
INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE TEZIUTLÁN

Tesis



“Dispositivo de apoyo para movilidad de personas ciegas a través de sensores y algoritmos de búsqueda”

PRESENTA:

YARENI CERVANTES VILLALBA

CON NÚMERO DE CONTROL

21TE0011P

PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE:

MAESTRA EN SISTEMAS COMPUTACIONALES

CLAVE DEL PROGRAMA ACADÉMICO

MPSCO-0127

DIRECTOR (A) DE TESIS:

Dr. MARCO ANTONIO AGUILAR CORTÉS

CO- DIRECTOR DE TESIS:

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradezco a mi asesor, el doctor Marco Antonio Aguilar Cortés, por todo el apoyo que me ha brindado desde el comienzo, por sus ideas y sobre todo por todo el tiempo que se ha tomado para resolver cada una de mis dudas, por más pequeñas que estas fueran; aún con su limitado tiempo disponible.

Le estoy enormemente agradecida por todo el apoyo, ya que gracias a su constante ayuda he podido concluir esta investigación de la mejor manera posible.

Agradezco al maestro Alejandro Castro Orozco, profesor de la Benemérita Escuela Normal Veracruzana, por ayudarme tanto como le fue posible y presentar especial interés en esta investigación, así como también por la motivación que me da a continuar con este proyecto de manera futura. También agradezco de manera especial a las personas pertenecientes a la asociación civil de “Estudiantes o trabajadores ciegos y débiles visuales del Estado de Veracruz”, quienes se tomaron el tiempo de ayudarme con las pruebas del sistema propuesto, me brindaron sus importantes opiniones y resolvieron todas mis dudas. Muchas gracias por su paciencia y apoyo, le estoy enormemente agradecido al destino por permitirme conocer a personas tan amables como lo son ustedes.

Agradezco el apoyo brindado por el docente Sebastián Ramos Aguirre quien me brindo su apoyo, conocimientos y me permitió acompañarlo durante la estancia realizada en el Centro de Atención de Múltiple de Educación Especial Núm. 30. También agradezco la Lic. Ma. Margarita Hernández de la Rosa encargada del CAM 30, quien me permitió llevar a cabo mi estancia dentro de la institución, así como también a todo el personal de la institución quien me apoyo en manera de lo posible.

Agradezco el apoyo brindado por parte de CONAHCYT para la realización de esta investigación, así como por la oportunidad que se me fue brindada para continuar con mi preparación profesional y personal, sin su apoyo nada de esto habría sido posible.

Por último, le agradezco a todas las personas que han confiado a en mí y me han dado animo cuando más lo he necesitado, así como a mis maestros y docentes, quienes me brindaron herramientas que me ayudaron a poder concluir de manera exitosa esta investigación.

DEDICATORIA PERSONAL

Dedico este trabajo a mi madre Guadalupe Villalba Ramos, por quererme desde el primer instante de mi vida, por siempre confiar en mí y apoyarme en cada uno de mis pasos, por demostrarme que en esta vida todo es posible y por darme todos esos pequeños y grandes empujones que me han ayudado durante todos estos años. Por ser la persona más impresionante que conozco y la que más admiro y amo.

A mi familia, papá, hermanos, abuelos y tíos por darme todo su amor y apoyo en los peores momentos, por tener mucha paciencia conmigo, apoyarme siempre y ayudarme en todo lo posible.

Y por último a mi novio Omar Roano Aguilar por su gran apoyo durante los últimos años, por tenerme paciencia, ayudarme y brindarme sus sinceras opiniones siempre que las necesito, por confiar en mis habilidades aun cuando yo dudo de ellas, por apoyar mi desarrollo profesional y personal, así como también por motivarme a ser una mejor persona cada día.

Les dedico todo mi esfuerzo y agradecimiento por siempre estar a mi lado y confiar en mí.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	13
ABSTRACT	14
INTRODUCCIÓN.....	15
CAPÍTULO I GENERALIDADES DEL PROYECTO.....	17
1.1 Marco teórico.....	17
1.1.1 Discapacidad visual	17
1.1.2 Tipos de ceguera	18
1.1.3 Aparatos de movilidad asistida.....	18
1.1.4 Sensores	21
1.1.5 Grafos.....	22
1.1.6 Matriz de adyacencia.....	23
1.1.7 Algoritmo de búsqueda.....	24
1.2 Planteamiento del Problema.....	29
1.3 Justificación	31
1.4 Hipótesis	32
1.5 Objetivo general	32
1.6 Objetivos específicos	32
1.7 Alcances y limitaciones.....	33
1.7.1 Alcances.....	33
1.7.2 Limitaciones	33
CAPÍTULO II ESTADO DEL ARTE	34
2.1 Trabajos relacionados.....	34

2.2	Análisis comparativo de los trabajos relacionados.....	37
2.3	Propuesta de solución	39
2.3.1	Placa de desarrollo ESP32.....	39
2.3.2	Sensor RGB TCS34725	40
2.3.3	Framework React Native.....	40
2.3.4	Lenguaje de programación TypeScript.....	42
CAPÍTULO III METODOLOGÍA Y DESARROLLO		44
3.1	Tipo de Investigación	44
3.2	Muestra	44
3.3	Instrumento de recolección de datos.....	44
3.4	Cronograma de actividades.....	45
3.5	Metodología de investigación/desarrollo.....	46
3.5.1	Investigación de antecedentes relacionado con el tema.....	46
3.5.2	Propuesta de Objetivos	48
3.5.3	Selección de elementos electrónicos.....	48
3.5.4	Desarrollo de dispositivo electrónico.....	49
3.5.5	Desarrollo de software	62
3.5.6	Recolección de datos.....	75
3.5.7	Análisis funcional	76
3.5.8	Resultados.....	76
CAPÍTULO IV RESULTADOS		77
4.1	Evaluación del funcionamiento.....	77
4.2	Análisis de información.....	82

4.2.1	Entrevista Fase 1	82
4.2.2	Entrevista Fase 2	84
4.3	Comprobación de la hipótesis.....	88
CAPÍTULO V CONCLUSIONES.....		89
5.1	Conclusiones.....	89
5.2	Recomendaciones	90
PRODUCTOS ACADÉMICOS.....		92
	Retribución Social.....	92
	Estancia.....	93
	Artículo científico.....	94
REFERENCIAS		95
ANEXOS.....		101

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Ejemplo de bastón blanco para personas con ceguera total.	19
Figura 2 Bastón blanco y rojo para personas Sordociegas.	20
Figura 3 Bastón verde para personas con baja visión.....	21
Figura 4 Bastón amarillos para casos diversos.....	21
Figura 5. Representación de grafo.....	23
Figura 6. Grafo no dirigido con peso positivo.....	24
Figura 7. Ejemplo de grafo ponderado necesario para la búsqueda de costo uniforme	26
Figura 8. Ejemplo de grafo dirigido ponderado con pesos negativos y positivos, así como ciclos.	28
Figura 9. Resumen del proceso del algoritmo Bellman Ford.....	28
Figura 10. Placa de desarrollo ESP32.	39
Figura 11 Sensor RGB TCS34725.....	40
Figura 12. Logo React Native.	41
Figura 13. Logo TypeScript.	42
Figura 14. Cronograma de actividades.....	45
Figura 15. Metodología propuesta	46
Figura 16. Circuito electrónico propuesto para el reconocimiento de color.....	50
Figura 17 Reconocimiento de color con sensor TCS34725.	51
Figura 18. Diseño de placa PCB.....	52
Figura 19. Placa PCB ensamblada.....	52

Figura 20. Ensamble de prototipo de accesorio para bastón blanco visto desde dos angulos. Fuente: propia	53
Figura 21. Diseño agarradera pieza 1. Fuente: propia	54
Figura 22. Diseño agarradera pieza 2. Fuente: Propia	54
Figura 23. Diseño contenedor de elementos electrónicos.	55
Figura 24. Diseño tapa superior del contenedor de elementos electrónicos. Fuente: propia.....	56
Figura 25. Diseño tapa posterior.....	56
Figura 26. Ensamble de porta sensor. Fuente: propia	57
Figura 27. Diseño agarraderas de porta sensor. Fuente: propia	57
Figura 28. Diseño de porta sensor. Fuente: propia	58
Figura 29. Ensamble de prototipo de accesorio impreso en 3D. Fuente: propia....	58
Figura 30. Integración de baterías dentro de la pieza contenedor. Fuente: propia	59
Figura 31. Integración de la placa PCB a la pieza contenedor. Fuente: propia.	59
Figura 32. Ensamble del contenedor con tapa lateral. Fuente: propia.	60
Figura 33. Ensamble de contenedor con tapa superior.....	60
Figura 34. Ensamble de prototipo portador de sensor RGB. Fuente: propia	61
Figura 35. Sensor TCS34725 en el ensamble.....	61
Figura 36. Pantalla de inicio y principal del software propuesto.	63
Figura 37. Selección de navegación en el software propuesto.	63
Figura 38. Pantalla principal y pantalla de inicio del software desarrollado.	64
Figura 39. Ejemplo de conexión automática entre la aplicación y el dispositivo....	65
Figura 40. Pantallas de selección de navegación del software propuesto.....	65

Figura 41. Pantalla inicio, después de la selección de navegación.	66
Figura 42. Grafo de navegación propuesto con valores de navegación.	67
Figura 43. Diagrama de flujo basado en el algoritmo de Dijkstra.	70
Figura 44. Pruebas del reconocimiento de color.	71
Figura 45. Pruebas de reconocimiento de color con la aplicion desarrollada.	72
Figura 46. Grafo utilizado para la prueba de algoritmo.	73
Figura 47. Navegación del nodo 6 al 14 en la aplicación desarrollada.	74
Figura 48. Ruta de navegación obtenida por el algoritmo de Dijkstra	74
Figura 49. Grafo con colores determinados a cada nodo.	75
Figura 50. Arquitectura propuesta para el sistema de desplazamiento.	78
Figura 51. Prototipo del sistema de desplazamiento final.	79
Figura 52. Primera fase de la entrevista a los participantes.	80
Figura 53. Prueba del funcionamiento del dispositivo por parte de los participantes.	81
Figura 54. Fase 2 de la entrevista, después de comprobar el funcionamiento del dispositivo.	81
Figura 55 Constancia de retribución social expedida por directora en turno del Bachillerato Tlapacoyan.	92
Figura 56. Carta de impacto de culminación de estancia, expedida por la Lic. M. Margarita Hernández de la Rosa.	93
Figura 57. Correo de aceptación de articulo, expedido por el editor responsable de la revista ICyTA, el Mtro. Julio Víctor Galindo Rojas.	94

ÍNDICE DE FoS

Tabla 1 Análisis comparativo de trabajos relacionados.....	37
Tabla 2 Análisis de alternativas de solución propuestas.....	48
Tabla 3. Matriz de adyacencia.	68
Tabla 4. Análisis de pesos para el algoritmo de navegación propuesto.....	73

ÍNDICE DE GRÁFICA

Gráfica 1. Estadística de alternativas no tecnológicas para el desplazamiento utilizadas por los participantes ciegos entrevistados.....	82
Gráfica 2. Estadística del número de personas que han utilizado alguna herramienta tecnológica para personas con discapacidad visual.	83
Gráfica 3. Principales opiniones de los usuarios entrevistados, acerca de las alternativas tecnológicas.....	83
Gráfica 4. Estadísticas de las opiniones a considerar para el desarrollo de dispositivos destinados a personas con discapacidad visual, recibidas por el usuario.....	84
Gráfica 5. Opinión acerca del peso del dispositivo propuesto, probado por el usuario.	85
Gráfica 6. Estadística de funcionalidad del uso de la aplicación móvil desarrollada.	85
Gráfica 7. Estadística de opiniones recibidas por el usuario acerca de uso de la aplicación.....	86
Gráfica 8. Estadísticas de las evaluaciones cualitativas de la función del sistema propuesto (Bastón – Aplicación móvil).	87

Gráfica 10. Estadística de opiniones generales del sistema propuesto dadas por el usuario.	87
Gráfica 11. Estadística de recomendaciones hechas por los usuarios.....	88

RESUMEN

En la actualidad, se estima que más de dos millones de personas sufren discapacidad visual, según lo menciona el Instituto de Estadística y Geografía (INEGI). Esta situación impide a los individuos moverse libremente en espacios poco conocidos o sin la infraestructura necesaria. El presente trabajo propone una solución al desplazamiento de personas con discapacidad visual y ceguera a través un dispositivo capaz de definir el camino óptimo y guiar al usuario en espacios cerrados, basado en tecnologías de reconocimiento de color y uso de algoritmos de enrutamiento. La información del entorno es recolectada por un sensor de color RGB y analizada por un procesador ESP32, montados a un bastón blanco; para posteriormente ser enviada por medio de bluetooth a la aplicación móvil desarrollada. Dicha aplicación es capaz de interactuar con el usuario mediante la implementación de instrucciones por voz y notificaciones, lo que le permite al usuario ser guiado al destino de navegación deseado. Estos destinos son previamente mapeados por medio de una matriz de adyacencia, la cual es procesada por el algoritmo de Dijkstra para determinar el camino de más fácil acceso entre dos puntos. Con base en las pruebas realizadas, por participantes ciegos; fue posible obtener evaluaciones positivas con respecto al sistema propuesto, así como del uso de rutas de navegación basada en algoritmos para la movilidad. Esta solución permitirá a personas con algún grado de discapacidad visual, ceguera total o parcial tener una mayor independencia a la hora de trasladarse de un punto a otro logrando para ellos una mejor calidad de vida.

ABSTRACT

Nowadays, is estimated that more than two million people have visual impairment, either partial or total according to the Instituto de Estadística y Geografía (INEGI), regardless of the type of blindness presented, this prevents them free movement in spaces where the necessary infrastructure is not available. This due to the high cost of implementation. The present thesis provides a technological alternative to this problem, a system is proposed which allows people to have a virtual assistant that provides information about the routes to follow to travel to a specific destination. This system is based on color recognition and track anticipated routes, this recognition is done with the help of RGB sensor, the information is processed and sent to the mobile application with Bluetooth, which provides information about the route between two points as well as possible obstacles such as ramps and stairs to the user. The selection of routes is carried out with Dijkstra's algorithm, this allows a better displacement. The necessary tests were carried out to verify the correct functioning of the system where good results were obtained with the use of navigation routes by users.

INTRODUCCIÓN

Actualmente, la ceguera y discapacidad visual es uno de los principales problemas que afecta a la población mexicana y se ha incrementado de manera considerable en los últimos años. La ceguera puede manifestarse de dos formas: parcial o total, y ambas conllevan una serie de dificultades que impactan significativamente en la vida de las personas. Estas dificultades están relacionadas principalmente con la seguridad, la independencia y la movilidad, lo que resulta en una disminución de la calidad de vida y limita el pleno desarrollo de los individuos.

Con el objetivo de abordar esta problemática, se ha dedicado un esfuerzo considerable en los últimos años para proporcionar alternativas que permitan a las personas ciegas y con discapacidad visual disfrutar de una mayor independencia y seguridad al desplazarse de un lugar a otro. En este contexto, se plantea la implementación de un sistema de navegación diseñado específicamente para permitir a las personas con dicha discapacidad, moverse con mayor seguridad en entornos desconocidos o desafiantes. Implementando de la tecnología de reconocimiento de color.

A diferencia de otras herramientas que se enfocan en detectar cambios en el suelo o posibles obstáculos, el sistema propuesto tiene como objetivo principal proporcionar a los usuarios rutas seguras para desplazarse entre dos puntos clave: su ubicación actual y su destino. Esto es especialmente relevante considerando que muchas personas que utilizan el bastón blanco son capaces de reconocer obstáculos en entornos conocidos, pero enfrentan mayores dificultades al desplazarse en lugares desconocidos o poco familiares.

Por esta razón, el sistema busca notificar al usuario acerca de posibles peligros como la presencia de escaleras y rampas, que podrían representar un riesgo durante el trayecto. De esta manera, se brinda una mayor seguridad y se promueve una experiencia de desplazamiento más confiable para las personas.

En el transcurso de esta investigación, se detallará el desarrollo de cada una de las componentes que conforman el proyecto. Para lograr esto, se comenzará explorando y definiendo conceptos fundamentales que resultan clave para comprender a fondo el tema en cuestión. De esta manera, se establecerán las bases necesarias para adentrarnos en los aspectos principales del proyecto. De modo que en el capítulo 1 se discutirá acerca de la discapacidad visual, ceguera y la importancia que tiene el considerarla como uno tema importante de investigación en la actualidad; se determinan los objetivos que se buscan cumplir con dicha propuesta, así como, sus alcances y limitaciones.

En lo que concierne al capítulo 2 se hablará acerca de los trabajos relacionados que se han elaborado en los últimos años para conocer de manera específica el estado del arte de la investigación y de algunas de las soluciones propuestas y desarrolladas que pretenden dar solución a este problema. También se mencionan las tecnologías utilizadas para el desarrollo del prototipo de navegación propuesto, con el fin de dar a conocer de mejor manera el funcionamiento de este.

El capítulo 3 describe la metodología seguida para llevar a cabo el desarrollo del sistema de desplazamiento propuesto, donde se menciona el tipo de investigación a realizar y el proceso llevado a cabo para el cumplimiento de los objetivos.

Por otro lado, el capítulo 4 muestra las pruebas de funcionamiento realizadas por algunos participantes, así como los resultados obtenidos a partir de estas. Dichos resultados son recopilados con ayuda de un entrevista previa y posterior al uso del sistema.

Por último, el capítulo 5 muestra las conclusiones obtenidas a partir de los resultados mostrados en el capítulo anterior, así como las posibles recomendaciones para tener en cuenta para trabajos futuros.

CAPÍTULO I GENERALIDADES DEL PROYECTO

1.1 Marco teórico

1.1.1 Discapacidad visual

En la actualidad, la discapacidad visual ocupa el segundo lugar dentro de las discapacidades a nivel mundial con al menos 2200 millones de personas alrededor del mundo que presentan deterioro de visión (Organización Mundial de la Salud, [OMS], 2022). La discapacidad visual es uno de los mayores problemas que afecta a la población actual de diferentes y múltiples, afectando aspectos importantes como lo son la dificultad de adaptación a los ambientes desconocidos, dificultad de desarrollo y crecimiento.

Es importante resaltar que si bien la ceguera no es lo mismo que discapacidad visual muchas de las personas con dicha discapacidad presentan ceguera ya sea total o parcial. Por lo que se encuentra en muchas veces relacionada con esta.

A lo largo de los años la definición de ceguera y discapacidad visual ha sido revisada y modificada desde la primera concepción de dicho termino en el año de 1972. La Organización Nacional de Ciegos Españoles dice que la ceguera ([ONCE], s.f.), discapacidad visual grave o deficiencia visual se caracteriza por la limitación de la visión, ya sea total o de alto grado.

La ceguera es entendida habitualmente como la privación de la sensación visual. Oftalmológicamente se interpreta como la ausencia total de visión, incluida la falta de percepción de luz. Esta puede ser de manera absoluta (total) o bien de un modo parcial (legal) en cualquiera de los casos es considerada como discapacidad visual (Nuñez, M. 2001).

Por otro lado, continuando con la idea principal; Ramírez Moguel (2010) menciona que la discapacidad visual puede ser entendida como una condición que afecta la percepción de imágenes de forma total o parcial. Esta puede ser definida por la

agudeza y campo visual, siendo considerada como discapacidad visual cuando presentan disminuciones significativas.

1.1.2 Tipos de ceguera

1.1.2.1 Ceguera total

Se le conoce como ceguera total cuando se tiene una ligera percepción de luz o no es posible el ver absolutamente nada. Para el primer caso es posible el percibir y distinguir luz y oscuridad, pero no es posible la distinción de objetos.

1.1.2.2 Ceguera parcial

Dentro de la ceguera parcial se encuentran las personas que pueden distinguir objetos cercanos o bajo condiciones específicas, haciendo que su visión sea limitada, en comparación con las personas que no presentan ningún tipo de disminución visual.

1.1.3 Aparatos de movilidad asistida

Los aparatos de movilidad asistidos están diseñados para servir como apoyo a la movilidad y desplazamiento de personas con discapacidad o lesiones. Existen diferentes aparatos que sirven como apoyo. Algunos ejemplos de los más utilizados son los bastones, muletas, sillas de ruedas, andaderas, entre otros.

Estos aparatos de asistencia son considerados como una herramienta importante e indispensable para personas con discapacidad visual y ceguera, los cuales permiten al usuario desplazarse dentro de entornos de una manera más segura y eficaz. En la mayoría de los casos dichas personas son dependientes al uso de bastones o lazarillos.

1.1.4.1 Bastón

Comúnmente utilizado como herramienta para permitir una mejor movilidad, tanto en personas ciegas y débiles visuales como en todas aquellas que presenten dificultad de desplazamiento. Aunque su forma puede variar según su uso, este

consiste en manera esencial de un palo, con un puño para ser sostenido, que sirve como soporte para apoyarse al andar.

Los bastones guía para personas con ciegas cuenta con diferencias en comparación con otros. Estos han recibido el nombre de bastón blanco y han sido utilizados a lo largo de la historia. La primera vez que se utilizó el bastón blanco fue en 1921 por José Mario Fallótico, sin embargo, nunca lo patentó (Fundación AON España, 2017; Instituto Panameño de Habilitación Especial, 2020) y no fue hasta 1930 que el presidente del Club de Leones de Illinois, de nombre George Benham propuso el uso de una franja roja en la parte inferior del bastón. Propuesta que fue aceptada y utilizada como estándar a lo largo del mundo.

En el año de 1946 Richard Hoover, Oftalmólogo veterano de la guerra propuso un nuevo diseño de prototipo de bastón, el cual es utilizado hasta la actualidad.

Los bastones tienen como objetivo principal, aparte de proteger a las personas ayudando a orientarse y localizar obstáculos; el ser distintivos e informativos, en primer lugar, ayudan a reconocer a personas con discapacidad visual cuando estas se encuentran en lugares públicos y como segundo punto ayudan a identificar el tipo de discapacidad visual de cada persona (Fundación del Instituto de Microcirugía Ocular [Fundación IMO], s.f.).



*Figura 1 Ejemplo de bastón blanco para personas con ceguera total.
Fuente: Amazon.com.mx*

En la Figura 1 se muestra un ejemplo de bastón blanco original, el cual es utilizado por personas con ceguera total. La idea de usar el color blanco se basa principalmente en la visibilidad con la que cuenta, siendo fácilmente percibido por los vehículos.

