

Sistema de reconocimiento de obstáculos para movilidad de Invidentes



Trabajo de grado para optar Título de Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones

Jesús Albero Mosquera Sandoval
Duber Julián Rodríguez Burbano

Víctor Mosquera Leyton (MsC.)

Universidad del Cauca
Facultad de Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones
Departamento de Electrónica Instrumentación y Control

Popayán

2014

Tabla de contenido

Lista de figuras.....	vi
Lista de tablas.....	x
Introducción.....	xi
Capítulo 1: Generalidades.....	1
1.1 Discapacidad visual.....	1
1.1.1 Clasificación de la discapacidad visual.....	2
1.1.2 Causas la discapacidad visual.....	3
1.1.2.1 Factores externos.....	4
1.1.2.1.1 Enfermedades de la córnea.....	5
1.1.2.1.2 Cataratas.....	6
1.1.2.1.3 Degeneración macular.....	7
1.1.2.1.4 Causa tumorales.....	7
1.1.2.1.5 Traumatismos.....	8
1.1.2.2 Factores internos.....	8
1.1.2.2.1 Intoxicación.....	9
1.1.2.2.2 Meningitis.....	9
1.1.2.2.3 VIH.....	9

1.1.2.2.4 Glaucoma	10
1.1.3 Prevención de la ceguera y discapacidad visual evitables	10
1.1.4 Afectaciones psicológicas	12
1.2 Sistemas de ayuda para la movilidad de invidentes	12
1.2.1 Bastón blanco.....	12
1.2.2 Perro guía.....	13
1.2.3 Dispositivos electrónicos	14
Capítulo 2: Metodología y diseño del prototipo	22
2.1 Diseño electrónico	23
2.1.2 Sensores	23
2.1.3 Microcontrolador	29
2.1.4 Comunicación	30
2.1.5 Baterías	32
2.1.6 Módulo Bluetooth hc05	33
2.1.7 Diseño circuital	34
2.1.8 Diseño PCB	37
2.1.9 Software de arduino	38
.....	40
.....	40

2.2 Análisis geométrico	40
2.2.2 Diagrama geométrico horizontal	43
2.3 Diseño mecánico	44
2.3.1 Bastón	45
2.3.2 Diseño de Carcazas	46
2.4 Construcción del prototipo	49
2.4.1 Cableado	49
2.4.2 Fijación de estructura.....	51
2.4.3 Rueda	52
Capítulo 3: Software de mapeo para el dispositivo de ayuda para la movilidad de invidentes	53
3.1. Metodología de desarrollo.....	53
3.2 Herramientas Software utilizadas.....	54
VTK.....	55
Qt	56
Cmake	56
Microsoft Visual Studio.....	56
Visual Micro	57
Blender.....	57
3.3 Desarrollo del software	58

3.3.1 Modelado de los objetos del sistema	58
3.3.2 Modelado de la Interfaz Gráfica de Usuario.....	60
3.4 Diseño del sistema.....	61
3.4.1 Diagrama de clases	61
3.4.2 Desarrollo del ambiente	65
3.4.3 Diagrama de casos de uso.....	74
Capítulo 4: Evaluación del funcionamiento del sistema desarrollado	75
4.1 Funcionamiento del bastón.....	75
4.2 Detección de objetos	77
4.2.1 Caracterización de los sensores de ultrasonidos	79
4.3 Mapeo de obstáculos	83
4.4 Sistema de alertas	90
4.5 Funcionamiento mecánico.....	91
4.6 Problemas comunes	91
Capítulo 5. Conclusiones y trabajos futuros	93
5.1 Conclusiones	93
5.2 Trabajos futuros.....	95
Bibliografía	¡Error! Marcador no definido.

Lista de figuras

Figura 1. Estructura del ojo.....	5
Figura 2. Cataratas	7
Figura 3. Glaucoma.....	10
Figura 4. Prototipo desarrollado en la Università degli Studi di Cagliari, Italia.....	15
Figura 5. Proyecto de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.....	16
Figura 6. Proyecto desarrollado en la Universidad Politécnica Salesiana.	17
Figura 7. Reconocimiento de caracteres con sistema de perro guía, Gifu University.	18
Figura 8. Proyecto desarrollado en la Universidad Politécnica de Valencia.	19
Figura 9. Sistema DMREI.....	20
Figura 10. Sistema DAO.....	20
Figura 11. Prototipo de la Universidad de Pamplona, Colombia.....	21
Figura 12. Diagrama de bloque.....	22
Figura 13. Sensor EZ0	25
Figura 14. Caracterización de patrones.....	27
Figura 15. Giroscopio y acelerómetro mpu6050	28
Figura 16: Arduino pro mini	30
Figura 17. Wtv020sd.....	31

Figura 18: Batería tr 18650	33
Figura 19. Porta batería tr 18650.....	33
Figura 20: Diagrama circuital	37
Figura 21: Esquema pcb.....	38
Figura 22: Diagrama de flujo	39
Figura 23. Diagrama en bloques de algoritmo	40
Figura 24. Diagrama geométrico vertical.....	41
Figura 25: Triángulo A.....	42
Figura 26 Triángulo B.....	43
Figura 27. Diagrama geométrico horizontal	44
Figura 28: Tubo de aluminio.....	45
Figura 29. Pieza rueda-tubo	46
Figura 30. Contenedor principal	47
Figura 31. Fijador.....	47
Figura 32. Pieza para sensor elevado	48
Figura 33. Cubierta del cubo.....	48
Figura 34. Contenedor completo.....	49
Figura 35. Cableado	50
Figura 36. Switch, conector y mango de agarre.....	50

Figura 37. Fijador.....	51
Figura 38. Graduador	51
Figura 39. Rueda de goma	52
Figura 40. Modelo de desarrollo en cascada.....	54
Figura 41: Dispositivo modelado en Blender	59
Figura 42: Representación de obstáculos.....	60
Figura 43: Interfaz Gráfica de Usuario.	60
Figura 44: Diagrama de clases	61
Figura 45. Diagrama de clase ui_leer.....	62
Figura 46: Diagrama de clase Serial.	63
Figura 47: Diagrama de clase leer.....	64
Figura 48: Diagrama de flujo Serial.....	68
Figura 49: Software para el mapeo del Prototipo desarrollado.....	69
Figura 50: Movimiento de cámara con ratón para el Software.	70
Figura 51: Confirmación de conexión con el dispositivo pantalla de comandos.....	71
Figura 52: Confirmación de conexión con el dispositivo interfaz gráfica.	71
Figura 53: Error de conexión con el dispositivo en pantalla de comandos.....	72
Figura 54: Error de conexión con el dispositivo en interfaz gráfica.	72
Figura 55. Botones en la interfaz gráfica.	73

Figura 56: Diagrama de caso de uso.	74
Figura 57. Prototipo de bastón	75
Figura 58. Respuesta de acelerómetro en eje X a inclinaciones de 15°	77
Figura 59. Respuesta de acelerómetro en eje Y a inclinaciones de 15°	78
Figura 60. Respuesta de acelerómetro eje X en movimiento.....	78
Figura 61. Respuesta acelerómetro eje Y en movimiento	79
Figura 62. Curva empírica de funcionamiento sensor EZ0.....	80
Figura 63. Respuesta de sensores sin filtrado de datos	81
Figura 64. Respuesta de sensores con filtrado de datos	81
Imagen 65. Evasión de obstáculo a la derecha.....	85
Imagen 66. Presencia de objeto a la derecha.....	86
Imagen 67. Cruce de esquina entorno real.	87
Imagen 68. Movimiento del dispositivo cruzando una esquina.	87
Imagen 69. Entorno cerrado con múltiples obstáculos	88
Imagen 70. Movimiento del dispositivo entorno cerrado	88
Imagen 71. Detección de objeto elevado	89
Imagen 72. Deteccion de obstaculo en altura.....	89
Imagen 73. Evasión de obstáculo, detección frontal.....	90
Imagen 74. Gráfico obstáculo frontal.....	90

Lista de tablas

Tabla 1. <i>Ordenamiento listas de reproducción</i>	32
Tabla 2. <i>Especificaciones técnicas de principales componentes</i>	35
Tabla 3. <i>Herramientas software usadas</i>	58
Tabla 4: <i>Pruebas de aciertos del sensor EZO</i>	82
Tabla 5. <i>Valores utilizados en el software</i>	83
Tabla 6: <i>Listado de pistas</i>	91

Introducción

La discapacidad visual es un concepto global, que se categoriza de acuerdo a unos parámetros que establece la organización mundial de la salud (OMS), como más representativos y comunes se encuentran conceptos como la ceguera y la baja visión. Se conoce como ceguera a la ausencia de percepción de luz, la baja visión es considerada una limitación de la capacidad visual para la ejecución de actividades cotidianas [1]. Es común observar en la cotidianidad personas con limitaciones visuales que van acompañadas de un bastón blanco con una franja roja como norma, lo cual es de gran ayuda para el invidente, permitiéndole así conocer la presencia de obstáculos a unos metros más adelante sobre el suelo, sin embargo, este elemento de apoyo no advierte la presencia de objetos elevados que podrían lastimar al discapacitado. De la misma manera, pero no tan frecuente las personas con ceguera son acompañadas de perros guía, los cuales son denominados lazarillos y se encargan de ayudar al paciente a evadir obstáculos y advierten la presencia de ascensos o descensos, este método ayuda a agilizar la movilidad de la persona, a pesar de todo, dicho método no es muy frecuente debido a los altos costos que este implica, además, se requiere un poco de fortaleza física para el manejo del perro [2]. En síntesis, las personas con deficiencias visuales requieren un método de ayuda, dentro de los cuales encontramos el bastón convencional, bastón blanco, persona guía, ayudas ópticas, dispositivos electrónicos y técnicas visuales, la elección de uno de éstos depende de su condición visual, estado de salud y características de su entorno [3].

El proceso de movilidad para las personas con limitación visual ayuda de forma indirecta a afinar o entrenar otros sentidos no afectados como puede ser el tacto, el oído y el olfato, los

cuales, dan una percepción poco precisa de lo que está a su alrededor. Las personas que han perdido la visión a una edad en la cual tienen conciencia, a causa de una enfermedad o accidente tienen un mayor impacto psicológico que las personas ciegas de nacimiento o que perdieron la visión a muy temprana edad, puesto que, estas personas ya conocen la diferencia entre ver y no ver. Una vez superado el trauma psicológico, para las personas que adquieren la ceguera después de los cuatro años el proceso de movilidad resulta ser más favorable y evolutivo, debido a que ya han tenido un proceso en donde se han desarrollado las demás funciones, por tanto saben cómo aprovechar sus demás facultades, por esto resultan ser más hábiles en el uso de bastones y demás sistemas auxiliares de movilidad, así como también logran una mejor integración social [4].

Lograr la anticipación perceptiva durante los procesos de movilidad para este tipo de población, es el principal objetivo en el diseño y elaboración de nuevos sistemas electrónicos que permitan el desarrollo de metodologías para una movilidad más fluida y segura en personas con discapacidad visual. Actualmente, en su mayoría los dispositivos desarrollados están compuestos por sensores de proximidad para la detección de obstáculos y motores vibratorios o señales auditivas para alertar la presencia de obstáculos, estos métodos brindan favorabilidad económica y funcional, aunque, en ocasiones encontramos imprecisiones, debido a la complejidad para la calibración y baja inmunidad al ruido en algunos de estos sensores.

En concordancia con la descripción anterior, el problema de investigación a resolver en este trabajo de grado es: ¿Cómo diseñar un sistema de reconocimiento de obstáculos que pueda servir de base para un sistema que ayude a la movilidad de los invidentes?

Para el desarrollo del problema propuesto, se eligió diseñar un prototipo de bastón electrónico para alertar a los invidentes de la presencia de un obstáculo. Para llevar a cabo la

tarea de la detección, se determinó hacer uso de los sensores de ultrasonidos EZ0, éstos presentan características similares a sensores de alta gama, a un precio óptimo para el desarrollo actual. Otro aspecto importante en la construcción del dispositivo es el modo de comunicación entre sistema-invidente, se buscaba una fuente de alerta que ambientara al paciente lo más próximo a la realidad, por esto se optó por un módulo que reprodujera sonidos pregrabados de voz humana.

La solución propuesta se describe en el presente documento. Inicialmente se tratan los principales casos por los que se presentan discapacidades visuales y el estado del arte de los sistemas actuales. Seguido a esto se encuentra la metodología y diseño del prototipo, especificando los componentes hardware y la interacción entre ellos, el análisis geométrico del bastón y la conformación de la estructura mecánica. En la sección tres está detallada la construcción del software para mapeo, desde las herramientas utilizadas hasta las clases implementadas. Luego se realiza la evaluación de funcionamiento del sistema desarrollado. Finalmente se aportan las conclusiones y trabajos futuros.

Capítulo 1: Generalidades

1.1 Discapacidad visual

La palabra discapacidad proviene del prefijo griego “dis” que significa alteración, dificultad o anomalía. Discapacidad es la definición profunda de deficiencia en personas, que conlleva a una limitación en la capacidad de ejercer actividades en relación con personas consideradas normales en sus mismas características.

La visión es el sentido a través del cual los seres humanos desarrollan en mayor proporción la capacidad de aprendizaje; según estudios el 83% de las nociones aprendidas se dan por los ojos en edades menores a los 12 años [1].

Discapacidad visual hace referencia a la disminución de la agudeza visual en los individuos debido a la deficiencia en la estructura o funcionamiento de los órganos visuales, también es la situación en la cual un paciente no mejora la visión por ningún sistema quirúrgico u óptico. Un paciente que tenga una visión del 10% y no mejora con anteojos se considera un discapacitado visual.

La OMS¹ (1980) sugiere como límite superior de la discapacidad visual una agudeza visual de lejos, en el ojo de mejor corrección, equivalente a los 3/10 (0,3) de la considerada como normal [5].

¹ La Organización mundial de la salud es autoridad directiva y coordinadora de la acción sanitaria en el sistema de las Naciones Unidas.

1.1.1 Clasificación de la discapacidad visual

La discapacidad visual ha sido categorizada definiendo unos estados intermedios entre los límites de visión normal y ceguera. Para determinar los estados de discapacidad visual se deben tener en cuenta ciertos parámetros; los más relevantes son:

- **Agudeza visual:** Es la capacidad que tiene el ojo para detallar factores como color, forma y tamaño de un objeto con cierta claridad a distancias determinadas.
- **Campo Visual:** Es la amplitud de campo que un sujeto puede llegar a ver. Cuanto más cerca del objeto menos campo visual.
- **Debilidad de visión:** Ambliopía, se conoce como ojo vago, lo provoca la ausencia de uso de ese ojo o por la miopía, es irreversible y se detecta de los 3-4 años.
- **Baja visión:** Cuando un sujeto necesita de determinadas ayudas ópticas para poder funcionar lo más adecuadamente como vidente [1].

Luego del análisis de los parámetros para determinar el estado del paciente, éste puede ser categorizado de acuerdo a la discapacidad visual entre:

- **Discapacidad visual profunda:** Es prácticamente la amaurosis o ceguera, paciente que no ve.
- **Discapacidad visual severa:** Son pacientes que tienen una disminución acentuada de la visión; no obstante, les permite defenderse

laboralmente; los porcentajes de agudeza visual están en un rango entre el 10 y el 50%.

- **Discapacidad visual moderada:** Son personas con agudeza visual entre el 50 y 70%, los pacientes son capaces de distinguir objetos entre grandes y medianos en movimiento, sin discriminar detalles especiales y o del color.
- **Discapacitados por Ambliopía:** Son pacientes que no desarrollaron la visión; el niño así como aprende a hablar y a caminar, aprende a ver siempre y cuando tenga sus ojos normales, es decir, que no tenga ninguna alteración patológica. Poco a poco el niño va desarrollando su visión hasta los 6 años, que es la edad en la cual el cerebro ha terminado el desarrollo de la corteza visual. Los humanos no vemos a través los ojos, sino por la corteza visual, los ojos no son más que transmisores de la imagen que viajan hasta la corteza donde se hacen conscientes las sensaciones visuales. Si hubo algo que se interpuso en el camino y no llega la imagen a la corteza visual, esta área no se desarrolla.

1.1.2 Causas la discapacidad visual

El conocimiento de las causas que originan la discapacidad visual es importante porque con ellas se establecen medidas preventivas, se evitan situaciones degenerativas que disminuyen las funciones visuales y limitan la autonomía, movilidad, orientación e

independencia en la ejecución de actividades cotidianas, laborales, profesionales, recreacionales, culturales y deportivas de las personas afectadas.

Saber cuál es la etiología da el conocimiento suficiente para estar alerta a los agravantes o degeneraciones que pueden presentarse y deteriorar las capacidades existentes residuales en las personas ciegas o con baja visión.

La discapacidad visual puede presentarse por distintos motivos, en función de la parte del proceso u órgano de la visión que se ve afectado, por ello, se describen las enfermedades que afectan la visión en dos grupos, las que producen afectaciones externas y las que producen afectaciones internas.

1.1.2.1 Factores externos

La discapacidad visual debido a factores externos hace referencia a todo lo que afecta el globo ocular (Figura 1), entre las cuales se encuentran alteraciones en la córnea, en el cristalino, en el vitrio y en la retina. Las alteraciones presentadas en el globo ocular se generan por diversos motivos, a continuación se mencionan algunas de las causas más comunes.

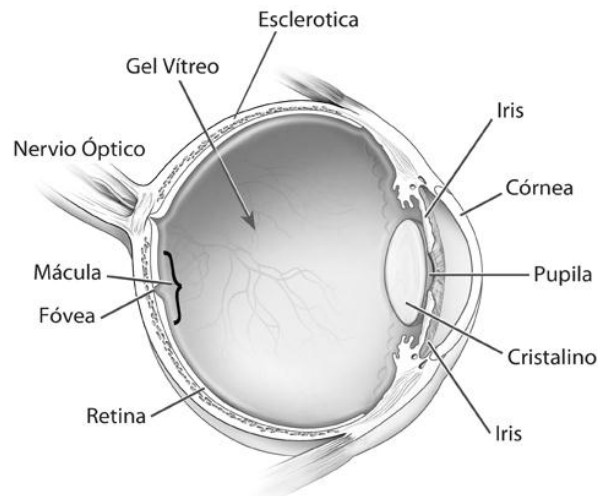


Figura 1. Estructura del ojo.

Tomado de: <http://www.nei.nih.gov/health/espanol/saludable.asp>

1.1.2.1.1 Enfermedades de la córnea

La córnea es la capa externa del ojo. Es transparente y tiene la forma de una cúpula. Ésta ayuda a proteger el ojo de gérmenes, polvo y otros materiales dañinos, también ayuda al ojo a enfocar su campo visual. Si usted usa lentes de contacto, estos flotan sobre su córnea.

- Los problemas de la córnea incluyen:
- Errores de refracción.
- Alergias.
- Infecciones.
- Lesiones.
- Distrofias-condiciones en las que algunas partes de la córnea pierden

transparencia debido a la acumulación de material turbio.

El tratamiento de las enfermedades de la córnea incluye medicinas, trasplante y cirugía láser [6].

1.1.2.1.2 Cataratas

Las cataratas son nubes que opacan el ojo disminuyendo la capacidad de ver, en la Figura 2 se puede observar la diferencia entre el cristalino de un ojo sano y un cristalino afectado. Las cataratas pueden ser de origen congénito, traumático; comúnmente aparecen en personas mayores de 50 años, este caso es conocido como de origen senil. Éstas pueden aparecer en uno o los dos ojos, pero no se contagian de uno a otro. Algunos síntomas producidos por las cataratas son:

- Vista borrosa.
- Colores que parecen desteñidos.
- Resplandor alrededor de las luces: puede ser que las luces de los carros, lámparas y del sol se vean demasiado brillantes.
- Dificultad para ver bien de noche.
- Ver doble.
- Cambios frecuentes en las recetas de sus lentes.



