

**Diseño e Implementación de un Sistema Robótico para el Mejoramiento de la Movilidad de
Personas con Limitación Visual Avanzada en Ambientes Interiores en Colombia**

Helber Alexander Vergara Vargas

Asesor

Andrés Alejandro Díaz Toro

Universidad De Nacional Abierta Y A Distancia - UNAD

Escuela De Ciencias Básicas, Tecnología E Ingeniería

Maestría en Gestión de Tecnología de la Información MGTI

2023

Nota de Aceptación

Presidente del jurado

Jurado 1

Jurado 2

Dedicatoria

Dedico este trabajo, en primer lugar, a Dios, quien siempre me ha dado la fuerza y la sabiduría para luchar por mis sueños y alcanzarlos. Agradezco de manera especial a mi madre, Bertha Vargas, por su amor, paciencia y esfuerzo. Ella me ha enseñado que incluso la tarea más grande se puede lograr si se hace un paso a la vez, lo cual me ha permitido hoy cumplir un sueño más.

También dedico este trabajo a la memoria de mi padre, Alejandro Vergara (QEPD), quien sentó bases firmes en mi personalidad y me enseñó a jamás desistir y siempre perseverar, incluso en contra de mis propios miedos.

A mis hijas, María Alejandra y Laura Cristina, les dedico este trabajo con todo mi amor y agradecimiento. Ellas son mi inspiración y motivación, y por ellas quiero ser mejor cada día.

A mi esposa, Laura, por su amor, entrega, comprensión y compañía incondicional a lo largo de este proceso. Agradezco su intelectualidad y apoyo moral, los cuales fueron vitales para alcanzar esta meta.

A mis hermanos, Henry y Yina, les agradezco por su bondad, humildad y paciencia en momentos difíciles. Henry, con su ejemplo diario, me ha mostrado la importancia de tener paciencia y serenidad. Yina, decidida, emprendedora y determinada, siempre ha estado preocupada por el bienestar de todos y ha sido un soporte en momentos que lo he necesitado.

Agradezco también a mi cuñado, Andy, quien ha sido como un hermano y a quien admiro mucho por su fuerza de voluntad, humanidad y sentido de responsabilidad. Me ha acompañado en esta lucha, apoyándome e impulsándome a no desistir.

Por último, a mis sobrinos, Alejandro y Andrés, les dedico este trabajo con todo mi cariño. Con su energía, juventud y calidad humana, me llenan de alegría. Gracias por ser una parte importante de mi vida

Helber Alexander Vergara Vargas

Agradecimientos

Me gustaría expresar mi profunda gratitud a mis compañeros de maestría, Arellys Correa, Shirley Quintana, Sandra Benavides y Ulises Díaz, quienes estuvieron a mi lado en todo momento, brindándome su ánimo, apoyo y compañía a lo largo de la realización de este proyecto y la culminación de mi maestría. En los momentos de desánimo, ellos siempre estuvieron allí para levantarme y motivarme, y por eso siempre estaré agradecido.

También quiero extender mi más sincero agradecimiento al Ing. Andrés Alejandro Díaz Toro, mi director de proyecto, por su inquebrantable apoyo y dedicación. Su paciencia, compromiso y generosidad al compartir sus conocimientos fueron fundamentales para lograr este éxito.

Es importante destacar que la Universidad San Buenaventura jugó un papel clave en este proyecto, brindándome las instalaciones y recursos necesarios para llevar a cabo las pruebas del robot. No puedo expresar suficientemente mi gratitud hacia la institución por todo lo que hizo por mí.

Además, quisiera agradecer a Fidel Torres y sus aprendices del SENA por su invaluable colaboración en la fabricación de algunas piezas del robot. Fue una bendición contar con su experiencia y dedicación.

Finalmente, no puedo dejar de mencionar la ayuda inestimable de David Gutiérrez, William Castillo y Miguel Fabra, aprendices del SENA, en las pruebas del robot. Su compromiso y disposición para trabajar en equipo fueron fundamentales para alcanzar el éxito en este proyecto.

A todos y cada uno de ustedes, mi más sincero agradecimiento por haber sido parte de este logro.

Sin su apoyo, este proyecto no habría sido posible.

Resumen

En Colombia, las personas con discapacidades enfrentan dificultades en su vida diaria como la interacción social, el desplazamiento por las calles y la falta de oportunidades de empleo. El Ministerio de Salud y Protección Social ha desarrollado una política pública para mejorar la calidad de vida de estas personas. El 0,72% de la población colombiana tiene una discapacidad visual, lo que les dificulta la identificación de objetos y símbolos. Esto afecta sus necesidades básicas de seguridad, participación y autoestima. En respuesta, se ha creado un robot lazarillo para ayudar a estas personas en espacios cerrados, como centros comerciales y entidades gubernamentales, brindándoles autonomía en la toma de decisiones y respetando su privacidad. El prototipo del robot se conecta a través de IoT, lo que permite la comunicación mediante comandos de voz que el usuario proporciona. Los resultados de la investigación muestran que la apariencia discreta del robot y la habilidad para evadir obstáculos son importantes para los usuarios. En conclusión, la implementación del robot lazarillo para personas con discapacidad visual severa en espacios cerrados proporciona una mayor seguridad y habilidades para su movilización

Palabras Clave: Discapacidad visual, inclusión social, robot lazarillo, IoT

Abstract

In Colombia, people with disabilities face daily difficulties such as social interaction, moving around the streets, and a lack of employment opportunities. The Ministry of Health and Social Protection has developed a public policy to improve the quality of life for these individuals. 0.72% of the Colombian population has a visual impairment, which makes it difficult for them to identify objects and symbols. This affects their basic needs for security, participation, and self-esteem. In response, a guide robot has been created to help these people in closed spaces such as shopping centers and government agencies, providing them with autonomy in decision-making and respecting their privacy. The robot prototype is connected through IoT, enabling communication through voice commands provided by the user. Research results show that the discreet appearance of the robot and its ability to avoid obstacles are important to users. In conclusion, the implementation of the guide robot for people with severe visual impairment in closed spaces provides greater security and mobility skills.

Keywords: Visual impairment, social inclusion, guide robot, IoT

Tabla de Contenido

Introducción	15
Problema de Investigación	18
Planteamiento del Problema	18
Formulación del Problema.....	19
Justificación	20
Objetivos.....	21
Objetivo General.....	21
Objetivos Específicos.....	21
Marco Referencial.....	22
Antecedentes Investigativos.....	22
Marco Teórico.....	25
Leyes de la Robótica.....	26
Generaciones de La Robótica	27
Clasificación de los Robots.....	27
Sistemas de Locomoción de Robots Móviles	29
Aplicaciones de los Robots Móviles.....	30
Algoritmos de Control Para Robots Móviles.....	32
Estrategias de Geoposicionamiento en Interiores	33
Discapacidad Visual y Ceguera	37
Principales Causas de Ceguera A Nivel Mundial	39
Asistentes de Movilidad Para Personas Con Discapacidad Visual Severa o Ceguera	39
Marco Legal	41

Marco Conceptual.....	44
Diseño Metodológico.....	48
Tipo de Investigación.....	50
Diseño Adoptado	50
Enfoque Adoptado	51
Técnicas de Recolección de Datos.....	51
Variables	52
Procesamiento de la Información.....	55
Modelamiento Robot Lazarillo y Desarrollo del Prototipo	56
Encuesta De Caracterización Necesidades De La Población	57
Implementación Del Prototipo Robot Lazarillo.....	66
Pruebas de Funcionalidad del Prototipo.	83
Pruebas del Robot Lazarillo.....	92
Adecuación del Sitio.....	92
Prueba de Velocidad del Robot y Seguimiento de Guía de Camino	94
Prueba de Seguimiento Instrucciones	99
Prueba de Reacción Ante Obstáculos en el Camino.....	104
Conclusiones.....	106
Recomendaciones	108
Referencias Bibliográficas	109
Apéndices.....	118

Lista de Tablas

Tabla 1 <i>Categorías de discapacidad visual OMS</i>	38
Tabla 2 <i>Descripción de variables de la investigación.</i>	54
Tabla 3 <i>Resultados prueba funcionalidad sensores.</i>	87
Tabla 4 <i>Determinación de velocidad del robot lazarillo.</i>	96
Tabla 5 <i>Resultados prueba de seguimiento de camino guía.</i>	99
Tabla 6 <i>Determinación de recorridos por comando de voz.</i>	100
Tabla 7 <i>Resultados prueba de seguimiento de camino guía.</i>	105

Lista de Figuras

Figura 1 <i>Tipos de Robot</i>	28
Figura 2 <i>Tecnologías de detección de ubicación</i>	36
Figura 3 <i>Diagrama de flujo de metodología empleada en la investigación</i>	49
Figura 4 <i>Clasificación de rango de edades personas encuestadas</i>	57
Figura 5 <i>Tipo de discapacidad visual personas encuestadas</i>	58
Figura 6 <i>Edad de inicio de la discapacidad visual</i>	58
Figura 7 <i>Tipos de asistentes utilizados por los encuestados</i>	59
Figura 8 <i>Ritmo con el que puede caminar el encuestado con el asistente que usa</i>	59
Figura 9 <i>Lugares donde se requiere asistente de movilidad</i>	60
Figura 10 <i>Tipo de asistente de movilidad que prefieren</i>	61
Figura 11 <i>Características deseables del robot lazarillo</i>	61
Figura 12 <i>Características deseables del robot lazarillo</i>	62
Figura 13 <i>Características deseables del robot lazarillo</i>	63
Figura 14 <i>Características deseables del robot lazarillo</i>	64
Figura 15 <i>Lógica del Sistema De Comunicaciones del Prototipo</i>	67
Figura 16 <i>Tarjeta de Interconexión PCB</i>	68
Figura 17 <i>Modelo de Arduino Mega Utilizada</i>	69
Figura 18 <i>Modelo de QRE1113</i>	70
Figura 19 <i>Modelo RFID MFRC-522</i>	71
Figura 20 <i>Esquema Chasis Prototipo</i>	72
Figura 21 <i>Esquema batería prototipo</i>	73
Figura 22 <i>Especificaciones Drivers</i>	74

Figura 23 <i>Motorreductor 12V</i>	75
Figura 24 <i>Especificaciones llantas</i>	76
Figura 25 <i>Rueda Loca Tipo Pivote</i>	77
Figura 26 <i>Sistema guía bastón</i>	78
Figura 27 <i>Prototipo Robot lazarillo BocelliBot construido (vista general)</i>	79
Figura 28 <i>Prototipo Robot lazarillo BocelliBot construido (vista interna superior)</i>	80
Figura 29 <i>Prototipo Robot lazarillo BocelliBot construido (vista inferior)</i>	80
Figura 30 <i>Prototipo Robot lazarillo BocelliBot construido (vista frontal)</i>	81
Figura 31 <i>Diagrama de flujo sistema de comunicaciones Robot lazarillo</i>	82
Figura 32 <i>Pruebas Movimiento de Motores</i>	83
Figura 33 <i>Pruebas de funcionamiento de sensores IR</i>	85
Figura 34 <i>Pruebas de dispositivo RFID</i>	86
Figura 35 <i>Pruebas de sensor ultrasonido hc-sr04</i>	88
Figura 36 <i>Pruebas de Sistema de comunicaciones</i>	90
Figura 37 <i>Espacio físico para la realización de pruebas de campo</i>	92
Figura 38 <i>Pista para Prueba del funcionamiento del robot</i>	93
Figura 39 <i>Recorrido lineal para medición de velocidad de robot lazarillo</i>	94
Figura 40 <i>Relación Velocidad vs. PWM programado en el Arduino</i>	97
Figura 41 <i>Seguimiento de guía de camino en el circuito de la prueba</i>	98

Lista de Apéndices

Apéndice A <i>Encuesta de percepción sobre características de robot lazarillo</i>	118
Apéndice B <i>Fotografías del paso a paso de construcción del robot lazarillo</i>	124
Apéndice C <i>Fotografías de la realización de las pruebas de campo del robot lazarillo</i>	129
Apéndice D <i>Diagrama de elementos principales implementados</i>	131
Apéndice E <i>Diagrama esquemático del circuito</i>	132

Introducción

De acuerdo con la caracterización de las personas con discapacidad, realizada por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), se informa que hay un total de 3.134.036 habitantes en Colombia con discapacidad que corresponde al (7,1%) de la población total y 1.948.332 con discapacidad visual que el 62,17% del total de discapacitados a nivel nacional (DANE, 2020).

La sociedad y el gobierno buscan la inclusión de personas con discapacidad en actividades cotidianas, para que se sientan parte incluidos con el fin de garantizar que se lleve a la práctica proyectos innovadores que busquen diferenciadores que permitan el desarrollo de las comunidades debido a que la tendencia en la actualidad impulsa el desarrollo en TI (Congreso de Colombia, 2013, 27 de Enero).

A pesar de los esfuerzos realizados en Colombia para mejorar la calidad de vida de las personas con discapacidad mediante diversos proyectos, tanto las organizaciones involucradas como algunos miembros de esta población sostienen que aún no se ha logrado un avance significativo en su bienestar. Incluso llega a convertirse en una limitación cuando se encuentra en ambientes como centros comerciales, donde no están familiarizados con el entorno (Peralta, 2006).

Las personas con discapacidad visual avanzada en Colombia actualmente no cuentan con las herramientas necesarias para poder movilizarse adecuadamente, y de forma segura en espacios cerrados como centros comerciales, y es ahí en donde se evidencia la oportunidad de innovación tecnología en pro del benéfico social, para lograr un verdadero desarrollo inclusivo de la persona con discapacidad (xataca.com, 2014).

Específicamente, cuando se habla de participación inclusiva de personas con discapacidad en ambientes cerrados, como los centros comerciales, por ejemplo, no se cuenta con herramientas suficientes que permitan su libre desarrollo, ya que se cuenta por legislación con rampas para sillas de ruedas, nomenclatura en sistema Braille en ascensores, y en algunos casos sistemas auditivos para localización (Congreso de Colombia, 2013, 27 de Enero), pero, no tiene un dispositivo que les permita manejar una localización dentro del lugar, así como direccionamientos al respecto.

La robótica ha mostrado ser de gran utilidad para el hombre, en la medida que orienta sus investigaciones al desarrollo de esta, en beneficio propio; es así que mediante uso de robots que están al servicio de las personas, supliendo sus necesidades, se pueden aprovechar estas aplicaciones que cada día avanzan con mayor vertiginosidad. Y una de estas aplicaciones es la de brindar asistencia mediante robots a personas con discapacidad visual (Congreso de Colombia, 2013, 27 de Enero).

Alineando esta necesidad con el sentido de la investigación de la maestría en TI, y aprovechando la carrera de ingeniería electrónica de base, el objetivo de esta investigación es Diseñar e implementar un sistema robótico móvil para el mejoramiento de la movilidad de personas con limitación visual avanzada en ambientes interiores en Colombia como centros comerciales, promoviendo la inclusión social y el aprovechamiento de tecnologías (Sánchez y otros, 2009).

De esta manera, en este informe, se presenta esquemáticamente los pasos seguidos para llegar a cumplir con los objetivos planteados; es así, que en el capítulo 1 se encuentra descrita la problemática existente para la población de personas discapacitadas visualmente en Colombia, con la justificación que conlleva a plantear estrategias que minimicen su situación actual,

mediante la implementación de tecnologías TI y robótica. Para esto es necesario que el lector cuente con los conceptos claves que permitan comprender significativamente la investigación, y es por esto por lo que en el segundo capítulo se contempla el marco referencial, que contiene los antecedentes investigativos pertinentes al tema, así como el marco teórico, conceptual y legal que orienten al lector en la asimilación del proyecto.

En el tercer capítulo, se expone entonces, la metodología que conlleva a la consecución del proyecto, presentando el diseño, enfoque y nivel de la investigación, así como la descripción de cada una de las etapas desarrolladas que serán presentadas en los capítulos 4, 5, 6 y 7 con los resultados obtenidos. Consecuentes con la linealidad del proyecto en estos capítulos se presentan los resultados así: en el capítulo 4, se encuentra la caracterización de la población mediante la encuesta, seguido de la fase de implementación del prototipo del robot lazarillo en el capítulo 5, mostrando en detalle cada uno de los componentes de este y los criterios tenidos para la selección de ellos. En los capítulos 6 y 7 se presentan las pruebas de funcionalidad de los softwares, aplicaciones y enlaces de conectividad del robot; y pruebas desarrolladas en campo en un espacio cerrado, mapeado para seguimiento de camino y de instrucciones, respectivamente, con el fin de poder establecer los parámetros de operatividad óptimos para los usuarios del prototipo.

Finalmente, se presentan las conclusiones de la investigación basados en los objetivos planteados inicialmente, y las recomendaciones para mejoras en el robot lazarillo, tanto en estructura de este como la programación operativa.

Problema de Investigación

Planteamiento del Problema

“En Colombia, el Instituto Nacional para Ciegos (INCI) indica que hay una población de 1’948.332 individuos con discapacidades visual, a quienes se les brinda atención mediante diversos programas, entre ellos el CONPES 166 y las leyes 1618 y 1680 de 2013.” (INCI, 2020).

De acuerdo con la caracterización de las personas con discapacidad, realizada por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), se informa que hay un total de 3.134.036 habitantes en Colombia con discapacidad que corresponde al (7,1%) de la población total y 1.948.332 con discapacidad visual que el 62,17% del total de discapacitados a nivel nacional (DANE, 2020).

La sociedad y el gobierno buscan la inclusión de personas con discapacidad en actividades cotidianas, para que se sientan parte de la sociedad; y para lograrlo, se apunta a la realización de proyectos innovadores que permitan el desarrollo de la sociedad, impulsen el desarrollo de las Tecnologías de Información (TI); que resulten siendo un factor diferenciador y que adicionalmente pueden llevarse a la práctica para satisfacer las necesidades de la población (Congreso de Colombia, 2013, 27 de Enero).

A pesar de los esfuerzos realizados en Colombia para mejorar la calidad de vida de las personas con discapacidad mediante diversos proyectos, tanto las organizaciones involucradas como algunos miembros de esta población sostienen que aún no se ha logrado un avance significativo en su bienestar. Incluso llega a convertirse en una limitación cuando se encuentra en ambientes como centros comerciales, donde no están familiarizados con el entorno (Peralta, 2006).

Específicamente, cuando se habla de participación inclusiva de personas con discapacidad en ambientes cerrados, como los centros comerciales, por ejemplo, no se cuenta con herramientas suficientes que permitan su libre desarrollo, ya que se cuenta por legislación con rampas para sillas de ruedas, nomenclatura en sistema Braille en ascensores, y en algunos casos sistemas auditivos para localización (Ley 1618, 2013), pero, no tiene un dispositivo que les permita manejar una localización dentro del lugar, así como direccionamientos al respecto.

De acuerdo con lo anterior y para minimizar un poco esta problemática en la comunidad con discapacidad visual es necesario proporcionar alternativas que puedan minimizar esta problemática, por lo cual el reto se encuentra orientado a desarrollar robots tipo lazarillo para guiarlos por diferentes áreas y departamentos de un espacio Cerrado.

Formulación del Problema

De acuerdo con lo expuesto anteriormente, surge la siguiente pregunta de investigación:
¿Cómo se mejora la movilidad de personas con limitación visual avanzada en ambientes interiores como centros comerciales mediante el diseño e implementación de un sistema robótico móvil?

Justificación

La robótica ha mostrado ser de gran utilidad para el hombre, en la medida que orienta sus investigaciones al desarrollo de ésta, en beneficio propio; es así como mediante uso de robots que están al servicio de las personas, supliendo sus necesidades, se pueden aprovechar estas aplicaciones que cada día avanzan con mayor vertiginosidad. Y una de estas aplicaciones es la de brindar asistencia mediante robots a personas con discapacidad visual.

Las personas con discapacidad visual avanzada en Colombia actualmente no cuentan con las herramientas necesarias para poder movilizarse adecuadamente, y de forma segura en espacios cerrados como centros comerciales, y es ahí en donde se evidencia la oportunidad de innovación tecnología en pro del benéfico social, para lograr un verdadero desarrollo inclusivo de la persona con discapacidad.

Alineando esta necesidad con el sentido de la investigación de la maestría en TI, que propende por el desarrollo de tecnologías innovadoras y las posibilidades que se ofrecen a la industria 4.0 bajo la implementación de IoT (“Internet of the Things” por sus siglas en inglés), mediante el aprovechamiento de la carrera de ingeniería electrónica de base del autor, se justifica la elección de este proyecto, como acertado y coherente con las líneas de investigación que posee la universidad Nacional Abierta y a distancia UNAD, como lo es la línea de investigación de Emprendimiento Social Solidario, en las sub-líneas de investigación de Emprendimiento Tecnológico y Emprendimiento Innovador.

Y aún más importante, esta investigación está encaminada al sentido humanista y de adquisición de conciencia social que promueve la universidad, haciéndolo pertinente y oportuno como desarrollo integral de profesional Unadista.

Objetivos

Objetivo General

Diseñar e implementar un sistema robótico móvil para el mejoramiento de la movilidad de personas con limitación visual avanzada en ambientes interiores en Colombia como centros comerciales, promoviendo la inclusión social y el aprovechamiento de tecnologías.

Objetivos Específicos

Caracterizar las necesidades y preferencias de una población con limitación visual avanzada en Colombia, como usuarios finales del proyecto.

Identificar los requerimientos y tecnologías de software y hardware con los cuales debe cumplir el Robot Lazarillo.

Diseñar el modelo electrónico de robot bajo las premisas fundamentales de la robótica, y Ensamblar el prototipo de robot con un software de gestión del dispositivo con modelo cliente - servidor.

Validar el prototipo y el software mediante pruebas en espacios cerrados (Centros comerciales).

Marco Referencial

Antecedentes Investigativos

La asistencia robótica a personas con discapacidad visual ha sido ampliamente investigada, realizando diferentes prototipos que van desde bastones blancos robóticos, gafas con sensores, robots móviles con ruedas, hasta robots móviles de diseños más complejos como los de estructura de formas cuadrúpedas.

En la actualidad, con mira al desarrollo integral de las personas con discapacidad, la robótica de tercera generación ha buscado la implementación de soluciones de servicio para este tipo de poblaciones, y se pueden observar, en diferentes investigaciones el uso y aplicación de estas tecnologías, como la utilizada por la empresa NKS (empresa Japonesa), que desarrolló un robot-guía Lighbot, que pretende a ayudar a moverse a personas con visión reducida (Katzschmann y otros, 2018).

