



**DESARROLLO DE UN LAZARILLO ROBÓTICO QUE GUIE A UNA PERSONA
DENTRO DE UN LUGAR ESPECÍFICO**

**ELIANA LICETH CANO SARMIENTO
JULIETH CAMILA CUBIDES BERNAL
FERLEIN GONZÁLEZ PÉREZ**

**UNIVERSIDAD ECCI
COORDINACIÓN DE INGENIERÍA BIOMÉDICA
PROGRAMA DE INGENIERÍA BIOMÉDICA
BOGOTÁ, D.C.**

2018

**DESARROLLO DE UN LAZARILLO ROBÓTICO QUE GUIE A UNA PERSONA
DENTRO DE UN LUGAR ESPECÍFICO**

ELIANA LICETH CANO SARMIENTO

JULIETH CAMILA CUBIDES BERNAL

FERLEIN GONZÁLEZ PÉREZ

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Biomédico

Asesora

MSc. Ingrid Mercedes Cruz Bernal

Co asesora:

María Antonieta Dussan Álvarez.

UNIVERSIDAD ECCI

COORDINACIÓN DE INGENIERÍA BIOMÉDICA

PROGRAMA DE INGENIERÍA BIOMÉDICA

BOGOTÁ, D.C.

2018

Nota de aceptación:

Firma del Jurado

Firma del Jurado

Bogotá, 31 de agosto de 2018

DEDICATORIA

*Que tus sueños y tus ganas de triunfar sean tan grandes
que ningún obstáculo te pueda derrumbar...*

*Dedico este logro y esfuerzo realizado a mis padres
GERMÁN ALBERTO CANO GÓMEZ y MARTHA INÉS
SARMIENTO, a mi hermana LAURA CATALINA CANO
SARMIENTO quienes son mis pilares, ejemplo y mayor
motivación, y las personas que han sacrificado todo por
darme la oportunidad de estudiar una carrera profesional
y que gracias a su apoyo, dedicación y amor hoy me
acompañan a alcanzar esta meta.*

*También dedico este logro a mis abuelas y a mi padrino
que, aunque no estuvieron presentes para verme escalar
este peldaño desde el cielo siempre me dieron fortaleza
para nunca desfallecer en el transcurso de mi vida
universitaria y por último a mi tía MARTHA CECILIA
CANO GÓMEZ quien siempre ha estado para mi
incondicionalmente*

Eliana Liceth Cano Sarmiento

DEDICATORIA

A Dios por haberme permitido llegar hasta este punto y haberme dado salud para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad y amor.

A mis padres por ser el pilar fundamental en todo lo que soy, en toda mi educación, tanto académica, como de la vida, pues todo lo que soy ha sido gracias a ellos.

A mis tíos Marleyda y Alfonso por su incondicional apoyo perfectamente mantenido a través del tiempo.

Todo este trabajo ha sido posible gracias a ellos.

A mis amigos por los momentos compartidos pues cada uno fue motivo de aprendizaje, hicieron del camino toda una aventura.

Finalmente quiero agradecer a mis maestros que estuvieron a lo largo de este proceso, quienes dejaron huella en una de las mejores etapas de mi vida.

Julieth Camila Cubides Bernal

DEDICATORIA

*He llegado al final de este camino y en mi han quedado
huellas profundas de este recorrido.*

*Como un testimonio de gratitud por haber significado la
inspiración que necesitaba para terminar esta etapa de mi
vida dedico este trabajo a cada una de las personas que
me han acompañado en este largo camino...*

*En especial a mi madre a quien le debo lo que soy, a
Diana por darme el valor y la fuerza cuando más lo
necesito, a Alice porque llegaste en el momento perfecto
a mi vida...*

Ferlein Gonzalez Pérez

AGRADECIMIENTOS

Este proyecto no se habría podido realizar sin la voluntad de DIOS y la generosa colaboración de muchas personas a quienes expresamos nuestro agradecimiento.

A nuestros padres y familiares quienes nos infundieron la responsabilidad y el valor que guían el transitar por la vida de cada uno...

Deseamos también extender un especial reconocimiento a quienes colaboraron en este propósito, por el respaldo e interés demostrado para la culminación y difusión de este proyecto:

A la Ing. Ingrid Mercedes Cruz Bernal por su magnífica paciencia y predisposición permanente e incondicional en aclarar las dudas y por su apoyo durante la redacción del documento, por su amistad.

A los docentes que durante estos últimos años nos guiaron en este proceso de formación.

A Erika Moreno Coordinadora de los laboratorios de UNIMINUTO por permitirnos desarrollar y probar el prototipo...

...A todos ustedes mil GRACIAS.

Contenido

	<u>Pág.</u>
Resumen.....	XV
Introducción	18
1. Planteamiento del Problema	20
1.1 Descripción del problema.....	20
1.2 Formulación del problema.....	23
2. Objetivos.....	24
2.2 Objetivo general	24
2.3 Objetivos específicos.....	24
3. Justificación.....	25
3.1 Delimitación	25
4. Antecedentes.....	27
4.1 Chaleco	27
4.2 Bastón	29
4.3 Lazarillo robótico	30
4.4 Trekker Breeze	30
4.2 DAO Dispositivo para la alerta de obstáculos.....	33
5. Marco teórico	34
5.1 Anatomía del ojo	34
5.1.1 Sistema lagrimal.....	35

5.1.2	Esclerótica.....	36
5.1.3	Vítreo y retina.....	36
5.1.4	Úvea.....	36
5.1.5	Músculos extraoculares.....	37
5.1.6	Conjuntiva.....	38
5.1.7	Macula.....	38
5.1.8	Nervio óptico.....	38
5.1.9	Pupila.....	38
5.1.10	Parpados.....	39
5.1.11	Cristalino.....	39
5.1.12	Cornea.....	39
5.2	Patologías.....	40
5.2.1	Las cataratas.....	40
5.2.2	El glaucoma.....	41
5.2.3	La degeneración macular.....	41
5.2.4	Tracoma.....	42
5.2.5	Oncocercosis.....	42
5.2.6	Las ametropías.....	42
5.2.7	Retinopatía diabética (RD).....	42

5.2.8	Alteraciones de refracción.....	42
5.2.9	Alteraciones corneales.....	44
5.2.10	Patologías congénitas del iris.	44
5.2.11	Alteraciones del color.....	44
5.3	Herramientas.....	45
5.3.1	Bastón Blanco.	45
5.3.2	Perro Lazarillo.....	46
5.4	Fundamentación Electrónica	50
5.4.1	Tarjeta desarrollo arduino.	50
5.4.2	Bluetooth.....	50
5.4.3	Servomotor.....	51
5.4.4	Comunicación I2C.....	52
5.4.5	Puente H.	54
5.4.6	Baterías lipo.....	55
5.5	Marco legal.....	55
6.	Metodología.....	64
6.1	Desarrollo Mecánico.....	67
6.1.1	Extremidades.....	67
6.2	Desarrollo electrónico.....	69

6.3	Programación.....	71
6.3.1	Lenguaje.....	71
6.3.2	Análisis de funciones	71
6.3.3	Descripción.....	73
7.	Resultados.....	77
7.1	Peso final prototipo.....	77
7.2	Comunicación interna.....	78
7.3	Asignación de funciones.....	79
7.4	Implementación marcha y giros	79
7.5	Baterías	82
7.6	App para usuario invidente.....	82
7.7	App administrativa para control remoto.....	84
7.8	Arnés.....	85
7.9	Rutas	86
8.	Presupuesto del prototipo	91
9.	Conclusiones.....	95
	Referencias	100

Lista de figuras

	<u>Pág.</u>
Figura 1 Personas con limitaciones permanentes. Fuente: (Discapacidad Colombia, 2016)...	20
Figura 2 Limitaciones por departamento y población. Fuente: (Discapacidad Colombia, 2016)	21
.....	21
Figura 3 Lugares con barreras para las personas con discapacidad. (Discapacidad Colombia, 2016)	23
Figura 4 Diseño Chaleco (Cipriano Martinez & Perez Canseco, 2014)	27
Figura 5 APPDIVI. (Cipriano Martinez & Perez Canseco, 2014)	28
Figura 6 Bastón con ultrasonido. (Ribón Barrios, 2015)	29
Figura 7 Perro Lazarillo Japonés Robot (Ribón Barrios, 2015).....	30
Figura 8 Puntos de delimitación geográfica para algoritmo (Camargo, Gonzalez, Segura, Garay, & Rincon, 2017).....	31
Figura 9 Trekker Breeze - GPS portátil que habla. (Aguayo, 2016).....	32
Figura 10 Dispositivo para la alerta de obstáculos (DAO). (Alejandro & Roberto, 2006).....	33
Figura 11 Ojo Humano (Loayza Villar, 1996).....	35
Figura 12 Comparativo Cataratas (cocnoticias.com, 2016)	40
Figura 13 Degeneración macular húmeda y seca	41
Figura 14 Alteraciones de refracción (ClinicalveoSalud, 2017).....	43
Figura 15 Bastón Blanco (Cipriano Martinez & Perez Canseco, 2014)	45
Figura 16 Perro Lazarillo	47
Figura 17 Posición vs Pulso (Anonimo, 2010)	52

Figura 18 Diagrama Puente H (Unicrom, 2016).....	54
Figura 19 Diseño Metodológico (Autores).....	65
Figura 20 Diseño Final Prototipo Asistente Robótico (Autores).....	66
Figura 21 Extremidades Delanteras (Autores).....	68
Figura 22 Extremidades traseras (Autores).....	68
Figura 23 Bloque electrónico 1 (Autores).....	70
Figura 24 Bloque electrónico 2 (Autores).....	70
Figura 25 Bloque electrónico 3 (Autores).....	71
Figura 26 Ruta recepción (Autores).....	74
Figura 27 Ruta ascensor (Autores).....	75
Figura 28 Ruta salón (Autores).....	76
Figura 29 Prototipo sin giro (Autores).....	79
Figura 30 Marcha (Autores).....	80
Figura 31 Prototipo con giro (Autores).....	81
Figura 32 Pantallazo aplicación usuario (Autores).....	83
Figura 33 Pantallazo aplicación control remoto (Autores).....	84
Figura 34 Arnés (Autores).....	86
Figura 35 Rutas recepción (Autores).....	87
Figura 36 Rutas ascensor (Autores).....	88
Figura 37 Rutas salón (Autores).....	89

Lista de tablas

	<u>Pág.</u>
Tabla 1 Normograma (Autores).....	63
Tabla 2 Componentes (Autores)	69
Tabla 3 Resultado recorrido recepción (Autores)	87
Tabla 4 Resultado recorrido ascensor (Autores).....	88
Tabla 5 Resultado recorrido salón (Autores)	90
Tabla 6 Software utilizado para el desarrollo del proyecto.....	91
Tabla 7 Rubros de dispositivos usados. Fuente: Autor	91
Tabla 8 Rubros de dispositivos usados que presentaron averías. Fuente: Autor	92
Tabla 9 Herramientas requeridas en el desarrollo del proyecto. Fuente: Autor.....	92
Tabla 10 Lista de consumibles. Fuente: Autor.....	93
Tabla 11 Distribución presupuestal de la mano de obra	93
Tabla 12 Totalidad presupuestal del desarrollo de proyecto.....	94

Resumen

Uno de los principales aspectos que genera dificultades en una persona en condición de discapacidad visual es la movilidad, puesto que la mayoría de los casos los lugares públicos por lo general no presentan una estructura idónea y no cumplen con las características de diseño competente que facilite las condiciones de desplazamiento e interacción para esta población. Con el paso de los años se han desarrollado diferentes mecanismos que han permitido mitigar las barreras que se presentan al momento de movilizarse para persona con discapacidad visual: Bastones, chalecos, (Global Positioning System) GPS, dispositivos capaces de detectar objetos por medio de ultrasonido o perros lazarillos. Sin duda alguna, este último ha representado una de las mejores opciones para la guía de personas invidentes, aunque existen limitaciones frente al acceso de estos lazarillos en ciertos lugares como las entidades prestadoras de servicios de salud ya que estos poseen protocolos de seguridad con el paciente en lo referente a salubridad y epidemiología adicionalmente la mayoría de la población con discapacidad visual suele tener un índice socio económico bajo por lo que es casi imposible para ellos mantener un perro. Ante lo cual surge la idea de desarrollar un prototipo de lazarillo robótico que permita guiar a una persona con condición de discapacidad visual inicialmente a través de un lugar específico donde la inversión la realiza el lugar y no el usuario.

En el desarrollo del presente trabajo se muestra cada una de las etapas metodológicas efectuadas para llevar a cabo la construcción del asistente robótico, asimismo se exponen las diferentes modificaciones y adecuaciones de la estructura mecánica y los bloques electrónicos que permitieron el dinamismo al momento de guiar al paciente y posteriormente se registran los

resultados obtenidos estadísticamente en la realización de cada una de las pruebas, representando el funcionamiento adecuado del prototipo.

Palabras clave: *prototipo, lazarillo, invidente, robótico, guía.*

Abstract

One of the main aspects that generates difficulties in a person with a visual disability is mobility, since most of the cases public places do not usually have a suitable structure and do not meet the characteristics of competent design that facilitates the displacement and interaction conditions for this population. Over the years, different mechanisms have been developed that have mitigated the barriers that arise when mobilizing for people with visual impairment: Canes, vests, (Global Positioning System) GPS, devices capable of detecting objects by means of ultrasound or guide dogs. Undoubtedly, the latter has represented one of the best options for the guidance of blind people, although there are limitations to the access of these guides in certain places such as health service providers since they have security protocols with the patient in terms of health and epidemiology, the majority of the population with visual disabilities usually have a low socio-economic index, making it almost impossible for them to maintain a dog. Before which comes the idea of developing a prototype of robotic guide that allows guiding a person with visual impairment initially through a specific place where the investment is made by the place and not by the user.

In the development of this work, each of the methodological steps carried out to carry out the construction of the robotic assistant is shown, as well as the different modifications and adaptations of the mechanical structure and the electronic blocks that allowed the dynamism to guide the patient and subsequently the results obtained statistically are recorded in the performance of each of the tests, representing the proper functioning of the prototype.

Keywords: *prototype, guide, blind, robotic, guide.*

Introducción

La ceguera es definida como la carencia total de la visión, independiente del tipo de lesión que presente el paciente. En Colombia existen alrededor de 2.632.255 personas en condición de discapacidad cualquier tipo y 1.143.992 pertenecen a la cifra de personas con discapacidad visual, según las estadísticas realizadas por el DANE esta es la discapacidad con más prevalencia en el país. (Discapacidad Colombia, 2016)

La población con discapacidad visual presentan diferentes limitaciones en cuanto a la movilidad, siendo los ambientes externos los sitios donde mayor dificultad encuentran para tal actividad, lo cual se ha mejorado en cierto porcentaje por el uso de bastones o perros lazarillo; estos últimos son una opción que generan efectividad a la hora de desplazarse de un lugar a otro, logrando mayor interacción con su entorno; no obstante presenta algunas limitaciones en cuanto al acceso a cierto lugares o ambientes específicos, esto origina un obstáculo para garantizar la total autonomía de una persona invidente.

De acuerdo a lo anterior, se requieren soluciones que permitan a una persona con esta discapacidad ingresar a aquellos sitios donde un perro guía no pueda cumplir sus funciones o que la persona no cuente con dicha compañía. A partir de la identificación de este problema, surge la idea de crear un lazarillo robótico para servir como guía a personas invidentes.

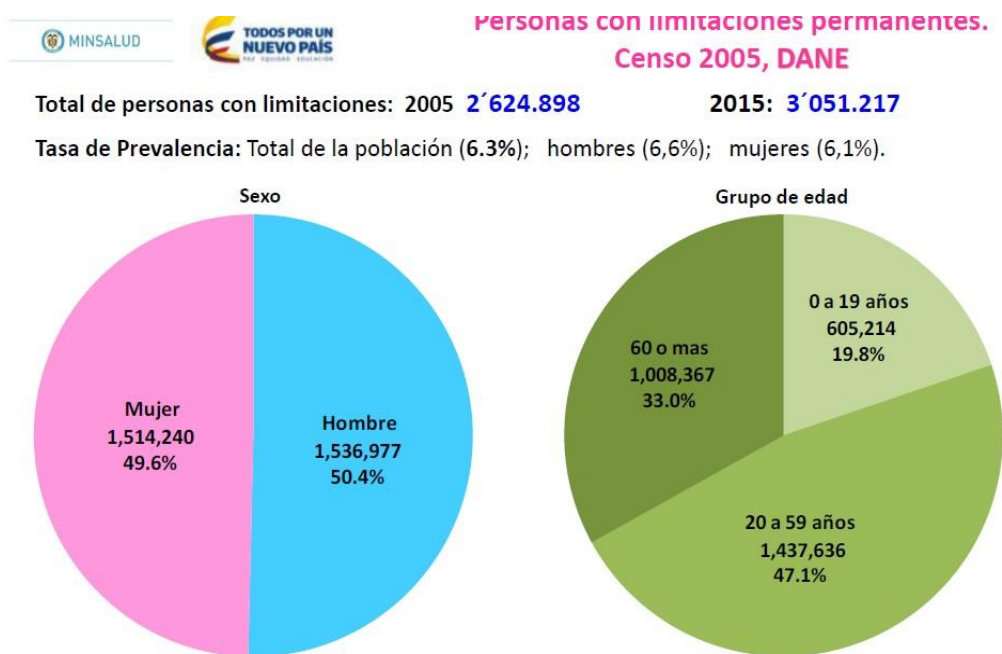
En el presente documento se muestra el proceso para la ejecución de un prototipo de lazarillo que tenga la capacidad de guiar a una persona con discapacidad visual a través de un lugar

específico; teniendo en cuenta de esta manera la caracterización del lugar donde trabajará el prototipo y el análisis de las características físicas de un lazarillo y su relación con el usuario. El desarrollo del prototipo inicia con las investigaciones previas las cuales antepone los parámetros a tener en cuenta para el diseño de la estructura del robot. Se documenta el proceso de construcción pasando por ciertas etapas como lo son el desarrollo mecánico, desarrollo electrónico y programación; finalmente las pruebas de funcionamiento con su respectivo análisis para encontrar la factibilidad del proyecto evidenciando los resultados y hallazgos obtenidos a lo largo de todo el proceso de ejecución, cumpliendo así con los objetivos planteados.

