriormente se había explicado se dividiría igualmente en una matriz de 9 por 9 los actuadores, en dicha matriz se colocan los actuadores en una posición como se muestra en la figura 3.4. Otro de los elementos importantes que se tienen que tomar en cuenta es mantener las posiciones de los actuadores, ya que cada uno de ellos corresponderá a una posición al frente del usuario así que se debe mantener una posición fija para evitar confundir al usuario de en dónde se encuentra el objeto según la vibración. Los actuadores no deben moverse de las posiciones determinadas y aquí al moverse podría generar algún tipo de error o confusión por parte del usuario. La forma la forma para evitar esto fue colocar tela para aislar el actuador directamente del paciente y además colocarlo sobre la parte trasera del dispositivo en forma de matriz se hicieron separaciones con la misma tela para evitar que a pesar del movimiento esto se juntaran o dicho de otra manera que se juntan provocando una falsa lectura, Dicho ajuste siendo una de las de los siendo uno de los elementos más más importantes del dispositivo se muestra en las siguientes figuras:

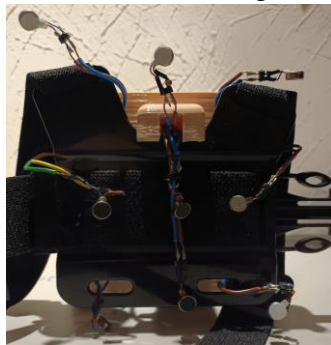


Figura 3.15 Imagen de actuadores sin tela (elaboración propia).



Figura 3.16 Imagen de actuadores con tela en matriz 9 por 9 (elaboración propia).

En la primera imagen se muestra cómo estarían los actuadores sin la adición de la tela, por lo que no tienen una posición fija (figura 3.15). La posición dentro de la matriz se le da con la adición de la tela, como se aprecia en la figura 3.16.

3.3 Diseño electrónico del prototipo

Los componentes electrónicos que se conectaron fueron 9 sensores ultrasónicos y 9 motovibradores que estarán controlados por un Arduino Mega. Los componentes electrónicos se dividen en la parte de adquisición de señales, la parte de procesamiento de señales y la parte de actuadores. La parte de adquisición de señales son los 9 elementos de sensores ultrasónicos, la parte de actuadores están compuestos por los motovibradores y ambos serán controlados por el Arduino quien regulará el funcionamiento de los actuadores dependiendo de las señales adquiridas por los ultrasónicos.

En el circuito para los motovibradores se conecta según las recomendaciones del fabricante. El circuito recomendado nos pide la utilización de un diodo rectificador de 1A y 25V, una resistencia de 1000 Ohm y un transistor 2n222, como se muestra en la figura 3.17. El motovibrador cuenta con dos conexiones que una será positiva y otra negativa, siguiendo las recomendaciones del fabricante, la terminal positiva se conecta a un diodo rectificador que se conecta a el voltaje común del dispositivo de 5V, la patita negativa se conecta a 5V y al mismo tiempo se conecta con el transistor. Un transistor tiene 3 terminales para conectarse, la primera de ellas se conecta con el moto-vibrador, en la segunda se hace una conexión entre el circuito y el microcontrolador, para hacerlo el transistor se conecta con una resistencia de 1000ohms y posteriormente se conecta la resistencia al microcontrolador, la última de las terminales del transistor es conectado a tierra, el circuito antes descrito se muestra en la figura 3.17, se repite el circuito para cada uno de los actuadores que se utilizaran en el prototipo.

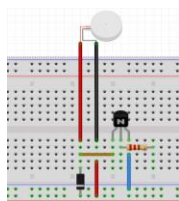


Figura 3.17 Esquema de conexión del circuito de actuadores (elaboración propia).

En las conexiones de los sensores ultrasónicos se realiza directamente al circuito de alimentación y al microcontrolador. El sensor ultrasónico se conecta mediante 4 pines, cada pin se conecta una parte esencial del módulo. El primer pin pertenece a la tierra(gnd) del módulo, el segundo pin es trigger que corresponde al micrófono del módulo del sensor ultrasónico, el tercer pin corresponde al generador de la señal ultrasónica se denomina “Echo” y por último se conecta la alimentación del módulo (VCC). Los pines “Echo” y “Trigger” se conectan directamente a pines del Arduino, a cada sensor se le asigna un par de pines que servirán para el control del módulo, los otros dos serán los pines de alimentación, conectados a la alimentación del dispositivo. El circuito se repite 9 veces correspondiente al número de sensores, solamente variando el número del pin en que se conecta el sensor.

La unión entre los circuitos de los sensores y los actuadores en un solo circuito se muestran en la siguiente figura 3.18 se puede apreciar las conexiones de los sensores al microcontrolador Arduino y también que los actuadores se conectan antes del microcontrolador se conectan el diodo

rectificador, transistor y a la resistencia para poder alargar la vida de uso y proteger al componente de los cambios de voltaje.

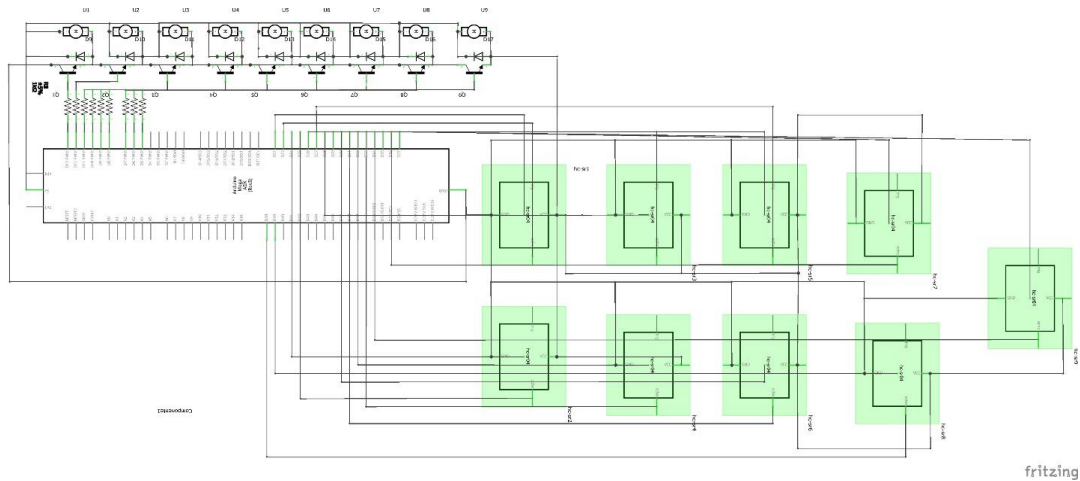


Figura 3.18 Diagrama del circuito utilizado en el proyecto (elaboración propia).

3.4 Programa desarrollado para el sistema

El desarrollo del programa para el prototipo se elabora en la plataforma de Arduino. El algoritmo, descrito en la figura 3.22 es un ciclo continuo donde al encender el dispositivo seguirá emitiendo señales ultrasónicas constantemente para la detección de objetos. La plataforma Arduino trabaja con un lenguaje derivado de Java, ya que es un software desarrollado en este. Todo algoritmo de Arduino cuenta con dos funciones predeterminadas que son: **void setup()** y **void loop()**. La primera función es el “setup”, en esta parte del programa se “ajustan” los parámetros iniciales que tendrá el microcontrolador, es decir que se establecen criterios que requieren una sola ejecución, como puede ser la comunicación que tendrán los elementos conectados al microcontrolador. En dicha función se declara la comunicación de cada sensor ultrasónico con el microcontrolador, en este caso de los ultrasónicos ocupan dos pines digitales en el Arduino, uno es declarado como salida mientras que otro es declarado como entrada. La segunda función predeterminada es “loop” o también conocida como función bucle, es la parte donde se escribe la sección del algoritmo que queremos que se repita infinitas veces. Cuando se enciende el microcontrolador se ejecuta el código dentro de la función “setup” una vez, luego se entra la función “loop”, donde el código se repite de forma indefinida hasta que el usuario lo indique, se apague o se reinicie el microcontrolador (figura 3.19). La plataforma fue seleccionada por la existen diversas librerías y facilidad de programación que permiten que los algoritmos cumplan con la función sin la necesidad que sean de gran carga computacional.

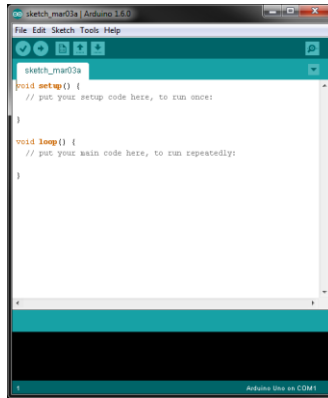


Figura 3.19 Plataforma de programación de Arduino (Caballero, 2019)

La primera parte que se programa en el algoritmo son las librerías para controlar los motovibradores, la cual nos define los registros y la programación base para utilizar los actuadores, el autor de la librería es Roboplan Technologies Ltd, dicha librería es de tipo libre lo que significa que se puede modificar y tiene una licencia pública (figura 3.20). La librería “Switchable.h” se utiliza para simplificar la programación de la frecuencia, mientras que la librería “Vibration Motor.h” controla la parte encendido y apagado del motovibrador.

```
#include "Switchable.h"  
#include "VibrationMotor.h"
```

Figura 3.20 Ejemplo de declaración de librerías utilizadas en el proyecto (elaboración propia).

El siguiente paso es la declaración de variables donde se define los pines y valores iniciales que se utilizarán durante todo el algoritmo desarrollado. Los sensores ultrasónicos utilizan dos pines para conectar con el microcontrolador, por lo tanto, se utilizan dos variables por sensor, los cuales se definen como constantes enteras. Por medio de los pines digitales se controla el sensor ultrasonido, uno de los pines digitales se conecta al pin Trigger que funcionará como el pin que controla la salida del sensor. El pin Echo se declara en el programa como entrada, ya que la señal obtenida por el sensor será transmitida por dicho pin, hasta el Arduino. En la misma fase en el algoritmo se inicia con el pin Trigger de los sensores ultrasónicos con un valor “Low”, en Arduino dicho valor quiere decir que el pin está en 0 o en otras palabras se encuentra apagado.

En Arduino se pueden declarar funciones que son segmentos de código separado del resto del código principal. Las funciones realizan una tarea o proceso en específico, dicha función es llamada desde el código principal se realiza el subprocedimiento que se programa en la función y una vez terminada la tarea regresará al código principal, donde seguirá con el algoritmo escrito. La utilidad de las funciones permite tener un código más compacto y que se pueda programar por bloques haciendo más fácil que se utilice la misma tarea en diferentes puntos del código principal y además que el código tenga una carga computacional menor. La primera de las funciones utilizadas en el programa es “Distancia”, en donde se realiza el cálculo de la distancia con los datos obtenidos.

En la programación de arduino se utilizan palabras clave para realizar métodos ya pre-programados. Un ejemplo de ello es “digitalWrite” que permite escribir valores lógicos digitales

en un pin declarado como salidas. Otro de los métodos pre-programados es “pulseIn” que cuando pasa de LOW a HIGH, comienza a cronometrar hasta que el pin vuelve a pasar a LOW terminando el cronometraje. Ambos elementos se utilizan en la función “distancia”, en dicha función se cambian los valores de los pines donde están conectados los sensores ultrasónicos. Se usa “digitalWrite” para cambiar a encendido el pin Trigger del sensor ultrasónico, el sensor generara una onda ultrasónica, la siguiente línea es “delayMicroseconds” que pausa el programa por 10 microsegundos, pasado ese tiempo el programa pasa a la siguiente línea que es cambiar el valor del pin Trigger por LOW, dejando apagado el sensor ultrasónico. La variable “t1” servirá para almacenar el ancho del pulso, utilizando la función “pulseIn” que cronometra el tiempo que tarda en rebotar la onda ultrasónica. Por último, se convierte el tiempo cronometrado a distancia utilizando la ecuación $distancia = \frac{tiempo}{58}$ que nos proporciona la hoja de datos del sensor HC-SR04. La distancia obtenida se regresa al programa principal.