En el campo de los diseños de bastones, se encuentran diversos estudios, de los cuales se mencionarán algunos realizados en Latinoamérica; como la investigación de Ontiveros Paredes et al, en la cual se realiza el diseño y construcción de un prototipo de bastón blanco, el cual facilita el desplazamiento de forma independiente de los usuarios; este prototipo fue diseñado con plataforma de Arduino, sensores ultrasónicos y sistema de posicionamiento por GPS, permitiendo la identificación oportuna de obstáculos que dificultaran la movilidad en el entorno (Ontiveros-Paredes y otros, 2014).

En un estudio realizado en Argentina por el instituto de Automática de la Universidad Federal del Espíritu Santo se diseñó un bastón robotizado, dirigido por la empuñadura de éste, en la cual interactúa directamente el usuario, realizado con sensores y posicionamiento GPS, con

controladores PID, los cuales permiten la entrada de referencias en términos de velocidades lineales y angulares (Monllor y otros, 2015)

En Colombia, Rojas, en la Universidad de los llanos, realizó el diseño de un prototipo de robot bastón para detectar obstáculos por encima de la cintura, como asistente para personas invidentes, basado en un microcontrolador PIC 12F675, un sensor de proximidad por ultrasonido HC-SR04 y un zumbador como elemento de alarma sonora y vibratoria para facilitar la movilidad del usuario, y a bajo costo, mostrando como ventaja la masificación de producción de este tipo de elementos (Rojas Olaya, 2016).

En el campo de los prototipos de robots de asistencia no móviles, se encuentran los aplicativos de gafas y guantes con sensores, como el diseñado en la universidad de Manabí en Ecuador, el cual basado en tecnología de sensores ultrasónicos, permite que el usuario perciba la proximidad de obstáculos de forma segura, por reflejo del eco reflejado por el objeto y así determinar la proximidad (Baque Soledispa, 2018).

En un estudio realizado por Espinosa & Peña, se realizó un prototipo de gafas electrónicas con comunicación bluetooth a un celular para la detección de objetos en el entorno del usuario invidente, que brinda la asistencia de evasión de obstáculos de forma oportuna (Espinosa Moncayo & Peña Mendoza, 2015).

Villacreses Córdova, en su prototipo de gafas robóticas asistentes para personas invidentes, utiliza tecnología de sensores de proximidad ultrasónicos, para lograr la detección de los obstáculos, a diferencia de Espinosa, implementando en éste una tecnología de posicionamiento más segura, por la minimización de la interferencia de señales (Villacreses Córdova, 2019).

El diseño de robots móviles tiene también una amplia aplicación, y utilizan diferentes plataformas para sus diseños; como el prototipo realizado en la universidad Francisco de Paula Santander, realizado sobre plataforma Android, y controlado por aplicación Android, para facilitar la movilidad y transporte de objetos de los usuarios invidentes (Peñaloza Bernal & Martínez Cuadros, 2013).

La Escuela Superior de Cómputo (Escom) del Instituto Politécnico Nacional (IPN) en México, desarrollaron el Asistente Móvil Electrónico para Invidentes (AMEPI), un robot que funciona como lazarillo para personas con discapacidad visual que tiene la capacidad de evadir obstáculos y avisarle al usuario las características del entorno mediante una simbología especial, lo cual le permite su movilidad en espacios no conocidos (Caicedo y otros, 2016) (conacyt, 2015).

El prototipo de robot ASIBOT, es un robot portátil de asistencia para discapacitados, y no solo por invidencia, sino también para asistencia móvil de los usuarios con limitaciones de movilidad (Jardón y otros, 2008). La Universidad Libertadores, también desarrolló un robot lazarillo móvil (Vitour) para personas con discapacidad visual aguda (Samaniego y otros, 2012).

En la investigación de Tayb et al., se presenta el diseño de un robot de asistencia para personas con discapacidad visual y ciegos. Se utilizaron sensores ultrasónicos para detectar obstáculos frontales, la pared en ambos lados, así como escaleras o pendientes, y para detectar agujeros en el lado frontal. Se usa sensor IR para localizar la ruta y microcontroladores (Arduino Mega: ATmega 2560 processor) como software de programación del prototipo. Este prototipo se presenta como una alternativa viable para el uso tanto en interiores y exteriores (Tayab y otros, 2017).

De igual manera, en el modelo de asistente para discapacitados visuales realizado por Shaikh et al., se utiliza la tecnología de sensores ultrasónicos, en los cuales se enfoca en darle al diseño las características de tener un seguimiento en tiempo real y le añaden la particularidad de un botón de pánico el cual le permite proporcionar una mayor seguridad al usuario (Shaikh y otros, 2017).

El prototipo desarrollado por Shahnaz et al., se realiza con base en sensores ultrasónicos y un módulo GPRS que permite detectar obstáculos, pozos de registro y baches; y al presionar un botón, el usuario podrá enviar su ubicación por SMS. Esto hace que moverse sea más fácil y seguro para las personas ciegas sin ser notado o sin tener la ayuda de otros en espacios cerrados (Khan y otros, 2016).

Para el control de los robots, existen diferentes protocolos de comunicación, como por ejemplo las aplicaciones para dispositivos Android, como Alive Client, que permite la comunicación con robots, y poderlos controlar de forma remota (Dapena Pérez, 2014), y los sistemas de reconocimiento de voz, sobre todo por palabras aisladas que sirvan de comandos para los robots (Alezones-Campos y otros, 2012) como la que se utilizará en el prototipo de esta investigación.

Marco Teórico

El contexto que enmarca esta investigación se inicia describiendo aspectos relacionados con la robótica y las facilidades que ésta le proporciona a la humanidad, así como la conectividad y sus sistemas de comunicaciones como aplicación exhaustiva y multidisciplinar del internet de las cosas (IoT) (por su nombre en inglés *Internet Of Things*), enfocándolos como herramienta para una comunidad en especial: personas con discapacidad visual severa.

De esta manera, se presentan en un principio las leyes que rigen la robótica, seguida de las diferentes generaciones de esta, para así llegar a la descripción de los diferentes tipos de robots que se pueden llegar a encontrar. Seguido a esto, se describen las diferentes propiedades que tienen los robots, en cuanto a locomoción, aplicaciones, protocolos de comunicaciones, y sistemas de geoposicionamiento.

Una vez se haya aclarado lo concerniente a la robótica, se describe lo relacionado con el tema de investigación de la aplicación del robot lazarillo: la ceguera; describiendo las diferentes categorías que existen, las principales causas de la ceguera para poner al lector en contexto con la problemática, los dispositivos que se utilizan para asistir a personas con ceguera y se finaliza exponiendo el contexto del marco legal regulatorio del tema, tanto a nivel internacional como a nivel nacional.

Leyes de la Robótica

En 1950 se publicó *Yo, Robot*, una colección de relatos que introdujo por primera vez las tres leyes de la robótica más conocidas:

Un robot no puede causar daño a un ser humano ni, por inacción, permitir que un ser humano sufra daño.

Un robot debe obedecer las órdenes dadas por los seres humanos, excepto cuando dichas órdenes entren en conflicto con la Primera Ley.

Un robot debe proteger su propia existencia en la medida en que esta protección no entre en conflicto con la Primera o la Segunda Ley.

Finalmente, en su obra literaria *Robots e Imperio*, publicada en 1985, Asimov introdujo una cuarta ley, llamada la Ley Cero, que establece que un robot no puede causar daño a la humanidad o permitir que la humanidad sufra daño por inacción. Esta ley tiene una prioridad

superior a la primera ley y coloca el bienestar colectivo por encima del bienestar individual (Ruiz de Garibay Pascual, 2015).

Los orígenes más directos y relevantes de los robots son los tele-manipuladores. En 1948, R.C. Goertz creó el primer manipulador en el Laboratorio Nacional de Argonne con el propósito de manejar elementos radiactivos sin poner en riesgo al operador (Ruiz de Garibay Pascual, 2015).

Posteriormente, en 1958, Ralph Mosher, un ingeniero de General Electric, diseñó un dispositivo llamado Handy-Man que consistía en dos brazos robóticos controlados a distancia mediante un exoesqueleto maestro.

Generaciones de La Robótica

Para los años 70, la incorporación de microprocesadores permitió grandes avances en la tecnología robótica, y el año 1980 fue llamado el primer año de la era robótica debido al incremento del 80% en la producción de robots industriales. La primera generación de robots era reprogramable, con movimientos repetitivos y sensores internos. La segunda generación, a finales de los 70, añadió sensores externos. La tercera generación, que emplea inteligencia artificial, usa microprocesadores avanzados y es capaz de aprender y realizar razonamientos lógicos. Actualmente, los robots móviles, conocidos como robots de servicio, son capaces de desempeñar tareas en diversos entornos, marcando un cambio en su uso más allá de la manipulación industrial. (Ruiz de Garibay Pascual, 2015).

Clasificación de los Robots

De manera general, y basándose en su morfología, los robots se suelen dividir en cuatro tipos que pueden observarse en la Figura 1:

Robots Manipuladores

son dispositivos mecánicos y electrónicos diseñados para llevar a cabo de manera automática ciertos procesos de manipulación o producción.

Robots Móviles

tienen la capacidad de desplazarse autónomamente gracias a su sistema de movilidad, que puede ser mediante patas, ruedas o orugas, y cuentan con sus propios sensores para obtener información del entorno.

Androides o Humanoides

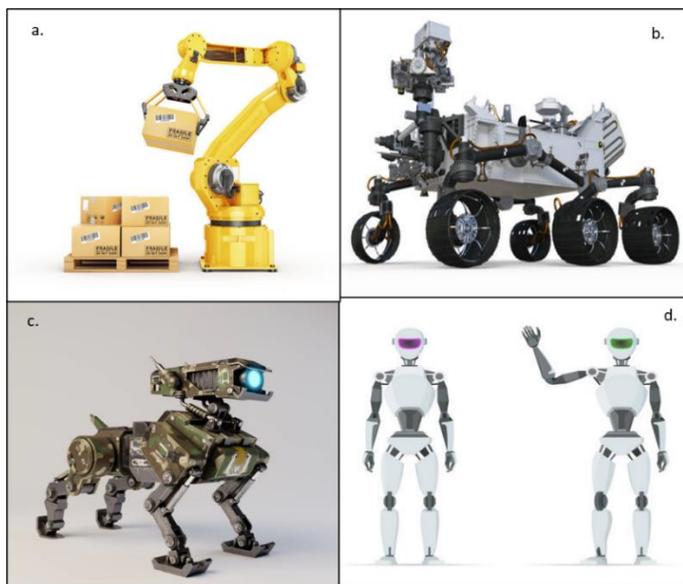
buscan imitar parcial o totalmente la apariencia y el comportamiento humano, aunque su uso práctico aún se encuentra limitado por su alto costo de producción y restricciones técnicas.

Zoomórficos

Se basan en la locomoción de diversos animales, y se pueden dividir en dos grupos: caminadores y no caminadores. (Ruiz de Garibay Pascual, 2015).

Figura 1

Tipos de Robot



Nota a. manipulador b. móvil; c. zoomórfico; d. humanoide.

Fuente. Compilación del autor.

Sistemas de Locomoción de Robots Móviles

La definición de un robot móvil es todo sistema electromecánico con capacidad de desplazarse de manera autónoma sin estar sujeto físicamente a un punto. Éste cuenta con una serie de sensores que permiten determinar su posición en el espacio para determinar su punto de inicio y su punto destino (Marin et al., 2021).

Es así, que los robots móviles se convierten en una herramienta valiosa ya que poseen la habilidad para moverse de manera autónoma por diferentes terrenos, ya sea por tierra, aire, agua o espacio exterior, y su funcionamiento puede ser controlado remotamente por humanos. Debido a esta capacidad, pueden acceder a lugares donde las personas no pueden o donde las condiciones no son seguras o adecuadas. Por esta razón, los robots móviles son muy útiles en diversas aplicaciones, especialmente en la exploración y monitoreo de entornos peligrosos o inaccesibles.

Para cumplir con sus funciones móviles debe cumplir con las siguientes capacidades básicas:

Interpretación Sensorial

Debe ser capaz de determinar su relación con el entorno mediante su sistema sensorial. (odometría, ultrasonido, infrarrojo, laser visión monocular, binocular, etc.)

Raciocinio

Debe ser capaz de decidir qué acciones son requeridas para alcanzar sus objetivos en un entorno de trabajo determinado (Andaluza Ortiz, 2011).

Se pueden clasificar por el tipo de locomoción de acuerdo con el entorno en que se desarrollan, siendo el tipo terrestre el más utilizado, en las modalidades de:

Locomoción por ruedas

Locomoción por patas

Locomoción por orugas

También se encuentran para entornos acuáticos, flotantes, submarinos y aéreos.

Robots con Ruedas

Dentro de los robots que se mueven por ruedas, se pueden encontrar diferentes tipos de ruedas, como por ejemplo las ruedas convencionales (como las fijas a la estructura del robot, las orientables que su plano respecto a la estructura es móvil, y las orientables no centrales o ruedas locas) y las ruedas suecas, en las cuales solo una componente de la velocidad de contacto de la rueda con el terreno se supone igual a cero a lo largo del movimiento (Andaluza Ortiz, 2011).

A su vez los robots de ruedas pueden ser omnidireccionales que tiene maniobrabilidad por todo el plano moviéndose en cualquier dirección sin necesidad de reorientación; unicyclos que tiene dos ruedas fijas convencionales sobre el mismo eje controladas de forma independiente y una rueda loca que le da estabilidad: Triciclos, cuya rueda móvil es centrada orientable concentrando sus funciones de tracción/dirección y cuatriciclos, los cuales tiene dos ejes fijos con dos ruedas cada uno, los cuales se mueven de forma independiente, aumentando la tracción del robot (Andaluza Ortiz, 2011).

Aplicaciones de los Robots Móviles

Actualmente, los robots móviles tienen numerosas aplicaciones útiles como asistentes para los seres humanos en diversos campos. Por ejemplo, se utilizan en la exploración en áreas como la minería, el espacio, el mar y en situaciones de rescate. También se emplean en sistemas

de automatización de procesos, vigilancia, asistencia médica, apoyo militar, agricultura, entre otras áreas (Bambino, 2008).

De acuerdo con su entorno de trabajo, estos pueden ser utilizados en exteriores o interiores (-cuando el espacio está bien definido por paredes y cielorraso) (Goldhoorn y otros, 2017).

De acuerdo con los objetos presentes en el entorno del robot, pueden ser estructurados (cuando los objetos presentes en el entorno son estáticos y se pueden asociar con figuras geométricas establecidas); o no estructurados.

Dentro de las aplicaciones de los robots móviles, se pueden mencionar:

Aplicaciones Industriales

se utilizan con el fin de reducir costos, aumentar productividad, mejorar la calidad de la producción y eliminar condiciones peligrosas de trabajo. Cumplen funciones de transporte, manejo de cargas, materiales, maquinado, ensamblaje, etc.

Aplicaciones Innovadoras y de Servicio

Los robots de servicio son aquellos que realizan tareas en beneficio de los humanos o para mantener infraestructuras y equipos de forma semiautomática o automática. Dentro de esta se pueden ver las aplicaciones de robots en el área de la medicina, de uso para el hogar (Núñez y otros), de entretenimiento y de asistencia a discapacitados como se pretende establecer en esta investigación (L.Mekhalfia y otros, 2016).

Aplicaciones de vigilancia y Militares

son los que se emplean para cumplir con un sistema estructurado de vigilancia y atención exacta, con un robot vigilante tele controlado. Y los militares, están enfocados a aquellas

aplicaciones en las cuales se minimice el riesgo de los soldados, como robots de observación y espionaje (Andaluza Ortiz, 2011).

Aplicaciones de Investigación y Desarrollo

Las cuales estoan enfocadas a la búsqueda de mejoras en los robots como velocidad, o inteligencia para desarrolla sus actividades específicas. (androides y robots zoomórficos más que todo) (Andaluza Ortiz, 2011).

Algoritmos de Control Para Robots Móviles

Los robots móviles al ser autónomos deben contar con un programa que los dirija de forma estructurada y lógica, y esto se logra mediante la implementación de algoritmos que permitan dicha programación.

Deben estar preparados para solucionar problemas tales como el control de la posición, el seguimiento de la trayectoria y el seguimiento de caminos. Por ende, estos algoritmos principalmente están dirigidos a:

Control del posicionamiento: con o sin orientación final, con o sin evasión de obstáculos.

Seguimiento de trayectorias: de forma cinemática (que avance y siga con error cero a las deseadas variantes con el tiempo), con su respectiva compensación dinámica (cuando no se tiene un seguimiento perfecto de la velocidad); o incluso por seguimiento de trayectoria por linealización del modelo mediante realimentación de entrada/salida.

Seguimiento de caminos: se deben realizar los algoritmos buscando reducir a cero la distancia del robot móvil al camino, así como el ángulo formado entre el vector de la velocidad del robot y la tangente al camino (Andaluza Ortiz, 2011).

Estrategias de Geoposicionamiento en Interiores

En este punto se identifica algunas estrategias de geoposicionamiento en interiores tales como el posicionamiento mediante la utilización de infrarrojos, Ultrasonidos, Bluetooth, Radiofrecuencia, ZigBee, Wifi *Indoor*, visión Artificial, y con RFID. Para todos ellos se debe tener en cuenta sensores de posicionamiento que entreguen una retroalimentación que permita determinar dónde está el robot y así poder optimizar su navegación en el espacio local o global según sea el caso. Se debe considerar en este tipo de procedimientos el error en el posicionamiento el cual puede ser sistemático y no sistemático (Sotelo y otros, 2007).

Se describen a continuación entonces, cuáles son las diferentes estrategias mencionadas anteriormente, previo a la realización de la caracterización de la población para llevar a cabo el desarrollo del prototipo.

Posicionamiento por Infrarrojos

Este sistema consta de dos elementos que permiten la comunicación entre dos nodos, por medio óptico en la banda de luz infrarroja y su principal desventaja, a diferencia de otros medios de transmisión inalámbricos es que ésta requiere de línea de vista ya sea directa o por reflexión para su implementación ya que consta de un transmisor y un receptor.

Para lograr determinar la posición de un objeto en movimiento dentro de un entorno determinado se mide la intensidad de señal que incide en el receptor y se calcula la distancia según algunas características previamente evaluadas (Vega, 2016).

Posicionamiento por Ultrasonidos

Ultrasonidos son las ondas acústicas que no pueden ser escuchadas por ser humano promedio, que está en las frecuencias superiores a 20MHz.

El uso de esta tecnología se basa en calcular la distancia mediante el tiempo de regreso de una señal enviada previamente al rebotar en un objeto. Este método de detención se encuentra en la naturaleza en animales tales como los murciélagos, el delfín entre otros. El posicionamiento se puede dar por triangulación, mediante la medición de distancia entre determinado objeto a localizar uno y varios sensores ubicados en un espacio (Carletti, 2007).

Posicionamiento por Bluetooth

es una tecnología que permite la comunicación inalámbrica entre dispositivos a corta distancia, mediante señales de radiofrecuencia en la banda de los 2.4 GHz. Esta red de área personal (WPAN) permite la transmisión de datos y voz, y su alcance máximo varía desde 0.5 metros hasta 100 metros, dependiendo de la potencia de transmisión utilizada. Además, mediante el uso de la triangulación, se puede obtener la posición precisa de un objeto, lo que puede ser útil para determinar una ubicación específica (Rubio, 2010).

Posicionamiento por Radiofrecuencia

Estos sistemas identifican y rastrean de manera automática objetos o personas en tiempo real, en entornos cerrados que pueden ser edificios, centros comerciales, empresas entre otras.

Los Tags de redes inalámbricos se adhieren al sujeto u objeto que se va a monitorear, teniendo puntos de referencia que son fijos; los cuales pueden ser transmisores, receptores o ambos; procesando señales inalámbricas que permiten determina la posición, como los utilizados para rastreo de automóviles en una línea de producción, localizar cajas en una bodega, cuidado de ancianos y o personas (AGPS.com, 2021).

Posicionamiento por ZIGBEE

Zigbee es un conjunto de protocolos de comunicación inalámbrica de alto nivel para radios digitales de baja potencia basados en el estándar IEEE 802.15.4 para redes de área

personal inalámbricas (WPAN). Se utiliza en aplicaciones que requieren comunicaciones seguras con una baja tasa de transferencia de datos y una vida útil máxima de la batería. Su objetivo es permitir redes inalámbricas con capacidades de monitoreo y control confiables (Seco Granja, 2008).

Posicionamiento por WIFI

Este sistema de comunicaciones es el más difundido en el mundo debido a su simplicidad en instalación y bajo costo. Teniendo en cuenta que la señal de GPS es muy limitada en entornos bajo techo se está implantando este método de posicionamiento mediante la comunicación entre los dispositivos dentro de la red equipos Servidores y equipos cliente, haciendo un barrido por las 35 bandas que hay desde los 2,4 Ghz a los 5,8 Ghz,

El emisor de la señal cambia de banda con una frecuencia de muy pocos microsegundos, y el receptor analiza las variaciones en la comunicación. De esta forma, se determina el tiempo que tarda la señal en llegar al segundo dispositivo, lo que permite medir la distancia a la que se encuentra y establecer su ubicación mediante un mapa previamente cargado. (Cañoto López, 2014).

Posicionamiento con visión artificial basada en marcadores

Mediante este método, el sistema robótico identifica tarjetas con simbología específica a través del uso de visión artificial; en donde debe procesar un gran número de cuadros de imágenes de los que toma los datos para digitalizarlos, almacenarlos y procesarlos obteniendo la posición absoluta del robot por reconocimiento del marcador; y de acuerdo con la instrucción de destino final se ejecuta un algoritmo que permite llevar el robot a una nueva posición. Una de las desventajas de este tipo de sistema es la cantidad de recursos de software que debe utilizar para el procesamiento de las imágenes (Campoverde Schrader, 2017).