1. Planteamiento del Problema

1.1 Descripción del problema

El panorama de la discapacidad en Colombia se orienta en función de las estadísticas del Censo General de 2005 (Discapacidad Colombia, 2016) (Figura 1), si bien ofrece una idea sobre las condiciones de vida de la población con discapacidad, hoy en día está desactualizado y no permite hacer una lectura consistente con la perspectiva de la CIF (International Classification of Functioning, Disability and Health), en la actualidad.



Las personas con limitaciones, según el censo DANE, **no presentan diferencias** notorias entre *hombres* y *mujeres* y en cuanto a *grupos de edad*, presentaron un **comportamiento similar** al de la población general.

Fuentes: DANE, Censo 2005, Población con limitaciones.

Gráficos: MSPS, Oficina de Promoción Social.

Figura 1 Personas con limitaciones permanentes. Fuente: (Discapacidad Colombia, 2016)

La pérdida de la visión y la ceguera se mantiene como uno de los índices con mayor discapacidad a nivel mundial. Asimismo, un informe del Ministerio de Salud y Protección Social del año 2016, se estima que hay 7000 colombianos ciegos por cada millón de personas.

La literatura muestra que la prevalencia de ceguera en ambos ojos en Colombia es para las mujeres; Entre las personas con discapacidad incluidas al RLCPD (Registro para la Localización y Caracterización de Personas con discapacidad) a julio de 2015, la población con alguna discapacidad en los ojos representa el 13,8% de la población total con algún tipo de discapacidad en Colombia. (Discapacidad Colombia, 2016)

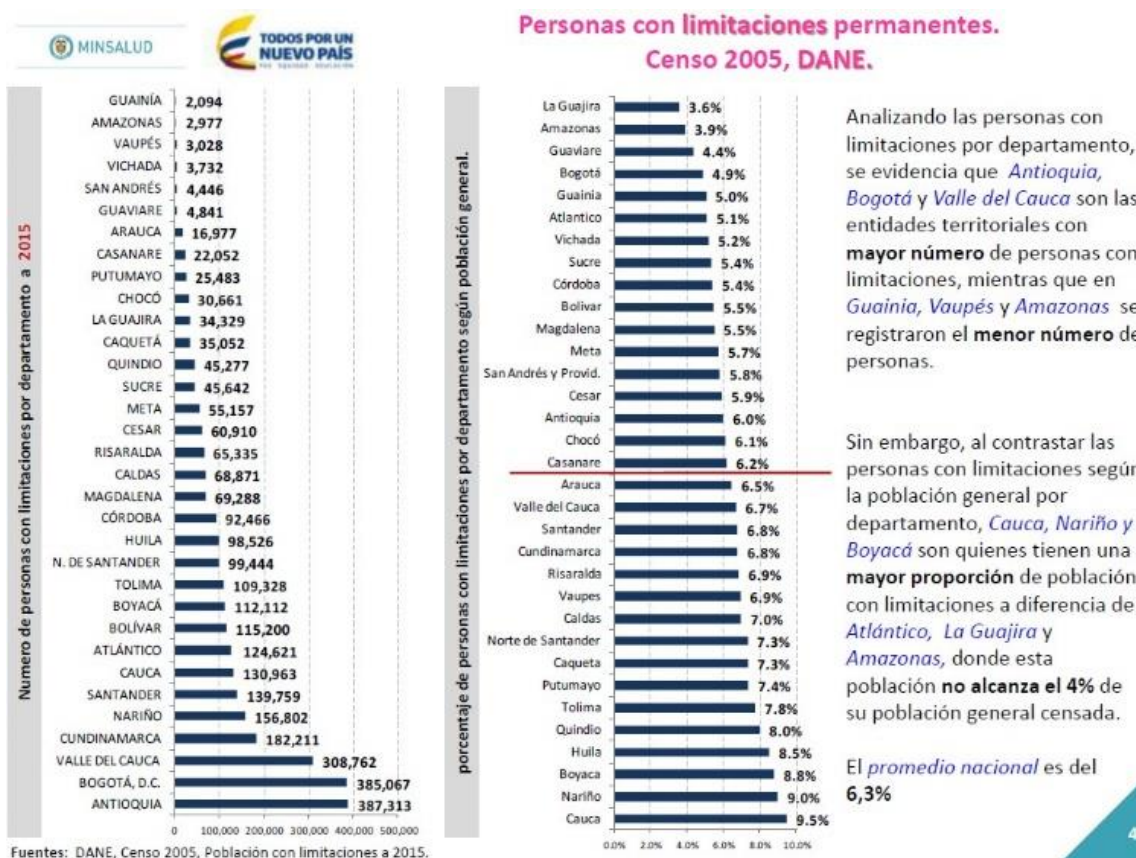


Figura 2 Limitaciones por departamento y población. Fuente: (Discapacidad Colombia, 2016)

En consecuencia, de la Figura 2 se asume que en Bogotá existe un número superior a 75000 personas invidentes y adicionalmente analizando la información obtenida de la Figura 3, se establece que actualmente la mayoría de instituciones (en especial las que presentan estructuras antiguas) y falencias de infraestructura para lograr el adecuado desarrollo y libre movilidad de una persona con discapacidad visual, por eso en el desarrollo de este proyecto se resaltara la importancia en primer lugar a la Constitución Política de Colombia que consigna los derechos de las personas y en especial en el artículo 47 que establece el manejo que el Estado le dará a lo referente con la prevención, rehabilitación e integración social de personas con discapacidades. Asimismo, en el proyecto se destacarán leyes como la 1618 de 2013, la ley 1538 de 2005, la ley 1680 de 2013 y el decreto 1006 de 2004, normativas que se enfocan en la discapacidad, las políticas nacionales a favor de los discapacitados, el Instituto Nacional para Ciegos y finalmente se enfatizará en el Decreto 1538 de 2005 que define los conceptos usados frente a las discapacidades, habla de la accesibilidad a los espacios públicos por parte de personas discapacitadas y el decreto 1660 de 2003 que reglamenta la accesibilidad al transporte por parte de los discapacitados y de los requisitos que deben cumplir los perros lazarillos. (Discapacidad Colombia, 2016)



Figura 3 Lugares con barreras para las personas con discapacidad. (Discapacidad Colombia, 2016)

1.2 Formulación del problema

¿Se puede diseñar e implementar un prototipo de lazarillo robótico que sea capaz de guiar a una persona invidente en un edificio específico facilitando su desplazamiento?

Aunque la normatividad en Colombia se ha actualizado con relación a la infraestructura, aún quedan vigentes edificaciones donde el acceso y la fácil movilidad de las personas con discapacidad visual es limitado, adicionalmente el cambio constante en la distribución de los espacios dificulta la adaptación de una persona con discapacidad visual al edificio o lugar específico, por lo que la implementación de un robot (lazarillo robótico) mejoraría la calidad del servicio prestado a dicha población reduciendo los riesgos de accidente.

2. Objetivos

2.2 Objetivo general

Desarrollar un prototipo de asistente robótico que emule los parámetros de desplazamiento de un perro lazarillo para una persona con discapacidad visual dentro de un lugar específico.

2.3 Objetivos específicos

- Analizar el comportamiento de los perros lazarillos para la identificación de parámetros a usar en el prototipo.
- Reconocer la infraestructura y planos del sitio que se le preestablecerá al asistente robótico.
- Diseñar los circuitos, mecanismos y programación que permitan el adecuado funcionamiento del prototipo.
- Validar el prototipo mediante pruebas de funcionamiento del asistente robótico.

3. Justificación

Este proyecto se origina a partir de dos necesidades fundamentales como permitir el acceso y fácil movilización de personas en condición de discapacidad visual, generando nuevas oportunidades para dicha población. Igualmente, que las instituciones de salud cuenten con las condiciones necesarias para la movilidad de personas invidentes

Del mismo modo, este proyecto surge de la necesidad de incorporar nuevas tecnologías que permitan desarrollar un mecanismo que cumpla los criterios y características que tiene un perro lazarillo, toda vez que en la actualidad los avances o proyectos enfocados a las personas con discapacidad visual no otorgan al paciente la facilidad de ubicarse y guiarse en un entorno determinado de manera independiente, sino que solamente otorgan a la persona la capacidad de detectar obstáculos y/o identificar posibles cambios en el nivel o superficie de los suelos; pero por medio de esta alternativa planteada se garantizaría la fácil movilización al usuario invidente, seguridad, ubicación y guía permanente en un entorno determinado, exactitud en la búsqueda de un sitio específico, afinidad entre persona y dispositivo por su fácil manejo y ajuste a la estatura.

3.1 Delimitación

Se realizará un prototipo; el cual será controlado por una tarjeta de desarrollo, mediante sensores se detectarán obstáculos; con motores y servomotores se controlarán sus movimientos.

Se crea un prototipo de asistente robótico que cumpla las características propias de un lazarillo, cuyas pruebas de funcionamiento se realizan con una persona adulta vidente a la cual se le limita temporalmente todo su campo visual, debido a que no se pueden realizar estos experimentos con

una persona que padezca la patología de ceguera total ya que según normativa se deben tener permisos para la posible interacción entre prototipos y beneficiario.

El prototipo de asistente robótico está acondicionado al edificio del Parque Científico de Innovación Social de la Universidad Minuto de Dios “UNIMINUTO” debido a que este proporciona facilidades de acceso y brinda posibilidad de trabajar en ambientes controlados con y sin obstáculos, igualmente permiten el trabajo colaborativo entre instituciones para el desarrollo del proyecto. El acondicionamiento de la programación y rutas estará dado para los espacios de la recepción ubicada en el primer nivel, ascensor y el tercer nivel.

4. Antecedentes

4.1 Chaleco

Durante las últimas décadas se han desarrollado diferentes prototipos de asistentes robóticos, entre ellos el denominado como “Asistente Portátil Para Discapacitados Visuales (APPDIVI)” (Cipriano Martinez & Perez Canseco, 2014), que basa su funcionamiento en un dispositivo portátil que genera alertas sensoriales y un chaleco (Figura 4) que integra todos los componentes para su fácil funcionamiento y transporte.



Figura 4 Diseño Chaleco (Cipriano Martinez & Perez Canseco, 2014)

El chaleco está compuesto en su parte frontal por un dispositivo móvil, adicional este chaleco tiene compartimentos que contienen actuadores con los que se pretende simular detección de objetivos al nivel de la cabeza, a la mitad del cuerpo o cerca del piso y esto se hace por medio de actuadores que se instalan en hombros, pecho y cintura. Por otra parte, el dispositivo móvil que se implementa captura imágenes, que luego son procesadas para la detección de los objetos y al ser detectados alerta al usuario dependiendo de la oposición y distancia a la que estos se encuentren y

posteriormente el chaleco activa los actuadores que son microvibradores que funcionan como un asistente e indica y toma la mejor ruta que deba seguir el usuario. Otros de los componentes con el que cuenta el prototipo de asistente robótico es un arduino, un sensor de ultrasónico y una batería portátil. (Cipriano Martinez & Perez Canseco, 2014)



Figura 5 APPDIVI. (Cipriano Martinez & Perez Canseco, 2014)

Otras de las características del chaleco (Figura 5) es que tiene un diseño ergonómico, ligero, que evita un esfuerzo excesivo del usuario al momento del usar el sistema. Entre los materiales de elaboración del chaleco se tienen en cuenta la tela Nylon que permite cubrir los componentes sin que sufran daños puesto que es una tela resistente y rígida; tela impermeable que evita el contacto de los componentes del sistema con algunos materiales que podrían dañarlos; tela de malla que se usa para la ventilación de una superficie con el aire, evitando que el calor se concentre en un solo lugar y se maneja principalmente en caso de sobrecalentamiento de algún componente; tela guata que se utiliza en lugares donde va el cableado para que no le sienta el usuario, evitando molestias

al portar el chaleco. Además, se usan cierres plásticos y cierres de metal. Sin embargo, el prototipo anteriormente nombrado, ha sido la base para crear otro en el que se cuenta con una opción que es para activar alertas de voz y alertas de proximidad, además permite habilitar o deshabilitar datos móviles, GPS. (Cipriano Martinez & Perez Canseco, 2014)

4.2 Bastón

En diferentes países los desarrollos más notorios se han realizado a nivel de los bastones blancos; por ejemplo, en la Universidad de San Buenaventura, Colombia, (Ribón Barrios, 2015) se desarrolló un bastón (Figura 6) que por medio de un sensor de ultrasonido detecta la distancia de objetos que pueden llegar a ser obstáculos para el usuario y este es alertado por medio de una pequeña vibración directamente del bastón.



Figura 6 Bastón con ultrasonido. (Ribón Barrios, 2015)

Este diseño se enfoca en la fácil manipulación y transporte del equipo (Ribón Barrios, 2015) afirma:

“Con el desarrollo de este proyecto de grado se contribuirá al mejoramiento de la movilidad de las personas invidentes en Colombia, logrando así transitar en las vías con mayor facilidad, esto sería muy benéfico ya que ellos necesitan de mucha ayuda fuera de sus casas”. (p.13)

4.3 Lazarillo robótico

Si se habla de perros guía el mayor avance tecnológico que se ha hecho frente a esto ha sido por parte de la compañía NSK en conjunto con la Universidad de Electro-comunicaciones de Tokyo quienes han construido un lazarillo (Figura 7) el cual utiliza el Kinect como instrumento de análisis del ambiente que lo rodea para darle al usuario la seguridad e información necesaria para realizar sus recorridos sin ningún tipo de accidentes (Ribón Barrios, 2015).



Figura 7 Perro Lazarillo Japonés Robot (Ribón Barrios, 2015)

4.4 Trekker Breeze

A lo largo de los años se han desarrollado diferentes proyectos enfocados en facilitar la movilidad de las personas invidentes en espacios cerrados y abiertos, entre estos encontramos referentes como el sistemas de alerta de autobuses para pasajeros que permite navegar a personas

ciegas, estos sistemas utilizan sensores inalámbricos para guiar a las personas con discapacidad visual y por medio de unidades de radio frecuencia RF en los buses y estaciones, alertar al usuario de la llegada a la parada del bus que la persona desea tomar mediante de un zumbido, sin embargo este desarrollo no permite la planificación de recorridos. (Camargo, Gonzalez, Segura, Garay, & Rincon, 2017)

Asimismo, se han llevado a cabo sistemas de información, que por medio de Sistemas de posicionamiento global (GPS), Sistemas para comunicaciones móviles (GSM), bluetooth y la comunicación permiten generar mensajes audibles para el usuario, que cuenta con un dispositivo móvil y que es capaz de determinar la posición donde se encuentra en tiempo real. (Markiewicz & Skomorowski, 2010).



Figura 8 Puntos de delimitación geográfica para algoritmo (Camargo, Gonzalez, Segura, Garay, & Rincon, 2017)

Por otro lado, el desarrollo de sistemas para la detección de obstáculos ha sido posible mediante identificación por radiofrecuencia RFID, que permite la identificación de los mismo usando radiofrecuencia, en esta las personas ciegas usan un bastón que está habilitado para que la persona

realice caminatas y así mismo pueda movilizarse en transportes motorizados. (Nassih, Cherradi, Maghous, Ouriaghli, & Salih-Alj, 2012)

Adicionalmente sistemas de navegación autónoma para ciegos han integrado un software a un GPS que se basa en audio para logra la navegación de espacios abiertos y facilitar la orientación y movilidad de las personas ciegas. De esta manera, en Bogotá se ha desarrollado un proyecto enfocado a la orientación de pasajeros en el Sistema Transmilenio usando geolocalización satelital, basada en un algoritmo de ubicación que está delimitado por cuatro puntos específicos (Figura 8) y permite verificar si la posición actual del usuario está situada dentro del área comprendida por el algoritmo. (Camargo, Gonzalez, Segura, Garay, & Rincon, 2017)



Figura 9 Trekker Breeze - GPS portátil que habla. (Aguayo, 2016)

El uso del GPS como base para la creación de interfaces que permitan alertar a las personas con discapacidad visual acerca de la presencia de obstáculos, ha permitido también llevar a cabo desarrollos como el GPS portátil que habla (Figura 9), basado en un asistente digital personal externo (PDA), un receptor que es el GPS y un altavoz conectados por vía bluetooth, que al trabajar

en conjunto informan verbalmente los nombres de las calles, los cruces, puntos de interés, además facilita la planeación de rutas. (Aguayo, 2016)

4.2 DAO Dispositivo para la alerta de obstáculos

Uno de los desarrollos más significativos realizados en Colombia ha sido el dispositivo para la alerta de obstáculos (Figura 10) basado en un sistema electrónico portátil, que integra un emisor y un receptor de ultrasonido y es programado por medio de un microcontrolador; este sistemas de alerta para su funcionamiento y como primera media, trabaja con un emisor que genera ondas ultrasónicas y que al detectar obstáculos son reveladas por el receptor, posterior a la detección de las señales ultrasónicas estas son amplificadas para que se está manera se active la alerta que está diseñada por un motor vibrador que se conecta en la cintura del usuario. (Alejandro & Roberto, 2006)



Figura 10 Dispositivo para la alerta de obstáculos (DAO). (Alejandro & Roberto, 2006)

5. Marco teórico

La discapacidad visual, es un problema que no distingue edad, sexo o clase social. Al hablar de personas que presentan algún tipo de discapacidad visual, se puede referir a las personas que presentan ceguera o baja visión. La discapacidad visual es una condición de vida que afecta la percepción de imágenes en forma total reduciéndose en ocasiones a una mínima percepción de luz, impidiendo a la persona ciega recibir información visual del mundo que le rodea. Por otra parte, la baja visión disminuye la agudeza o el campo visual de la persona; es decir, aquellas personas que presentan una baja visión ven significativamente menos que aquellas personas con una visión normal (Cipriano Martínez & Pérez Canseco, 2014).

La discapacidad visual y la ceguera ocupan los primeros lugares con mayor presencia a nivel mundial y son derivaciones de enfermedades oculares o sistémicas. Cuando hay presencia de la discapacidad visual o de la ceguera afectan principalmente los medios de refracción ocular, el segmento anterior ocular y la dinámica vascular de la retina (Suárez Escudero, 2011).

5.1 Anatomía del ojo

El ojo es el órgano de la visión, es un órgano par, localizado en la cavidad orbitaria junto con sus anexos en una relación anatómica compleja. El ojo pesa 7 a 7.5gr. El ojo está conformado por 3 capas: Cornea- Esclerótica, la úvea y la retina. (Villar, 2008)

Además, se encuentra en el contenido ocular al humor acuoso y al humor vítreo. El primero ocupa la cámara anterior y posterior, delimitadas la primera por la cara posterior de la córnea y cara anterior del iris; y la segunda por la cara posterior del iris y la cara anterior del cristalino.