Por otro lado, encontramos al bastón de color blanco y rojo que se muestra en la Figura 2, utilizado por personas Sordociegas, es decir que no puede oír ni ver. Dicho bastón fue designado por la Federación Mundial de Personas con Sordoceguera. En el año 2016 la ONCE a través de la Fundación para la Atención de las Personas con Sordoceguera (FOAPS), junto con la Federación de Asociaciones de Personas Sordociegas de España (FASOCIDE) y la Asociación Española de Familias de Personas con Sordoceguera (APASCIDE) se propuso el uso de bastones blanco con rojo como identificación (ONCE, 2016).



*Figura 2 Bastón blanco y rojo para personas Sordociegas.
Fuente: Amazon.com.mx*

También es posible encontrar bastones verdes tales como el ejemplo de la Figura 3 los cuales son utilizados por personas con baja visión, es decir, presentan cierto grado de deficiencia visual. Este tipo de bastones no es muy común, por esa razón, no suelen ser fáciles de adquirir.



*Figura 3 Bastón verde para personas con baja visión.
Fuente: Pastor Martínez, 2019.*

Por último, tenemos a los bastones amarillos utilizados como sustitutos del bastón verde para personas con visión o un espectro visual muy escaso. Así como también para aquellas que padecen otro tipo de problema como ceguera nocturna, desprendimiento de Retina, glaucoma, entre otros. La Figura 4 no muestra un ejemplo de dicho bastón.



*Figura 4 Bastón amarillos para casos diversos.
Fuente: Pastor Martínez, 2019.*

1.1.4 Sensores

Son dispositivos capaces de convertir fenómenos físicos en voltajes analógicos y señales digitales. Permite obtener mediciones las cuales son entendidas por el ser humano. Estos son capaces de detectar y responder a estímulos y acciones.

Corona et al. (2014) define a un sensor como un "Dispositivo de entrada que provee una salida manipulable de la variable física medida".

Los sensores solo pueden funcionar como dispositivo de entrada, ya que se encargan de recolectar datos del exterior. Pueden ser clasificados de diferentes formas, siendo la manera más común el tipo de variable a medir o por principios de transducción.

1.1.4.1 Sensores de color

Estos sensores son utilizados para la detección de colores en superficies, convierten la luz en frecuencia, la cual es comparada con los valores establecidos de referencia. Por ello dichos sensores hacen uso de dos variables básicas, filtros de color y la irradiación de la luz y como esta se refleja en el objeto.

Por otra parte, hacen uso de transmisores y receptores, de tal modo que una luz es emitida hacia un objeto para luego detectar la luz reflejada con ayuda del receptor. Para lo cual es comúnmente utilizado el RGB (Red, Green y Blue) compuesto con los colores rojo, verde y azul.

1.1.4.2 Sensores de imagen

El sensor de imagen hace la recolección de información con ayuda de la detección de ilustraciones similar a una cámara, sin embargo, a diferencia de esta los sensores de visión cuentan con bibliotecas para el reconocimiento y procesamiento de imágenes, las cuales pueden estar o no en tiempo real.

“Los sensores de visión combinan la capacidad de una cámara de tomar fotografías con la potencia del procesamiento de una computadora que puede tomar decisiones [...]” (Benoit, 2019).

Este tipo de sensores pueden hacer múltiples análisis de una misma imagen adquirida, de igual modo es posible el detectar características, colores y patrones, razón por la cual se son utilizados dentro de la visión artificial.

1.1.5 Grafos

Generalmente son conocidos como diagramas o representaciones diagramáticas, los grafos se encuentran conformados por un conjunto finito de nodos y vértices, dichos nodos se unen con ayuda de los vértices. En muchas ocasiones los nodos guardan información que hace posible el análisis de relaciones entre los diferentes nodos que conforman a un grafo. La Figura 5 no muestra un ejemplo de grafo común.

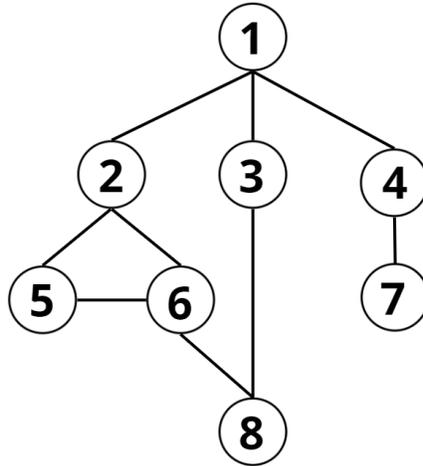


Figura 5. Representación de grafo.
Fuente: Propia.

Menéndez Velázquez (1998) plantea de manera algebraica la representación de un grafo, el cual se encuentra conformado por un conjunto de vértices V y un conjunto de lados, E .

De modo que:

$$G = (V, E) = (V(G), E(G))$$

En donde V es un conjunto de *vértices* o *nodos* y E un conjunto de pares no ordenados también conocidos como lados o aristas.

De esta misma manera el orden del grafo a analizar se determina considerando el número de vértices dentro del grafo G , $|V(G)|$. Y el tamaño es determinado por el número de lados de un grafo G , $|E(G)|$.

1.1.6 Matriz de adyacencia

En teoría de los grafos, una matriz de adyacencia es utilizada para la representación de grafos mediante su análisis y abstracción de información. Representa la relación existente entre los diferentes nodos o vértices (Ombita et al., 2017).

Sea un grafo $G = (V, A)$ de vértices o nodos n . Donde $V = \{v_0, v_1, v_2, v_3, \dots, v_{n-1}\}$ representa el conjunto de vértices y $A = \{(v_i, v_j)\}$ presenta los arcos. Se utiliza una matriz X de $n \times n$ elementos. Denominada matriz de adyacencia.

En donde:

$$x_{ij} = \begin{cases} \text{Si existe arista } (v_i, v_j) & 1 \\ \text{Si no existe arista } (v_i, v_j) & 0 \end{cases} \quad (1)$$

Los grafos no dirigidos tienen como matriz de adyacencia una matriz simétrica de modo que si v_i se relaciona con v_j , v_j se relaciona de igual manera con v_i (Instituto Nacional de Astrofísica [INAOE], 2017). Ejemplo de ello se muestra en la matriz resultante del grafo mostrado por la Figura 6.

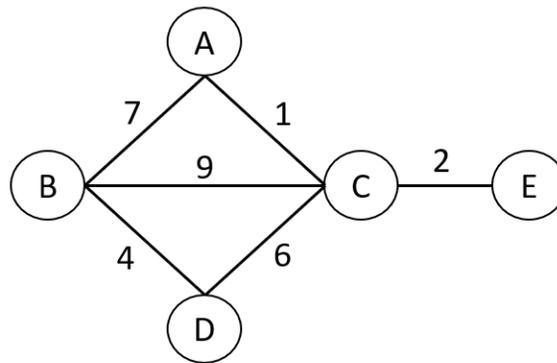


Figura 6. Grafo no dirigido con peso positivo.

Matriz de adyacencia x resultante:

$$x = \begin{pmatrix} 0 & 7 & 1 & 0 & 0 \\ 7 & 0 & 9 & 4 & 0 \\ 1 & 9 & 0 & 6 & 2 \\ 0 & 4 & 6 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 2 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad (2)$$

1.1.7 Algoritmo de búsqueda

1.1.7.1 Algoritmo Búsqueda en profundidad

También conocido como algoritmo DFS (Depth First Search), es un algoritmo de búsqueda el cual recorre los nodos dentro del grafo para la localización de un nodo destino. Dicho algoritmo puede o no contar con un nodo raíz, de modo que el

recorrido comienza por alguno de los nodos de manera aleatoria y termina una vez que todos hayan sido recorridos o encontrado el nodo destino.

Para el caso de no contar con nodos adyacentes, se regresa al nodo anterior para así continuar su camino. De este modo, si no es posible continuar con el recorriendo en nodos adyacentes no visitados, el algoritmo cuenta con la capacidad de regresar al punto anterior más cercano, el cual cuente con alternativas no exploradas.

1.1.7.2 Algoritmo de búsqueda en anchura

El algoritmo BFS o Breadth First Search recorre los nodos dentro del grafo comenzando por el nodo determinado como raíz y continuando por sus adyacentes. Este es comúnmente utilizado para determinar el camino más corto entre el nodo inicial y el destino.

Dicho algoritmo se encarga de explorar los nodos conectados al nodo raíz, el recorrido termina cuando se han recorrido todos los nodos o se ha encontrado el nodo destino (Sánchez y Gutiérrez, 2016).

Su implementación se basa en el uso de una cola de prioridad, encargada de colocar los sucesores de cada nodo al final de la cola.

1.1.7.3 Algoritmo de búsqueda de costo uniforme (BCO)

Al igual que los algoritmos mencionados anteriormente se encarga de recorrer los nodos de un grafo o árbol con el fin de encontrar el camino más óptimo entre dos nodos, este algoritmo resulta similar al de búsqueda por anchura.

La importancia del uso de costes se debe a que se tiene como objetivo el incrementar el coste con cada paso del algoritmo con la finalidad de obtener costes resultantes para cada uno de los caminos recorridos y con ello el camino más corto (Fernández, 2018). Para ello se requiere del uso de árboles o grafos ponderados tal y como se puede observar en la Figura 7.

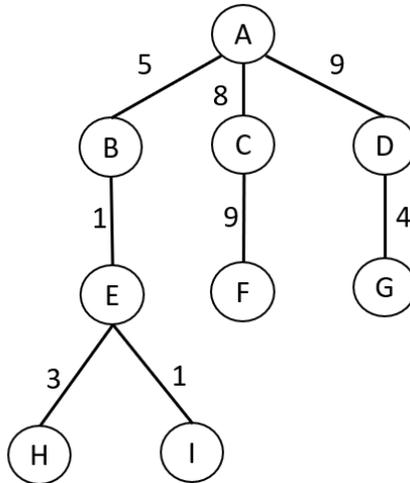


Figura 7. Ejemplo de grafo ponderado necesario para la búsqueda de costo uniforme
Fuente: Propia.

Este algoritmo tiene como objetivo principal el poder localizar el camino entre el nodo raíz y el destino puntos con el menor coste posible, de esta manera el coste del final del camino resulta de mayor importancia que el número de pasos.

Al igual que otros algoritmos, como lo son el de búsqueda por anchura, utiliza la implementación una cola de prioridad también conocida como lista ordenada la cual se encarga de almacenar los nodos que cuenten con los costes más bajos, de este modo él se exploraran aquellos nodos con menor coste y no los que ocupen primera posición en la lista (Fernández, 2018).

1.1.7.4 Algoritmo de Dijkstra

El algoritmo Dijkstra es un tipo del algoritmo de coste uniforme, creado y publicado por el Dr. Edsger W. Disjkstra, para la búsqueda de camino más corto entre nodos, contando con un nodo raíz o inicial hacia todos los caminos posibles dentro del grafo. De modo que todos y cada uno de los posibles caminos encontrados entre el nodo raíz y el destino son analizados con el fin de obtener aquel con el menor coste (Fernández, 2018).

El algoritmo no es utilizado para la reducción de longitud entre caminos, más bien localiza en camino con menor longitud de entre todos los posibles. Es por esta razón

que es considerado como uno de los principales algoritmos utilizados en enrutamiento (Mayta Quello, 2018).

Una de las características indispensable para la aplicación del algoritmo de Dijkstra es que requiere del uso de costes positivos, ya que, los costes obtenidos en cada paso son sumado para la obtención del coste final.

Méndez et al., (2013) propone el pseudocódigo resultante de dicho algoritmo, el cual es analizado a continuación:

1. Definir un vector distancias D , e inicializarlos con valores infinitos para cada uno de los nodos pertenecientes al grafo propuesto, de este mismo modo inicializar la distancia perteneciente al nodo inicial con el valor 0, siendo este el valor más corto.
2. Se recorren los vértices adyacentes al $nodo_{actual}$, y son agregados a $nodo_{visitado}$.
3. Si $Distancia_{visitada} > (Distancia_{actual} + D(nodo_{actual}, nodo_{visitado}))$ entonces:
$$Distancia_{visitada} = Distancia_{actual} + D(nodo_{actual}, nodo_{visitado})$$
4. El al $nodo_{actual}$ es marcado como $nodo_{visitado}$ y se toma como nuevos nodos actual aquel con menor valor dentro del vector D , dicho proceso es repetido hasta que no existan nodos no visitados.

1.7.1.5 Algoritmo de Bellman-Ford

Algoritmo desarrollado por Richard Bellman, Samuel End y Lester Ford, utilizado para la búsqueda del camino más corto entre dos puntos en árboles y grafos con ponderaciones de peso negativo y en grafos dirigidos. Una de las principales características es su correcto funcionamiento en grafos con ciclos negativos, yal y como se puede observar en la Figura 8. Siendo de este modo uno de los más utilizado para el procesamiento de grafos con ponderación negativa (Mayta Quello, 2018; Penagos Estrada, 2010).

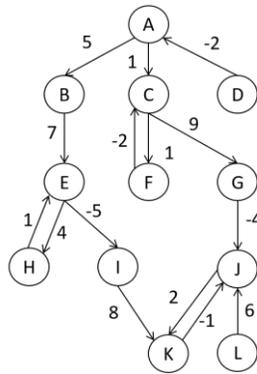


Figura 8. Ejemplo de grafo dirigido ponderado con pesos negativos y positivos, así como ciclos.

Fuente: Propia.

El algoritmo lleva a cabo una serie de procesos para su funcionamiento lo cual se resume dentro de la Figura 9.



Figura 9. Resumen del proceso del algoritmo Bellman Ford.

Fuente: Propia.

Yungán et al. (2022) propone un pseudocódigo resultante del algoritmo de bellman, el cual es descrito a continuación.

1. Inicializar todos los vértices y establecer las distancias iniciales con valores infinitos (Alto no utilizados) y establecer como distancia inicial para el nodo raíz el valor de 0.
2. Repetir el siguiente proceso con base al número de $(vertices - 1)$ tiempos: Para cada arista (V, E) que pertenece al grafo, si $distancia[V] > distancia[E] + peso(E, V)$ entonces se actualiza la distancia a $distancia[v] = distancia[u] + peso(u, v)$.
3. El paso es repetido para cada borde (V, E) si $distancia[V] > distancia[E] + peso(E, V)$ entonces no existe peso negativo entre el origen y el destino.
4. Devuelve los costes de distancia resultantes de todos los nodos.

Después de realizar una evaluación, se determina que el algoritmo de Dijkstra tiene algunas ventajas en relación con los demás.

1.2 Planteamiento del Problema

Los problemas visuales no son una cuestión reciente, ya que a lo largo de la historia ha habido un significativo número de personas que han enfrentado la ceguera. Esta situación puede tener múltiples causas y grados de severidad. Algunas de las principales causas incluyen condiciones congénitas, accidentes y enfermedades que no han sido tratadas o prevenidas. Según la OMS (2022) las principales causas de esta son provocadas por enfermedades como lo son cataratas, degeneración muscular, glaucoma, retinopatía diabética, infecciones oculares, tracoma y deficiencia de vitamina A.

En la actualidad, independientemente de las causas que originen de la discapacidad visual, esta conlleva una serie de dificultades significativas que se deben tener en cuenta. Una de las dificultades más destacadas es la limitación en el desplazamiento, la cual afecta no solo la libertad de movilidad de las personas, sino también la ejecución de actividades básicas y cotidianas, convirtiéndolas en tareas difíciles de llevar a cabo y limitando así su independencia.

Según datos proporcionados por INEGI (2021), el 5.7% de la población, equivalente a 7 168 024; tiene discapacidad o y/o algún problema o condición mental, de las cuales un 869 mil (12%) son jóvenes entre 15 y 29, 2.2 millones (31%) son adultos y 3.2 millones (45%) son adultos mayores. De dichos porcentajes, alrededor de 2.7 millones (2 691 338) de personas presentan dificultad de visión aun usando lentes. El problema de la visión se coloca en segundo lugar dentro de las discapacidades en México, siendo superado solo por la dificultad de movimiento (Caminar, subir, bajar) con 2 939 986.

Con el rápido crecimiento de ciudades, la movilidad de personas con discapacidad visual se ve constantemente afectada, ya que generalmente no se cuentan con infraestructuras pensadas para el uso de ellas, lo que imposibilita realizar el

desplazamiento de manera eficiente y segura, así como también perjudicada de manera considerada a la calidad de vida de las personas.

Se estima que un considerable número de jóvenes y adultos enfrentan problemas de visión y la mayoría de ellos necesitan desplazarse de forma independiente en diversos entornos, como lugares públicos, escuelas, instituciones, centros de trabajo, entre otros. Es importante tener en cuenta que muchos de ellos carecen de asistencia constante debido a la falta de acompañantes que puedan brindarles apoyo en todo momento.

Según datos proporcionados por INEGI (2021), 1.2 millones de personas con discapacidad visual, de 15 años o más no sabe leer ni escribir. Esto debido a que muchas escuelas no cuentan con las políticas educativas de inclusión que permitan el desarrollo de personas con discapacidad visual, así como falta de infraestructura y condiciones que permitan un correcto desplazamiento, reduciendo de esta manera la presencia de personas con dicha discapacidad dentro de escuelas e instituciones, contribuyendo a la exclusión y falta de oportunidades.

La dificultad visual y ceguera son problemas que no pueden ser fácilmente prevenidos o controlados, lo que significa que todas las personas son susceptibles de enfrentar estos desafíos en algún momento de sus vidas. Es por esta razón que en los últimos años se ha realizado un considerable avance en el desarrollo de diversas herramientas tecnológicas que brindan apoyo al desplazamiento de las personas con discapacidad visual. Estas nuevas tecnologías buscan mejorar la calidad de vida de todas las personas, y la inclusión se ha convertido en un elemento fundamental en el progreso de la sociedad.

1.3 Justificación

En los últimos años, la población ha incrementado y con ello el desarrollo de soluciones que brindan una mejor calidad de vida, sin embargo, esto no es lo único que ha crecido ya que el número de personas con problemas visuales ha aumentado gradualmente (INEGI, 2021).

A diario, las escuelas e instituciones reciben a un amplio número de alumnos, visitantes y empleados, entre los cuales se encuentran personas con discapacidad visual o ceguera. Aunque se han implementado infraestructuras destinadas a mejorar la movilidad de personas con discapacidad, aún persisten problemas significativos en cuanto al desplazamiento adecuado y eficiente, lo que dificulta la realización de ciertas actividades.

Por esta razón se propone un dispositivo de apoyo basada en el uso del bastón blanco, comúnmente utilizado por las personas ciegas y débiles visuales; con ayuda de sensores (RGB) para el reconocimiento de colores. Aunado a esto se plantea el desarrollo de un sistema de software que haga posible la gestión de la información recibida por el sensor, con el fin de poder proporcionar información acerca del entorno y con ello brindar un mejor desplazamiento. En adición a esto se propone del uso del algoritmo de Dijkstra para la búsqueda del camino más corto entre dos puntos, los cuales se plantea sean previamente determinados dentro del software.

El uso de este dispositivo supondrá una notable mejora en la movilidad de las personas con discapacidad visual, brindándoles mayor seguridad al desplazarse en entornos amplios o desconocidos. Al mejorar su percepción espacial, les permitirá desenvolverse de manera más efectiva en su entorno. Se planea que este dispositivo sea accesible en instituciones públicas, privadas y lugares de trabajo, así como en cualquier otro lugar que cumpla con los requisitos necesarios, con el objetivo de fomentar la independencia de movimiento sin necesidad de depender de acompañantes.

El objetivo principal de la propuesta es el poder contribuir de alguna forma a la solución de problemas de desplazamientos a los que se enfrentan un gran número de personas con discapacidad visual en México, brindando una nueva alternativa tecnológica para la movilidad mediante la detección de líneas de colores utilizando sensores y envío de mensajes a la aplicación móvil, con el uso de Bluetooth. La navegación es llevada a cabo con ayuda del algoritmo de Dijkstra que permite el traslado a puntos clave (edificios, aulas, entre otros) dentro de las instituciones.

1.4 Hipótesis

El uso de un bastón que incorpore algoritmos de búsqueda y detección de colores mediante sensores facilitará la movilidad de personas con algún tipo de ceguera o dificultad visual, permitiéndoles desplazarse con mayor confianza y precisión hacia un destino predeterminado.

1.5 Objetivo general

Desarrollar un bastón inteligente que brinde asistencia al desplazamiento seguro de personas con discapacidad visual en lugares públicos y privados a través de la detección de líneas de colores mediante el uso de sensores.

1.6 Objetivos específicos

1. Comparar diferentes modelos de sensores para la detección de colores.
2. Diseñar un prototipo a través un software de circuitos electrónicos.
3. Construir un accesorio de bastón para guiar a través de sensores.
4. Definir estrategias de comunicación de avisos y mensajes entre bastón y persona ciega o débil visual.
5. Codificar una aplicación que permita la configuración del bastón a través de bluetooth.
6. Realizar pruebas de desplazamiento con el bastón diferentes líneas de colores.

1.7 Alcances y limitaciones

1.7.1 Alcances

- Que las personas con discapacidad visual cuenten con una nueva herramienta que les permita llegar a su destino de manera segura notificándolo acerca de posibles peligros que pongan en riesgo su seguridad.
- Tener una aplicación móvil disponible para iOS y para Android.
- Utilizar de algoritmos de navegación para asegurar el correcto desplazamiento entre puntos clave.

1.7.2 Limitaciones

- Las personas que usan bastones usualmente están acostumbrados al uso de podotáctiles por lo que usar líneas de colores en el suelo puede resultar confuso.
- El análisis de resultados se basará en la información obtenida del usuario a partir del desplazamiento realizado en espacios específicos.
- Se debe tener definidos los nodos con cada uno de los lugares donde se utilice el dispositivo.
- La propuesta pesa más que un bastón normal.
- El reconocimiento de color puede ser afectado por factores externos no controlables.

CAPÍTULO II ESTADO DEL ARTE

2.1 Trabajos relacionados

Con el fin de poder contribuir a la mejora de la calidad de vida de las personas con problemas visuales, en los últimos años se han desarrollado diversas propuestas cuyo principal objetivo es permitir una mejor navegación y reconocimiento de entornos de manera más eficiente a través del uso de diversas alternativas tecnológicas, cubriendo de esta manera algunas de las deficiencias presentadas en las herramientas convencionales utilizadas por ciegos.