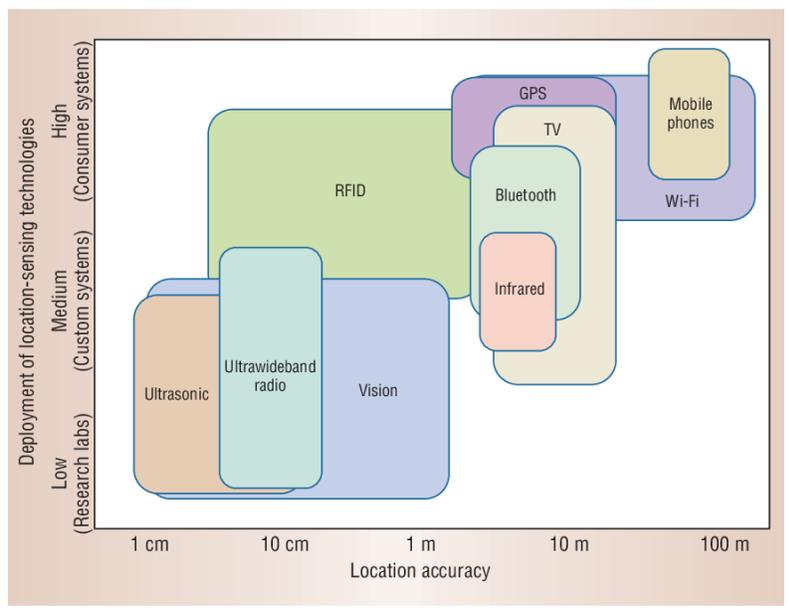
Posicionamiento con RFDI

La tecnología RFID responde a las iniciales de Radio Frecuencia Identificación es una forma de comunicación inalámbrica entre un lector y un emisor. Esta tecnología es muy utilizada para localizar objetos puesto que la información está contenida en unos dispositivos pequeños que contienen la información de identificación única el cual para ser leído no requiere contacto directo con el lector porque la lectura se realiza de forma inalámbrica por ondas de radio (Muñoz Arnal, 2016).

Como se puede ver en la Figura 2, el tramo horizontal de cada cuadro muestra el rango de precisión que cubre la tecnología.

Figura 2

Tecnologías de detección de ubicación.



Nota. Tomado de Hazas, M., Scott, J., & Krumm, J. (2004). Location-aware computing comes of age. *Computer*, 37, 95-97.

Discapacidad Visual y Ceguera

El concepto de discapacidad visual hace referencia a un deterioro de la visión, mientras que la ceguera se considera como la ausencia de la función visual; y estos pueden ser tanto adquiridos como originados como enfermedades primarias, congénitas o idiopáticas. Los términos para hacer referencia a la discapacidad visual, son entonces: visión parcial, visión defectuosa, debilidad visual, visión subnormal y baja visión; donde este último incluye a las personas con una discapacidad visual severa en la cual la persona tiene un campo de visión menor del 20° desde el punto de fijación (un rango de agudeza visual lejana de 6/60 a 3/60 metros), pero que conserva la capacidad de planificar y ejecutar tareas por sí mismo, categorizado por la Organización mundial de la Salud (OMS) como de segundo nivel, como se puede observar en al tabla 1.

En el caso de la ceguera, la persona carece incluso de percepción de la luz, y de acuerdo con OMS puede encontrarse en las categorías 3, 4 y 5, dependiendo de la magnitud de la agudeza visual (AV) lejana que posea el individuo (Suárez Escudero, 2011).

Tabla 1*Categorías de discapacidad visual OMS*

Categoría	Agudeza Visual (AV) lejana	
	AV menor a:	AV igual o mayor a:
0: discapacidad visual leve o sin discapacidad	No aplica	6/18
		3/10 (0.3)
		20/60
1: Discapacidad visual moderada	6/18 (metros)	6/60 (metros)
	3/10(0.3)	1/10 (0.1)
	20/60 (pies)	20/200 (pies)
	6/60 (metros)	3/60 (metros)
2: Discapacidad visual severa	1/10 (0.1)	1/20
	20/200 (pies)	20/400 (pies)
	3/60	1/60 (cuenta dedos a 1 metro)
3: Ceguera	1/20 (0.05)	1/50 (0.02)
	20/400	5/300 (20/1200)
	1/60 (cuenta dedos a 1 metro)	
4: Ceguera	1/50 (0.02)	Percepción de luz
	5/300 (20/1200)	
5: Ceguera	No percepción de luz	
9	Indeterminado o no especificado	

Fuente. Adult visual impairment and blindness: Review article (Suárez Escudero, 2011).

Principales Causas de Ceguera A Nivel Mundial

Las principales causas de la ceguera a nivel mundial reconocidas por la OMS con: catarata, con un aporte del 39% de responsabilidad en la etiología de la enfermedad; ametropías, con un porcentaje del 18,2%; glaucoma, con un 10% de la etiología al igual que la degeneración macular y finalmente, las opacidades corneales con un 4,2% (Suárez Escudero, 2011).

Adicional a esto, se puede decir que la principal causa de la discapacidad visual severa son las ametropías, que son defectos en el ojo para la refracción de la luz que hace que se tenga un enfoque deficiente en la retina, haciendo que se disminuya la agudeza visual; y que, aunque pueden corregirse quirúrgica o terapéuticamente, permitiendo el recobro de la visión en el paciente, muchas veces por el desgaste retinal la patología persiste hasta llegar a ocasionar la pérdida de la visión.

En la medida que se han modificado los hábitos alimenticios de las personas y se ha incrementado la diabetes, se ha presentado también un incremento en la prevalencia de discapacidad visual severa y ceguera asociada a una patología por retinopatía diabética; que se da por complicaciones microvasculares que ocurren en los pacientes que son insulino dependientes, demostrando que esta también es una forma de adquirir la ceguera e incrementar la etiología de esta (Suárez Escudero, 2011).

Asistentes de Movilidad Para Personas Con Discapacidad Visual Severa o Ceguera

Dentro de las principales herramientas que utilizan las personas con discapacidad visual o ciegas consideradas como clásicas se encuentran:

Bastón

Es un dispositivo simple, común y económico que permite la detección de obstáculos a distancia mediante su manipulación en las inmediaciones de este al tener contacto inmediato con

el instrumento. Con esta herramienta, los invidentes pueden llegar a determinar propiedades físicas de los objetos como altura, profundidad y forma de este (Peralta Mosquera & Urmendiz Terreros, 2014).

Perro Lazarillo

Es un perro entrenado para apoyar en el desplazamiento en exteriores a las personas con discapacidad visual. Adicional al servicio de desplazamiento, los lazarillos proporcionan un aspecto de seguridad a la persona, así como afectividad emocional, al enlazar vínculos con el animal.

Asistentes Electrónicos

Gracias al desarrollo de la tecnología en los últimos años se han desarrollado dispositivos tecnológicos que permiten que la persona con la discapacidad visual pueda tener acceso a lugares tanto en exteriores como interiores; así como mejorar la orientación por los sistemas de posicionamiento que poseen algunos de estos. En la medida que la tecnología avanza, estos dispositivos mejoran su presentación y tamaño, llegando a ser incluso imperceptibles en muchas ocasiones, o no llegar a perturbar el espacio de la persona (Peralta Mosquera & Urmendiz Terreros, 2014).

Senderos Táctiles

Consisten en diseños arquitectónicos de los senderos peatonales con baldosas o adoquines texturizados, inspirados en el sistema Braille que permite a la persona con discapacidad visual contar con una guía en su camino, cuando adicionalmente utiliza un elemento como un bastón para identificar las texturas.

Marco Legal

A continuación, se presenta el marco legal concerniente al tema de la investigación, iniciando con la regulación internacional, hasta la nacional, y las normas técnicas colombianas que lo rigen.

Declaración Universal de los Derechos Humanos: en sus artículos 7 y 24 se establece el derecho de todas las personas a ser acogidos y desarrollar su cotidianidad, así el propender por su dignidad independientemente de cuál sea su condición (Asamblea General de las Naciones Unidas, 1948).

Declaración de los Derechos de la Persona Sorda Y Ciega

Emitida en 17 por las Naciones Unidas en el marco de su asamblea general, en su trigésimos cuarto período de sesiones; deja en claro los derechos que tiene las personas ciegas y sordas, enfatizando en sus necesidades de los derechos universales y la atención de asistencia médica (Naciones Unidas, Declaración sobre los derechos de la persona sorda y ciega, 1979)

Convención Sobre los Derechos de las Personas con Discapacidad

En esta convención se manifiestan los derechos y la dignidad de las personas con algún tipo de discapacidad, prevaleciendo en todo momento el disfrute de su vida plena y de la igualdad (Naciones Unidas, Convención sobre los derechos de las personas con discapacidad , 2008)

Declaración de Cartagena de Indias Sobre Políticas Integrales Para las Personas con Discapacidad en el Área Iberoamericana

Basándose en los principios establecidos en la carta de los derechos humanos de las Naciones Unidas, en el marco de la Conferencia Intergubernamental Iberoamericana sobre Políticas para Personas Ancianas y Personas Discapacitadas, reunidos en Cartagena de Indias, se

establecen las políticas y las necesidades de las personas con discapacidad; las cuales deben ser integrales y asumidas por los estados, para toda Iberoamérica (Conferencia Intergubernamental Iberoamericana sobre Políticas para Personas Ancianas y Personas Discapacitadas, 1992)

Constitución Política de Colombia

(Asamblea constituyente de Colombia, 1991). Dentro de los artículos que hacen referencia al tema de discapacidades y sus derechos en el país se encuentran los artículos 13, 25, 47, 48, 49, 52, 54, 68, 70 y 366.

Resolución 14861 de 1985. “Por la cual se dictan normas para la protección, seguridad, salud y bienestar de las personas en el ambiente y en especial de los minusválidos”. Se estipula la normatividad de adecuación de espacios de tal manera que les facilite el acceso y tránsito a la población con discapacidades, bien sean temporales o permanentes (Ministerio de Salud, Resolución 14861 de 1985, 1985).

Ley 12 de 1987. “Por la cual se suprimen algunas barreras arquitectónicas y se dictan otras disposiciones” Expresa que las edificaciones tanto públicas como privadas deben diseñarse de tal manera que puedan permitir el ingreso y tránsito de personas con discapacidad motora o de orientación reducida. Para esto, en Colombia, existe un compendio de Normas Técnicas en las cuales se disponen las respectivas reglamentaciones (Congreso de Colombia, 1987, 25 de Enero). Estas se listan a continuación: NTC 4144, NTC. 4279, NTC. 904, NTC. 4141, NTC. 4139, NTC. 4142, NTC. 4774, NTC. 4902, NTC. 4140, NTC. 4349, NTC. 4201, NTC. 4145, NTC. 4143 y NTC. 4407.

Ley 60 de 1993. "Por la cual se dictan normas orgánicas sobre la distribución de competencias de conformidad con los artículos 151 y 288 de la Constitución Política y se distribuyen recursos según los artículos 356 y 357 de la Constitución Política y se dictan otras

disposiciones". En su artículo 21, ítem; en materia de construcción para grupos vulnerables, se establece el desarrollo de planes, programas y proyectos de bienestar social integral en beneficio de poblaciones vulnerables, sin seguridad social y con necesidades básicas insatisfechas (Congreso de la República, 1993, 12 de Agosto).

Ley 100 de 1993. "Por la cual se crea el sistema de seguridad social integral y se dictan otras disposiciones". Se establece el Sistema de Seguridad Social Integral que tiene por objeto garantizar los derechos irrenunciables de la persona y la comunidad para obtener la calidad de vida acorde con la dignidad humana, mediante la protección de las contingencias que la afecten. En el caso de los discapacitados, se incluyen aspectos en los siguientes artículos 26 y 157 (Congreso de Colombia, 1993, 23 de Diciembre).

Ley 105 de 1993. "Por la cual se dictan disposiciones básicas sobre el transporte, se redistribuyen competencias y recursos entre la Nación y las Entidades Territoriales, se reglamenta la planeación en el sector transporte y se dictan otras disposiciones, en su artículo 3 (Congreso de Colombia, 1993, 30 de Diciembre).

Decreto 2886 de 1994. "por el cual se reglamentan los procedimientos y demás formalidades necesarias que deben cumplir las entidades territoriales para obtener la certificación del cumplimiento de los requisitos que les permita asumir la administración de los recursos del situado fiscal y la prestación del servicio educativo" (Presidente de la República, 1994).

Ley 181 de 1995. "Por el cual se dictan disposiciones para el fomento del deporte, la recreación, el aprovechamiento del tiempo libre y la Educación Física y se crea el Sistema Nacional del Deporte" en sus artículos 4, 11, 42 y 89 (Congreso de Colombia, 1995, 18 de Junio).

Resolución 3165 de 1996. "Lineamientos de atención en salud para las personas con deficiencias, discapacidades y minusvalías" (Ministerio de Salud, Resolución 3165 de 1996, 1996).

Ley 361 de 1997. (Ley de discapacidad) "Por la cual se establecen mecanismos de integración social de las personas con limitación y se dictan otras disposiciones" (Congreso de Colombia, 1997, 7 de Febrero)

Ley 368 de 1997. "Por la cual se crea la Red de Solidaridad Social, el Fondo de Programas Especiales para la Paz, y el Fondo del Plan Nacional de Desarrollo Alternativo - Fondo Plante-, y se dictan otras disposiciones". En sus artículos 3 y 11 (Congreso de Colombia, 1997, 5 de Mayo).

Ley 488 de 1998. "Por la cual se expiden normas en materia Tributaria y se dictan otras disposiciones fiscales de las Entidades Territoriales." Estipula que se encuentran excluidas del impuesto sobre las ventas las Impresoras braille, estereotipadoras braille, líneas braille, regletas braille, cajas aritméticas y de dibujo braille, máquinas inteligentes de lectura, elementos manuales o mecánicos de escritura del sistema braille, así como los artículos y aparatos de ortopedia, prótesis, artículos y aparatos de prótesis; todos para uso de personas, audífonos y demás aparatos que lleve la propia persona, o se le implanten para compensar un defecto o una incapacidad y bastones para ciegos aunque estén dotados de tecnología, contenidos en la partida arancelaria 90.21 (Congreso de Colombia, 1998, 24 de Diciembre).

Marco Conceptual

A continuación, se presentan términos, siglas y conceptos necesarios para que el lector pueda asimilar mucho mejor el contexto de esta investigación.

Adafruit IO: Plataforma basada en Internet de las cosas que permite conexiones de forma sencilla y con pocos requerimientos de programación (Adafruit IO, 2021)

Android: Sistema operativo para teléfonos y dispositivos inteligentes como tabletas, teléfonos móviles, televisores, entre otros; que facilita la interconexión entre estos. Es desarrollado por Android Inc. basado en núcleo Linux (Android, s.f.).

APP: sigla para representar aplicación. Son softwares diseñados para una función específica de los usuarios; utilizado en dispositivos móviles.

Arduino: sistema embebido que integra sistemas de comunicación y microcontrolador para desarrollar montajes electrónicos de forma sencilla. Es un sistema *open source* (Arduino.cl, s.f.).

Asistente Google: Herramienta tecnológica de Google para realizar búsquedas por comando de voz. Facilita la ejecución de tareas en internet (Google.com, s.f.).

Automatización: Proceso que requieren de poca intervención humana con el fin de realizar tareas repetitivas, riesgosas o de alto procesamiento. Los sistemas de automatización cuentan con sensores, unidades de procesamiento y actuadores.

Bluetooth: sistema de comunicaciones basado en radiofrecuencia a corta distancia, utilizado principalmente para interconectar equipos con transmisión de datos de control o de ejecución.

Circuitos Digitales: Especificidad de la electrónica que se encarga de las señales digitales en un lenguaje binario con el objeto de llevar a cabo tareas diversas y cumplir requisitos asignados (electronicaonline.com, s.f.)

Electrónica: Rama de las ciencias aplicada que consiste en la manipulación de la electricidad de tensiones bajas (0-25V) para artefactos que reciben y transmiten información.

Discapacidad Visual: Disminución significativa de la agudeza o del campo visual a diferentes rangos.

Fuente de Poder Eléctrico: Componente que transforma la corriente eléctrica de alterna a directa o viceversa; bien sea para aumentarla, disminuirla o controlarla.

IFTTT: Servicio en línea que permite diseñar programas a modo de instrucciones simples; por su sigla en inglés (*If This, Then That*: Si esto ocurre, entonces haz eso)

IoT: Internet de las cosas, por su sigla en inglés *Internet of Things*

Lazarillo: persona o animal que asiste a otra para ayudarla; en especial con condiciones de ceguera.

Internet: sistema global de interconexión para intercambio de información.

Motor DC: Máquina que transforma energía eléctrica en energía mecánica con un movimiento rotatorio, por efecto de un campo magnético. Funciona con corriente continua.

Puente H: Arreglo eléctrico o electrónico que se utiliza para cambiar la polaridad de dos terminales, haciendo que se invierta el giro de un motor DC.

Radiofrecuencia: Segmento de frecuencias del espectro electromagnético que se utilizan en las radiocomunicaciones.

RFID: Identificación por radiofrecuencia, por sus siglas en inglés: *Radio Frequency Identification*

Robot: Máquina autónoma con capacidad de realizar tareas específicas para las cuales ha sido programado.

Sensor de Proximidad: Dispositivo que es capaz de detectar objetos cercanos mediante el envío de una señal de la proximidad.

Sensor Seguidor de Línea: Arreglo de sensores ópticos que permiten dirigirse por un camino especificado basado en el fenómeno de reflexión de la luz sobre superficies coloreadas en contraste.

Telecomunicaciones: Sistema de comunicación a distancia que se realiza por medios eléctricos o electromagnéticos

Diseño Metodológico

Para el desarrollo de esta investigación se realizó una revisión y análisis de documentos técnicos correspondientes a fuentes publicadas entre los años 2010 y 2022, encontrados en las bases de datos para artículos científicos del área de ingeniería, tales como *Scopus*, *ScientDirect* y *Springer*, entre otras, concernientes y pertinentes al tema de investigación, utilizando ecuaciones de búsqueda mediante operadores booleanos, usando palabras clave como robot guía, lazarillo, personas ciegas, apoyo visual, ceguera, entre otras, con sus respectivas traducciones al inglés para búsqueda en ambos idiomas..

Una vez se finalizó la revisión, se identificaron y estudiaron los puntos claves del desarrollo de las investigaciones como son los objetivos, el problema de investigación, los tipos robots desarrollados como asistentes para discapacitados visuales, los algoritmos utilizados para su desarrollo, entre otras características, así como la metodología, los ensayos realizados, los resultados, y las recomendaciones y/o conclusiones.

Mediante esta revisión, se establecieron grupos o categorías lógicas y útiles, es decir, se clasificaron para establecer comparaciones o relaciones de los resultados obtenidos en diferentes estudios, que permitieron realizar el correcto desarrollo de diseño de prototipo del robot lazarillo.

Se realizó adicionalmente una caracterización de la población beneficiada, mediante realización de una encuesta de percepción, que sirvió como insumo para atender las necesidades de los usuarios con el diseño realizado, basada en el estudio de Hersh y Johnson de un robot guía para gente ciega, en su primera parte, donde se realizó una encuesta multinacional con las actitudes, incluyendo sus preferencias de los usuarios finales potenciales (personas ciegas) para un prototipo de robot lazarillo. En esta se evaluaron aspectos tales como el tipo de ayuda utilizada habitualmente, así como la frecuencia de utilización, rutas seguidas y direccionamiento

solicitado para el tipo de ayuda utilizada, o de preferencia de utilización (Hersh & Johnson, 2010).

Posteriormente se definieron los requerimientos de hardware y software del sistema de asistencia y se diseña el prototipo, definiendo la configuración de la plataforma móvil, la estrategia de ubicación en entornos interiores, la estimación de la ruta para alcanzar un destino deseado, la comunicación del sistema con el usuario, entre otros aspectos técnicos del sistema.

Finalmente, se implementó el prototipo del robot lazarillo, al cual se le realizaron diferentes ensayos y pruebas que permitan determinar su funcionalidad, practicidad, y desempeño con el usuario. En la Figura 3 se muestran las diferentes etapas de desarrollo del sistema de asistencia propuesto.

Figura 3

Diagrama de flujo de metodología empleada en la investigación.



Fuente. Autoría Propia

Tipo de Investigación

La investigación desarrollada en este proyecto es de tipo aplicada, en donde mediante el diseño de un prototipo robótico, implementó una herramienta que proporciona soluciones de movilidad para las personas con discapacidad visual en Colombia, cuando ingresan a espacios cerrados como centros comerciales.

Este trabajo se presentó bajo un nivel de investigación descriptivo, en el cual se mostrarán los pasos detallados para el diseño, construcción y pruebas realizadas con el prototipo, de tal manera que se pueda entender su funcionamiento y darle la aplicabilidad para la cual ha sido diseñado.

Diseño Adoptado

En la realización del prototipo de robot lazarillo para personas con discapacidad visual en espacios interiores se tiene un diseño investigativo de tipo experimental, transeccional, puesto que se realizó una única vez para la población encuestada, en el cual se hizo una caracterización de la población de personas con discapacidad visual en Colombia, con el fin de determinar la población objetivo de este prototipo y sus respectivas necesidades.

De igual manera, basado en los resultados de una encuesta a las personas con discapacidad visual, se tomaron los parámetros de diseño más relevantes para el prototipo que atiendan a sus necesidades de movilidad en espacios reducidos y las preferencias seleccionadas por ellos que serían los usuarios finales del robot.

Finalmente, este prototipo se probó en un espacio cerrado, siguiendo un plano mapeado, que le permitió determinar las respuestas a obstáculos, y de seguimiento de ‘caminos o guías’ establecidas para el desplazamiento del robot.

Enfoque Adoptado

El enfoque adoptado para el desarrollo de esta investigación es cuantitativo, puesto que, a partir de la información consultada en bases de datos, y los diseños realizados se construyó un prototipo robótico como apoyo de movilidad para personas con discapacidad visual; llevando secuencialmente al desarrollo de pruebas de campo que permitieron medir las diferentes variables, conllevando a la implementación del mejor diseño del equipo con las características adecuadas para los usuarios.

Técnicas de Recolección de Datos

Para esta investigación se tomaron datos de recolección tanto primaria como secundaria, los cuales se describen a continuación:

Fuentes Primarias

La información recolectada de fuentes primarias corresponde directamente a los resultados de una encuesta realizada a personas con discapacidad visual total o reducida, respecto a necesidades de movilidad en espacios interiores como centros comerciales, y algunas características físicas que deba poseer el prototipo del robot lazarillo.

Adicionalmente, otras fuentes primarias de esta investigación fueron los datos obtenidos durante las pruebas de campo desarrolladas para la funcionalidad del robot lazarillo, y para el funcionamiento como seguidor de línea y orientador en espacios interiores. Los cuales permitieron estandarizar su operación y funcionalidad para los usuarios.