Posterior al cristalino se localiza el humor vítreo, un gel transparente que le da volumen al globo ocular (Loayza Villar, 1996). El ojo está conformado por la conjuntiva, la córnea, el iris, la pupila, el cristalino, el cuerpo ciliar, la retina, la macula, el nervio óptico, la coroides, la esclera, los músculos extraoculares, los párpados. (Figura 11)

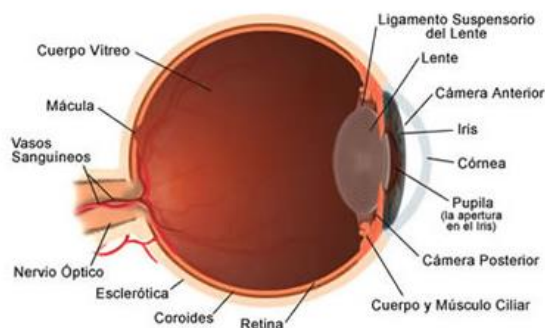


Figura 11 Ojo Humano (Loayza Villar, 1996)

5.1.1 Sistema lagrimal.

El sistema lagrimal está compuesto por las glándulas y vías lagrimales. La glándula lagrimal se compone de dos porciones, la primera por la glándula orbitaria o principal que tiene un aspecto lobulado y en ella por su cara inferior ingresan la vena, la arteria y el nervio lagrimal y la segunda por la glándula lagrimal que desemboca en el fondo de saco conjuntival superior a través de 10 a 12 conductillos (Diccionario Oftalmológico, s.f.). La vía lagrimal está compuesta por: puntos lagrimales, canaliculos lagrimales, canaliculo común, saco lagrimal, canal lacrimonasal, meato inferior, cornea.

5.1.2 Esclerótica.

Es la capa vascularizada protectora del ojo, está formada por colágeno y fibras elásticas y está cubierta por la Capsula de Tenon que es una estructura fibroelástica que actúa como una membrana sinovial, para el movimiento suave del ojo; una parte de su nutrición está a cargo de la epiesclerótica que consta de tejido conjuntivo. El espesor de esta capa varía desde 0,3mm por detrás de la inserción de los músculos rectos hasta 1-1,35mm en el polo posterior. (Diccionario Oftalmológico, s.f.).

5.1.3 Vítreo y retina.

El vítreo es una sustancia transparente semilíquida, que se ubica detrás del cristalino y delante de la retina; su principal proteína es el colágeno. Su volumen es de 4ml, forma el 80% del globo ocular. La retina es la capa más interna de las tres membranas que constituyen el globo ocular, está formada por: epitelio pigmentado, capa de conos y bastones, membrana limitante externa, capa nuclear externa, capa plexiforme externa, capa nuclear interna, capa plexiforme interna, capa de células ganglionares, capa de fibras nerviosas, membrana limitante interna. Sin embargo, cuenta con dos áreas importantes que son la fovea y la papila o disco. (Diccionario Oftalmológico, s.f.)

5.1.4 Úvea.

El tracto uveal es una capa vascular pigmentada, está formada por el iris, el cuerpo ciliar y coroides. Iris: Esta estructura separa las cámaras anterior y posterior del ojo. El músculo dilatador del iris aumenta el tamaño de la pupila (midriasis) y el músculo esfínter lo reduce (miosis). El

tejido del iris está pigmentado a causa de la presencia de melanina; esto da lugar al color del ojo, por el que podemos fácilmente identificar esta estructura. (Figueroba, s.f.)

Cuerpo ciliar: El cuerpo ciliar es una parte del ojo situada entre el iris y la región de la ora serrata en la retina, responsable de la producción del humor acuoso y del cambio de forma del cristalino necesario para lograr la correcta acomodación (enfoque). Está formado por dos estructuras: Los procesos ciliares y el músculo ciliar. (Clínica Rahhal, 2018)

Coroides: Capa de vasos sanguíneos y tejido conectivo que separa la retina y la esclerótica. La coroides provee a la retina de los nutrientes y el oxígeno que necesita para funcionar correctamente, además de mantener una temperatura constante en el ojo. (Figueroba, s.f.)

5.1.5 Músculos extraoculares.

Presentes en el globo ocular se adhieren a él para así poder moverlo. Estos músculos trabajan para rotar y mover el ojo hacia arriba, hacia abajo y hacia los lados. Son seis: Recto interno o medio, recto externo o lateral, recto superior, resto inferior, oblicuo superior o mayor y oblicuo inferior o menor. Cinco de ellos tienen origen en el vértice de la órbita, mientras solo uno el músculo oblicuo inferior, nace en la parte anterior de la órbita. Los cuatro restos y el oblicuo superior lo hacen por un tendón común el anillo de Zinn y entre ellos queda un hueco denominado cono muscular, dentro del cual cruza el nervio óptico, la arteria oftálmica, nervios ciliares, nervios oculomotores, la arteria oftálmica y el simpático. (Diccionario Oftalmológico, s.f.)

5.1.6 Conjuntiva.

Esta membrana reviste la esclerótica. Contribuye en la lubricación y la desinfección del globo ocular ya que produce lágrimas y mucosidad. (Figueroba, s.f.)

5.1.7 Macula.

La mácula ocular o mácula lútea es una de las zonas que adquieren una mayor relevancia dentro del globo ocular. Su apariencia es la de una pequeña mancha de color amarillo que se encuentra en el interior de la retina y nos permite tener la visión de los detalles y el movimiento. Esta zona del ojo es la que consigue que se puedan distinguir las caras y que se desarrolle la lectura sin inconvenientes. (Clínica Rahhal, 2018)

5.1.8 Nervio óptico.

Es el segundo de los doce pares craneales. Se trata de un conjunto de fibras que transmiten los impulsos lumínicos de la retina al quiasma óptico cerebral. Desde este punto la información visual es enviada a otras áreas del cerebro en forma de señales eléctricas. (Figueroba, s.f.)

5.1.9 Pupila.

Existe un orificio circular en el centro del iris que permite regular la cantidad de luz que entra en el ojo al cambiar de tamaño a consecuencia de la midriasis y de la miosis; esta abertura es la pupila, la parte oscura que se sitúa en el centro del iris. (Figueroba, s.f.)

5.1.10 Párpados.

Los párpados son velos músculos membranosos situados de canto en la base de la órbita, por delante del globo del ojo, al que, según las circunstancias, descubren o cubren. Lo descubren para permitir la visión, y lo cubren para protegerlo contra los agentes exteriores y contra los efectos nocivos de una luz demasiado viva.

Los párpados, dos para cada ojo, se designan párpado superior y párpado inferior. El párpado superior es más extenso que el párpado inferior. A pesar de algunas diferencias de detalle, ambos párpados son bastante parecidos. (Figueroba, s.f.)

5.1.11 Cristalino.

El cristalino es la “lente” que se sitúa detrás del iris y permite el enfoque visual. La acomodación es el proceso mediante el cual la curvatura y el espesor del cristalino se modifican para enfocar objetos en función de su distancia. Cuando los rayos de luz atraviesan el cristalino se forma la imagen en la retina. (Figueroba, s.f.)

5.1.12 Cornea

La córnea constituye la parte anterior del ojo y está en contacto con el exterior. Es una estructura transparente que cubre el iris y el cristalino y permite la refracción lumínica. Las lágrimas y el humor acuoso permiten el correcto funcionamiento de la córnea, puesto que realizan funciones equivalentes a las de la sangre. (Figueroba, s.f.)

5.2 Patologías.

La ceguera se presenta en mayor porcentaje en el género femenino y esta se determina debido a la percepción luminosa que una persona tiene y en caso de los invidentes corresponde a una agudeza visual menor de 20/400. Sin embargo, la ceguera está valorada en categorías 3, 4, 5 de severidad. Según la Organización Mundial de la Salud, la ceguera está dada principalmente por 5 patologías las cuales se pueden clasificar de forma descendente según su ocurrencia: Cataratas, ametropías, glaucoma, degeneración macular y opacidades corneales, no obstante, otras patologías como tracoma, ceguera infantil, oncocercosis, retinopatía diabética son fuentes de discapacidad visual y ceguera. (Suárez Escudero, 2011)

5.2.1 Las cataratas.

Se presentan por el envejecimiento, traumas físicos, quemaduras eléctricas, tabaquismo, factores genéticos entre otros. Sin embargo, la manifestación de esta se da por la pérdida de transparencia en el cristalino. (Figura 12). (Suárez Escudero, 2011)

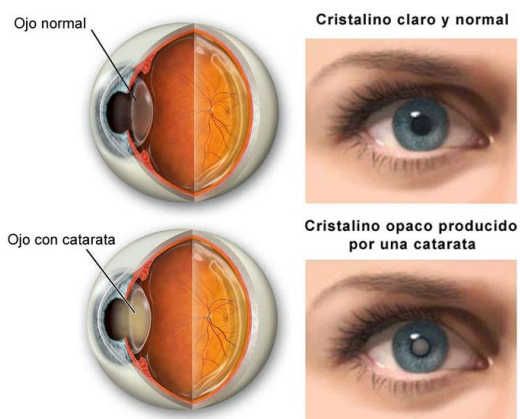


Figura 12 Comparativo Cataratas (cocnoticias.com, 2016)

5.2.2 El glaucoma.

En algunos casos se debe a causas genéticas que dependen del gen de la miocilina, en otra por el aumento de la presión del líquido que se encuentra en el interior de los ojos generando una lesión en el nervio óptico. Este está clasificado en 4 tipos, el primario de ángulo abierto, de ángulo cerrado, congénito y secundario. (Suárez Escudero, 2011)

5.2.3 La degeneración macular.

Esta patología se debe al deterioro de la macula que es la capa amarillenta de tejido que tiene sensibilidad a la luz, esta está ubicada en el centro de la retina. Esta degeneración macular se puede dar de dos tipos húmeda y seca; la seca se da por el deterioro de las células de la macula ocasionando con ello la pérdida de visión central; la húmeda se da porque se desarrollan vasos sanguíneos anormales bajo la macula y producen un goteo de sangre y líquido provocando en primer lugar visión borrosa. (Figura 13). (Suárez Escudero, 2011)

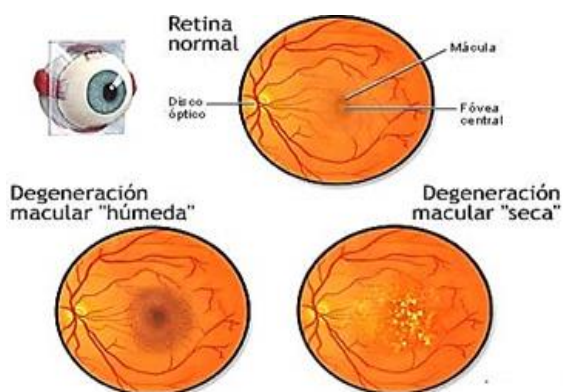


Figura 13 Degeneración macular húmeda y seca.

5.2.4 Tracoma.

Es una patología infecciosa producida por la bacteria *Chlamydia trachomatis*, que afecta la córnea y causa inflamación folicular, cicatrización conjuntival y por ultimo opacidad corneal. La bacteria llega al cuerpo por medio del consumo de agua no potable. (Suárez Escudero, 2011)

5.2.5 Oncocercosis.

Es otra patología infecciosa, denominada “ceguera de río”; es producida por el parásito *Onchocerca volvulus* presente en insectos como la mosca negra, afecta el globo ocular y tejido celular subcutáneo. (Suárez Escudero, 2011)

5.2.6 Las ametropías.

Son un defecto ocular que ocasiona un enfoque inadecuado de la imagen sobre la retina causando una disminución de la agudeza visual. (Suárez Escudero, 2011)

5.2.7 Retinopatía diabética (RD).

Esta patología se presenta en algunos pacientes que padecen de diabetes, esta es causada por daño en los vasos sanguíneos de la retina. A medida que avanza la enfermedad produce cuadros graves como edema macular. (Suárez Escudero, 2011)

5.2.8 Alteraciones de refracción.

Esta clase de trastornos oculares se basan principalmente en la imposibilidad del ojo para enfocar bien (Ministerio De Educación). Entre estas alteraciones encontramos: la presbicia,

patología que se manifiesta por la dificultad de ver de cerca; esta se origina por la fatiga del musculo ciliar y el aumento de la rigidez del cristalino. (Suárez Escudero, 2011)

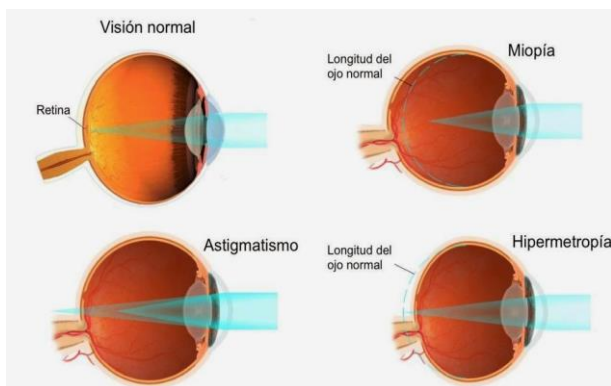


Figura 14 Alteraciones de refracción (ClinicalveoSalud, 2017)

También se encuentra la hipermetropía que se presenta por que los rayos que inciden en el ojo se focalizan detrás de la retina del ojo; causando con esto dificultad y mala visión de cerca. La miopía, que es un trastorno ocular que se manifiesta de forma contraria a la presbicia, en este los pacientes tienen dificultad para ver de lejos. Esta se clasifica en dos, la miopía simple y degenerativa; en la miopía degenerativa o maligna puede generar otras patologías como cataratas y glaucoma que son las principales causantes de discapacidad visual. Por último entre las alteraciones de refracción contamos con el astigmatismo que se da por la alteración de los rayos de curvatura de la córnea; en esta patología los rayos que inciden en el ojo no se reúnen en la retina. El astigmatismo produce en el paciente visión defectuosa tanto cerca como lejos. (Figura 14) (Suárez Escudero, 2011)

5.2.9 Alteraciones corneales.

Se presenta por irregularidades en la superficie corneal o por pérdida de transparencia. Estas alteraciones pueden ser de dos tipos; las distrofias corneales, que son patologías que suelen darse por distorsión en el campo visual y producen disminución de la agudeza visual o el leucoma que es una alteración en la transparencia de la córnea que se produce por herpes, sarampión, accidentes oculares. (Suárez Escudero, 2011)

5.2.10 Patologías congénitas del iris.

Estas irregularidades se presentan en uno de los elementos del sistema óptico, que es la membrana circular y coloreada del ojo conocida como iris. Entre las patologías encontramos el coloboma que es la malformación congénita en el iris por falta de desarrollo y esta causa una hendidura. Y la aniridia que es la malformación hereditaria y congénita, esta se da por la ausencia parcial o total de iris o del tejido pigmentado detrás de la córnea. Origina una disminución de la agudeza visual. (Suárez Escudero, 2011)

5.2.11 Alteraciones del color

En estas se encuentran la acromatopsia que es una enfermedad congénita hereditaria que se manifiesta por la malformación de los conos oculares por la invalidez de distinguir colores y la discromatopsia que es que es la reducción de la capacidad de diferenciar los colores.

Por último, es importante resaltar que la baja visión irreversible es una alteración de la función visual, que tiene diferentes grados de dificultad, esta anomalía no tiene tratamientos médicos o

quirúrgicos. La baja visión irreversible tiene causas como la diabetes, hipertensión arterial y otras patologías asociadas a los ojos (Ministerio De Salud, 2008).

5.3 Herramientas

La persona con discapacidad visual cuenta con diversas técnicas para desplazarse de un punto de partida hacia un destino, de esta forma puede esta persona permanecer orientado mientras hace un recorrido cualquiera.

5.3.1 Bastón Blanco.

El bastón blanco es un instrumento que ayuda a la persona con discapacidad visual a dar una mayor movilidad para que puedan desplazarse con más autonomía y seguridad, el cual le permite identificar objetos próximos, así como, protegerse de aquellos que puedan ser in obstáculo para su recorrido habitual. (Cipriano Martinez & Perez Canseco, 2014)



Figura 15 Bastón Blanco (Cipriano Martinez & Perez Canseco, 2014)

Para la mayoría de la gente, incluso para muchos profesionales, el bastón blanco es un instrumento con el cual las personas ciegas se identifican y que les sirve para detectar obstáculos.

Lo que se ignora es que el bastón se utiliza con una técnica determinada, que debe ser adecuado a la altura de la persona, que hay diferentes modelos y que no sólo lo utilizan las personas totalmente ciegas. Se conoce como bastón largo, o de Hoover, o de movilidad, generalmente se fabrica con tubos de aluminio hueco recubierto con material plástico. En el extremo inferior tiene una puntera metálica recambiable y en el superior una empuñadura que idealmente debe ser de goma para facilitar la toma. Puede ser rígido o plegable. Este último modelo trae en su interior un elástico grueso que posibilita su plegado generalmente en cuatro tramos. Con respecto a las ventajas y desventajas de uno y otro modelo podemos decir que el rígido es más durable y transmite mejor las sensaciones táctiles mientras que el plegable se destaca por su portabilidad siendo ideal para quien no necesita usarlo de forma permanente (por ejemplo, quien posee ceguera nocturna). (Cipriano Martinez & Perez Canseco, 2014)

En cuanto a la medida, debe llegar hasta la apófisis xifoides del esternón, siendo las medidas más comunes 1.05; 1.10; 1.15 y 1.20 metros. Es muy importante respetar la altura apropiada para cada persona ya que un bastón muy corto no permitirá anticipar lo suficiente los obstáculos u obligará a posturas incorrectas con el consiguiente perjuicio físico mientras que un bastón muy largo resultará incómodo y tampoco permitirá la toma correcta. (Ribón Barrios, 2015)

5.3.2 Perro Lazarillo

Los perros lazarillos o perros de asistencia son animales los cuales prestan sus servicios para ayudar a una persona con discapacidad física sensorial o cognitiva. El movimiento de perros guía se originó en Alemania por el creciente número de soldados alemanes que resultaron ciegos

durante la contienda en la Primera Guerra Mundial; la primera escuela de perros guía abrió sus puertas en 1916 en Oldenburg, Alemania. Al obtener buenos resultados pronto se abrirían más escuelas para el entrenamiento de perros guía. (Paz, 2018)



Figura 16 Perro Lazarillo

Existen diferentes aspectos que condicionan la manera en que la persona invidente y el perro guía se relacionan para poder tener una experiencia adecuada en el momento de usar este servicio, por ejemplo, el lazarillo debe mantenerse en el lado izquierdo de la persona ciega y camina paralelo. Cuando camina la persona debe situarse a la altura de los cuartos traseros del perro (posición guía), esto da un tiempo de reacción de 2 a 3 segundos que permite a la persona ciega reaccionar ante cualquier cambio de dirección del perro o ante una parada repentina (bordillo, escalón, paso estrecho); para que resulte más sencillo realizar la comunicación entre el usuario y el lazarillo el arnés que esta puesto en el perro debe también cumplir con unas características específicas, este se encuentra dividido en dos partes, el cuerpo el cual debe ser de cuero que rodea el pecho del animal y el asa que es de metal el cual se ajusta a las diferentes posiciones; El perro siempre debe caminar en esa posición de guía y proporcionar una tensión suficiente para que la persona ciega pueda seguirla, sin llegar a ser fuerte dado que resultaría extremadamente incomoda

y podría llegar a producir problemas o dolores de espalda e incluso deteriorar todos los aspectos de trabajo del perro guía (incremento de los niveles de estrés e incremento de errores, dificultad de control.) (Paz, 2018)

El perro guía es un instrumento de movilidad personal (intransferible y monoplaza). Una de las características de la movilidad con perro guía es que la persona ciega no tiene contacto físico con el entorno, se eliminan las referencias táctiles que puede obtener con el bastón y ha de utilizar las referencias auditivas o cambios de superficie para poder determinar su situación en el entorno. Los únicos puntos de referencia y orientación, que se mantienen estables en el entorno son el tráfico, los cambios de superficie, otros sonidos u olores. Por esta razón se adiestra al animal siguiendo el principio de la línea recta para facilitar la movilidad independiente y segura de la persona ciega. Alrededor de todo lo que ocurre entre el perro guía y el usuario existen factores de distracción que dificultan de alguna manera que el animal desarrolle de manera eficaz esta labor, puesto que el perro guía al ser un ser vivo y aunque ha sido entrenado se ve afectado por su entorno. (Paz, 2018).