Figura 2. Cataratas

Tomado de: <http://baptisteast.adam.com/content.aspx?productId=118&pid=6&gid=18012>

1.1.2.1.3 Degeneración macular

La degeneración de la mácula se presenta frecuentemente en pacientes mayores de 60 años, no presentan dolor ni molestias, pero la destruye. La mácula es la parte central de la retina, su función es brindar claridad a la visión y permite realizar actividades como leer o conducir vehículos. Existen dos tipos: La húmeda y la seca.

La húmeda ocurre cuando vasos sanguíneos anormales crecen bajo la mácula, éstos nuevos vasos frecuentemente gotean sangre y líquido. El daño a la mácula ocurre rápidamente y uno de los primeros síntomas es una visión borrosa.

La seca, ocurre cuando las células de la mácula sensibles a la luz se deterioran. Lentamente, se pierde la visión central, uno de los primeros síntomas es ver torcidas las líneas rectas.

1.1.2.1.4 Causa tumorales

Las causas tumorales son cánceres de ojo, entre los que se encuentran los

melanomas, linfomas, retinoblastomas y carcinomas. Puede afectar las partes externas del ojo, como los párpados que están formados por músculos, piel y nervios o ser intraoculares que destruyen el ojo y si no es retirado a tiempo puede expandirse y causarle la muerte al paciente.

1.1.2.1.5 Traumatismos

La pérdida de visión por traumatismo son poco comunes, generalmente se presentan por golpes, cortes, cuerpos extraños, quemaduras o presión de la zona ocular. La zona del ojo más afectada por estos casos es la córnea.

1.1.2.2 Factores internos

Los factores internos hacen referencia a todas las alteraciones de la corteza cerebral o todo lo que afecte la vía óptica. En la corteza cerebral está ubicada la corteza occipital que es donde se encuentran las neuronas de la visión, lugar donde se hacen conscientes las sensaciones visuales. La vía óptica es el camino que deben recorrer los impulsos nerviosos que salen desde el globo ocular hasta llegar a la corteza occipital. Estos impulsos llegan al cráneo, siguen a un sitio que se llama el quiasma, luego pasan a través de las circunvoluciones ópticas hasta llegar a la corteza occipital y más precisamente a las áreas 17, 18 y 19 de la corteza cerebral. Esta vía puede ser alterada por lesiones inflamatorias, virales, tumorales, entre otras. La corteza occipital puede ser afectada por varios factores, por ejemplo, los pacientes con alzheimer suelen terminar ciegos, sordos y mudos, debido a que el proceso degenerativo de esta enfermedad destruye la corteza, a continuación se describen las enfermedades más comunes que producen pérdida de visión por factores

internos.

1.1.2.2.1 Intoxicación

La pérdida de visión por intoxicación más común es la producida por alcohol metílico, destruye el nervio óptico y la corteza cerebral, puede dejar en estado de coma al paciente e incluso provocar la muerte. Pérdida de la visión por multitud de drogas farmacéuticas que si no se tratan a tiempo dejan ciego a la persona, entre ellas se encuentran los medicamentos para el tratamiento de la artritis reumatoidea por ejemplo la cloroquina, las drogas que se utilizan para la tuberculosis y determinados antibióticos.

1.1.2.2.2 Meningitis

La meningitis es una enfermedad infecciosa que causa inflamación en el sistema nervioso central, más precisamente en las membranas que recubren el cerebro y la médula espinal llamadas leptomeninges [7]. Los virus y las bacterias causan los síntomas iniciales de la meningitis, que son fiebre, rigidez de nuca y alteración del estado de conciencia. Además de los síntomas mencionados anteriormente la meningitis puede provocar alteración de los órganos sensoriales auditivos y visuales; los daños visuales se generan por lesión del nervio óptico o por lesión de la corteza occipital [8].

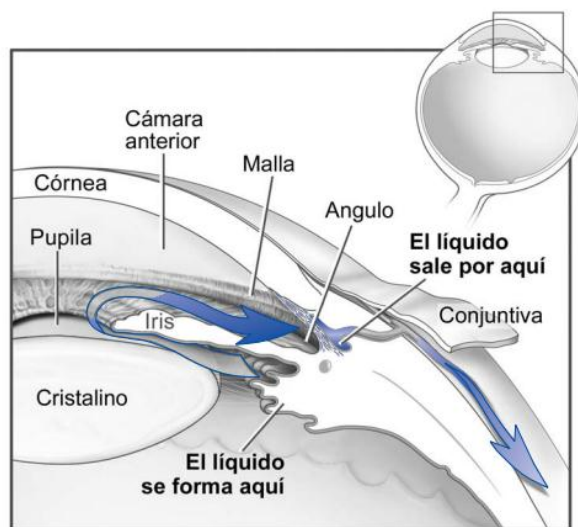
1.1.2.2.3 VIH

El VIH o Virus de Inmunodeficiencia Humana, deteriora el sistema inmunológico y provoca que las personas portadoras sean vulnerables a multitud de infecciones, entre ellas, las infecciones oculares. Algunos de los problemas oftalmológicos más comunes producidos por el VIH son: Retinitis por CMV, coriorretinitis por toxoplasmosis,

manifestaciones neurooftalmológicas, sarcoma de Kaposi y lesión coroidea por P. provea.

1.1.2.2.4 Glaucoma

El glaucoma es la segunda causa de ceguera en el mundo. La presión intraocular, elevada para la tolerancia del nervio óptico, produce daño de las neuronas ganglionares y sus axones llevando a la ceguera Figura 3. Aproximadamente 1,200,000 axones de las neuronas ganglionares de la retina convergen hacia la lámina cribosa para formar la papila óptica, comienzo del nervio óptico. En el glaucoma las fibras se degeneran lenta y progresivamente hasta destruirse todas las fibras nerviosas de la papila óptica momento en el que se produce la ceguera [9].



La salida del líquido está mostrada en azul.

Figura 3. Glaucoma

Tomado de: <http://www.nei.nih.gov/health/espanol/pdfs/glauclayoutSPAN2.pdf>

1.1.3 Prevención de la ceguera y discapacidad visual evitables

Entre las estimaciones de la OMS, cerca de 314 millones de personas en el mundo viven con discapacidad visual, debido a enfermedades oculares o a errores de refracción no

corregidos. De esas personas 45 millones son ciegos y el 90% viven en países de ingresos bajos. Las principales causas de ceguera son la catarata (39%), los errores de refracción no corregidos (18%), el glaucoma (10%), la degeneración macular asociada a la edad (7%), la retinopatía diabética (4%), el tracoma (3%), las infecciones oculares infantiles (3%) y la oncocercosis (0,7%). Es probable que la magnitud real de la ceguera y la discapacidad visual sea superior a la apuntada por las estimaciones, pues todavía falta información epidemiológica [6].

Con los conocimientos y la tecnología actuales, hasta un 80% de los casos de ceguera del mundo entero son evitables o tratables. Además, existen intervenciones costo eficaces para la mayoría de las causas de ceguera evitable. En los últimos años se han creado importantes alianzas internacionales, como el programa Africano de lucha contra la oncocercosis, el programa de eliminación de la oncocercosis en las Américas, la alianza de la OMS para la eliminación mundial del Tracoma y VISION 2020: el derecho a ver. [10]

En gran magnitud las discapacidades visuales son adquiridas por malos hábitos en las personas, entre las más comunes y observadas cotidianamente están: El consumo de tabaco, alcohol etílico y sustancias alucinógenas. Su mejor defensa es hacerse chequeos regulares, porque las enfermedades del ojo no siempre tienen síntomas. La detección temprana y el tratamiento precoz pueden prevenir la ceguera. Si presenta cambios repentinos en la vista, tiene la vista borrosa o ve destellos de luz, busque inmediatamente la ayuda de un profesional especializado en cuidados oculares. Otros síntomas que requieren atención rápida son dolor, ver doble, secreción líquida en el ojo e inflamación [6].

1.1.4 Afectaciones psicológicas

Las personas que han perdido la visión a una edad en la cual tienen conciencia, a causa de una enfermedad o accidente tienen un mayor impacto psicológico que las personas ciegas de nacimiento o que perdieron la visión a muy temprana edad, puesto que, estas personas ya conocen la diferencia entre ver y no ver. Una vez superado el trauma psicológico, para las personas que adquieren la ceguera después de los cuatro años el proceso de movilidad resulta ser más favorable y evolutivo, debido a que ya han tenido un proceso en donde se han desarrollado las demás funciones, por tanto saben cómo aprovechar sus demás facultades, por esto resultan ser más hábiles en el uso de sistemas auxiliares [4].

Las personas con discapacidad visual se adaptan de una mejor manera a la sociedad, dándoles a conocer mecanismos que les permitan desenvolverse en las tareas cotidianas de una manera óptima, por ejemplo el sistema braille para la lectura y escritura, el bastón blanco o perros lazarillos para la movilidad, la música es un excelente método de ayuda pues los pacientes ciegos desarrollan un muy buen oído.

1.2 Sistemas de ayuda para la movilidad de invidentes

1.2.1 Bastón blanco

El bastón para invidentes o bastón blanco, es un instrumento que identifica a personas ciegas o personas con deficiencia visual. Este bastón, guía a la persona en el camino proporcionando información sobre la ubicación y el tipo de terreno por el cual camina. El particular diseño y técnica de manejo, facilitan el rastreo y la detección oportuna

para identificar obstáculos que se presentan a ras del suelo, puesto que el contacto del puntero con el suelo, remite unas vibraciones al ciego, que son más intensas cuanto más dura es la superficie sobre la que se encuentra . Gracias a esto, el invidente logra caminar de forma autónoma [11].

Generalmente el bastón, es hecho de un tubo de aluminio hueco con recubrimiento de plástico, con el fin de que sea liviano y duradero frente a los cambios de ambiente. El extremo superior tiene un mango para el agarre, idealmente de goma o madera; el extremo inferior posee una punta de metal cambiable cuando se requiera. La estructura puede ser rígida o plegable, la rígida trasfiere las ondas de choque de mejor manera hacia los sentidos táctiles de la mano a comparación de un bastón plegable, además es más duradera, puesto que al ser de una sola pieza se puede evitar que las uniones debiliten al bastón y se pueda ejercer una mayor fuerza. La ventaja del bastón plegable reside en que se puede llevar de una manera portable y es ideal para personas que no requieran el uso de forma permanente, tal como es el caso de las personas que poseen ceguera nocturna.

Las dimensiones del bastón varían según la altura de la persona, generalmente el largo del bastón debe ser igual a la altura del esternón. Entre las medidas más comunes de longitud están 1.05; 1.10; 1.15 y 1.20 metros [11]. Se debe tener presente la altura del bastón para cada persona, ya que si no se tienen las dimensiones exactas puede generar posturas incorrectas y por consiguiente originar lesiones físicas en el futuro.

1.2.2 Perro guía

El perro guía o lazarillo es un perro adiestrado para la ayuda de la movilidad a

personas con deficiencias visuales, brindándoles seguridad e independencia en la realización de actividades cotidianas. Generalmente el adiestramiento se realiza en cachorros de razas medianas como el golden retriever, el labrador o el pastor alemán, debido al carácter apacible que caracteriza sus linajes. El tiempo requerido para su completa formación comprende un mínimo de 2 años, después de este periodo, el perro está en la capacidad de caminar con su amo y evitar baches, gradas, objetos en altura, calles transitadas y cambios de elevación del suelo que se presenten [12].

Organizaciones como ONCE² en España o la Fundación para el Perro Guía en Colombia, tienen como finalidad proporcionar perros guía como ayuda para la movilidad de invidentes. Los perros que terminan su etapa de adiestramiento, obtienen la certificación para movilizarse en sitios públicos que generalmente no permiten el ingreso de mascotas, y de esta manera acompañar a la persona a cualquier sitio que vaya [12] y [13].

1.2.3 Dispositivos electrónicos

En la actualidad existen diversos dispositivos electrónicos para la asistencia de personas con ceguera, desarrollados como apoyo para las distintas actividades que puedan realizar. Estos dispositivos logran que las personas con esta discapacidad puedan tener una autonomía en el uso de la tecnología, brindan mejor calidad de vida y favorecen iguales oportunidades en la educación, informática, comunicación y trabajo [14].

Dispositivos desarrollados en diversos lugares del mundo, tienen como finalidad dar soporte en la movilidad y desplazamiento de personas invidentes. Todos estos avances

² Organización nacional de ciegos españoles

integran distintas propuestas para la solución de diferentes problemas que los investigadores plantean, esto revela múltiples aportes en el mundo que son de ayuda para el desarrollo y escalabilidad de distintos proyectos.

Diferentes tecnologías son usadas para la detección de obstáculos, como por ejemplo en Università degli studi di Cagliari, Italia, se construyó un híbrido entre sensor infrarrojo y ultrasónico. Este sistema es capaz de obtener información de los cambios de nivel del suelo y además de los obstáculos que se presenten en frente de su camino [15]. La información extraída de los sensores son recogidas por hardware, para luego ser procesadas y a continuación informarle al invidente qué camino tomar por medio de motores vibratorios, ubicados en la zona abdominal como se muestra en la Fig. 4.

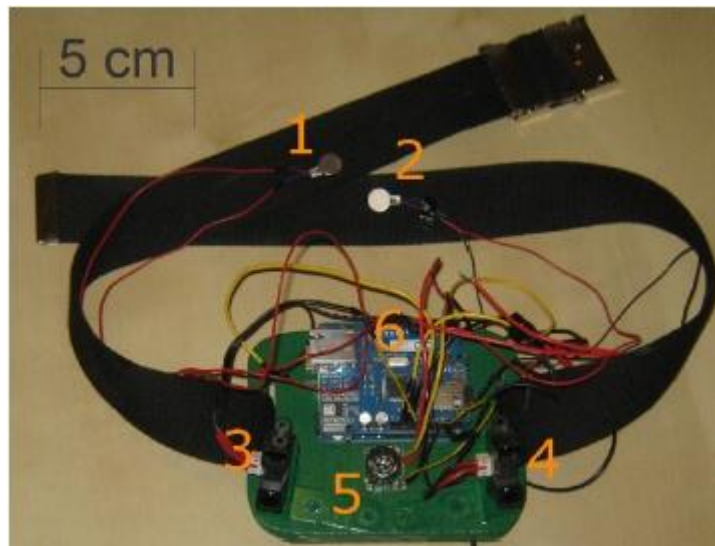


Figura 4. Prototipo desarrollado en la Università degli Studi di Cagliari, Italia
1 y 2 – motores vibratorios, 3 y 4 – sensores infrarrojos, 5 – sensor ultrasónico, 6 – microcontrolador.
Fuente: <http://www.deepdyve.com/lp/elsevier/a-new-hybrid-infrared-ultrasonic-electronic-travel-aids-for-blind-AHLe0ISFTC>

Otros sistemas realizan un complemento al bastón blanco común para integrar elementos electrónicos. En la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, México,

se propuso un prototipo de bastón electrónico que permite detectar obstáculos a distancia por medio de sensores, las señales vibratorias ubicadas en su mango indican que camino tomar [16], como se muestra en la Figura 5.



Figura 5. Proyecto de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.
Prototipo de Bastón Electrónico.

Fuente: <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/articleDetails.jsp?arnumber=1301475>

Otro complemento al bastón blanco se desarrolló en la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca, Ecuador [2], donde se adaptó un sensor ultrasónico de tal manera que su haz apuntara en un ángulo determinado, para así alertar la existencia de un obstáculo en una altura que no podría percibir una persona invidente con el barrido que hace el bastón ordinario. Este sistema indica la variabilidad de la distancia con el objeto por medio de distintas frecuencias en las señales, ya sea por medio audible o un motor vibratorio para la comunicación con el usuario como se indica en la Figura 6.

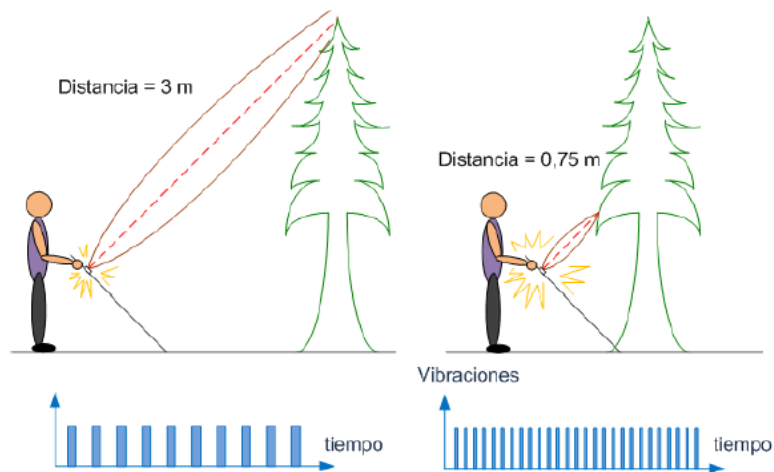


Figura 6. Proyecto desarrollado en la Universidad Politécnica Salesiana.

A la izquierda el sensor está a 3 m del obstáculo, a medida que se acerca las vibraciones aumentan como se muestra en la derecha.

Fuente: <http://www.dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/1080/12/UPS-CT002123.pdf>

Además de los dispositivos mencionados anteriormente, existen otros desarrollos que se enfatizan en otras características del entorno que se presentan en la ruta del invidente, uno de ellos se desarrolló en Gifu University, Japón, donde presenta un sistema de perro guía (lazarillo) con la capacidad de reconocimiento de caracteres [17]. La principal característica es brindarles a las personas invidentes la posibilidad de reconocer caracteres en el camino por el cual se desplaza, este dispositivo capta las imágenes con una cámara, las cuales son reconocidas y procesadas para informarle al usuario la combinación de caracteres dada, como por ejemplo la lectura del número de habitación en un hotel como se indica en la Figura 7.

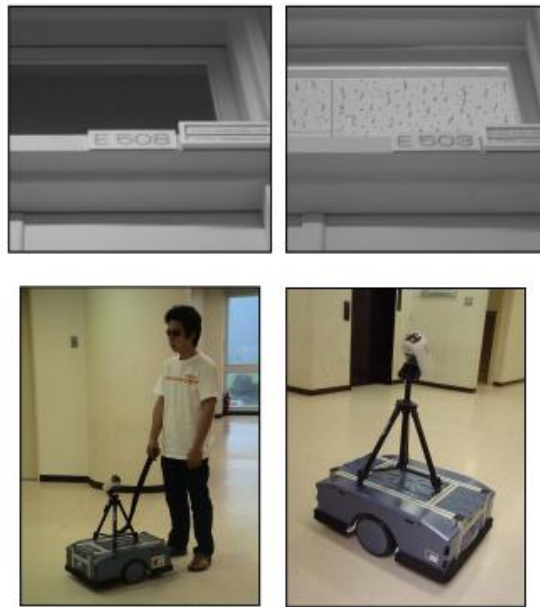


Figura 7. Reconocimiento de caracteres con sistema de perro guía, Gifu University.
Fuente: <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/articleDetails.jsp?arnumber=1301475>

El proyecto desarrollado en la Universidad Politécnica de Valencia, España, se ha desarrollado como un dispositivo de ayuda, complementario al bastón, para mejorar el movimiento de personas invidentes integrando un sistema de sensores adaptado en gafas solares. Su objetivo primordial es detectar los obstáculos e informar al usuario mediante sonidos acústicos el camino que debe tomar como se indica en la Figura 8 [18].



Figura 8. Proyecto desarrollado en la Universidad Politécnica de Valencia.
Fuente: <http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/article/view/35788>

A nivel nacional se presentan múltiples desarrollos para mejorar la movilidad del invidente, todos estos sistemas sirven de ayuda extra para comunicarle a la persona los cambios de entorno que se presenten en su camino, además son dispositivos que sirven de asistencia para el manejo y el aprendizaje de la movilidad con un bastón blanco.