A cada uno de los actuadores se le asignan a un pin analógico en el cual se conectará al microcontrolador. Una vez que se definen los pines, mediante la librería “Vibration Motor.h” se define una segunda variable para cada uno de los actuadores, que simplificará la programación en el resto del algoritmo.

La distancia obtenida por medio de los sensores y la conversión antes descrita será el valor que define la actuación de los motovibradores, en este caso se crea la función “Objeto”. La función tendrá la tarea de clasificar la distancia entre los diferentes casos, que corresponden a la separación que existe entre el objeto y el dispositivo. Se dividen en 4 rangos de distancia, el primero que es de menor probabilidad de choque corresponde a 151 cm a 200 cm, siendo el máximo medible del dispositivo de 2 metros. El segundo rango es de 101 cm a 150 cm, donde se establece como probabilidad leve o moderada. El tercer rango abarca desde 51 cm a 100cm, el cual se ya es un rango de probabilidad alta de un impacto, mientras que el último rango es de 0 cm a 50 cm corresponde a una posible colisión con algún objeto. Se establecen 50cm como espacio entre rangos que corresponden al espacio que tendrá el usuario para modificar su dirección con respecto a la vibración generada por el sensor. En la programación se utilizan los condicionales “if”, “else if” y “else” para clasificar la distancia medida por cada sensor, su tarea radica que compara un valor o carácter con la condición de que se establece entre los paréntesis, en este caso compara la distancia obtenida con los rangos de distancia que tenemos establecidos. Una vez que se cumple la condición, la función “if” permite realizar la tarea que se encuentra entre las llaves, en el caso de no cumplir con la condición pasa a la función “else if” donde encontrará otra condición, si se cumple se realizará la tarea que se encuentra dentro de las llaves, en caso de que no pasara al siguiente “else if”. Se repite el proceso con cada una de las condiciones programadas hasta llegar a la función “else” que al ser la última función será el caso que no cumplió con ninguna de las condiciones por ende se realizará un procedimiento especial.

En los casos especiales se establecen dos, que corresponden a distancias mayores a 2 m ya la distancia 1182 cm, ya que es una medida errónea cuando el sensor no logra reconocer la distancia. Los sensores ultrasónicos como anteriormente se mencionó tienen un alcance hasta de 3 metros, pero por la pérdida de precisión después de los 2 m se decidió omitir y no provocar ninguna vibración hasta que el objeto u objetos entren al rango de 2 m. El segundo caso especial

es un error dentro de los sensores los cuales cuando tienen un objeto demasiado cerca, es decir a menos de 5 cm envían un valor mayor a 1000, lo que es un valor fuera del rango de medición del sensor. La razón es que es demasiado rápido el regreso de la onda que el sensor no alcanza a interpretarlo, para evitar una falta de aviso se establece que cuando se tenga un valor mayor a 1000 cm se genera una vibración igual al rango de mayor posibilidad de colisión. El algoritmo se tuvo que adaptar para las posiciones inferiores, en las cuales dependiendo del tamaño del usuario se debe modificar los valores de los rangos, ya que existen personas con alturas diferentes lo que modifica la distancia entre su pecho y el suelo, debido a eso entre cada usuario se tuvo que hacer una modificación y una medición de la distancia entre el suelo y la posición en la que estaría el dispositivo.

En este proyecto de tesis la tarea que se realiza al cumplir alguna de las condiciones, antes descritas, es la activación de los actuadores, cada actuador corresponde a un sensor en una posición determinada, por esta razón se divide en 9 funciones parecidas a la antes mostrada en la figura 3.21, exceptuando los actuadores correspondientes a los sensores que apuntan a la superficie del suelo, los cuales tendrán una modificación dependiendo del usuario. La activación en cada uno de los actuadores corresponderá a la distancia medida, modificando el tiempo de vibración según sea el caso. El tiempo de vibración del actuador será proporcional a la posibilidad de colisión con un objeto, es decir que mientras más cerca esté el usuario a un objeto mayor será la vibración, mientras que en el caso contrario disminuirá la vibración.

```
distancia();  
Objeto1 (d1);  
Objeto2 (d2);  
Objeto3 (d3);  
Objeto4 (d4);  
Objeto5 (d5);  
Objeto6 (d6);  
Objeto7 (d7);  
Objeto8 (d8);  
Objeto9 (d9);
```

Figura 3.21 Algoritmo con funciones "Distancia" y "Objetos" (imagen por elaboración propia).

En el “void loop” se repetirán las funciones de “Distancia” y las funciones de “Objeto” de cada uno de los actuadores, dejando un espacio entre mediciones de 0.1 segundos. En la siguiente figura 3.22, se muestra el diagrama de flujo del programa, donde se puede observar el proceso completo que realiza el programa durante la utilización del prototipo. En el anexo # se muestra el programa completo implementado en el dispositivo.

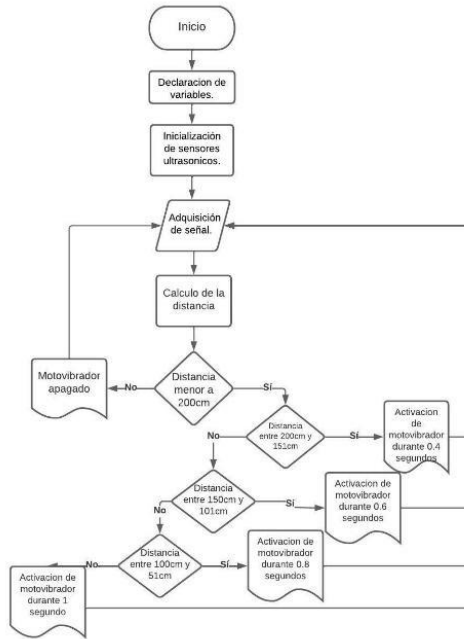


Figura 3.22 Diagrama de flujo del programa utilizado (imagen por elaboración propia).

3.5 Selección de materiales

El desarrollo del dispositivo tiene que tomar en cuenta varios aspectos para la selección del material, dicho esto es necesario la utilización de un material ligero que permita al usuario movilizar sin que se vuelva un estorbo durante sus desplazamientos. Esta es una razón muy importante debido a que el proyecto se orienta hacia personas de la tercera edad, que posiblemente tengan dificultades para cargar objetos con mucho volumen y alto peso. Además, que se buscaba un material con el cual se pudieron realizar varios prototipos y a su vez realizar varios dispositivos de este sin elevar el costo del proyecto.

Utilizando la manufactura por adición se seleccionó el ácido poliláctico que generalmente es conocido como material PLA, dicho material se caracteriza por ser uno de los materiales más comunes durante la impresión en 3D. Los dispositivos que realizan este tipo de manufactura utilizan filamentos de diferentes tipos de material, él pelea al ser un material que se puede trabajar y manipular a baja temperatura a comparación de otros materiales y que no requiere un precalentamiento facilita su uso. los atributos los atributos que tiene a favor el pelean es que tiene una fuerza rígida adecuada para los modelos propuestos en esta tesis, durante la impresión tiene una precisión dimensional que evita que se desperdicie material y siendo un material derivado de los cultivos del maíz y la caña de azúcar es un material biodegradable lo que disminuye el impacto en el medio ambiente. La marca de PLA empleado en este proyecto es de una empresa mexicana llamada MC3D, elegida por ser un producto de alta calidad y de bajo costo.

El prototipo se realizó en manufactura aditiva utilizando el PLA, La selección de colores no se le tomó gran importancia excepto en la en la pieza de soporte de sensores. El color en dicha pieza era importante ya que es el frente del dispositivo hice busco que fuera un color llamativo para

poder llamar la atención de los transeúntes durante su uso de esta manera al igual que el bastón para avisar a las personas de que el usuario es una persona con un tipo de discapacidad visual. Por esta razón se seleccionó el color rojo ya que es un color fácilmente visible y llamativo.

3.6 Selección y valoración de participantes

Los pacientes que quieran participar deberán cumplir ciertas condiciones. De esta manera el estudio se podrá llevar a cabo minimizando el riesgo y haciendo efectiva la obtención de resultados.

Los participantes sin ceguera:

- Personas con una edad de entre 20 a 60 años.
- Personas sin enfermedades crónicas o enfermedades que al estar sometidos bajo estrés provocan una razón peligrosa.
- Personas sin pérdida de visión o con una pérdida de visión leve.
- Personas con buena audición o que no necesiten aparato para escuchar.

Los participantes con discapacidad visual:



- Personas con una edad de 60 años o mayores.
- Personas sin enfermedades crónicas o enfermedades que al estar sometidos bajo estrés provocan una razón peligrosa.
- Personas que no utilicen aparato auditivo para escuchar.
- Tener un nivel de ceguera moderada (agudeza visual menor a 6/18) o grave (agudeza visual menor 6/60). En estos niveles a pesar de tener una baja visión, todavía pueden distinguir sombras o formas.
- El participante deberá contar con un acompañante (ya sea familiar o un conocido de su entera confianza) que ayudará a cuidar su integridad física en el caso de presentarse un mal funcionamiento en el sistema; además el acompañante deberá leer la carta para informar de los riesgos en los que incurrirá al participar en la prueba.

Capítulo 4

4.1 Clasificación de objetos

Durante la parte experimental del proyecto y siguiendo la metodología propuesta se realizaron pruebas con objetos que tuvieran semejanza con obstáculos que se pueden encontrar durante el desplazamiento del usuario, sin embargo, por la cantidad enorme de objetos y formas posibles se optó por sesgar los obstáculos posibles, dejando únicamente los más comunes y de forma regular, para facilitar su clasificación según el tipo geométrico que predomina en su estructura principal.

El experimento se realizó en una colonia residencial de la ciudad de Querétaro, donde existe poca afluencia de personas y de automóviles, permitiendo que exista un mayor control sobre los posibles obstáculos que se encuentran en la vía pública. Tomando en cuenta la metodología propuesta se determinó una ruta posible dentro de la colonia de 10 m en línea recta y a partir de esta ruta se tomaron en cuenta los obstáculos que se podrían encontrar los usuarios al recorrer esta parte de la colonia. Dentro de la ruta no se tomaron en cuenta automóviles ya que son objetos que están en constante cambio de posición, y se optó por mantener los obstáculos que estuvieran de forma permanente dentro de la ruta. Una vez que se establecieron los objetos permanentes dentro de la ruta se tomaron fotografías y se clasificaron los obstáculos según la forma geométrica que predominaba en su estructura. A continuación, se muestra una tabla con las imágenes más relevantes y su clasificación según el cuerpo geométrico que conforman su estructura principal:

Cuerpo geométrico	Imagen	Ejemplo de objeto
Cilindro		


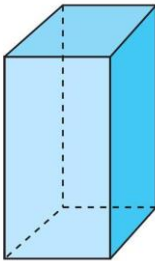

		
<p>Prisma rectangular</p>		

Tabla 4.1 Obstáculos en la vía pública (imágenes por elaboración propia).

En la ruta establecida se encontró que uno de los cuerpos geométricos con mayor recurrencia era el cilindro puesto que es la estructura principal para postes de alumbrado público, postes de luz y señalamiento de calles. Uno de los obstáculos más recurrentes también fueron los árboles que si bien tiene una forma irregular en su tronco, ramas y follaje, para fines del estudio se estableció que los árboles serían clasificados como cilindros por ser el cuerpo geométrico con mayor similitud, es importante aclarar que dicha clasificación no abarca a todos los árboles existentes únicamente los encontrados dentro de la ruta establecida.