Fuentes Secundarias

Las fuentes secundarias corresponden a la información de bases de datos, repositorios institucionales y sitios web de vanguardia en tecnologías digitales que permitan obtener

bibliografía y otros materiales útiles para el desarrollo de la investigación, concerniente a temas de interés y afines al desarrollo de esta.

Variables

En esta sección se definen las diferentes variables que intervienen en la investigación desarrollada para el diseño, construcción e implementación del robot lazarillo BocelliBot para personas con discapacidad visual.

Variables Independientes

Posición: Corresponde a la ubicación que tiene un objeto en el espacio, bidimensional o tridimensional. Para esta investigación, se traza un plano xy en el cual se moverá el robot lazarillo a voluntad del manipulador.

Reflexión de la Luz: Es el efecto que ocurre cuando la onda de luz rebota en una superficie, Este efecto permite que los sensores de robot detecten si hay un cambio en la intensidad de la luz que rebota desde la superficie el cual por medio del programa en el robot permite que este mantenga el curso y seguimiento del camino que se desea.

Temperatura Ambiental: Corresponde al grado o nivel térmico existente en el ambiente o atmosfera donde se encuentre maniobrando el robot. Esta variable permite determinar aspectos del comportamiento de los sensores, así como tiempos de respuestas de estos.

Velocidad del Usuario: Corresponde a la relación existente entre la distancia recorrida por el usuario y el tiempo que demora en realizar este recorrido o maniobra. Permite determinar parámetros de operación de robot como tiempo de respuesta y capacidad de seguimiento del camino.

Variables Dependientes

Distancia Recorrida: Es la cantidad de espacio en unidades dimensionales de distancia que recorre un cuerpo; en este caso, el robot. Está relacionado directamente con la trayectoria que sigue el robot, a diferencia del desplazamiento que solo tiene en cuenta el punto inicial y final del recorrido.

Densidad de potencia de radiofrecuencia: Cantidad de señal propagada por el dispositivo transmisor de la radiofrecuencia (RF) en la medida que se aleja de la fuente.

Encendido/Apagado de robot: Orden de acatamiento del robot ante un estímulo, programado o accidental.

Velocidad del Robot: Relación de distancia que puede recorrer el robot en un tiempo determinado. Depende de la velocidad que lleve el usuario y de otras variables como el posicionamiento.

Variables Intervinientes

A continuación, se describen las variables, que, aunque no representan unos resultados medibles en los resultados, son importante para el diseño y funcionamiento del prototipo realizado, por lo que deben ser contempladas en el desarrollo de la investigación:

Voltaje: Hace referencia al potencial eléctrico existente entre dos puntos, o generado por una fuente. Se puede definir como el trabajo por unidad de carga que ejerce un campo eléctrico.

Corriente Eléctrica: La corriente es el flujo neto eléctrico que recorre a un material, debido al transporte de electrones en este. Cuando se mide el caudal de la corriente, se hace referencia a la intensidad de esta.

Peso: el peso es la fuerza que ejerce la tierra sobre los cuerpos por efecto de la aceleración de la gravedad; que para el caso de la tierra corresponde a un valor de $9,8 \text{ m/s}^2$. Es una

vector de fuerza que se encuentra orientado verticalmente hacia abajo, en dirección del centro terrestre.

Torque: También conocido como momento de fuerza; es el momento que ejerce una fuerza sobre un punto referenciado por su posición. Es calculado con el producto vectorial entre el vector de posición de la partícula y la fuerza que se aplica.

Operacionalización de Variables

A continuación, en la tabla 2 se presentan las diferentes variables descritas anteriormente:

Tabla 2

Descripción de variables de la investigación.

Variable	Clasificación	Unidades/Descriptorios
Posición	Variable independiente. Cuantitativa nominal	Planimetría de mapeo cuadrícula
Refracción de la luz	Variable independiente. Cuantitativa nominal	Sensor proporcional
Temperatura ambiental	Variable independiente. Cuantitativa nominal	°C
Intensidad de la velocidad	Variable independiente. Cuantitativa continua	Controlador proporcional (PID)
Distancia recorrida	Variable dependiente Cuantitativa continua	Metros (m)
Densidad de potencia de radiofrecuencia	Variable dependiente Cuantitativa continua	Watts/m ²
Encendido/Apagado de robot	Variable dependiente	On/Off

	Cualitativa	
Velocidad del robot	Variable dependiente Cuantitativa continua	m/s
Voltaje	Variable interviniente Cuantitativa nominal	Voltios (V)
Corriente	Variable interviniente Cuantitativa nominal	Amperios (A)
Resistencias	Variable interviniente Cuantitativa nominal	Ohmios (ohm)
Fuerza	Variable interviniente Cuantitativa continua	Newton (N)
Peso	Variable interviniente Cuantitativa continua	Kilogramos (kg)

Fuente. Autoría Propia

Procesamiento de la Información

De acuerdo con los datos obtenidos en el desarrollo de las pruebas de funcionalidad del prototipo, y las pruebas de campo del robot lazarillo en espacios interiores, se determinó estadísticamente las medidas de tendencia central del conjunto de datos obtenidos para las diferentes variables, así como la distribución de frecuencia de estas.

En caso de obtener variaciones significativas entre los resultados y con el fin de tener una representación veraz de la información analizada, se determinaron las medidas de variabilidad como el rango, la desviación estándar y la varianza de los resultados obtenidos.

Modelamiento Robot Lazarillo y Desarrollo del Prototipo

Basado en la revisión bibliográfica, y los resultados de la encuesta obtenidos, se realizará el modelamiento del robot lazarrillo para que las personas con discapacidad visual puedan contar con esta herramienta de apoyo para permitir y facilitar su movilidad en espacios interiores, proporcionándoles un lugar seguro y mayor confianza e inclusión en la sociedad.

Una vez se cuenta con el dimensionamiento del robot, y las necesidades operativas, se procede a la construcción del prototipo y a la realización de pruebas de funcionalidad y pruebas de campo, cuyos resultados serán evaluados de acuerdo con lo descrito anteriormente.

Encuesta De Caracterización Necesidades De La Población

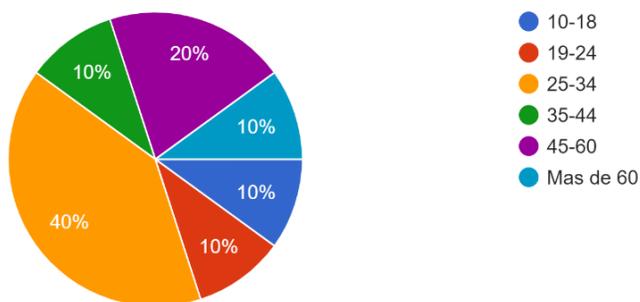
Con el fin de identificar las necesidades de los usuarios en cuanto al prototipo del robot lazarillo, se diseña una encuesta de percepción, la cual es validada por un panel de expertos de acuerdo con la guía para validar instrumentos de investigación de la universidad adventista de Chile (Universidad Adventista de Chile, 2018).

La encuesta consta de 23 preguntas, las cuales pueden observarse en el anexo A, realizada a una población de 10 personas con discapacidad visual, con una participación del 60% de la población femenina y 40% masculina.

De estos, el 40% de la población encuestada se encuentra en un rango de edades de los 25 a los 34 años, siendo esta la mayor participación, y el 20% en un rango de edad de 45 a 60 años. De esto se puede observar que el grupo encuestado presenta una gran variedad, lo cual permite tener un panorama bastante amplio de la información suministrada en cuanto a las características deseables para el robot lazarillo. La distribución de los rangos de edades de la población encuestada se encuentra en la Figura 4.

Figura 4

Clasificación de rango de edades personas encuestadas

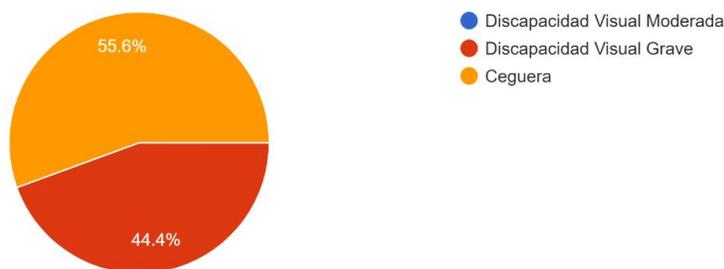


Fuente. Autoría Propia

Adicionalmente, en la población, se cuenta con un 55,6% de personas con ceguera total, y un 44,4% de personas con discapacidad visual grave; dentro de los encuestados no se contó con personas con discapacidad visual moderada, como se puede observar en la Figura 5.

Figura 5

Tipo de discapacidad visual personas encuestadas.

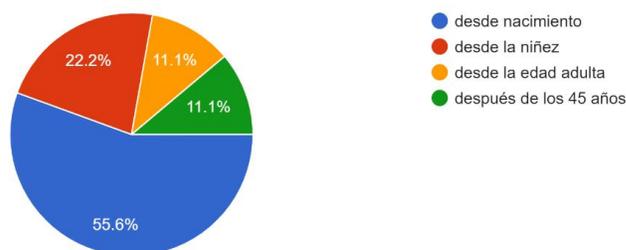


Fuente. Autoría Propia

La mayoría de los encuestados (55,6%) expresaron que su discapacidad era de nacimiento, mientras que el resto se les fue desarrollando desde la niñez (22,2%), la edad adulta (11,1%) y después de los 45 años (11,1%), como se aprecia en la Figura 6.

Figura 6

Edad de inicio de la discapacidad visual



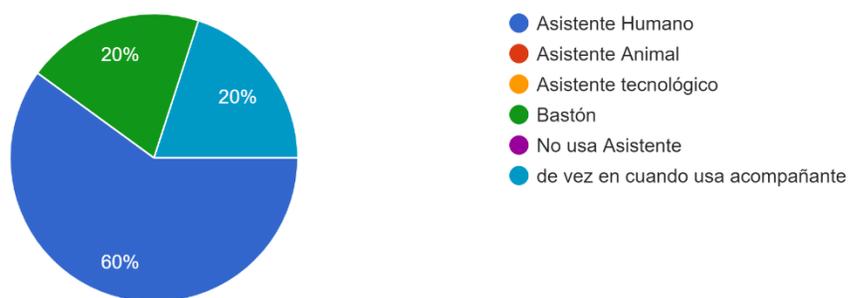
Fuente. Autoría Propia

Dentro de los encuestados, el 50% manifestó utilizar asistente para movilidad y el 50% restante, expresó que no utiliza ningún tipo de asistente de movilidad; siendo en la mayoría de los casos el apoyo con un asistente humano, la opción más empleada por los encuestados.

Adicionalmente, manifestaron utilizar bastón u otro acompañante preferentemente, como se puede observar en la Figura 7. Es notable destacar que de las opciones presentadas en la encuesta no se encontraron respuestas para uso de apoyo de movilidad con asistentes animales o tecnológicos.

Figura 7

Tipos de asistentes utilizados por los encuestados

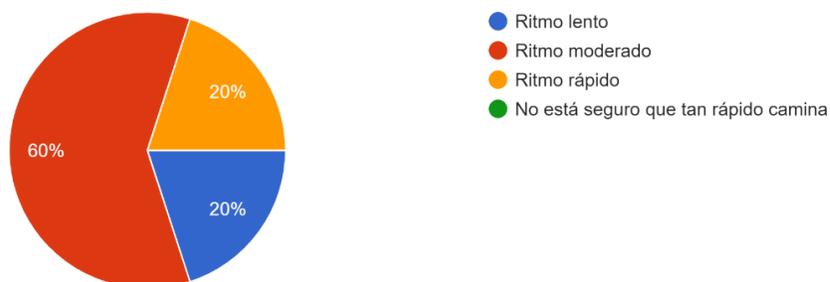


Fuente. Autoría Propia

El 100% de los encuestados estuvieron de acuerdo en que los asistentes de movilidad les prestan un grado de utilidad; siendo muy útiles para el 60% de los encuestados y útiles para el 40% de ellos. En cuanto al ritmo con el cual pueden caminar mientras utilizan el asistente, los participantes expresaron que podían hacerlo a ritmo lento, moderado o rápido; siendo el ritmo moderado la opción con más participación, (60%), como se puede apreciar en la Figura 8. Esta variante es una de las inquietudes que presentan los encuestados, ya que perciben que los asistentes de movilidad deben facilitarles la velocidad al caminar y no por el contrario.

Figura 8

Ritmo con el que puede caminar el encuestado con el asistente que usa.



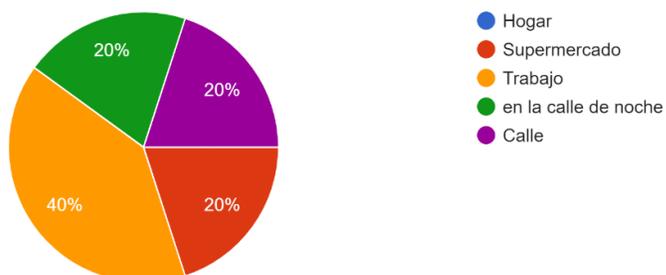
Fuente. Autoría Propia

En cuanto a la seguridad que les brinda el asistente de movilidad que utilizan actualmente, el 60% de los participantes expresaron que se sentían seguros, y el 40% dijeron que se sentían muy seguros. Ninguno de los participantes mencionó que se sentía inseguro utilizando asistentes de movilidad; lo cual es un factor destacable, ya que permite determinar que las personas con discapacidad visual van a sentirse seguras con la utilización de un apoyo para su movilidad.

A nivel de locación para utilización de dispositivos asistentes de movilidad, los participantes expresaron en su mayoría que los utilizaban en el trabajo (40%), en el supermercado (20%), en la calle de día (20%) y en la calle de noche (20%). Ningún participante expresó utilizarlo en la casa, como se observa en la Figura 9.

Figura 9

Lugares donde se requiere asistente de movilidad.

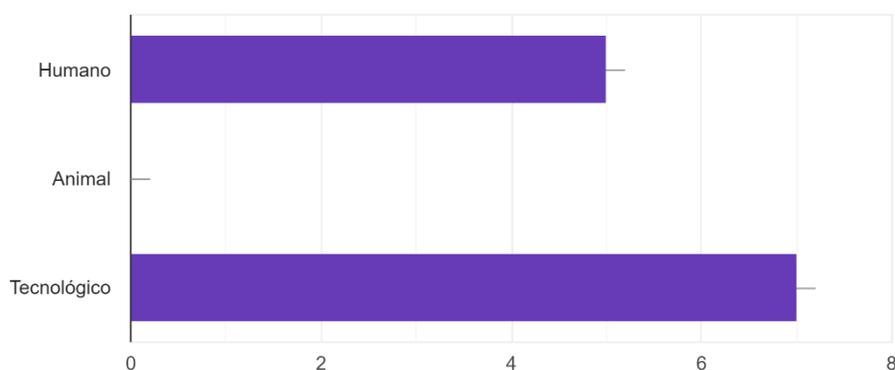


Fuente. Autoría Propia

Al preguntar por la disponibilidad de asistentes de movilidad para personas con discapacidad visual en espacios cerrados como centros comerciales, entidades públicas y entidades educativas, el 100% de los participantes manifestaron que les gustaría que estos fueran asequibles para la población. Y en cuanto al tipo de asistente que preferían, manifestaron que les gustaría que fuera de tipo humano o de tipo tecnológico, como se observa en la Figura 10.

Figura 10

Tipo de asistente de movilidad que prefieren.

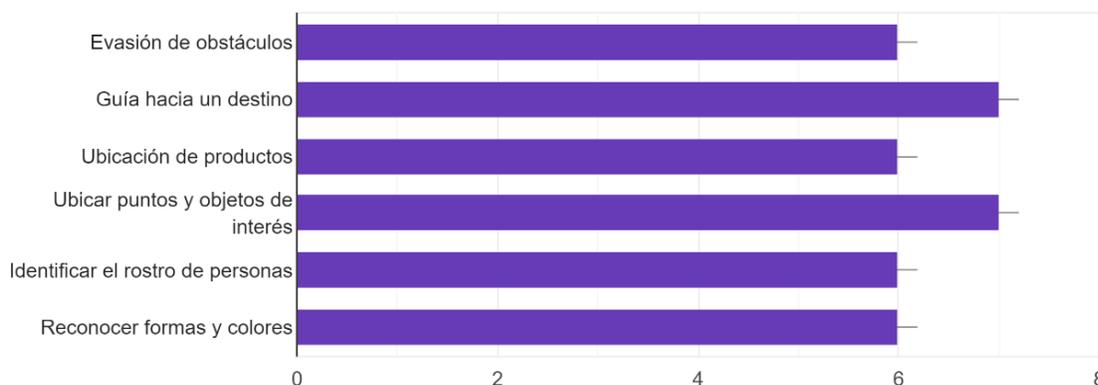


Fuente. Autoría Propia

Al momento de hacer preguntas respecto a un asistente de movilidad de tipo tecnológico robótico para utilizar en un espacio cerrado como centros comerciales o instituciones educativas, los participantes enumeraron las características que les gustaría que tuviera, destacado dentro de estas la capacidad de guiarlos hacia un destino, la posibilidad de que pudiera ubicarles puntos y objetos de interés, capacidad para evadir obstáculos y de identificar rostros de personas, como se puede apreciar en la Figura 11.

Figura 11

Características deseables del robot lazarillo.

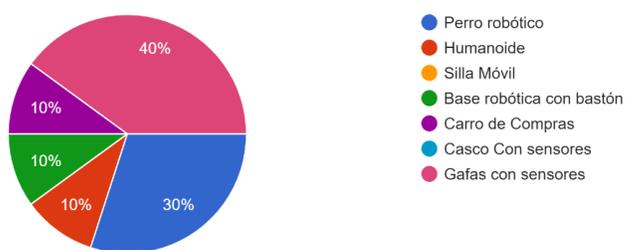


Fuente. Autoría Propia

En cuanto a la apariencia del asistente tecnológico (robot lazarillo), manifestaron que les gustaría que fuera gafas con sensores (40%), perro robótico (30%), carro de compras (10%), base robótica con bastón (10%) y con apariencia humanoide (10%); lo cual puede apreciarse en la Figura 12.

Figura 12

Características deseables del robot lazarillo.



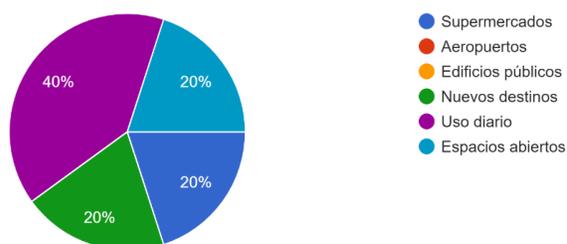
Fuente. Autoría Propia

También coincidieron en que les gustaría que el robot pasara desapercibido y que tuviera una apariencia discreta, ya que el 70% de los encuestados prefirió esto a que fuera llamativo; y el 100% de los encuestados manifestaron que les gustaría que el asistente tecnológico fuera de dimensiones pequeñas para mejor manipulación.

Al hacer referencia a las circunstancias en las cuales les gustaría que fuera útil el robot guía el 40% de los encuestados manifestó que les sería útil diariamente, el 20% que solo en supermercados, el 20% en espacios abiertos y el 20% para llegar a nuevos destinos. Estos resultados pueden apreciarse en la Figura 13.

Figura 13

Características deseables del robot lazarillo.

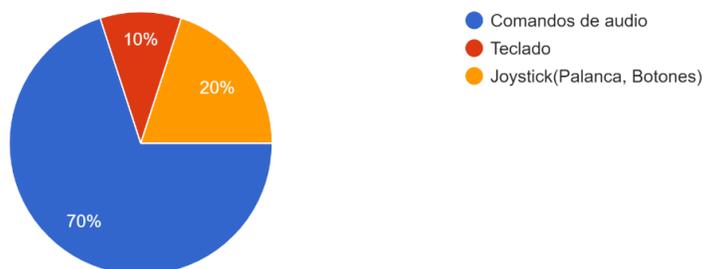


Fuente. Autoría Propia

Respecto a los protocolos de comunicación entre el usuario y el robot guía, el 70% de los encuestados manifestó que le gustaría que se comunicaran mediante comandos de audio o de voz, mientras que un 20% manifestó que le gustaría que fuera por medio de joystick (palanca o botones) y una 10% manifestó que le gustaría que fuera a través de teclados, como se observa en la Figura 14.

Figura 14

Características deseables del robot lazarillo.



Fuente. Autoría Propia

Teniendo en cuenta los resultados de la encuesta de percepción de los usuarios finales del robot lazarillo, se puede apreciar que existen preferencias por un modelo tecnológico sencillo, que en lo posible no llame la atención, y que sea portables, como lo es el uso de gafas con sensores; en cuanto a los servicios que pueda ofrecer el robot, se espera que pueda direccionarlos y llevarlos a sitios específicos dentro de locaciones cerradas como centros comerciales evadiendo obstáculos que se pueda encontrar en el camino, y que además pueda usarse con frecuencia, incluso diaria. También prefieren que la comunicación con el robot sea por comandos de voz.

Debido a esto, se contemplaron las características del robot, diseñando y programándolo para que realice recorridos direccionados, con sensores de evasión de obstáculos y con sistema de comunicación con comando de voz por el asistente Google, que además permite obtener sugerencias de información que requiera el usuario. De los resultados obtenidos, la única característica no contemplada por la preferencia de los usuarios fue la apariencia física del robot, ya que los encuestados prefirieron gafas o cascos, y la selección en el diseño fue de carro móvil, para poder cumplir con las necesidades de seguimiento y direccionamiento de posiciones en los

espacios para los cuales se va a utilizar el prototipo; puesto que al seleccionar gafas o cascos se limitaría la habilidad de direccionar hacia un punto específico, y se consideró esta cualidad de servicio y facilidades para los usuarios más importante que la apariencia del robot en este caso.

Implementación Del Prototipo Robot Lazarillo

El prototipo BocelliBot, consiste en un sistema robótico para la detección de objetos y lugares para apoyo de personas con limitación visual. El prototipo robotizado consta de un chasis con llantas, una fuente de alimentación, un sistema de detección de línea, y otro sistema de detección de Tag por RFID.