DMREI³ es un proyecto creado en la Universidad Pedagógica Nacional, Colombia y tiene como objetivo guiar en el espacio a personas invidentes, permitiéndoles detectar los objetos y el color predominante de la zona para elegir el camino correcto. La comunicación se hace por medio del bastón y partes del cuerpo como manos, brazos y zona abdominal por medio de estimulación táctil. Este sistema utiliza un casco donde se encuentran dos transductores de entrada al sistema, sus señales son procesadas por un driver que amplifica la señal y le comunica a la persona por medio de la estimulación hacia los receptores sensoriales [19]. En la Figura 9 se muestra los módulos que intervienen en el proyecto.

³ Dispositivo mecatrónico para la representación espacial en invidentes.

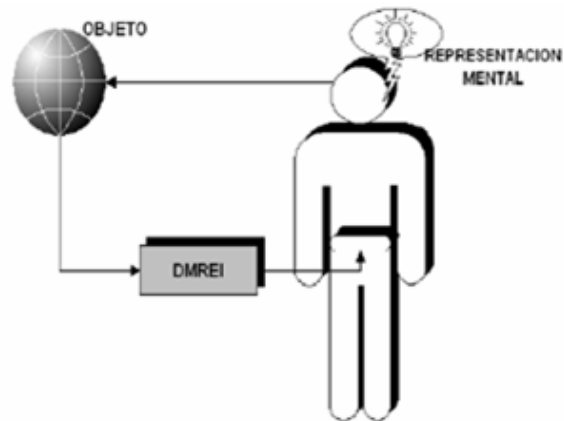


Figura 9. Sistema DMREI.

Fuente: <http://www.ufrgs.br/niee/eventos/RIBIE/2004/comunicacao/com264-273.pdf>

Otros proyectos como el DAO⁴ desarrollado en la Universidad CES, Colombia, usa un sensor ultrasónico como transductor de distancia y un microcontrolador para el procesamiento de las señales [20]. Este dispositivo posee una característica distinta a los dispositivos anteriormente presentados, se distingue porque la comunicación hacia el usuario se hace por medio de un cinturón, como se muestra en la Figura 10, además consta de múltiples motores y por medio de vibraciones se informa a la persona qué camino tomar.



Figura 10. Sistema DAO.

Fuente: <http://revistabme.eia.edu.co/numeros/1/art/DAO.pdf>

Otro dispositivo de ayuda para el aprendizaje de la movilidad con bastón blanco se

⁴Dispositivo para la Alerta de Obstáculos.

desarrolló en la Universidad de Pamplona, Colombia [21], en donde se construyó un dispositivo portable. Esta tecnología con la ayuda de transductores ultrasónicos y por medio de un microcontrolador, detecta que tan cercano esta un objeto para enviar una señal audible al invidente por medio de un auricular, para esto la persona invidente toma el dispositivo en su mano y apunta hacia donde desea conocer la presencia de un obstáculo, tal como se muestra en la Figura 11.



Figura 11. Prototipo de la Universidad de Pamplona, Colombia.

Fuente: http://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portaIG/home_40/recursos/02_v07_12/revista_10/16112011/v10_13.pdf

Capítulo 2: Metodología y diseño del prototipo

Construir un prototipo de bastón electrónico requiere un ordenamiento de desarrollo. Para el sistema actual se diseñó en primera instancia la totalidad del sistema electrónico, incluyendo el algoritmo embebido en el microcontrolador, luego se realizó un análisis geométrico y finalmente se diseñaron las piezas mecánicas lo más precisas posibles. En la Figura 12, se observa el diagrama de bloques de la solución escogida para el desarrollo del prototipo.

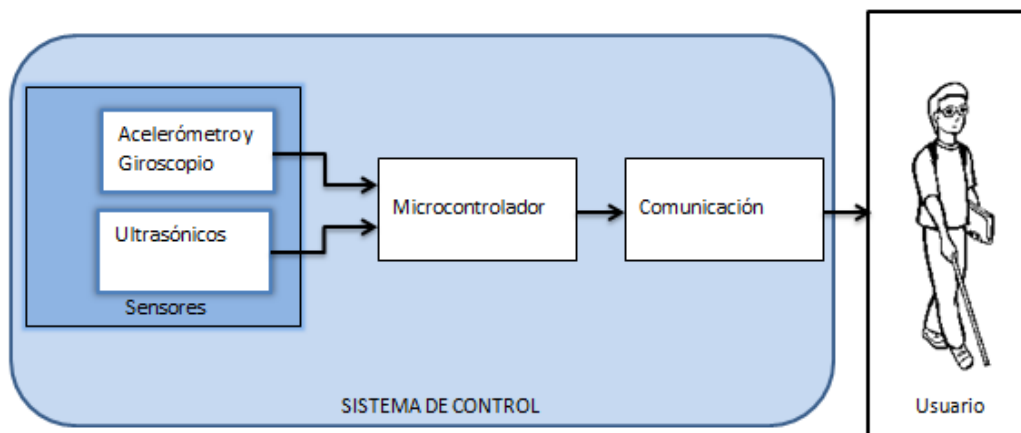


Figura 12. Diagrama de bloque
Fuente: Elaboración propia

El sistema tiene dos escenarios definidos, el de control y el de usuario. El sistema de control tiene la función de efectuar el reconocimiento del medio y lanzar una alerta oportuna en el instante requerido, éste está compuesto por tres módulos: los sensores, el microcontrolador y el sistema de comunicación. El de usuario, cuyo rol es desarrollado por el invidente es quien maniobra el bastón y es beneficiario de las ayudas del sistema.

2.1 Diseño electrónico

2.1.2 Sensores

Los sensores son el medio de comunicación entre los sistemas electrónicos y el espacio real. Para el sistema actual se hace uso de dos tipos de sensores:

2.1.2.1 Sensores de distancia

Los sensores de distancia son de gran utilidad en el mundo de la electrónica, particularmente en la robótica. En la actualidad se ofertan diversas tecnologías basadas en fenómenos físicos para determinar la proximidad a un objeto, entre las más comunes se encuentran los sensores fotoeléctricos, capacitivos, inductivos, ultrasónicos, magnéticos, entre otros. En el presente proyecto se hará uso de sensores ultrasónicos para la detección de obstáculos en el medio, esto debido a su precisión, bajo coste, fácil adquisición en el mercado, bajo consumo energético y su tamaño pequeño.

Ultrasonido

El ultrasonido es una vibración acústica que necesita un medio (partículas) para propagarse, son ondas mecánicas generalmente longitudinales, originadas por la vibración de un cuerpo elástico (cristal piezoeléctrico), cuya frecuencia se encuentra en rangos mayores a 20 Khz (20.000 ciclos/segundo), lo que no permite que sea audible por el oído humano. El ultrasonido tiene muchas aplicaciones en el mercado y la industria, como por ejemplo: medidores no invasivos en el campo del petróleo, medidores de caudal, los radares de pesca, en la medicina los ecosonogramas, cirugía laparoscópica, fisioterapia, etc.

Algunos de los parámetros que se utilizan a menudo en ultrasonido son: frecuencia,

velocidad de propagación, ángulo de incidencia – atenuación [22], reflexión y frecuencia de repetición de pulsos. A continuación se describe brevemente cada una de estas características.

Frecuencia: La frecuencia de una onda de ultrasonidos consiste en el número de ciclos que ocurren en un segundo. La unidad de medida para la frecuencia son los Hertz, esta es fijada por la fuente emisora del sonido y por el medio a través del cual está viajando.

Velocidad de propagación: La velocidad de propagación del sonido en un medio es constante, en el aire es de 340 m/s. Esta condición permite que al medir el tiempo de vuelo sea posible conocer la distancia a un obstáculo.

Ángulo de incidencia: El ultrasonido se propaga en línea recta e incide de forma perpendicular, lo que hace que el ángulo de incidencia sea igual al ángulo de salida.

Reflexión: La reflexión se produce cuando una onda choca con un objeto o medio y cambia su trayectoria.

De acuerdo a las características requeridas para el desarrollo del sistema actual el sensor predefinido para la elaboración del mismo se menciona a continuación.

2.1.2.1.1 Sensor Max Sonar EZ0

El dispositivo Max Sonar EZ0 (Figura 13), es un sensor de alto rendimiento que genera resultados óptimos tanto para distancias cortas como largas. Tiene incorporado en un mismo paquete el emisor y receptor de sonidos ultrasónicos, lo que lo hace muy portable y de fácil incorporación a proyectos de tamaño reducido. El EZ0 provee un rango de medida de 0 a 254 pulgadas con una resolución de 1 pulgada para distancias superiores a 6 pulgadas.

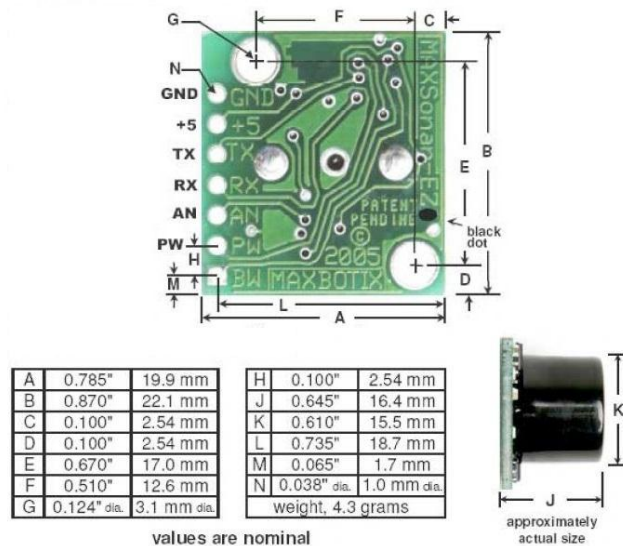


Figura 13. Sensor EZ0

Fuente: http://www.maxbotix.com/documents/MB1000_Datasheet.pdf

- Características:

- Ganancia continuamente variable para el control del haz y supresión de lóbulos laterales.
- Voltaje de alimentación de 2,5V a 5V con una corriente de consume típica de 2mA.
- Su funcionamiento le permite medir y generar la información de salida de forma continua.
- Las lecturas se producen cada 50 mS.
- Posee tres interfaces de lectura que se activan simultáneamente.

Serial, 0 a Vcc, 9600 Baud, 81N⁵

⁵ 81N: 8 bits de datos, 1 stop, n: no bit de paridad

Análoga, (Vcc/512)/pulgada.

Ancho de pulso, (147uS/pulgada⁶).

- Opera a 42kHz.
- Beneficios:
 - Bajo costo.
 - Datos confiables y estables.
 - Baja potencia para operación.
 - Calidad en características del haz.
 - Orificios en la placa para montaje en circuito.
 - Puede usar trigger interno o externo.
 - Informa la distancia directamente, librando el procesador del usuario.
 - Ciclo rápido de medición.
 - Bajo poder de amplificación de ruido.
 - El usuario puede usar una o las tres salidas del sensor.

⁶ Descripción de tiempos [23]

- Características del haz:

El LV-Max Sonar EZ0, cuenta con una alta sensibilidad, el rendimiento del ancho de banda es controlado por la alta sensibilidad. En la Fig. 14 se muestran las mediciones del patrón de radiación en cuadrículas de 12 pulgadas.

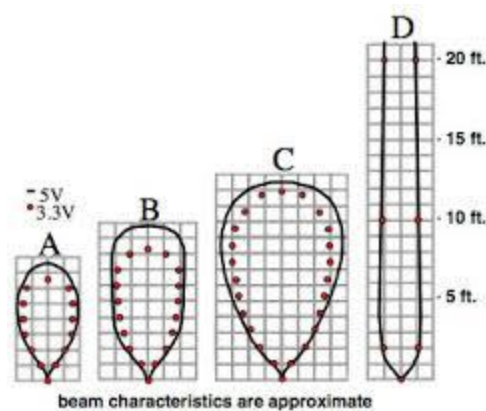


Figura 14. Caracterización de patrones

Fuente: http://www.maxbotix.com/documents/MB1000_Datasheet.pdf

- Cilindro de 0,25 pulgadas de diámetro. Observe que los objetos pequeños muy próximos presentan un haz muy estrecho.
- Cilindro de 1 pulgada de diámetro. Observe que el patrón de detección es largo y estrecho
- Barra de 3,25 pulgadas de diámetro. Observe que el patrón de detección es largo y controlado
- Placa de 11 pulgadas de ancho. Observe que el patrón de ultrasonidos se mueve de izquierda a derecha de forma paralela. La longitud del haz muestra la gran capacidad de detección del sensor.

Para obtener unas medidas que correspondan con la realidad, es importante que al principio de su uso, el sensor esté lo más libre de obstáculos posible, ya que utiliza el primer ciclo de medición para calibrarse. [23]

2.1.2.2 Giroscopio y acelerómetro mpu6050

Para simular la rotación que realiza el dispositivo en el entorno virtual se utilizó el sensor MPU-6050 (Figura 15) que cuenta con un acelerómetro y giroscopio con tecnología MEMS⁷ en un solo elemento. Este elemento capta las variaciones de los ejes X, Y y Z al mismo tiempo, además su conexión es ejecutada por el bus I2C⁸ a 400kHz. La lectura de los datos se genera de manera sencilla, para ello se deshabilita el modo de suspensión y a continuación podrán ser leídos los registros del acelerómetro y giroscopio.



Figura 15. Giroscopio y acelerómetro mpu6050

⁷ MEMS: Se refiere a la tecnología Micro Electro Mecánica, dispositivos con dimensiones muy pequeñas utilizados en distintos campos de investigación.

⁸ I2C: Bus comúnmente usado en la industria para la comunicación serial de microcontroladores.

Fuente: <http://playground.arduino.cc/Main/MPU-6050>

Este dispositivo opera con un rango de voltaje de alimentación VDD de 2.375V-3.46V y sus características son [24]:

- Sensores de velocidad angular con salida digital en los ejes X, Y y Z con escala programable.
- Corriente de operación: 3.6mA.
- Señal de sincronización externa para la sincronización de imagen, video y GPS.
- Integrados de 16 bits-ADC permiten el muestreo simultáneo de giroscopios.
- Mejor rendimiento de ruido de baja potencia.
- Filtro pasa baja programable.

2.1.3 Microcontrolador

Para el control del sistema realizado se utilizó la Arduino Pro Mini a 3.3V (Figura 16), la tarjeta está basada en el microcontrolador ATmega328 y es un producto open source. Arduino es una plataforma electrónica para el desarrollo de prototipos basados en software y hardware flexibles. Esta plataforma fue desarrollada para crear proyectos de manera sencilla e integra distintas librerías que facilitan el trabajo y desarrollo de los entornos u objetos inactivos [25]. La Arduino pro Mini está equipada con 14 pines digitales de entrada o salida (de los cuales 6 pueden utilizarse para salidas PWM), 8 entradas analógicas, un resonador, un botón de reinicio, y

agujeros para el montaje de cabezales de pin. Por su característica de tamaño reducido no tiene incluido el programador, por tanto cuenta con un espacio de seis pines para conectar a un cable FTDI que provea alimentación USB y la comunicación serial [26].

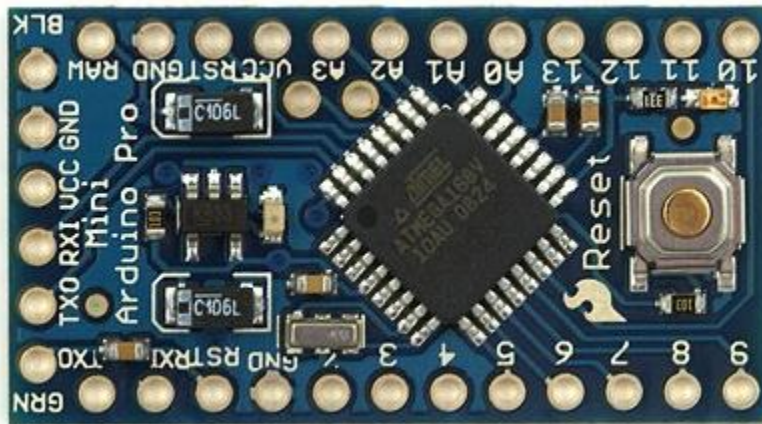


Figura 16: Arduino pro mini

Fuente: <http://arduino.cc/en/pmwiki.php?n=Main/ArduinoBoardProMini>

Gracias a su tamaño, simplicidad, baja potencia de operación, robustez, bajo costo y la versatilidad en su funcionamiento, fue la tarjeta Arduino Pro Mini de 3.3V la mejor opción para el desarrollo del prototipo guía para invidentes.

2.1.4 Comunicación

Es esencial escoger un modo de comunicación para alertar la presencia de un obstáculo y evitar la colisión de éste con el invidente, para ello se deben tener en cuenta variables como: La velocidad media de desplazamiento en pacientes con baja visión, tiempo de procesamiento y la capacidad media de reacción de un humano. Se toma como referencia el estudio realizado en [27], donde se menciona que la velocidad de desplazamiento de una persona con discapacidad visual es de 0.6 m/s y el tiempo de reacción de un humano está entre 0.1 y 0.3s. De acuerdo al diseño de la estructura mecánica y el análisis geométrico que se observa en la Figura 24, el sistema tiene 2,58 s para alertar objetos bajos, 1,853 para los elevados y 1,3 para los laterales.

Dadas las condiciones anteriores y el futuro alcance del proyecto se elige alertar al usuario a través de audio, para ello se hace uso del integrado WTV020SD-16P.

2.1.4.1 Módulo de voz wtv020sd-16p

Es necesaria la utilización de un módulo de voz que obtenga las grabaciones realizadas para cada eventualidad que la persona no vidente puede tener en su camino. El módulo de voz WTV020SD-16P (Figura 17) tiene diversidad en modos de usos, entre ellos uno ajustado a los requerimientos del presente proyecto. Algunas características representativas del integrado son: Cuenta con un compartimento para micro SD de un máximo 1GB de almacenamiento, tiene una frecuencia de muestreo de 6 KHz a 36 KHz para el formato de voz AD4⁹, un auricular monofónico de 8 ohmios de impedancia y trabaja en un rango de voltaje que está entre 2.7 y 3.5 V. Este integrado es muy compacto y económico en comparación de otros dispositivos del mismo tipo [28], sus dimensiones permiten realizar circuitos impresos pequeños y de ser el caso no necesita componentes electrónicos adicionales para su funcionamiento.



Figura 17. Wtv020sd

Fuente: <http://www.dx.com/es/p/wtv020-sd-micro-sd-card-mp3-game-player-voice-module-blue-black-231512#.VDajhmd5P1Y>

⁹ AD4: Formato de compresión de audio basado en modulación por codificación de pulso diferencial adaptativa (ADPCM)

Para el funcionamiento del módulo se utiliza el modo serial de dos líneas que es controlado por un MCU o una tarjeta electrónica por los puertos CLK y DI del dispositivo. En el modo serial de dos líneas se escoge la dirección de archivo deseada o la combinación de varios archivos [29].

Se utiliza una memoria micro SD de 1 GB de almacenamiento para guardar los archivos de audio que se reproducen de acuerdo a la eventualidad que se presente. El número límite de archivos es de 512 y los nombres de los mismos son en decimales, como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. *Ordenamiento listas de reproducción*

Addresses	Trigger state	File name (.ad4)	Trigger data (binary)
ADDR 1	play 1 group voice	0000	0000000000000000
ADDR 2	2	0001	0000000000000001
ADDR 3	3	0002	0000000000000010
ADDR 4	4	0003	0000000000000011
...
ADDR 510	510	0509	0000000111111101
ADDR 511	511	0510	0000000111111110
ADDR 512	512	0511	0000000111111111

Tomado de: http://letsmakerobots.com/files/WTV020_manual_V1.3.pdf

2.1.5 Baterías

Para la elaboración del prototipo, es necesario usar baterías de larga duración, recargables, de pequeñas dimensiones y bajo peso. Se eligió la batería de litio TR 18650 de 3.7V y 5000mAh, que además de ser de alto rendimiento tiene un diseño versátil y de fácil adecuación, como se observa en la Figura 18.