El segundo cuerpo geométrico dentro de la clasificación es el prisma rectangular que se encontró en mayor cantidad en señalamientos para automovilistas cómo puede ser el caso de señales de alto, señales de paso peatonal, señales de límite de velocidad o señales de no estacionar, las anteriores fueron clasificadas como prismas ya que el poste que sirve de base para dichas señales corresponde a un tipo de prisma rectangular. Debido a que el objetivo del dispositivo es detectar objetos a niveles del usuario se le dio prioridad a la base del señalamiento que, a la forma del disco informativo, pues el usuario tendrá más contacto con el poste con forma de prisma rectangular. En la misma clasificación se establecen otros obstáculos los cuales compartían la forma de prisma rectangular sin embargo tenían una distribución diferente de medidas que se puede observar a simple vista a pesar de ello siguen teniendo como principal cuerpo geométrico el prisma rectangular. Se tomará en cuenta dichas formas y distribución de medidas para los objetos utilizados dentro de las pruebas con el dispositivo.

En la ruta también se encontraron otros objetos como piedras irregulares, bardas sin terminar, transformadores de luz, barandales, cestas para bolsas de basura y conexiones de cables, que se agruparon en los cuerpos anteriores, siguiendo el procedimiento de que tuvieran alguno de los cuerpos geométricos. Por esta razón para las pruebas de los sensores se utiliza el prisma rectangular y el cilindro, por su repetida aparición dentro de la ruta únicamente variando en tamaño. Los objetos seleccionados se muestran en la figura 4.1 siendo un tubo de espuma de polietileno, con un diámetro de 6cm y una altura de 1.5m, y una tabla con 10 cm de ancho, 2.5cm de largo y 2.10m de altura.



Figura 4.1 Cuerpos geométricos seleccionados para realizar pruebas (imagen por elaboración propia).

4.2 Pruebas de la matriz de sensores con cuerpos geométricos

La clasificación se utiliza para realizar pruebas del comportamiento con la matriz de sensores, colocando los cuerpos geométricos que se asemejan a los obstáculos encontrados en la vía pública, siendo el prisma rectangular y el cilindro. Se colocaron los cuerpos geométricos enfrente de la matriz en 3 posiciones diferente que son: izquierda, derecha y centro como se muestra en las figuras 4.2 y 4.3, y a su vez en 4 distancias establecidas como los promedios de los rangos programados en el dispositivo que son: 175 cm, 125 cm, 75 cm y 25 cm sobre la horizontal. El procedimiento se realiza con el cilindro y con el prisma, que serán representados por los cuerpos

mostrados en la figura 4.1, en las siguientes imágenes se muestran las 3 posiciones con ambos obstáculos.



Figura 4.2 Prueba de funcionamiento de matriz de sensores en diferentes posiciones con prisma rectangular (imagen por elaboración propia).



Figura 4.3 Prueba de funcionamiento de matriz de sensores en diferentes posiciones con cilindro (imagen por elaboración propia).

Las pruebas de los sensores tienen como objetivo determinar la eficacia del dispositivo para identificar los 2 cuerpos principales encontrados en la vía pública y determinar si existe alguna variante entre las mediciones derivado de la forma del obstáculo. Los objetos seleccionados para las pruebas tienen la forma del cuerpo geométrico correspondiente a la clasificación que se realizó. El comportamiento de los sensores se registra en cada posición existen 3 sensores, por ende, tenemos por cada promedio de distancia se generan 9 mediciones correspondientes a la matriz:

Distancia medida	175cm			125cm			75 cm			25 cm		
	Sensor en Superior	Sensor en Central	Sensor en Inferior	Sensor en Superior	Sensor en Central	Sensor en Inferior	Sensor en Superior	Sensor en Central	Sensor en Inferior	Sensor en Superior	Sensor en Central	Sensor en Inferior
Posición izquierda	175.35	175.1	172.1	124.67	124.6	125.5	73.97	73.63	74.22	23.02	24.35	25.43
Posición centro	174.8	173.6	174.3	123.50	124.8	124.8	73.97	74.22	73.18	23.02	24.18	24.33

Posición derecha	175	174.8	173	125.66	125	125	75.10	73.18	73.97	23.19	24.27	25.11
------------------	-----	-------	-----	--------	-----	-----	-------	-------	-------	-------	-------	-------

Tabla 4.2 Pruebas de matriz de sensores con Prisma rectangular.

Distancia medida	175cm			125cm			75 cm			25 cm		
Posición del sensor	Sensor en Superior	Sensor en Central	Sensor en Inferior	Sensor en Superior	Sensor en Central	Sensor en Inferior	Sensor en Superior	Sensor en Central	Sensor en Inferior	Sensor en Superior	Sensor en Central	Sensor en Inferior
Posición izquierda	170.2	170.2	173.3	119.0	120.4	120.5	72.2	74.5	74.1	22.5	22.9	21.2
Posición centro	170.6	170.6	172.4	121.5	119.4	120.7	72.8	73.7	72.9	23.0	23.1	22.2
Posición derecha	169.6	171.4	173.3	119.1	119.5	119.9	71.6	72.2	73.7	22.1	22.5	20.5

Tabla 4.3 Pruebas de matriz de sensores con cilindro.

4.3 Pruebas de la matriz de sensores con objetos en vía pública

Se realizaron pruebas en la vía pública con ejemplos de los obstáculos más recurrentes dentro de la ruta establecida por el experimento, dichas pruebas se llevaron a cabo sin que el dispositivo estuviera en el pecho de un usuario para comprobar que el dispositivo lograba reconocer la existencia de un obstáculo y las distancias con los sensores en exteriores, todo esto para evitar poner en riesgo a los sujetos de prueba.

El procedimiento que se siguió fue medir la distancia entre la matriz y los obstáculos, primero con un flexómetro y posteriormente con los sensores. Las mediciones se efectúan en 3 posiciones diferentes: izquierda, derecha y centro, así mismo se realiza en los promedios de los rangos de distancia que se le programaron al dispositivo que serían: 175 cm, 125 cm, 75 cm y 25cm que será la distancia horizontal entre el dispositivo y el objeto. El procedimiento se repitió 10 veces con los sensores para obtener un promedio y encontrar el error entre las mediciones. En la figura 4.4 se muestran las 3 posiciones (derecha, centro e izquierda) del sensor para medir la distancia con el árbol, se tomó como referencia este árbol por su forma más regular con respecto a otros árboles.



Figura 4.4 Medición con los sensores en 3 posiciones diferentes con un árbol (imagen por elaboración propia).

El mismo procedimiento se repite para el caso del poste de alumbrado público y la señal de alto, se tomaron en cuenta las mismas posiciones y las 4 medias de referencia. En las figuras 4.5 y 4.6 se muestra cómo se realizaron las pruebas.

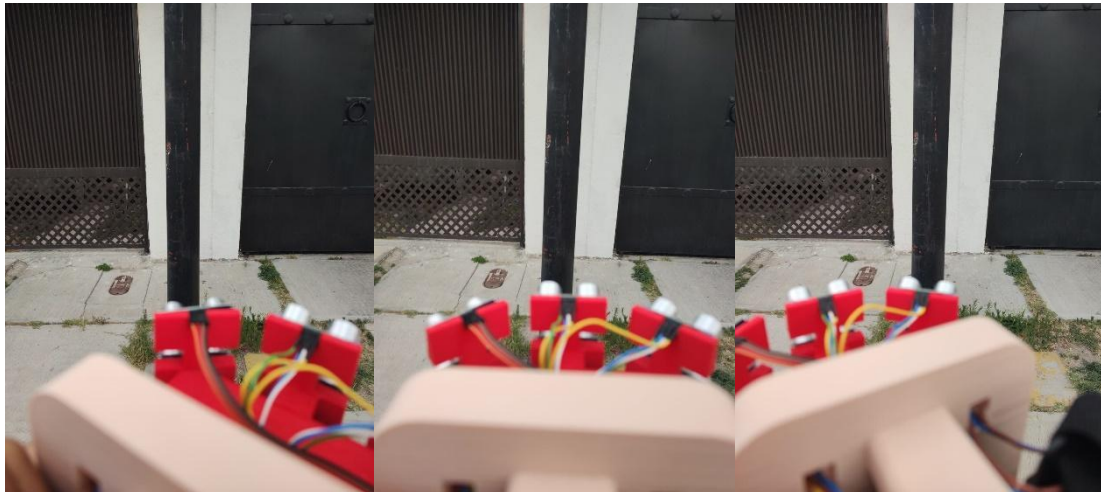


Figura 4.5 Medición con los sensores en 3 posiciones diferentes con un poste de alumbrado público (imagen por elaboración propia).



Figura 4.6 Medición con los sensores en 3 posiciones diferentes con una señal de alto (imagen por elaboración propia).

Las pruebas se realizaron en cada una de las posiciones y en las medidas establecidas, en las siguientes tablas exponen los promedios obtenidos, así como el error absoluto y el error relativo en porcentaje.

Obstáculo Árbol	Distancia real (cm)	Promedio de distancia medida(cm)			Error absoluto	Error relativo (%)
		Posición derecha	Posición central	Posición izquierda		
Posición superior	35	33.2	31.9	32.1	-2.6	-7.42856
Posición central	25	24.5	26.2	25.7	0.4667	1.8667
Posición inferior	40	41.3	38.5	38.6	-0.533	-1.33

Tabla 4.4 Mediciones obtenidas en exterior con un árbol a 25 cm.

Obstáculo Árbol	Distancia real (cm)	Promedio de distancia medida(cm)			Error absoluto	Error relativo (%)
		Posición derecha	Posición central	Posición izquierda		
Posición superior	85	82.4	83.7	82.7	-2.0667	-2.4314
Posición central	75	74.7	76	76.3	0.6667	0.888933
Posición inferior	90	88.5	90.9	91.2	0.2	0.222

Tabla 4.5 Mediciones obtenidas en exterior con un árbol a 75 cm.

Obstáculo Árbol	Distancia real (cm)	Promedio de distancia medida(cm)			Error absoluto	Error relativo (%)
		Posición derecha	Posición central	Posición izquierda		
Posición superior	135	133.4	134.9	133.7	-1	-0.741
Posición central	125	123.2	122	122.4	-2.46667	-1.9733
Posición inferior	140	138.5	141	139.4	-0.36667	-0.2619

Tabla 4.6 Mediciones obtenidas en exterior con un árbol a 125 cm.

Obstáculo Árbol	Distancia real (cm)	Promedio de distancia medida(cm)			Error absoluto	Error relativo (%)
		Posición derecha	Posición central	Posición izquierda		
Posición superior	165	167.3	168.6	167.8	2.9	1.75758
Posición central	175	174.2	175.9	173.4	-0.5	-0.2857
Posición inferior	190	189.4	191.2	190.3	0.3	0.1579

Tabla 4.7 Mediciones obtenidas en exterior con un árbol a 175cm.

Obstáculo Poste de alumbrado público.	Distancia real (cm)	Promedio de distancia medida(cm)			Error absoluto	Error relativo (%)
		Posición derecha	Posición central	Posición izquierda		
Posición superior	25	23.3	23.2	22.1	-2.13333	-8.53333
Posición central	25	24.5	24.7	25.7	-0.03333	-0.13333
Posición inferior	25	24.9	25.1	26.4	0.466667	1.866667

Tabla 4.8 Mediciones obtenidas en exterior con un poste de alumbrado público a 25 cm.

Obstáculo Poste de alumbrado público.	Distancia real (cm)	Promedio de distancia medida(cm)			Error absoluto	Error relativo (%)
		Posición derecha	Posición central	Posición izquierda		
Posición superior	75	72.5	71.7	72.5	-2.766667	-3.6888889
Posición central	75	74.2	72	76.02	-0.926667	-1.23555556
Posición inferior	75	76.5	70.2	74.5	-1.266667	-1.6888889

Tabla 4.9 Mediciones obtenidas en exterior con un poste de alumbrado público a 75 cm.