El sistema cuenta con una tarjeta Arduino la cuál es la encargada de contener el programa para el control e indicación de cada una de las partes que controla el sistema, como, por ejemplo, podemos detectar una línea negra y el vehículo se orientará a través de esta línea, haciendo los giros requeridos por el sistema. También el sistema RFID se encarga de identificar los lugares en los cuales está pasando el robot. Esta señal es enviada a un sistema de gestión de datos ubicado en un servidor, el cual le proporcionará al robot la mejor ruta a seguir.

También cuenta con una fuente de poder que consiste en dos baterías secas de 12v 7AH, con la cual se suministrar energía eléctrica a todo el sistema tanto a la parte de los motores como la parte de control, que esta incorporada en un PCB que aloja a la tarjeta Arduino que va a controlar unos Drivers BTS 7960 y el resto del sistema como los sensores y actuadores.

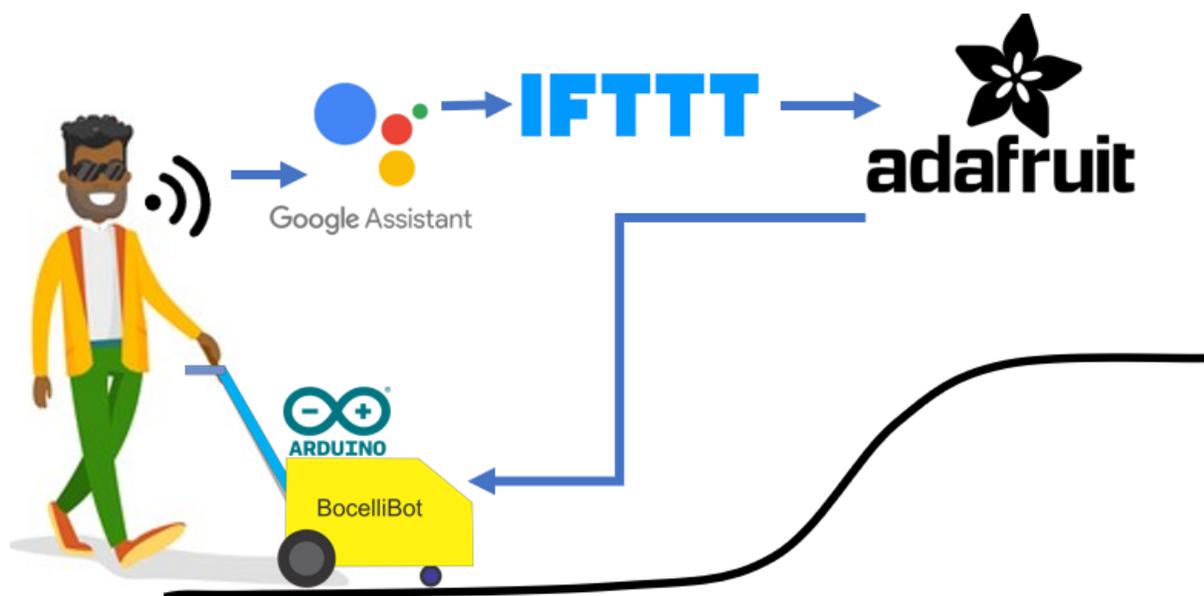
Para el control de motores se cuenta con una entrada para RFID que es el MFRC-522, el cual es un sistema para detección de tags a 13.56 MHz., Para el seguimiento de ‘guías o caminos’ se tiene un arreglo de sensores QTR-8RC los cuales se encargan de detectar una línea negra y hacer el seguimiento de esta a través de los movimientos del robot con el fin de ir ubicando una ruta específica.

Para la comunicación con el usuario se opta por sistema de comunicaciones vía voz que permite la interacción mediante comandos que se reconocen por un sistema de asistencia como

Google, el cual será decodificado por el sistema. Para la evasión de obstáculos en la vía se cuenta con sensores de proximidad de tipo ultrasonido alrededor de todo el robot para garantizar un Sensado frontal estéreo, que a su vez si el usuario desea aumentar o disminuir la velocidad durante el recorrido, el robot sea capaz de ajustar su propia velocidad y distancia. En la Figura 15 se presentan los principales componentes del sistema de asistencia robótico.

Figura 15

Lógica del Sistema De Comunicaciones del Prototipo



Fuente. Autoría Propia

A continuación, se presenta un listado de los materiales con los cuales fue construido el prototipo:

Placa de Circuito Impreso

Es una tarjeta de interconexión de componentes eléctricos y la tarjeta de control Arduino MEGA con todos los elementos necesarios para el funcionamiento correcto del robot. Ésta cuenta con terminales para conectar los Driver de control de los motores, la tarjeta de

comunicaciones WIFI, el sistema de detección de línea IR, el sistema de detección RFID, sensores de proximidad ultrasónicos, reloj, lector de tarjeta, módulo XBee, módulo *bluetooth*, *buzzer* y también contiene una fuente regula integrada de 9, 5 y 3.3v para suministrar voltaje a los elementos en uso. El montaje realizado para la tarjeta PCB se puede apreciar en la Figura 16.

Figura 16

Tarjeta de Interconexión PCB.



Fuente. Autoría Propia

Arduino Mega

El Arduino Mega 2560 es una placa de microcontrolador basada en el ATmega 2560. Tiene 54 pines de entrada / salida digital (de los cuales 15 se pueden usar como salidas PWM), 16 entradas analógicas, 4 UART (puertos serie de hardware), un oscilador de cristal de 16 MHz, una conexión USB, un conector de alimentación, un encabezado ICSP, y un botón de reinicio, como se observa en la Figura 17

Figura 17

Modelo de Arduino Mega Utilizada.



Fuente. Adaptado de: <https://store.arduino.cc/usa/mega-2560-r3>

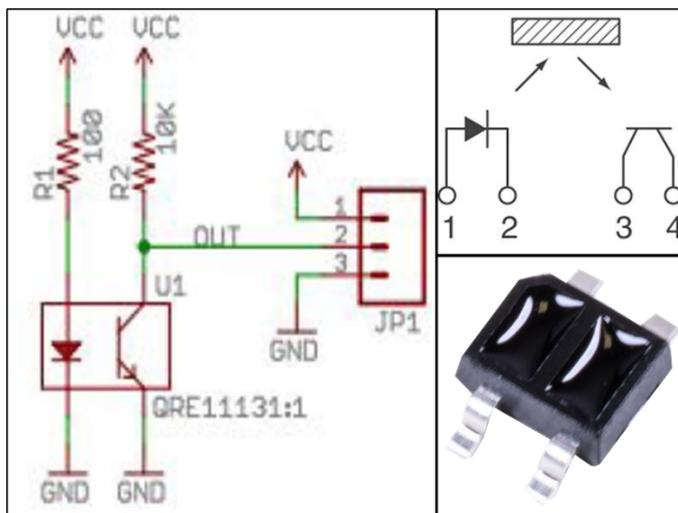
Sensores Qtr-8rc

Es un arreglo electrónico que incluye 8 sensores QRE1113 que consta de sensores infrarrojo emisor y receptor. Su función principal es la de medir la reflexión en superficies. En este proyecto se utilizará para realizar el seguimiento de la ruta por dónde debe ir el robot. Esta ruta será distribuida por toda el área donde robot se moviliza.

Cada sensor tiene cuatro pines, donde los pines (1) y (2) son para el led emisor y los pines (3) y (4) son para el fototransistor. Estos permiten realizar la detección mediante una superficie que refleje la luz infrarroja.

Un ejemplo de la utilidad de este tipo de sensores es cuando se usa para la detección de líneas en robots seguidores de líneas. Si la superficie reflectora es negra, no se reflejará luz con longitud de onda en el infrarrojo y por lo tanto tendremos un '0' a la salida del emisor del fototransistor. Si por el contrario tenemos que el sensor esté «viendo» una superficie blanca, tendremos un '1'.

A continuación, en la figura 18, se ve el principio físico del funcionamiento y el circuito para el sistema QRE1113.

Figura 18*Modelo de QRE1113.*

Fuente. Adaptado de <https://www.pololu.com/category/123/pololu-qtr-reflectance-sensors> ,
<https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/54347/FAIRCHILD/QRE1113.html>

RFID MFRC-522

El dispositivo sensor RFID se encarga de detectar los elementos señalizadores de los puntos de parada del robot (simulando los diferentes locales o espacios en donde debe hacer paradas) llamados *Tags*, los cuales se encuentran sincronizados a una frecuencia de 13.56MHz.

Estos *Tags* son elementos pasivos que tienen un código único asignado, que, para el caso del proyecto, es enviado al Arduino para identificar en qué posición o lugar se encuentra el robot, y así, por medio del RFID (identificación por radiofrecuencia) puedan identificar y rastrear las etiquetas adheridas a objetos. En la Figura 19 se puede observar el MFRC-522, módulo lector RFID que funciona a frecuencia de Dispositivos de 13.56MHz y cuenta con una antena incorporada.

Figura 19

Modelo RFID MFRC-522.

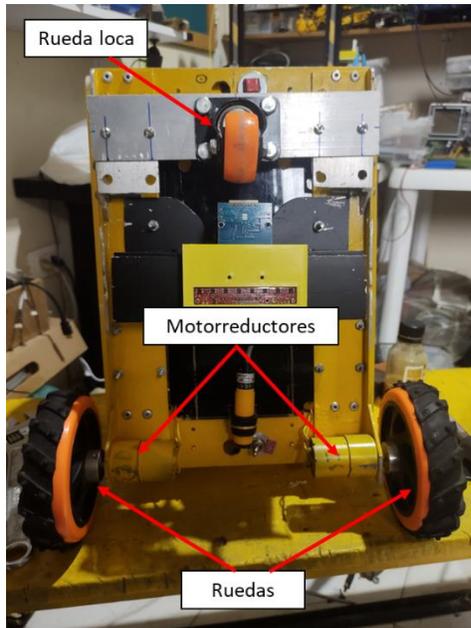


Fuente. Adaptado de Journal of Informatics and Communication Technology (JICT), 2(1), 39-48. (Heryanto, 2020)

Chasis Robot

Constituye la estructura de soporte del robot lazarillo y está elaborado en ángulo de aluminio de 2,5 pulgadas, y soportado con 2 ruedas con motorreductores y una rueda loca para su movimiento, como se evidencia en la Figura 20.

Para este prototipo se seleccionó como material para el chasis el aluminio, ya que éste proporciona una mayor durabilidad y menor peso para el conjunto completo del robot teniendo en cuenta los demás elementos de este. Además, por tratarse de un producto que se construyó de forma manual; a futuro se podrá mecanizar mediante el uso de maquinaria CNC (Torno de Control Numérico Computarizado). El chasis está diseñado para soportar el peso, las presiones y la inercia que va a recibir el robot; se requiere de una estructura fuerte por el peso que va a soportar, por la batería y todos los componentes a usar.

Figura 20*Esquema Chasis Prototipo*

Fuente. Autoría Propia.

Batería 12V 7.5AH

Este constituyente del robot representa la fuente de poder del prototipo. Para este caso las baterías que se van a utilizar son de 12 voltios y 7.5 amperios como se observa en la Figura 21, las cuales se encargan de suministrar energía a todo el sistema. Para este caso, se ubicarán dos baterías idénticas en una configuración del circuito en paralelo para aumentar la corriente y durabilidad de la carga, y por ende del funcionamiento del robot. Estas baterías son recargables y tienen una vida útil aproximada de 2 años.

Figura 21

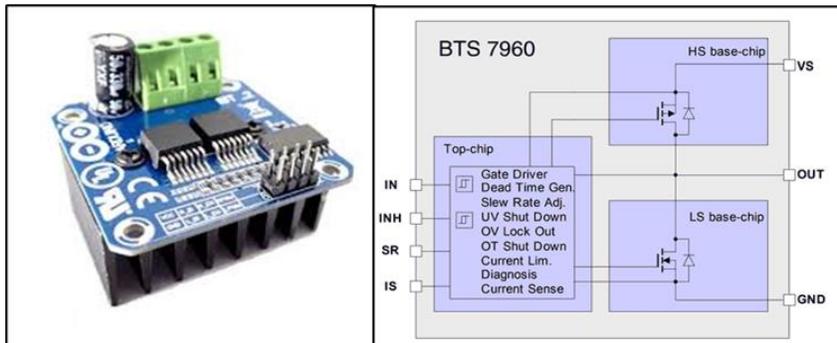
Esquema batería prototipo



Fuente. Adaptado de <https://www.exito.com/bateria-sellada-fulibattery-original-12v-75ah-75-amperios-100092310-mp/p>

Driver BTS 7960

Estos elementos son la interfaz para el control de los motores, en cuanto a giro y velocidad. Cuentan con dos circuitos integrados BTS7960, un puente H de la familia *NovalithIC*. Adicionalmente, el BTS7960 incorpora un transistor MOSFET Canal-p para la parte alta del medio puente, y un MOSFET Canal-N para la parte baja de este. Además, cada BTS7960 incorpora un circuito integrado (IC) que realiza las funciones lógicas, de protección, y censado de corriente. Este controlador es capaz de manejar cargas hasta de 43 amperios y permite el control a partir de bajos niveles de voltaje y de corriente. Las especificaciones de este driver se pueden observar en la Figura 22.

Figura 22*Especificaciones Drivers.*

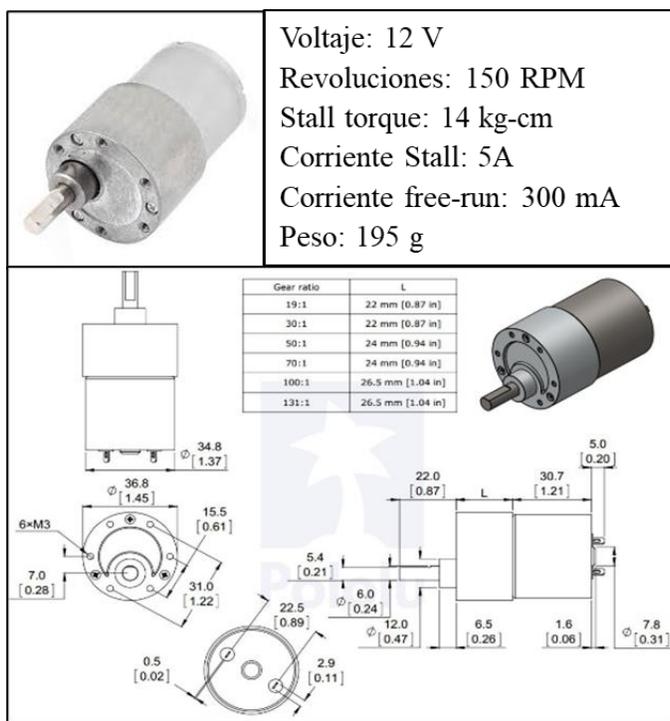
Fuente. Adaptado de Handson Technology. (s. f.). BTS7960 motor driver [Documento PDF]

<https://www.handsontec.com/dataspecs/module/BTS7960%20Motor%20Driver.pdf>

Motorreductor

Los motorreductores son arreglos electromecánicos los cuales constan de un motor acoplado a un sistema de engranaje los cuales aumentan el torque reduciendo la velocidad de este, permitiendo aprovechar mejor estos elementos.

Para este proyecto se utiliza un motorreductor con torque de 14 kilogramos fuerza por centímetro, con una velocidad de 150 rpm, voltaje nominal de 12 voltios corriente continua (CC), una corriente de carga de 5 A y una corriente libre es de 300 mA. Cada uno tiene un peso de 295 gr; el cual se puede observar en la Figura 23.

Figura 23*Motorreductor 12V.*

Fuente. Adaptado de <https://dynamoelectronics.com/tienda/motorreductor-12v-150rpm-reduccion-701/>

Llantas Todo Terreno

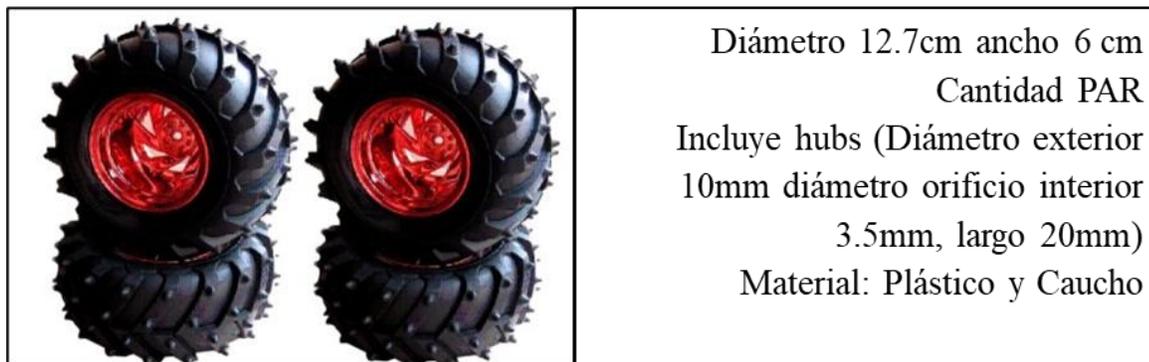
Las llantas para utilizar para este prototipo son unas llantas de caucho los cuales tienen un diámetro de 12.7 cm y un ancho de 6 centímetros. Estas se acoplan por medio de un plug a los motores. El material del cual están hechos es plástico y caucho. Sus especificaciones se muestran en la Figura 24.

Estas son livianas y permiten una mejor un mejor agarre entre la superficie y el robot; son llantas de alta tracción con gomas de caucho negro y rin de nylon blanco.

Por su tamaño y robustez son usadas en plataformas grandes las cuales pueden moverse en diferentes entornos como es el caso de la plataforma 4×4.

Figura 24

Especificaciones llantas.



Fuente. Adaptado de <https://dynamoelectronics.com/tienda/llanta-todo-terreno-12cm/>

Rueda Loca

Es una rueda que no contiene ni requiere de mecanismo de tracción directo ya que su función es dar estabilidad y permitir la movilidad en superficies. Ésta gira en todas direcciones y depende de movimiento externo para su funcionamiento. Las ruedas del proyecto son de tipo pivote y son usadas para dar estabilidad y permitir la movilidad del robot, como se aprecia en la Figura 25.

Figura 25

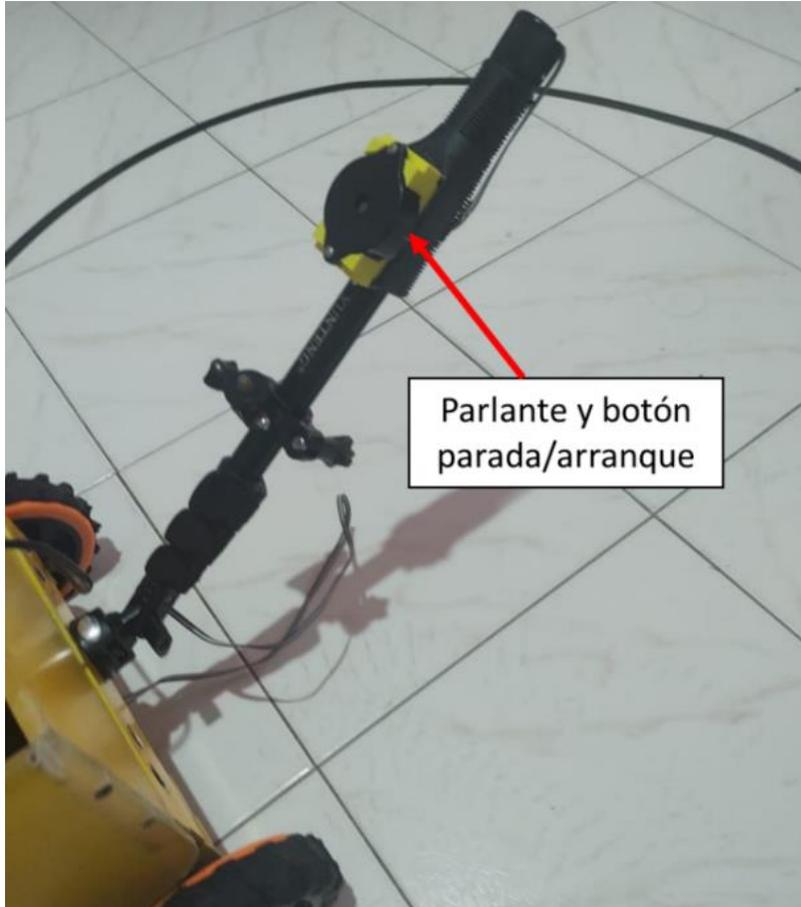
Rueda Loca Tipo Pivote.



Fuente. Adaptado de <https://indurruedas.co/producto/rodachina-pu-naranja-serie-01-macho/>

Bastón Guía del robot

El robot lazarillo cuenta con un sistema para seguimiento y control que es un bastón expandible para adaptar a la altura del usuario, el cual incorpora un parlante mediante el cual el usuario escucha las indicaciones, y un botón que controla de forma manual la parada/arranque del prototipo, en caso de emergencias o de no querer usar comandos de voz. Este puede observarse en la Figura 26.

Figura 26*Sistema guía bastón*

Fuente. Autoría Propia

Prototipo Ensamblado

Después de realizar el ensamblaje y conexión de las piezas del robot (el paso a paso puede observarse en el anexo X), se verificó su integridad mecánica, previo a las pruebas de funcionalidad de éste. En las imágenes 27 a la 30 se puede observar el prototipo finalizado con las diferentes partes que lo conforman, en cuanto a control y funcionalidad de este.

Figura 27

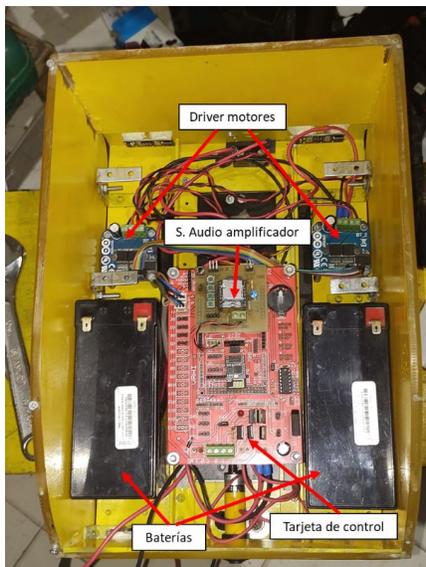
Prototipo Robot Lazarillo BocelliBot Construido (vista general).