Figura 18: Batería tr 18650

Fuente: <http://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-412311529-pila-18650-ultrafire-5000-mah-37-voltios- JM>

Se pretende desarrollar un sistema en el que cada usuario tenga dos baterías, una en funcionamiento y otra en estado de carga, para ello se usa un porta baterías que suministre seguridad y facilidad en el proceso. El elemento usado posee las características de la Figura 19.

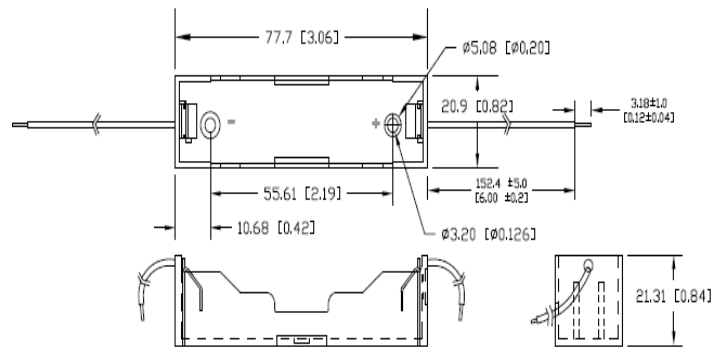


Figura 19. Porta batería tr 18650

Fuente: <http://www.memoryprotectiondevices.com/datasheets/BH-18650-W-datasheet.pdf>

2.1.6 Módulo Bluetooth hc05

El módulo hc05 permite establecer comunicación inalámbrica de bajo alcance a través del protocolo bluetooth. Para su operación debe ser conectado desde otro dispositivo, debido a que éste solo funciona como esclavo. Características como nombre, contraseña, tasa de transferencia, entre otras, pueden ser modificadas a través de comandos AT.

2.1.7 Diseño circuital

De acuerdo a las características elegidas para la elaboración de un primer prototipo de bastón guía para invidentes, el módulo circuital estará compuesto por los siguientes elementos:

- 4 Sensores de ultrasonido EZ0.
- Acelerómetro y giroscopio MPU6050
- Tarjeta arduino Pro Mini.
- Módulo de sonido WTV020SD-16P.
- Auricular Monofónico
- Micro SD
- Modulo bluetooth
- Diodo Led
- Jack para auricular
- 1 Resistencia de 330 ohmios
- Batería litio TR 18650 de 3.7V a 5000mAh

En la Tabla 2 se especifican características técnicas de los principales componentes electrónicos.

Tabla 2. *Especificaciones técnicas de principales componentes*

Dispositivo	Voltaje de Alimentación	Comunicación	Dimensión	Numero de pines
Arduino pro mini	3,7 V	Serial	1,7cm x 3,3 cm	34
EZ0	2,5V – V	Serial, PW, Análogo.	1,64cm x 1,55cm x 1,99 cm	7
MPU6050	2,375V - 3,46V	I2C	2,1 cm x 1,6 cm x 0,3 cm	8
WTV020SD-16P	3,3V – 3,7V	SPI	1.881cm × 1.422cm	16
HC-05	3,7V	Serial	4.4 cm x 1.6 cm x 0.7 cm	5
Batería litio TR 18650 de 3.7V a 5000mAh	No aplica	No aplica	6,9cm x 1,83cm	2

Fuente: Elaboración propia

Para efectos del esquema del circuito, se pone un arduino uno en lugar de la arduino pro mini, debido a los recursos de librerías del programa Isis Proteus. Cabe aclarar que la arduino uno tiene el mismo procesador que la arduino pro mini, por lo tanto cuentan con igual número de pines.

El diseño mostrado en la Figura 20, fue realizado en el programa Isis Proteus con el fin de mostrar las conexiones realizadas para el módulo electrónico del bastón. El módulo de sonido y el módulo bluetooth están alimentados con 3.7 v, en el montaje real estarían directamente a la batería, mientras tanto el acelerómetro y los sensores de ultrasonidos son alimentados con 3.3 v regulados por la arduino.

Los sensores EZ0 tienen dos conexiones digitales en funcionamiento, el pin RX que es usado como activador del sensor, cuando éste se encuentra en alto está continuamente tomando medidas, lo cual no es beneficioso, pues habría interferencia entre ellos. Por esta razón el sensor

solo se pone en alto por un lapso de tiempo determinado para la toma de medidas. El otro pin usado en los EZ0 es el PW, a través de este se lee la señal entregada por el sensor para luego ser procesada en el microcontrolador. Los pines para comunicación serial predefinidos por la arduino, están conectados a los pines TXD y RXD del módulo bluetooth, el cuál fue configurado a una tasa de 9600 baudios. El módulo de sonido tiene asociado entre la fuente de voltaje y su pin número 15, una señal luminosa que indica el encendido del dispositivo y la reproducción de una pista, la cual es controlada en la arduino por medio de sus pines 3, 4, 5 y 6 que van conectados a los 1, 8, 10 y 15 del integrado de manera correspondiente. Además, entre los pines 4 y 5 se conecta un Jack para auricular, por el cual se alerta al invidente. El sensor MPU-6050 se encuentra conectado a la fuente de 3.3 V, cuenta con un pin SDA, para la comunicación de datos y está asociado al pin A0 del arduino. El pin SCL del módulo, actuará como reloj para coordinar el envío de datos y el pin INT2 se conecta al pin digital 2 del arduino para pasar de un modo de reposo a activo.

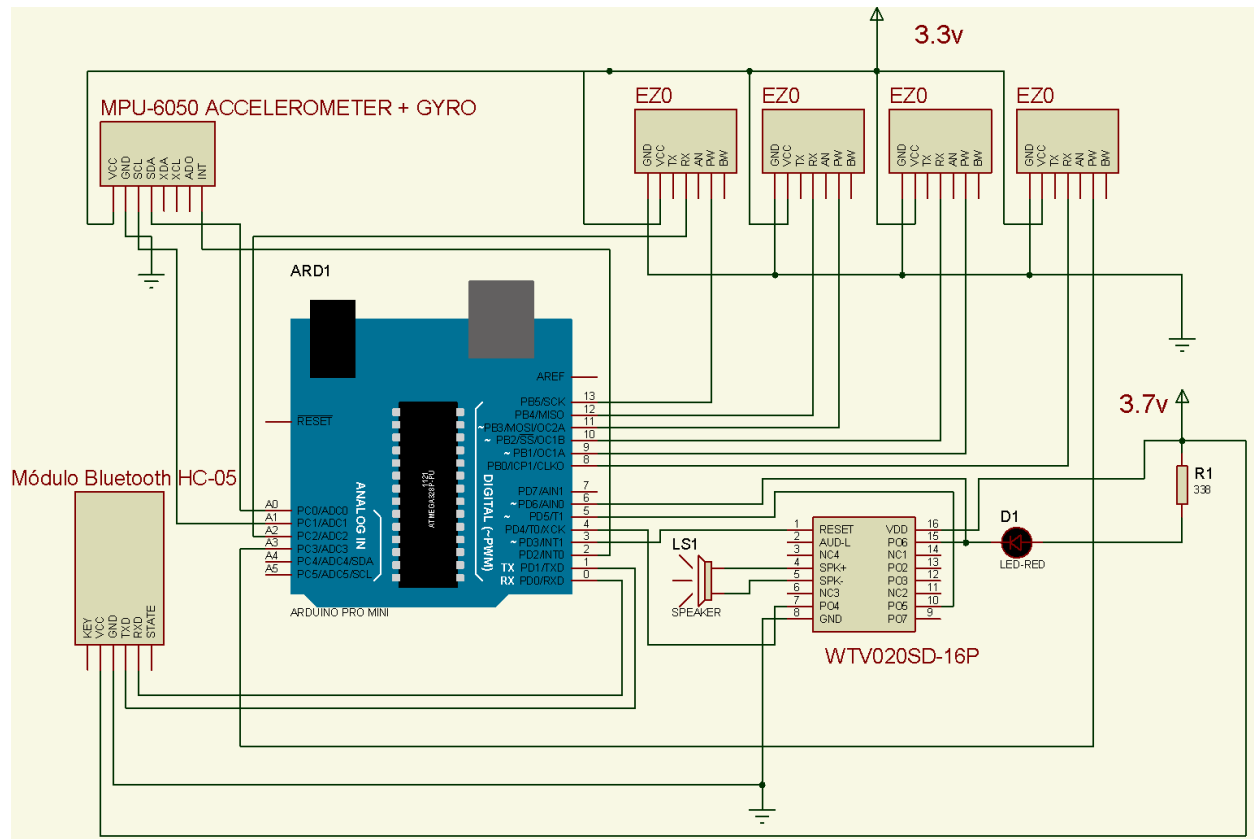


Figura 20: Diagrama circuital
Fuente: Elaboración propia

2.1.8 Diseño PCB

La tarjeta electrónica fue diseñada en el software Eagle pcb. Se dimensionó de acuerdo a los componentes electrónicos y a las características de movilidad y tamaño con las que debe contar la estructura mecánica contenedora. En la Figura 21, se observa el diseño en Eagle y la tarjeta impresa física.

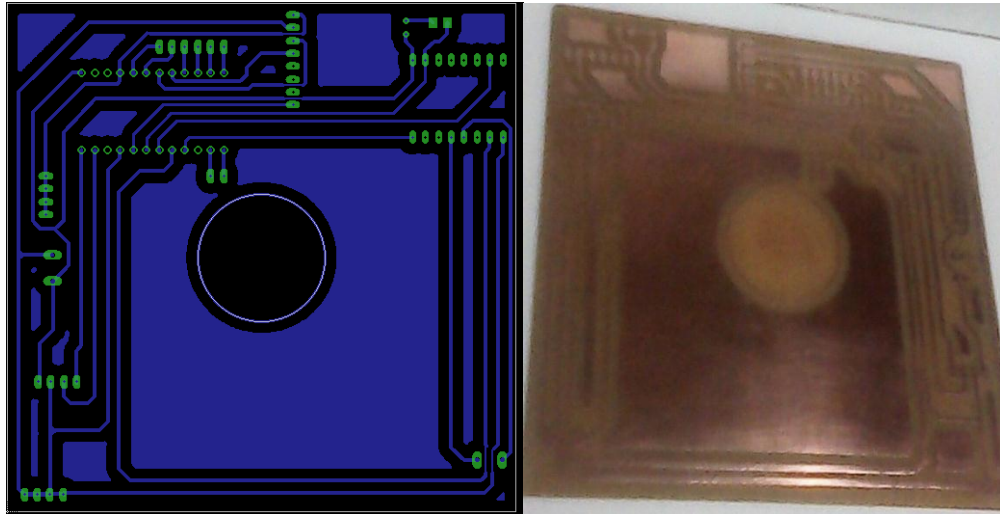


Figura 21: Esquema pcb
Fuente: Elaboración propia

2.1.9 Software de arduino

El desarrollo del algoritmo en arduino cuenta con dos bloques bases de procesos, el void setup y el void loop. El void setup es usado para inicializar variables y configurar el modo de uso de los puertos. El void loop es el ciclo infinito que va a estar en constante ejecución, en él se encuentran estructuradas y priorizadas las decisiones que debe tomar el sistema, de acuerdo a las variables de entrada.

En la Figura 22 se muestra el diagrama de flujo con las rutinas del algoritmo implementado. Al inicio del loop, el sistema verifica la posición del bastón con respecto al eje X; esto lo realiza mediante la lectura del acelerómetro. Si el resultado no se encuentra dentro de los rangos permitidos, pasará a dar una alerta auditiva en un ciclo while, solicitando la corrección de la posición. Si la posición en X, es correcta pasará a verificar la posición sobre el eje Y y ejecuta la misma secuencia de lógica anterior.

Luego de verificar la posición del bastón, la secuencia del hilo pasa a la lectura de los sensores, los cuales se van activando y leyendo secuencialmente uno tras otro para evitar ruido

entre ellos, lo anterior se realiza activando y desactivando el pin asociado a la entrada RX de cada sensor. Siguiendo con el proceso se da paso a la verificación de la presencia de objetos; ésta se realiza comparando la lectura instantánea con un umbral predefinido. Si la lectura instantánea es menor que el umbral, el sistema entra en un ciclo if, donde se activa la señal de alerta auditiva según el caso en ocurrencia, luego se verifica el siguiente sensor hasta llegar al último que retorna al inicio del loop.

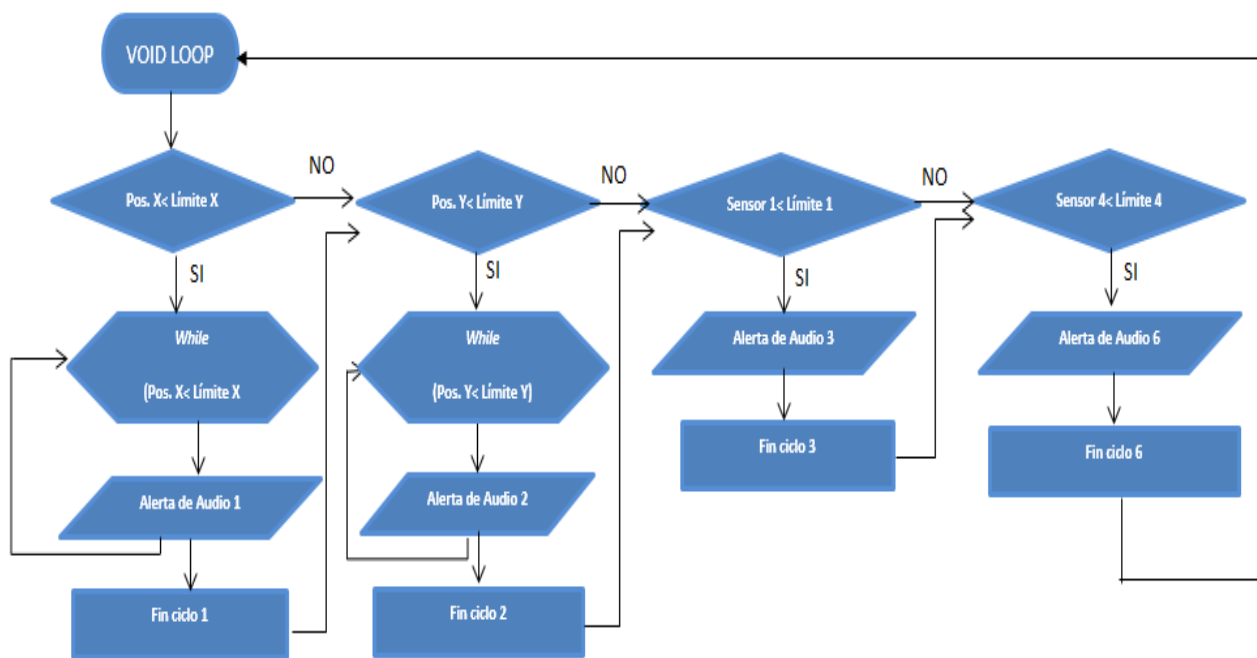


Figura 22: Diagrama de flujo
Fuente: Elaboración propia

Cuando se detecta la presencia del obstáculo el sistema se comunica con el módulo de sonido a través del protocolo spi, enviando el número de pista específica a reproducir.

El módulo bluetooth, por sus características de manejo, no requiere de ningún código de manejo. Sólo se debe tener en cuenta que, al momento de reprogramar la tarjeta, éste debe estar apagado.

Para informar cuando se debe realizar el cambio de batería, al inicio código se

implementó la función `millis()`, que nos arroja el tiempo transcurrido a partir del encendido de la tarjeta; ese valor es acumulado en una variable almacenada en la memoria eeprom del microcontrolador.

En la Figura 23 se puede observar el diagrama de bloques de la secuencia de ejecución total del algoritmo desarrollado.

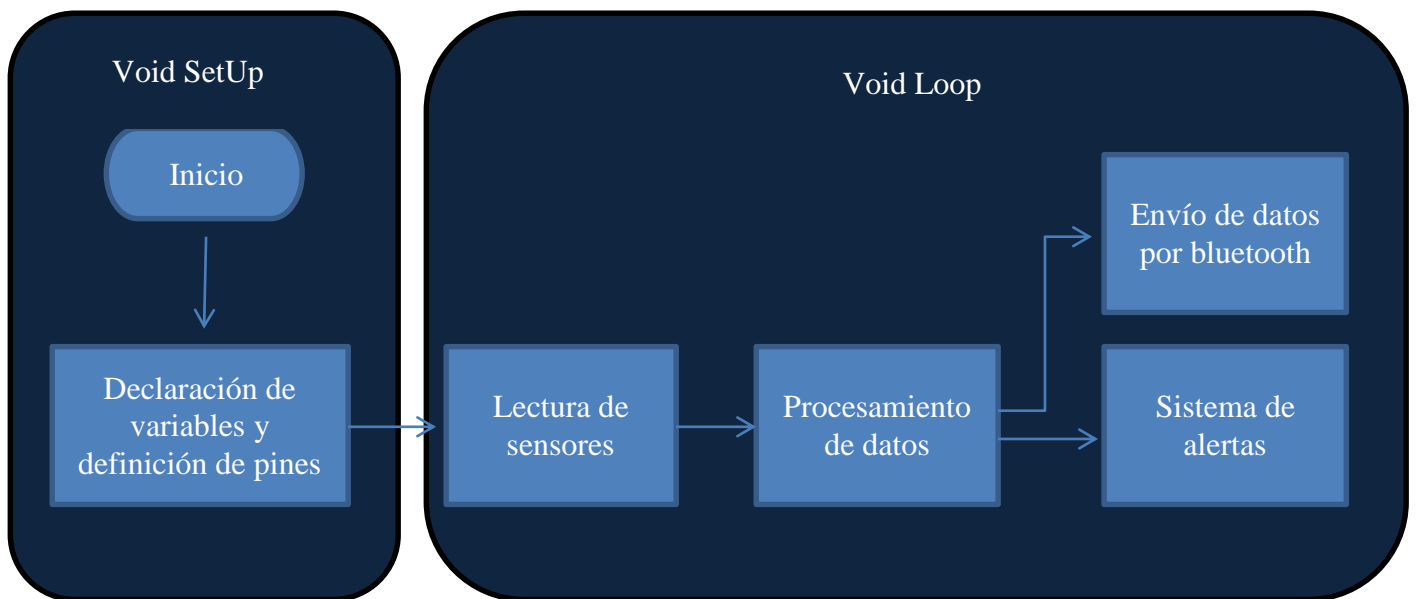


Figura 23. Diagrama en bloques de algoritmo
Elaboración: Fuente propia

2.2 Análisis geométrico

El análisis geométrico es de vital importancia en la construcción del prototipo, éste debe ser diseñado de la mejor manera para garantizar un correcto funcionamiento del sistema. El rango y ubicación de los sensores, el tiempo de procesamiento del sistema y el tiempo de reacción del invidente son variables determinantes para el diseño.

Como se mencionó en el ítem de comunicación del diseño hardware electrónico un invidente se mueve a una velocidad media de 0.6 m/s y el ser humano tarda en reaccionar entre 0.1 y 0.3s. Los sensores ultrasónicos arrojan un dato cada 0.05s y el proceso de reconocimiento

de la tarjeta y posterior reproducción de la pista tiene un retardo de 1.2s.

Haciendo la sumatoria de los retardos del sistema y tomando como 0.3s la velocidad de respuesta del usuario, se obtiene un tiempo de 1.55s, siendo la velocidad de desplazamiento 0.6 m/s, se obtiene una distancia mínima de 0.93m para la detección de la obstrucción.

De acuerdo al anterior dato calculado, se realizan los diagramas geométricos del sistema aumentando las distancias para así, obtener una anticipación holgada al objeto. De esta manera se diseñó un prototipo de bastón electrónico que se realizó como primer prototipo de reconocimiento de ambientes y posterior alerta de la presencia de obstáculos mediante sensores de proximidad.