Otro aspecto de relevancia en el perro lazarillo es el adiestramiento y las etapas que esto conlleva, para que de tal manera sea el instrumento de guía para la persona invidente. En el adiestramiento del perro guía, aun siendo un proceso continuo de aprendizaje, podemos diferenciar tres etapas:

La primera etapa corresponde a la fase de habituación que va desde las seis semanas al año de edad. Abarca los periodos críticos en el desarrollo del cachorro. El perro se habitúa a las

situaciones, objetos y sonidos comunes del hogar y alcanza un nivel de obediencia básica. Aprende a caminar de la correa, en el lado izquierdo, y sin excesiva tensión. Aprende a ser limpio en la casa, a no ser destructivo, se le introduce en los transportes públicos. (Paz, 2018)

La siguiente etapa representa el adiestramiento específico en el cual en el año de edad al año y medio o dos años. Se progresa desde la obediencia básica al adiestramiento específico (línea recta, bordillos, obstáculos, etc.). Inicialmente se moldea la respuesta deseada y progresivamente se le pasa más y más responsabilidad al perro, se aplica el condicionamiento instrumental y se expone al perro a situaciones cada vez más difíciles, que ha de resolver. Al final de esta etapa el adiestrador trabaja con un antifaz, en distintos entornos para comprobar la capacidad del perro para asumir la responsabilidad de guía. (Paz, 2018)

Por último, en la etapa final que refiere al acoplamiento que ocurre a partir del año y medio o dos años de edad. Se selecciona el perro adecuado para las necesidades de la persona ciega. De acuerdo a esto la persona invidente seleccionada atiende un curso de tres semanas de duración en el centro de adiestramiento donde aprende a cuidar y manejar al perro guía. Posteriormente se continúa el curso en el lugar de residencia del mismo y se trabajan las rutas y necesidades específicas, con el nuevo perro guía. Esta es sin duda una de las fases más complejas y de ella depende, en gran medida, el éxito del proceso de adiestramiento. Posterior a este proceso se realizan visitas de apoyo y supervisión; al mes de graduación, a los seis meses y el año. (Paz, 2018)

5.4 Fundamentación Electrónica

Cada componente o elemento usado en el prototipo tiene una fundamentación teórica de la cual fue necesario afianzar el conocimiento para sustentar adecuadamente su uso, en el presente capítulo se hace un breve resumen de sus características principales de funcionamiento.

5.4.1 Tarjeta desarrollo arduino.

El Arduino es una plataforma que está disponible para realizar programaciones con un software de código abierto; compuesta por una placa de entrada y salida, que puede manejar lenguajes de programación como el C, el C++, entre otros. El circuito impreso o placa, está constituido por un puerto USB por el cual se transfiere la programación a ejecutar, un microprocesador que es un circuito integrado que es el encargado de realizar de forma cíclica la programación compilada por medio del puerto USB; este integrado para la lectura y el procesamiento de las señales utiliza números binarios, siendo 1 el mayor valor y 0 el menor, que simbolizan verdadero o falso respectivamente; el botón reset como su nombre lo indica permite resetear el dispositivo y de esta manera cargar un nuevo programa. Asimismo, la placa de arduino cuenta con pines de alimentación y tierra, pines de entrada analógica, pines de entrada y salida digitales y una entrada de alimentación externa (I.E.S. Burguillos-Dpto. de Tecnología, 2018).

5.4.2 Bluetooth.

El bluetooth es denominado un protocolo de comunicación entre dispositivos que requieren corto alcance, por medio de radiofrecuencia, de esta manera se realiza la transmisión de datos. En cuanto a los módulos de bluetooth que se han desarrollado para ejecutar conexión con otros

dispositivos como el arduino, encontramos diferentes modelos, sin embargo, modelos como el HC-06 aunque son básicos en comparación con otros, tienen un desempeño excelente toda vez que cuenta con 2 estados de funcionamiento específicos, el Modo AT, que se produce cuando se activa la alimentación del módulo pero no la conexión con ningún otro dispositivo y tiene como señal visual frecuencia en el parpadeo del Led que está integrado en la tarjeta, y el Modo conectado que se produce cuando se establece una correcta conexión con otro dispositivo, su señal visual es el encendido del Led sin ningún parpadeo. (Configuración del módulo bluetooth HC-06 usando comandos AT, s.f.)

5.4.3 Servomotor.

Un servo es un dispositivo pequeño que tiene un eje de rendimiento controlado. Este puede ser llevado a posiciones angulares específicas al enviar una señal codificada. Con tal de que una señal codificada exista en la línea de entrada, el servo mantendrá la posición angular del engranaje. Cuando la señal codificada cambia, la posición angular de los piñones cambia. En la práctica, se usan servos para posicionar superficies de control como el movimiento de palancas, pequeños ascensores y timones. (Anonimo, 2010)

El motor del servo tiene algunos circuitos de control y un potenciómetro (una resistencia variable) esta es conectada al eje central del servo motor. Este potenciómetro permite a la circuitería de control, supervisar el ángulo actual del servo motor. Si el eje está en el ángulo correcto, entonces el motor está apagado. Si el circuito chequea que el ángulo no es el correcto, el motor girará en la dirección adecuada hasta llegar al ángulo correcto. El eje del servo es capaz de llegar alrededor de los 180 grados. Normalmente, en algunos llega a los 210 grados, pero varía

según el fabricante. Un servo normal se usa para controlar un movimiento angular de entre 0 y 180. (Anonimo, 2010)

Como se observa en la Figura 17 Posición vs Pulso, la duración del pulso indica o dictamina el ángulo del eje (mostrado como un círculo verde con flecha). Es de aclarar que las ilustraciones y los tiempos reales dependen del fabricante de motor. El principio, sin embargo, es el mismo (Anonimo, 2010).

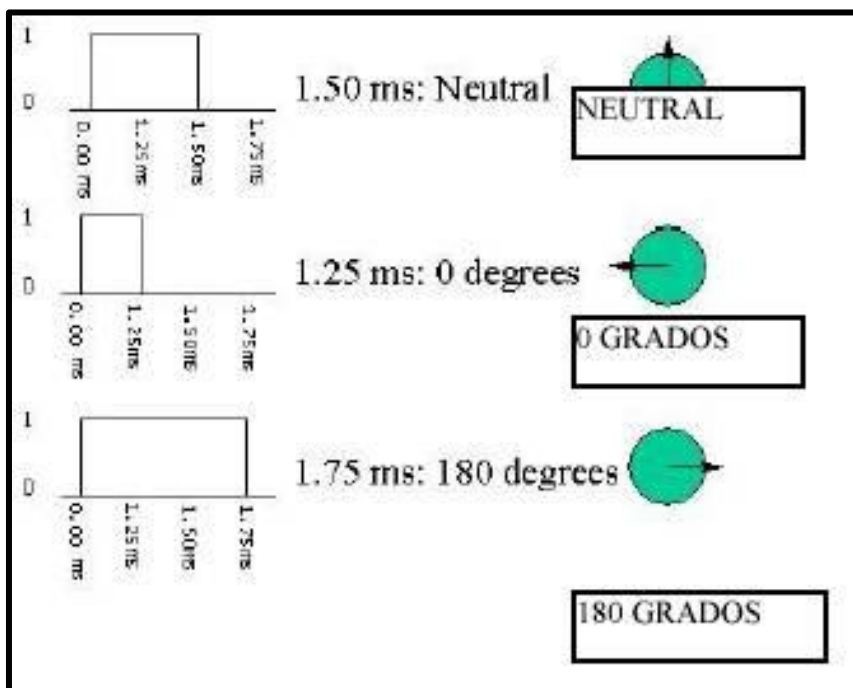


Figura 17 Posición vs Pulso (Anonimo, 2010)

5.4.4 Comunicación I2C.

La comunicación I2C fue desarrollada en los inicios de la década de 1980, y fue Phillips quien determino que el bus I2C permite la comunicación entre integrados. Entre las especificaciones que

inicialmente manejaba contaba como 100Kbits/s y trabajaba en el control simple de señales; en la actualidad este sistema de comunicación puede alcanzar velocidades de hasta 3.4 Megabits/s, adicionalmente cuenta con la función de desplazamiento del nivel de voltaje. (Bravo Granadino, Labarca Fuentes, León Soledispa, Ulloa Suárez, & Valenzuela Lobos)

La comunicación I2C está definida por dos señales, Serial Data (SDA) que es una línea de datos en serie y Serial Clock (SCL) que como tal es la señal de sincronía. Adicionalmente la comunicación I2C maneja distintos estados; el *libre* que opera con SDA y SCL a 1 sin que se esté realizando transferencia; *inicio* que consiste en un cambio de alta a baja en la línea SDA mientras SCL permanece alta; *cambio* en el cual se produce una condición de cambio cuando, estando a baja la línea SCL, la línea SDA puede cambiar de estado, *dato* este estado es el que, una vez iniciada una transacción, queda definido por la fase alta de la señal de sincronía SCL, parada se da cuando estando la línea SCL a alta, se produce un cambio de baja a alta en la línea SDA (Bravo Granadino, Labarca Fuentes, León Soledispa, Ulloa Suárez, & Valenzuela Lobos)

Por otra parte, la comunicación I2C maneja 3 modos de funcionamiento que son el normal que admite velocidades hasta de 100 kilobits/s, el rápido admite hasta 400 Kbps y de alta velocidad de hasta 3.4 Megabits/s. Además, cuenta con niveles de tensión que dependen de la alimentación; cuando se alimenta a 5 voltios, su tensión mínima de entrada a alta es de 3V y su tensión máxima de entrada a baja es de 1,5V; cuando su margen de alimentación es amplio su tensión mínima de entrada a alta es de 70% y su tensión máxima de entrada a baja es de 30%; sin embargo,

independientemente de la tensión de alimentación la tensión de salida a baja no supera los 0.4V para una corriente de salida de 3mA. (Fernández, 2004)

5.4.5 Puente H.

Este control de motor DC se utiliza para controlar el sentido de giro de un motor de corriente continua (motor CC) y lleva este nombre, por la letra “H” que forman el arreglo de los transistores en el circuito, tal como se observa en la Figura 18. El circuito sirve para controlar motores de mediana potencia, debido a la limitación de potencia de los transistores. (Unicrom, 2016)

El sentido de giro del motor DC depende de los niveles de voltaje que existan en los puntos del circuito etiquetados como: “Avance” y “Retroseso” (Figura 18). Sólo uno de estos dos puntos puede estar a nivel alto para activar los transistores correspondientes. (Unicrom, 2016)

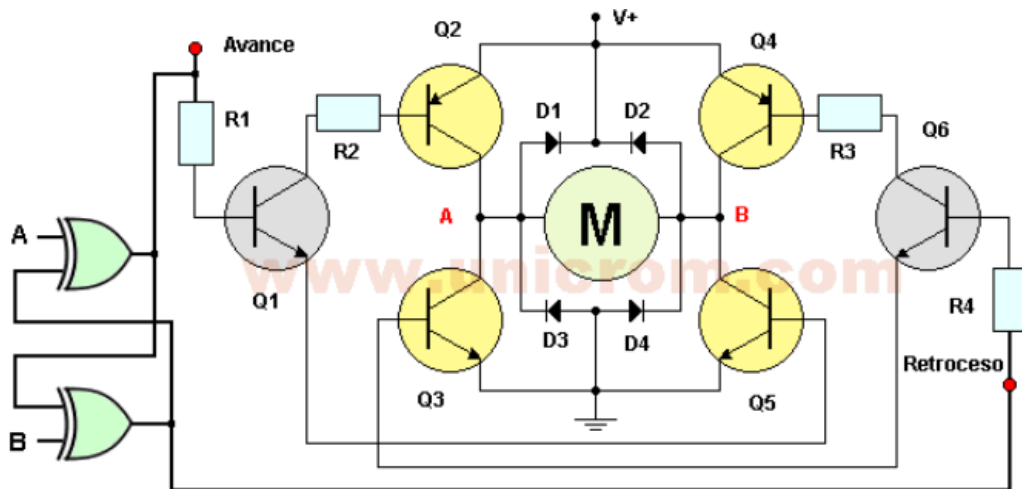


Figura 18 Diagrama Puente H (Unicrom, 2016)

5.4.6 Baterías lipo.

Son baterías de polímero de litio, recargables, que se usan en proyectos que requieren alto consumo de corriente, pero un suministro de la misma de un dispositivo de peso y tamaño reducido, estas baterías son ligeras y fáciles de cargar, sin embargo, son baterías que están diseñadas para ser cargadas con un cargador y balanceador de baterías, toda vez que de no ser así puede ocasionar incendio o daño en la misma, asimismo estas deben ser cargadas con corriente no superior a la nominal y no puede dejarse descargar a menos de 3V puesto que esto también ocasiona falla en su funcionamiento. (WEBAERO, 2011)

Las baterías tipo LiPo miden la corriente en miliamperios y dependiendo el modelo y/o referencia, cuenta con diferentes características en cuanto al amperaje y voltaje que suministra, así mismo estas baterías se pueden clasificar por la cantidad de celdas que la conforman, estas celdas cuentan con una resistencia interna de 2 a 6 miliohms, la cual dependiendo el uso aumenta su valor y disminuye la tasa de descarga de la batería. (Dynamo Electronics, 2006)

5.5 Marco legal

Para el desarrollo del prototipo del asistente robótico para personas invidentes, se hace necesario tener presente diferentes leyes, normas y decretos que respaldan y dan inclusión a las personas con discapacidad visual total o parcial en Colombia.

Como primera medida se tiene en cuenta y se hace referencia a la constitución Política de Colombia que en su artículo N° 47 establece que “El Estado adelantará una política de previsión,

rehabilitación e integración social para los disminuidos físicos, sensoriales y psíquicos, a quienes se prestará la atención especializada que requieran” (Centro de Documentación Judicial, 1991) A su vez y al enfocar el proyecto al apoyo y asistencia de personas ciegas se tiene en cuenta la convención sobre los derechos que tienen las personas que cuentan con discapacidad que está aprobada por la ley 1346 del 31 de julio de 2009.

Con respecto a lo anteriormente citado se puede destacar que la Convención sobre los Derechos de las personas con Discapacidad, aprobada por medio de la ley 1346 del 31 de julio de 2009, tiene como propósito, proteger y asegurar el goce pleno y en condiciones de igualdad de todos los derechos humanos y libertades fundamentales por todas las personas con discapacidad, y promover el respeto de su dignidad inherente. Además, dicha ley declara que las personas con discapacidad incluyen a aquellas que tengan deficiencias físicas, mentales, intelectuales o sensoriales a largo plazo que, al interactuar con diversas barreras, puedan impedir su participación plena y efectiva en la sociedad, en igualdad de condiciones con las demás. Entre los principios generales de la convención son la no discriminación, la participación e inclusión plenas y efectivas en la sociedad, la igualdad de oportunidades, el respeto a la evolución de las facultades de los niños y las niñas con discapacidad y de su derecho a preservar su identidad entre otros. (INCI, 2018)

Adicionalmente se tiene en cuenta la ley 1618 del 27 de febrero de 2013, toda vez que en esta se establecen las disposiciones para garantizar el pleno ejercicio de los derechos de las personas con discapacidad, y tiene como objetivo la adopción de medidas de inclusión acción afirmativa y de ajustes razonables y eliminando toda forma de discriminación por razón de discapacidad en

concordancia con la Ley 1346 de 2009. En esta ley del 2013 (Centro de Documentación Judicial, 1991) se definen conceptos importantes y que se deben tener en cuenta para el desarrollo del proyecto tales como:

- **Personas con y/o en situación de discapacidad:** aquellas personas que tengan deficiencias físicas, mentales, intelectuales o sensoriales a mediano y largo plazo que, al interactuar con diversas barreras incluyendo las actitudinales, puedan impedir su participación plena y efectiva en la sociedad, en igualdad de condiciones con las demás.
- **Acciones afirmativas:** políticas, medidas o acciones dirigidas a favorecer a personas o grupos con algún tipo de discapacidad, con el fin de eliminar o reducir las desigualdades y barreras de tipo actitudinal, social, cultural o económico que los afectan.
- **Acceso y accesibilidad:** condiciones y medidas pertinentes que deben cumplir las instalaciones y los servicios de información para adaptar el entorno, productos y servicios, así como los objetos, herramientas y utensilios, con el fin de asegurar el acceso de las personas con discapacidad, en igualdad de condiciones, al entorno físico, el transporte, la información y las comunicaciones, incluidos los sistemas y las tecnologías de la información y las comunicaciones, tanto en zonas urbanas como rurales. Las ayudas técnicas se harán con tecnología apropiada teniendo en cuenta estatura, tamaño, peso y necesidad de la persona.