Obstáculo Poste de alumbrado público.	Distancia real (cm)	Promedio de distancia medida(cm)			Error absoluto	Error relativo (%)
		Posición derecha	Posición central	Posición izquierda		
Posición superior	125	119.9	120.9	123.3	-3.633	-2.90666667
Posición central	125	120.4	119.3	122.4	-4.3	-3.44
Posición inferior	125	123.5	120.5	121.4	-3.2	-2.56

Tabla 4.10 Mediciones obtenidas en exterior con un poste de alumbrado público a 125 cm

Obstáculo Poste de alumbrado público.	Distancia real (cm)	Promedio de distancia medida(cm)			Error absoluto	Error relativo (%)
		Posición derecha	Posición central	Posición izquierda		
Posición superior	175	170	170.2	170.1	-4.9	-2.8
Posición central	175	170.2	169	168.7	-5.7	-3.25714286
Posición inferior	175	171.1	171.1	172.3	-3.5	-2

Tabla 4.11 Tabla de mediciones obtenidas en exterior con un poste de alumbrado público a 175cm.

Obstáculo Señalamiento vial de "Alto".	Distancia real (cm)	Promedio de distancia medida(cm)			Error absoluto	Error relativo (%)
		Posición derecha	Posición central	Posición izquierda		
Posición superior	25	24.2	24.1	25.7	-0.333333	-1.33333333
Posición central	25	23.1	24.3	24	-1.2	-4.8
Posición inferior	25	24	24.9	24.8	-0.433333	-1.73333333

Tabla 4.12 Mediciones obtenidas en exterior con un señalamiento vial "alto" a 25 cm.

Obstáculo Señalamiento vial de "Alto".	Distancia real (cm)	Promedio de distancia medida(cm)			Error absoluto	Error relativo (%)
		Posición derecha	Posición central	Posición izquierda		
Posición superior	75	74.5	76.8	74.5	0.26666667	0.35555556
Posición central	75	74.7	75.6	75.1	0.13333333	0.17777778
Posición inferior	75	75.5	75.7	74.5	0.23333333	0.31111111

Tabla 4.13 Mediciones obtenidas en exterior con un señalamiento vial "alto" a 75 cm.

Obstáculo Señalamiento vial de “Alto”.	Distancia real (cm)	Promedio de distancia medida(cm)			Error absoluto	Error relativo (%)
		Posición derecha	Posición central	Posición izquierda		
Posición superior	125	119.9	125.1	123.3	-2.23333333	-1.78666667
Posición central	125	120.4	123.8	122.4	-2.8	-2.24
Posición inferior	125	123.5	124.2	121.4	-1.96666667	-1.57333333

Tabla 4.14 Mediciones obtenidas en exterior con un señalamiento vial "alto" a 125 cm.

Obstáculo Señalamiento vial de “Alto”.	Distancia real (cm)	Promedio de distancia medida(cm)			Error absoluto	Error relativo (%)
		Posición derecha	Posición central	Posición izquierda		
Posición superior	175	170	175.6	170.1	-3.1	-1.77142857
Posición central	175	170.2	174.9	168.7	-3.73333333	-2.13333333
Posición inferior	175	171.1	175.5	172.3	-2.033333	-1.16190476

Tabla 4.15 Mediciones obtenidas en exterior con un señalamiento vial "alto" a 175cm.

Una vez obtenido las medidas y los promedios se calcula el error de cada uno de los datos anteriores para mejor visualización y análisis se presentan los resultados del error relativo en porcentaje en la tabla 4.16. El primero de los gráficos nos explica el error durante las pruebas con el árbol donde tenemos que el mayor error es de -7.43% que se presentó en los sensores superiores de la matriz a la distancia de 35 cm del árbol y en el caso del valor menor fue de 0.16% en los sensores inferiores durante la prueba a 190 cm de distancia.

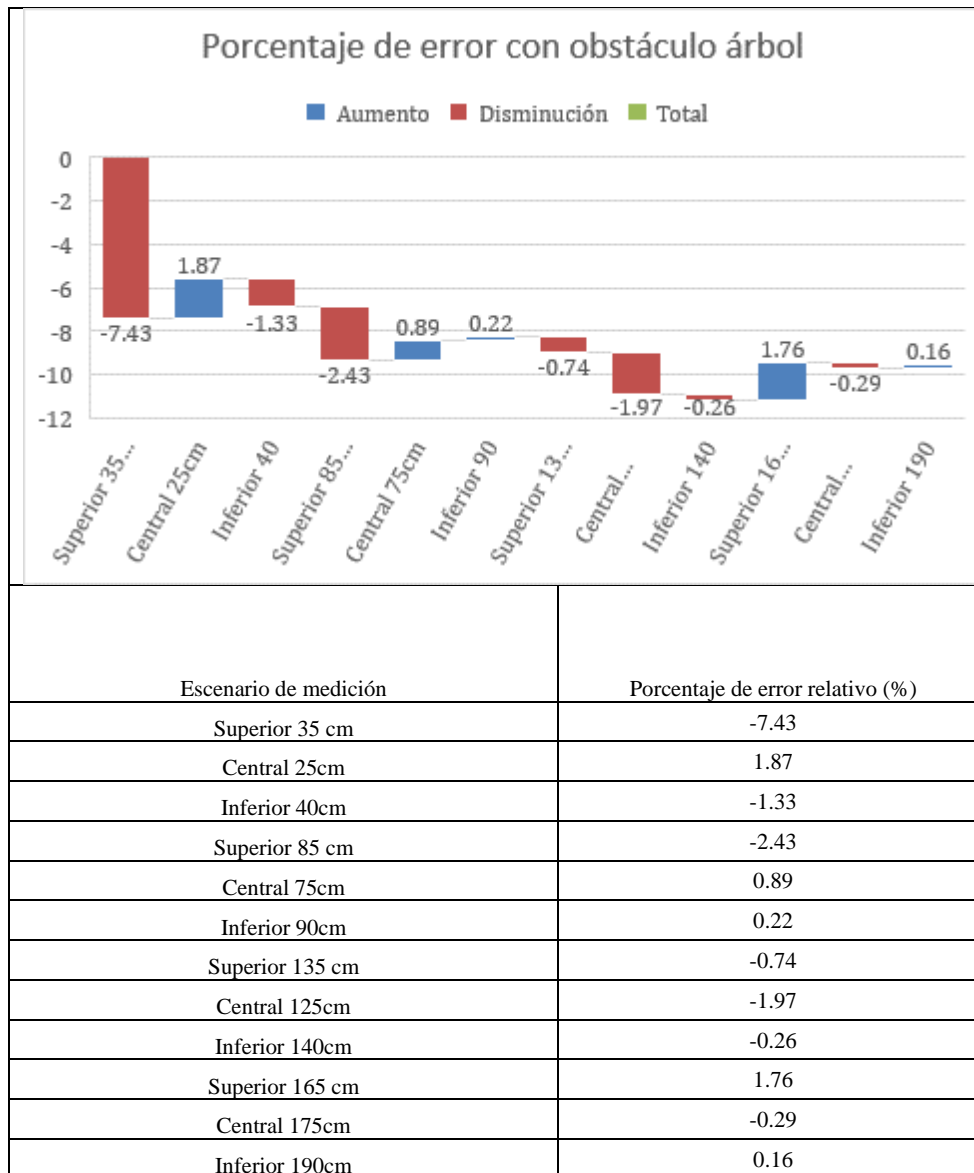


Tabla 4.16 Porcentaje de error relativo durante prueba en exterior con árbol.

En la segunda prueba, en la tabla 4.17 se utilizó el poste de alumbrado público como objeto, el error mayor que existió durante las mediciones entre el sensor y el poste de alumbrado público fue de -8.53%, que se presentó al momento de encontrarse a 25 cm en los sensores superiores de la matriz, caso contrario respecto al menor error que fue el de -0.13% en el caso de los sensores centrales a la misma distancia. Posteriormente el resto de los sensores tuvo un error aproximado de entre 4% y 2%.

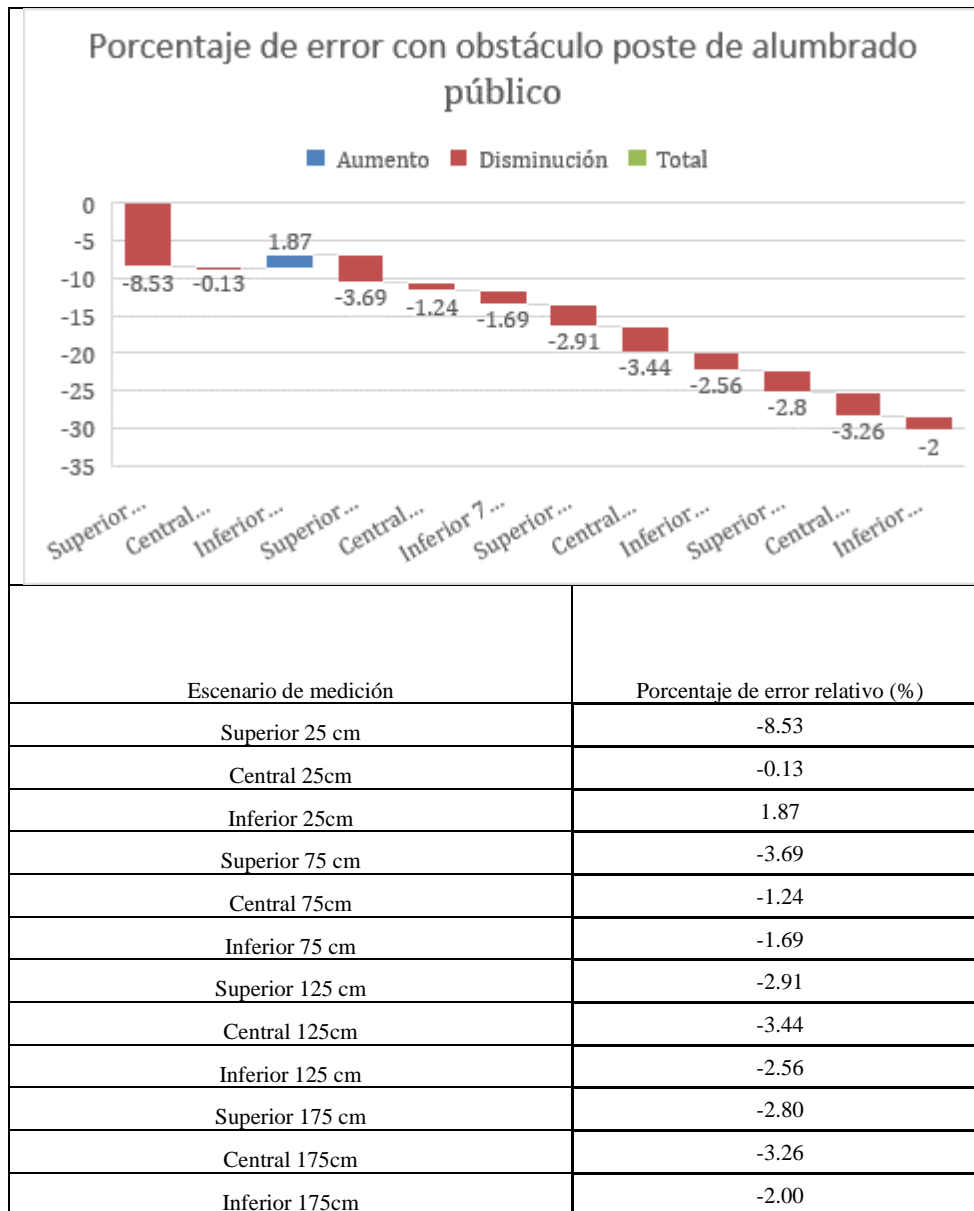


Tabla 4.17. Porcentaje de error relativo durante prueba en exterior con poste de alumbrado público.