2.2.1 Diagrama geométrico vertical

En la Figura 24 se muestra el diagrama geométrico vertical realizado, en el cual se toma como referencia una persona de 170 cm, siendo esta la estatura promedio del hombre adulto en Colombia [30]. Para una descripción más detallada, el análisis geométrico se divide en tres secciones.

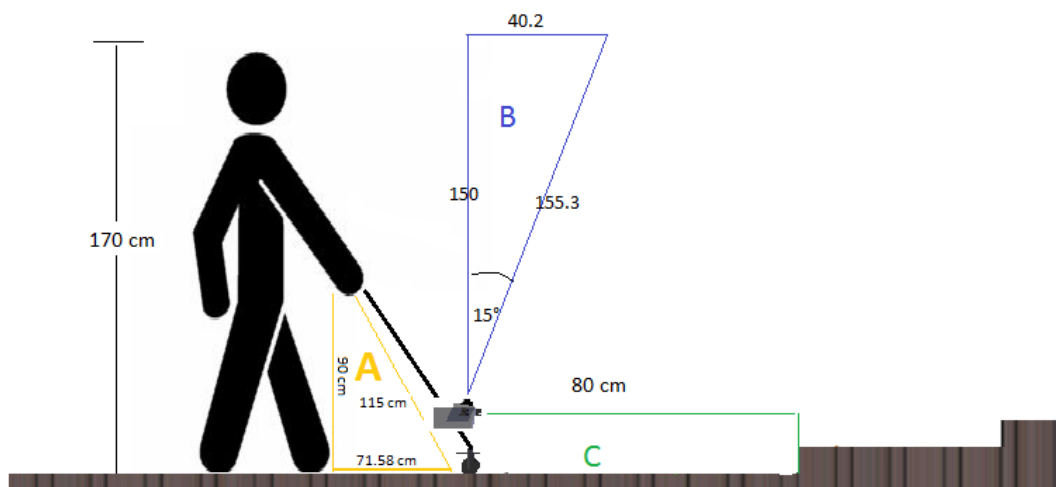


Figura 24. Diagrama geométrico vertical
Fuente: Elaboración propia

El triángulo A está determinado por la longitud del bastón; en cuanto a la medida del bastón, éste debe llegar hasta la apófisis xifoides del esternón del usuario, las medidas más comunes son 105; 110; 115 y 120 centímetros [31]. En una persona de 170 centímetros de estatura es correcto utilizar un bastón de 115 centímetros, pues así obtendrá una postura correcta y una buena anticipación al obstáculo, la altura a la cuál quedaría suspendido el bastón de la mano esta entre 90 y 100 centímetros. Con los dos datos anteriores fijados de acuerdo a la altura del usuario, se encuentra por teorema de Pitágoras la distancia que separa al invidente de la parte final del bastón (Figura 25), de la siguiente manera:

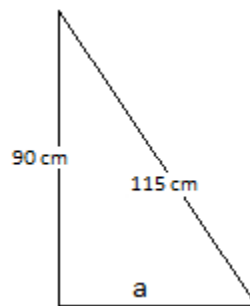


Figura 25: Triángulo A
Fuente: Elaboración propia

Teorema de Pitágoras

$$a^2 + b^2 = c^2 \quad \text{Ecu. 1}$$

Reemplazamos los datos y luego despejamos la variable desconocida:

$$a^2 + 90^2 = 115^2$$

$$115^2 - 90^2 = a^2$$

$$a = 71.58$$

La sección triangular B está dada Para la detección de obstáculos elevados, función realizada por el sensor de ultrasonido Lv max sonar EZ0. El triángulo se diseña de acuerdo a la altura del invidente y se asigna un ángulo que corresponda con el buen funcionamiento del sensor y su alcance máximo. Para el caso del ejemplo, como se mencionó anteriormente se toma como referencia un usuario de 170 centímetros de altura y el sensor situado a una altura de 20 cm respecto del suelo, de este modo la altura del triángulo es de 150 cm (Figura 26).

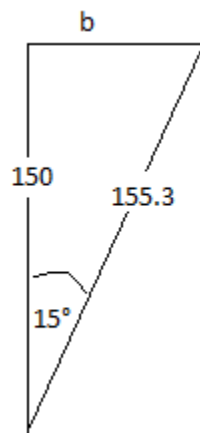


Figura 26 Triángulo B
Fuente: Elaboración propia

Del mismo modo que en el caso anterior, se encuentran la distancia del cateto b , a través de la ecuación (1). Obteniendo como resultado:

$$b = 40.2 \text{ cm}$$

La sección C corresponde a la detección de objetos bajos en sentidos norte, este y oeste con respecto al invidente. Para ello se establece un umbral frontal de 80 centímetros, sumado a la distancia obtenida en el triángulo A para alertar la presencia de un obstáculo.

2.2.2 Diagrama geométrico horizontal

Para el diseño de la zona de cobertura frontal baja del sistema, se tienen en cuenta los

parámetros antropométricos promedios de los seres humanos, más precisamente en función de la anchura de los hombros, que es la parte más prominente horizontalmente en las personas. La anchura de los hombros o diámetro biacromial define la distancia entre los 2 puntos más laterales de los acromios, estando el sujeto en posición de atención antropométrica [32].

Según estudios realizados en [33], el promedio del diámetro biacromial en un hombre es de 40 cm y la diferencia media mundial es de 10 cm. Entre los promedios, el caso más extremo que se podría encontrar es una anchura de hombros de 50 cm y sumado a esto la posibilidad de que al tomar el bastón se abre el brazo entre 20 y 30 cm, se establece dar una cobertura baja de aproximadamente 100 centímetros para tener franjas de seguridad, como se puede observar en la Figura 27.

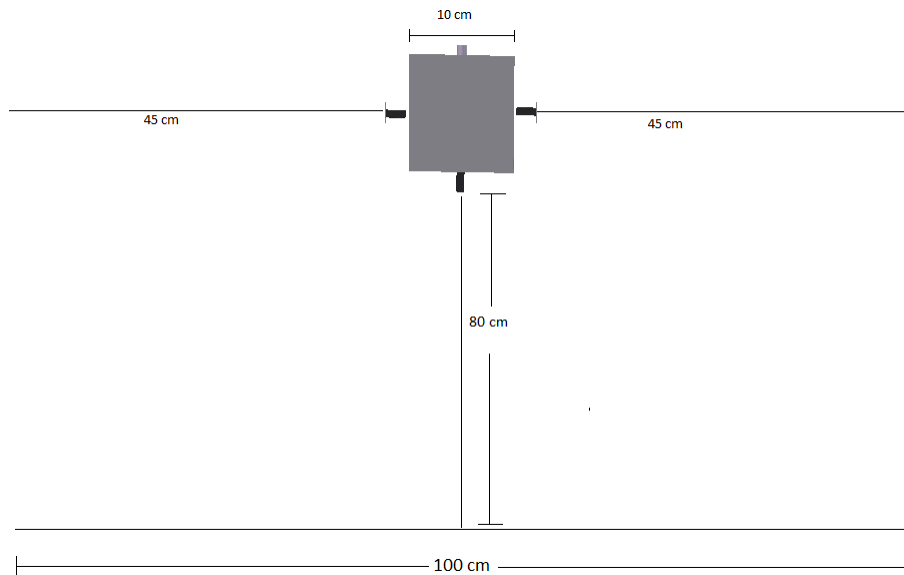


Figura 27. Diagrama geométrico horizontal
Fuente: Elaboración propia

2.3 Diseño mecánico

Para llevar a cabo el desarrollo del presente trabajo de investigación, se diseñó la estructura del prototipo de bastón electrónico para ciegos de manera que fuera muy similar al

bastón blanco tradicional, tanto en dimensiones como en peso. Consecuentes con lo anterior se realizaron las piezas y adecuaciones detalladas a continuación.

2.3.1 Bastón

Por características de peso, maniobrabilidad y precio, se eligió como bastón un tubo de aluminio de 115 cm de longitud y 2 cm de diámetro, medidas semejantes a las del bastón blanco tradicional (Figura 28).



Figura 28: Tubo de aluminio

Fuente: <http://www.construalianza.com/tienda/prodview.asp?idproduct=808018>

Al tubo se le realizaron tres perforaciones, una a la altura donde se fija la estructura contenedora y dos en la parte superior del tubo. La primera se realizó con el fin por el interior del tubo los cables del switch de energización y el par de cables que transportan la señal de audio, las perforaciones altas contienen el Jack del auricular monofónico y el switch para encendido y apagado del sistema. Adicionalmente se le instaló una rueda en la punta inferior del bastón, a través de un objeto realizado por impresión 3d (Figura 29), esto con el fin de brindar suavidad al desplazamiento y a su vez evitar que se desajuste la estructura. Para una buena postura del bastón se adecúa en la parte superior un mango para que sea maniobrado desde ese punto por el

paciente.



Figura 29. Pieza rueda-tubo
Fuente: Demoss prototipado sas

2.3.2 Diseño de Carcazas

Los contenedores del sistema electrónico a mencionar a continuación fueron diseñados en solid edge para una posterior impresión en 3D.

2.3.2.1 Contenedor Principal

El contenedor principal es un cubo sin tapa de 12 cm tanto de largo como de ancho y 2.5 cm de alto (Figura 30). En su interior cuenta con 3 perforaciones circulares en tres de sus caras laterales, donde se ubican los sensores EZ0. También se observa una apertura rectangular en el piso de la estructura que será usada como canal al paso del tubo de aluminio. En los costados de la perforación de la cara interior se encuentran ubicadas dos orejas, cuya función es brindar estabilidad a la estructura. Ésta contiene los elementos electrónicos principales del sistema, entre los que se encuentran: Arduino pro mini, giroscopio, Bluetooth, módulo de sonido, batería y sensores.

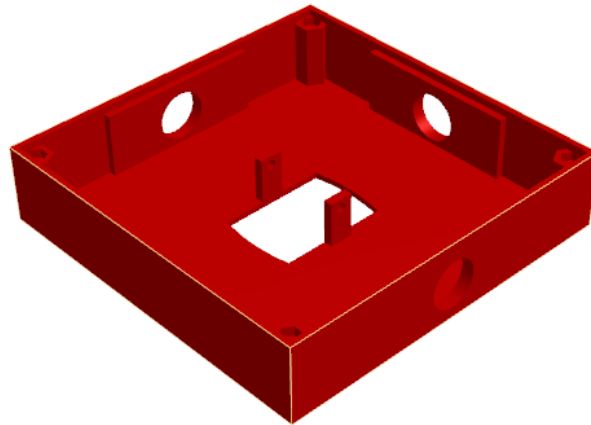


Figura 30. Contenedor principal
Fuente: Demoss prototipado sas

2.3.2.2 Fijador y graduador

La pieza mostrada en la Figura 31, es sobre la cual se encuentra suspendido el contenedor principal, ésta a su vez se fija sobre el tubo de aluminio a la altura requerida. La pieza está diseñada de modo que pueda brindar flexibilidad en el ángulo de inclinación del contenedor principal, requerimiento necesario para garantizar el buen funcionamiento de los sensores.

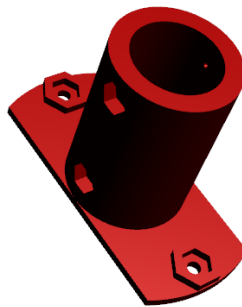


Figura 31. Fijador
Fuente: Demoss prototipado sas

2.3.2.3 Pieza Sensor elevado

Para el posicionamiento del sensor detector de objetos elevados dentro de la estructura, fue necesario diseñar una pieza que determine el ángulo al cual va incidir el sensor (Figura 32). La pieza tiene forma triangular con un ángulo de elevación de 15° , que teóricamente es el ángulo

máximo al cual los sensores de ultrasonidos presentan un correcto funcionamiento, superado éste límite el rayo incidente no regresaría al sensor para ser leído por el receptor.

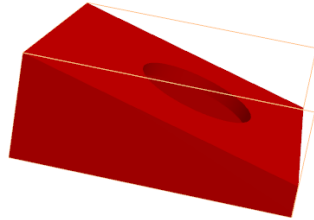


Figura 32. Pieza para sensor elevado
Fuente: Demoss prototipado sas

2.3.2.4 Cubierta del cubo

La tapa o cubierta del cubo fue recortada en acrílico para tener visibilidad hacia las señales luminosas del sistema (Figura 33), señales necesarias para reconocer el buen funcionamiento del sistema. La cubierta tiene en sus bordes espacios circulares para ser atornillada al contenedor principal, adicionalmente ésta tiene impresa el escudo de la universidad del Cauca.

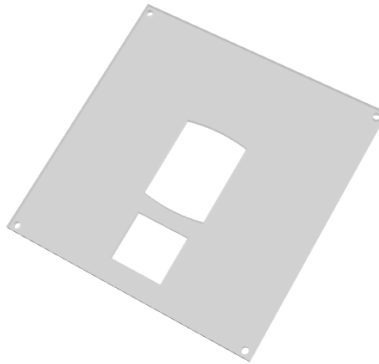


Figura 33. Cubierta del cubo
Fuente: Demoss prototipado sas

En la Figura 34 se puede observar la estructura mecánica completa.

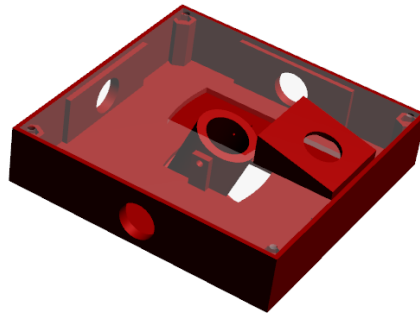


Figura 34. Contenedor completo
Fuente: Demoss prototipado sas

2.4 Construcción del prototipo

Luego de la descripción cada uno de los componentes del sistema, se procede a unificar y construir el prototipo de bastón guía para invidentes. Se realizó, implementando en primera instancia el cableado de los componentes electrónicos dentro del contenedor principal, luego se fijó el contenedor a la altura determinada en el tubo de aluminio, y finalmente se gradúa la inclinación del contenedor, con el fin de dar un buen ángulo de incidencia a los sensores.

2.4.1 Cableado

El cableado de cada uno de los componentes electrónicos, se realizó de acuerdo al esquema circuital presentado en la sección 2.1.7. Se hizo uso de jumpers y regletas hembra, con el fin de obtener una fácil extracción de cada uno de los elementos en el momento que sea requerido. En la Figura 35 se puede observar la distribución de los dispositivos electrónicos y recorrido del cableado.

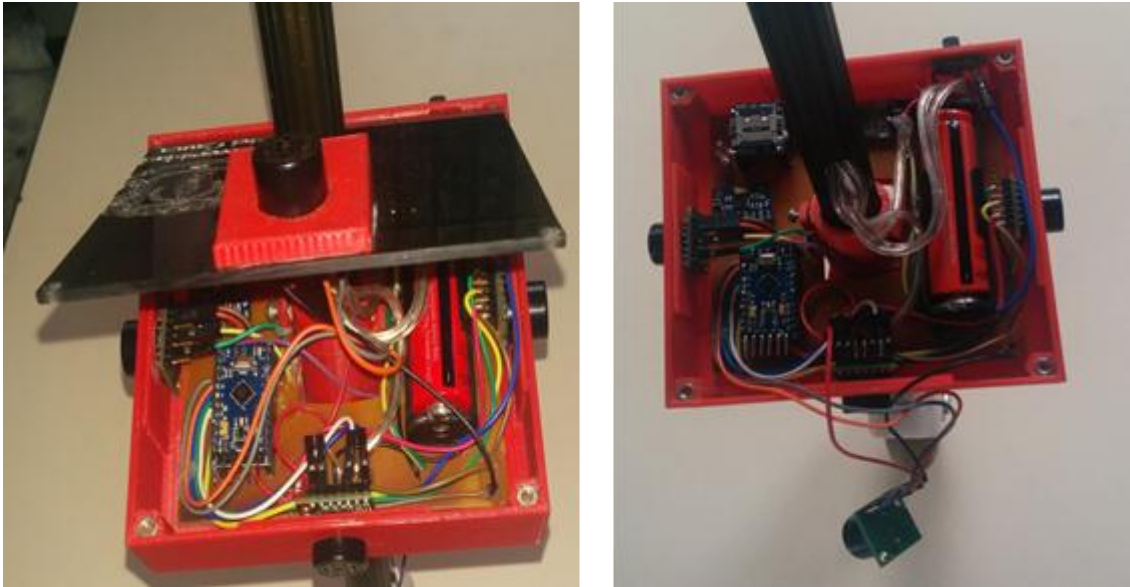


Figura 35. Cableado
Fuente: Elaboración propia

Para controlar el encendido y apagado del sistema y enchufar o desenchufar el auricular cuando sea requerido por el usuario, se fijó un switch y un conector en la parte superior del bastón, bajo el mango de agarre (Figura 36). El mango de agarre aporta comodidad al invidente y ayuda a mantener una correcta posición del sistema.



Figura 36. Switch, conector y mango de agarre.
Fuente: Elaboración propia

2.4.2 Fijación de estructura

Para fijar la estructura al tubo de aluminio, se implementaron dos orificios laterales en la estructura graduable, con el fin de ajustarla sobre el tubo con dos tornillos, como se puede observar en la Figura 37.

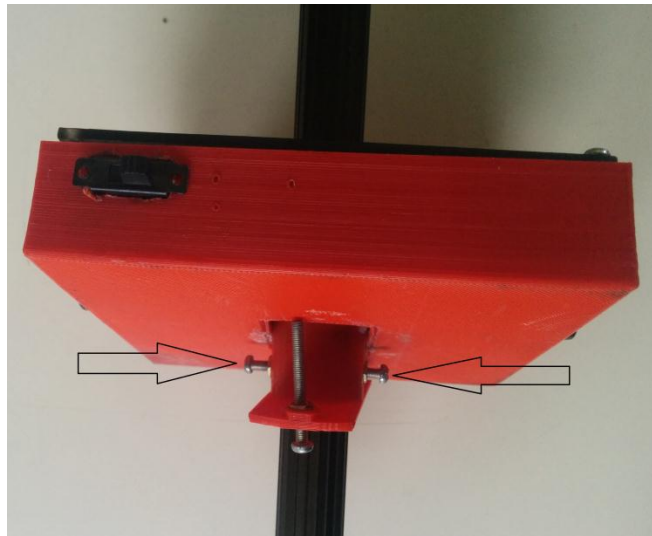


Figura 37. Fijador
Fuente: Elaboración propia

Posteriormente se gradúa la inclinación de la estructura según la altura del usuario, a través de dos tornillos de mayor dimensión, observar Figura 38.



Figura 38. Graduador
Fuente: Elaboración propia

2.4.3 Rueda

Finalmente se instala la rueda de goma, cuya función es evitar el popular bastoneo que sucede con el bastón tradicional (Figura 39).

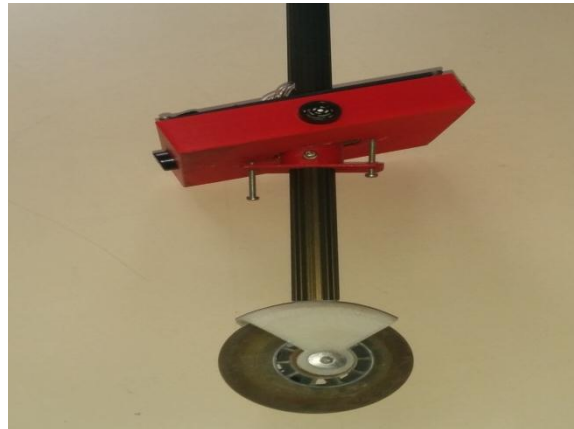


Figura 39. Rueda de goma
Fuente: Elaboración propia.

Capítulo 3: Software de mapeo para el dispositivo de ayuda para la movilidad de invidentes

Es importante conceptualizar cómo se realizó el proceso de desarrollo del software; para ello, se utilizó un tipo de metodología de desarrollo en cascada y múltiple información necesaria para el desarrollo de las fases de la metodología utilizada. En este capítulo, se especifican la metodología de desarrollo, las herramientas software utilizadas, el proceso de desarrollo del software y el diseño del sistema.