Fuente. Autoría Propia

Figura 28

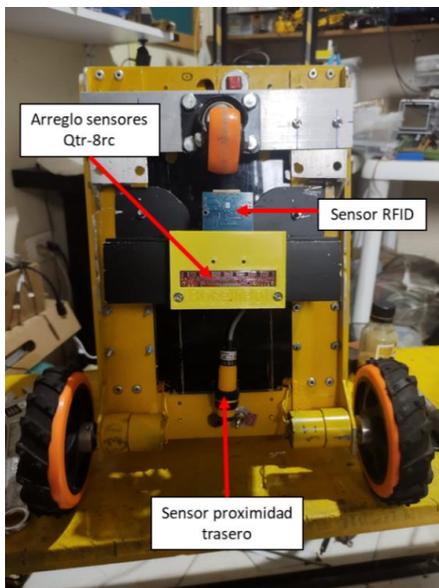
Prototipo Robot lazarillo BocelliBot construido (vista interna superior).



Fuente. Autoría Propia

Figura 29

Prototipo Robot lazarillo BocelliBot construido (vista inferior).



Fuente. Autoría Propia

Figura 30

Prototipo Robot lazarillo BocelliBot construido (vista frontal).



Fuente. Autoría Propia

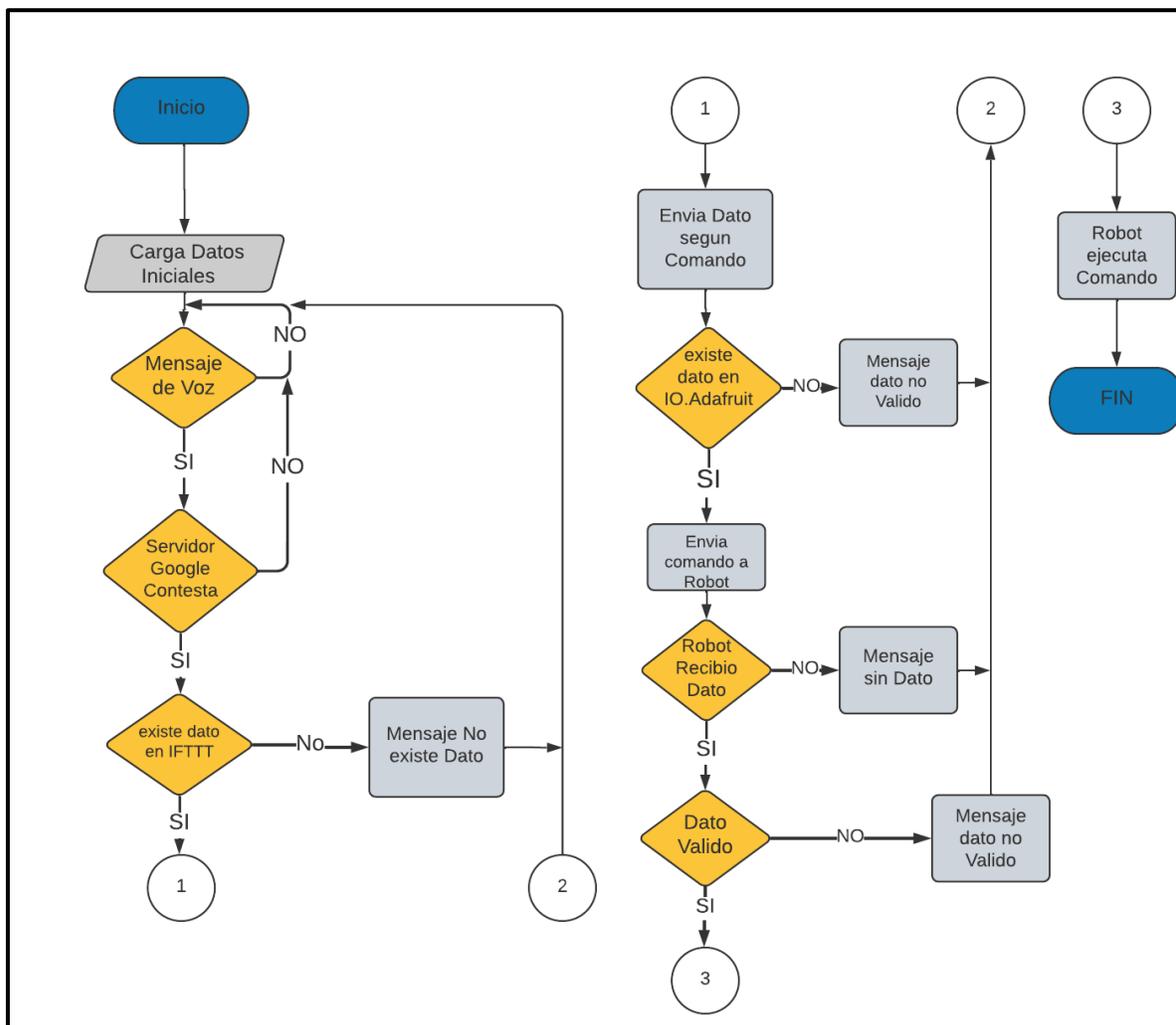
Sistema De Comunicaciones

El prototipo cuenta con sistema de comunicaciones basado en IOT (Internet of things), en el cual de interacción con los servidores de Google recibiendo el comando de voz mediante un dispositivo llamado Google Home mini. Una vez el servidor de Google recibe la instrucción, es enviado a los servidores de IFTTT (If This, Then That), que, al recibir la información, la somete a un proceso de comparación con instrucciones preexistentes en el sistema y responde dando señal nuevamente al Google home para indicar si el comando existe o no.

En caso de que la respuesta sea positiva, los servidores de IFTTT envían un código a los servidores de Adafruit; el cual se encarga de enviárselo al robot para que este ejecute la acción de acuerdo con su programación, como se puede observar en el diagrama de flujo de las comunicaciones en la Figura 31.

Figura 31

Diagrama de flujo sistema de comunicaciones Robot lazarillo.



Fuente. Autoría Propia

Pruebas de Funcionalidad del Prototipo.

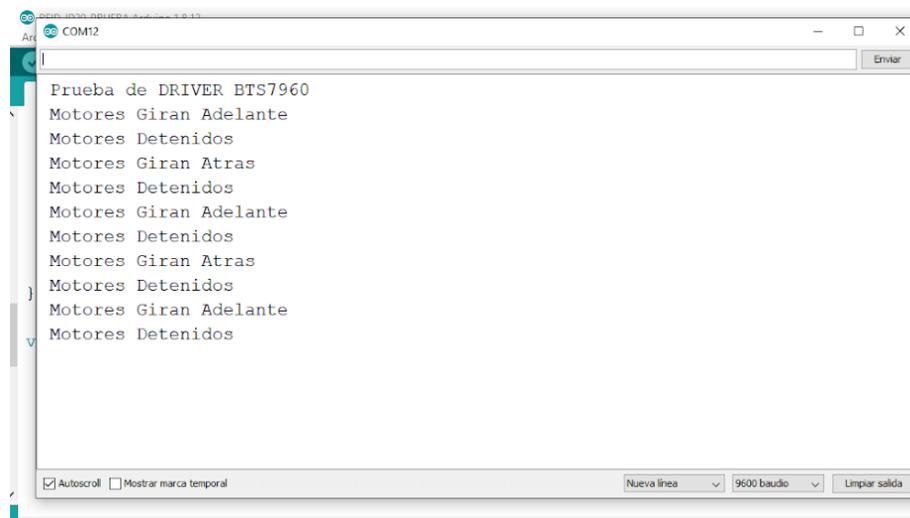
Se realizaron pruebas independientes de cada etapa de robot, los cuales fueron verificados a través de un monitor serial, el cual permitió identificar y determinar el buen funcionamiento de cada una de las etapas. A continuación, se presentan los resultados de estas pruebas.

Movimiento de Motores

Se realizó la prueba de funcionamiento de los motores y el acople junto con el Driver controlado por el Arduino incluyendo el control y potencia de estos mediante un programa que mueve los motores adelante, atrás, derecha e izquierda a diferentes velocidades constatando que la variación de velocidad era la adecuada. En la Figura 32 se observan los resultados obtenidos en la interfaz del software utilizado.

Figura 32

Pruebas Movimiento de Motores.



Fuente. Autoría Propia

En la Figura, se observan diferentes mensajes en la interfaz del Arduino (monitor de comunicación de Arduino) que corresponden a cada una de las actividades que este debe

desempeñar, como lo son el moverse hacia adelante y hacia atrás, incluyendo la posición de receso en la cual los motores se encuentran detenidos. En físico, se verificó que una vez se establecía el protocolo de comunicación hardware-software, los motores ejecutaran la acción indicada, comprobando que estos reciben y ejecutan comandos de control desde el Arduino.

Sensores Seguidores de Línea

Se realizó la prueba del arreglo de sensores QTR-8rc para constatar qué estados identificaban las superficies negras sobre blanco; verificando el funcionamiento de cada uno los sensores. El resultado de esta prueba fue satisfactorio. En la Figura 33 se puede observar los estados identificados del robot respecto a las posiciones de centrado, salida hacia la derecha y hacia la izquierda respectivamente; donde cada columna representa la detección de la superficie por cada uno de los sensores, y el número de la última columna significa la posición del robot.

En las imágenes, para los sensores (de S1 a S8), el rango de detección varía de 0 a 1000, siendo el 0 el valor para una reflexión total, es decir, una identificación de un fondo blanco, y 1000 el valor de reflexión de la luz nula, lo que significa una detección de fondo negro, en este caso, la línea guía de seguimiento del robot.

Entre mayor sea el número en cada columna (sensor) indica que se encuentra más próximo a una línea negra, es decir que tiene menor índice de reflexión; por lo tanto, para la prueba del robot buscando el centro de la línea, se esperaba que los números de las columnas centrales (S4 y S5) representara los índices de detección de los extremos, como se observa en la Figura 33A, ya que los valores de S4 cambian drásticamente al pasar a S5, indicando la presencia de línea negra, por lo cual el robot se acerca al centro.

Figura 33

Pruebas de funcionamiento de sensores IR

s1	s2	s3	s4	s5	s6	s7	s8	
280	196	133	155	822	884	266	357	4115
280	196	119	155	822	884	266	357	4125
280	196	119	155	822	884	266	357	4125
282	198	119	157	822	884	266	357	4119
282	198	121	157	822	888	267	361	4124
277	195	115	151	820	882	280	357	4142
278	195	133	153	822	884	266	357	4120
280	193	133	151	820	882	266	357	4119
280	196	137	155	822	884	266	357	4113
282	198	119	157	822	884	266	357	4119
280	196	119	155	822	884	266	357	4125
282	198	119	157	822	888	266	357	4121
282	198	119	157	826	888	266	361	4124
278	195	133	153	822	884	282	357	4129
278	195	133	153	822	884	266	357	4120

A. Robot buscando Centro

s1	seno1	s2	seno2	s3	seno3	s4	s5	s6	s7	s8	Ambee M
345	1000	1000	153	99	117	170	338	2428			
349	1000	1000	153	100	119	170	338	2427			
349	1000	1000	157	102	120	174	338	2434			
349	1000	1000	157	102	120	174	338	2434			
349	1000	1000	157	102	120	174	342	2440			
347	1000	1000	153	99	117	170	338	2427			
349	1000	1000	157	99	117	174	338	2431			
349	1000	1000	157	104	122	174	340	2440			
349	1000	1000	157	102	120	174	338	2434			
345	1000	1000	153	100	119	170	340	2433			
347	1000	1000	157	99	117	174	338	2432			
349	1000	1000	157	104	122	174	340	2440			
349	1000	1000	157	102	120	174	338	2434			
345	1000	1000	153	99	117	170	338	2428			
349	1000	1000	153	100	119	170	338	2427			

B. Robot sale por la derecha

s1	s2	s3	s4	s5	s6	s7	s8	
251	165	102	84	85	179	1000	1000	5183
234	165	100	82	84	179	1000	1000	5218
251	165	102	84	85	179	1000	1000	5183
249	163	100	82	84	177	1000	1000	5194
247	162	99	80	82	175	1000	1000	5203
249	163	100	82	84	177	1000	1000	5194
251	162	99	80	82	179	1000	1000	5195
252	165	102	84	85	179	1000	1000	5181
252	165	102	84	85	179	1000	1000	5181
251	165	100	82	84	179	1000	1000	5187
251	165	100	82	84	179	1000	1000	5187
233	163	100	82	84	177	1000	1000	5223
249	163	100	82	84	177	1000	1000	5194
249	163	99	80	82	177	1000	1000	5197
234	162	99	80	82	179	1000	1000	5226

C. Robot sale por la izquierda

Nota El grafico muestra IR. A. Robot buscando centro. B. Robot saliendo por la derecha. C. Robot saliendo por la izquierda.

Fuente. Autoría Propia

En la prueba de funcionalidad del robot saliendo por la derecha, se observa que en los sensores S2 y S3, tiene un máximo de detección de línea negra, indicando que el robot, se desplazaría hacia la derecha, ya que estos sensores, al robot tener un desplazamiento en la

dirección indicada, estaría detectando sobre la marcha la línea negra de seguimiento, haciéndose menor la intensidad en la medida que se desvíe del camino, como se observa en la Figura 33B.

Caso contrario se presenta cuando el robot sale hacia la izquierda, ya que los sensores S7 y S8, son los que a su paso detectan la totalidad de la línea negra, marcando una intensidad en el rango de 1000 de acuerdo con lo explicado anteriormente. En este caso, en la medida que el robot se desplace hacia la izquierda los valores censados, van a ir disminuyendo en los sensores del extremo izquierdo como se ve en la Figura 33C.

Sistema RFID

Esta prueba se realizó con el objeto de verificar que el dispositivo lector RFID identificara los tags. Para esto, con el un monitor serial de Arduino se validó el reconocimiento de 6 Tags de código único, como se puede observar en la Figura 34; en donde cada mensaje presentado en la interfaz corresponde a cada uno de los tags mencionados. De esta manera, se comprobó el funcionamiento de este dispositivo y el correcto uso de la programación.

Figura 34

Pruebas de dispositivo RFID.



The image shows a screenshot of a serial monitor window. At the top left, there is a small icon of a computer monitor and the text 'COM6'. Below this, there is a large white rectangular area representing the serial data stream. The data consists of several lines of text: 'RFID LISTO' followed by six lines of hexadecimal strings: '72DB5D4', '72DB5D4', '22C6AD4', 'E285D5D4', '1280CBD4', and '527AC9D4'. The text is displayed in a monospaced font.

Fuente. Autoría Propia

Sensores de Proximidad

Se realizó prueba de sensor ultrasonido hc-sr04 usado para la detección de objetos al frente del robot con el fin de evitar colisiones. El robot cuenta con 4 sensores (uno en cada esquina) como se explicó en la sección anterior; y para esto nuevamente se utilizó el monitor serial de Arduino verificando el funcionamiento de cada uno de los sensores al interponer un obstáculo en sus cercanías.

Para cada uno de los sensores, se pudo un objeto cercano al sensor, y una vez se presentaba el mensaje en el monitor serial, se constataba la medida entre el sensor y el obstáculo con una cinta métrica, obteniendo desviaciones estándar de los datos de hasta 0,49, como se puede observar en la tabla 3 y la Figura 35; siendo esto un resultado satisfactorio en las pruebas de proximidad a los sensores.

Tabla 3

Resultados prueba funcionalidad sensores.

	Medida Monitor serial (cm)	Medida cinta métrica (cm)	Desviación es- tándar (cm)
	116	116,2	0,14
Sensor 1	36	36,5	0,35
	36	36,4	0,28
	40	40,1	0,07
Sensor 2	53	53,3	0,21
	60	60,1	0,07
	44	44,3	0,21
Sensor 3	43	43,5	0,35

	43	43,7	0,49
	27	27,3	0,21
Sensor 4	27	27,1	0,07
	27	27,6	0,42

Fuente. Autoría Propia

En la Figura 35, de la interfaz del monitor serial del Arduino, se observan los mensajes de respuesta de los sensores al identificar el obstáculo en la proximidad del sensor, por cada una de las tres veces que se repitió la prueba. Para la programación del Arduino, cada sensor era identificado como SR04_1 – SR04_4 respectivamente.

Figura 35

Pruebas de sensor ultrasonido hc-sr04.

```

Distancia HC SR04_1 = 116 cm
Distancia HC SR04_2 = 40 cm
Distancia HC SR04_3 = 44 cm
Distancia HC SR04_4 = 27 cm

Distancia HC SR04_1 = 36 cm
Distancia HC SR04_2 = 53 cm
Distancia HC SR04_3 = 43 cm
Distancia HC SR04_4 = 27 cm

Distancia HC SR04_1 = 36 cm
Distancia HC SR04_2 = 60 cm
Distancia HC SR04_3 = 43 cm
Distancia HC SR04_4 = 27 cm

```

Fuente. Autoría Propia

Sistema de Comunicaciones

Se realizó prueba de enlace entre el usuario, servidor de IFTTT, servidor IO. ADAFRUIT y el Robot. Los resultados obtenidos permitieron determinar la respuesta a los comandos de voz con el resto del sistema en el monitor serial de Arduino. Así, se evidencia el correcto funcionamiento del dispositivo y el correcto uso de la programación, como se puede observar en la Figura 36.

Figura 36

Pruebas de Sistema de comunicaciones

Prueba enlace con servidor IFTTT
BocelliBot Listo
8
Adelante

5
Pare

6
Derecha

4
Izquierda

Autoscroll Mostrar marca temporal

Verificación de comunicación en el serial Arduino de los comandos enviados desde el servidor Adafruit

Created at	Value	Location
2022-03-23 11:14:49PM	5	
2022-03-23 11:15:58PM	4	
2022-03-23 11:16:29PM	6	
2022-03-23 11:17:20PM	5	
2022-03-23 11:18:15PM	8	
2022-03-23 11:05:50PM	5	
2022-03-23 11:05:44PM	4	
2022-03-23 11:05:38PM	6	
2022-03-23 11:05:27PM	5	
2022-03-23 11:05:20PM	2	
2022-03-23 11:05:10PM	8	
2022-03-23 11:04:30PM	5	
2022-03-23 10:59:20PM	8	
2022-03-23 10:57:39PM	8	

Verificación de los comandos en el servido Adafruit

If You say "Pare", then Send data to ROBOT feed

If You say "Adelante", then Send data to ROBOT feed

If You say "Destino Local 1", then Send data to Rutas feed

If You say "Destino Local 3", then Send data to Rutas feed

If You say "Destino Local 2", then Send data to Rutas feed

If You say "Turn on Light 2", then Send data to Luces feed

Comandos en IFFT que debe reconocer el servidor de Google

Fuente. Autoría Propia

De acuerdo con esto, y lo expuesto en la sección anterior respecto al protocolo de comunicaciones, los mensajes numéricos en la interfaz del monitor serial de Arduino son los datos que se enviaron desde el servidor de Adafruit hacia el Arduino, y cada uno de ellos representa un comando; por ejemplo, el número 8 le indica al robot que vaya hacia adelante, el 4 que vaya hacia la izquierda, el 6 que vaya hacia la derecha y el 5 indica que se detenga. Adicionalmente, para verificar el tránsito de los comandos, se observa en la pantalla del servidor

de Adafruit los datos que se han salido de este durante la prueba y que fueron mostrados en el monitor de Arduino. Finalmente, se verifica en el servidor IFFT que los comandos se encuentren configurados en sus bases de datos y puedan ser reconocidos por el servidor de Google.

Pruebas del Robot Lazarillo.

Adecuación del Sitio

Las pruebas de funcionalidad en campo se realizaron en el laboratorio de operaciones unitarias de las instalaciones de la Universidad de San Buenaventura, en un área de 7 m*12 m como se aprecia en la Figura 37.

Figura 37

Espacio físico para la realización de pruebas de campo.



Fuente. Autoría Propia.

Se realizó una pista guiada mediante una línea de color blanco sobre la superficie del suelo (que es de color gris), para facilitar el reconocimiento de los sensores del robot y direccionar el recorrido a seguir, con una longitud de 26,56m en total, marcando 7 estaciones o locales correspondientes a los puntos de parada del robot, simulando una situación presentada en

un centro comercial dónde el robot debiera desplazarse de un local a otro, como se puede observar en la Figura 38.

Los locales o estaciones se señalaron con cinta blanca identificándolos con números arábigos de 1 al 7 para facilitar la comprensión de la prueba para los espectadores, ya que la referencia indicadora de posicionamiento del local (estación) lo proporcionó la marcación con Tags ubicados sobre la línea guía de camino; los cuales fueron programados previamente y cargados en el Sketch del Arduino para verificar su adecuado desempeño en campo, tal cual lo presentaron en la pruebas de funcionalidad en el monitor serial del Arduino de forma previa.

Figura 38

Pista para Prueba del funcionamiento del robot



Fuente. Autoría Propia

Prueba de Velocidad del Robot y Seguimiento de Guía de Camino

En estas pruebas se marcó en la pista guía un recorrido lineal con una distancia de un metro, que puede observarse en la Figura 39, y se determinó el tiempo que demoraba el robot en recorrerlo a diferentes valores de pulsos de banda con los que viene programado el Arduino

Figura 39

Recorrido lineal para medición de velocidad de robot lazarillo.



Fuente. Autoría Propia

El PWM (pulsos por ancho de banda) en el Arduino varía de 0 a 255, en la prueba se hicieron cálculos de velocidades para los PWM de: 60, 80, 100, 120, para verificar la velocidad que tenía el robot y compararla con los valores registrados en la literatura para personas con discapacidad visual.