De modo que Shaikh et al. (2018) propone un guante para personas ciegas, conformado por un microprocesador nano y un sensor ultrasónico, los cuales se encuentran montados sobre dicho guante. La aplicación del dispositivo tiene como objetivo el poder localizar y detectar objetos con el fin de obtener información acerca del exterior y enviarla al microcontrolador de tal forma que esta pueda ser proporcionada al usuario mediante un dispositivo de vibración y un zumbador. Haciendo uso de un giroscopio es posible en activar dicho guante teniendo en cuenta los grados detectados por dicho dispositivo. Dicha propuesta se basa en módulos encargados de tareas específicas con el fin de obtener mejores resultados de retroalimentación. Su propósito principal es el poder ofrecer una herramienta ergonómica que sustituya al bastón blanco convencional.

Haciendo uso de tecnologías similares Yahaya et al. (2019) se centra en un sistema conformado de sensores ultrasónicos, zumbadores y un microcontrolador para la detección de obstáculos con una distancia aproximada de un metro, la cual activa el uso de zumbadores, para así brindarle información de posibles obstáculos al usuario. Además, se integró un nuevo sensor encargado de detectar posibles hoyos en el suelo. De acuerdo con las pruebas realizadas se estimó que en el 90.1% de los casos, dicho dispositivo tuvo mejor efectividad que el uso de un bastón blanco clásico.

Por su parte, Messaoudi et al. (2021) nos habla del dispositivo Smart Cane para a navegación en interiores, el cual utiliza computación en la nube e internet de las cosas (IoT) para la detección de objetos. Dicho sistema se encuentra compuesto por un sensor ultrasónico conectado a un microcontrolador con una cámara integrada la cual permite una la detección de colores y objetos. Con ayuda de la información proporcionada por la nube se obtienen rutas para el desplazamiento integrando a su vez respuesta por voz para brindar más información al usuario. Dicho sistema requiere de una conexión a internet para poder llevar a cabo todas sus tareas.

Mogollón Rojas et al. (2021) desarrolla un sistema para desplazamiento de personas ciegas en espacios controlados, basado en el procesamiento de imágenes, proporcionada por una cámara Pi NoIR V2; con ayuda de un controlador Raspberry. Dicho sistema se llevó a cabo bajo el lenguaje de programación Python y OpenCV. La respuesta del sistema es proporcionada al usuario mediante la vibración de un motor vibrador.

Haciendo uso de los teléfonos inteligentes, Árvai (2018) propone un sistema de software el cual combine los métodos de localización y la interfaz hombre-maquina, de manera eficiente para cumplir con las necesidades de desplazamiento de personas con problemas visuales.

El sistema de navegación se encuentra compuesto por diversos módulos tales como: la aplicación móvil, encargada de la navegación y localización y el backend el cual se guarda información que puede ser utilizada para la planeación de rutas de manera anticipada y una base de datos de infraestructura.

Las rutas de navegación utilizada para dicho sistema se realizan en función de un gran número de consideraciones importantes tales como el uso de rutas seguras y no de rápidas o cortas las cuales son generalmente las utilizadas, así como también se utilizan especificaciones detalladas de obstáculos y objetos que puedan llegar a presentarse dentro del camino. Al igual que en la propuesta anterior, se utiliza la salida de voz para llevar a cabo la relación hombre-maquina, con ayuda de un

auricular, así como también el reconocimiento de voz para que el usuario pueda comunicarse con el sistema de manera más práctica.

De igual forma Bouteraa, (2021) propone un sistema de navegación en tiempo real, conformado por sensores, una placa de procesamiento, una interfaz de usuario y un sistema de lógica difusa. Dicho sistema hace uso de voz para poder llevar a cabo la comunicación hombre máquina. El sistema se encuentra integrado por un controlador ROS, un marco de anteojos y un accesorio para mano, dichos anteojos son cuentan por 3 sensores ultrasónicos con módulos vibradores para la detección de obstáculos y objetos, de igual manera el accesorio de mano cuenta con un sensor ultrasónico y contiene un mini-LiDAR.

Por otro lado Branig y Engel (2019) propone el prototipo de un dispositivo de navegación basado en el uso de bastones blancos, los cuales son utilizados por la mayoría de las personas con problemas de visión. Dicha mejora consiste en la implementación de una pelota robótica en un extremo del bastón, la cual es controladas de manera automática. El principal objetivo de este es que no se requiera de equipo adicional tal y como es el caso de las propuestas anteriores las cuales hacen uso de auriculares para su correcto funcionamiento. Dicho prototipo está diseñado para poder guiar de manera automática al usuario haciendo vibrar el mango del bastón.

Así mismo, Mocanu et al., (2020) propone una mejora al uso de bastones blancos, capaces de realizar reconocimiento de códigos de color con el fin de poder seguir rutas preestablecidas de manera segura, lo cual permite al usuario desplazarse con mayor confianza dentro de determinadas áreas mediante señales táctiles de advertencia.

Cardillo et al., (2020) nos habla del uso de ondas milimétricas, por lo que propone un sistema basado en un radar de 122GHZ. Su principal objetivo es el reconocimiento y detección de obstáculos y presencia humana, para esto último se realiza un análisis en los movimientos torácicos. El usuario es informado del entorno mediante una respuesta vibratoria o acústica inversamente proporcional a la

distancia del obstáculo. De acuerdo con las pruebas realizadas, se demuestra la eficiencia para el reconocimiento humano de obstáculos.

Sumathy et al., (2021) propone un sistema de navegación portátil el cual se encuentra conformado por un Arduino UNO encargado de procesar la información recibida por el sensor IR, sensor ultrasónico y el uso de un acelerómetro MEMS, el cual que permite detectar cuando el usuario se mantiene parado dentro de una misma posición. De este mismo modo, dicho sistema permite conocer la ubicación de los usuarios (latitud y longitud) para mantener informado a los cuidadores vía SMS con ayuda de los GPRS en caso de cualquier posible accidente.

2.2 Análisis comparativo de los trabajos relacionados.

A continuación, se muestra la Tabla 1 comparativa de artículos y trabajos relacionados con la propuesta de investigación, en donde se muestran aquellos con mayor impacto y que pueden llegar a contribuir de mayor manera al proyecto presentado.

*Tabla 1 Análisis comparativo de trabajos relacionados.
Fuente: Propia.*

Autor	Título del artículo	Descripción	Tecnologías	Estatus
Shaikh et al., 2018	Wearable navigation and assistive system for visually impaired	Guante con dispositivo electrónico para la localización de objetos	<ul style="list-style-type: none"> • Microcontrolador Arduino Nano • Sensor ultrasónico • Giroscopio 	Finalizado
Árvai, 2018	Mobile phone based indoor navigation system for blind and visually impaired people: VUK — Visionless supporting framework	Sistema de software para dispositivos móviles	<ul style="list-style-type: none"> • Sensores IMU (Unidad de medición inercial). • Detección RSSI del módulo Wifi y bluetooth. • Auriculares. • Open Street Map. • Simple Indoor Tagging 	Evaluación

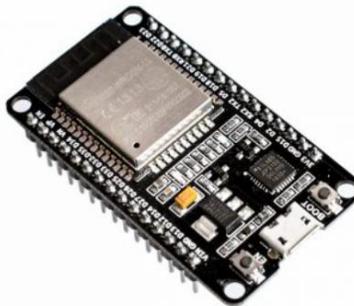
Branig y Engel, 2019	SmartCane: An Active Cane to Support Blind People through Virtual Mobility Training.	Prototipo de bastón blanco con pelota robótica. Para navegación automática.	<ul style="list-style-type: none"> • Navegación por macros. • Pelota Sphero (SPRK+, Sphero Mini 3) se conforman por dos motores, un acelerómetro, un giroscopio, dos LED y dos transductores de desplazamiento. • Bluetooth 	Prototipo
Yahaya et al., 2019	Development of obstacle and pit detecting ultrasonic walking stick for the blind	Sistema para la detección de obstáculos y deformidades en el suelo.	<ul style="list-style-type: none"> • Sensores • Zumbadores • Microcontrolador 	Prototipo probado
Mocanu et al., 2020	Assistive Navigation Application for Blind People using a White Cane Embedded System	Bastón blanco con reconocimiento de color para el desplazamiento	<ul style="list-style-type: none"> • Reconocimiento de color • Redes Petri • Sensores de color, ultrasónicos. • Comunicación inalámbrica • Motores de vibración • Microcontroladores 	Prototipo
Cardillo et al., 2020	Empowering Blind People Mobility: A Millimeter-Wave Radar Cane	Sistema basado en un radar de 122GHZ, para la detección de objetos y personas	<ul style="list-style-type: none"> • Ondas milimétricas 	Prototipo
Sumathy et al., 2021	Smart Guidance System for Blind with Wireless Voice Playback	Bastón blanco con detección de objetos y uso de ubicación a tiempo real	<ul style="list-style-type: none"> • GPRS • Acelerómetro MEMS • Arduino Uno • Sensores IR • Sensores ultrasónicos • Envío de mensajes SMS 	
Bouterraa, 2021	Design and Development of a Wearable Assistive Device Integrating a Fuzzy Decision Support System for Blind and Visually Impaired People	Sistema de navegación para personas con problemas visuales.	<ul style="list-style-type: none"> • Arquitectura Robot Operating System (ROS). • placa maestra Beagle Bone Black • sensores ultrasónicos. • Sistema de alerta audible. • Computación en la nube • Internet de las cosas (IoT) • SLAM. • Arduino Due. 	Prueba
Messaoudi et al., 2020	Autonomous Smart White Cane Navigation System for Indoor Usage	Dispositivo para la navegación de interiores basado en bastones blancos	<ul style="list-style-type: none"> • IoT • Microcontrolador • Sensores ultrasónicos • Cámara • Voz 	Prototipo

Mogollón Rojas et al., 2021	Desarrollo de un sistema guía para el desplazamiento de personas ciegas en espacios controlados	Sistema de navegación para los espacios controlados	<ul style="list-style-type: none"> • cámara Pi NoIR V2 • Raspberry • Python • OpenCV 	
-----------------------------	---	---	--	--

2.3 Propuesta de solución

2.3.1 Placa de desarrollo ESP32

Es una tarjeta de desarrollo, cuenta con módulos Wifi HT40 y Bluetooth de hasta 2.4 GHz. Suele ser utilizada comúnmente dentro de IoT, dispositivos móviles y dispositivos electrónicos portátiles, ya que cuenta con múltiples características con lo son el sensor táctil y de temperatura (solo en algunas versiones), Wifi con un rango de frecuencia de 2.4 GHz ~ 2.5 GHz, Bluetooth 4.2 y BLE. Su microprocesador de uno o dos núcleos y una frecuencia de clock ajustable que va de 80 a 240 MHz. La Figura 10 nos muestra la placa física del módulo ESP32 wrover.



*Figura 10. Placa de desarrollo ESP32.
Fuente: Amazon.com.mx*

Algunos de los protocolos mediante los que puede comunicarse son I2C, SPI, Mac Ethernet, Host SD y UART. La placa PCB se conforma de un amplificador de potencia y de recepción low-noise receiver, módulos de administración de energía, un interruptor de antena, Filtros y balun de RF (Espressif Systems, 2022).

Unas de sus principales ventajas es su bajo costo en comparación a todo lo que esta ofrece. También cuenta con una amplia comunidad, documentación y herramientas

que se desarrollan de manera constante. Otro punto importante es su gran versatilidad y confiabilidad que tiene en su amplia variedad de aplicaciones.

2.3.2 Sensor RGB TCS34725

El sensor RGB TCS34725 que se muestra en la Figura 11 ,cuenta con una matriz de fotodiodos 3x4 (Rojo, Verde, Azul y transparente), cuatro convertidores de analógico-digital (ADC), una máquina de estados, registro de datos, así como una interfaz I2C (Texas Advanced Optoelectronic Solutions [TAOS], 2012).



*Figura 11 Sensor RGB TCS34725.
Fuente: Amazon.com.mx*

Proporciona valores digitales resultante de la detección de RGB y luz clara con una alta precisión, esto se debe a que cuenta con un filtro de bloqueo para infrarrojo que permite que este sea ideal para condiciones de luz variable. Los datos proporcionados por la corriente en los fotodiodos son ampliados por los ADC a un valor digital de 16 bits y pasada a los registros de datos. Su estado de espera entre mediciones disminuye en gran manera el consumo de energía promedio.

La comunicación se realiza por medio de I2C de dos hilos a una velocidad de hasta 400kHz, permitiendo y facilitando conexiones con procesadores integrados y microprocesadores.

2.3.3 Framework React Native

Framework lanzado en 2015 por Facebook, siendo uno de los más populares y utilizados en la actualidad. Algunas de las aplicaciones que hacen uso de React Native son Facebook, Teams, Skype, Discord, Pinterest, entre otros. Su popularidad

se debe en gran parte a que permite la creación de aplicaciones de alto rendimiento, así como a la facilidad y rapidez que tiene el lenguaje JavaScript, siendo un lenguaje intuitivo y fácil de aprender.

React Native Permite la creación de aplicaciones Nativas en sistemas operativos iOS y Android. Este Framework combina el desarrollo nativo de React con las mejores librerías de JavaScript para la creación de interfaces de usuario. Permite la escritura de módulos de lenguaje Objective-C, Swift o Java. Al ser renderizado como código nativo la API utilizada por React Native es la misma que la de la plataforma nativa (Lazcano et al 2019; React Native, s.f.). La Figura 12 nos muestra el logo perteneciente al framework React Native.



*Figura 12. Logo React Native.
Fuente: React Native, 2022.*

Algunas de las ventajas de usar este framework son su óptimo rendimiento y fácil depuración móvil, su corta curva de aprendizaje en comparación con otros lenguajes y su acceso a la API nativa del sistema operativo con el que se trabaje. Algunos otros puntos importantes son su alta reusabilidad de código entre Android y iOS y el hecho de no requerir de compilación para mostrar cambios, ya que solo requiere de guardarlos.

Por otro lado, React Native no cuenta con mucha información en cuestión de errores, su interfaz de usuario es complicada y resulta menos seguro en comparación con sus competidores, siendo algunas de las desventajas que se pueden mencionar.

2.3.4 Lenguaje de programación TypeScript

TypeScript cuyo logo se muestra en la Figura 13 fue creado por Microsoft en 2012 y fundamentado en el lenguaje de programación JavaScript. Aun teniendo pocos años desde su aparición (en comparación con otros lenguajes) su popularidad ha ido aumentando y más aún desde que Google lo adoptó como lenguaje por defecto para desarrollo con Angular.



*Figura 13. Logo TypeScript.
Fuente: TypeScript, s.f.*

Es un lenguaje de Programación Orientado a Objetos de código abierto. Algunos de los puntos importantes que lo hace destacar son sus características similares a lenguajes como Java y JavaScript, ya que combinan puntos positivos de ambos, tales como el ser multiplataforma. Es considerado como un super junto de JavaScript ya que los programas desarrollados bajo este lenguaje son válidos para TypeScript (Valverde y Hernández-Mora, 2019).

Algunas de las ventajas de este lenguaje es la facilidad de aprender, permite leer y redactar de manera más fácil, la escritura estática que nos brinda una mejor estructura de código e implementación de herramientas de desarrollo más avanzadas (mejor detección de errores, autocompletado de código, documentación, entre otros) y por último el uso de bibliotecas de JavaScript.

Por el lado contrario tenemos algunas de las desventajas con las que cuenta dicho lenguaje como lo son la curva de aprendizaje en comparación JavaScript, ya que a pesar de no ser realmente complejo requiere del conocimiento de otros lenguajes como lo son C# y Java. Otro punto importante para considerar es la compilación, ya

que, a pesar de tener como base a JavaScript, este requiere de la transpilación a dicho lenguaje para ser desplegado.

CAPÍTULO III METODOLOGÍA Y DESARROLLO

3.1 Tipo de Investigación

Se propone emplear una metodología de investigación cualitativa para el proyecto, ya que permitirá especificar las características y comportamientos del funcionamiento del prototipo propuesto para la navegación de personas ciegas o con discapacidad visual. Esto facilitará la identificación más efectiva de posibles cambios y modificaciones futuras en el sistema. El enfoque cualitativo nos brindará una comprensión profunda y detallada de los aspectos relevantes del uso del prototipo, lo que resultará en una evaluación más completa y precisa del proyecto en su conjunto.

Sampieri et al. (2014) nos menciona que el enfoque cualitativo hace uso de la recolección y análisis de los datos para afinar las preguntas de investigación o revelar nuevas interrogantes en el proceso de interpretación.

3.2 Muestra

Se seleccionó como sujeto de estudio a personas ciegas totales y parciales pertenecientes a la asociación civil "Estudiantes o trabajadores ciegos y débiles visuales del Estado de Veracruz" ubicada en la ciudad de Xalapa, Veracruz.

El tipo de muestra se seleccionó con base a la disponibilidad de personas pertenecientes a la asociación en cuestión, haciendo uso de muestras homogéneas. Se seleccionaron a 7 personas como muestra, las cuales fueron elegidas de manera aleatorias, basándose en aquellas que puedan utilizar el dispositivo y cuenten con la disponibilidad para ello.

3.3 Instrumento de recolección de datos

Después de una amplia investigación entre posibles métodos de obtención de información, se determinó a la entrevista como método principal para la recolección

de datos. También se consideró a la observación como método para analizar el funcionamiento del dispositivo.

La entrevista será aplicada de manera directa a los usuarios que fueron seleccionados como muestra después que realicen las pruebas correspondientes con el prototipo para identificar si existen áreas de oportunidad.

Para el diseño se utilizaron preguntas abiertas, ya que se plantea obtener datos específicos para determinar la eficiencia del dispositivo, que ayude obtención de posibles mejoras en el sistema.

3.4 Cronograma de actividades

La Figura 14 nos muestra la distribución de actividades más sobresalientes, realizadas durante toda la investigación.

Actividad	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5	Semana 6	Semana 7	Semana 8	Semana 9	Semana 10	Semana 11	Semana 12	Semana 13	Semana 14	Semana 15	Semana 16
Periodo I (asignatura asociada: Seminario I o Seminario de Investigación I)																
Introducción e Inducción (Seminario)																
Proceso de Asignación del tema y director de Tesis																
Formulación del protocolo de tesis																
Revisión del estado del Arte (Planteamiento del problema)																
Formulación de Objetivos general y específicos																
Elaboración del protocolo de tesis																
Elaboración del marco teórico(Tesis)																
Periodo II (asignatura asociada: Seminario II o Seminario de Investigación I)																
Culminación de marco teórico																
Verificación de hipótesis de referencia (estado del arte)																
Formulación de la propuesta de solución																
Culminación del capítulo I (tesis)																
Pruebas de reconocimiento de color con sensores																
Entrega y presentación del avance																
Periodo III (asignatura asociada: Seminario III o Seminario de Investigación III)																
Elaboración del capítulo II (tesis)																
Diseño de circuito electrónico																
Formulación de la metodología																
Elaboración del capítulo III (tesis)																
Programación y pruebas del circuito electrónico																
Diseño del bastón en CAD																
Presentación de avance																
Desarrollo de aplicación móvil (interfaz de usuario)																
Pruebas de comunicación Bluetooth																
Periodo IV (asignatura asociada: Tesis)																
Pruebas y calibración del reconocimiento de color																
Pruebas de avisos de mensajes (App móvil)																
Implementación de algoritmos de búsqueda para la navegación (App móvil)																
Pruebas del sistema de desplazamiento (bastón - App móvil)																
Elaboración de artículo científico																
Implementación de reconocimiento de voz (App móvil)																
Culminación capítulo III (tesis)																
Pruebas de funcionamiento con el apoyo de personas ciegas																
Análisis de resultados																
Elaboración del capítulo IV (tesis)																
Elaboración del capítulo V (tesis)																
Culminación de tesis																

Figura 14. Cronograma de actividades

3.5 Metodología de investigación/desarrollo

Con base en el sistema de navegación, se realizó el diseño la metodología a utilizar, en la cual se plantean cada uno de los pasos importantes a llevar a cabo y el orden en el que estos fueron realizados. La metodología, ilustrada en la figura 15, consta de 8 pasos fundamentales, en los cuales se han establecido actividades que se deben llevar a cabo de forma individual.

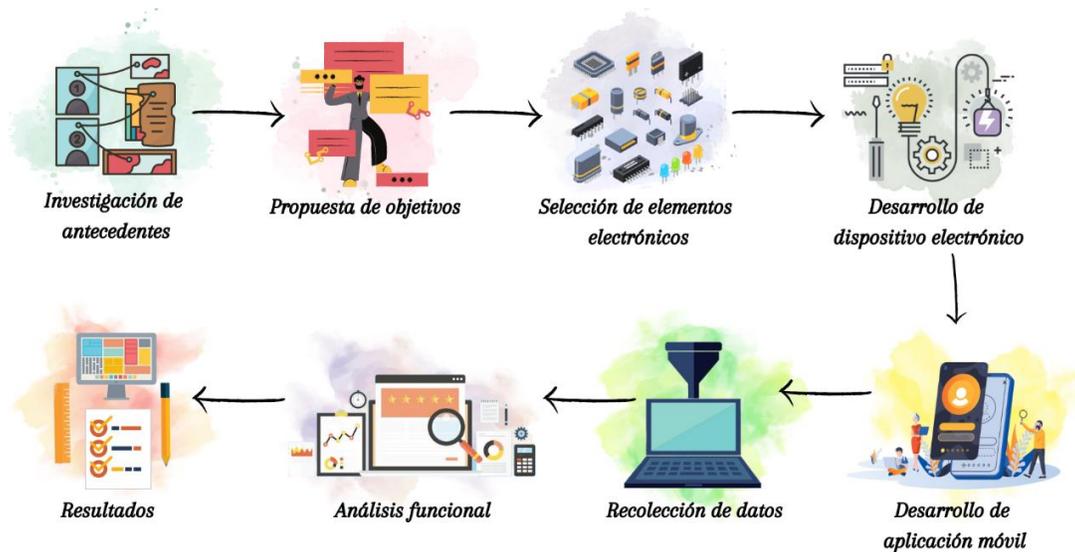


figura 15. Metodología propuesta

A continuación, se describirán cada uno de estos pasos, con el fin de conocer las actividades realizadas en cada uno de ellos, hasta la obtención de resultados.