A su vez esta ley establece los derechos que las personas en situación de discapacidad tienen y las obligaciones que tiene el Estado, en esta parte es importante destacar que en uno de los ítems establece que se debe garantizar la prestación del servicio de intérpretes de lengua de señas y guías

intérpretes, para la población con discapacidad auditiva y sordo ceguera, y ayudas tecnológicas para las personas con discapacidad visual, así como los apoyos específicos que requieren las personas con discapacidad intelectual (INCI, 2018).

Por otra parte, en el Decreto 1538 del 17 de mayo de 2005 se definen conceptos relevantes como el de movilidad reducida, que es la restricción para desplazarse que presentan algunas personas debido a alguna discapacidad o limitación en la capacidad de relacionarse con diferentes entornos.

En este decreto en el capítulo segundo que trata la accesibilidad a los espacios públicos en el ítem B, (INCI, 2018) que habla de vías de circulación peatonal, mobiliario urbano, cruces a desnivel; determina que, en caso de los andenes, las franjas de circulación peatonal, cruces a desnivel, entre otras; se debe instalar un cambio en la textura del piso que permita la detección por parte de las personas en situación de discapacidad visual. Así mismo, en el capítulo tercero que trata de la accesibilidad a edificios abiertos al público se deben cumplir diferentes características para el diseño, construcción y adecuación del espacio. Entre estas características se tiene que, en el caso del acceso a los espacios públicos, se debe permitir el ingreso de perros guía, sillas de ruedas, bastones, elementos o ayudas necesarias por parte de las personas en situación de discapacidad o limitación. Adicionalmente para el caso del acceso al entorno de las edificaciones se debe garantizar que cumplan con un ancho mínimo en pasillos, ascensores, salas de espera que permitan la circulación de personas con movilidad reducida.

De otro lado, es trascendental tener en cuenta que en Colombia el decreto 1660 del 16 de junio de 2003 (Centro de Documentación Judicial, 1991) reglamenta la accesibilidad a los modos de transporte de la población en general y de especial de las personas con discapacidad. En este decreto en primer lugar se citan definiciones especiales como ayudas técnicas, que son aquellos elementos que actuando como intermediarios entre la persona con alguna discapacidad y el entorno, a través de medios mecánicos o estáticos, facilitan su relación y permiten una mayor movilidad y autonomía mejorando su calidad de vida; por otra parte se define que ayudas vivas son los perros de asistencia que facilitan la accesibilidad de las personas con discapacidad, así mismo se establecen conceptos de señalización. En el decreto 1660 de 2003 se especifica que en el caso de las personas con discapacidad que cuentan con ayudas vivas no tienen costo adicional al momento de utilizar los modos de transporte, además se debe garantizar que en estos medios de transporte se tengan condiciones mínimas como mecanismos de información y señalización visual, sonora y/o táctil para las personas en condición de discapacidad. Es de resaltar que, en el decreto anteriormente nombrado, en el capítulo XI en su artículo 31 establece las disposiciones generales para las ayudas vivas, que para el desarrollo del proyecto son significativas. En el capítulo XI en su primer agregado cita los requisitos que deben cumplir los perros de asistencia, en primer lugar estos ejemplares deben estar acreditados en centros internacionales o nacionales; en el caso de Colombia, tienen la facultad de acreditar, personal calificado u homologado por la Asociación Colombiana de Zooterapia o por el Instituto Colombiano Agropecuario ICA, adicional se debe tener el carnet expedido por la asociaciones en que se especifique que raza es el perro, una foto del mismo, nombre del propietario, vigencia de vacunas.

En el caso de las vacunas el decreto 1660 de 2003 (Centro de Documentación Judicial, 1991) instituye que todo perro de asistencia tiene que ser vacunado contra la rabia, debe tener tratamiento periódico de equinococosis, exento de parásitos externos, y haber dado resultado negativo a las pruebas de leishmaniosis, leptospirosis y brucelosis. De igual forma en el artículo 32 del capítulo XI, especifica que las condiciones generales para el uso de perros de asistencia son; que estos animales deben contar con su correspondiente arnés y con el chaleco de identificación, que según prácticas internacionales de identificación canina para el acceso a medios de transporte sentencia que cuando el chaleco es de color verde, es porque el perro está en proceso de adaptación y entrenamiento y debe estar acompañado de su instructor y en caso de ser de color rojo es debido a que ya termino dicho proceso.

Sin embargo, y después de evaluar diferentes leyes decretos y normativa es transcendental resaltar la ley 1680 del 20 de noviembre de 2013 (INCI, 2018), por cual el Congreso de Colombia garantiza a las personas ciegas y con baja visión, el acceso a la información, a las comunicaciones, al conocimiento y a las tecnologías de la información y de las comunicaciones. Esta ley tiene como objetivo también hacer efectiva la inclusión y participación en la sociedad de las personas con discapacidad visual y tiene en cuenta los artículos 3 y 9 de la ley 1346 de 2009 la cual aprueba la convención sobre los derechos de las personas con discapacidad. De otro lado la ley también dicta que el estado Colombiano debe establecer políticas que garanticen el acceso autónomo e independiente a las personas ciegas y con baja visión a la información, a las comunicaciones, al conocimiento, al trabajo, a la educación y a las tecnologías de la información y las comunicaciones así mismo el Gobierno Nacional debe garantizar la adquisición e implementación de un software

lector de pantalla, el cumplimiento de las normas técnicas y directrices de accesibilidad y usabilidad que dicte el Ministerio de Tecnologías de la información y las comunicaciones y otras disposiciones como participación, limitaciones y excepciones de los derechos de autor, operaciones presupuestales y reglamentación.

Finalmente se encuentra el decreto 1006 del 1 de abril de 2004 (INCI, 2018) en el cual se modifica la estructura del Instituto Nacional para Ciegos y se dictan otras disposiciones; en dicho decreto como primera medida se dictamina la denominación y la naturaleza jurídica del INCI, el cual es un establecimiento público del orden nacional, adscrito al Ministerio de Educación Nacional, con personería jurídica y en segundo lugar se establece que tiene como objetivo fundamental proponer, organizar, planear y ejecutar programas orientados a mejorar la calidad de vida de personas ciegas o con baja visión.

Así mismo en el del decreto 1005 de 2006 determina las funciones que el Instituto Nacional para Ciegos y entre estas sobresalen:

- Proponer al Gobierno Nacional los planes y programas de desarrollo social destinados a la rehabilitación, integración educativa, laboral y social de los Limitados Visuales, el bienestar social y cultural de los mismos, y la prevención de la ceguera.
- Asesorar a los departamentos, distritos, municipios y a las entidades públicas de todo orden, a los particulares y las entidades privadas en temas de rehabilitación, integración educativa, entre otros.

- Supervisar y vigilar, en coordinación con los Ministerios de Educación Nacional, de la Protección Social y de Comunicaciones, el cumplimiento de los planes y programas Intersectoriales
- Velar por la igualdad material, real y efectiva y la participación democrática de las personas con limitación visual, facilitando su acceso a la información y a las comunicaciones
- Propender la efectividad de los derechos a la información y la circulación de los limitados visuales.

De otro lado en el decreto anteriormente nombrado también se dictan las partes que integran el consejo directivo del Instituto Nacional para Ciegos que son, el Ministerio de Educación nacional, el Ministerio de la Protección Social, el Ministerio de las Comunicaciones, el Director de Departamento Nacional de Planeación o un delegado respectivamente y un representante designado por el presidente de la República.

Fundamentado en el presente capítulo se desarrolló un normograma de la Tabla 1 para identificar cada ley o decreto con la rama de aplicación, que fueron aplicados para el desarrollo del proyecto.

NORMATIVA	INFRESTRUCTURA Y TECNOLOGIAS	DERECHOS	EMPLEO	INCENTIVOS Y EDUCACION	ATENCION EN SALUD
CONSTITUCION POLITICA DE COLOMBIA - ART. 47					
LEYES	1295 / 2009 1287 / 2009 1680 / 2013	1618 / 2013 1346 / 2009 762 / 2002	1492 / 2010 1221 / 2008 982 / 2005	1389/2010 1237/2008 1014/2006 715/2001 582/200 361/1997 115/1994	100 / 1993 1295 / 2009 715 / 2001
DECRETOS	1660/2003 057/2003 1538/2005		229/2016	1075 / 2015 366 / 2009 1355 / 2008	

Tabla 1 Normograma (Autores).

6. Metodología

El desarrollo metodológico del proyecto lazarillo robótico, se enmarca de forma cualitativa ya que requiere de la descripción de espacios e infraestructura de forma inicial, los parámetros que regulan la marcha de una persona con discapacidad visual como la ceguera de forma exploratoria y de forma cuantitativa para el desarrollo mecánico y electrónico.

El proyecto como se observa en la (figura 19) será dividido en cinco etapas. En la primera, se realiza toda la documentación teórica y normativa del presente proyecto; una vez finalizada, se ejecutan simultáneamente de la segunda a la cuarta donde se eligen componentes y dispositivos tales como los motores y el microcontrolador que se consideren adecuados para el prototipo enmarcados dentro del diseño electrónico, y en el caso del desarrollo mecánico se elige los materiales a usar para cumplir con las necesidades requeridas para construir el prototipo además de la disponibilidad del material y su respectivo costo versus calidad, finalmente se evidencia el desarrollo de la programación para firmware del prototipo.

Una vez culminado el proceso de diseño, la implementación y puesta en marcha del prototipo. Durante el cual se llevarán a cabo ensayos de funcionamiento básico para el desplazamiento y detección obstáculos, luego se efectuará la optimización del funcionamiento del lazarillo según los resultados de las pruebas para luego hacer experimentos en el escenario real en el cual a uno de los autores se le limitará temporalmente su capacidad de ver para que sea guiado por el prototipo a diferentes lugares.

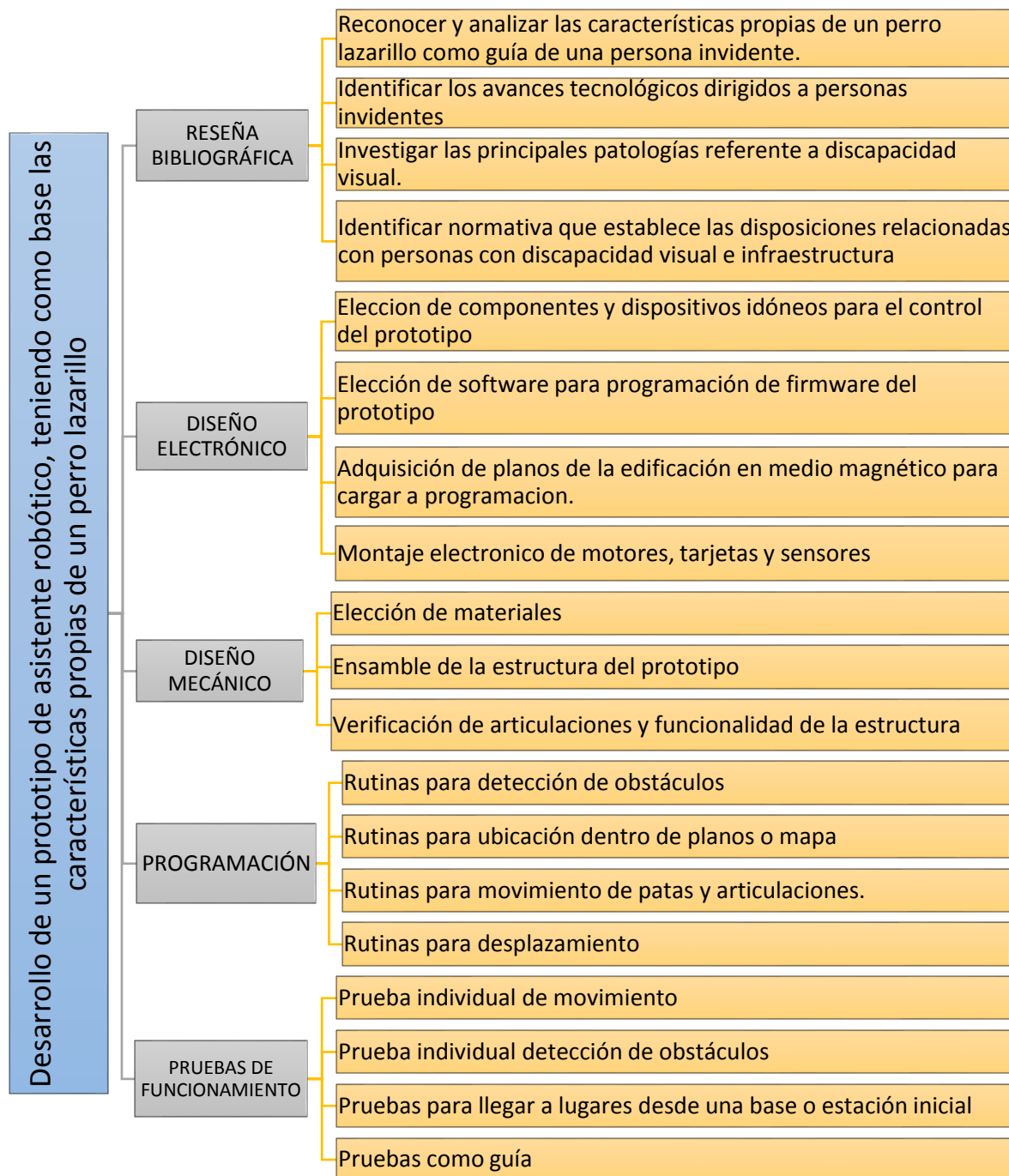


Figura 19 Diseño Metodológico (Autores).

Finalmente, la implementación y puesta en marcha del prototipo. Para la segunda etapa se realizarán ensayos de funcionamiento básico como desplazamiento y detección obstáculos, luego se efectuará la optimización del funcionamiento del lazarillo según los resultados de las pruebas para luego hacer experimentos en el escenario real en el cual a uno de los autores se le limitará temporalmente su capacidad de ver para que sea guiado por el prototipo a diferentes lugares.

En el diseño final del proyecto no se concluye con un proceso de investigación para el perfeccionamiento del prototipo; pero el diseño final es propio de los autores; teniendo como referencia física (Figura 20); en este capítulo se muestra el proceso realizado paso a paso en fotos, planos y explicaciones para la construcción.

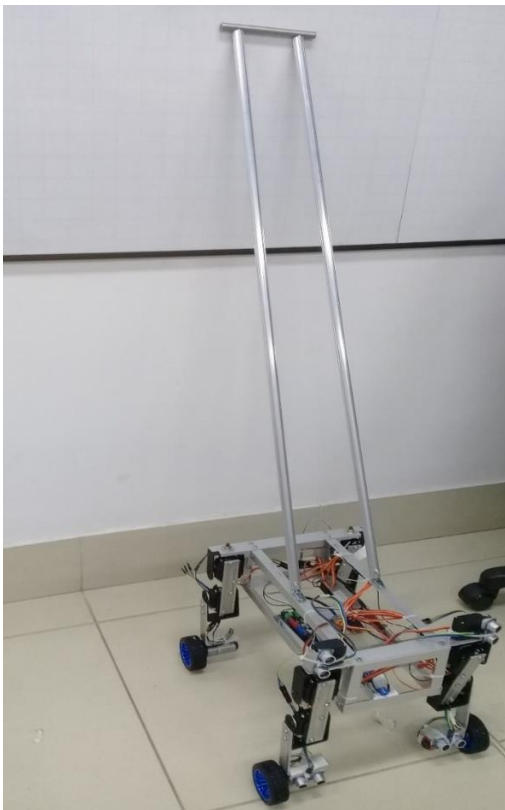


Figura 20 Diseño Final Prototipo Asistente Robótico (Autores).

6.1 Desarrollo Mecánico

Durante el diseño se buscaba que el prototipo emule los movimientos de un perro lazarillo que por lo general suelen ser de raza labrador, golder retriever o pastor alemán y maneje unas dimensiones que facilite la movilidad del paciente; para cumplir con esto se planteó un cuerpo y cuatro patas, donde su construcción está formada por láminas de aluminio de diferentes dimensiones y calibres, las cuales componen el esqueleto o cuerpo del asistente robótico. A través de estas láminas de aluminio se da soporte a las extremidades del prototipo, uniendo cada uno de los servomotores que componen las mismas. Adicionalmente se diseñó para que el prototipo fuese fácil de desensamblar, ya que de este modo se puede desmontar cualquier parte o reemplazar alguna de sus piezas sin afectar el resto de la estructura, por tal razón que el cuerpo, extremidades, motores, articulaciones y tarjetas están atornilladas, por otra parte, todos los cables y conectores son de acople rápido.

6.1.1 Extremidades.

Las extremidades del prototipo están compuestas por servomotores y motores los cuales se encuentran acoplados por articulaciones que se sujetan a láminas de aluminio.

Las extremidades delanteras del asistente robótico se componen de tres servomotores como se ve en la Figura 21. El de la parte superior se encuentra anclado al cuerpo y cumple la función de dar dirección (derecha e izquierda), el de la mitad asegura los movimientos del hombro y finalmente el servomotor del extremo inferior de las extremidades permite emular los movimientos de la rodilla para mover la extremidad distal la cual sujeta un motor que permite el giro de las

ruedas que se encuentran adheridos al mismo para que de esta manera el prototipo pueda realizar de manera efectiva su desplazamiento.



Figura 21 Extremidades Delanteras (Autores).



Figura 22 Extremidades traseras (Autores)

Las extremidades traseras del robot contienen una estructura ligeramente diferente, puesto que estas cumplen una función distinta a las extremidades delanteras, permitiendo darle más fuerza y apoyo al desplazamiento del prototipo, éstas se conforman de dos servomotores y un motor DC. El primer servomotor unido al cuerpo puede mover la parte proximal de la extremidad; el segundo cumple la función de rodilla soporta y mueve la extremidad distal con el motor el cual se ajusta con las llantas para el movimiento del robot.

6.2 Desarrollo electrónico

Al igual que en el desarrollo mecánico, el fácil cambio de módulos que existe al usar tecnología “open hardware” proporciona sencillez al emplear tarjetas prediseñadas y de fácil conexión; por estas características se eligieron los componentes de la Tabla 2, que a consideración de los autores para construir el primer prototipo representan el mejor costo beneficio.