En el último de los casos se realizaron las mismas pruebas utilizando ahora una señal de alto encontrada en la vía pública. Durante las pruebas se pudo observar que el mayor error existió en la prueba con los sensores centrales a 25 cm que fue un error de -4.8%, y el menor de los errores fue de 0.18% durante la prueba a la distancia de 75 cm con los sensores central como se observa en la tabla 4.18.

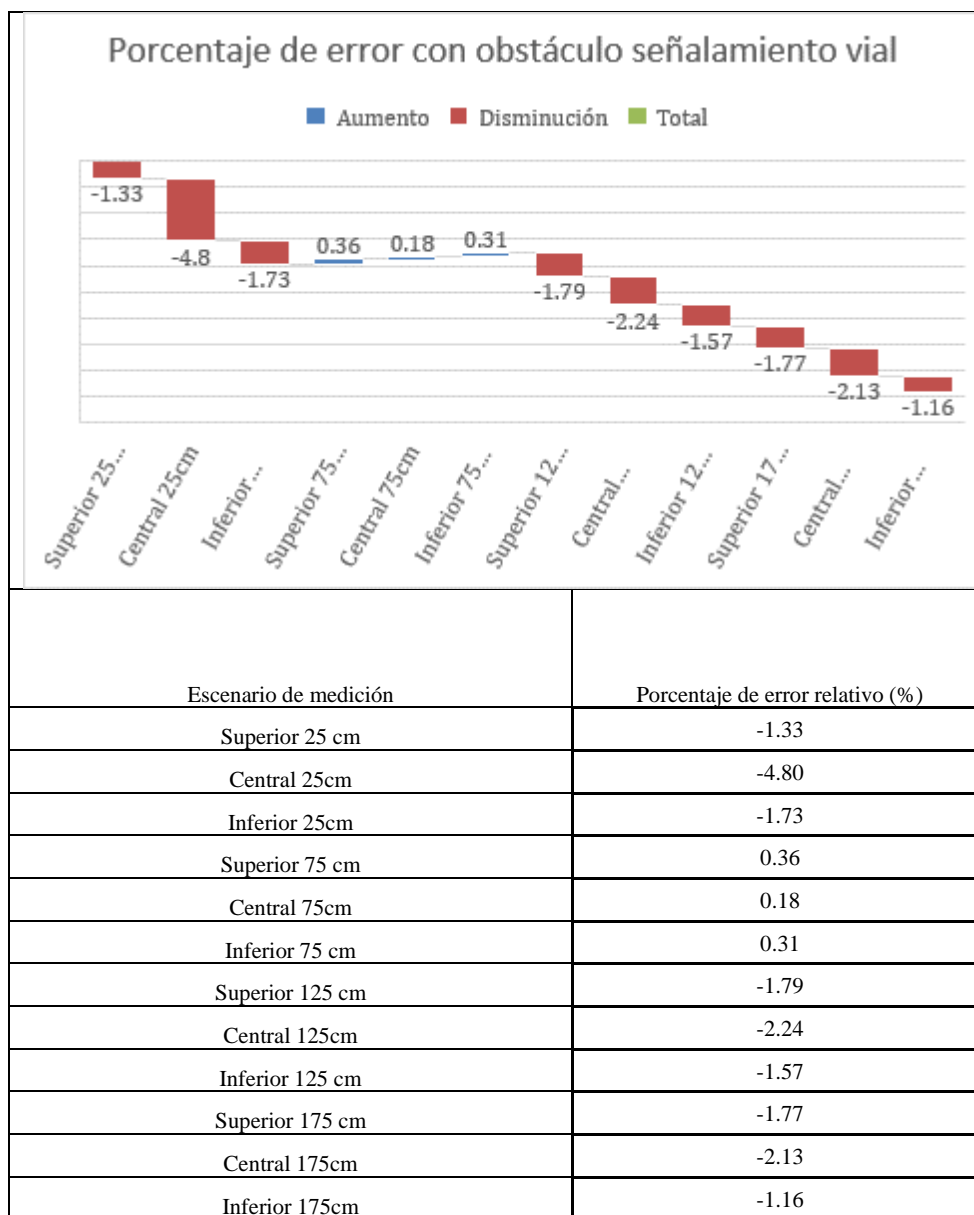


Tabla 4.18 Porcentaje de error relativo durante prueba en exterior con señalamiento vial.

4.4 Validación del sistema

Las pruebas con pacientes se realizaron siguiendo los protocolos de bioética y los protocolos sanitarios por la contingencia de COVID-19. Los sujetos de prueba se colocaron el dispositivo en el pecho, siguiendo con la metodología propuesta para el experimento, se caminó con el dispositivo una distancia total de 10m, en la figura 4.7 se muestra a uno de los sujetos de prueba en el inicio de la ruta establecida en el exterior lo que permite que el experimento tenga más similitud con un caso real.



Figura 4.7 Sujeto de prueba en posición inicial de la prueba (imagen por elaboración propia).

Durante el trayecto el usuario se encontró con objetos que simularán los obstáculos encontrados en la vía pública. Los objetos de control se muestran la figura 4.1, los cuales se estarán moviendo de lugar durante el trayecto. Ejemplo de ello se aprecia en la figura 4.8, se muestra el desplazamiento del usuario y el cambio de los obstáculos.

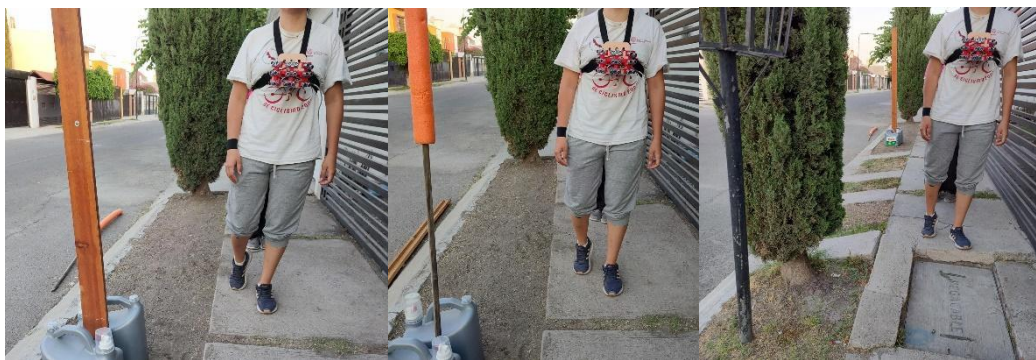


Figura 4.8 Ejemplo de ruta con obstáculos (imagen por elaboración propia).

Uno de los primeros puntos entre las pruebas fue el establecer la distancia entre el pecho y el suelo, ya que las variaciones entre las medidas podrían modificar el comportamiento del dispositivo. Se establecen las medidas del usuario, se le coloca en el centro del pecho como se muestra en la figura 4.9. La base de los sensores queda en paralelo al pecho del usuario, antes de realizar cualquier desplazamiento se revisa que el dispositivo esté bien ajustado.



Figura 4.9 Ejemplo de usuario con el prototipo en el pecho (imagen por elaboración propia).

El usuario realizó el desplazamiento por la ruta establecida, durante el recorrido el dispositivo no solo detectó los obstáculos frente al dispositivo, sino que también detectó la existencia de una pared o reja a uno de los costados del usuario durante su desplazamiento. En la figura 62 se muestra un usuario con diagnóstico de ceguera moderada causada por diabetes y glaucoma, que logró desplazarse en la ruta establecida sin ocupar las manos para guiarse, sin reajustar la posición del dispositivo, detectando obstáculos a menos de 2 metros de distancia por medio de vibraciones. El usuario logró identificar un aproximado de la posición del objeto gracias a las vibraciones del dispositivo, determinando que entre mayor era la vibración más cerca estaba el usuario.



Figura 4.10 Usuario desplazándose con el dispositivo hacia la derecha (imagen por elaboración propia).

Se realizaron 30 pruebas que durante el desplazamiento se colocaron objetos en las 3 posiciones con respecto a la horizontal a estudiar que serían: derecha, izquierda y centro, también se prueban con 3 posiciones con respecto a la vertical que son: arriba de la cintura, a la altura del pecho y debajo de la cintura. Se les pidió a los participantes que cuando se detectara un objeto durante el recorrido identificará la posición en la que estaba, en las figuras 4.11 y 4.12 se muestran ejemplos de las posiciones en las que se realizaron las pruebas:



Figura 4.11 Posiciones con respecto a la horizontal (izquierda, centro y derecha) con el dispositivo y el paciente (imagen por elaboración propia).



Figura 4.12 Posiciones con respecto a la vertical (arriba de la cintura, a la altura del pecho y debajo de la cintura) con el dispositivo y el paciente (imagen por elaboración propia).

En la ruta se establecieron 48 escenarios posibles, en donde cada uno de los cuerpos geométricos se encontraba en una posición determinado, ya sea con respecto a la horizontal o la vertical. En cada una de las posiciones se realizaron 30 pruebas para determinar si los usuarios eran capaces de identificar la ubicación del obstáculo. Los resultados se expone en las siguientes tablas:

	Posición	Distancia	Se identificó el objeto	No se logró ubicar el objeto
1.	Central con el cilindro	200-151cm	23	7
2.	Derecha con el cilindro	200-151cm	23	7
3.	Izquierda con el cilindro	200-151cm	24	6
4.	Central con el prisma rectangular	200-151cm	27	3
5.	Derecha con el prisma rectangular	200-151cm	26	4
6.	Izquierda con el prisma rectangular	200-151cm	25	5
7.	Central con el cilindro	150-101cm	22	8
8.	Derecha con el cilindro	150-101cm	24	6
9.	Izquierda con el cilindro	150-101cm	23	7
10.	Central con el prisma rectangular	150-101cm	28	2
11.	Derecha con el prisma rectangular	150-101cm	28	2
12.	Izquierda con el prisma rectangular	150-101cm	27	3
13.	Central con el cilindro	100-51cm	23	7
14.	Derecha con el cilindro	100-51cm	24	6
15.	Izquierda con el cilindro	100-51cm	25	5
16.	Central con el prisma rectangular	100-51cm	27	3
17.	Derecha con el prisma rectangular	100-51cm	28	2
18.	Izquierda con el prisma rectangular	100-51cm	27	3
19.	Central con el cilindro	50-0cm	13	17
20.	Derecha con el cilindro	50-0cm	15	15
21.	Izquierda con el cilindro	50-0cm	14	16
22.	Central con el prisma rectangular	50-0cm	17	13
23.	Derecha con el prisma rectangular	50-0cm	18	12
24.	Izquierda con el prisma rectangular	50-0cm	15	15

Tabla 4.19 Resultados de la identificación de objetos con paciente en posiciones horizontales (derecha, centro, izquierda).