3.5.1 Investigación de antecedentes relacionado con el tema.

En esta etapa, se llevó a cabo una exhaustiva búsqueda de antecedentes relacionados con el desplazamiento de personas con discapacidad visual, con el objetivo de conocer las tecnologías que han sido ampliamente utilizadas en este

ámbito y comprender cómo pueden impactar en el desarrollo del dispositivo propuesto.

Para esto se utilizaron diversas fuentes de información como lo son bases de datos, artículos de revistas, páginas de internet y tesis científicas con el objetivo de recopilar toda la información posible y seleccionar las más destacables para el desarrollo de la investigación.

3.4.1.1 Enfoque

Se optó por llevar a cabo una investigación de tipo cualitativa, ya que los resultados serán evaluados con base en el funcionamiento del sistema de navegación propuesto, con el fin de poder determinar de manera más efectiva futuros trabajos y modificaciones en el sistema.

De igual manera se plantea el análisis del algoritmo de navegación, de acuerdo con la efectividad del desplazamiento de los usuarios dentro de rutas preestablecidas.

3.4.1.2 Diseño

El sistema de navegación propuesto se conforma por dos partes importantes, en primer lugar, se cuenta con el dispositivo de procesamiento de color, el cual se encargará de realizar el reconocimiento de color detectado y en segundo lugar se tiene un software que hará posible la comunicación entre el dispositivo y el usuario.

El diseño del dispositivo se basó en el uso del bastón blanco, comúnmente utilizado por personas ciegas alrededor de mundo, ya que, en la actualidad dicha herramienta permite un mayor grado el desplazamiento e independencia de personas con dificultad visual.

Por otro lado, se propone una aplicación móvil que permita brindar información al usuario, acerca del entorno y posibles rutas a seguir, siendo el teléfono celular una herramienta con que usualmente todos contamos.

3.5.2 Propuesta de Objetivos

Con base en el planteamiento del problema propuesto, así como en los recursos disponible con los que se desea trabajar se determina el objetivo general y los específicos.

3.5.3 Selección de elementos electrónicos

La selección de elementos electrónicos que conforman al sistema propuestos se llevó a cabo mediante la investigación y análisis comparativo las diferentes opciones dentro del mercado, con el fin de conocer sus características y su funcionamiento con relación al sistema de navegación propuesto.

3.4.3.1 Comparación de opciones disponibles

En lo referente a las especificaciones de cada uno de los elementos electrónicos disponibles se realiza una comparación que engloba varios puntos importantes a considerar como lo son:

- Disponibilidad
- Funcionamiento
- Costos
- Requerimientos adicionales

Conforme a los resultados obtenidos por cada uno de los elementos comparados, se realiza la selección de aquellos que cubran de mejor manera las necesidades del sistema, haciendo posible plantear diferentes alternativas de solución tal y como se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2. Análisis de alternativas de solución propuestas.

Fuente: Propia

	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4
Sensor	Sensor de color TCS34725	Sensor de imagen OV2640	Sensor de color TCS34725	Sensor de color TCS3200 / TCS3210
Controlador / Placa de desarrollo	ESP32	ESP32	ESP32	Arduino
Lenguaje de programación para aplicación móvil	Typescript	Typescript	JavaScript	Typescript
Framework	React Native	React Native	React Native	React Native
Adicionales	-	-	-	Módulo Wifi/ bluetooth

La Tabla 2 muestra el análisis de las diferentes alternativas que se evaluaron para la propuesta resaltando en color verde los elementos seleccionados para la construcción del dispositivo.

3.5.4 Desarrollo de dispositivo electrónico

En este paso se llevó a cabo el proceso de construcción del dispositivo electrónico con los componentes seleccionados en la etapa anterior. Dicho desarrollo se conforma por tres puntos importantes:

- Diseño de dispositivo
- Programación
- Pruebas

3.4.4.1 Diseño del circuito electrónico

Para dar inicio al proceso, se procedió con el diseño del circuito electrónico utilizando el software de simulación Proteus. Esta herramienta permitió obtener una visión inicial sobre la conexión y el funcionamiento del sistema electrónico propuesto.

El diseño propuesto para el reconocimiento de color se conformaba de manera principal del ESP32 Wrover, con antena bluetooth y Wifi; y el sensor de color TCS34725. Las conexiones utilizadas son mostradas en la Figura 16, donde también se implementó el uso de un regulador de voltaje.

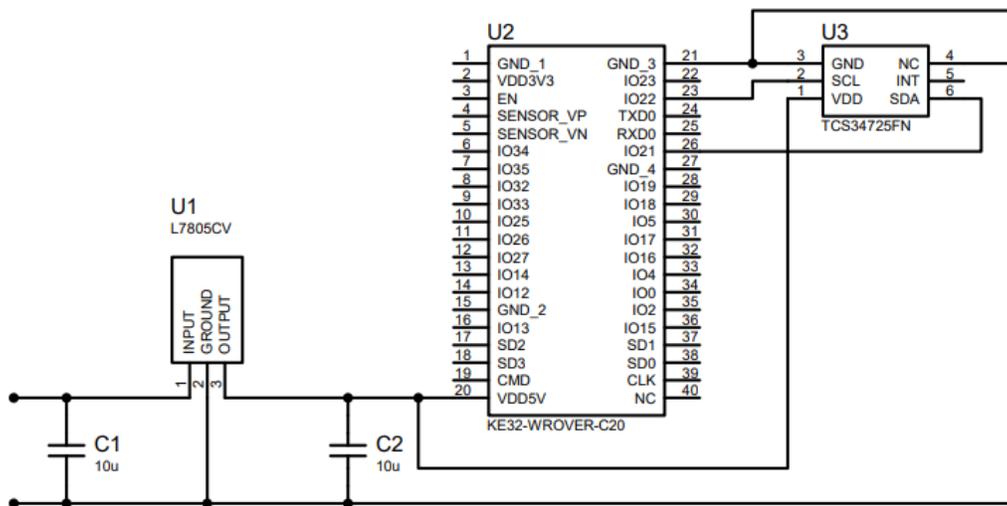


Figura 16. Circuito electrónico propuesto para el reconocimiento de color.

Fuente: Propia

Las conexiones realizadas entre la placa de desarrollo y el sensor fueron hechas con base en las especificaciones de cada uno de los elementos, asegurando de esta forma su correcto funcionamiento. Los pines GPIO 21 y GPIO 22 del ESP32 fueron destinados para la comunicación I2C.

3.4.4.2 Programación

Para la programación de la placa de desarrollo ESP32 se consideraron las principales tareas que llevaría a cabo el sistema, siendo estas:

- Reconocimiento de color.

- Comunicación vía Bluetooth.

Con base en las actividades antes mencionadas, se llevó a cabo la programación para el reconocimiento de color con ayuda del sensor RGB, la cual una vez terminada fue puesta a prueba, asegurando con ello su correcto funcionamiento y llevando a cabo posibles cambios necesarios en la programación, así como también para mejorar la calibración en el reconocimiento de color utilizando papeles de diferentes colores y algunos objetos. La Figura 17 muestra un poco del proceso de reconocimiento de color.



Figura 17 Reconocimiento de color con sensor TCS34725.

Fuente: Propia

Después de obtener un grado aceptable en el reconocimiento de color, se comenzó a desarrollar la comunicación vía bluetooth, para lo cual se utilizaron aplicaciones ya existentes con el fin de evaluar la comunicación.

Además de esto, se incorporó un UUID (Identificador Único Universal) como código de identificación para la conexión entre el dispositivo electrónico y el software encargado de mandar y recibir las instrucciones. Posteriormente, se realizaron ajustes en la programación para facilitar la adecuada comunicación mediante bluetooth con la aplicación propuesta.

3.4.4.3 Placa PCB

La elaboración de la placa PCB se diseñó tomando en cuenta la propuesta de conexión del circuito electrónico inicial (Figura 16) para distribuir cada uno de los elementos, obteniendo como resultado final el mostrado en la Figura 18.

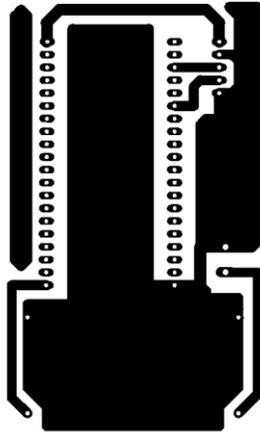


Figura 18. Diseño de placa PCB

Fuente: Propia

Una vez concluido el diseño, la siguiente tarea es la elaboración de la placa física en donde el diseño PCB es plasmado sobre una placa de plástica cubierta de cobre por una de sus caras comúnmente conocida como baquelita, la cual es posteriormente perforada para permitir de esta manera soldar a ella cada uno de los elementos electrónicos que la conforman. Hecha la placa, esta fue sometida a una serie de pruebas con el fin de comprobar su correcto funcionamiento y realizar modificaciones en caso de que fuese necesario. La Figura 19 nos muestra la placa PCB utilizada para el proyecto.

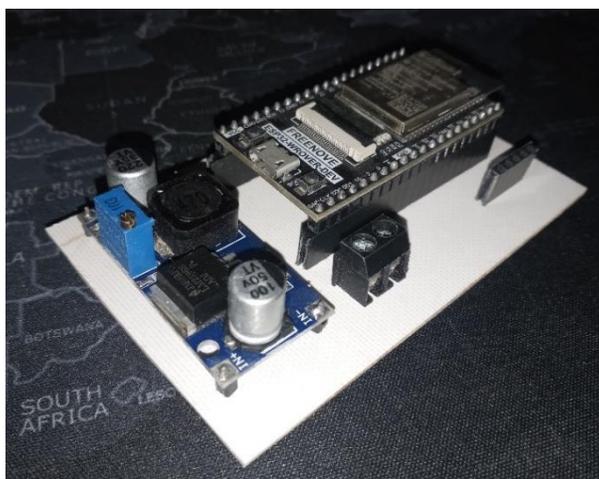


Figura 19. Placa PCB ensamblada.

Fuente: Propia.

La placa PCB utilizada dentro del dispositivo, se encuentra conformada por la placa de desarrollo ESP32, pines de entrada para la conexión del sensor RGB y un regulador de frecuencia junto con sus entradas para la conexión de pilas o batería.

3.4.4.4 Diseño de prototipo

El diseño del prototipo adherido al bastón se basó en las dimensiones de la placa PCB diseñada, así como en los elementos adicionales necesarios para garantizar su correcto funcionamiento. Además, se tuvieron en cuenta las dimensiones estándar de los bastones blancos convencionales, como el diámetro y la altura. Con base en estos factores, se procedió a realizar el diseño final del accesorio, que albergará los componentes encargados de procesar el reconocimiento de color y la comunicación.

La Figura 20 muestra el prototipo final, el cual, se encuentra conformado por 8 piezas importantes de las cuales 1 de ellas se encarga específicamente de sostener el sensor RGB para la toma de lecturas.

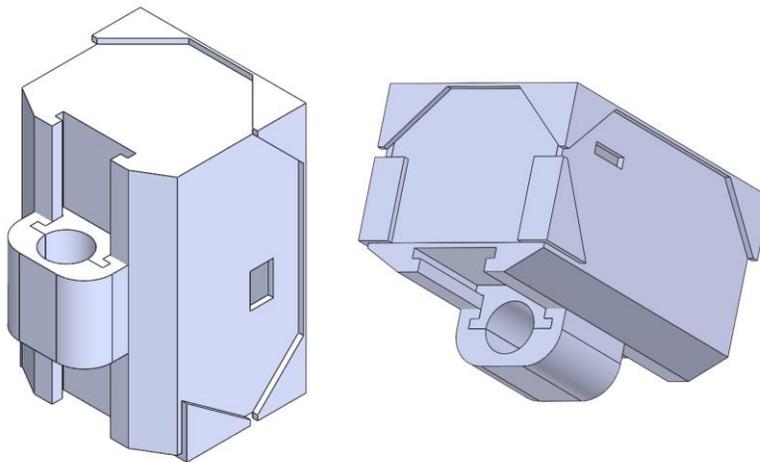


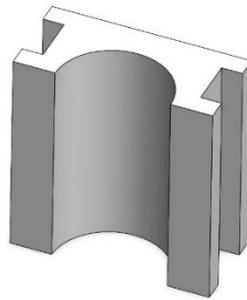
Figura 20. Ensamble de prototipo de accesorio para bastón blanco visto desde dos ángulos.

Fuente: propia

Las piezas del sistema se encuentran distribuidas de la siguiente manera:

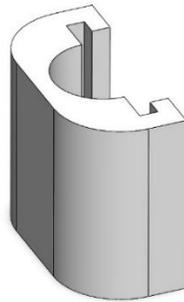
- Agarradera: 2 Piezas

La agarradera se conforma por dos piezas indispensables, encargadas de mantener al accesorio sostenido al basto blanco. Esta primera pieza, que se observa en Figura 21; sostiene el contenedor de elementos electrónicos, la cual le permite acoplarse a la muesca del contenedor y a la segunda pieza de la agarradera.



*Figura 21. Diseño agarradera pieza 1.
Fuente: propia*

La segunda pieza se muestra en Figura 22. Esta pieza complementa a la anterior (Figura 21) adhiriéndose alrededor del bastón de manera eficiente y funcionando como agarradera.



*Figura 22. Diseño agarradera pieza 2.
Fuente: Propia*

El diseño del semicírculo se diseñó con relación al diámetro del bastón blanco, sin embargo, se optó por utilizar un ovalo para el diseño de la agarradera, lo que permite ejercer mejor presión sobre el diámetro del bastón, evitando que este se desplace de lugar.

De este mismo modo optó por utilizar un accesorio desmontable con el fin de poder colocarlo a cualquier distancia del bastón, según se acomode o requiera el usuario.

El siguiente componente que integra el sistema es el contenedor.

- Contenedor: 1 Pieza

El contenedor es aquella pieza en la que se encuentra la placa PCB y las baterías que esta requiere. Se determinó el utilizar una sola pieza para ella, brindando mejor soporte al sistema y manteniéndolo fijo.

La Figura 23 muestra la parte interior del contenedor. La parte más angosta es aquella en la que son colocadas las dos pilas de litio utilizadas para el sistema con sus respectivos porta pilas. Encima de ellas es colocada la placa PCB respectivamente.

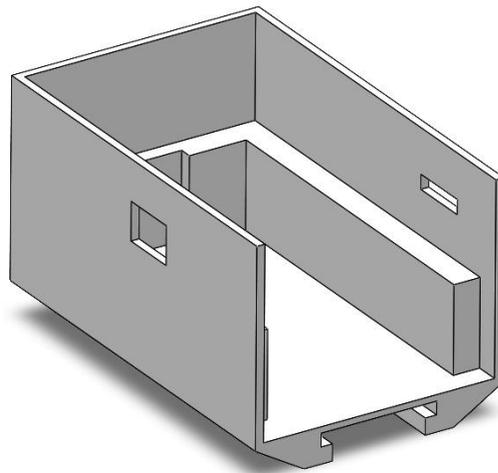


Figura 23. Diseño contenedor de elementos electrónicos.

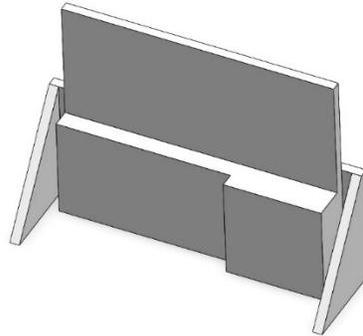
Fuente: propia.

Por la parte exterior, el contenedor cuenta con dos muescas en las cuales es acoplado la pieza 1 de la agarradera (Figura 21).

- Tapa: 2 Piezas

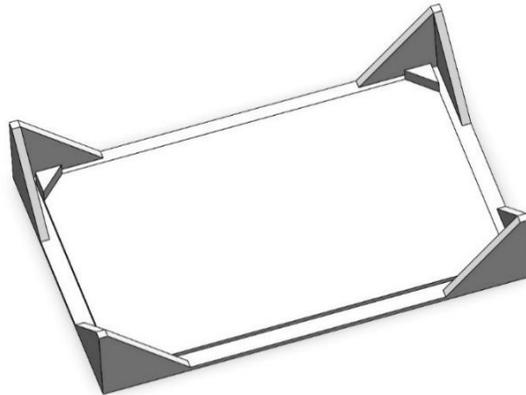
La tapa del contenedor se encuentra construida por dos piezas, La primera de ellas es colocada en la parte superior del contenedor, razón por la que es más

pequeña en comparación a la segunda. La Figura 24 nos muestra el diseño CAD de la pieza antes mencionada



*Figura 24. Diseño tapa superior del contenedor de elementos electrónicos.
Fuente: propia.*

La segunda tapa se muestra en la Figura 25, esta es colocada justo después de la primera y se encarga de cubrir la parte posterior del contenedor.



*Figura 25. Diseño tapa posterior.
Fuente: propia*

Las equinas adicionadas a ambas tapas fueron agregadas, para sostenerlas de manera eficiente, asegurando de esta forma que estas no puedan separarse fácilmente.

- Porta sensor: 3 Pieza

Por último, se tiene el ensamble el cual tiene como principal objetivo mantener el sensor en posición vertical en todo momento para detectar de manera eficiente

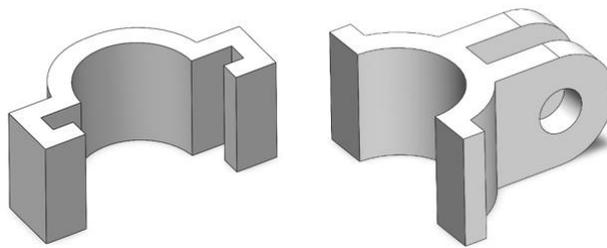
la línea del color en el suelo. En Figura 26 es posible observar el diseño CAD del ensamble que conforma al porta sensor.



*Figura 26. Ensamble de porta sensor.
Fuente: propia*

El ensamble se conforma por 3 piezas. Dentro de las que encontramos la encargada de sostener el sensor y aquellas que funcionan de agarradera, de manera similar a las antes mencionadas para el contenedor (Figura 21 y Figura 22).

La agarradera se conforma por 2 partes, las cuales son adheridas al bastón y a su vez se encargan de sostener el porta sensor, ambas piezas se muestran en la Figura 27.



*Figura 27. Diseño agarraderas de porta sensor.
Fuente: propia*

Por último, se tiene la pieza encargada de contener al sensor, la cual en su interior cuenta con varios niveles que permitan ajustar la distancia de lectura del sensor, asegurando de esta forma un mejor reconocimiento de color. Además, se integró un cristal o acrílico que permite cubrir la parte inferior de la porta sensor protegiéndolo

de agua u objetos sólidos que puedan dañarlo. Dicha pieza se puede observar en la Figura 28.

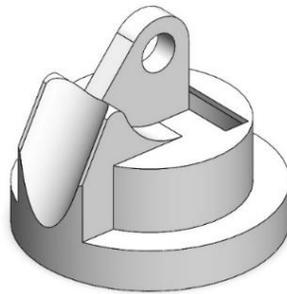


Figura 28. Diseño de porta sensor.

Fuente: propia

Después de realizar un análisis, se tomó la decisión de construir el prototipo a través de la impresión 3D para reducir el peso y realizar un mejor acabado en comparación de otros materiales.

Finalmente, la Figura 29 nos muestra el ensamble del prototipo físico realizado en impresión 3D, utilizando filamento blanco. Este cuenta con 5 piezas que conforman de la parte superior del sistema de reconocimiento y procesamiento de color.



Figura 29. Ensamble de prototipo de accesorio impreso en 3D.

Fuente: propia

El contenedor lleva en su interior la batería utilizada para alimentar el sistema, así como la placa PCB. Por otro lado, tal y como se muestra en la Figura 29, el prototipo

cuenta con un switch para encender y apagar el sistema, también se tiene una abertura por el cual salen los cables que conectan al sensor RGB.

La distribución de los elementos dentro del contenedor se realiza de la siguiente manera: en primer lugar, se colocan las 2 baterías a utilizar tal y como se muestra a continuación en la Figura 30.

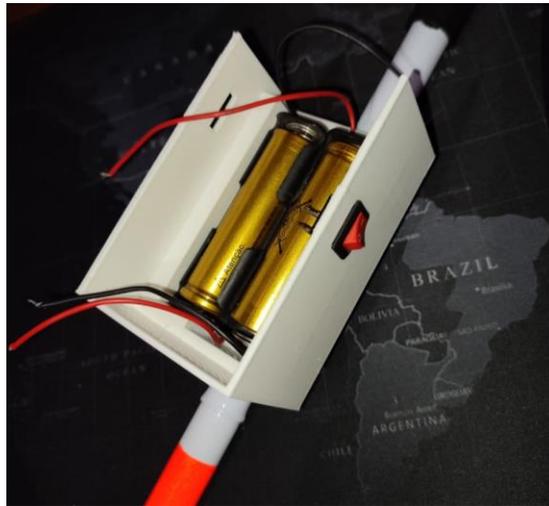


Figura 30. Integración de baterías dentro de la pieza contenedor.

Fuente: propia

Seguido de ello es colocada la placa PCB del sistema como se muestra en la Figura 31. El contenedor se encuentra diseñado para la integrar los elementos en el orden mencionado ya que resulta imposible realizarlo de otra manera.

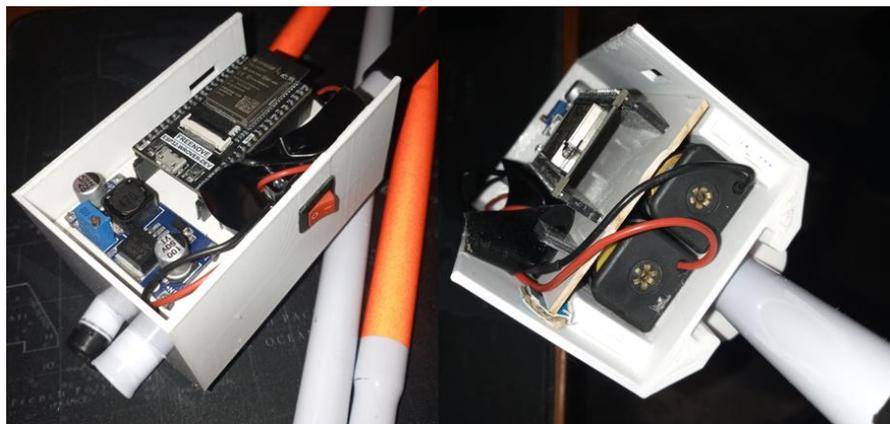


Figura 31. Integración de la placa PCB a la pieza contenedor.