Tabla 2 Componentes (Autores)

Componente	Referencia	Características
Regulador de voltaje	LM7805	Salida de corriente de 1.5 A
Diodo Rectificador	1N4001	8.2 V / 250 μ A
Modulo Bluetooth	HC-06	3.3 V - 6V / 40mA
Tarjeta Desarrollo	Mini pro 328P	5 V / 250mA
Tarjeta Desarrollo	Mega 2560	5 V / 500mA
Servomotor	MG996R	4.8V-7.2V / 500mA-900mA
Motor DC	JGA25-370	6V / 206 rpm
Sensor Ultrasonido	HC-SR04	5V / 15 mA
Driver de motor	L298P	5V
Batería Lipo	30C	7.4 V / 5200 mA/h

El componente electrónico final está dividido en tres bloques principales que se comunican internamente por comunicación “i2c” (Fernández, 2004), cada cual está controlado por un microprocesador. El primero que es el principal (Figura 23) está regido por un arduino Mega 2560 en el cual se tienen conectados los 10 servomotores, adicionalmente está acoplado un driver para controlar los motores de las llantas para el desplazamiento del robot; finalmente un módulo bluetooth para comunicación con otros dispositivos inalámbricamente.

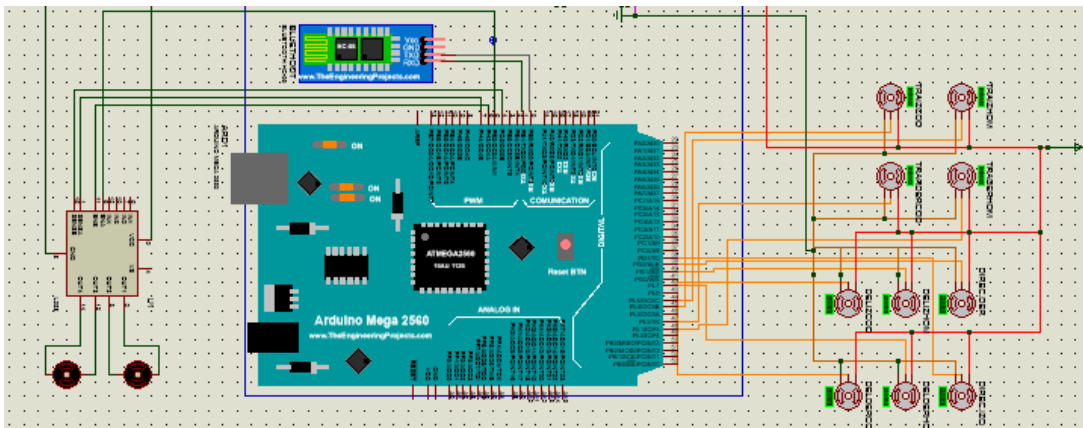


Figura 23 Bloque electrónico 1 (Autores)

El segundo bloque (Figura 24) está comandado por un arduino Mini Pro 328P al cual están conectados cuatro sensores de ultrasonido que todo el tiempo están detectando la cercanía de objetos, dicha información es transmitida al bloque principal cada vez que este lo requiere.

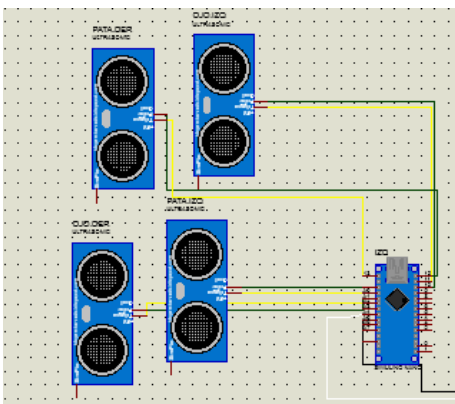


Figura 24 Bloque electrónico 2 (Autores)

Finalmente, el tercer bloque (Figura 25) corresponde a otro arduino Mini Pro 328P el cual recibe la información en todo momento de los encoders que se encuentran en los motores de

desplazamiento, la distancia que ha avanzado el robot en un determinado momento; al igual que el segundo bloque esta información es enviada al bloque principal cada vez que este lo requiera.

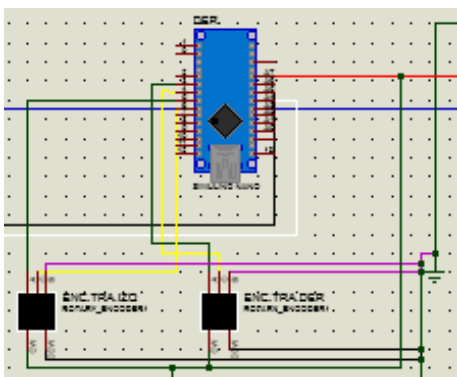


Figura 25 Bloque electrónico 3 (Autores)

6.3 Programación

6.3.1 Lenguaje

La compilación se realiza en tres programas separados por cada tarjeta usada, este desarrollo se realiza en lenguaje C mediante el programa Arduino versión 1.8.5, usado también para programar los microcontroladores de las placas.

6.3.2 Análisis de funciones

El primer paso para desarrollar la programación de cada placa es identificar a que bloque funcional electrónico pertenece (actividad realizada durante el diseño electrónico) y de esta forma considerar que periféricos estará controlando, teniendo en cuenta lo anterior se determinó crear subrutinas las cuales pueden ser llamadas en cualquier momento según lo requiera la tarea que se requiere ejecutar en el momento adicionalmente representa una facilidad en la organización del

programa general, la distribución en subrutinas ayuda en el orden y la identificación de parámetros para el programador. Asumiendo lo anterior el bloque principal cuenta con las siguientes subrutinas:

- Bluetooth: Atiende el bit recibido desde las aplicaciones de usuario o control remoto, el cual contiene la información de la tarea a realizar.
- Guía: Controla todo el recorrido desde la base hasta el destino, puede llamar a las demás subrutinas para obtener datos de recorrido, posibles obstáculos, controlar las extremidades, desplazarse y girar.
- I2C: Solicita según corresponda: Al bloque dos, datos de los sensores de ultrasonido. Al bloque tres, datos de los encoder.
- Movimiento: Controla el giro y velocidad de las ruedas.
- Freno: Genera una fuerza en las ruedas para evitar que se muevan cuando no se necesita.
- Dirección: Controla los servos para el giro del lazarillo.
- Patas: Controla todos los servomotores de las extremidades.
- Impresión: Únicamente usado durante la validación de las rutinas, entrega en el puerto serial de la tarjeta cada variable empleada con su estado.

Para el segundo bloque se tienen:

- Ultrasonido: Toma los valores de cada sensor de ultrasonido guardándolos en variables independientes, además realiza comparaciones entre ellos para entregar datos adicionales como el lado más cerca de un obstáculo.
- requestEvent: Responde mediante interrupción inmediatamente al bloque principal cada vez que este solicite los datos almacenados en las variables actualizadas en la rutina de ultrasonido.

Para el tercer bloque se encuentran:

- Encoder: Toma los valores de los dos encoder determinando la cantidad de pasos y el sentido en el que se realizaron, se guardan en dos variables.
- requestEvent: Responde mediante interrupción inmediatamente al bloque principal cada vez que este solicite; primero promedia los valores de las variables de los encoder y luego divide el resultado en dos variables para ser transmitidas, la primera deja un valor máximo de 250 y la segunda el multiplicador para llegar al valor real, esto se hace debido al límite que tiene cada bit durante la transmisión.
- Pantalla: Solo usada durante la toma de muestras entre la cantidad de pasos marcado por los encoder y la distancia recorrida por el prototipo, esta rutina promedia los valores de las variables de los encoder y visualiza en un lcd grafico de 1.8" tanto el resultado como los datos de las variables originales.

6.3.3 Descripción

Una vez el lazarillo está activo se tiene una rutina principal la cual permanece atenta de la información que llega desde el bluetooth el cual contiene un bit que al ser comparado con una serie de posibles estados determina la tarea a ejecutar, llamando de esta forma secuencialmente una o más subrutinas según se requiera.

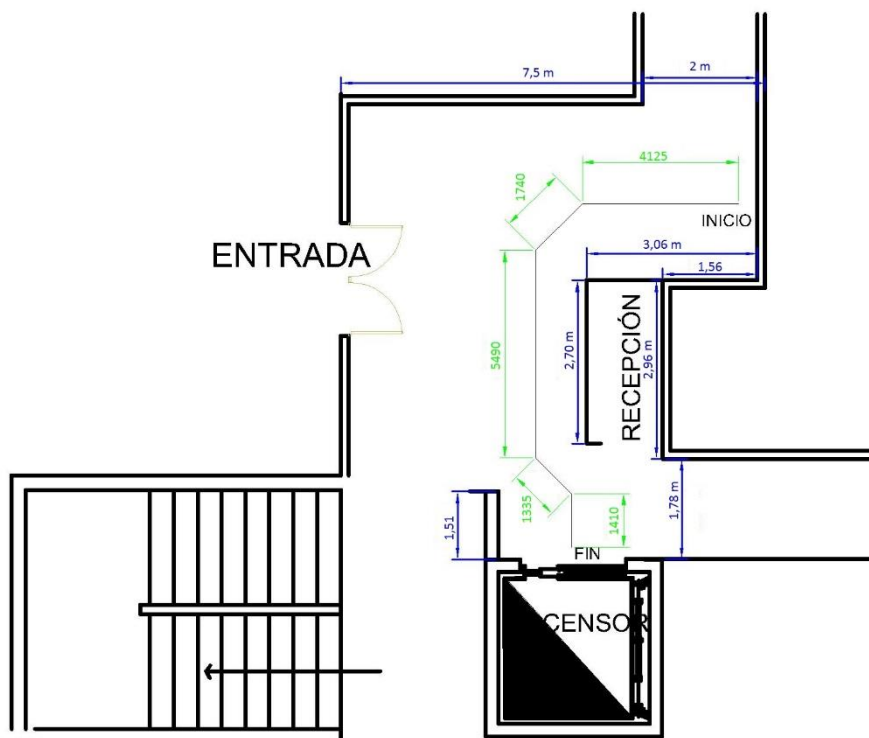


Figura 26 Ruta recepción (Autores)

Para el recorrido dentro del edificio se programó una ruta ideal la cual está regida por la cantidad de pasos entregados por el bloque que controla a los encoders, el cual corresponde a 15 pasos por cada 10 centímetros. Para garantizar el comportamiento lineal del prototipo, emulando el que tiene el lazarillo, se determinó avanzar en línea recta y según las necesidades de la ruta hacer giros entre 0 y 45 grados para continuar nuevamente en línea recta; asumiendo lo anterior se calcularon los pasos y giros requeridos para cumplir el objetivo. De acuerdo a lo anterior el recorrido se dividió en tres etapas, la primera ruta (Figura 26) se llama “recepción” y está regida desde el momento que el lazarillo recibe la orden, incluyendo todo el desplazamiento hasta llegar a la puerta del ascensor; En azul se pueden observar las cotas tomadas del lugar y en verde la cantidad de pasos requeridos para el trazado programado, estas mismas condiciones aplican para las Figuras 28 y 29.

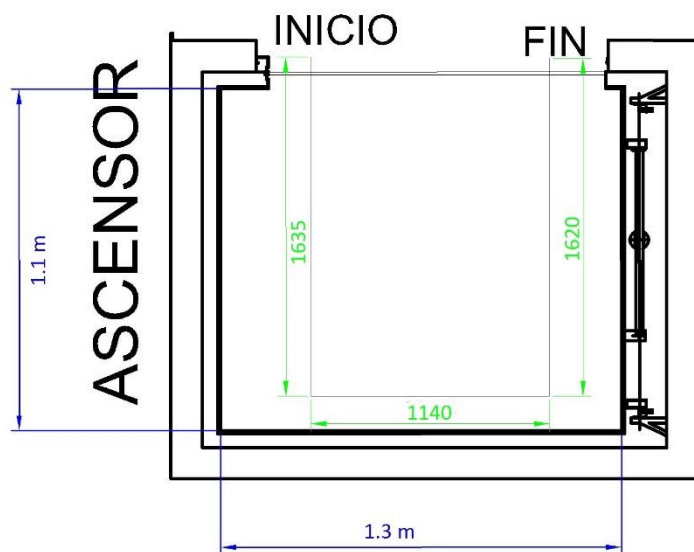


Figura 27 Ruta ascensor (Autores)

La segunda etapa o ruta (Figura 27) se denomina “ascensor” y comprende la espera de la apertura de las puertas, el ingreso y giro dentro del ascensor para tener un adecuado posicionamiento y estar listo a salir una vez el usuario llegue al piso de destino; emulando el comportamiento observado en los perros lazarillos.

La etapa final comprende todo el recorrido por el pasillo hasta llegar al salón de destino, a esta ruta (Figura 28) se le llamó “salón”.

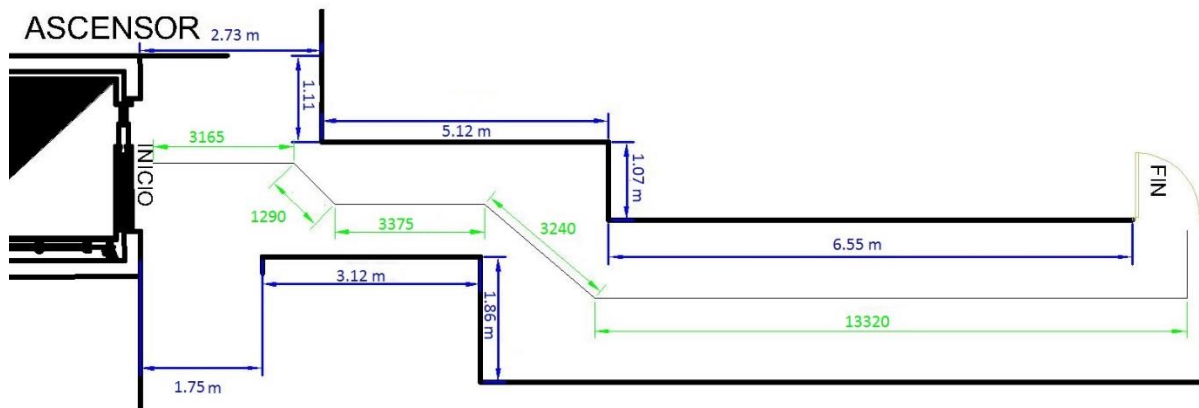


Figura 28 Ruta salón (Autores)

7. Resultados

Se obtiene un lazarillo funcional que representa correctamente los movimientos programados, aunque con algunas diferencias en cuanto a proporciones de tamaño respecto a lo planteado, en el presente artículo se hace una descripción de los resultados obtenidos.

7.1 Peso final prototipo

La estructura del prototipo ostenta en su finalidad un tamaño adecuado para que pueda guiar con facilidad al usuario, sin embargo, el peso fue un tema recurrente durante el desarrollo del prototipo.

Inicialmente las extremidades distales tenían una longitud de 15 centímetros, pero durante las primeras pruebas de funcionamiento del dispositivo las extremidades perdían rigidez ya que el torque que tienen los servomotores usados con relación al peso final no era efectivo. Para solucionar el inconveniente se toma la decisión de recortar todas las extremidades distales a 10 centímetros lo que genera una mejora significativa porque, al reducir la distancia el torque ejercido por los servomotores sea efectivo y adicionalmente representa reducción en el peso final.

Adicionalmente en el planteamiento inicial del prototipo para la comunicación entre la persona invidente y el lazarillo se tenía planteado utilizar el módulo de voz “Voice Recognition Module V3” pero tomando en cuenta la necesidad de reducir peso se optó por la alternativa de implementar una aplicación para un Smartphone, la cual presenta adicionalmente los siguientes beneficios:

- Utiliza la misma comunicación bluetooth usada para el control remoto del lazarillo.
- Reduce la carga eléctrica para la batería, mejorando la autonomía para el asistente robótico.

- Funciona con el mismo fundamento que los desarrollos actuales para personas con discapacidad visual.
- Permite la conectividad desde cualquier dispositivo móvil, facilitando la interacción del usuario con el lazarillo.
- La tonalidad de la voz no es un requisito para su uso, pues no depende de una voz determinada.

Finalmente, considerando que la estructura debía soportar los demás componentes necesarios para el funcionamiento del prototipo se incluyeron plataformas en la base del cuerpo y de tal manera acoplar fácilmente baterías y módulos para así garantizar un movimiento seguro y con total libertad del robot.

7.2 Comunicación interna

Inicialmente la comunicación planteada entre los bloques del lazarillo fue la RS232 que cuenta con una comunicación asíncrona lo que quiere decir que no maneja un orden en la transmisión de datos, por lo tanto, cuando se puso en marcha se pudo evidenciar que esta contaba con un tiempo de respuesta defectuoso puesto que no había sincronización al enviar y recibir datos, lo que generaba que el desarrollo de las actividades requeridas no se diera efectivamente por la pérdida constante de datos; por lo anterior se optó por implementar la comunicación I2C ya que al estar sincronizada por señales de reloj garantiza que la transmisión de los datos se proporcione sin pérdida y el funcionamiento de las funciones se garanticen.

7.3 Asignación de funciones

En la configuración inicial se programó para que los sensores de ultrasonido, los encoder y el bluetooth estuviesen conectados a un arduino nano en un solo bloque. Sin embargo, los ultrasonidos requerían en su programación tiempos de retardo para realizar la lectura de la distancia por cada sensor; este retardo requerido generó una afección en la toma y transmisión de datos tanto de los encoder como del bluetooth generando retardos en la respuesta del prototipo, por lo que se debió mover la lectura de los encoder a un nuevo arduino nano y el bluetooth al bloque principal con el arduino Mega.

7.4 Implementación marcha y giros

El primer diseño (Figura 29) contaba en cada extremidad con dos servomotores los cuales controlaban las articulaciones y un motor DC en cuyo extremo poseía una rueda, todo esto relacionado en una estructura metálica que permitía realizar el desplazamiento.