En la tabla 4 y la Figura 40 se observan los resultados obtenidos al realizar esta prueba, teniendo valores de velocidades promedio desde 0,174 m/s (PWM de 60) hasta 0,312 m/s (PWM

de 100), tomando como valor adecuado para el robot, el encontrado al configurar el PWM en 80; puesto que para este valor el robot anduvo un metro en 4,11 segundos, manteniendo una velocidad promedio de 0,243 m/s sin presentar descarrilamientos, el cual está acorde con la literatura, ya que la velocidad de caminata promedio de las personas invidentes se encuentra en un rango de 0,2 – 0,25 m/s utilizando bastones blancos o bastones electrónicos (Quezada Castillo, 2015)

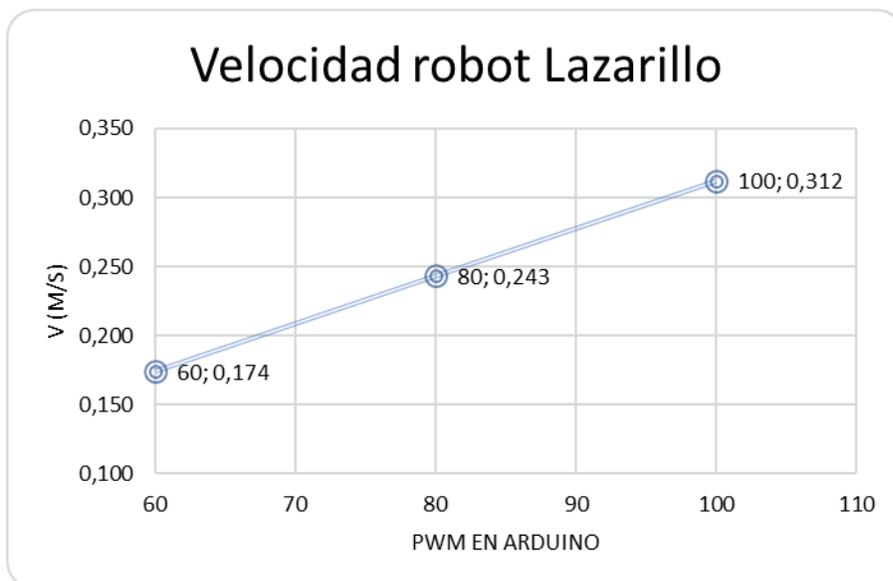
Tabla 4*Determinación de velocidad del robot lazarillo.*

Número de prueba	PWM en Arduino	Tiempo (s)	Velocidad (m/s)	Resultado
		5,35	0,187	Sin descarrilarse
1	60	5,55	0,180	Sin descarrilarse
		6,43	0,155	Sin descarrilarse
		4,05	0,247	Sin descarrilarse
2	80	4,25	0,235	Sin descarrilarse
		4,03	0,248	Sin descarrilarse
		3,15	0,317	Sin descarrilarse
3	100	3,26	0,307	Sin descarrilarse
		3,20	0,312	Sin descarrilarse
		-	-	Descarrilamiento
4	120	-	-	Descarrilamiento
		-	-	Descarrilamiento
		-	-	Descarrilamiento

Fuente. Autoría Propia

Figura 40

Relación Velocidad vs. PWM programado en el Arduino



Fuente. Autoría Propia

En las pruebas, no se llevó al máximo del rango porque el tiempo de respuesta del robot en el seguimiento de línea se veía afectado con un descarrilamiento que ocasiona el robot por su propio peso, es decir por efectos de inercia, adicionalmente, se saldría de los parámetros verificados en literatura para la velocidad de caminata promedio de las personas invidentes (Quezada Castillo, 2015).

A esta velocidad fue que se determinó el recorrido de seguimiento de línea del circuito completo con una distancia de 26,56m, pasando por los 7 locales como se explicó anteriormente, sin dar instrucciones de paradas, solo con el fin de observar que completara el circuito sin descarrilarse y sin detenerse, como se observa en la Figura 41. Este recorrido lo completo en un tiempo de 130,20 s, manejando una velocidad promedio de 0,204 m/s; lo cual permite identificar

que, en el recorrido del circuito, las curvas ocasionan una disminución de la velocidad del robot comparada con la calculada de forma lineal.

Figura 41

Seguimiento de guía de camino en el circuito de la prueba



Fuente. Autoría Propia

Al realizar la prueba de seguimiento del camino guía, se evidenciaron dos tipos de descarrilamientos: uno asociado a los desniveles de la superficie del suelo, y otro debido a deficiencias en la lectura de los sensores infrarrojo del contraste entre la zona oscura y clara de la pista. Para corregir este efecto se modificó la distancia hasta el piso de los sensores infrarrojos que detectan la línea para mejorar el índice de reflexión del sensor y obtener una mejor lectura de

los contrastes y así evitar el descarrilamiento. Adicionalmente, se modificó la entrada de luz natural que pudiera aumentar la lectura del sensor cubriéndolos con una capa plástica opaca, en la tabla 5, se observan los resultados de las pruebas de seguimiento de línea del robot lazarillo.

Tabla 5

Resultados prueba de seguimiento de camino guía.

Número de prueba	Tiempo (s)	Resultado
1	130,20	Sin descarrilarse
2	129,46	Sin descarrilarse
3	132,02	Sin descarrilarse

Fuente. Autoría Propia

Prueba de Seguimiento Instrucciones

Se realizaron 21 pruebas replicadas por triplicado de tal forma que se cubriera la totalidad de los puntos o locales (tags) del circuito ubicados en donde se relacionaron los diferentes puntos de la pista, desde 2 puntos hasta la totalidad de estos (7 puntos), teniendo entonces un total de 63 pruebas realizadas.

Los resultados de estas pruebas se pueden observar en la tabla 6; y para todos estos, el robot logró seguir la ruta establecida por el usuario mediante comandos de voz indicado de forma satisfactoria.

En cuanto a los procesos de comunicación del robot, se evidenció que el tiempo de respuesta promedio entre el robot y los servidores fue 4,5 segundos máximo; parámetro condicionado a variaciones por la intensidad de señal y tráfico de la red que se esté usando.

Tabla 6*Determinación de recorridos por comando de voz.*

<i>Prueba</i>	<i>Recorrido</i>	<i># puntos re- lacionados</i>	<i>Tiempo (s)</i>	<i>Resultado</i>
			9,99	<i>Satisfactorio</i>
1	L1 – L2	1	9,45	<i>Satisfactorio</i>
			9,88	<i>Satisfactorio</i>
			13,92	<i>Satisfactorio</i>
2	L2 – L3	1	13,51	<i>Satisfactorio</i>
			14,04	<i>Satisfactorio</i>
			20,11	<i>Satisfactorio</i>
3	L3 – L4	1	19,45	<i>Satisfactorio</i>
			20,05	<i>Satisfactorio</i>
			16,73	<i>Satisfactorio</i>
4	L4 – L5	1	17,10	<i>Satisfactorio</i>
			16,70	<i>Satisfactorio</i>
5	L5 – L6	1	16,10	<i>Satisfactorio</i>

			14,89	<i>Satisfactorio</i>
			18,06	<i>Satisfactorio</i>
			12,44	<i>Satisfactorio</i>
6	<i>L6 – L7</i>	1	13,30	<i>Satisfactorio</i>
			13,20	<i>Satisfactorio</i>
			23,10	<i>Satisfactorio</i>
7	<i>L1 - L3</i>	2	22,84	<i>Satisfactorio</i>
			22,74	<i>Satisfactorio</i>
			35,60	<i>Satisfactorio</i>
8	<i>L3 - L5</i>	2	36,87	<i>Satisfactorio</i>
			36,20	<i>Satisfactorio</i>
			34,08	<i>Satisfactorio</i>
9	<i>L5 – L7</i>	2	33,61	<i>Satisfactorio</i>
			33,33	<i>Satisfactorio</i>
			32,88	<i>Satisfactorio</i>
10	<i>L2 - L4</i>	2	33,06	<i>Satisfactorio</i>
			34,11	<i>Satisfactorio</i>

			33,17	<i>Satisfactorio</i>
11	<i>L4 – L6</i>	2	34,59	<i>Satisfactorio</i>
			35,23	<i>Satisfactorio</i>
			41,81	<i>Satisfactorio</i>
12	<i>L1 – L4</i>	3	42,38	<i>Satisfactorio</i>
			42,39	<i>Satisfactorio</i>
			49,02	<i>Satisfactorio</i>
13	<i>L4 - L7</i>	3	49,45	<i>Satisfactorio</i>
			49,11	<i>Satisfactorio</i>
			50,14	<i>Satisfactorio</i>
14	<i>L2 – L5</i>	3	50,69	<i>Satisfactorio</i>
			50,44	<i>Satisfactorio</i>
			54,55	<i>Satisfactorio</i>
15	<i>L3 – L6</i>	3	54,37	<i>Satisfactorio</i>
			54,48	<i>Satisfactorio</i>
			64,23	<i>Satisfactorio</i>
16	<i>L1 – L5</i>	4	61,88	<i>Satisfactorio</i>

			63,77	<i>Satisfactorio</i>
			67,08	<i>Satisfactorio</i>
17	L2 – L6	4	67,82	<i>Satisfactorio</i>
			69,38	<i>Satisfactorio</i>
			69,80	<i>Satisfactorio</i>
18	L3 – L7	4	69,36	<i>Satisfactorio</i>
			69,85	<i>Satisfactorio</i>
			82,83	<i>Satisfactorio</i>
19	L1 – L6	5	82,18	<i>Satisfactorio</i>
			78,48	<i>Satisfactorio</i>
			83,55	<i>Satisfactorio</i>
20	L2 – L7	5	84,22	<i>Satisfactorio</i>
			83,52	<i>Satisfactorio</i>
			93,75	<i>Satisfactorio</i>
21	L1 – L7	6	93,35	<i>Satisfactorio</i>
			93,23	<i>Satisfactorio</i>

Al realizar un análisis de varianza ANOVA (Walpole y otros, 2012), para las diferentes interrelaciones de los 7 puntos de la pista, la respuesta obtenida al direccionar la orden y la velocidad promedio de recorrido del robot, con una significancia de 0,05 y un nivel de confianza del 0,95 se tiene un $F_{tab} > F_{tab}$, encontrando una relación de significancia entre los datos obtenidos; es decir, que en la medida que se tiene una respuesta satisfactoria de parte del robot lazarillo en el seguimiento de la ruta establecida, independientemente de los puntos o locales que se le determine para el recorrido, este va a mantener un promedio similar en la velocidad de su recorrido, asociada a la calibración inicial que se le haga al robot.

Este resultado es importante, pues permite determinar que el robot va a mantener una velocidad constante durante su recorrido, lo cual proporciona un margen de seguridad para el usuario, garantizando que no va a tener exabruptos o cambios bruscos que puedan afectar la integridad del usuario, en este caso de personas con discapacidad visual avanzada.

Prueba de Reacción Ante Obstáculos en el Camino

Para verificar el funcionamiento del robot en cuanto a la evasión o identificación de obstáculos mediante sus sensores, se realizó una prueba de reacción ante obstáculos, en la cual se ponía una persona o un obstáculo inanimado frente al robot con el fin de que este se detuviera en su recorrido, y posteriormente se eliminaba el obstáculo, para verificar que este continuara con su recorrido de acuerdo con el programa interno del robot.

Como resultado de esto, se pudo identificar que el robot logro evadir obstáculos frontales a distancias desde 20 cm hasta 40cm que se interpone en la ruta establecida; continuando el recorrido una vez el obstáculo era eliminado sin necesidad de comandos de voz; esto puede observarse en la tabla 7.

Tabla 7*Resultados prueba de seguimiento de camino guía.*

<i>Número de prueba</i>	<i>Distancia Obstáculo (cm)</i>	<i>Resultado</i>
<i>1</i>	<i>20</i>	<i>Para recorrido al Sensor/ retoma recorrido al eliminar</i>
<i>2</i>	<i>30</i>	<i>Para recorrido al Sensor/ retoma recorrido al eliminar</i>
<i>3</i>	<i>40</i>	<i>Para recorrido al Sensor/ retoma recorrido al eliminar</i>

Fuente. Autoría Propia

Conclusiones

En el desarrollo de esta investigación se pudieron identificar las necesidades y preferencias de un grupo de personas con limitación visual avanzada para el diseño de un prototipo de robot lazarillo robótico como herramienta de apoyo para la movilidad, basado en IOT (Internet of Things). Se encontró que el 100% de ellos considera que un asistente de movilidad tecnológico les sería útil para su uso en espacios cerrados, como centros comerciales. También se descubrió que el prototipo debería contar con características funcionales que les proporcionen seguridad, como la evasión de obstáculos y el direccionamiento seguro a sitios específicos. Es importante mantener una velocidad moderada que no afecte su movilidad y funcionar preferentemente por comandos de audio. Estos parámetros sirvieron para el diseño del prototipo.

Basado en la caracterización de las necesidades y referencias, se identificaron los requerimientos y tecnologías de software y hardware del prototipo de robot lazarillo. Se logró implementar IOT a un dispositivo electrónico mediante diferentes servidores, como Asistente de Google, IFTTT y Adafruit. Se realizó el montaje del robot lazarillo bajo diseño electrónico de la robótica con los elementos necesarios para establecer un modelo de gestión de los dispositivos cliente-servidor. Se utilizaron elementos como Arduino, la tarjeta de comunicación ESP8266 y los servidores antes mencionados que, en conjunto con los elementos electrónicos y mecánicos, lograron tener un modelo funcional para uso de personas con discapacidad visual avanzada.

Se realizaron pruebas de funcionalidad mediante softwares para observar las respuestas del robot lazarillo a los comandos programados. También se llevaron a cabo pruebas experimentales en campo, en las cuales se verificó su funcionalidad para el seguimiento de rutas guías establecidas, velocidades para los recorridos, identificación de obstáculos y seguimiento al direccionamiento por comandos para rutas establecidas entre diferentes puntos de referencia. Se

obtuvo una relación de significancia entre los diferentes factores, permitiendo garantizar al usuario que el prototipo no se desviará de su ruta y seguirá los comandos de voz asignados a una velocidad promedio de 0,243 m/s sin afectar su integridad física.

Recomendaciones

Se recomienda incorporar un sistema mecánico de tracción al robot, ya que durante las pruebas de campo se observó que la falta de agarre entre el robot y el suelo causó descarrilamientos y desviaciones de la línea guía. Además, se sugiere implementar un sistema de comunicaciones dedicado, ya que los tiempos de respuesta de los servidores no son constantes. A futuro, sería conveniente establecer servidores propios que contengan los comandos de voz necesarios para el funcionamiento del robot.

En cuanto al sistema de guía, se propone reemplazar los sensores ópticos IR por sensores de efecto Hall para un seguimiento magnético, ya que esto proporcionaría mayor estabilidad y menos susceptibilidad a efectos naturales. Cabe destacar que, aunque existen otros métodos de seguimiento, en este proyecto se emplearon sistemas económicos.

Para continuar con el desarrollo del prototipo, se sugiere realizar pruebas en un centro comercial y con personas invidentes, ya que esta etapa del proyecto no se encontraba dentro del alcance inicial y no se pudo llevar a cabo en su momento. Finalmente, sería recomendable realizar una evaluación del proyecto como un emprendimiento, incluyendo un análisis de Ciclo de Vida (ACV) del prototipo y una evaluación de la sostenibilidad ambiental, enmarcado en la integralidad de las industrias actuales (industrias 4.0).

Referencias Bibliográficas

- Adafruit IO. (09 de Agosto de 2021). *Adafruit IO. Overview*. <https://learn.adafruit.com/adafruit-io>
- ADV Cataluña. (s.f.). *Associació Discapacitat Visual Catalunya* . Características y Patologías: https://www.b1b2b3.org/es/Telefono_Ull/patologias.html
- Agarwal, A. W., Zink, M., Adame, M. R., Moller, K., & Burgard, W. (2015). Navigating Blind People with a Smart Walker. *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)* , Congress Center Hamburg , 6014-6019.
- AGPS.com. (2021). *Sistemas de localización basados en la radiofrecuencia*. <https://www.agps.es/sistemas-de-localizacion/#:~:text=Sistemas%20de%20localizaci%C3%B3n%20basados%20en%20la%20Radiofrecuencia&text=Estos%20equipos%20son%20los%20que,no%20hay%20obst%C3%A1culos%20entre%20medias>.
- Aladren, A., Lopez-Nicolas, G., Puig, L., & Guerrero, J. J. (s.f.). Navigation Assistance for the Visually Impaired Using RGB-D Sensor with Range Expansion. *GRASP Laboratory at University of Pennsylvania, Philadelphia*.
- Alezones-Campos, Z., Baquero-Romero, Y., Borrero-Guerrero, H., & Becker, M. (2012). Recognising isolated words for mobile robot navigation control. *ORINOQUIA - Universidad de los Llanos*, 121-134.
- Andaluza Ortiz, G. (2011). *Modelación, identificación y control de robots móviles*. Quito: Escuela Politecnica Nacional.
- Android. (s.f.). *Qué es Android?* https://www.android.com/intl/es_es/what-is-android/
- Arduino.cl. (s.f.). *¿Que es Arduino?* <https://arduino.cl/que-es-arduino/>

- Asamblea constituyente de Colombia. (1991). *Constitución política de Colombia*.
- Asamblea General de las Naciones Unidas. (1948). *Declaración Universal de los Derechos Humanos*. París: Resolución 217 A (III).
- Bambino, I. (2008). *Una Introducción a los Robots Móviles* . Retrieved Noviembre de 2019, from http://www.aadeca.org/pdf/CP_monografias/monografia_robot_movil.pdf
- Baque Soledispa, R. A. (2018). *Desarrollo de un prototipo de guante ultrasónico para personas con discapacidad visual para el laboratorio de robótica de la carrera de ingeniería en computación y redes*. Ecuador: Universidad de Manabí.
- Caicedo, J. C., Cárdenas Arciniegas, J. D., & Bedoya, C. (2016). *ASISTENTE ROBÓTICO PARA PERSONAS CON DISCAPACIDAD VISUAL*. Bogotá: FUNDACIÓN UNIVERSITARIA LOS LIBERTADORES.
- Campoverde Schrader, C. M. (Julio de 2017). *Posicionamiento en interiores a través de puntos de acceso*. Retrieved Noviembre de 2019, from <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/112648/TFG%20Campoverde.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Cañoto López, D. R. (Mayo de 2014). *Localización de objetos utilizando tecnología Zigbee*. (Departamento de teoría de la señal y comunicaciones - Universidad Carlos III de Madrid) Retrieved Noviembre de 2019, from <https://core.ac.uk/download/pdf/44310626.pdf>
- Carletti, E. J. (2007). *Comunicación por infrarrojos*. Retrieved Noviembre de 2019, from http://robots-argentina.com.ar/Comunicacion_IR.htm

conacyt. (31 de julio de 2015). *Desarrollan robot guía para invidentes*.

<http://conacytprensa.mx/index.php/tecnologia/robotica/2296-desarrollan-en-el-ipn-robot-guia-para-invidentes>

Conferencia Intergubernamental Iberoamericana sobre Políticas para Personas Ancianas y Personas Discapacitadas. (1992). *Declaración de Cartagena De Indias sobre Políticas Integrales para las personas con discapacidad en El área Iberoamericana*. Cartagena de Indias.

Congreso de Colombia. (1987, 25 de Enero). *Ley 12*.

<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=14932#:~:text=Establece%20que%20los%20lugares%20de,la%20incapacidad%20o%20la%20enfermedad.>

Congreso de Colombia. (1993, 23 de Diciembre). *Ley 100*.

<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=5248>

Congreso de Colombia. (1993, 30 de Diciembre). *Ley 105*.

<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=296>

Congreso de Colombia. (1995, 18 de Junio). *Ley 181*.

<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=3424>

Congreso de Colombia. (1996, 25 de Enero). *Ley 266*.

<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=66192#:~:text=Tiene%20como%20fin%20dar%20cuidado,las%20etapas%20de%20la%20vida.>

Congreso de Colombia. (1997, 5 de Mayo). *Ley 368*.

<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=10578>

Congreso de Colombia. (1997, 7 de Febrero). *Ley 361*.

<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=343>

Congreso de Colombia. (1998, 24 de Diciembre). *Ley 488*.

<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=187>

Congreso de Colombia. (2013, 27 de Enero). *Ley Estatutaria 1618*. (Ley Estatutaria 1618 de

2013) <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=52081>

Congreso de la República. (1993,12 de Agosto). *Ley 60*.

<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=274>

DANE. (2020). *Población discapacitada*. <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion/discapacidad>

Dapena Pérez, D. (2014). *App de control remoto de un robot sobre plataforma Android*. España: Universidad politécnica de Valencia.

electronicaonline.com. (s.f.). *Qué es un Circuito Digital: Diseño y sus Aplicaciones*.

<https://electronicaonline.net/electronica-digital/que-es-un-circuito-digital-diseno-y-sus-aplicaciones/>

Espinosa Moncayo, D. A., & Peña Mendoza, C. D. (2015). *Diseño e implementación de un prototipo de gafas electrónicas con comunicación bluetooth a un celular para la detección de objetos circundantes que servirá como ayuda en personas no videntes*. Guayaquil: Universidad polotécnica Salesiana.

Goldhoorn, A., Garrell, A., Alquézar, R., & Sanfeliu, A. (2017). Searching and tracking people in urban environments with static and dynamic obstacles. *Robotics and Autonomous Systems*, 147-157.

Google.com. (s.f.). *Hey Google*. Te presentamos a tu Asistente de Google:

https://assistant.google.com/intl/es_es/

- Hersh, M. A., & Johnson, M. A. (2010). A robotic guide for blind people. Part 1. A multi-national survey of the attitudes, requirements and preferences of potential end-users. *Applied Bionics and Biomechanics*, Vol. 7, No. 4, December 2010, 277–288.
- Heryanto, H. S. (2020). RANCANG BANGUN ALAT LOGIN WINDOWS DENGAN e-KTP MENGGUNAKAN RFID READER MFRC-522 DAN CONTROLLER ARDUINO PRO MICRO. *Journal of Informatics and Communication Technology (JICT)*, 2(1), 39-48.
- INCI. (09 de Junio de 2020). *Instituto Nacional para Ciegos*. Los ciegos en el Censo 2018: <https://www.inci.gov.co/blog/los-ciegos-en-el-censo-2018>
- Jardón, A., Giménez, A., Correal, R., Martínez, S., & Balguer, C. (2008). ASIBOT: Robot portátil de asistencia a discapacitados. Concepto, arquitectura de control y evaluación clínica. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática industrial.*, 48-59.
- Katzschmann, R. K., Araki, B., & Rus, D. (2018). Safe Local Navigation for Visually Impaired Users With a Time-of-Flight and Haptic Feedback Device. *IEEE TRANSACTIONS ON NEURAL SYSTEMS AND REHABILITATION ENGINEERING*, 26(3), 583 - 294.
- Khan, N. S., Kundu, S., Ahsan, S. A., Sarker, M., & Islam, M. N. (2016). An Assistive System of Walking for Visually Impaired. *Military Institute of Science and Technology*.
- L.Mekhalfia, M., Melgania, F., Zeggada, A., & DeNatale, F. G. (2016). Recovering the sight to blind people in indoor environments with smart technologies. *Expert SystemsWithApplications*, 129-138.
- Lakde, C. K., & Prasad, D. P. (2015). Navigation System for Visually Impaired People . *INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTATION OF POWER, ENERGY, INFORMATION AND COMMUNICATION* , 978(1), 93-98.