Fuente: propia.

Una vez integrados los elementos y realizadas las conexiones necesarias para el funcionamiento, es posible acoplar las tapas que cubrirán al sistema, colocando en primer lugar la tapa lateral (Figura 32), seguida por la tapa superior (Figura 33).

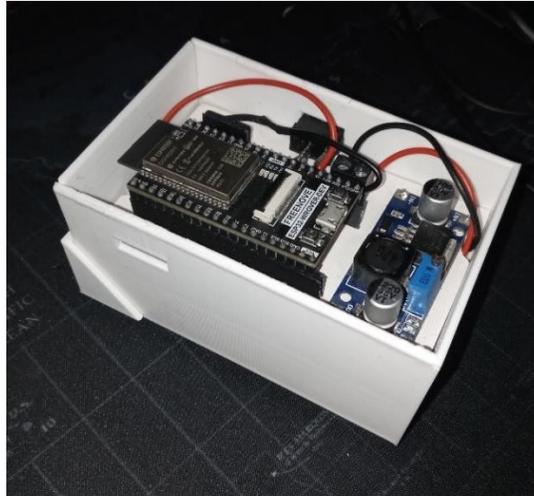


Figura 32. Ensamble del contenedor con tapa lateral.

Fuente: propia.

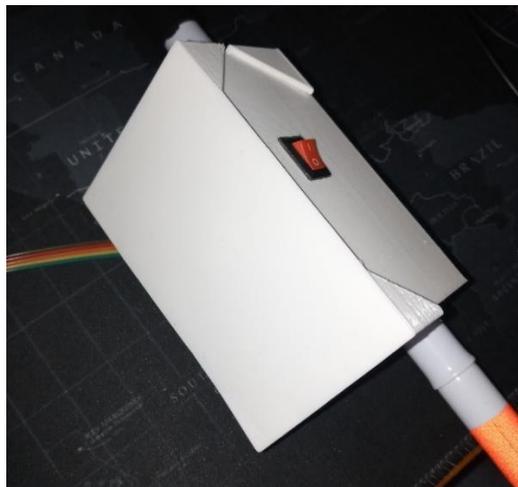


Figura 33. Ensamble de contenedor con tapa superior.

Fuente: propia.

La Figura 34 muestra el ensamble de la porta sensor impreso en 3D, impreso de igual forma con filamento blanco, lo que permite reducir el peso del ensamble.

Dentro la parte inferior del ensamble se coloca el sensor RGB TCS34725, tal y como se muestra en la Figura 35; el cual se encarga del reconocimiento de color en el suelo y del envío de información al ESP32.



*Figura 34. Ensamble de prototipo portador de sensor RGB.
Fuente: propia*



*Figura 35. Sensor TCS34725 en el ensamble.
Fuente: Propia*

3.4.4.5 Evaluación de funcionamiento

Para llevar a cabo la evaluación del dispositivo integrado al bastón blanco se realizaron una serie de pruebas de reconocimiento de color para distinguir posibles errores que pudieran presentarse, a partir de lo cual se obtuvieron buenos resultados de reconocimiento.

De igual manera se realizó una segunda calibración para el reconocimiento de colores, con el fin de asegurar que estos sean reconocidos lo más exacto posible y no presenten problemas a la hora de ser utilizado por el usuario.

Para estas primeras pruebas de funcionamiento se utilizó de la aplicación "Serial Bluetooth Terminal" disponible en la PlayStore, ya que el objetivo principal de esta evaluación era el realizar correcciones en el reconocimiento de colores.

3.5.5 Desarrollo de software

El desarrollo de la aplicación es un componente crucial en la integración del sistema de desplazamiento, ya que permite la navegación basada en los algoritmos implementados para encontrar la ruta más corta. Además, la aplicación proporciona información relevante al usuario sobre el entorno en el que se encuentra.

3.4.5.1 Diseño de pantallas

El primer paso para el desarrollo de la aplicación es el diseño de pantallas que la conforman, en donde se establecen una vista general de cada una de ellas, proporcionando una idea general del sistema.

La pantalla inicial del software establece la conexión vía Bluetooth con el dispositivo electrónico adherido al bastón, lo cual permite la comunicación y envío de datos por parte de este. Una vez vinculado es redirigido a la página principal de la aplicación, ambas pantallas pueden ser observadas en la Figura 36.

La aplicación cuenta con otras pantallas importantes relacionadas con la navegación donde se establece el origen y el destino tal y como se puede apreciar en la Figura 37.



Figura 36. Pantalla de inicio y principal del software propuesto.

Fuente: Propia



Figura 37. Selección de navegación en el software propuesto.

Fuente: Propia

3.4.5.2 Desarrollo de aplicación

Se desarrolló una aplicación móvil para Android siendo este uno de los principales sistemas operativos utilizados en teléfonos inteligentes. El software fue desarrollado con el Framework React Native, utilizando el idioma de programación Typescript, así como algunas librerías adicionales de JavaScript.

El software se conforma de 4 pantallas, dentro de las cuales se puede observar a la pantalla de Inicio que se muestra en la Figura 38 (A); y a su vez, se encarga de la conexión entre la aplicación móvil y el dispositivo físico. A diferencia de la propuesta inicial, este no cuenta con un apartado encargado de la búsqueda bluetooth, ya que dentro de la programación se integró la conexión automática como se observa en fFigura 39, que permite conectarse solo con el dispositivo que cuenta con el nombre específico previamente determinado dentro del software y programado en la placa ESP32.

En la pantalla Principal se encuentra el botón que da acceso a la selección de navegación tal y como se puede observar en la Figura 38 (B), donde de manera adicional, se muestra el color leído por el sensor para comprobar que la lectura se realizada de manera correcta.

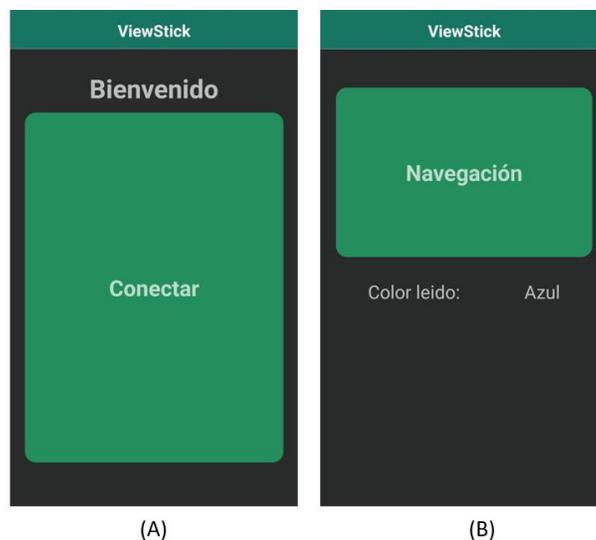


Figura 38. Pantalla principal y pantalla de inicio del software desarrollado.

Fuente: Propia



Figura 39. Ejemplo de conexión automática entre la aplicación y el dispositivo.

Fuente: Propia

También se cuenta con las pantallas para la selección de navegación donde se realiza la selección de la ubicación y el destino del usuario, esto se puede observar en la Figura 40 donde, con ayuda de un asistente de voz se pregunta al usuario la ubicación inicial y el destino a alcanzar. Para la selección de esto se integraron 2 opciones, siendo una la selección manual y otra el uso de reconocimiento de voz.



Figura 40. Pantallas de selección de navegación del software propuesto.

Fuente: Propia

Una vez seleccionadas las opciones, se ejecuta el algoritmo de búsqueda que determina la ruta más corta entre dos puntos y regresa a la pantalla de principal, proporcionando nueva información, basada en la navegación, tal y como se muestra en la Figura 41, en donde es posible observar datos como: el lugar de destino y el color leído. Por motivos de prueba se visualiza de manera adicional la ruta en nodos y los colores a seguir, con el fin de poder comprobar que se realice el funcionamiento de la aplicación de manera correcta.

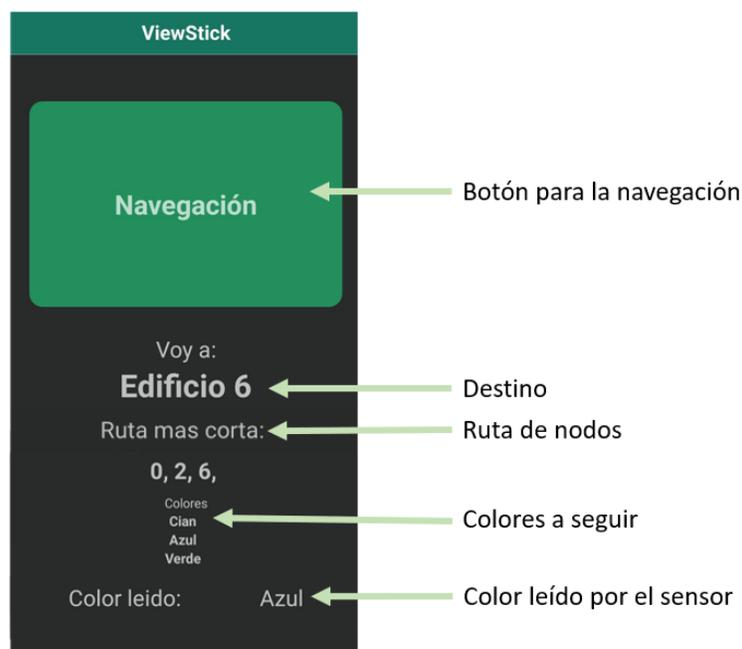


Figura 41. Pantalla inicio, después de la selección de navegación.

Fuente: Propia

3.4.5.3 Algoritmo de búsqueda.

La navegación de rutas preestablecidas se creó mediante el uso del algoritmo de Dijkstra, el cual permite el desplazamiento más óptimo entre dos puntos, haciendo uso del camino más corto. Para esto se diseñó un grafo dentro del cual se determinan posibles rutas de desplazamiento y la relación entre cada uno de los nodos que la conforman.

El grafo propuesto para la investigación se encuentra conformado por 17 nodos relacionado entre sí tal y como se muestra en la Figura 42. Cada uno de ellos tiene como objetivo el representar los diferentes edificios dentro del Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán.

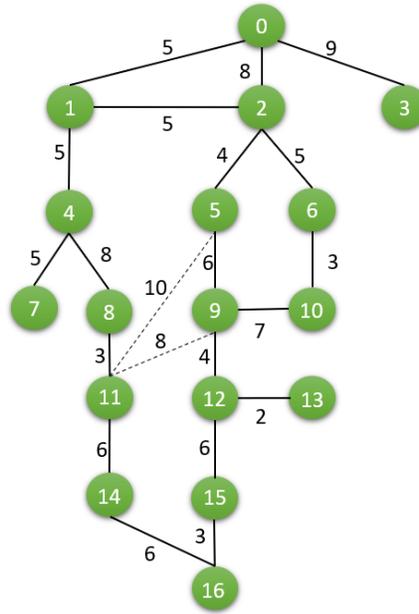


Figura 42. Grafo de navegación propuesto con valores de navegación.

Fuente: Propia

Se tomó la decisión de utilizar un grafo no dirigido, teniendo en cuenta que el desplazamiento es realizado de forma bidireccional. Aunado a ello se utilizó un grafo ponderado con costes positivos para cumplir con los requisitos de funcionamiento establecidos por el algoritmo de Dijkstra, lo cual establece el uso de estos dentro de los árboles o grafos a utilizar.

A través del grafo G propuesto se determinó la matriz de adyacencia de x para lo cual se utilizó de las ecuaciones (1)(2), modificando el valor de 0 a ∞ en donde no existían vértices de relación.

Las relaciones entre nodos fueron determinadas con base en el grafo no dirigido de la Figura 42, colocando el peso de relación entre ambas en sus respectivas ubicaciones tal y como se muestra a continuación:

$$x = \begin{pmatrix} 0 & 5 & 8 & 9 & \infty \\ 5 & 0 & \infty & \infty & 5 & \infty \\ 8 & \infty & 0 & \infty & \infty & 4 & 5 & \infty \\ 9 & \infty & \infty & 0 & \infty \\ \infty & 5 & \infty & \infty & 0 & \infty & \infty & 5 & 8 & \infty \\ \infty & \infty & 4 & \infty & \infty & 0 & \infty & \infty & \infty & 6 & 10 & \infty \\ \infty & \infty & 5 & \infty & \infty & \infty & 0 & \infty & \infty & \infty & 3 & \infty \\ \infty & \infty & \infty & \infty & 5 & \infty & \infty & 0 & \infty \\ \infty & \infty & \infty & \infty & 8 & \infty & \infty & \infty & 0 & \infty & \infty & 3 & \infty & \infty & \infty & \infty & \infty & \infty \\ \infty & \infty & \infty & \infty & \infty & 6 & \infty & \infty & \infty & 0 & 7 & 8 & 4 & \infty & \infty & \infty & \infty & \infty \\ \infty & \infty & \infty & \infty & \infty & \infty & 3 & \infty & \infty & 7 & 0 & \infty \\ \infty & \infty & \infty & \infty & \infty & 10 & \infty & \infty & 3 & 8 & \infty & 0 & \infty & \infty & 6 & \infty & \infty & \infty \\ \infty & 4 & \infty & \infty & 0 & 2 & \infty & 6 & \infty & \infty \\ \infty & 2 & 0 & \infty & \infty & \infty & \infty \\ \infty & 6 & \infty & \infty & 0 & \infty & 6 \\ \infty & 6 & \infty & \infty & 0 & 3 \\ \infty & 6 & 3 & 0 \end{pmatrix} \quad (3)$$

Como resultado de ello se obtuvo una matriz simétrica. En el color rojo se encuentran los pesos iniciales de cada uno de los nodos igualados a 0 y en color azul el peso de las relaciones entre dos nodos. Otra manera de poder observar a la matriz adyacente se muestra a continuación en la Tabla 3, donde se puede entender de una manera más clara la distribución de la matriz.

Tabla 3. Matriz de adyacencia.
Fuente: Propia

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
0	0	5	8	9	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999
1	5	0	999	999	5	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999
2	8	999	0	999	999	4	5	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999
3	9	999	999	0	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999
4	999	5	999	999	0	999	999	5	8	999	999	999	999	999	999	999	999
5	999	999	4	999	999	0	999	999	999	6	999	10	999	999	999	999	999
6	999	999	5	999	999	999	0	999	999	999	3	999	999	999	999	999	999
7	999	999	999	999	5	999	999	0	999	999	999	999	999	999	999	999	999
8	999	999	999	999	8	999	999	999	0	999	999	3	999	999	999	999	999
9	999	999	999	999	999	6	999	999	999	0	7	8	4	999	999	999	999
10	999	999	999	999	999	999	3	999	999	7	0	999	999	999	999	999	999
11	999	999	999	999	999	10	999	999	3	8	999	0	999	999	6	999	999
12	999	999	999	999	999	999	999	999	999	4	999	999	0	2	999	6	999
13	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	2	0	999	999	999
14	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	6	999	999	0	999	6
15	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	6	999	999	0	3
16	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999	6	3	0

A partir de la matriz adyacente obtenida se optó por utilizar del algoritmo de Dijkstra, para la búsqueda del camino más corto el cual requiere realizar una serie de procedimientos indispensables para su correcto funcionamiento. A continuación, se describen las acciones a llevar a cabo por el algoritmo:

- **Definir variables**

Definir un nodo inicial o raíz **NR** al partir de cual se realizará la búsqueda, así como un vector **D** encargado de almacenar las distancias de **NR** al nodo destino **ND**, el cual también requiere de ser determinado.

- **Inicializar variables**

Inicializa todas las distancias en el vector **D** como con un valor infinito relativo, a excepción del nodo raíz **NR**, ya que por otro lado este obtendrá el valor inicial de 0.

- **Exploración de nodos**

- Sea el nodo actual **NA = NR**
- Se recorre los nodos adyacentes a NA a excepción de los nodos que ya han sido visitados **NV**
- Si la distancia del nodo raíz **NR** hasta el nodo visitado **NV** guardada en el vector **D** es mayor que la distancia existente entre el nodo raíz NR y el nodo actual **NA** sumada a la distancia de **NA** hasta **NV**, esta se sustituye por la segunda mencionada, la cual resulta ser la más corta.
- El nodo actual explorado es marcado como nodo visitado **NV**.

- **Selección del nodo actual.**

El siguiente nodo para utilizar como NA, será aquel con menor valor dentro vector **D**, también conocido como la cola de prioridad, determinado el nodo actual, se vuelve a realizar la *exploración de nodos*.

Teniendo en cuenta estos procedimientos, se puede determinar el diagrama de flujo resultante, analizado en la Figura 43, en donde:

$NR = \text{Nodo raíz o de inicio}$

$NA = \text{Nodo actual}$

$D = \text{Vector de distancias}$

$NV = \text{Nodo visitado}$

$DNR = \text{Distancia de nodo raíz}$

$ND = \text{Nodo destino}$

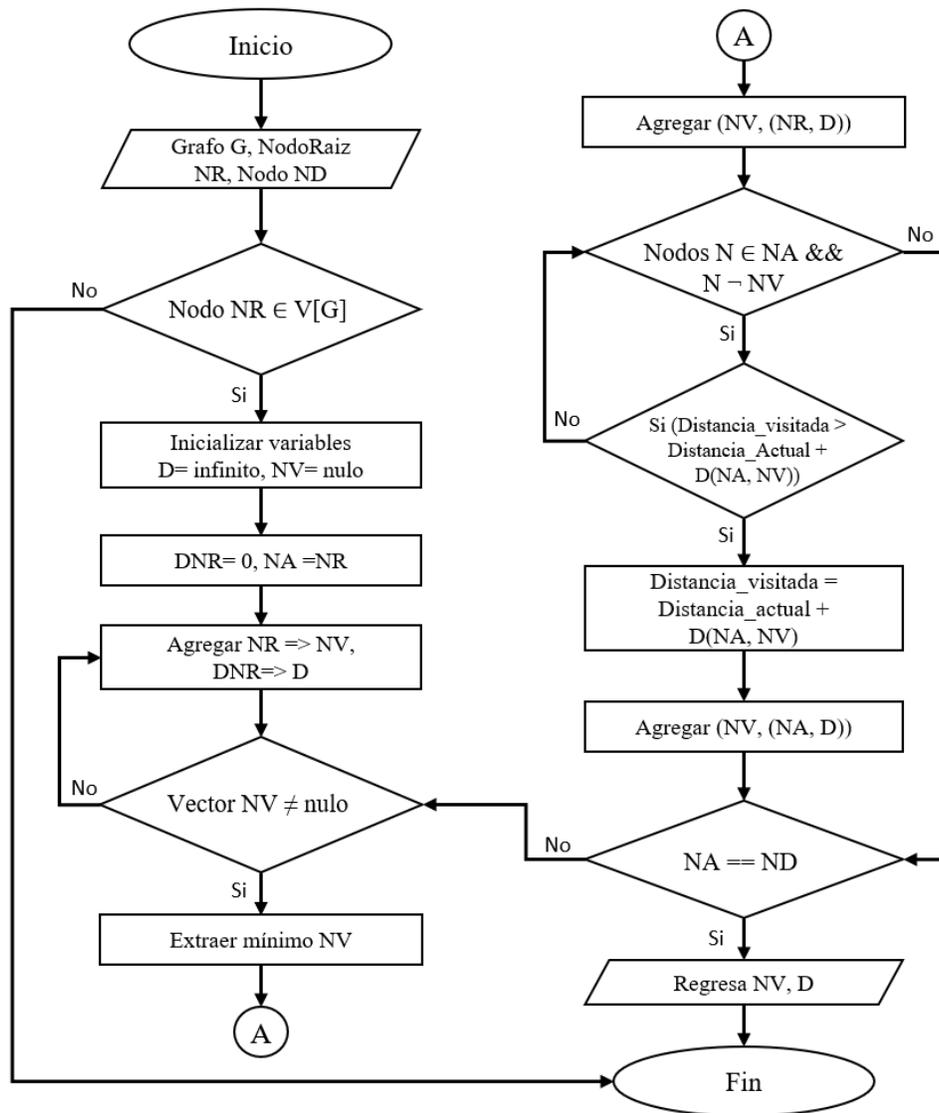


Figura 43. Diagrama de flujo basado en el algoritmo de Dijkstra.

Fuente: Propia

3.4.5.4 Evaluación de funcionamiento

Una vez desarrollada la aplicación y finalizado el circuito electrónico, se procedió a realizar las pruebas necesarias para evaluar su funcionamiento. Se realizó una evaluación exhaustiva del reconocimiento de color con el objetivo de asegurar que los datos mostrados en la aplicación correspondieran a los capturados por el sensor. En caso de detectar información incorrecta, realizar las calibraciones y ajustes necesarios. Las pruebas también incluyeron la verificación de la lectura precisa de múltiples colores, tal y como se muestra en la Figura 44.

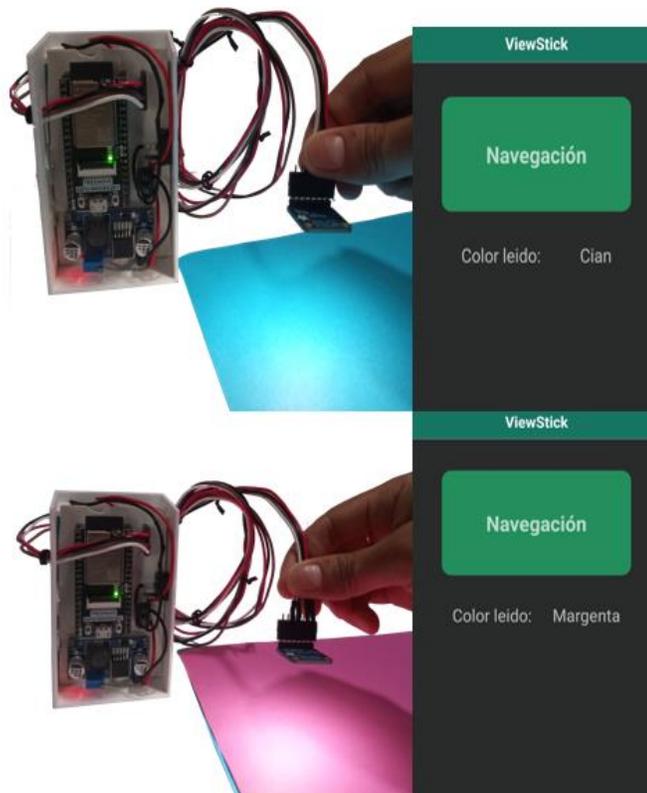


Figura 44. Pruebas del reconocimiento de color.