	Posición	Distancia	Se identifico el objeto	No se logró ubicar el objeto
1.	Arriba de la cintura con el cilindro	200-151cm	27	3
2.	A la altura del pecho con el cilindro	200-151cm	24	6
3.	Debajo de la cintura con el cilindro	200-151cm	27	3
4.	Arriba de la cintura con el prisma rectangular	200-151cm	25	5
5.	A la altura del pecho con el prisma rectangular	200-151cm	24	6
6.	Debajo de la cintura con el prisma rectangular	200-151cm	23	7
7.	Arriba de la cintura con el cilindro	150-101cm	27	3
8.	A la altura del pecho con el cilindro	150-101cm	26	4
9.	Debajo de la cintura con el cilindro	150-101cm	25	5
10.	Arriba de la cintura con el prisma rectangular	150-101cm	26	4
11.	A la altura del pecho con el prisma rectangular	150-101cm	24	6
12.	Debajo de la cintura con el prisma rectangular	150-101cm	24	6
13.	Arriba de la cintura con el cilindro	100-51cm	23	7
14.	A la altura del pecho con el cilindro	100-51cm	28	2
15.	Debajo de la cintura con el cilindro	100-51cm	24	6
16.	Arriba de la cintura con el prisma rectangular	100-51cm	29	1
17.	A la altura del pecho con el prisma rectangular	100-51cm	28	2
18.	Debajo de la cintura con el prisma rectangular	100-51cm	29	1
19.	Arriba de la cintura con el cilindro	50-0cm	14	16
20.	A la altura del pecho con el cilindro	50-0cm	13	17
21.	Debajo de la cintura con el cilindro	50-0cm	14	16
22.	Arriba de la cintura con el prisma rectangular	50-0cm	16	14
23.	A la altura del pecho con el prisma rectangular	50-0cm	17	13
24.	Debajo de la cintura con el prisma rectangular	50-0cm	17	13

Tabla 4.20 Resultados de la identificación de objetos con paciente en posiciones verticales (arriba de la cintura, a la altura del pecho y abajo de la cintura).

En el primer gráfico, en la figura 4.13, se muestran los resultados durante las pruebas en las posiciones horizontal con el cuerpo geométrico del cilindro. En el gráfico podemos observar que el dispositivo logra informar al usuario sobre la existencia y la posición del cilindro, de igual forma podemos ver un mejor comportamiento cuando la distancia con el objeto es mayor a 50 cm. El promedio de casos donde se ubicó el objeto es de 21.08, es decir que tenemos un 70.27% de probabilidad de informarle al usuario sobre un objeto en su desplazamiento.

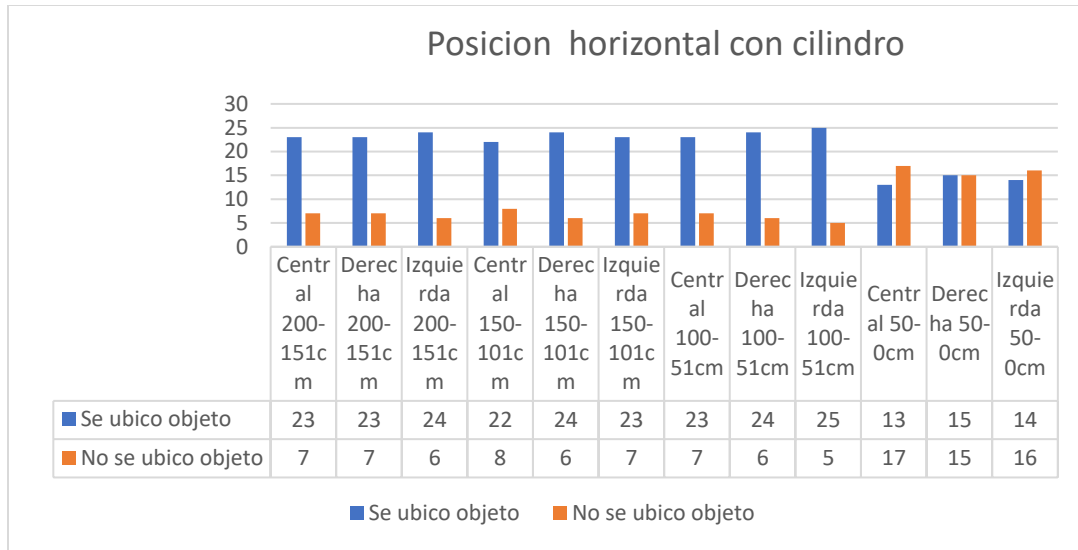


Figura 4.13 Grafico de resultados de pruebas en posición horizontal con cilindro (imagen por elaboración propia).

Posteriormente se realizaron las pruebas con respecto a las posiciones verticales con ambos cuerpos iniciando con el gráfico que se encuentra en la figura 4.14 donde observamos las pruebas realizadas con el cuerpo cilíndrico. Podemos observar un comportamiento parecido con las pruebas en las posiciones horizontales, teniendo como resultado una probabilidad del 75.5% de avisarle de forma efectiva al usuario de la existencia de un objeto cilíndrico en alguna de las posiciones verticales.

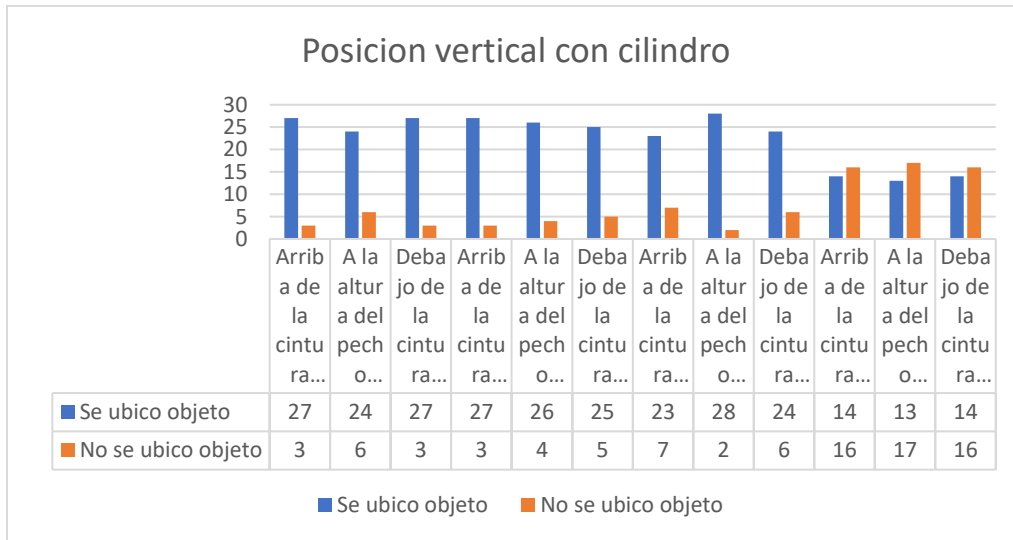


Figura 4.14 Gráfico de resultados de pruebas en posición vertical con cilindro (imagen por elaboración propia).

En el último gráfico podemos observar el comportamiento al utilizar el cuerpo geométrico de prisma rectangular (figura 4.15). En las pruebas de posición vertical podemos observar un comportamiento similar al ensayo anterior sin embargo tenemos un 73.8% de probabilidad para informarle de manera correcta al usuario.

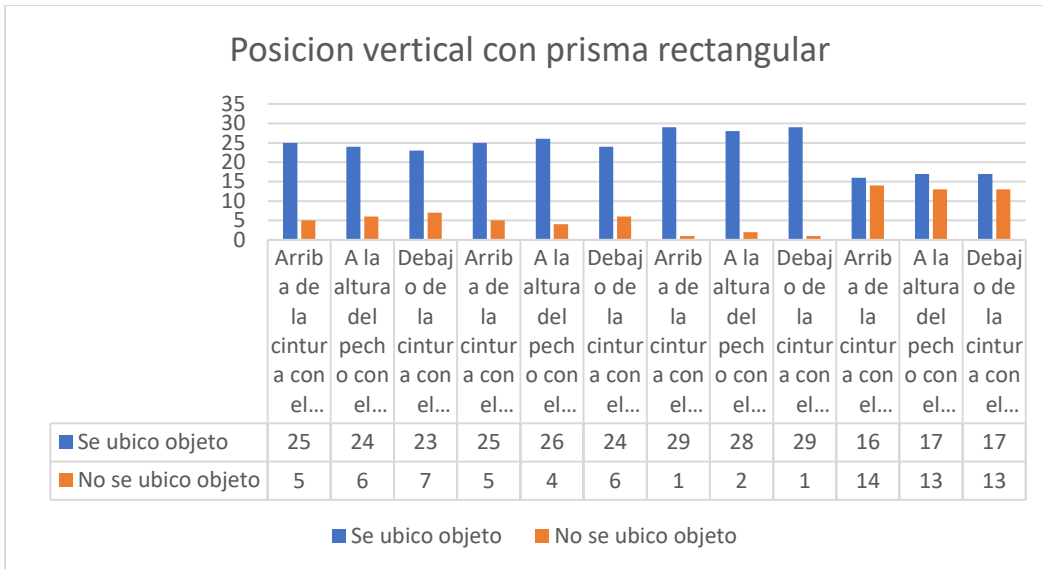


Figura 4.15 Grafico de resultados de pruebas en posición vertical con prisma rectangular (imagen por elaboración propia).

Capítulo 5

5.1 Discusión

Las pruebas realizadas muestran que el usuario pudo identificar eficazmente los objetos que se encontraban dentro del rango de 1.5m - 1 m, dentro de este rango las variaciones de la ruta se pudieron identificar con mayor facilidad, estableciendo una modificación en la trayectoria del usuario. Los obstáculos que se encontraban a 2m de distancia provocan una vibración, sin embargo, el usuario mantenía su trayectoria hasta llegar al rango de un 1.5-1m de distancia del objeto, se le atribuye este comportamiento a que la vibración del actuador no alertar correctamente a los usuarios o en su defecto el usuario todavía no percibía una amenaza para su integridad.

Los resultados también muestran que los cuerpos cilíndricos tienden a tener mayor variación en cuanto a las medidas como se puede observar con las mediciones en el exterior con el árbol, el poste de alumbrado público y el cuerpo geométrico cilíndrico. En los 3 casos se pudo observar que existía una variación en las mediciones debido a que las ondas posiblemente rebotaban de forma diferente y no lograron regresar correctamente al micrófono el sensor por esta razón se puede observar bastantes variaciones en cuanto a las mediciones de objetos irregulares o cilíndricos. Los datos en estos casos plantean un problema ya que la existencia de objetos irregulares es mayor dejando una clara desventaja para su uso cotidiano, es posible que mediante la identificación de objetos y mediante la filtración de los datos se puede encontrar la forma para mejorar el funcionamiento medición de objetos irregulares. En el caso de objetos con caras planas como fue el caso del poste de señalamiento vial y el prisma rectangular que usamos como referencia encontramos que las mediciones eran más exactas, es decir que el valor medido por el sensor se acercaba más al valor medido con el flexómetro, haciendo posible la identificación de muros banquetas, señales y otros objetos con caras planas una ventaja para su uso en exteriores.

En el caso de tener un objeto a la distancia menor a 10 cm, aunque la vibración resultaba más intensa para el usuario, la cercanía de los actuadores y la alta vibración provocan confusión para el usuario, haciendo parecer que todos los actuadores estuvieran activados siendo que solamente algunos actuadores estaban funcionando, lo que dificulta la toma de decisiones para modificar la trayectoria e identificación de la posición del objeto, se presenta como ejemplo el caso de la figura 69.

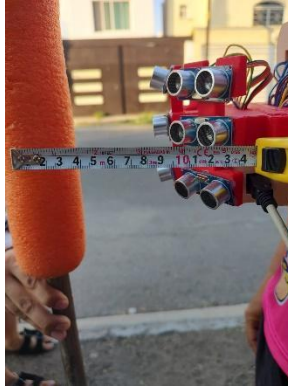


Figura 5.1 Ejemplo de caso con objeto a menos de 10 cm (imagen por elaboración propia).