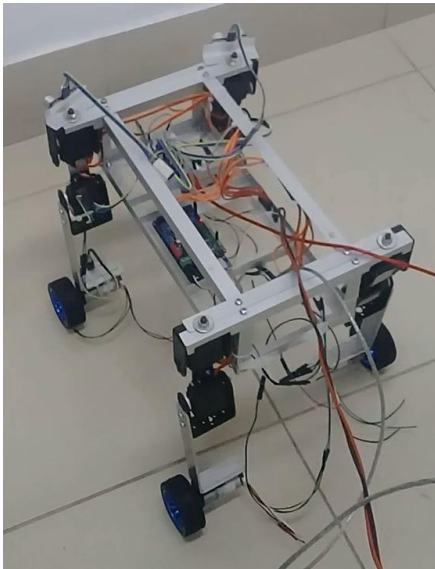


Figura 29 Prototipo sin giro (Autores)

Al realizar las pruebas con este primer prototipo el desplazamiento hacia adelante y/o atrás fue estable ya que las extremidades soportaban la totalidad del peso de la estructura del robot y se movían con facilidad las diferentes distancias programadas; para realizar giros se concibió en la programación un diferencial para que las ruedas de la izquierda giraran a una velocidad diferente que las ruedas de la derecha según se requiriera. Sin embargo, con la puesta en marcha se detectó que el robot tenía dificultades para realizar los giros en cualquier dirección y terminaba por solo generar unas fuerzas contrarias en las extremidades pero que no cumplía su objetivo en el lazarillo.



Figura 30 Marcha (Autores)

Fundamentado en el inconveniente anterior y con la premisa de no agregar peso adicional a la estructura, se eliminaron las ruedas y sus respectivos motores para realizar la emulación de los movimientos de un perro, para esto se analizó en la literatura la disposición de la marcha del animal incluyendo el análisis de la marcha de diferentes robots del mismo tipo. Además, se adiciona en

cada extremidad distal un material antideslizante para evitar que durante la caminata el prototipo resbalara, el resultado obtenido se puede observar en la (Figura 30).

Los movimientos de las extremidades se componían de flexión y extensión en diferentes ángulos y tiempos para lograr así el movimiento, esto generó una desventaja más grande en comparación del primer modelo ya que el robot se desplazaba muy lentamente, lo que se traduce en una dificultad para el usuario en cuanto a seguir al lazarillo, por tal motivo este modelo concluyo con un descarte total puesto que adicionalmente la mecánica de los movimientos no era viable ya que aún era más difícil controlar la distancia de desplazamiento y los giros hacían que el prototipo perdiera equilibrio y colapsara.

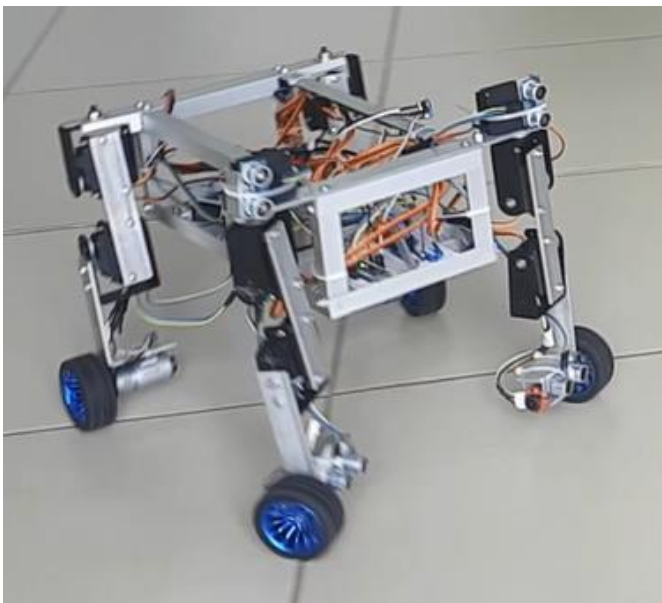


Figura 31 Prototipo con giro (Autores)

Finalmente, como se muestra en la Figura 31 se seleccionó las ruedas y motores como en la primera versión; adicionando dos servomotores los cual se encargarían de girar las extremidades delanteras tal cual lo hace un vehículo de 4 ruedas. de esta manera el desplazamiento ocurre de

manera armonizada y fácil de seguir para el usuario. Se tiene en cuenta la programación del primer modelo y se agrega el código para lograr generar la dirección en la marcha del prototipo.

7.5 Baterías

Inicialmente fue planteado para el funcionamiento usar una batería con una corriente de 2200 miliamperios a 7.4 voltios. Sin embargo, se evidenció durante las primeras pruebas que se presentaban picos de corriente que generaban el reinicio del programa porque lo que se debió implementar un diodo que evitara estos problemas, sin embargo, la solución no siempre cumplía con el objetivo por lo que se optó en usar una segunda batería una para la etapa de control la cual incluía regulador de voltaje garantizado un máximo de 5 voltios, dejando la primera batería exclusivamente para la etapa de potencia.

Finalmente, durante las pruebas de funcionamiento del prototipo por error en la configuración del sistema de recarga de las baterías, una de ellas exploto y por fácil acceso en el momento se usó una batería de 5200 miliamperios a 7.4V. la cual usándola sola y en conjunto con el regulador y el diodo no presento reinicios en el sistema por lo que se decide seguir usando dicha batería exclusivamente permitiendo también disminuir el peso total del asistente robótico.

7.6 App para usuario invidente

El programa se desarrolló por medio de la plataforma Android Inventor 2, para asignar el comando de la voz para el lazarillo, por medio de una aplicación para dispositivos móviles. La aplicación móvil trabaja de la siguiente manera.



Figura 32 Pantallazo aplicación usuario (Autores)

Inicialmente el usuario debe ingresar a la aplicación Figura 32 del dispositivo móvil llamada “Ulises”, al iniciar dicha inmediatamente se da la conexión por medio de bluetooth entre el lazarillo y el dispositivo móvil, posteriormente después de un lapso entre 2 y 5 segundos se activa un mensaje audible que pregunta a la persona que va a hacer uso del asistente robótico el lugar a donde quiere ir, después de la recepción de este mensaje el usuario debe responder el lugar dentro del edificio al cual quiere dirigirse (dicho lugar puede ser programado por número, nombre u otra nomenclatura usada); sin importar todo que el usuario pueda hablarle a la aplicación esta solo toma en cuenta la información pertinente a la nomenclatura asignada, la aplicación realiza una lectura en un tiempo de aproximadamente 5 segundos y finalmente otro mensaje audible anuncia el lugar al que el usuario va iniciar el desplazamiento y antes de iniciar la rutina da un lapso de alrededor de 5 segundos para que el lazarillo inicie la marcha.

7.7 App administrativa para control remoto

El programa al igual que el de usuario, se desarrolló por medio de la plataforma Android Inventor 2, para proporcionar un sistema de control remoto que permita al personal administrativo del lugar donde se vaya a implementar el uso del lazarillo robótico, tener control del mismo por medio de la aplicación.

Cuando se usa la aplicación se debe usar el dispositivo móvil en formato horizontal como se observa en la Figura 33, pulsar el botón con el símbolo de bluetooth para que muestre el listado de dispositivos disponibles y así realizar la conexión con el lazarillo.

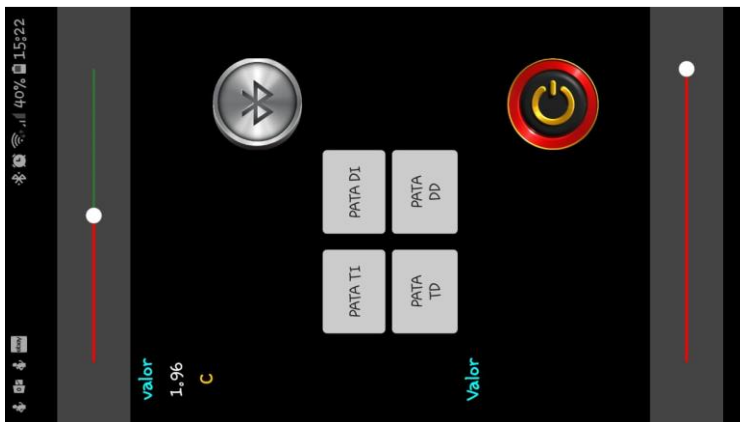


Figura 33 Pantallazo aplicación control remoto (Autores)

Para el avance, freno o retroceso se requiere accionar la barra de deslizamiento que se encuentra en la parte izquierda, esta permite graduar la velocidad en la que se va a desplazar el asistente robótico, hacia arriba la máxima velocidad hacia adelante y hacia abajo la máxima velocidad hacia atrás, la barra está acompañada de un indicador numérico en color azul donde de 4.9 a 0 indica el desplazamiento hacia atrás, 5 parada o freno y finalmente de 5.1 a 10 desplazamiento hacia adelante.

Por otra parte, para el cambio de la orientación o giro del lazarillo, solo es necesario que el usuario mueva “gire” el dispositivo móvil ya sea hacia la izquierda o derecha dependiendo el lugar al que quiera dirigir el asistente robótico y la aplicación leerá el giroscopio del dispositivo; la función también cuenta en la parte inferior izquierda con un indicador que representa la dirección en tiempo real, ya sea derecha, centro o izquierda, posiciones que están denotas con las letras D, C, I, respectivamente; también está acompañada por un indicador numérico que representa la velocidad del giroscopio ya que existe una velocidad mínima a la que el dispositivo responde para realizar los cambios de dirección.

Conjuntamente, en el panel principal de la aplicación se encuentran 4 botones que hacen referencia directamente a cada una de las extremidades el lazarillo y cada uno de estos están debidamente programados para que al ser habilitados individualmente o en conjunto la(s) extremidad(es) elegida(s) realice(n) un movimiento de flexión el cual es controlado de la barra del lado derecho al cual siempre iniciará al valor máximo; al igual que la otra barra de desplazamiento esta cuenta con un indicador numérico en color azul donde su máximo es extensión total y el mínimo es flexión total.

Finalmente, al salir de la aplicación el asistente robótico deja de efectuar cualquier movimiento, recuperando su estado inicial y desconecta el bluetooth.

7.8 Arnés

Se diseñó un arnés que fuese ergonómico y liviano tanto para el lazarillo como para el usuario, además que en su forma sea similar al usado en un perro real. Este arnés está anclado al prototipo

de tal forma que puede tomar diferentes ángulos para ajustarse a la altura del usuario fácilmente conservando adicionalmente una distancia adecuada, durante pruebas realizadas con un usuario al cual se le taparon los ojos se estableció la facilidad para intuir los movimientos del lazarillo.



Figura 34 Arnés (Autores)

7.9 Rutas

Para medir la efectividad del prototipo se registraron diez pruebas por medio del seguimiento de la ruta en cada una de las etapas establecidas (recepción, ascensor y salón), las cuales se programaron a fin de verificar la exactitud y la repetitividad de la plataforma; para lo cual se definen tres objetivos los cuales se determinaron teniendo en cuenta los siguientes criterios:

- El cumplimiento total de la ruta y la llegada a su destino.
- La variabilidad que se presenta para llegar siempre al mismo punto teniendo como de referencia la puerta de destino.
- Identificar a tiempo la puerta o un obstáculo para detenerse y evitar choques.

Tomando como referencia los videos grabados durante las pruebas se graficaron las rutas trazadas por el prototipo para de esta forma ayudar en el análisis de la incertidumbre que se presenta para lograr un recorrido teórico o programado; la figura (Figura 35) muestra las rutas de la etapa recepción.

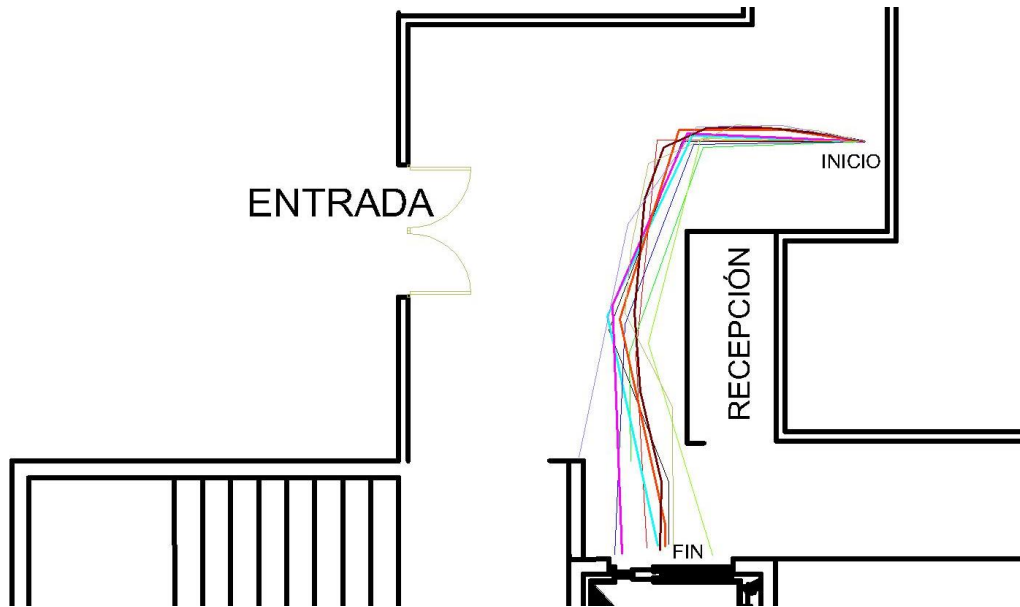


Figura 35 Rutas recepción (Autores)

Tabla 3 Resultado recorrido recepción (Autores)

Prueba	Llegada al ascensor		Centrado en la puerta		Se estrella	
	Si	No	Si	No	Si	No
1	X			X	X	
2	X		X			X
3		X		X	X	
4		X		X		X
5	X			X		X
6	X		X			X
7	X		X			X
8	X		X			X
9	X		X			X
10		X		X		X

Los datos obtenidos de los recorridos realizados en la etapa “recepción” se muestran en la 3, de la cual se observa que existe un 70% de efectividad en el cumplimiento de la trayectoria, adicionalmente de todas las veces que se cumplió el recorrido 71.4% la posición de llegada fue la

indicada para ingresar al ascensor garantizando la integridad del usuario; finalmente se puede determinar que existe una probabilidad del 80% que el lazarillo evita golpear contra un obstáculo sin importar el cumplimiento de su recorrido.

En la Figura 36 se observan los recorridos realizados dentro del ascensor en la segunda etapa.

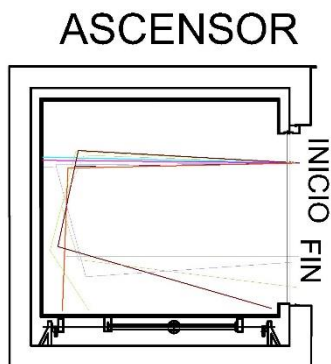


Figura 36 Rutas ascensor (Autores)

Tabla 4 Resultado recorrido ascensor (Autores)

Prueba	Ingreso al ascensor		Salida del ascensor		Se estrella	
	Si	No	Si	No	Si	No
1		X		X	X	
2		X		X	X	
3	X			X	X	
4	X			X	X	
5	X			X	X	
6	X			X	X	
7	X			X	X	
8	X			X	X	
9	X		X			X
10	X		X			X

Los datos de la Tabla 44 corresponden a las pruebas realizadas en el ascensor, el cual representa la segunda etapa del recorrido. Durante las pruebas 1 y 2 una vez se abre la puerta, el espacio vacío

que se encuentra entre el suelo y el piso del ascensor era detectado por los sensores como un obstáculo y el lazarillo no avanzaba por lo que fue necesario ignorar temporalmente a los sensores de ultrasonido para eliminar este inconveniente.

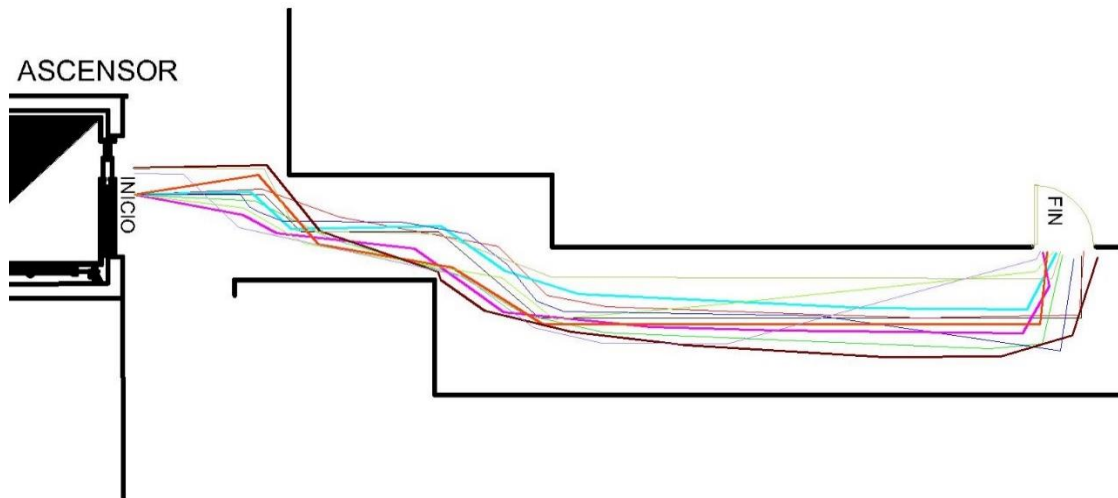


Figura 37 Rutas salón (Autores)

En la (Figura 37) se observan las trayectorias de la etapa "salón" Como se observa, a medida que se realizaron mayor número de movimientos, la ruta real se alejó más de la ruta diseñada. Parte del error fue debido al factor calculado que indicó el número de pasos de los encoders necesarios para avanzar un metro, y que a la postre es la suma de muchas aproximaciones.

En la Tabla 55 se muestran los resultados obtenidos en la última etapa llamada salón y la cual comprende el recorrido por el pasillo desde la salida del ascensor hasta el salón de llegada, se identifica un 80% de éxito en el cumplimiento del recorrido, pero tan solo un 62.5% de acierto para quedar frente a la puerta, adicionalmente al igual que en la etapa del ascensor se incrementan los siniestros logrado solo un 37.5% de efectividad para evitar los choques.

Tabla 5 Resultado recorrido salón (Autores)

Prueba	Llegada al salón		Centrado en la puerta		Se estrella	
	Si	No	Si	No	Si	No
1	X		X		X	
2	X			X	X	
3	X			X	X	
4		X		X		X
5	X		X			X
6	X		X		X	
7	X		X			X
8	X			X	X	
9	X		X			X
10		X		X	X	

8. Presupuesto del prototipo

El propósito de mostrar la ejecución presupuestal en el desarrollo del proyecto es de identificar el valor total del prototipo en su proceso inicial de puesta en marcha, igualmente verificar los rubros que se usaron al ensayo y error en la puesta en marcha del prototipo.

La tabla 6 muestra el software utilizados mas no contabilizados, puesto que su adquisición es de software libre, por tanto, su cuantía es de \$0.