3.1. Metodología de desarrollo

Una metodología de desarrollo se refiere al marco utilizado para estructurar, planificar y controlar todo el proceso de desarrollo de cualquier sistema de información. Se han generado múltiples metodologías de desarrollo que han evolucionado a lo largo de los años y se adopta la que más se ajuste al tipo de proyecto, diversas consideraciones técnicas, organizativas y/o de equipo [34]. El tipo de metodología tipo cascada (Figura 40) es implementada en el desarrollo del sistema realizado, su funcionamiento se explica a continuación.

El modelo de cascada es considerada como un tipo de Framework lineal en el cual las fases de desarrollo se realizan de manera continua iniciando con investigación de acuerdo al tema, seguido de la definición de requerimientos, diseño del sistema, codificación y pruebas, implementación y por último funcionamiento y soporte [34].

Waterfall

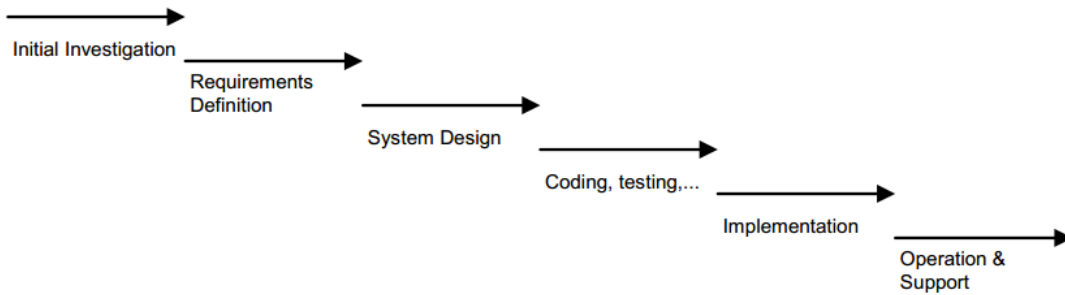


Figura 40. Modelo de desarrollo en cascada.
Fuente: Elaboración propia

Sus funciones básicas son:

- El proyecto está dividido en fases secuenciales, con superposición e intervención que puede ser aceptable entre las fases.
- Énfasis en la planificación, los horarios, las fechas, presupuestos y ejecución del sistema.
- Se tiene un estricto control durante el desarrollo del proyecto utilizando una amplia documentación escrita, comentarios, aprobaciones y tratos cerrados por el usuario y la tecnología de la información de gestión al final de cada fase, todo esto antes de dar inicio a la siguiente [34].

3.2 Herramientas Software utilizadas

Se utilizaron distintas herramientas Software para realizar el programa que mapeara el recorrido realizado por el dispositivo. Los pasos para la instalación se encuentran en el anexo A. Estas herramientas se muestran a continuación:

VTK

VTK (Visualization ToolKit), es un software orientado a objetos para la creación de gráficos en 3D, procesamiento de datos, interacción humano-computador, visualización de información, representación de volumen y más. Contiene una biblioteca de clases C++ y varias capas de interfaz; además, soporta una amplia variedad de algoritmos de visualización incluyendo: escalar, vectorial, tensorial, de textura, métodos volumétricos y técnicas avanzadas de modelado como: modelado implícito, reducción de polígonos, el suavizado de malla, corte, contorneado, y la triangulación de Delaunay. VTK cuenta un una gran variedad de marcos de visualización y tiene con un conjunto de widgets para la interacción en 3D, también se integra con bases de datos en herramientas GUI como Qt y Tk [35].

Inicialmente esta herramienta fue creada para la visualización de datos científicos y su finalidad no solo es mostrar la visualización de un tipo particular de representación geométrica, si no modelar objetos virtuales y tener la capacidad de interactuar con ellos. En general, la visualización de datos incluye todo el proceso de transformación de los datos en una etapa sensorial para el humano, típicamente imágenes, pero también incluye táctiles, auditivas, y otras formas sensoriales.

VTK no sólo realiza construcciones geométricas y topológicas también incluyen abstracciones tales como mallas o descomposiciones espaciales complejas y atributos de la estructura del objeto, como los escalares (por ejemplo, temperatura o presión), vectores (por ejemplo, velocidad), tensores (por ejemplo, el estrés y la tensión), además de la prestación de atributos como normales a la superficie y la textura de coordenadas [36].

Qt

Qt¹⁰ es una herramienta multiplataforma para la creación de aplicaciones con interfaces graficas de usuario, programas, herramientas para la línea de comandos y consolas para servidores. Qt se desarrolla como software libre y de código abierto a través de Qt Project. Utiliza como lenguaje de desarrollo C++ o QML, CSS y JavaScript además está disponible para los sistemas operativos Linux, Mac OS X y Windows, permitiendo al desarrollador crear aplicaciones para múltiples sistemas o plataformas móviles [37].

Cmake

Cmake (Cross Platform Make) es una herramienta multiplataforma diseñada para construir, probar y empaquetar software. Cmake se utiliza para controlar el proceso de compilación del software usando ficheros de configuración sencillos y que sean multiplataforma. Esta herramienta fue creada por la necesidad de trabajar en un entorno de desarrollo para proyectos de código libre como lo es ITK y VTK [38].

Microsoft Visual Studio

Microsoft Visual Studio es un entorno de desarrollo integrado utilizado para sistemas operativos Windows. Soporta múltiples lenguajes de programación como C++, C#, Visual Basic, F#, Java, Python, entre otros. Además es compatible con entornos de desarrollo web como ASP.NET, Django, MVC, etc.

¹⁰ Este kit de herramientas se llamó Qt porque la letra 'Q' se veía atractiva en la fuente de Emacs Haavard y se añadió la "t" para representar "caja de herramientas", inspirado en Xt, el X Toolkit [46].

Visual Studio permite crear aplicaciones, sitios web, aplicaciones web y permite la comunicación de equipos, estaciones de trabajo, páginas web, dispositivos móviles, dispositivos embebidos, consolas, etc. [39]. Visual Studio es el IDE¹¹ utilizado por su compatibilidad con VTK y Qt, esto permite realizar un trabajo completo entre el interfaz de usuario realizado en Qt sumado con las distintas características que VTK ofrece para la creación, visualización e interacción de objetos en 3D.

Visual Micro

Visual Micro es un software libre de Arduino para Visual Studio que permite la compatibilidad entre distintos entornos de desarrollo y trabajar de manera simultánea. Este software es instalado para leer los datos serial que comunica la tarjeta Arduino mediante el puerto COM y a continuación que sean utilizados en Visual Studio para generar la interacción de hardware con el entorno creado en VTK. [40]

Blender

Blender es un Software Multiplataforma utilizado para el desarrollo de imágenes en 3D, especialmente al modelado, iluminación, renderizado, animación y creación de gráficos. Es un software libre compatible con todas las versiones de Windows, Mac OS X, GNU/Linux, Solaris, FreeBSD e IRIX. [41]

En la Tabla 3, se resumen el orden de uso de las herramientas software utilizado, la descripción de cada herramienta y su función dentro del proyecto.

¹¹ Entorno de desarrollo integrado, llamado también IDE (sigla en inglés de integrated development environment), es un programa informático compuesto por un conjunto de herramientas de programación.

Tabla 3. *Herramientas software usadas*

Orden	Herramienta Software	Descripción de la herramienta	Uso en el Software
1	Blender	Herramienta para editar y crear gráficos tridimensionales.	Se crea las imágenes en 3D del dispositivo real y los obstáculos.
2	Qt	Herramienta para desarrollo de aplicaciones con Interfaces graficas de usuario.	Se crea la interfaz gráfica de usuario para el software.
3	CMake	CMake es una familia de herramientas diseñada para construir, probar y empaquetar software.	CMake se utiliza para generar el compilado de Qt y para que se pueda editar en Visual Studio.
4	Visual Studio	Entorno de desarrollo integrado (IDE, por sus siglas en inglés) para sistemas operativos Windows.	Es el entorno utilizado para la creación del Software.
5	Visual Micro	Plugin para la compatibilidad del código de Arduino con Visual Studio.	Plugin utilizado para extraer los datos de la tarjeta Arduino y utilizarlos en Visual Studio.
6	VTK	Kit de herramientas de visualización para la realización de gráficos 3D por computadora.	Herramienta utilizada para realizar la creación y gestión de gráficos en 3D.

Fuente: Elaboración propia

3.3 Desarrollo del software

VTK realiza la importación de objetos en 3D con la extensión .obj creados en Blender para la creación de ambientes. Estos objetos fueron construidos para mostrar el ambiente digitalizado que será usado en el levantamiento de mapas en tiempo real. Además se desarrolló un entorno amigable con el usuario mostrando la presencia de obstáculos representados por bloques y también se muestra el prototipo de sistema diseñado en la realidad.

3.3.1 Modelado de los objetos del sistema

Inicialmente en Blender se crea una réplica del dispositivo creado compuesto por una

llanta, una base de soporte para llantas, una base soporte de los sensores ultrasónicos, cuatro sensores ultrasónicos y un bastón de agarre como se muestra en la Figura 41.

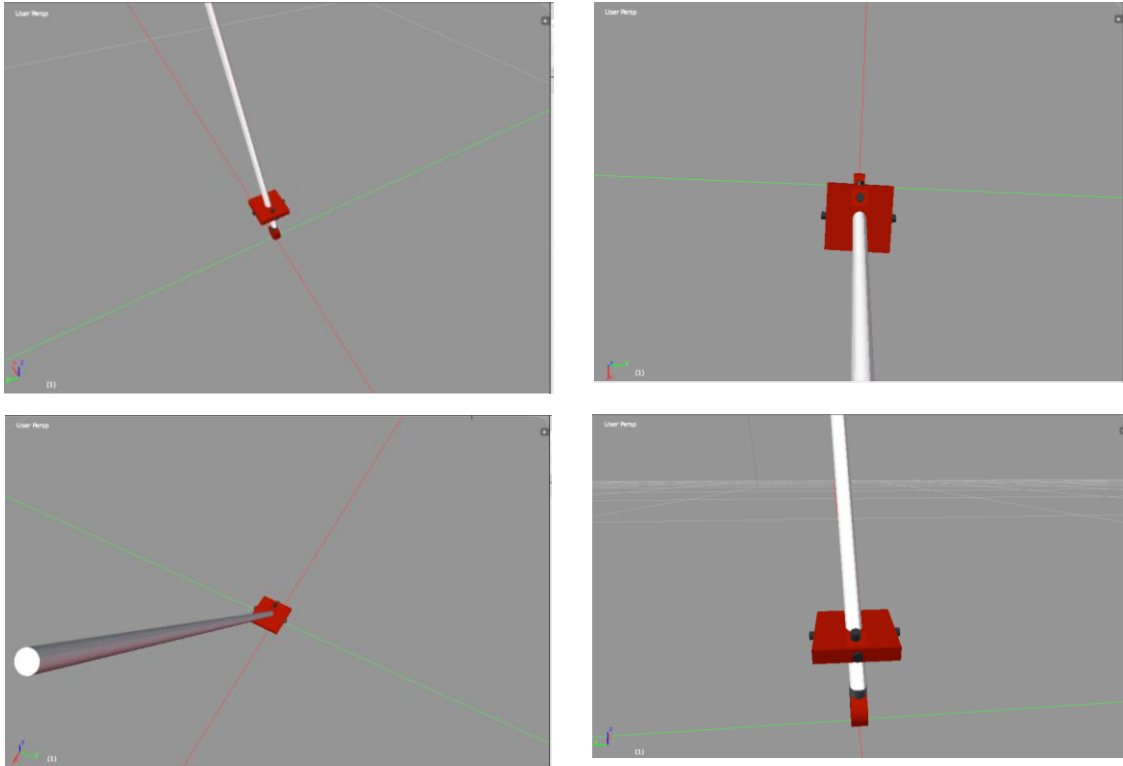


Figura 41: Dispositivo modelado en Blender
Fuente: Elaboración propia

A continuación se crean los objetos que representan la presencia de obstáculos en el ambiente. Cada bulto creado en blender representa el obstáculo encontrado por cada sensor como se muestra en la Figura 42.

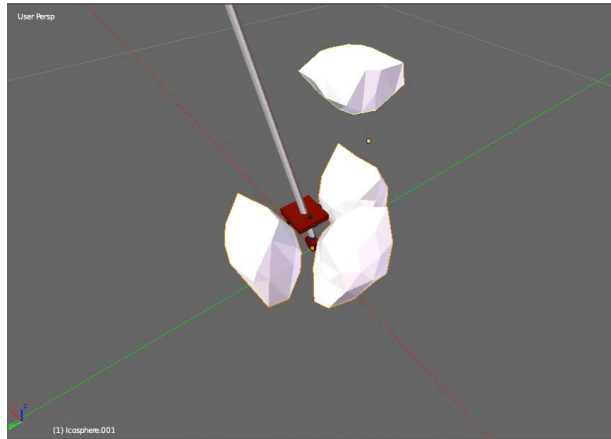


Figura 42: Representación de obstáculos
Fuente: Elaboración propia

3.3.2 Modelado de la Interfaz Gráfica de Usuario

Se realiza la interfaz gráfica de usuario por medio de la herramienta Qt Designer. Esta interfaz tiene tres widgets en donde se renderizaran distintos ángulos de cámara generados en VTK, además se crean los botones de “Iniciar” y “Parar” para iniciar o parar la comunicación serial con la tarjeta arduino como se muestra en la Figura 43.

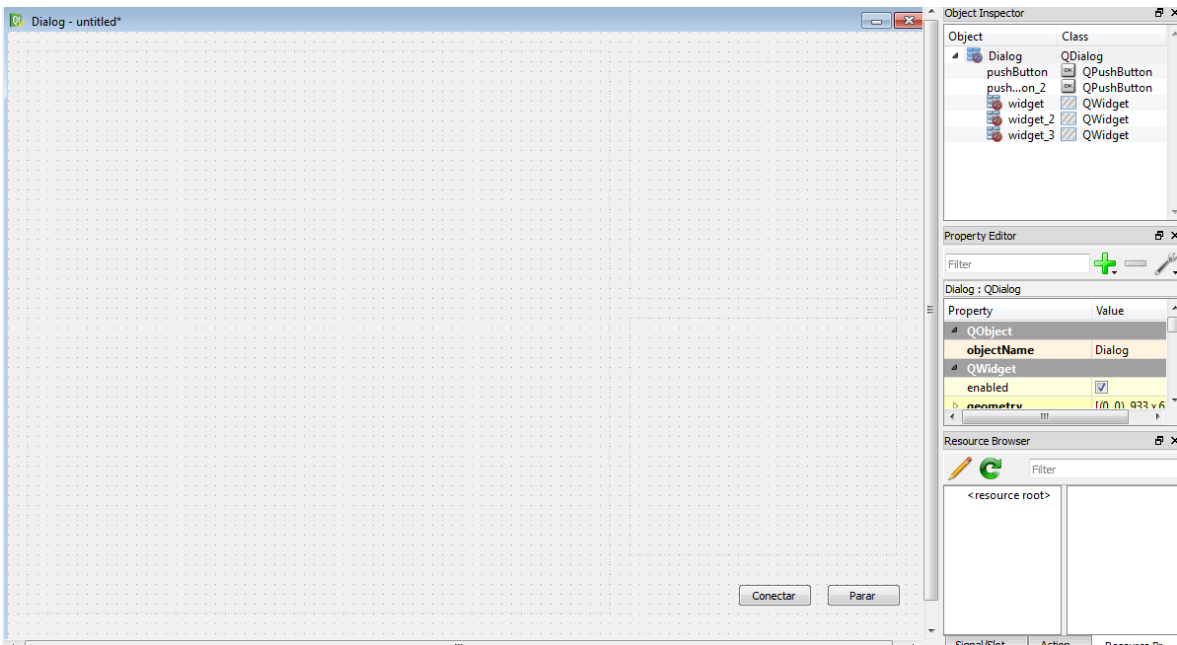


Figura 43: Interfaz Gráfica de Usuario.
Fuente: Elaboración propia

Una vez guardado el proyecto, se procede a generar el código para Visual Studio por medio de la herramienta CMake. Para tener mayor información de cómo generar código en CMake mirar en el anexo A.

Al abrir el archivo para Visual Studio con la extensión .sln se muestran los archivos de cabecera y archivos fuente. Se adicionan dos archivos con el nombre Serial.cpp y SerialClass.h utilizados para la comunicación serial con la tarjeta Arduino.

3.4 Diseño del sistema

3.4.1 Diagrama de clases

Este diagrama muestra las relaciones de las clases que involucran el sistema, las relaciones pueden ser asociativas y de agregación. A continuación se muestra en la Figura 44 la interacción entre las clases.



Figura 44: Diagrama de clases
Fuente: Elaboración propia

Se observa que existe una relación de tipo asociación entre las clases *leer* y *ui_leer*. Esto permite asociar objetos que se colaboran entre sí sin que el tiempo de vida de uno dependa del otro. Además se establece una relación entre la clase *Serial* y la clase *leer* de tipo Agregación, en este caso la clase *leer* utiliza la clase *Serial* para incluirlo y utilizarlo en su funcionamiento. [42]

La clase *Ui_leer* contiene los atributos y métodos para crear la interfaz gráfica de usuario como se muestra en la Figura 45.

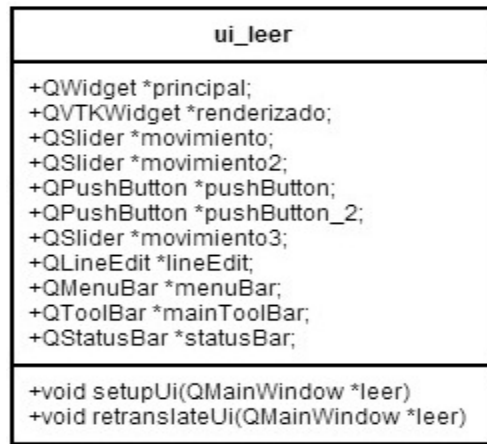


Figura 45. Diagrama de clase ui_leer.
Fuente: Elaboración propia

El atributo *QWidget* es llamado para mostrar la información visual del programa que se va a realizar; *QVTKWidget* es utilizado para renderizar el entorno visual realizado en VTK, cada uno muestra un ángulo de cámara distinta para mejorar la interacción del usuario con el programa; *QPushButton* son los botones que dan acción a conectar la comunicación con el puerto serial para obtener los valores recogidos con cada sensor; *QToolBar* y *QStatusBar* son la barra de herramientas y la barra de estado respectivamente mostrados en la ventana.

Además de los atributos, *Ui_leer* contiene los métodos que contienen información de tamaño, nombres, valores, posiciones y orientación de los objetos que se crean, estos métodos se llaman *void setupUi(QMainWindow *leer)* y *void retranslateUi(QMainWindow *leer)*.

La clase *SerialClass* contiene los atributos y métodos para establecer la comunicación con el puerto serial (este código fue tomado de la pestaña de aprendizaje de la página principal de Arduino [43]), se muestra en la Figura 46, los atributos y métodos incluidos en esta clase.