Se logró que el usuario identificará objetos que estuvieran en la parte superior de su cintura, así como obstáculos por debajo de su cintura, como se muestra en la figura 64. Lo que era uno de los objetivos principales del proyecto ya queda una mejoría en cuanto a la creación de dispositivos para personas invidentes donde no sólo identificar a por debajo de la cintura o en su defecto arriba de la cintura, sino que está se aplicase en ambos planos lo que da un panorama más completo durante las trayectorias del usuario. Unido a esto se logró identificar variaciones en el relieve del suelo, como es el caso rampas de acceso de automóviles coladeras y hoyos en las aceras como se observa en la figura 70, sin embargo se presentó un problema para informar al usuario de dichos obstáculos debido a que la vibración indicaba un cambio en el suelo pero el usuario no identificaba que fuera una entrada, coladera u hoyo sino que lo identificado únicamente como un obstáculo de la misma forma que identifica un árbol o una señal en la vía pública. Esto es una de las deficiencias más grandes del proyecto ya que el usuario se le dificulta la toma de decisión dando como ejemplo el caso de un escalón, si un usuario utiliza el dispositivo y se encontraba con una escalera presentaría el problema de no poder identificar como una escalera el obstáculo únicamente el dispositivo le indicaría que existe un obstáculo frente suyo es necesario agregar un segundo tipo de señalización para casos especiales como puede ser una escalera o un hoyo.



Figura 5.2 Ejemplo de desniveles encontrados en vía pública (imagen por elaboración propia).

5.2 Conclusiones

Tomando en cuenta las experiencias, las pruebas realizadas, los datos obtenidos y los cálculos realizados en el proyecto de tesis se establece que la utilización de sensores ultrasónicos es una opción viable para el desarrollo de dispositivos para la navegación y guía de personas con alguna discapacidad visual. Otro punto importante que se puede concluir es que es necesario seguir investigando en el desarrollo de los algoritmos para la filtración de los datos obtenidas de los sensores. Debido a que durante el desarrollo de la investigación los cuerpos cilíndricos tenían una mayor cantidad de variación al momento de realizar la medición. Donde una de las soluciones sería la creación de filtros de datos o en su defecto agregar otro tipo de sensor para disminuir el error.

El prototipo también expuso la necesidad de la creación de un protocolo secundario para poder informarle de una forma más amplia al usuario de su entorno. Una de las problemáticas que se encontró fueron las variaciones en el suelo, por lo que las alertas que proporcionaba el dispositivo no eran suficientes para informarle de dichos cambios en el medio. El uso de vibraciones proporciona un mecanismo viable para alertar al usuario de objetos que se pueden encontrar en su trayectoria, sin embargo, sería necesario agregar un segundo mecanismo táctil que no interfiera con la vibración y sea fácil de identificar las variaciones en el suelo.

Una de las mayores dificultades que se encontró para el equipo para su uso de forma cotidiana y en exteriores fue la fuente de energía debido a que era ineficiente y no permitía un uso continuo. No obstante, se realizaron pruebas en exteriores, pero para un uso cotidiano sería necesario mayor investigación. Una segunda debilidad para su uso en exteriores es la exposición de los sensores, puesto que los componentes electrónicos son susceptibles a los elementos como el agua.

Es importante destacar que el proyecto propuesto en este trabajo de tesis obtuvo un 75.24% de efectividad al informarle al usuario de la existencia de objetos enfrente suyo lo que es una cifra favorable, sin embargo, se sugiere realizar experimentación en variables relacionadas a la usabilidad, esto con el fin de obtener un dispositivo con consideraciones de uso diario. También se recomienda realizar pruebas en ambientes menos controlados para la comprobación del sistema.

El Prototipo propuesto presenta una opción viable para futuras investigaciones y mejoras con la finalidad de obtener un dispositivo que sea capaz de apoyar a las personas con alguna discapacidad visual a tener conocimiento de su entorno.

5.3 Recomendaciones finales

Se pudo identificar algunos puntos a mejorar en futuras investigaciones:

- Implementar un segundo identificador o alarma para alertar al usuario de subidas o bajadas.
- La utilización de pilas recargables o de la implementación de una fuente de alimentación para uso inalámbrico
- La implementación de filtros en el procesamiento de datos para mejorar la velocidad de análisis y la adquisición de datos
- El diseño de protecciones para la electrónica y evitar daños por exposición a los elementos.

Capítulo 6

6.1 Referencias

- Escolà , A., Planas, S., & Rosell, J. (28 de febrero de 2011). *Performance of an Ultrasonic Ranging Sensor in Apple Tree Canopies*. Obtenido de Multidisciplinary Digital Publishing Institute: <https://www.mdpi.com/1424-8220/11/3/2459>
- Kofman , H., & Concari, S. (12 de marzo de 20). *DIFICULTADES CONCEPTUALES CON LA LEY DE AMPÈRE: ANÁLISIS*. Obtenido de Universidad Nacional del Litoral: <http://www.fiq.unl.edu.ar/galileo/download/documentos/ampere.pdf>
- Mayur Gandhi. (27 de Noviembre de 2011). *Qué es un sensor ultrasónico y para qué sirve*. Obtenido de Autycom: <https://www.autycom.com/que-es-un-sensor-ultrasonico-y-para-que-sirve/>
- Rodríguez, J. M. (2018). Polarización de la luz: conceptos básicos y aplicaciones en astrofísica. *Revista Brasileira de Ensino de Física, vol 4, n°4*, 101-110.
- Sánchez Marín, F. J. (2013). Aplicación del Infrarrojo en la Detección de Problemas de Circulación Sanguínea en Pacientes Diabéticos. *Congreso Nacional de Tecnología aplicada a ciencias de la salud*. Cholula, Puebla, México: TECNyMED.
- Ana M. Muñoz Hernández, E. S. (2013). Nervio óptico. Anatomía y fisiología. *Boletín de la Soc. Oftalm. de Madrid- N°53*.
- Archivos de la Universidad de Oxford. (18 de 06 de 2014). *Instituto Cultural de León*. Obtenido de La Universidad de Oxford crea lentes para ciegos: <http://institutoculturaldeleon.org.mx/icl/story/1917/La-Universidad-de-Oxford-crea-lentes-para-ciegos#.YWSDSD9rMKUk>
- Arduino. (19 de 8 de 2021). *Arduino.cl*. Obtenido de Arduino Mega 2560: <https://arduino.cl/arduino-mega-2560/>
- Arteaga, S. (23 de 11 de 2016). *Computerhoy* . Obtenido de Este bastón inteligente ayuda a los invidentes a orientarse: <https://computerhoy.com/noticias/hardware/este-baston-inteligente-ayuda-invidentes-orientarse-54522>
- Arturo, O. Á., G., M. E., Francisco, F. d., & Gustavo, O. C. (2016). *Sistema embebido de detección de obstáculos con freeRTOS para un robot móvil*. Asociación Mexicana de Mecatrónica A.C.
- Augem Technologies. (16 de 10 de 2021). *Augem Technologies*. Obtenido de Ultrawear: <https://augemtech.com/producto/ultrawear-asistente-para-personas-con-discapacidad-visual/>
- Brimelow, A. (17 de 06 de 2014). *Gafas inteligentes contra la ceguera progresiva*. Obtenido de BBC NEWS: https://www.bbc.com/mundo/noticias/2014/06/140617_tecnologia_gafas_ciegos_amv
- Cabrera Paredes, A. M., & Curay Flores, A. J. (2018). *Modelamiento y simulación del ojo humano para establecer una correlación entre el aumento de la presión intraocular y el grosor central de la córnea*. Ecuador : Universidad Politécnica Salesiana.

- Caluva, M. (14 de agosto de 2012). *Detectores de proximidad fotoeléctricos*. Obtenido de Sensores Industriales: <https://sites.google.com/site/654sensoresindustriales/detectores-de-proximidad-fotoelectricos>
- Cassinelli, A., & Ishikawa, M. (2006). *Haptic radar / extended skin project*. Tokyo, Japón: University of Tokyo.
- Cassinelli, A., Reynolds, C., & Ishikawa, M. (2006). *The Haptic Radar / Extended Skin Project*. Tokyo: Ishikawa-Namiki-Komuro Laboratory The University of Tokyo .
- Castillero Mimenza, O. (20 de Enero de 2021). *Los 6 tipos de discapacidad y sus características*. Obtenido de Psicología y mente : <https://psicologiaymente.com/salud/tipos-de-discapacidad>
- Cervellini, M. P., Gonzalez, E., Tulli, J. C., Uriz, A., Agüero, P. D., & Kuzman, M. G. (2011). Sistema de sustitución sensorial visual-táctil para no videntes empleando sensores infrarrojos. *XVIII Congreso Argentino de Bioingeniería*, (págs. 21-30). Mar del Plata.
- CogniFit . (20 de Diciembre de 2020). *Campo visual*. Obtenido de Campo visual: <https://www.cognifit.com/es/ciencia/habilidad-cognitiva/campo-visual>
- Corona Ramírez, L. G., Abarca Jiménez, G. S., & Mares Carreño, J. (2014). *Sensores y actuadores*. Azcapotzalco, D.F., México: Patria.
- Cytron Technologies. (2021). *Product User's Manual – HCSR04 Ultrasonic Sensor*. Malaysia: Cytron Technologies.
- Dewesoft. (9 de Marzo de 2020). *¿Qué es un Sensor y Qué Hace?* Obtenido de Dewesoft: http://recursostic.educacion.es/secundaria/edad/4esotecnologia/quincena11/4quincena11_contenidos_3a.htm
- Díaz Veiga, P. (15 de Junio de 2005). *Portal mayores* . Obtenido de Impacto de la deficiencia visual en personas mayores. Un análisis desde una perspectiva psicosocial : <http://www.imsersomayores.csic.es/>
- Diosdado, R. (15 de 7 de 2020). *Zona Maker*. Obtenido de Sensor de ultrasonidos HC-SR04: <https://www.zonamaker.com/arduino/modulos-sensores-y-shields/ultrasonido-hc-sr04>
- Diplomado en Ultrasonografía Médica. (15 de agosto de 2018). *Las ondas ultrasónicas*. Obtenido de Diplomado en Ultrasonografía: <https://diplomadomedico.com/las-ondas-ultrasonicas/>
- Escuela para entrenamiento de perros guía para ciegos I.A.P. (16 de 10 de 2021). *Escuela para entrenamiento de perros guía para ciegos I.A.P.* Obtenido de Perros Guía: <https://www.perrosguia.org.mx/perrosguia>
- Esopo. (10 de Marzo de 2021). *Características Ondas*. Obtenido de Esopo: <https://iie.fing.edu.uy/proyectos/esopo/caracteristicas-ondas/>
- Fernández , Y. (3 de 8 de 2020). *Xataka Basics* . Obtenido de Qué es Arduino, cómo funciona y qué puedes hacer con uno: <https://www.xataka.com/basics/que-arduino-como-funciona-que-puedes-hacer-uno>
- Fernández, J. L. (20 de diciembre de 2020). *FisicaLab*. Obtenido de FisicaLab: <https://www.fisicalab.com/apartado/ojo->