- Marin, J. G., Díaz, D. B., & Torres, J. S. (2021). Una Revisión Sobre la Evolución de la Robótica Móvil . *CraiUSTA*, 1-8.
- Ministerio de Salud. (1985). *Resolución 14861 de 1985*. Bogotá.
- Ministerio de Salud. (1996). *Resolución 3165 de 1996*. Bogotá.
- Monllor, M., Roberti, F., Neto, A. F., J. M., & Carelli, R. (2015). Design of a robotic cane to assist people with disabilities. *XVI Reunión de Trabajo en Procesamiento de la Información y Control*, 2-7.
- Muñoz Arnal, B. (2016). *Desarrollo de una aplicación de posicionamiento basada en marcadores para un robot móvil*. Retrieved Novimbre de 2019, from https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/69125/48691817N_TFG.pdf_14673641152165965754496123012733.pdf?sequence=2
- Naciones Unidas. (1979). *Declaración sobre los derechos de la persona sorda y ciega*. París: Asamblea General.
- Naciones Unidas. (2008). *Convención sobre los derechos de las personas con discapacidad* . Nueva York: Asamblea General.
- Núñez, P., Bustos, P., Jaramillo, E., Bachiller, P., & Varea, I. G. (s.f.). *Robots Sociales para la Mejora de la Calidad de Vida de las Personas Dependientes*. [https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/45316032/Robots_Sociales_para_la_Mejora_de_la_Cal20160503-23243-t0rkxj.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1543373104&Signature=9fpAefKlmbaBBiz33DjLYP3hQfY%3D&response-content-disposition=inline%](https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/45316032/Robots_Sociales_para_la_Mejora_de_la_Cal20160503-23243-t0rkxj.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1543373104&Signature=9fpAefKlmbaBBiz33DjLYP3hQfY%3D&response-content-disposition=inline%20)

- Ontiveros-Paredes, S. D., Rojas-Balbuena, D., & Martínez-Paredes, J. (2014). Diseño y construcción de una bastón blanco electrónico para personas invidentes. *Científica*, 63-70.
- Peñaloza Bernal, G. A., & Martínez Cuadros, J. (2013). *Robot móvil operado con plataforma Android*. Cúcuta: Universidad Francisco de Paula Santander.
- Peralta Mosquera, M. A., & Urmendiz Terreros, J. V. (2014). *Sistema de asistencia y guía para personas invidentes*. Santiago de Cali: Universidad Autónoma de Occidente.
- Peralta, J. (2006). *Discapacidad y accesibilidad: La dimensión desconocida*.
http://bvs.minsa.gob.pe/local/minsa/920_gob422.pdf
- Presidente de la República. (1994). *Decreto 2886 de 1994*. Bogotá.
- Quezada Castillo, J. M. (2015). *Diseño e implementación de un dispositivo electrónico de ayuda de desplazamiento para personas ciegas*. 2016: Pontificia universidad católica del Perú, Facultad de Ingenierías.
- Rojas Olaya, C. R. (2016). *Implementación de un bastón detector de obstáculos elevados para personas invidentes*. Villavicencio: Universidad de los Llanos.
- Rubio, I. T. (2010). *Sistemas de localización y medición de distancias basados en ultrasonidos: Estudio e implementación*. Retrieved Noviembre de 2019, from
<https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/9440/Proyecto-final.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ruiz de Garibay Pascual, J. (2015). *Robótica: Estado del arte*. Deusto.
- Samaniego, P., Laitamo, S.-M., Valerio, E., & Francisco, C. (2012). *Informe sobre el Uso de las Tecnologías de Información y Comunicación (TIC) en la Educación para Personas con Discapacidad*. Quito: UNESCO.

- Sánchez, J., Guerrero, L., Sáenz, M., & Flores, H. (2009). Modelo de desarrollo de aplicaciones móviles basadas en videojuegos para la navegación de personas ciegas. *Research Gate*.
- Seco Granja, F. (2008). *Sistemas de Localización y Posicionamiento*. Retrieved Noviembre de 2019, from <http://www.car.upm-csic.es/lopsi/static/publicaciones/docencia/Apuntes%20RF-LPS.pdf>
- Shaikh, F., Kuvar, V., & Meghani, M. A. (2017). Ultrasonic sound based navigation and assistive system for visually impaired with real time location tracking and Panic button . *2nd International Conference on Communication and Electronics Systems (ICCES 2017)* , *IEEE Xplore Compliant (978)*, 172-175.
- Sotelo, V. R., Sánchez, J. R., & Ortigoza, R. S. (2007). Robots Móviles: Evolución y Estado del Arte. *Polibits*, 35, 12-17.
- Suárez Escudero, J. C. (2011). Adult visual impairment and blindness: Review article. *Medicina UPB*, 30(2), 170-180.
- Tayab, N. A., Chowdhury, M., Rashid, H., Faisal, S. R., Ahmed, I. U., & Reza, T. (2017). Design and Implementation of Microcontroller Based Assistive Robot for Person with Blind Autism and Visual Impairment. *International Conference of Computer and Information Technology (ICCIT)*, *IEEE 9781*.
- Universidad Adventista de Chile. (2018). *Guía para validar instrumentos de investigación*. Chile.
- Uribe Gaviria, A. (2016). *Análisis de situación de salud visual en Colombia 2016. Convenio 519 de 2015*. Ministerio de saludColombia.

Vega, J. P. (Junio de 2016). *Sistema de posicionamiento móvil para interiores vía WIFI*.

Retrieved Noviembre de 2019, from

<https://pdfs.semanticscholar.org/e35b/5924d55cdf5fd8c519c581aac50b0dfa99a8.pdf>

Villacreses Córdova, A. J. (2019). *Desarrollo de un Prototipo de Gafas Electrónicas con*

Sensores Ultrasónicos Orientado a Personas no Videntes para el Laboratorio de

Robótica en la Carrera de Ingeniería en Computación y Redes. Ecuador: Universidad de

Manabí.

Walpole, R. E., Myers, R. H., Myers, S. L., & Keying, Y. (2012). *Probabilidad y estadística*

para ingeniería y ciencias. Ciudad de Mexico: Pearson.

Wikipedia. (2019). *Bluetooth*. Retrieved Noviembre de 2019, from

<https://es.wikipedia.org/wiki/Bluetooth>

xataka.com. (27 de julio de 2014). *NSK en busca del robot guía para las personas ciegas*.

<https://www.xataka.com/robotica-e-ia/nsk-en-busca-del-robot-guia-para-las-personas-ciegas>

Apéndices

Apéndice A

Encuesta de percepción sobre características de robot lazarillo

Preguntas personales

1. Genero
 - a. M____
 - b. F____

2. Edad
 - a. 10-18
 - b. 19-24
 - c. 25-34
 - d. 35-44
 - e. 45-60
 - f. Mas de 60

3. Tipo de discapacidad visual
 - a. Discapacidad Visual Moderada
 - b. Discapacidad visual Grave
 - c. Ceguera

4. Edad de inicio de la discapacidad visual
 - a. desde nacimiento
 - b. desde la niñez
 - c. desde la edad adulta
 - d. después de los 45 años

Preguntas sobre uso de asistentes en movilidad

1. Usa generalmente un asistente para su movilidad
 - a. Si ____
 - b. No _____

Si su respuesta a la anterior pregunta es positiva, responda a las siguientes preguntas

2. Para realizar sus diligencias usted normalmente usa
 - a. Asistente Humano
 - b. Asistente Animal
 - c. Asistente tecnológico
 - a. Bastón
 - b. No usa Asistente
 - c. Otro _____

3. Qué tan útil es el asistente para evitar obstáculos
 - a. muy útil
 - b. útil
 - c. poco útil
 - d. Nada Util

4. A qué ritmo puede caminar con el Asistente que Usa
 - a. Ritmo lento
 - b. Ritmo moderado
 - c. Ritmo rápido
 - d. No está seguro que tan rápido camina

5. Qué tan seguro se siente cuando usa el asistente de navegación
 - a. muy seguro
 - b. seguro
 - c. ni seguro ni inseguro
 - d. inseguro

6. ¿En qué lugares requiere más de su asistente para desplazarse
Hogar

Supermercado

Trabajo

Otros _____

Si su respuesta a la pregunta 1 es negativa, responda a las siguientes preguntas

1. ¿Por qué no usa un asistente de movilidad?
2. ¿Le gustaría disponer de algún asistente de movilidad?
3. ¿Cual?
4. ¿Por qué?

Le gustaría Que en los espacios cerrados (centros comerciales, entidades públicas, entidades educativas) hubiera algún tipo de asistente para personas con discapacidad Visual

a. SI

b. NO

7. Si respuesta es SI

Prefiere Asistente

a. Humano

b. Animal

c. Tecnológico

8. Si el Asistente es un Robot cuál de las siguientes funciones le gustaría que el robot guía presente:

a. Evasión de obstáculos

b. Información de la posición actual

c. Guía hacia un destino

d. Ubicación de productos

- e. Ubicar puntos y objetos de interés
 - f. Identificar el rostro de personas
 - g. Reconocer formas y colores
9. ¿Qué apariencia le gustaría que el robot tenga?
- a. Perro robótico
 - b. Humanoide
 - c. Silla Móvil
 - d. Base robótica con bastón
 - e. Carro de Compras
 - f. Casco Con sensores

10.

Apariencia del Robot en cuanto a visibilidad

- a. ¿Le gustaría que el robot sea llamativo o que pase desapercibido?
- b. ¿Le gustaría un robot guía pequeño o grande?
- c. ¿Le gustaría que sea un dispositivo que se pueda transportar en el cuerpo del usuario?

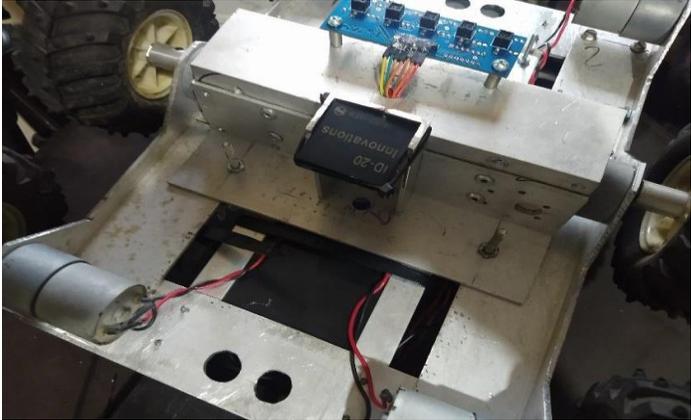
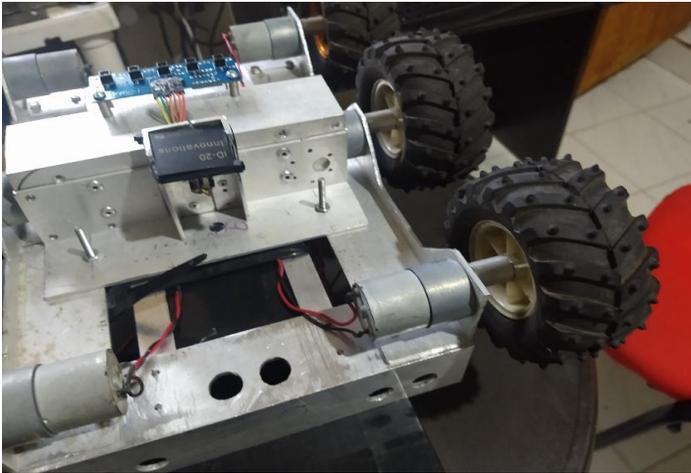
11. En qué circunstancias le parece útil el robot guía

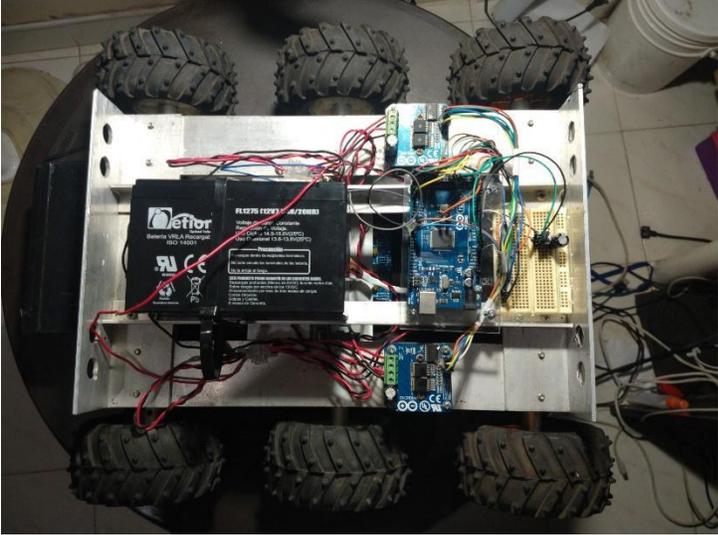
- a. Supermercados
- b. Aeropuertos
- c. Edificios públicos
- d. Nuevos destinos

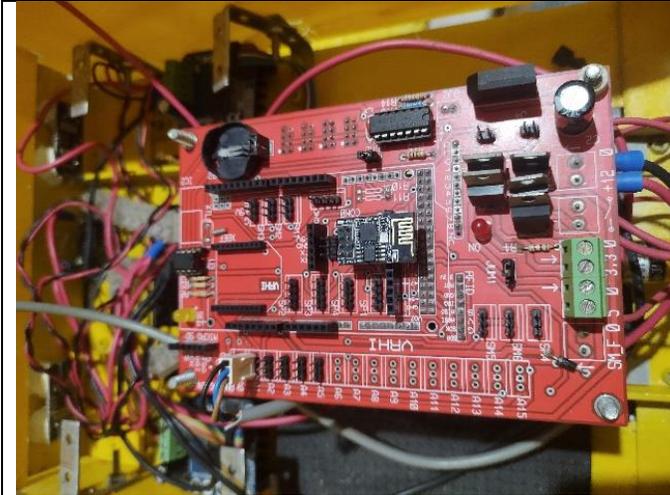
- e. Uso diario
 - f. Espacios abiertos
 - g. Otro
12. ¿Cómo le gustaría que el usuario se comunicara con el robot?
- a. Comandos de audio
 - b. Teclado
 - c. Joystick
 - d. Otro _____
13. ¿Cómo le gustaría que el robot se comunicara con el usuario?
- a. Comandos de voz
 - b. Seguir al robot por contacto
 - c. Braille
 - b. Otras _____

Apéndice B

Fotografías del paso a paso de construcción del robot lazarillo

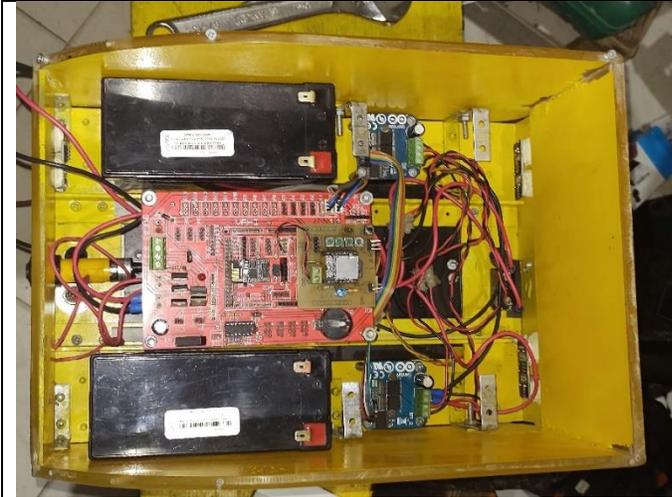
	<p>Se realizo manualmente un Chasis con ángulos de aluminio de 1/8", den el cual se instalaron sensores, para la detección de la línea y los Tag, posteriormente estos fueron cambiados por otros más adecuados para el objetivo del Robot</p>
	<p>Instalación de sistema de locomoción inicialmente se instalaron 6 motorreductores, pero en la versión final se dejaron 2 motores y una rueda loca ya que el consumo de energía era excesivo e innecesario, adicional generaban más fricción de la requerida haciendo más</p>

	<p>complicada la manipulación del Robot</p>
	<p>Se realiza la instalación del sistema de Alimentación y primeras pruebas del sistema de control, en esta fase aún no se tenía el PCB final</p>
	<p>Se instalan los Driver control de los motores y se realizan las Pruebas de seguimiento de la línea guía.</p>
	<p>Instalación de PCB y sistema de comunicaciones en Versión Final Del Prototipo</p>



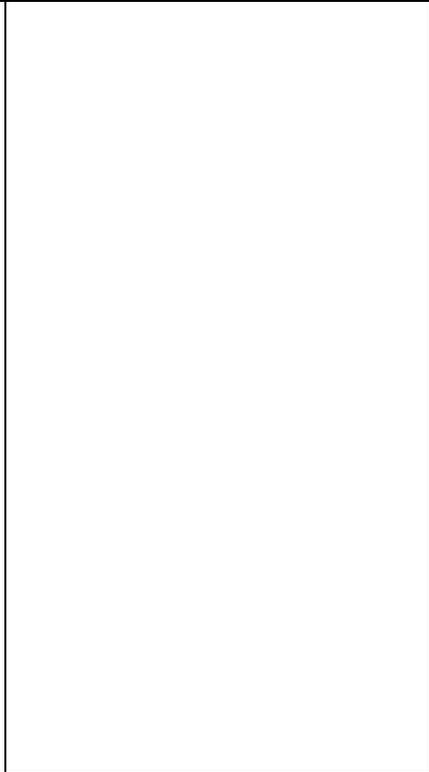
Instalación de Nuevos sensores, Qtr 8RC y modulo REFID, Sensores de Proximidad, Sistema de Locomoción en versión final del Robot

Instalación de sistema de Alimentación y sistema de Audio en versión final del prototipo



Ensamble final del prototipo
se ubicaron todos los sensores,
carcasa de protección y
sistemas de audio internos

Instalación de Bastón para
Usuario que incorpora un
botón auxiliar para arranque y
parada y un parlante auxiliar

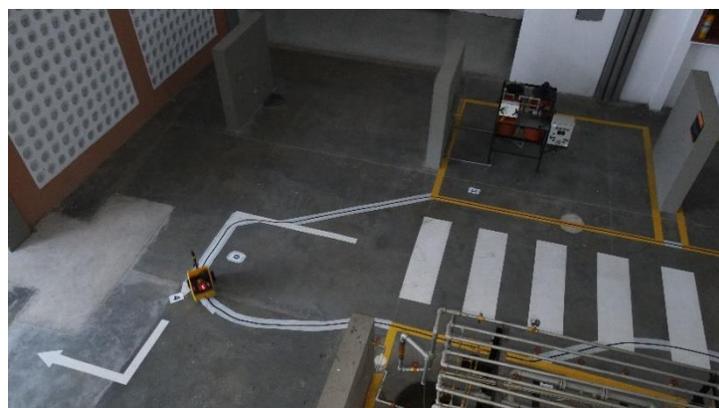


Apéndice C

Fotografías de la realización de las pruebas de campo del robot lazarillo.



Se realizan Pruebas del Robot, las cuales fueron muy consistentes como se indica en la parte de resultados

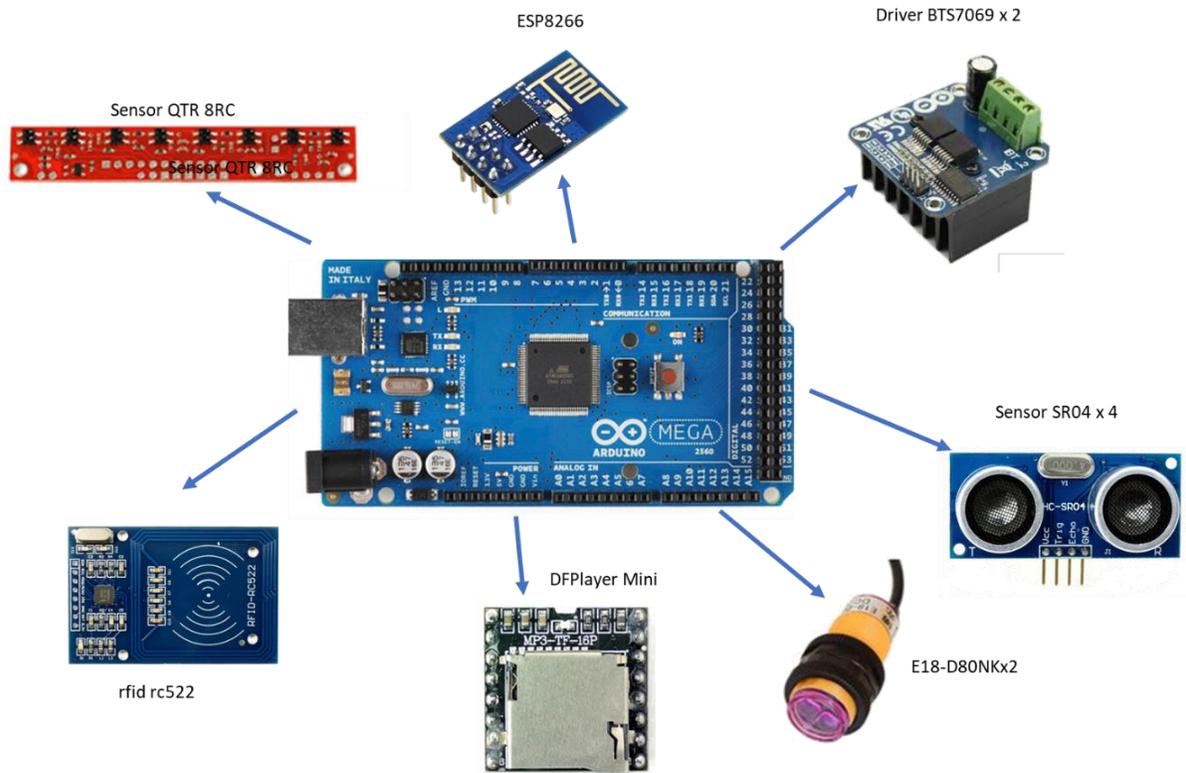


Prueba de robot Sin Usuario, desplazamiento autónomo solo con envío de comandos

Enlace de videos Con realización de Pruebas en Campo:	
Pruebas 1: https://youtu.be/IVXqwxDetY0	
Pruebas 2: https://youtu.be/fbab7eTWvhY	

Apéndice D

Diagrama de elementos principales implementados



Apéndice E

Diagrama esquemático del circuito