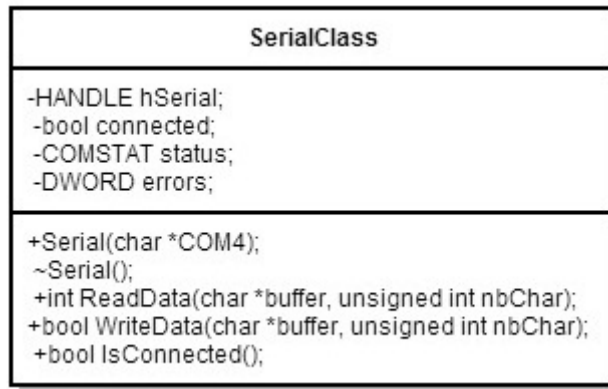


Figura 46: Diagrama de clase Serial.
Fuente: Elaboración propia

El atributo *HANDLE hSerial* se utiliza para realizar el gestor de comunicación serial; *bool connected* muestra el estado de la conexión; *COMSTAT status* obtiene información variada de la conexión; *DWORD errors* lleva el registro del ultimo error. El método *Serial(char *COM4)* inicializa la comunicación serial con el puerto COM determinado; *~Serial ()* destruye el método *Serial()* para cerrar la conexión con el puerto; *int ReadData(char *buffer, unsigned int nbChar)* lee los datos recogidos por el puerto; *bool WriteData(char *buffer, unsigned int nbChar)* envía datos por el puerto serial; *bool IsConnected()* observa si el puerto serial está conectado actualmente. A continuación se muestran algunos métodos de esta clase.

Se utiliza la clase *leer* para realizar el proceso de renderización de la aplicación, cargar los objetos realizados en Blender, crear los actores utilizados en el escenario, crear los métodos utilizados para cada botón y crear métodos varios para complementar la aplicación. Se muestra en la Figura 47 la clase *leer* con sus respectivos atributos y métodos utilizados.

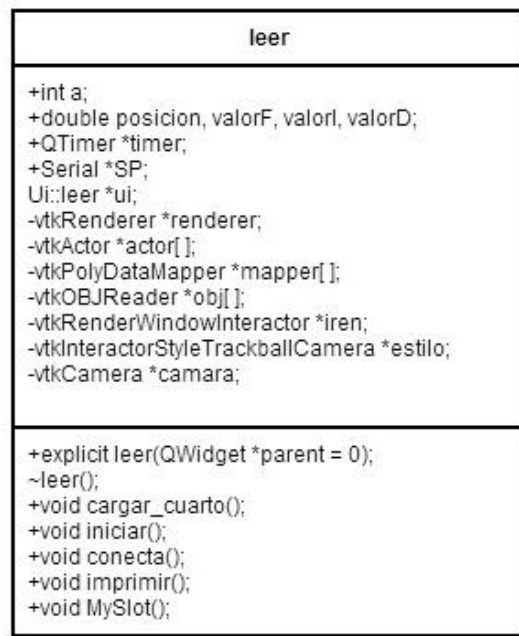


Figura 47: Diagrama de clase leer.
Fuente: Elaboración propia

El atributo *int a* funciona como contador para crear un nuevo elemento cada cierto periodo de tiempo; *double posicion, valorF, valorI, valorD* son las variables necesarias para modificar la posición de los objetos; *QTimer *timer* es utilizado para generar un temporizador que es utilizado para obtener datos cada periodo de tiempo; *Serial *SP* crea un puntero de tipo serial para la obtención de los datos del puerto serial; *Ui::leer *ui* es heredado de la clase *Ui* para utilizar los elementos realizados en la interfaz gráfica; *vtkRenderer *renderer* se crea un puntero del tipo *vtkRenderer* utilizado para mostrar la ventana grafica en la que los actores serán renderizados; *vtkActor* crea punteros del tipo *vtkActor* para establecer las propiedades del material de los objetos; *vtkPolyDataMapper* crea punteros del tipo *vtkPolyDataMapper* que realiza el mapeo para la renderización o creación de gráficos en el software; *vtkOBJReader* crea punteros del tipo *vtkOBJReader* para leer los objetos creados en *cargar_cuarto()*; *vtkRenderWindowInteractor* permite la interacción con elementos independientes de la ventana de eventos como lo es el Mouse; *vtkInteractorStyleTrackballCamera* permite al usuario

manipular de forma interactiva la cámara o el punto de vista de la escena; *vtkCamera* es una cámara virtual para el renderizado 3D. Proporciona métodos para posicionar y orientar el punto de vista y el punto focal. [35]

El metodo utilizado *explicit leer(QWidget *parent = 0)* crea un constructor para iniciación directa llamado leer; *~leer()* es creado como destructor del método anterior; *void cargar_cuarto()* es el método utilizado para cargar los objetos realizados en Blender y realizar el proceso previo a la renderización; *void iniciar()* genera el tiempo del temporizador; *void imprimir()* realiza la renderización de la interfaz; *void MySlot()* este método se activa una vez se presione el botón de inicio, además da la orden para obtener los datos del puerto serial que son utilizados para la interacción con los objetos que representan cada sensor.

3.4.2 Desarrollo del ambiente

A continuación se explica de manera general cada una de las clases, métodos, variables y argumentos creados para la realización del proyecto de cada uno de los archivos.

La función `int main()` indica que la función "main" debe regresar un entero, y no recibe parámetros. Es la primera función que se ejecuta en el programa, el contenido de este archivo se muestra a continuación:

```
1  int main(int argc, char *argv[])
2  {
3  QApplication a(argc, argv);
4  leer w;
5  w.show();
6  return a.exec();
```

```
7 }
```

La función *main* tiene los parámetros (*int argc, char *argv[]*), (Línea 1) que sirven para adicionar los argumentos de líneas de comando que se requieran. En *main* se crea una nueva instancia de tipo *Qapplication* (Línea 3) y se invoca el constructor de esta clase. La clase *QApplication* gestiona el flujo de control de la interfaz gráfica de usuario y de las configuraciones principales, además contiene el bucle de eventos principal en donde se procesan y se envían eventos. También se encarga del control de la aplicación y proporciona gestión de las sesiones [44].

El método `void retranslateUi(QMainWindow *leer)` generado por Qt y genera el texto contenido en la caja la ventana y de los botones utilizados, que en este caso son Iniciar y Parar.

Se muestra a continuación los elementos más importantes del método `Serial()`. Este método inicializa desconectando el puerto serial, a continuación se conecta a través del puerto COM usando `CreateFile`, por último define los parámetros de conexión serial para la tarjeta Arduino. Otros elementos de este método se utilizan para mostrar la presencia de algún error en cualquiera de estas configuraciones. Para observar el comportamiento del método `Serial` se observa un diagrama de flujo en la Figura 48.

El método `leer()` crea todos los objetos utilizados en VTK, se crean objetos de tipo `vtkOBJReader`, `vtkPolyDataMapper` y `vtkActor` para cada uno de los objetos creados en Blender que interactúan con el software. Cada objeto se carga con la dirección en donde se encuentra el archivo, luego de esto se actualiza, se mapea y se modifica la posición del objeto y color.

Por último se renderizan los actores, la cámara y todos los componentes de la interfaz de usuario. Una vez realizado este proceso se crea una acción para el botón que conecta el puerto

serial con el entorno digital, los elementos siguientes dan un mensaje de bienvenida y muestra que el puerto serial esta conectado.

Al terminar el código se ejecuta en modo Release y se muestra que no hay errores. Se genera el archivo .exe ubicado en la carpeta Release del proyecto, al abrirlo se despliega una interfaz en donde se muestra el desarrollo del software, ver Figura 49.

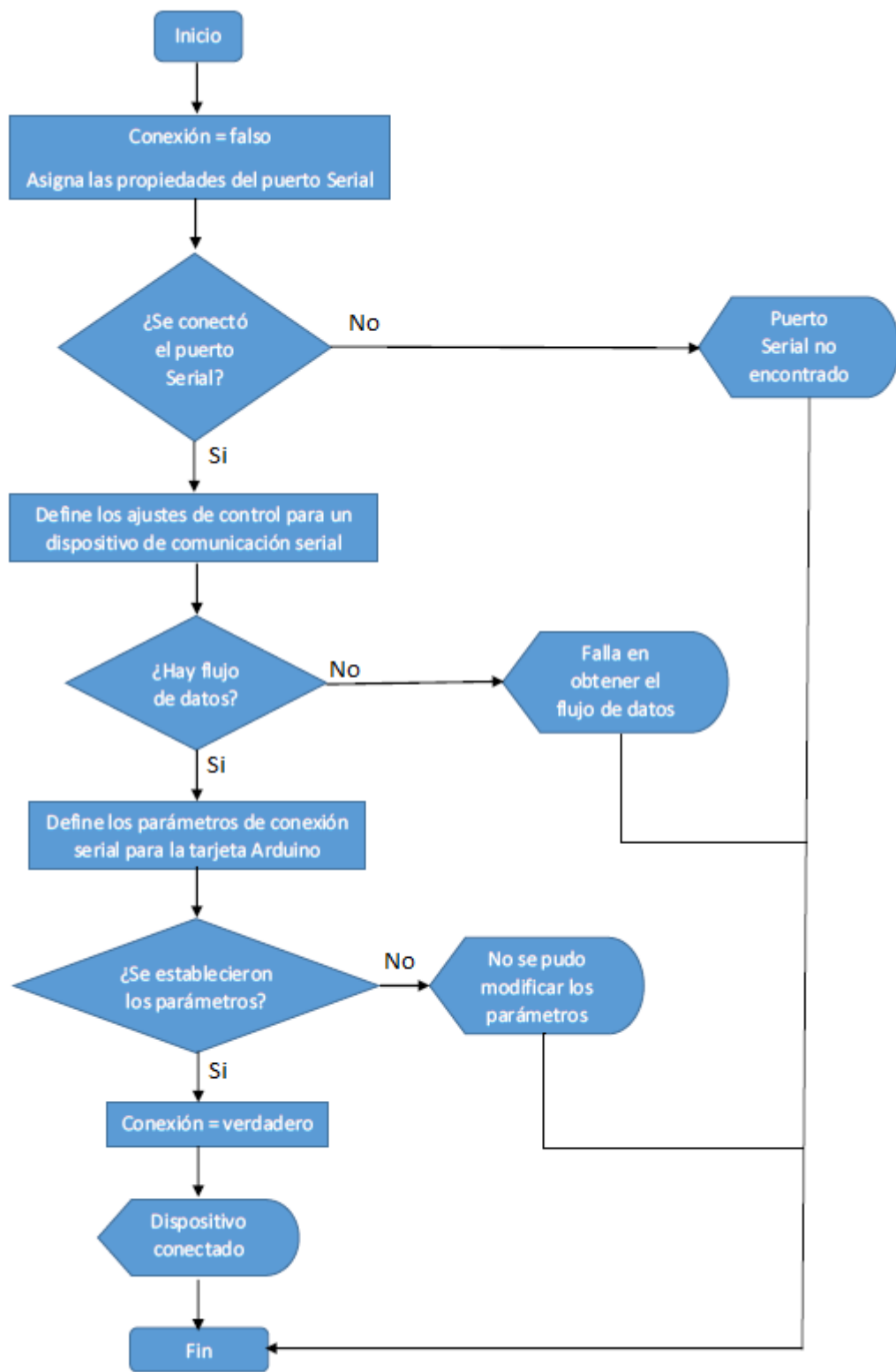


Figura 48: Diagrama de flujo Serial.
Fuente: Elaboración propia

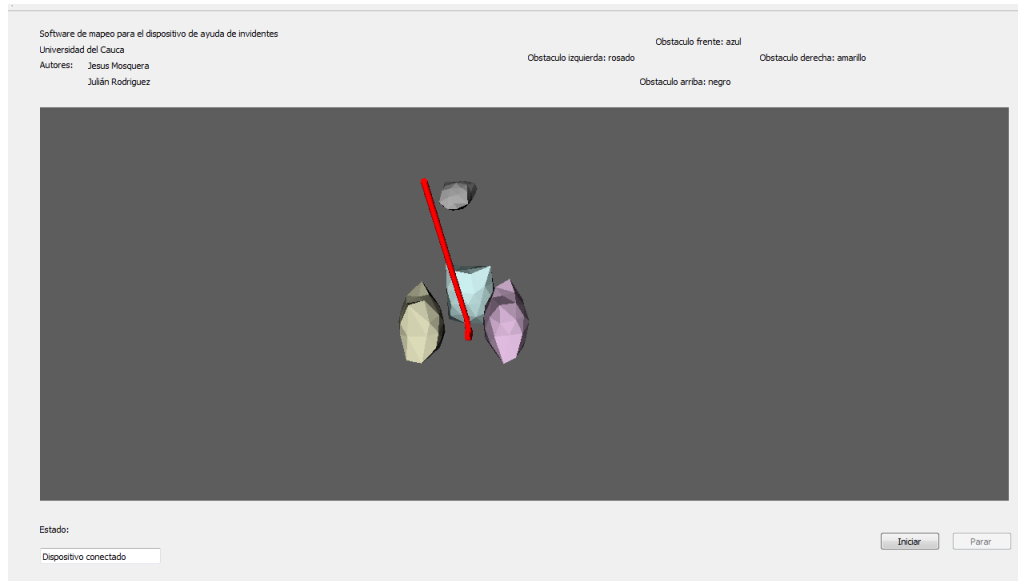


Figura 49: Software para el mapeo del Prototipo desarrollado.
Fuente: Elaboración propia

Se muestra en la ejecución del software el widget, donde se renderiza la cámara virtual y dos botones para la interacción con el software; el primer botón llamado ‘Iniciar’, realiza la función de obtener los datos de los sensores situados en el dispositivo real, para que de este modo se realice una imagen en 3D del camino que sigue el dispositivo; el segundo botón llamado ‘Parar’ sirve para detener la conexión y parar el mapeo realizado anteriormente. Los objetos representados por bultos toman un estado de reposo, donde se acercan al bastón preparándose para recibir los datos obtenidos por cada sensor.

También se puede modificar el ángulo de la cámara dando click derecho para rotar o click en la rueda del ratón para mover (Figura 50).

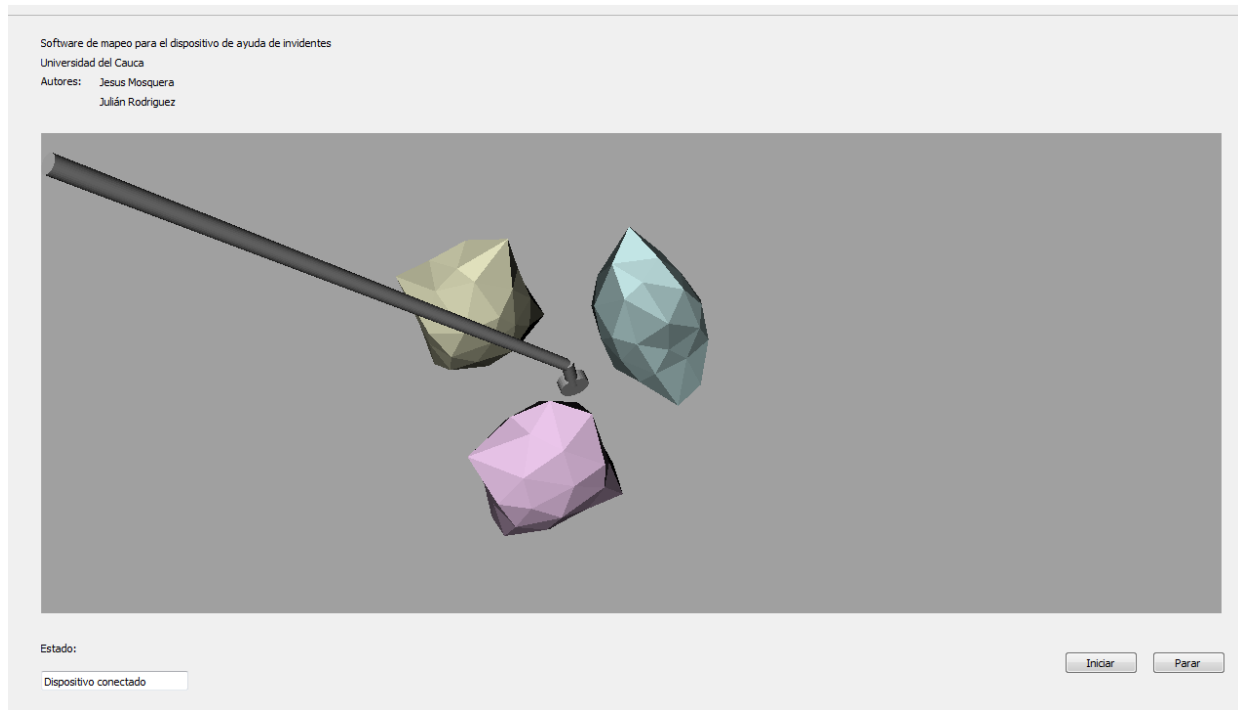


Figura 50: Movimiento de cámara con ratón para el Software.
Fuente: Elaboración propia

Desde el punto de vista del programador le permite conocer el estado de conexión del puerto COM por la ventana de compilación. Es importante conocer el puerto COM utilizado ya sea por conexión USB o por conexión Bluetooth debido a que la clase Serial funciona con un puerto predeterminado por el programador.

En el momento en que la tarjeta Arduino se encuentre conectada al computador por el puerto COM previamente especificado, se despliega un mensaje en la pantalla de comandos y en la interfaz de usuario confirmando que el dispositivo se encuentra conectado, Figura 51 y Figura 52 respectivamente.

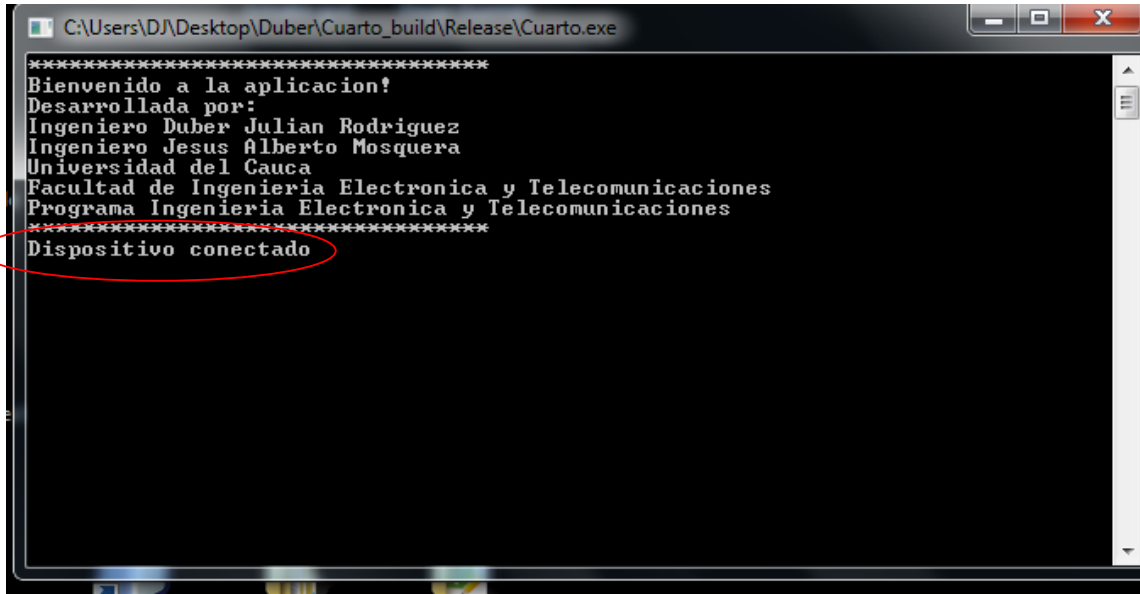


Figura 51: Confirmación de conexión con el dispositivo pantalla de comandos.
Fuente: Elaboración propia

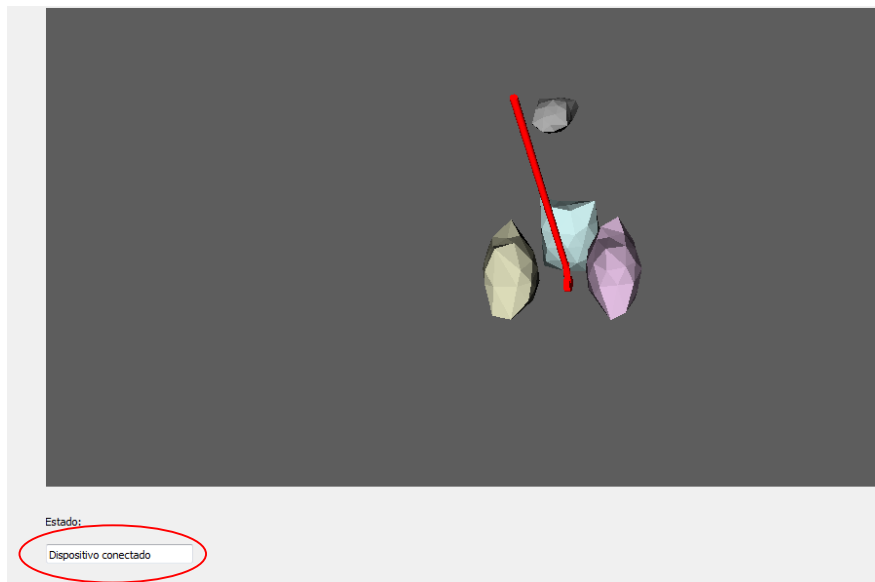


Figura 52: Confirmación de conexión con el dispositivo interfaz gráfica.
Fuente: Elaboración propia

Sea el caso que el dispositivo no se encuentre conectado o el puerto COM no sea el correcto, se despliega un mensaje informando que el puerto no ha sido encontrado, Figura 53 y Figura 54.