Fuente: Propia

Estas pruebas también fueron realizadas con el dispositivo integrado al bastón, para verificar que la lectura de color fuera tomada correctamente y no presentara problemas de reconocimiento. Como se puede observar en la Figura 45 se obtuvo un resultado de ello, de modo que la información recolectada por el sensor fue enviada vía bluetooth en tiempo real.

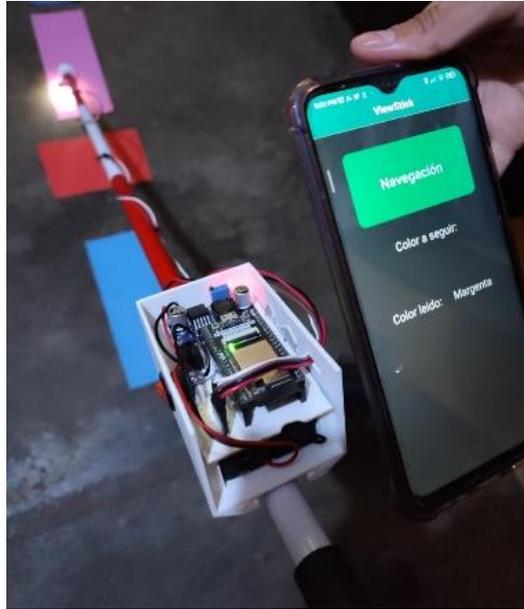


Figura 45. Pruebas de reconocimiento de color con la aplicion desarrollada.

Fuente: Propia

Posteriormente, se efectuaron las pruebas del algoritmo para lo cual se tomó como referencia el desplazamiento entre dos puntos hipotéticos, con el fin de determinar si los resultados obtenidos por el algoritmo correspondían a los realizados manualmente.

Para esto se eligieron los nodos 6 y 14 (Figura 46), los cuales se encuentran dentro del grafo propuesto (Figura 42). Se determinó como punto inicial o ubicación el nodo 6 y como punto final o destino el nodo 14. Por otra parte, se realizó una comparación manual de cada uno de los posibles caminos existentes entre estos dos puntos, mediante el análisis de pesos siguiendo la lógica del algoritmo de búsqueda propuesto (Figura 43).

La información se muestra en la Tabla 4, en donde se observan los pesos correspondientes a cada uno de los posibles caminos entre ambos nodos, siendo 24 el menor peso obtenido de manera manual, recorriendo los nodos 6,10,9,11 y 14; seguido del peso 25 recorriendo los nodos 6,2,5,11 y 14.

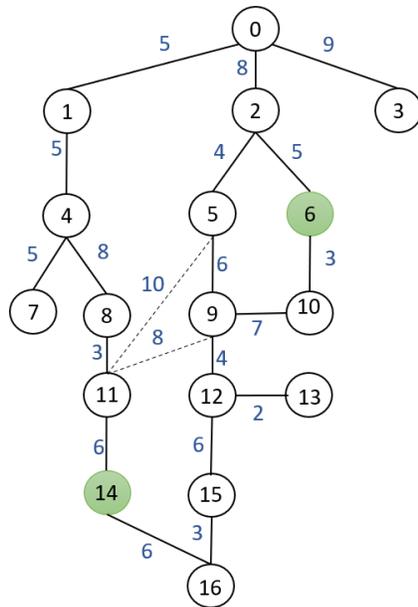


Figura 46. Grafo utilizado para la prueba de algoritmo.
Fuente: Propia

Tabla 4. Análisis de pesos para el algoritmo de navegación propuesto.

Análisis de pesos en caminos del 6 al 14									
Camino 1	Nodos	6	2	5	11	14			
	Suma	0	5	9	19	25			
Camino 2	Nodos	6	2	5	9	11	14		
	Suma	0	5	9	15	23	29		
Camino 3	Nodos	6	2	5	9	12	15	16	14
	Suma	0	5	9	15	19	25	28	34
Camino 4	Nodos	6	10	9	11	14			
	Suma	0	3	10	18	24			
Camino 5	Nodos	6	10	9	12	15	16	14	
	Suma	0	3	10	14	20	23	29	

Gracias a esto, fue posible determinar que el camino más óptimo entre ambos puntos es aquel con los nodos [6,10,9,11,14]. Para corroborar estos resultados se lleva a cabo la navegación dentro de la aplicación, tal y como se muestra en la Figura 47.

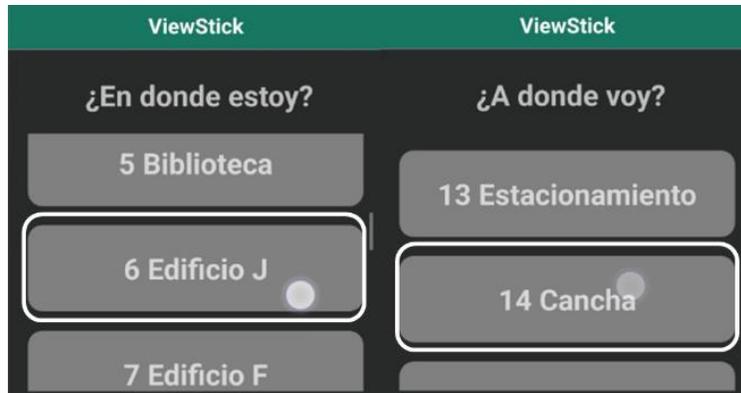


Figura 47. Navegación del nodo 6 al 14 en la aplicación desarrollada.

A partir de la navegación realizada se obtuvo como camino más corto, el seguido por los nodos [6,10,9,11,14] tal y como se muestra la Figura 48 donde se consiguió el mismo resultado que el obtenido por el análisis manual.

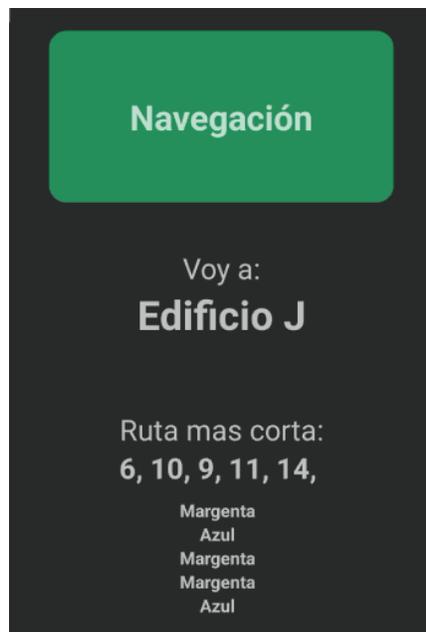


Figura 48. Ruta de navegación obtenida por el algoritmo de Dijkstra

En la pantalla se mostraron los colores correspondientes a cada nodo, los cuales posteriormente son utilizados para la navegación en tiempo real y fueron determinados con base a la Figura 49.

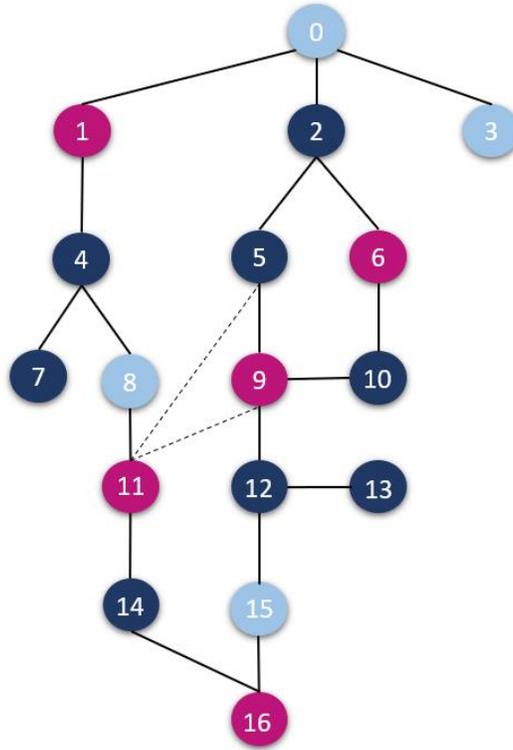


Figura 49. Grafo con colores determinados a cada nodo.

La evaluación de funcionamiento se realiza hasta que conseguir los resultados correctos, conforme a las rutas de navegación propuesta en el grafo ponderado.

3.5.6 Recolección de datos

Se procede a recopilar información utilizando el dispositivo propuesto, el cual es utilizado por personas con ceguera o discapacidad visual severa, así como por profesionales especializados en el campo. Este enfoque garantiza la obtención de observaciones relevantes que se tendrán en cuenta para trabajos futuros, así como la obtención de resultados funcionales efectivos.

Para llevar a cabo estas pruebas, es necesario colocar líneas de color en el suelo, las cuales serán utilizadas para la localización de espacios específicos y procesadas por medio del circuito electrónico. Finalmente, se proporcionará al usuario información sobre posibles rutas y peligros que pudieran presentarse durante su desplazamiento.

3.4.6.1 Diseño de instrumentos de medición.

El diseño de los instrumentos de medición a utilizar fue elaborado teniendo en cuenta la información que se planea recolectar.

Después de que los usuarios realicen las pruebas correspondientes con el dispositivo funcionando, se llevará a cabo un análisis de cada una de sus respuestas plasmadas para considerarlas en las mejoras que se implementarán al prototipo con el objetivo de que el proyecto madure y se pueda utilizar en la mayoría de las instituciones.

En lo que concierne al instrumento de recolección de datos, se utilizó la entrevista estructurada. De este modo, la entrevista propuesta integra en primer lugar preguntas generales seguido de preguntas estructuradas y de contraste (Hernández Sampieri et al., 2014). El anexo 1 nos muestra la entrevista utilizada durante la evaluación del dispositivo de navegación.

Cabe destacar que la entrevista será grabada y posteriormente las respuestas serán procesada de manera específica. Dicha grabación es realizada bajo el consentimiento de cada uno de los participantes.

3.5.7 Análisis funcional

Teniendo en cuenta la información recolectada por las entrevistas a partir del uso de dispositivo se podrá realizar un análisis acerca de la funcionalidad general del sistema, enfocado al desplazamiento de personas dificultad visual.

El análisis funcional conforma parte importante de la investigación, ya que, con ayuda de este será posible determinar los resultados y conclusiones que tendrá la investigación del dispositivo propuesto.

3.5.8 Resultados

Se desplegarán los resultados obtenidos a lo largo de la investigación con el fin de poder brindar información a futuros trabajos y mejoras que pueden ser aplicadas de manera de manera puntal.

CAPÍTULO IV RESULTADOS

4.1 Evaluación del funcionamiento

Para la obtención de resultados finales se ejecutaron una serie de pruebas las cuales son divididas en tres etapas importantes.

En primer lugar, se realizaron pruebas referentes al sistema y la integración de cada una de sus partes. Estas pueden ser consultados dentro del capítulo anterior donde se habla acerca del ensamble del dispositivo, en donde es posible encontrar las pruebas relacionadas con el dispositivo electrónico, la comunicación, el reconocimiento de color y la funcionalidad del algoritmo de búsqueda.

Seguido de ello, se llevaron a cabo las pruebas del dispositivo integrado de manera completa, siendo está la segunda etapa, en la cual ya se cuenta con todos los aspectos necesario para ser utilizado. Esta etapa se encarga de probar de manera previa el correcto funcionamiento del bastón propuesto, antes de ser utilizado por los usuarios.

La última etapa se encarga de las pruebas realizadas por el usuario, en donde se tiene como objetivo recolectar información acerca las opiniones y posibles modificaciones en el prototipo, con el fin de comprobar la hipótesis propuesta para la investigación realizada.

La arquitectura final del sistema se encuentra conformada por tres importantes niveles mostrados en la Figura 50:

- Nivel 1: Dispositivos electrónicos físicos
- Nivel 2: Comunicación
- Nivel 3: Software

Cada uno de estos niveles resulta de gran impacto para el correcto funcionamiento del sistema, de este modo el primer nivel se encarga de la recolección de información (Sensor RGB) y procesamiento de información (ESP32), para el reconocimiento de

variaciones de color existentes en el suelo, mediante el uso de podo táctiles o líneas de color.

Seguido de ello, el segundo nivel encargado de la comunicación; tiene como objetivo enlazar el nivel 1 y 3 de manera continua para lo que se utiliza del bluetooth Low Energy y las antenas bluetooth correspondientes al ESP32 y el dispositivo móvil.

El último nivel, se conforma por el software y el procesamiento de datos, para la navegación y aviso de mensajes. La aplicación desarrollada se encarga de recibir la información proporcionada por el ESP32 mediante bluetooth y de la implementación del algoritmo de Dijkstra, para el camino más corto; a partir del cual se realiza el desplazamiento mediante el reconocimiento de color.

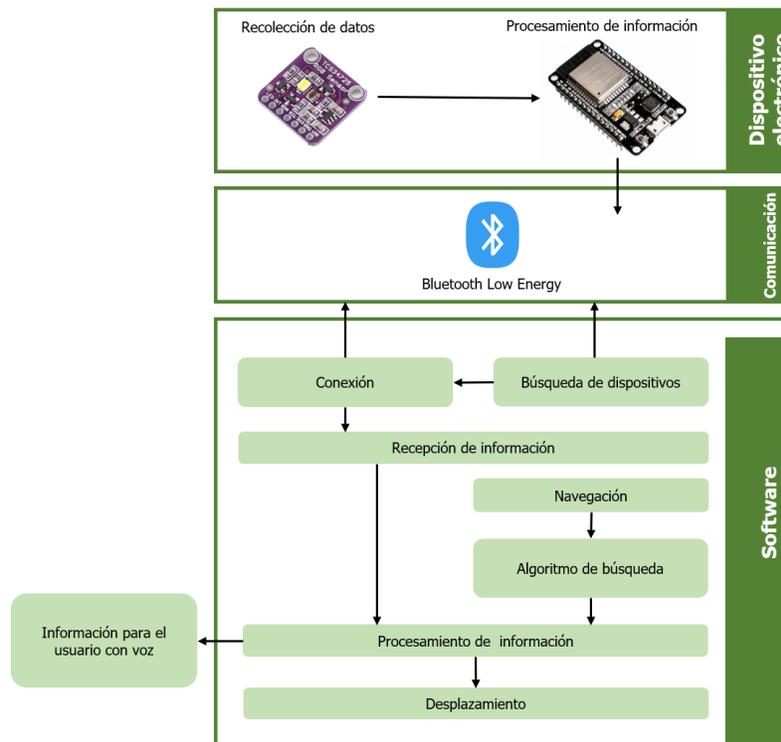


Figura 50. Arquitectura propuesta para el sistema de desplazamiento.

Esta arquitectura tiene como principal objetivo brindar seguridad y contribuir al eficiente desplazamiento del usuario en espacios poco conocidos. De modo que se proporciona información al usuario en tiempo real.

Como resultado de esto, se obtuvo el prototipo final, el cual se puede observar en la Figura 51. Este consiste en un bastón que integra en la parte superior un circuito electrónico encargado del procesamiento de la información recibida por el sensor de color RGB. En la parte inferior, muy cerca del suelo, se encuentra el sensor antes mencionado, lo que le permite un mejor reconocimiento del color.

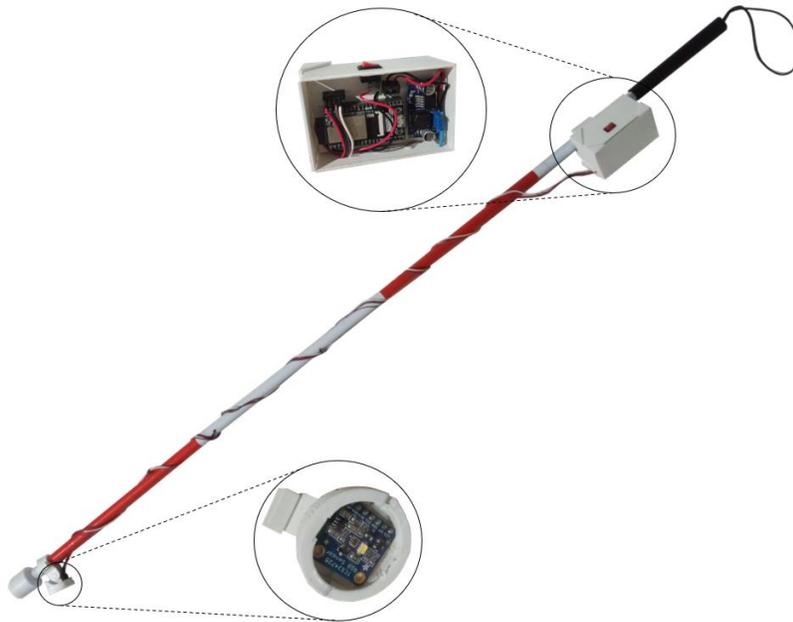


Figura 51. Prototipo del sistema de desplazamiento final.

Con el prototipo final se llevó a cabo la última etapa de pruebas, se comprobó el funcionamiento dentro de un espacio controlado, para lo cual, se determinaron rutas que simulaban cada uno de los nodos dentro del grafo (Figura 42).

De este modo se realizaron pruebas de reconocimiento de color con el led del sensor prendido y apagado en cada uno de los colores a utilizar, especialmente aquellos que advierten de posibles peligros al usuario, así como pruebas del algoritmo de búsqueda de manera simultánea al desplazamiento y detección de colores.

Posterior a ello, los errores presentados fueron corregidos, se pasó a la última etapa de pruebas antes mencionada, en donde, el dispositivo de navegación fue utilizado por personas ciegas (totales y parciales) pertenecientes a la asociación civil "Estudiantes o trabajadores ciegos y débiles visuales del Estado de Veracruz" donde

7 personas (cinco hombres y dos mujeres), con una edad variable entre los 28 y 60 años, hicieron uso del dispositivo dentro de un espacio abierto previamente acondicionado para poder ser utilizado. Pese a las dificultades presentadas con respecto a la ubicación acordado de manera inicial, fue posible llevar a cabo las pruebas en un nuevo espacio de manera exitosa.

La entrevista propuesta se dividió en dos partes importantes para obtener la opinión de los participantes antes y después de utilizar el dispositivo. La primera fase de la entrevista se centró de manera principal conocer la opinión de los participantes con respecto al uso de herramientas tecnológicas para personas con discapacidad visual, así como también saber acerca de posibles acercamientos anteriores con dichas herramientas.

Para este punto se realizaron una serie de preguntas a cada uno de ellos y dichas respuestas fueron grabadas para posteriormente ser analizadas, con el total consentimiento de los participantes involucrados (Figura 52). Posterior a ello se comenzó con las pruebas del dispositivo donde se realizó el desplazamiento de un punto inicial a uno final de manera hipotética, con ayuda de hojas de colores colocadas en el suelo, para el reconocimiento de color como se observa en la Figura 53.



Figura 52. Primera fase de la entrevista a los participantes.



Figura 53. Prueba del funcionamiento del dispositivo por parte de los participantes.

Al finalizar las pruebas se llevó a cabo la segunda fase de la entrevista, en la cual se plasmaron sus opiniones acerca del funcionamiento de dispositivo, comentarios y recomendaciones para mejorar el funcionamiento de este. La Figura 54 nos muestra a uno de los participantes dando su punto de vista acerca de la propuesta.



Figura 54. Fase 2 de la entrevista, después de comprobar el funcionamiento del dispositivo.

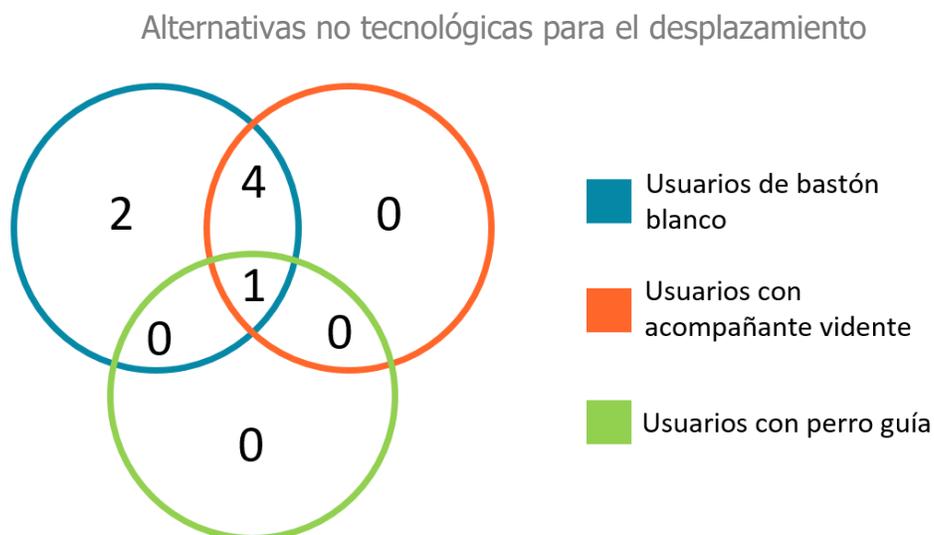
4.2 Análisis de información

A partir de la entrevista realizada se obtuvieron los resultados presentados a continuación.

4.2.1 Entrevista Fase 1

Se les cuestionó a los participantes acerca las principales herramientas de desplazamiento que utilizan de manera cotidiana. Las respuestas se encuentran plasmadas en la Gráfica 1 donde se mencionan como principal alternativa el uso de bastón blanco para desplazarse de manera independiente en lugares conocidos, con o sin acompañantes. La segunda alternativa más utilizada es la compañía de una persona guía vidente, para asegurar su efectiva y segura movilidad en lugares poco conocidos o de difícil acceso.

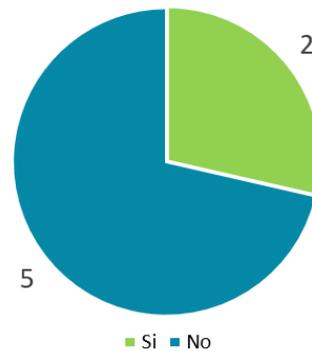
Gráfica 1. Estadística de alternativas no tecnológicas para el desplazamiento utilizadas por los participantes ciegos entrevistados.