Tabla 6 Software utilizado para el desarrollo del proyecto

SOFTWARE	CANTIDAD	VALOR TOTAL
Arduino	1	0
APP Inventor 2	1	0
	TOTAL	0

Tabla 7 Rubros de dispositivos usados. Fuente: Autor

DISPOSITIVOS	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
Arduino Mega	1	\$ 45.000	\$ 45.000
Arduino Mini	2	\$ 15.000	\$ 30.000
Módulo de bluetooth	1	\$ 15.000	\$ 15.000
Driver de motor	1	\$ 85.000	\$ 85.000
Servo motor en piñonería metálica	10	\$ 20.000	\$ 200.000
Cable jumpers 20CM X 40 Unidades	2	\$ 15.000	\$ 30.000
Aluminio (diferentes formas)	2	\$ 20.000	\$ 40.000
Sensor Ultrasonido	4	\$ 7.000	\$ 28.000
Moto reductor encoder	4	\$ 50.000	\$ 200.000
Pila tipo LIPO 2200mA	1	\$ 90.000	\$ 90.000
Pila tipo LIPO 5200mA	1	\$ 156.000	\$ 156.000
Articulación para servomotor	8	\$ 20.000	\$ 160.000
Pantalla LCD	1	\$ 30.000	\$ 30.000
Baquela	1	\$ 20.000	\$ 20.000
Otros	1	\$ 100.000	\$ 100.000
	TOTAL		\$ 1.229.000

La Tabla 77 relaciona los diferentes dispositivos requeridos para el desarrollo del proyecto con un valor de \$1.229.000 y para los dispositivos averiados se observa en la tabla 7 un valor de \$240.000.

Tabla 8 Rubros de dispositivos usados que presentaron averías. Fuente: Autor

Dispositivos averiados en pruebas	Cantidad	Valor unitario	Valor total
Servo motor en piñonera metálica	3	\$ 20.000	\$ 60.000
Pila tipo LIPO	2	\$ 90.000	\$ 180.000
TOTAL			\$ 240.000

Las herramientas usadas para la construcción del prototipo ascienden a un valor de \$5.352.000, si son adquiridas exclusivamente para el desarrollo del prototipo, ver tabla 9.

Tabla 9 Herramientas requeridas en el desarrollo del proyecto. Fuente: Autor

HERRAMIENTA	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
Pistola de calor	1	\$ 115.000	\$ 115.000
Estación de soldadura	1	\$ 250.000	\$ 250.000
Taladro	1	\$ 180.000	\$ 180.000
Esmeril	1	\$ 184.000	\$ 184.000
Juego de llaves brístol	1	\$ 30.000	\$ 30.000
Juego de destornilladores	1	\$ 150.000	\$ 150.000
Multímetros	1	\$ 155.000	\$ 155.000
Fuentes de voltaje	1	\$ 820.000	\$ 820.000
Cargador lípo	1	\$ 125.000	\$ 125.000
Cortafrío	2	\$ 12.000	\$ 24.000
Cautín	1	\$ 15.000	\$ 15.000
Tijeras	2	\$ 3.000	\$ 6.000
MotorTool	1	\$ 109.000	\$ 109.000
Pela cable	1	\$ 35.000	\$ 35.000
Destornillador eléctrico	1	\$ 154.000	\$ 154.000
Computador Portátil	3	\$ 1.000.000	\$ 3.000.000
TOTAL			\$ 5.352.000

Los consumibles que se usaron en la participación presupuestal del proyecto es de \$53.000, ver tabla 10.

Tabla 10 Lista de consumibles. Fuente: Autor

CONSUMIBLES	CANTIDAD	UNIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
Soldadura	2	Rollo	\$ 1.000	\$ 2.000
Termoencogible	5	Metro	\$ 600	\$ 3.000
Cinta aislante	2	Rollo	\$ 2.000	\$ 4.000
Cinta doble faz	1	Rollo	\$ 15.000	\$ 15.000
Cinta de enmascarar	1	Rollo	\$ 4.000	\$ 4.000
Amarres plásticos	1	Paquete * (100)	\$ 5.000	\$ 5.000
Tornillería	1	Paquete * (100)	\$ 20.000	\$ 20.000
TOTAL				\$ 53.000

La tabla 11 muestra la distribución presupuestal de la mano de obra que tuvo participación en las actividades del proyecto, por un valor de \$20.100.000

Tabla 11 Distribución presupuestal de la mano de obra

MANO DE OBRA DEL PROYECTO	HORAS	VALOR HORA	VALOR TOTAL
AUTORA: Eliana Liceth Cano Sarmiento	600	\$ 10.000	\$ 6.000.000
AUTORA: Julieth Camila Cubides Bernal	600	\$ 10.000	\$ 6.000.000
AUTOR: Ferlein Gonzalez Pérez	600	\$ 10.000	\$ 6.000.000
DIRECTORA: Ingrid Mercedes Cruz Bernal	50	\$ 30.000	\$ 1.500.000
CODIRECTORA: María A. Dussan Álvarez	20	\$ 30.000	\$ 600.000
TOTAL			\$ 20.100.000

Para el desarrollo del prototipo de un lazarillo robótico se tuvo en cuenta los diferentes rubros asociados a la implementación con un costo de \$27.036.000, y considerando que en las pruebas piloto se generaron imprevistos, se cuantifico estos con un 10% sobre el total de la implementación, en consecuencia, la totalidad originada para el desarrollo haciende a un costo de \$ 29.739.600, como se observa en la tabla 12.

Tabla 12 Totalidad presupuestal del desarrollo de proyecto

<i>SOFTWARE</i>	0
<i>DISPOSITIVOS</i>	1.229.000
<i>DISPOSITIVOS UTILIZADOS EN PRUEBAS</i>	240.000
<i>HERRAMIENTA</i>	5.352.000
<i>CONSUMIBLES</i>	115.000
<i>MANO DE OBRA</i>	20.100.000
<i>Otros costos de imprevistos en pruebas piloto (10%)</i>	\$ 2.703.600
<u>TOTAL PRESUPUESTO</u>	<u>\$ 29.739.600</u>

9. Conclusiones

Implementar un módulo de voz para la comunicación entre el lazarillo y el usuario es un método eficaz solo si el asistente robótico está personalizado, puesto que este solo puede accionarse con un tono de voz determinado, de lo contrario puede generar inconvenientes en su funcionamiento por lo que es más apropiado usar una aplicación para smartphone ya que esta puede ser utilizada por toda clase de personas además que puede acondicionarse fácilmente para reaccionar a otros idiomas.

Ejecutar rutinas basadas en los valores entregados por los encoders en cierto punto puede disminuir la efectividad en el funcionamiento de la programación toda vez que estos pulsos o datos entregados están relacionados directamente con el movimiento del motor y este puede variar dependiendo de la dirección o velocidad que tome el asistente robótico de los cuales se pudo observar un error de hasta el 10%. Adicionalmente se debe tener en cuenta que las baterías tipo Lipo son recomendadas para proyectos como el lazarillo, por las ventajas que estas tienen en cuanto a su suministro de corriente y el peso de la misma; sin embargo, se debe optimizar el sistema para que cuando estas se descarguen no generen variación en el funcionamiento de la rutina, ya que con el sistema actual no siempre hay exactitud en los movimientos de asistente robótico y las pruebas no sean en algunos casos 100% efectivas.

El adecuado análisis de las variables que inciden en la realización del prototipo representa uno de los pasos más importantes, puesto que aquí están representadas las bases del trabajo y determina en cierta medida el camino que tomará el proyecto. Para este caso no solamente se tuvo en cuenta el análisis de los movimientos de un lazarillo si no, la normativa que afecta directamente a las

personas invidentes y las características físicas y condiciones que debe cumplir el prototipo para que el usuario pueda ser guiado de manera efectiva.

Para las proyecciones a futuro referentes al desarrollo del lazarillo robótico, se analizaron y contemplaron diferentes factores como el proceso de fabricación del prototipo, el gasto energético referente a este mismo proceso y la degradación del equipo al ser desechado. En primera medida el proceso de fabricación y el gasto energético se deben analizar en conjunto, puesto que el segundo factor incide de maneras diferentes según el proceso que se esté realizando; en la construcción del prototipo, no se cuentan con máquinas de muy alta potencia cuyo consumo sea exageradamente elevado, puesto que la mayoría de las herramientas son de tipo manual lo que no representa un gasto de energía significativo. Dentro de este estudio se debe tener en cuenta el momento en que es desechado puesto que este dispositivo contiene diferentes elementos que al desecharlos tienen un tratamiento especial, muchas de sus piezas metálicas pueden ser reutilizadas o procesadas para otros fines al igual que los componentes electrónicos los cuales deben tener un proceso específico para que puedan ser desechados sin afectar el medio ambiente, esto puede apoyarse con entidades que realicen este proceso y le den trato a los desechos tipo RAEE; de la misma manera se tendría en cuenta este proceso de desecho para las baterías. De esta manera se implementa una proyección en el momento en el que se deba retirar el equipo, pero este mismo puede ser útil en una gran cantidad de tiempo lo que permitirá que los desechos no sean de una manera masiva que generé alto impacto en el medio ambiente.

Como parte del análisis viable del prototipo junto con el estudio de las variables ambientales el estudio social es otro de los puntos importantes para definir la proyección del prototipo, teniendo en cuenta que en este se determinan los beneficiarios del proyecto, características socio-económicas del sector donde se desarrolla el proyecto, los beneficios que obtendrá la comunidad y como participará esta durante la ejecución del mismo. Al evaluar cuáles son los beneficiarios directos se establece que son las personas que accedan a las instituciones de salud y que cuenten con discapacidad visual. Dentro de las características socio-económicas del sector donde se involucra el desarrollo del prototipo, se puede identificar que una de las necesidades que se ven en los centros hospitalarios de los diferentes niveles de complejidad es que no cuentan con personas disponibles para todas las personas con discapacidad visual que a estos asisten, por lo que en estos casos se presentan dificultades para las personas invidentes para la ubicación dentro de dichas infraestructuras. Los beneficios que obtendrá la comunidad son identificables en cuanto a que las personas invidentes tendrán más garantías para desempeñarse y desplazarse dentro de las diferentes IPS o edificios públicos donde se use el proyecto.

La estructura planteada para las extremidades del robot permite un correcto acoplamiento y funcionalidad en conjunto de los diferentes motores que participan en el proceso de la movilidad, pero al utilizar servomotores de bajo torque, aunque metálicos; la fuerza necesaria para generar estabilidad al prototipo no es suficiente, de esta manera se requieren motores cuyo torque sea superior al peso total del dispositivo.

Durante las pruebas de funcionamiento del prototipo se pudo evidenciar una problemática para identificar después de ingresar al ascensor el piso donde se encuentra, saber si cuando se abren nuevamente las puertas corresponde al lugar donde se tiene que bajar el usuario y por lo tanto el lazarillo reanude su labor, es por tal razón que se plantearon distintas alternativas para dar solución:

- Desarrollar una rutina a partir de la planteada en el giro del robot dentro del ascensor para que el lazarillo teniendo en cuenta un tiempo mínimo de duración desde que se cierra hasta que se abre la puerta del ascensor se determine en qué piso esta, pero si por algún motivo existe retraso en el ascensor este método puede fallar.
- Implementar una conexión entre lazarillo y el ascensor donde este último le envíe una señal por bluetooth indicando en que piso se encuentra para que el robot identifique si puede continuar con la marcha o debe esperar a que el ascensor llegue a su destino.
- Si el ascensor indica de manera audible el piso en el que se encuentra se puede complementar con una rutina que permita obturar un botón en el arnés de tal manera que desactive la rutina para que el asistente robótico reanude su marcha y lleve al usuario al lugar especificado.
- Finalmente, usar un sensor acelerómetro y giroscopio tipo MEMS, que permitiría detectar los cambios de velocidad en el eje z (arriba-abajo), de esta forma saber cuándo cambia de piso el ascensor e identificar en cual se encuentra.

Al comparar la funcionalidad de un perro lazarillo con el asistente robótico se puede determinar que el robot cumple con condiciones de acoplamiento con el usuario y entorno más simples, tiempos de adiestramiento más cortos. Así mismo el perro lazarillo puede ser adaptado solo para

una persona en específico y en el caso del asistente robótico puede ser utilizado por cualquier persona.

Referencias

- Aguayo, L. Á. (2016). • Visión artificial por alertas de voz y movimiento para personas con discapacidad visual en la biblioteca de no videntes de la Universidad Técnica de Ambato. *. Universidad Técnica de Ambato.*
- Alejandro, H. V., & Roberto, J. M. (2006). Diseño y construcción de un dispositivo para la alerta de obstáculos (DAO) . *Revista Ingeniería Biomédica, 1(1)*. doi:ISSN 1909-9762
- Anonimo. (2010). *Universidad de Castilla-La Mancha*. Recuperado el 8 de Marzo de 2016, de <http://www.infoab.uclm.es/labelec/solar/electronica/elementos/servomotor.htm>
- Bravo Granadino, C., Labarca Fuentes, E., León Soledispa, C., Ulloa Suárez, J., & Valenzuela Lobos, J. (s.f.). *El bus I2C*. Universidad Técnica Federico Santa María, Departamento de electrónica. Recuperado el 8 de Agosto de 2018, de <http://vega.elo.utfsm.cl/~lsb/elo325/clases/charlas/I2C/El%20Bus%20I2C.pdf>
- Camargo, J., Gonzalez, L., Segura, D., Garay, F., & Rincon, N. (2017). Orientation Assistance for Visually Impaired Passengers within a Bus Rapid Transit System (Transmilenio), Using Satellite Geolocation. *Ingenieria, 283-297*.
- Centro de Documentación Judicial. (1991). *Constitución política de Colombia 1991*. Bogotá: CENDOJ.
- Cipriano Martinez, R., & Perez Canseco, C. (2014). *sistente Portátil Para Discapacitados Visuales*. Instituto Politécnico Nacional.

Clinica Rahhal. (5 de Abril de 2018). *Mácula ocular: ¿qué es y qué función desempeña?* Obtenido de <https://www.rahhal.com/blog/macula-ocular-que-es-y-que-funcion-desempena/>

ClinicaIveoSalud. (26 de Enero de 2017). *Miopía y Astigmatismo*. Recuperado el 12 de Enero de 2018, de <https://clinicaiveosalud.com/index.php/component/content/article/94-noticias/90-miopia-astigmatismo>

cocnoticias.com. (27 de Junio de 2016). *Vitamina C ayudar a reducir el riesgo de cataratas y glaucoma*. Recuperado el 12 de Enero de 2018, de <http://www.cocnoticias.com/2016/06/27/la-vitamina-c-ayudar-a-reducir-el-riesgo-de-cataratas-y-glaucoma/>

Diccionario Oftalmológico. (s.f.). *Clinica Valle. Oftalmología y especialidades*. Recuperado el 5 de Abril de 2018, de <http://www.clinicavalle.com/enfermedades-procedimientos/anatomia-del-ojo.html>

Discapacidad Colombia. (2016). *Discapacidad Colombia Estadísticas*. Recuperado el 14 de Noviembre de 2017, de <http://discapacidadcolombia.com/index.php/estadisticas/185-estadisticas-2015>

Dynamo Electronics. (2006). Obtenido de https://www.dynamoelectronics.com/descargas/Baterias_Lipo.pdf

Fernández, A. M. (2004). *EL BUS I2C*. Universidad de Córdoba (España), Depto. Arquitectur. Recuperado el 7 de Agosto de 2018, de <http://www.uco.es/~el1mofer/Docs/IntPerif/Bus%20I2C.pdf>

Figueroba, A. (s.f.). *Las 11 partes del ojo y sus funciones*. Recuperado el 5 de Abril de 2018, de <https://psicologiaymente.net/neurociencias/partes-del-ojo>

freepik. (20 de 06 de 2018). *Freepik*. Obtenido de https://www.freepik.es/vector-gratis/organos-del-cuerpo_836934.htm

I.E.S. Burguillos-Dpto. de Tecnología. (9 de agosto de 2018). Obtenido de http://www.cscjprofes.com/wp-content/uploads/2014/02/teoria_arduino2009.pdf

INCI. (2018). *Leyes*. Recuperado el 3 de Enero de 2018, de http://www.inci.gov.co/images/supportfiles/normatividad/leyes/Ley_1346_de_julio_31_de_2009.pdf

Loayza Villar, F. (1996). *Atlas de anatomía ocular*. Lima: UNMSM.

Markiewicz, M., & Skomorowski, M. (2010). Public Transport Information System for Visually Impaired and Blind People. *Communications in Computer and Information Science*, 271–277.

Ministerio De Educación. (s.f.). *Educación inclusiva: discapacidad visual*. Instituto de Tecnologías Educativas.

Ministerio De Salud. (6 de Octubre de 2008). *Baja Visión Irreversible: Una Discapacidad Invisible*. Obtenido de https://www.minsalud.gov.co/Documents/General/20141009_PDF_BajaVisi%C3%B3nIrreversible.pdf

Nassih, M., Cherradi, I., Maghous, Y., Ouriaghli, B., & Salih-Alj, Y. (2012). Obstacles Recognition System for the Blind People Using RFID. *IEEE*. doi:10.1109/NGMAST.2012.28

Naylamp Mechatronics. (s.f.). Recuperado el 9 de Agosto de 2018, de https://naylampmechatronics.com/blog/15_Configuraci%C3%B3n--del-m%C3%B3dulo-bluetooth-HC-06-usa.html

Paz, B. (11 de Enero de 2018). *Magazin Canino*. Obtenido de <http://www.magazinecanino.com/sgc/fotos/HISTORIA%20DEL%20PERRO%20GUIA%20RV.pdf>

Ribón Barrios, D. D. (2015). *Diseño y construcción de un prototipo de bastón*. Cartagena de Indias: Universidad De San Buenaventura.

Suárez Escudero, J. C. (2011). Discapacidad visual y ceguera en el adulto: Revisión de tema. *Adult visual impairment and blindness: Review article*, 170-180.

Unicrom. (2016). *Electronica Unicrom*. Obtenido de <https://unicrom.com/control-de-motor-dc-con-puente-h/>

Villar, F. L. (2008). *Sistema de Bibliotecas y Biblioteca Central*. Obtenido de http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtual/libros/medicina/cirugia/tomo_iv/anata_ocu.htm

WEBAERO. (2011). *WEBAERO.net*. Obtenido de <http://www.webaero.net/aeromodelismo/download/ficheros/Documentacion/Manual baterias Lipo.pdf>