- INFAIMON. (12 de abril de 2018). *Detector infrarrojo: funcionamiento y aplicaciones*. Obtenido de INFAIMON: <https://blog.infaimon.com/detector-infrarrojo-funcionamiento-aplicaciones/#:~:text=El%20funcionamiento%20de%20un%20detector,en%20configuraciones%20de%20diverso%20tipo>.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía . (2015). *La discapacidad en México, datos al 2014*. . México: INEGI.
- Instituto Nacional de las Mujeres. (febrero de 2015). *Centro de documentación* . Obtenido de Situación de las personas adultas mayores en México: http://cedoc.inmujeres.gob.mx/documentos_download/101243_1.pdf
- Kardoudi, O. (19 de 07 de 2021). *El confidencial*. Obtenido de Los zapatos que puede acabar con los bastones para ciegos: https://www.elconfidencial.com/tecnologia/novaceno/2021-05-06/zapato-inteligente-ayuda-caminar-invidentes_3067639/
- Keyence. (30 de Abril de 2020). *Sensor fotoeléctrico*. Obtenido de Keyence: <https://www.keyence.com.mx/ss/products/sensor/sensorbasics/photoelectric/info/>
- Keyence. (12 de Febrero de 2021). *Fundamentos del sensor*. Obtenido de Guía de sensores para fábricas clasificados por principios: <https://www.keyence.com.mx/ss/products/sensor/sensorbasics/ultrasonic/info/#:~:text=Como%20su%20nombre%20lo%20indica,la%20emisi%C3%B3n%20y%20la%20recepti%C3%B3n>
- Khan Academy. (18 de Febrero de 2016). *La luz: ondas electromagnéticas, espectro electromagnético y fotones*. Obtenido de Khan Academy: <https://es.khanacademy.org/science/ap-chemistry/electronic-structure-of-atoms-ap/bohr-model-hydrogen-ap/a/light-and-the-electromagnetic-spectrum>
- Kleiner, L. (12 de Enero de 2019). *Espectro electromagnético*. Obtenido de Coastal Carolina University: https://ec.europa.eu/health/scientific_committees/opinions_layman/es/lamparas-bajo-consumo/glosario/def/espectro-electromagnetico.htm#:~:text=El%20espectro%20electromagn%C3%A9tico%20es%20el,de%20ondas%20las%20radiaciones%20electromagn%C3%A9ticas.&text=Los
- Laforga Fernández, P. (30 de Enero de 2021). *CONCEPTOS FÍSICOS DE LAS ONDAS SONORAS*. Obtenido de http://cofis.es/pdf/fys/fys11/fys11_4-6.pdf
- LARESCV . (15 de Enero de 2021). *Lares comunidad valenciana*. Obtenido de Pérdida de visión en los ancianos: <https://www.larescvalenciana.org/perdida-de-vision-en-los-ancianos/>
- Latarjet, M., & Ruiz Liard, A. (2018). *Anatomía humana*. Buenos aires: Panamericana.
- Lima Gómez, V., Sánchez Cornejo, M., & Rojas Dosal , J. A. (2000). Causas de pérdida visual monocular y ceguera legal. *Sociedad de cirugía de México*, 108-111.
- López, L. (13 de Septiembre de 2019). *LEY DE FARADAY-LENZ*. Obtenido de Instituto Balseiro: <http://www2.ib.edu.ar/becaib/bib2007/LopezL.PDF>
- Lorenzi, A., Chaix, B., Ducourneau, J., & Gil-Lozaga, P. (27 de Diciembre de 2016). *SONIDO: GENERALIDADES*. Obtenido de Cochlea: <http://www.cochlea.eu/es/sonido>
- Luces CEI. (2019). Radiación visible: luz. *Luces CEI, la revista profesional del Comité Español de Iluminación*, 14-18.

- Manterola, H. L., & del Fresno, M. M. (2013). Impainting Digital Aplicado a la Reconstrucción de Imágenes de Ultrasonido. *Mecánica Computacional*, 3835-3848.
- Méndez, F. S. (2001). El nervio óptico y los trastornos de la visión. *Elsevier Vol. 38. Núm. 9.*, 390-397.
- Montserrat, C. M. (25 de 09 de 2021). *Curso on-line de iluminacion* . Obtenido de Grup d'Estudis Luminotècnics: <https://grlum.dpe.upc.edu/manual/fundamentosIluminacion-laVision.php>
- Mora Martínez , J. M. (2018). *SISTEMAS ELECTRÓNICOS*. El Bonillo, España: I.E.E. Las Sabinas .
- National Institute of Biomedical Imaging and Bioengineering. (10 de Agosto de 2019). *Ultrasonido*. Obtenido de National Institute of Biomedical Imaging and Bioengineering: <https://www.nibib.nih.gov/espanol/temas-cientificos/ultrasonido#:~:text=Las%20ondas%20sonoras%20se%20reflejan,enviadas%20al%20esc%3%A1ner%20de%20ultrasonido>.
- Naylamp Mechatronics. (12 de Abril de 2021). *TUTORIAL SENSOR DE DISTANCIA SHARP*. Obtenido de Naylamp Mechatronics: https://naylampmechatronics.com/blog/55_tutorial-sensor-de-distancia-sharp.html
- Ontiveros-Paredes, S. D., Rojas-Balbuena, D., & Martínez-Paredes, J. (2014). Diseño y construcción de un bastón blanco electrónico para personas invidentes . *Científica*, 63-70.
- Organización Mundial de la Salud . (18 de Junio de 2018). *Clasificación Internacional de Enfermedades, 11.a revisión*. Obtenido de CIE-11 para estadísticas de mortalidad y morbilidad: <https://icd.who.int/browse11/1-m/es>
- Organización Nacional de Ciegos Españoles. (2011). *Discapacidad visual y autonomía personal. Enfoque práctico de la rehabilitación*. Madrid: Organización Nacional de Ciegos Españoles .
- Organización panamericana de la salud. (2018). *Disminución de la agudeza visual* . Buenos aires: Organizacion Mundial de la salud .
- Pallero González, R. (2008). Ajuste psicosocial a la discapacidad visual en personas mayores. *Integración*, 34-42. Obtenido de Ajuste psicosocial a la discapacidad visual en personas mayores.
- Pepperl+Fuchs. (21 de Diciembre de 2014). *Conocimientos sobre los sensores ultrasónicos*. Obtenido de The Pepperl+Fuchs: <https://www.pepperl-fuchs.com/global/es/24907.htm>
- Perea García, J. (2017). *Estrabismos*. California : Universidad de California.
- Pérez, M. (31 de enero de 2021). *Definición de Sonido*. Obtenido de Concepto definción: <https://conceptodefincion.de/sonido/>
- Pimentel, J. (2015). TEORÍAS DE LA LUZ Y EL COLOR EN LA ÉPOCA DE LAS LUCES DE NEWTON A GOETHE. *Arbor ciencia, pensamiento y cultura*, 191-775.
- Piñero Martinez, Y. (16 de Marzo de 2018). *Asociación Mácula Retina*. Obtenido de EVALUACIÓN DE LOS FACTORES PSICOSOCIALES DE LA DISCAPACIDAD VISUAL: <https://www.macula-retina.es/evaluacion-de-los-factores-psicosociales-de-la-discapacidad-visual/>
- Ramos, H. H., Silva, J. R., López, M. R., & Nieto, Y. F. (2019). Calidad de vida y visual en pacientes operados de catarata por facoemulsificación bilateral simultánea con implante de lente intraocular . *Revista Cubana de Oftalmología, Volumen 32, Número 2*.

- Redacción. (14 de abril de 2021). *Definición de Vista*. Obtenido de Definición de Vista: <https://conceptodefinicion.de/vista/>
- Reinoso, A. d. (26 de 6 de 2019). *Somdisc@*. Obtenido de Tipos de bastones para ciegos: <https://somosdisca.es/tipos-de-bastones-para-ciegos/>
- Rivas, M. A. (2016). *Prototipo de asistencia para la movilidad de ciegos a través de ecolocación(Tesis de ingeniero en comunicaciones y electrónica)*. Ciudad de México : Instituto Politécnico Nacional .
- Ruiz de Adana Pérez, R., Elipe Rebollo, P., & Muñoz Tarín, G. (3 de Julio de 2017). *Fisterra*. Obtenido de Disminución de la agudeza visual: <https://www.fisterra.com/guias-clinicas/disminucion-agudeza-visual/#top>
- Ruiz, A. (17 de 10 de 2020). *GNDiario*. Obtenido de Diseñan un nuevo asistente para personas con discapacidad visual: <https://www.gndiario.com/asistente-personas-discapacidad-visual>
- Russell, R. (13 de Julio de 2012). *Luz visible* . Obtenido de Ventanas al universo : https://www.windows2universe.org/physical_science/magnetism/em_visible_light.html&lang=sp
- Seguridad Privada Industrial Aplicada S.A. de C.V. (3 de Noviembre de 2018). *Sensores de proximidad*. Obtenido de Sepia: <https://www.sepia.mx/sensores-de-proximidad/#>
- Sendra Portelo, F., & Martínez Morrillo, M. (10 de Diciembre de 2020). *RADIACION INFRARROJA*. Obtenido de infoMED Red de Salud de Cuba: http://www.sld.cu/galerias/pdf/sitios/rehabilitacion-fis/radiacion_infrarroja.pdf
- Suárez Escudero, J. C. (2011). Discapacidad visual y ceguera en el adulto. *MEDICINA U.P.B*, 170-180.
- Tapia Contardo, I. (13 de Mayor de 2014). *Tiglogología*. Obtenido de DIAGNÓSTICO DEL DISCAPACITADO VISUAL: <http://tiflogologia.blogspot.com/2014/05/diagnostico-del-discapacitado-visual.html#:~:text=El%20profesional%20m%C3%A9dico%20oftalm%C3%B3logo%20utiliza,%20Estereopsis%2C%20verifica%20visi%C3%B3n%20tridimensional>
- Team Pro visu. (24 de Julio de 2019). *Pro Visu Foundation*. Obtenido de Pro Visu Foundation: <https://www.provisu.ch/es/dossiers-es/ojo-y-vision.html>
- Tec-Innovation. (12 de 10 de 2021). *Tec-Innovation*. Obtenido de InnoMake : <https://www.tec-innovation.com/en/innomake-en/>
- Teleformacion. (18 de Diciembre de 2020). *El ojo humano: características y defectos de la visión*. Obtenido de El ojo humano: características y defectos de la visión: <http://teleformacion.edu.aytolacoruna.es/FISICA/document/fisicaInteractiva/OptGeometrica/Instrumentos/ollo/ollo.htm#:~:text=El%20ojo%20humano%20es%20un,es%20sensible%20a%20la%20luz>
- Ulaby, F. (2007). *Fundamentos de aplicaciones en electromagnetismo*. Pearson.
- Unión Nacional de Ciegos del Uruguay . (12 de Marzo de 2019). *Unión Nacional de Ciegos del Uruguay* . Obtenido de Unión Nacional de Ciegos del Uruguay web site: <http://www.uncu.org.uy/bastonblanco.htm>

- Vargas, S. (9 de septiembre de 2019). *Ingeniero ciego inventa un bastón inteligente que guía a través de Google Maps*. Obtenido de My Modern Met : <https://mymodernmet.com/es/wewalk-baston-inteligente/>
- Xantomila, J. (10 de Octubre de 2019). *En México hay 2 millones 237 mil personas con deficiencia visual*. Obtenido de La Jornada: <https://www.jornada.com.mx/ultimas/sociedad/2019/10/10/en-mexico-hay-2-millones-237-mil-personas-con-deficiencia-visual-1593.html>
- Zannatha, J. I., Limón, R. C., Cobos, L. G., Delgado, J. L., & Díaz, I. Y. (2008). Evasión de obstáculos basada en visión artificial y en sensores infrarrojos para un humanoide . *6º Congreso Internacional en Innovación y Desarrollo Tecnológico*, (págs. 497-510). Cuernavaca, Morelos., México.
- Zapata, F. (7 de Mayo de 2020). *Fenómenos ondulatorios*. Obtenido de Lifeder: <https://www.lifeder.com/fenomenos-ondulatorios/>
- Monroy, J. (2020, Marzo 26). El economista. Retrieved from En México, 15.4 millones de personas de 60 años o más: <https://www.economista.com.mx/politica/En-Mexico-15.4-millones-de-personas-de-60-anos-o-mas-20200326-0008.html>
- Valor compartido. (2021, Septiembre 1). Solo 38.5% de personas con discapacidad tienen participación económica en México. Retrieved from Valor compartido: <https://valor-compartido.com/solo-38-5-de-personas-con-discapacidad-tienen-participacion-economica-en-mexico/#:~:text=El%20menor%20nivel%20de%20rechazo,total%20de%20personas%20con%20discapacidades>