Continuando con la entrevista se determinó que el 100% de los participantes ha escuchado hablar acerca de los dispositivos tecnológicos propuestos para personas ciegas o débiles visuales alrededor de mundo, sin embargo, solo dos de los participantes ha tenido la oportunidad de probar algunos de estos prototipos, pero ninguno de los disponibles en el mercado (Gráfica 2).

Gráfica 2. Estadística del número de personas que han utilizado alguna herramienta tecnológica para personas con discapacidad visual.

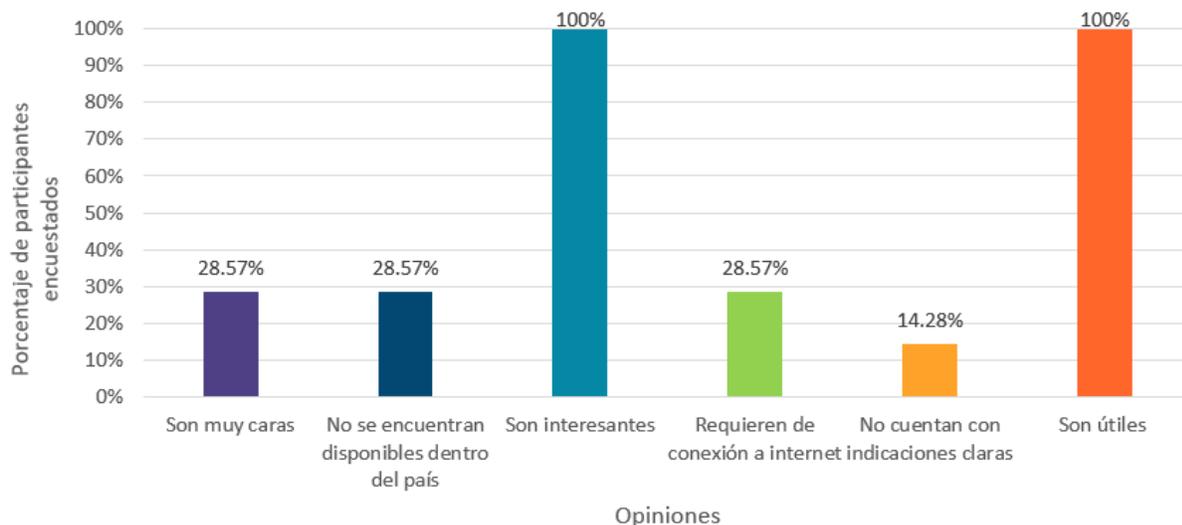
Usuarios de alternativas tecnológicas



De esta misma forma, se les pregunto su opinión acerca de las alternativas tecnológicas que han escuchado o conocen y se obtuvieron diversas opiniones acerca del tema, sin embargo, todos los participantes consideran que les resultan muy interesantes y podrían ser realmente útiles para ser utilizados en diferentes contextos. Algunos de ellos mencionan que las herramientas disponibles en el mercado son muy caras y en la mayoría de los casos requieren de importación al país, lo que imposibilita el uso y obtención de ellos para muchas de las personas con discapacidad (Gráfica 3).

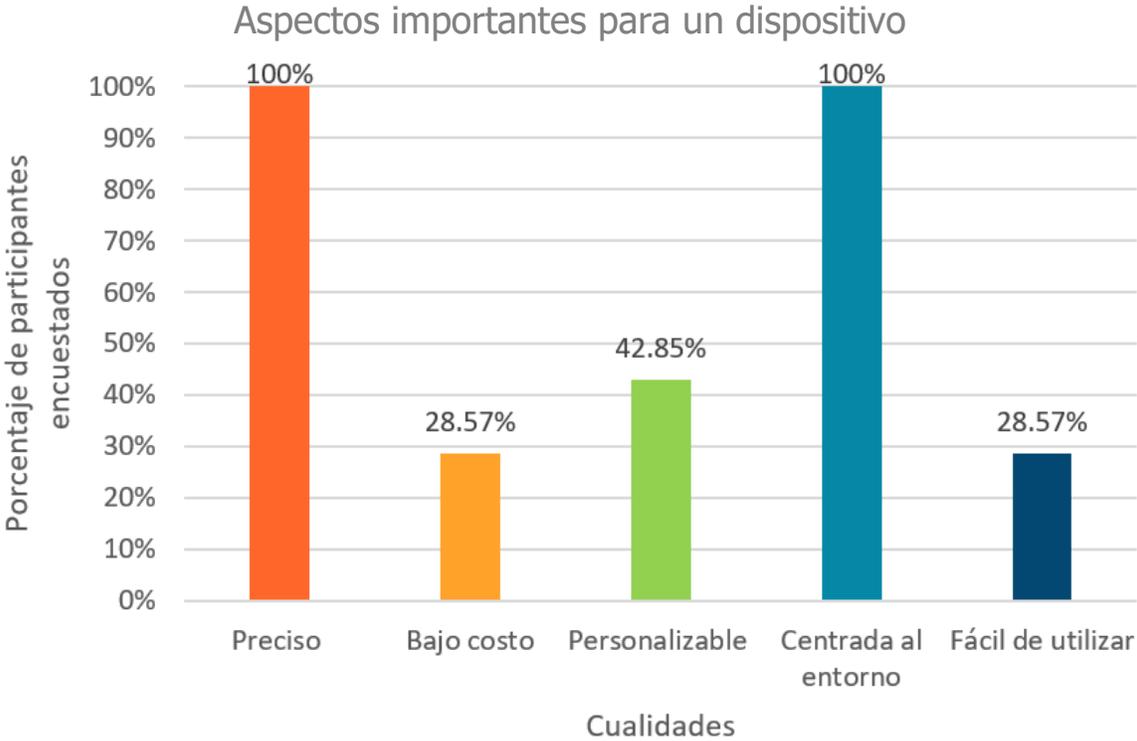
Gráfica 3. Principales opiniones de los usuarios entrevistados, acerca de las alternativas tecnológicas.

Opiniones respecto a las alternativas tecnológicas



Por otro lado, los entrevistados mencionaron algunos de los principales aspectos que implementarían en el diseño de dispositivos de apoyo para personas con discapacidad visual siendo ellos personas con dicha discapacidad (Gráfica 4). Entre los múltiples aspectos destacó considerar al entorno como principal objetivo, de modo que sea posible el brindar la mayor cantidad de información al usuario acerca de este, además se consideró importante la precisión de la información proporcionada al usuario, asegurando de este modo su correcto y seguro desplazamiento.

Gráfica 4. Estadísticas de las opiniones a considerar para el desarrollo de dispositivos destinados a personas con discapacidad visual, recibidas por el usuario.

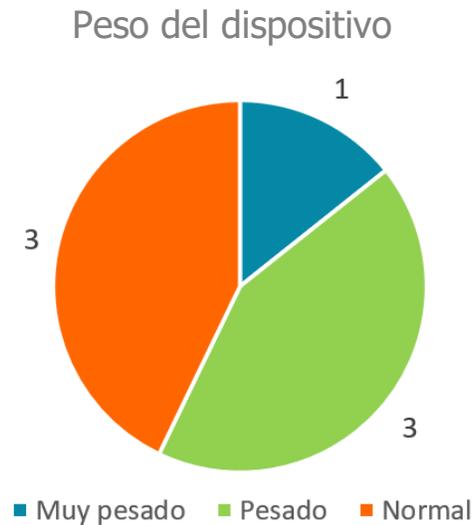


4.2.2 Entrevista Fase 2

Posteriormente, se realizó la segunda parte de la entrevista en donde se obtuvieron las opiniones referentes en el sistema propuesto después de comprobar su funcionamiento. A partir de las cuales obtuvimos los siguientes resultados.

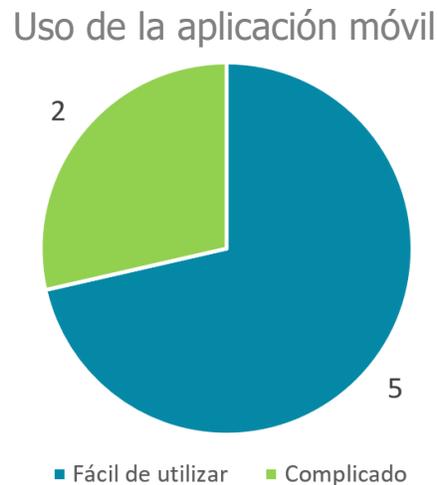
Con respecto a las características del dispositivo, la mayoría de los participantes lo considera pesado (Gráfica 5), ya que el bastón blanco utilizado por cada uno de ellos resulta ser diferente y varía de manera considerable dependiendo del material del cual se encuentre elaborado.

Gráfica 5. Opinión acerca del peso del dispositivo propuesto, probado por el usuario.



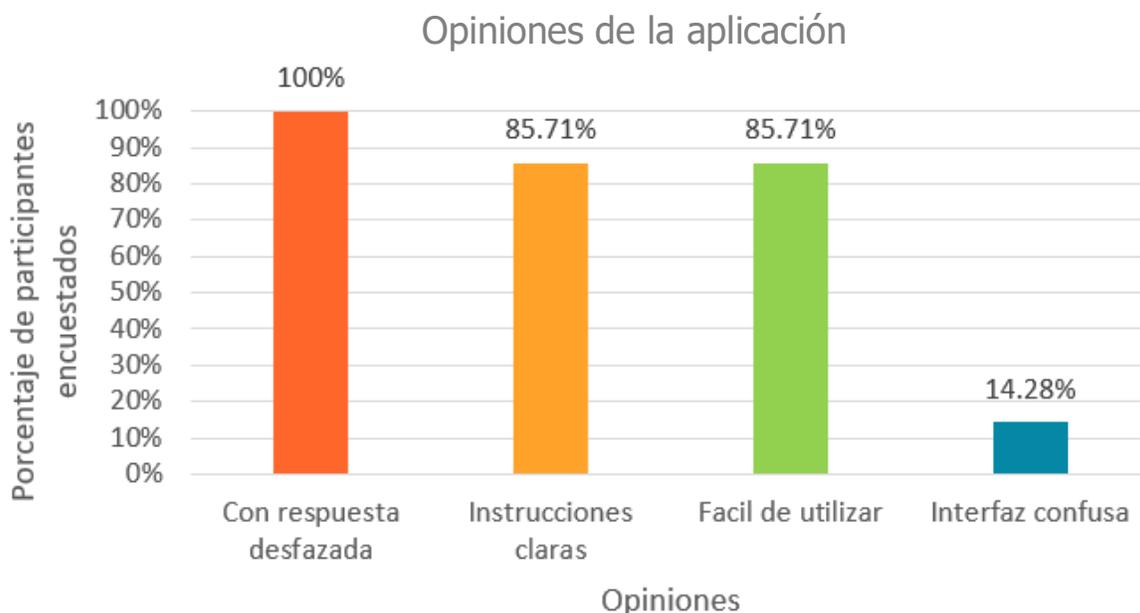
Por otro lado, 5 de los 7 participantes consideran a la aplicación fácil de utilizar (Gráfica 6) una vez que se familiarizan con esta, ya que se encuentran acostumbrados al uso de aplicaciones similares de manera cotidiana. El resto de los participantes consideran que es confusa, pero adaptándose a esta podría ser de utilidad.

Gráfica 6. Estadística de funcionalidad del uso de la aplicación móvil desarrollada.



Las opiniones de los participantes acerca de la aplicación pueden ser observados a en la Gráfica 7, donde menciona que su uso no les resulta ser un mayor problema ya que resulta fácil de entender y utilizar, pero la respuesta del sistema se encuentra desfazada al realizar el reconocimiento del color; lo que podría causar algunos problemas a la hora de desplazarse de manera independiente.

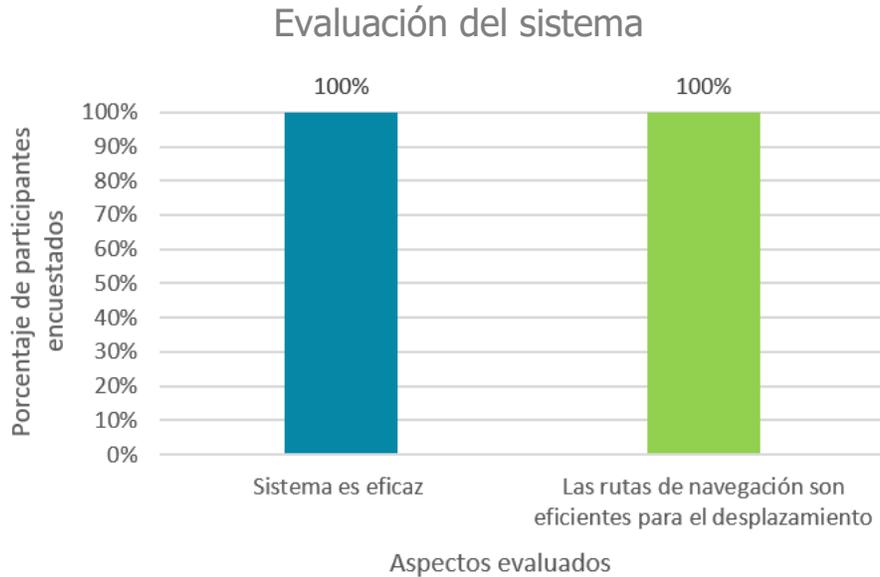
Gráfica 7. Estadística de opiniones recibidas por el usuario acerca de uso de la aplicación.



Un punto importante para mencionar es que el sistema presentó algunos desfases o respuestas lentas para el reconocimiento del color en el piso debido a varios factores externos, sin embargo, este detalle puede mejorar con la implementación de otro tipo de sensores.

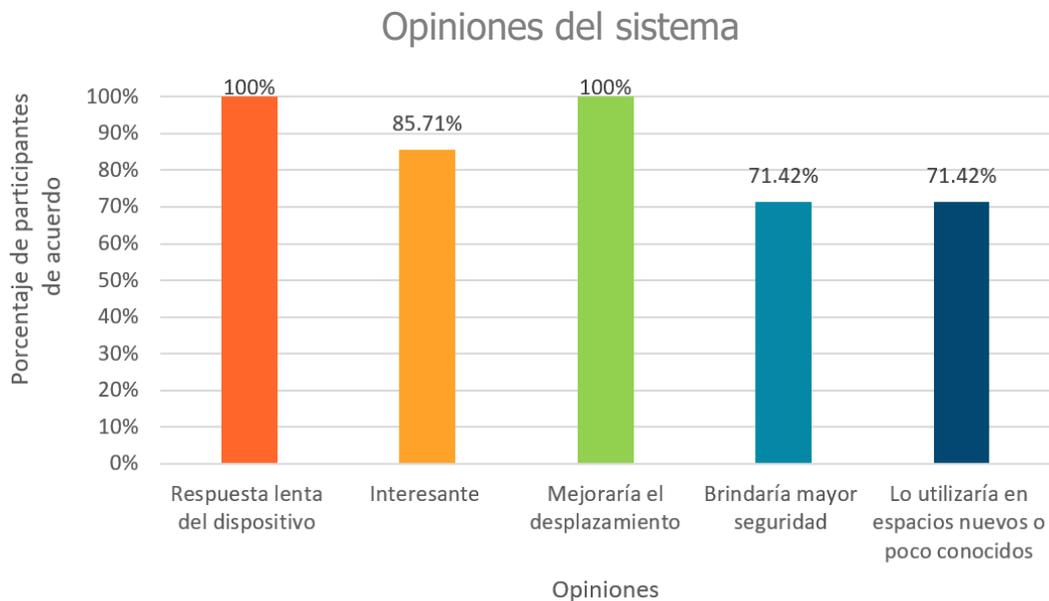
A pesar de la respuesta lenta presentada por factores exteriores durante las pruebas, los participantes opinan que el uso de rutas de navegación le es realmente útil para el desplazamiento en lugares complicados como lo son instituciones públicas, privadas, centros comerciales y espacios similares a esos. Los usuarios consideran realmente eficiente el utilizar este sistema, siendo una gran contribución, ya que este brindaría una alternativa útil en el apoyo de la movilidad en espacios cerrados (Gráfica 8).

Gráfica 8. Estadísticas de las evaluaciones cualitativas de la función del sistema propuesto (Bastón – Aplicación móvil).



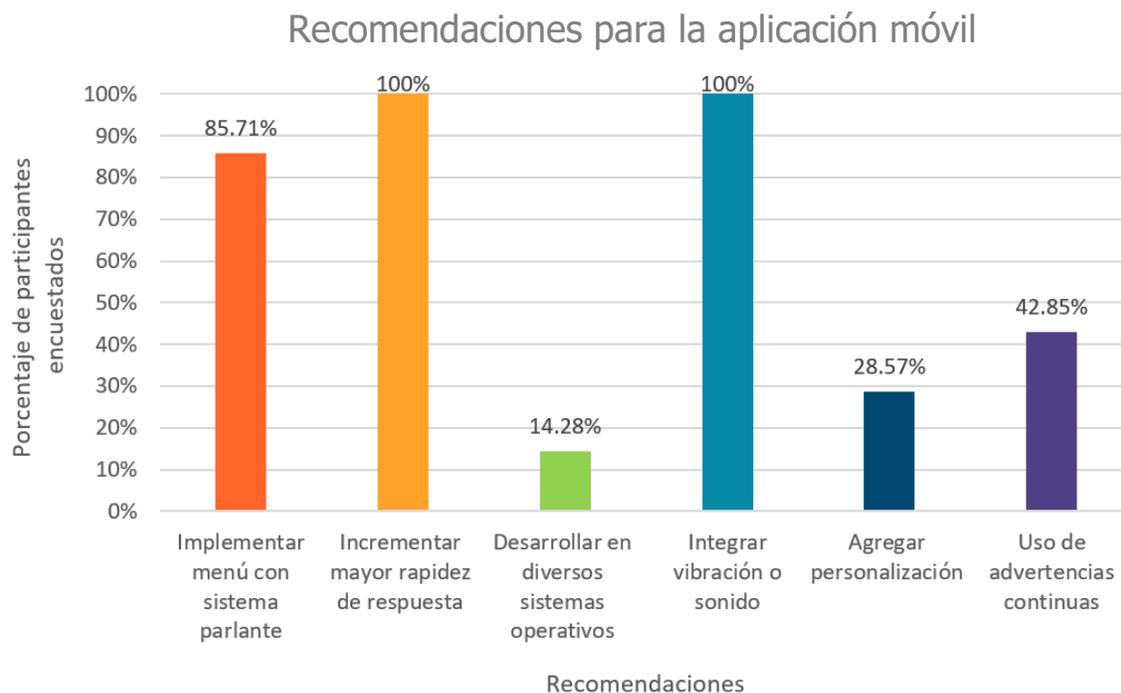
Algunas de las opiniones generales del sistema propuesto se pueden observar en la Gráfica 9, en donde menciona que el uso de este podría contribuir a la mejora del desplazamiento en lugares poco conocidos, de modo que la mayoría de los participantes utilizaría del sistema para su navegación, ya que, este podría brindar mejor seguridad de desplazamiento e independencia.

Gráfica 9. Estadística de opiniones generales del sistema propuesto dadas por el usuario.



Por último, se muestran algunas de las recomendaciones (Gráfica 10) y sugerencia que se realizaron con el fin de mejorar el funcionamiento del sistema en general y que a su vez no fueron del todo considerados dentro del dispositivo desarrollado.

Gráfica 10. Estadística de recomendaciones hechas por los usuarios.



Las principales recomendaciones se encuentran relacionadas con la velocidad de respuesta del dispositivo, así como con la integración de alternativas como vibración o sonidos determinados para posibles situaciones que se pudieran presentarse.

4.3 Comprobación de la hipótesis

Con base en los resultados obtenidos se puede aceptar la hipótesis propuesta para la investigación, ya que tal y como se menciona el uso de rutas específicas para la navegación contribuiría de manera efectiva al desplazamiento dentro de instituciones y lugares cerrados o poco conocidos, sin embargo con respecto al uso de reconocimiento de color a pesar de ser una buena alternativa puede presentar problemas relacionado con la iluminación, por lo cual el uso de cámaras podría funcionar de una mejor manera al reconocimiento de color y con ello sería posible implementar reconocimiento del entorno de manera simultánea.

CAPÍTULO V CONCLUSIONES.

5.1 Conclusiones

En función de las múltiples pruebas realizadas a lo largo de toda la investigación se pudieron observar modificaciones en el sistema propuesto, las cuales en su mayoría fueron resueltas, mejorando de este modo el sistema de navegación.

Algunas de las implementaciones que contribuyeron a la mejora del sistema fue el uso de algoritmos de búsqueda, utilizados para determinar el camino más corto entre dos puntos de navegación; ya que, con base en las pruebas realizadas por parte de los participantes ciegos, se pudo observar que el uso de estas rutas resulta ser una buena alternativa para desplazarse dentro de lugares complejos o poco conocidos para los usuarios. De modo que se obtuvieron buenos resultados en el uso de rutas predeterminadas de navegación en sistemas destinados para el desplazamiento de personas ciegas totales y parciales o con un alto grado de pérdida visual.

La aplicación desarrollada recibió una respuesta positiva por parte de los usuarios, a pesar de las observaciones que se mencionaron. Sin embargo, es importante considerar la implementación de estas observaciones para mejorar su funcionamiento. Cabe destacar que la aplicación ya cuenta con los elementos necesarios para su uso, y solo requiere modificaciones que podrían ser integradas en futuras versiones.

La implementación de voz para el aviso de mensajes e indicaciones resulta de ayuda para el usuario, siendo este uno de los puntos resaltados durante el uso de la aplicación ya que, esta resulta de vital importancia durante el desplazamiento y la selección de rutas propuestas.

Es importante destacar que uno de los mayores desafíos se encontró en el reconocimiento de colores. A pesar de que el sistema procesa correctamente el color capturado y se comunica rápidamente a través de Bluetooth con la aplicación móvil,

se observó una variación en el reconocimiento del color por parte del sensor debido a las condiciones de iluminación del entorno en el que se realizaron las pruebas. Por lo tanto, se requiere calibrar los valores de los colores utilizados en el entorno específico de implementación. Aun así, existe la posibilidad de que los colores no sean reconocidos correctamente debido a influencias de iluminación externa, lo que puede generar respuestas desfasadas y problemas imprevistos en el sistema.

Por lo que el uso de otro tipo de reconocimiento de señales o colores podría contribuir a un mejor reconocimiento y aumentaría la velocidad de la respuesta por parte del sistema, asegurando de este modo la seguridad del usuario.

De manera general el sistema propuesto obtuvo una buena respuesta y aceptación por parte de los usuarios, lo cual indica que la implementación de dichos sistemas como alternativa para el desplazamiento de personas con discapacidad visual podría contribuir en gran manera a la mejora y seguridad de los usuarios de bastón blanco. Sin embargo, se requiere de la implementación de espacios que permitan a todo tipo de personas desplazarse de manera segura dentro de las ciudades, brindando de esta una mejor calidad de vida a toda la sociedad.

5.2 Recomendaciones

A partir del desarrollo del sistema propuesto se presentaron nuevas alternativas para su funcionamiento las cuales fueron implementadas en manera de lo posible, sin embargo, otras no se integraron por completo o aún pueden ser mejoras en futuros trabajos.

Algunas de estas implementaciones fueron comentadas por el usuario donde se habló acerca de incluir un menú con voz que permite una mejor selección de las opciones por parte del usuario.

El uso del reconocimiento de voz resulta ser una buena alternativa para la selección de desplazamiento, sin embargo, no es comúnmente utilizado por las personas ciegas y con discapacidad visual, por lo que el adaptarla con ambas opciones podría mejorar la experiencia del usuario. Por otro lado, también se mencionó la

implementación del uso de sonidos específicos para distinguir entre diversas advertencias y el posible uso de vibración para lugares ruidosos que no permitan al usuario detectar las señales emitidas por voz.

Con base en la respuesta del sistema podrían realizarse múltiples modificaciones con el fin de mejorar en gran manera el funcionamiento de este. De modo que siguiendo con el uso de rutas es posible implementar algunas alternativas que no requieran del reconocimiento de color, tal y como la lectura de QR que permita una mejor recolección de información del entorno, o el uso de otras alternativas como lo son el RFID.

Por último, se recomienda que el sistema integrado al bastón sea lo menos pesado posible para que no resulte extraño de utilizar para el usuario, y que a su vez pueda ser recargable.

PRODUCTOS ACADÉMICOS

Retribución Social

Se llevo a cabo una retribución social dentro del Bachillerato Tlapacoyan perteneciente al estado de Veracruz, en el cual se impartió un platica acerca de "La investigación." Así como también se habló del proyecto de tesis desarrollado y de la importancia de la investigación en la actualidad.

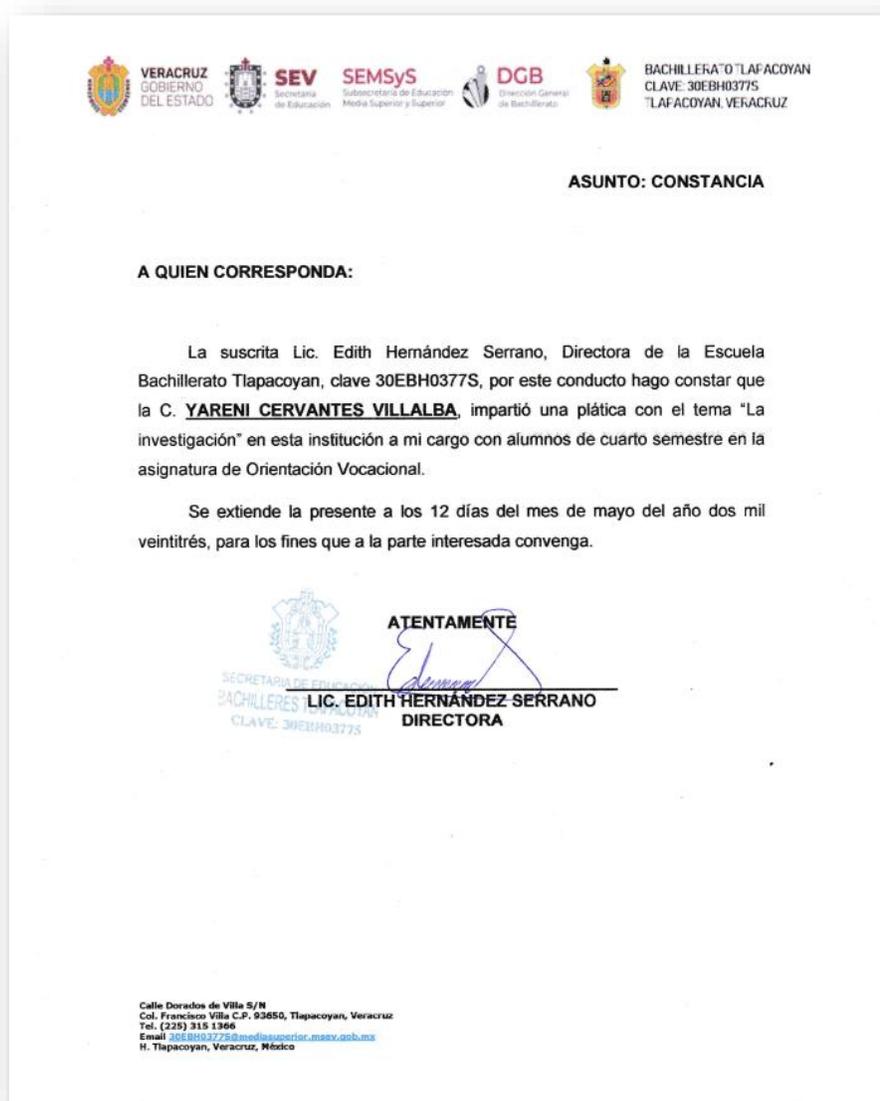


Figura 55 Constancia de retribución social expedida por directora en turno del Bachillerato Tlapacoyan.

Estancia

Se concluyó de manera efectiva la estancia dentro del Centro de Atención Múltiple de Educación Especial Núm. 30, perteneciente a la zona de Tlapacoyan, Veracruz. En donde se realizaron diversas actividades en conjunto con el docente Sebastián Ramos Aguirre las cuales permitieron enriquecer los conocimientos previos para la realización del proyecto propuesto.



Figura 56. Carta de impacto de culminación de estancia, expedida por la Lic. M. Margarita Hernández de la Rosa.

Artículo científico

La revista ICyTA: ingeniería Ciencia y Tecnología Aplicada 2023 con ISSN 2683-2976 perteneciente al Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán, acepto la publicación del artículo científico de nombre “*Prototipo para el desplazamiento de personas con discapacidad visual a través de sensores.*”

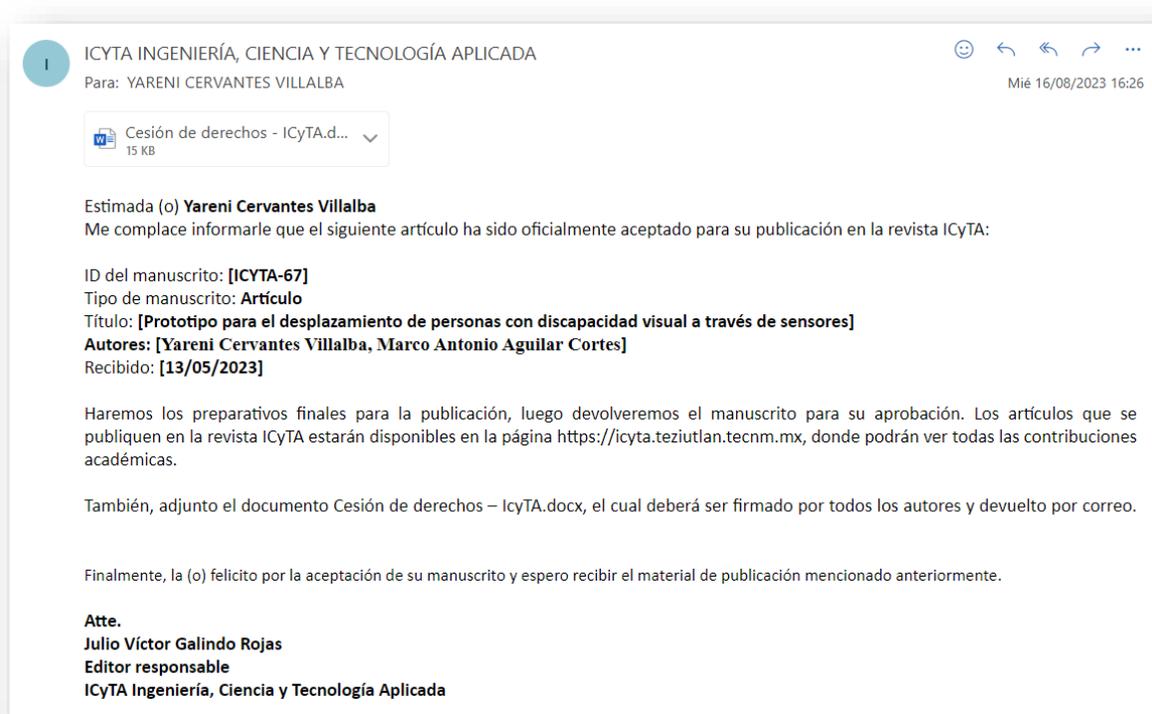


Figura 57. Correo de aceptación de artículo, expedido por el editor responsable de la revista ICyTA, el Mtro. Julio Víctor Galindo Rojas.

REFERENCIAS

- Árvai, L. (28- 31 de mayo 2018). Mobile phone based indoor navigation system for blind and visually impaired people: VUK - Visionless supporting framework. *Proceedings of the 2018 19th International Carpathian Control Conference, ICC*. IEEE, 383–388. Szilvasvarad, Hungary <https://doi.org/10.1109/CARPATIANCC.2018.8399660>
- Benoit, B. (2019). Introducción a los sensores de visión. Un caso para la automatización con visión artificial [Archivo PDF]. *COGNEX*. <https://www.cognex.com/products/barcode-readers>
- Boutera, Y. (2021). Design and development of a wearable assistive device integrating a fuzzy decision support system for blind and visually impaired people. *Micromachines*, 12(9). <https://doi.org/10.3390/mi12091082>.
- Branig, M. y Engel, C. (2019). SmartCane: An active cane to support blind people through virtual mobility training. *12th ACM International Conference*, 327–328. <https://doi.org/10.1145/3316782.3322742>
- Cardillo, E., Li, C. y Caddemi, A. (03-05 Junio 2020). Empowering Blind People Mobility: A Millimeter-Wave Radar Cane. *IEEE International Workshop on Metrology for Industry 4.0 and IoT, MetroInd 4.0 and IoT*. IEEE, 213–217. Roma, Italia <https://doi.org/10.1109/METROIND4.0IOT48571.2020.9138239>
- Corona Ramírez, L., Abarca Jiménez, G. y Mares Carreño, J. (2014). *Sensores Y Actuadores. Aplicaciones Con Arduino* (1ª ed.). Grupo Editorial Patria.
- Espressif Systems. (2022). *ESP32 Series Datasheet* [Archivo PDF]. Recuperado el 05 de enero de 2023 de: https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_datasheet_en.pdf

- Fernández Orchando, J. M. (2018). *Cálculos de trayectos mediante algoritmos de búsqueda informada sobre grafos ponderados no dirigidos* [Trabajo fin de carrera, Universidad Politécnica de Madrid]. https://oa.upm.es/51640/1/PFC_JESUS_M_FERNANDEZ_ORCHANDO.pdf
- Fundación AON España (13 de octubre de 2017). *Día Internacional del Bastón Blanco*. Fundación AON <https://fundacionaon.es/dia-internacional-del-baston-blanco/>
- Fundación del Instituto de Microcirugía Ocular (s.f.). *Bastones guía para invidentes: qué indican sus colores*. Fundacionimo. <https://www.fundacionimo.org/es/noticias/bastones-guia-para-invidentes-que-indican-sus-colores>
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C. y Baptista Lucio, M. del P. (2014). *Metodología de la investigación* (6ª ed.).
- Instituto Nacional de Astrofísica. (2017). Grafos. *Ciencias computacionales: programación y estructurada de datos*.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (03 de diciembre 2021). Estadísticas a propósito del día internacional de las personas con discapacidad (datos nacionales) [Archivo PDF]. *Comunicado de Prensa Núm. 713/21*. https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/aproposito/2021/EAP_PersDiscap21.pdf
- Instituto Panameño de Habilitación Especial (15 de octubre de 2020). *IPHE conmemora el Día Mundial del Bastón Blanco, instrumento que identifica a las personas ciegas*. <https://www.iphe.gob.pa/publicaciones/IPHE-conmemora-el-Dia-Mundial-del-Baston-Blanco-instrumento-que-identifica-a-las-personas-ciegas-1>
- Lazcano Calixto, R. N., Valencia González, L. A., Baena Díaz, D. y Venegas Guzmán, R. (septiembre–octubre 2019). React Native: acortando las distancias entre desarrollo y diseño móvil multiplataforma. *Revista Digital*

Universitaria, 20(5). <https://doi.org/10.22201/CODEIC.16076079E.2019.V20N5.A5>

Mayta Quello, V. (2018). *Sistema planificador de rutas de transporte basado en los algoritmos Dijkstra y Bellman-ford para Guizado Tours* [Tesis de licenciatura, Universidad César Vallejo]. https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/36396/MAYTA_QV.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Méndez Martínez, L., Rodríguez Colina, E. y Medina Ramírez., C. (2013). Toma de decisiones basada en el algoritmo de Dijkstra. *Redes de Ingeniería*, 4(2), 35–42. <https://doi.org/10.14483/2248762X.6357>

Menéndez Velázquez, A. (junio 1998). Una breve introducción a la teoría de grafos. *SUMA Revista sobre la enseñanza y aprendizaje de las matemáticas* (28), 11–26. https://revistasuma.fespm.es/sites/revistasuma.fespm.es/IMG/pdf/28/SUMA_28.pdf

Messaoudi, M. D., Menelas, B.-A. J. y Mcheick, H. (2020). Autonomous Smart White Cane Navigation System for Indoor Usage. *Technologies* 8(3), 37. <https://doi.org/10.3390/TECHNOLOGIES8030037>

Mocanu, A., Sita, V., Avram, C., Radu, D. y Astilean, A. (21-23 mayo 2020). Assistive Navigation Application for Blind People using a White Cane Embedded System. *22nd IEEE International Conference on Automation, Quality and Testing, Robotics (AQTR)*. IEEE. Cluj-Napoca, Romania. <https://doi.org/10.1109/AQTR49680.2020.9129942>

Mogollón Rojas, J. C., Alama Carreño, D. y Seminario Chiroque, R. (2021). Desarrollo de un sistema guía para el desplazamiento de personas ciegas en espacios controlados [Trabajo de investigación, Universidad Nacional de Piura]. <http://repositorio.unp.edu.pe/handle/20.500.12676/2826>

Nuñez, M. (6-9 de febrero de 2001). *La deficiencia visual*. III Congreso “La Atención a la Diversidad en el Sistema Educativo” [Mesa Redonda:

- "Personas con Necesidades Educativas Especiales" II]. Universidad de Salamanca. Instituto Universitario de Integración en la Comunidad (INICO). Salamanca, España. <https://campus.usal.es/~inico/actividades/actas-uruguay2001/10.pdf>
- Ombita, L., Mehecha, N., & Beltrán, P. (2017). Caracterización de sólidos redondos por medio de grafos y matrices de adyacencia. *Encuentro de Geometría y Sus Aplicaciones*, 23, 131–136. Bogotá, Colombia. <http://funes.uniandes.edu.co/12869/1/Ombita2017Caracterizacion.pdf>
- Organización Nacional de Ciegos Españoles (13 de mayo 2016). *Llega a España el bastón rojo-blanco que identifica a las personas con sordoceguera*. *Once*. <https://www.once.es/noticias/llega-a-espaa-a-el-basta3n-rojo-blanco-que>
- Organización Nacional de Ciegos Españoles (s.f.). *Características de la discapacidad visual y ceguera*. *Once*. <https://www.once.es/dejanos-ayudarte/la-discapacidad-visual>
- Organización Mundial de la Salud. (13 de octubre 2022). *Ceguera y discapacidad visual*. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/blindness-and-visual-impairment>
- Pastor Martínez, G. (diciembre 2019). *El bastón verde: propuesta para las personas con baja visión*. Integración: Revista digital sobre discapacidad visual (75), 209-215.
- Penagos Estrada, N. L. (2010). *Análisis e implementación de un algoritmo, incrustado en un administrador de base de datos relacional, para encontrar la ruta más corta entre dos puntos geográficos*. [Trabajo de investigación de licenciatura, Universidad del Valle de Guatemala]. https://repositorio.uvg.edu.gt/static/flowpaper/template.html?path=/bitstream/handle/123456789/1546/Norman%20Penagos%20Trabajo_de_Graduacion.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Ramírez Moguel, M. E. (2010). Discapacidad visual Guía didáctica para la inclusión en educación inicial y básica (1ª ed. pp. 16-18). México, D.F. CONAFE. http://www.sld.cu/galerias/pdf/sitios/rehabilitacion-arte/discapacidad_visual.pdf

React Native. (s.f.). *React Native*. Obtenido de: <https://reactnative.dev/>

Sánchez Torrubia, M. G. y Gutiérrez Revenga, S. (2016). Tutorial interactivo para la enseñanza y el aprendizaje de los algoritmos de búsqueda en anchura y en profundidad. *XII Jornadas de Enseñanza Universitaria de La Informática*. Universidad Politécnica de Madrid. Departamento de matemáticas aplicadas. Madrid, España.

Shaikh, F., Meghani, M. A., Kuvar, V. y Pappu, S. (11-12 mayo 2018). Wearable Navigation and Assistive System for Visually Impaired. *2nd International Conference on Trends in Electronics and Informatics (ICOEI)*. IEEE, 747–751. <https://doi.org/10.1109/ICOEI.2018.8553690>

Sumathy, B., Pavithran, K. M., Nizam, N., y Surya, V. A. (2021). Smart Guidance System for Blind with Wireless Voice Playback. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1012, 012045. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1012/1/012045>

Texas Advanced Optoelectronic Solutions. (2012). *TCS3472 color light-to-digital converter with IR filter* [Archivo PDF]. Recuperado el 10 de noviembre de 2022 de: <https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/TCS34725.pdf>

TypeScript (s.f.). *TypeScript is JavaScript with Syntax For Types*. <https://www.typescriptlang.org/>

Valverde, Ramos E., Hernández-Mora, de Fuentes, P. (2019). *Introducción a TypeScript* (pp. 4-5). <https://khru.gitbooks.io/typescript/content/>

Yahaya, S. A., Jilantikiri, L. J., Oyinloye, G. S., Zaccheus, E. J., Ajiboye, J. O., y Akande, K. A. (2019). Development of obstacle and pit detecting ultrasonic

walking stick for the blind. *FUOYE Journal of Engineering and Technology*, 4(2). <https://doi.org/10.46792/fuoyejet.v4i2.398>

Yungán Cazar, J. C., Salazar Álvarez, G. E. y Villacrés Sampedro, E. J. (Julio 2022). Algoritmo de Bellman Ford para solucionar el problema de la ruta más corta entre nodos. *Polo del Conocimiento*, 7(70), 1288–1302. <https://doi.org/10.23857/pc.v7i7>

ANEXOS

Anexo 1. Entrevista de funcionamiento del dispositivo a personas ciegas.

Guía de entrevista

Funcionamiento del prototipo de navegación

Fecha: _____ Hora: _____

Entrevistador: _____

Entrevistado

Nombre: _____ Edad: _____ Sexo: _____

Introducción:

Se tienen como objetivo recolectar información acerca de la funcionalidad y posibles mejoras con la que cuenta el dispositivo de desplazamiento para personas con discapacidad visual.

Para lo cual se eligieron algunos participantes ciegos y débiles visuales que puedan hacer uso del dispositivo y con ello dar su opinión acerca del funcionamiento que este tiene. A información recolectada será utilizada para dar seguimiento al proyecto propuesto con base a las necesidades reales de las personas dentro de esta discapacidad.

Características generales:

- Los nombres de los participantes no serán revelados y solo se considerarán sus opiniones con respecto al dispositivo
- Se tiene considerada una duración de 20 min por participante.
- La entrevista se dividirá en dos secciones, la primera antes del uso del dispositivo y la segunda posterior al uso de este.

Preguntas:

Sección 1

1. ¿Usted hace uso de bastón blanco para su desplazamiento?
2. ¿Qué otras alternativas de apoyo utilizan para desplazarse?
3. ¿Cuál es su principal problema a la hora de desplazarse de manera independiente?

4. ¿Ha escuchado acerca de las alternativas tecnológicas de desplazamiento para personas ciegas o con discapacidad visual?
5. ¿Qué opina acerca de estas alternativas?
6. Si tuviera la oportunidad de desarrollar alguna de estas herramientas ¿Qué sería lo más importante que integraría?
7. Se han propuesto herramientas similares a los bastones blanco convencional, así como herramientas innovadoras como lo son lentes, guantes, entre otras. ¿Cuáles considera que son más eficientes para las personas con discapacidad visual?

Sección 2

1. ¿Qué opina acerca del peso del dispositivo utilizado?
2. ¿Como considera que es la respuesta del dispositivo frente a posibles advertencias? ¿rápida o lenta?
3. ¿Qué tan complicado considera que fue el uso de la aplicación?
4. ¿Qué piensa acerca de la selección de desplazamiento entre dos puntos?
5. En general ¿Cuál es su opinión acerca de la aplicación móvil?
6. ¿Cuáles serían algunas de las mejoras que recomendaría implementar a la aplicación móvil?
7. ¿Qué opina acerca del uso de rutas para el desplazamiento en lugares nuevos?
8. ¿Le fue difícil utilizar el sistema propuesto?
9. ¿Considera que es sistema podría ser una buena opción de desplazamiento?
10. ¿Considera optimo el recibir información acerca de la ruta a seguir?
11. ¿Considera funcional al dispositivo, para la navegación en espacios nuevos o poco conocidos?
12. ¿Considera que el uso del dispositivo lo hizo sentir más seguro?
13. ¿Qué piensa del dispositivo en general?
14. ¿Qué mejoras le gustaría implementar? Y ¿Por qué?
15. ¿Qué tan útil, considera que podría ser?