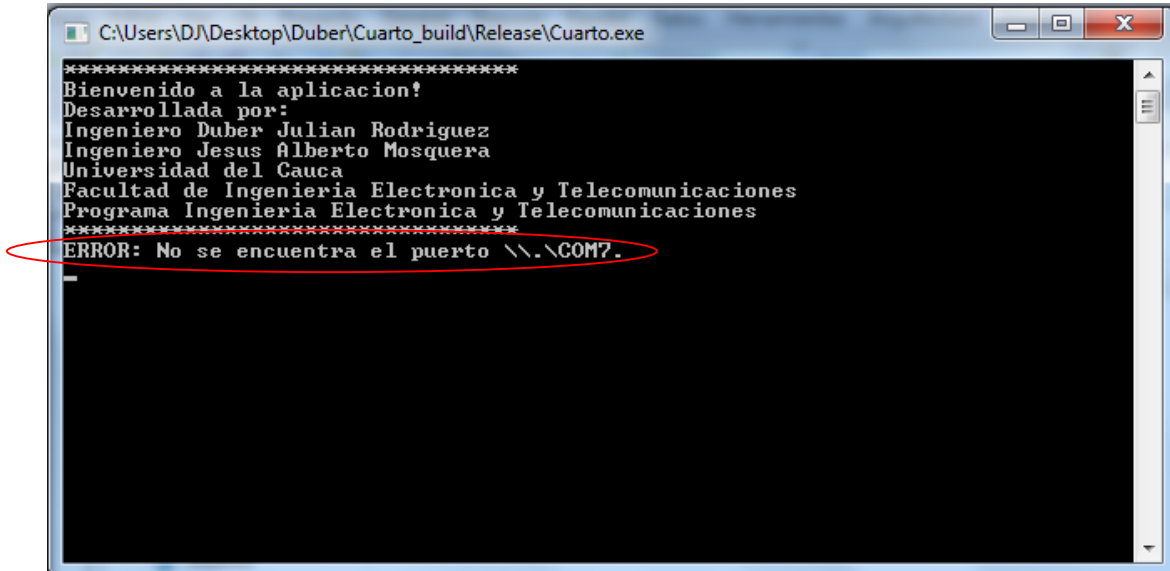


Figura 53: Error de conexión con el dispositivo en pantalla de comandos.
Fuente: Elaboración propia

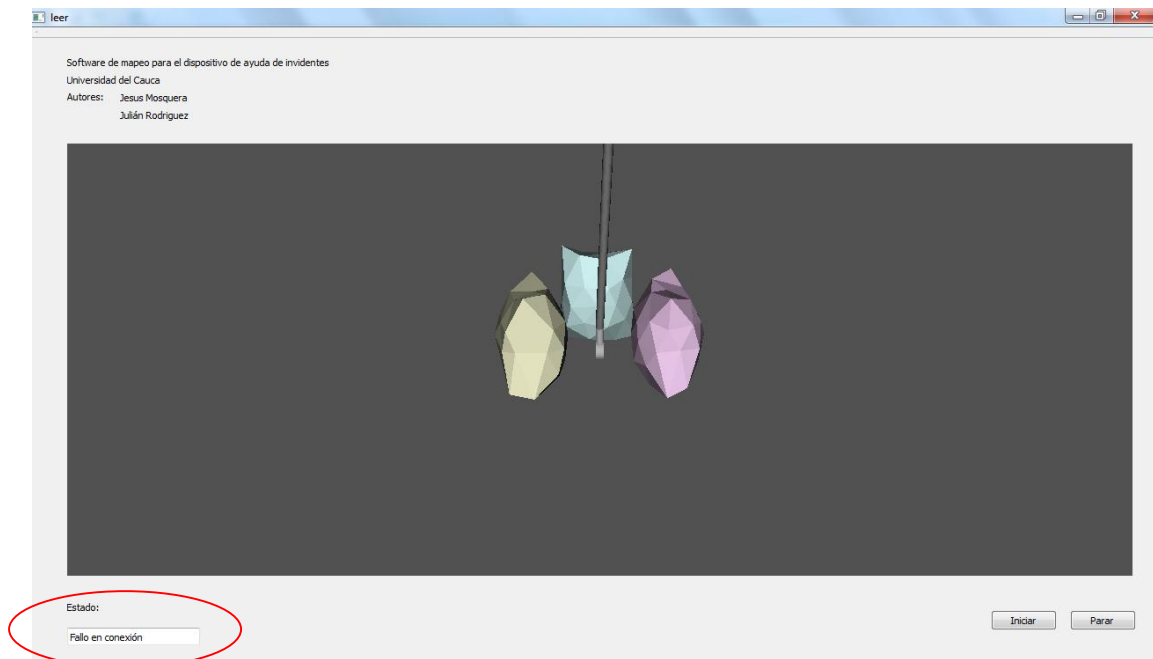


Figura 54: Error de conexión con el dispositivo en interfaz gráfica.
Fuente: Elaboración propia

En la parte inferior derecha del Software creado se encuentran los botones Iniciar y Parar que dan la orden para la ejecución del programa y parar como se observa en la Figura 55.

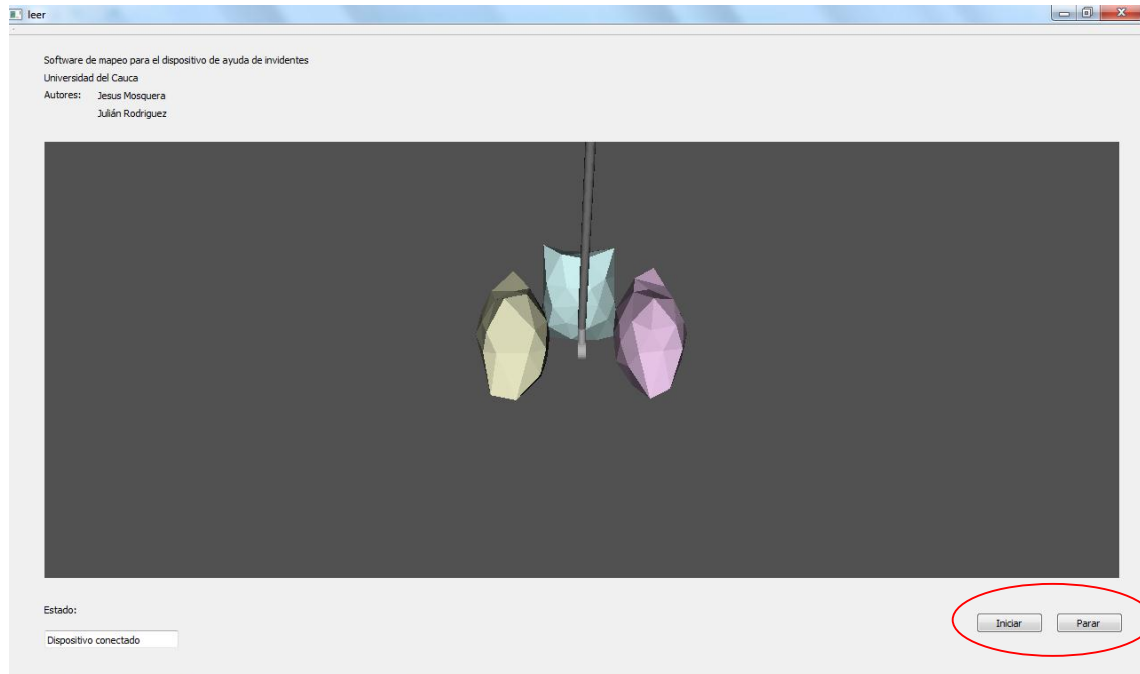


Figura 55. Botones en la interfaz gráfica.
Fuente: Elaboración propia

Una vez creado el mapa se procede a continuar con la inicialización del mapeo. Para la comunicación entre hardware y software se utiliza el puerto serial, cada valor que se captura debe guardarse en un vector para cada uno de los cuatro sensores. Debido a que se tiene una conexión asíncrona, el envío de datos se hizo con dos banderas, una de inicio y otra de finalización. Esto se hizo para que en recepción no se perdieran o se concatenaran valores no deseados y así garantizar que los datos obtenidos por la tarjeta Arduino sean iguales a los obtenidos en el Software.

El tiempo de renderización para el entorno se tomó como 100ms, esto hace que cada cierto tiempo se grafique un nuevo obstáculo en la pantalla. En ese tiempo, el software inicializa cuatro nuevos objetos que tomaran los valores del eje X, Y y Z y la posición del giroscopio, si algún valor de los ejes excede el definido anteriormente en el Capítulo 2.2, el objeto no se muestra en la imagen. Para que el dispositivo virtual siga el trayecto que realiza el dispositivo

real se usa la característica de VTK “SetOrientation” y se modifica el ángulo en el eje Z con el valor obtenido del giroscopio. Al tener estos parámetros se llama al método “Render” para imprimir los objetos con sus variables obtenidas del dispositivo real.

3.4.3 Diagrama de casos de uso

En la Figura 56 se muestra la interacción que tiene el usuario con el software creado en Visual Studio. Para dar inicio el usuario carga el código realizado en Arduino y el software de mapeo; el software procede a la captura de los datos del puerto serial y al final se carga el escenario con el mapeo del trayecto del dispositivo hasta que el usuario lo desee.

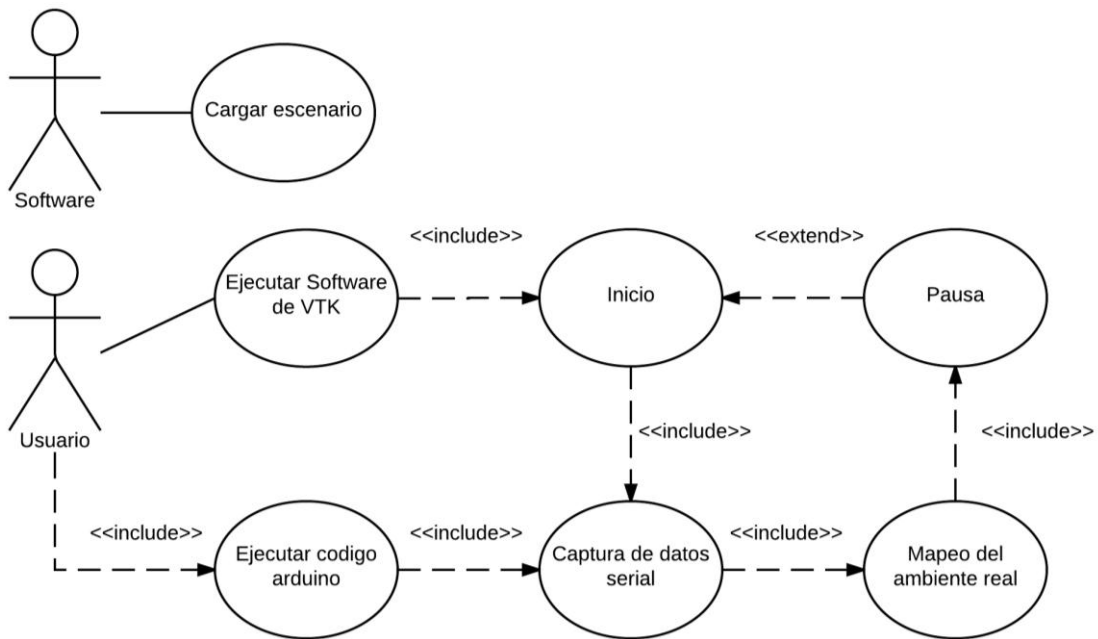


Figura 56: Diagrama de caso de uso.
Fuente: Elaboración propia

Capítulo 4: Evaluación del funcionamiento del sistema desarrollado

Luego de implementar el diseño del primer prototipo para reconocimiento de ambientes descrito en las secciones anteriores, se puso a prueba su funcionamiento bajo escenarios determinados, de modo que cumpliera con los objetivos propuestos al desarrollo del presente trabajo.

4.1 Funcionamiento del bastón

El bastón se determinó a una altura de 115 cm, altura compuesta por el tubo de aluminio y una rueda, que tiene un radio de 4 cm; sumado a esto, la pieza diseñada para servir de puente entre la rueda y el tubo de aluminio tiene una altura de 7 cm y al unir las dos piezas, alcanza una altura de 11 cm; a esto se le restan 2 cm de adaptación al tubo, dando la altura real aportada por la rueda que es de 9 cm. De acuerdo a lo anterior, el tubo debe tener una dimensión de 106 cm, para obtener un bastón de 115 cm de altura. El uso de la rueda en la parte inferior resultó muy beneficioso, gracias a ella se evitó la técnica del bastoneo (Figura 57).



Figura 57. Prototipo de bastón
Fuente: Elaboración propia

A una altura de 20 cm con respecto al suelo, es instalada la caja contenedora de gran parte del sistema electrónico; en ella se observan prominentes los 4 sensores de ultrasonidos EZ0. Uno de ellos está enfocado hacia el frente, cuya función es la detección de objetos o deformaciones con las cuales pueda colisionar el invidente. En cada uno de los laterales está incrustado un sensor, a través de ellos, es posible determinar los obstáculos laterales que puedan afectar el paso del paciente. Por último, se encuentra un sensor en la parte superior de la caja con una inclinación de 15 grados hacia el frente, inclinación que le permite anticipar al usuario la presencia de un cuerpo elevado con el que pueda chocar.

Cuando alguno de los sensores reconozca la presencia de un obstáculo, el sistema pasará a informar al invidente haciendo uso de un módulo de sonido. El invidente lleva puesto un auricular a través del cual se le informa cualquier irregularidad en su trayecto. El auricular es enchufado en un Jack que se encuentra en la parte superior del bastón bajo un mango de agarre instalado en el mismo. El usuario puede encender y apagar el sistema cuando lo considere necesario.

El sistema eléctrico con todos sus componentes en funcionamiento, tiene un consumo máximo de 80mA. La batería del sistema tiene una duración de 5000mA/horas, de acuerdo a esto la tendrá una duración en funcionamiento continuo de 62,5 horas. Para que el invidente tenga conocimiento de cuándo es el momento de cambiar la batería, se activará una pista informándole que lo debe hacer. Para ello el sistema enviará la señal de alerta luego de 53 horas de uso, es decir, 9,5 horas antes de la descarga total, dándole así tiempo suficiente al usuario cambiar la batería.

4.2 Detección de objetos

Para garantizar la detección correcta de obstáculos, el ángulo de incidencia de los sensores debe estar en los límites permitidos, que para el caso particular de los sensores de ultrasonidos, teóricamente debe ser de máximo 15° [23] .

De acuerdo a lo anterior, el acelerómetro fue caracterizado empíricamente para lanzar una alerta al sobrepasar el límite máximo permisible de inclinación. Con el fin de ilustrar el funcionamiento del sensor fue necesario adecuar la respuesta entregada por el mismo a valores enteros positivos, determinando el punto de equilibrio a 200.

El sensor fue ubicado dentro del contenedor principal, de tal manera que el eje Y se encuentra en la dirección del movimiento. En la Figura 58, se observa la respuesta del sensor a inclinaciones de 15° sobre el eje X en las direcciones derecha e izquierda, arrojando como umbrales 185 y 215 respectivamente.

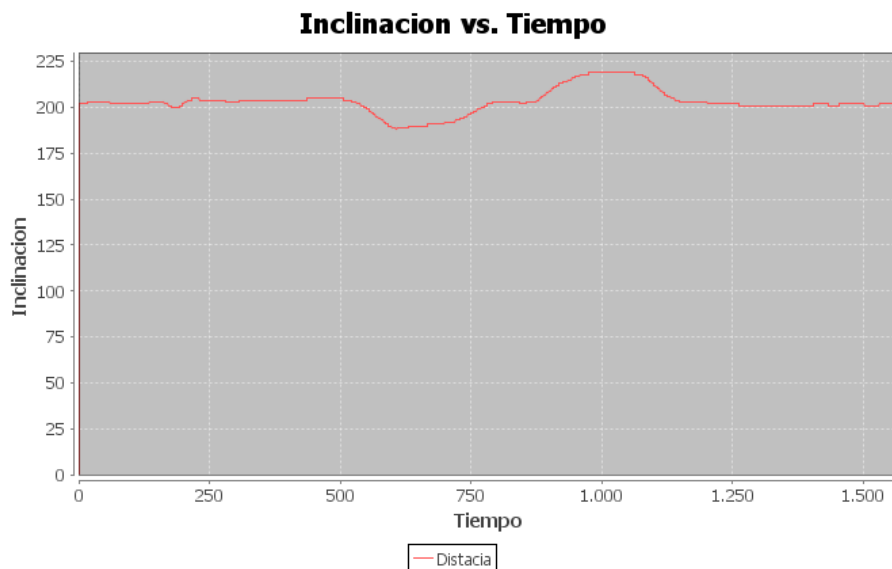


Figura 58. Respuesta de acelerómetro en eje X a inclinaciones de 15°
Fuente: Elaboración propia

De la misma manera se obtuvieron el máximo y mínimo permisible para el eje Y, que

dieron como resultado límites iguales al eje X (Figura 59).

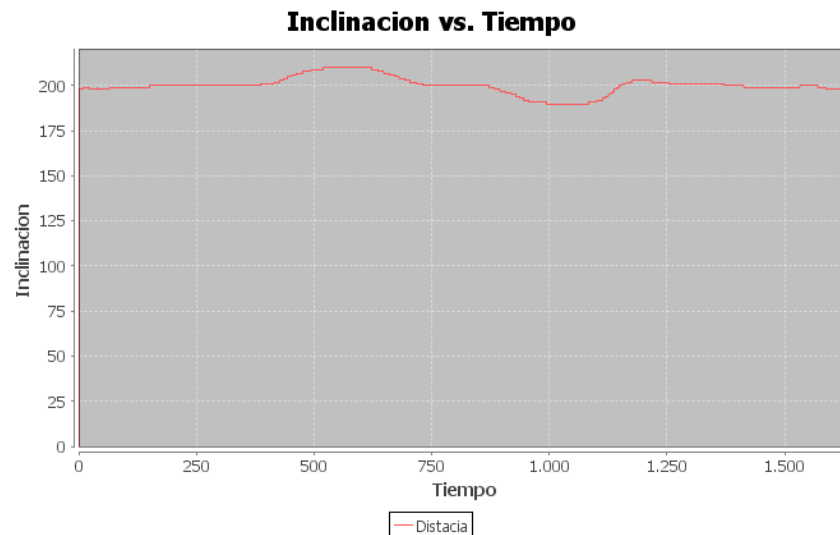


Figura 59. Respuesta de acelerómetro en eje Y a inclinaciones de 15°
Fuente: Elaboración propia

El sistema puesto aprueba con la manipulación de un invidente genera una respuesta óptima. En el eje X no se generan alertas, el bastón siempre lleva una correcta posición (Figura 60).

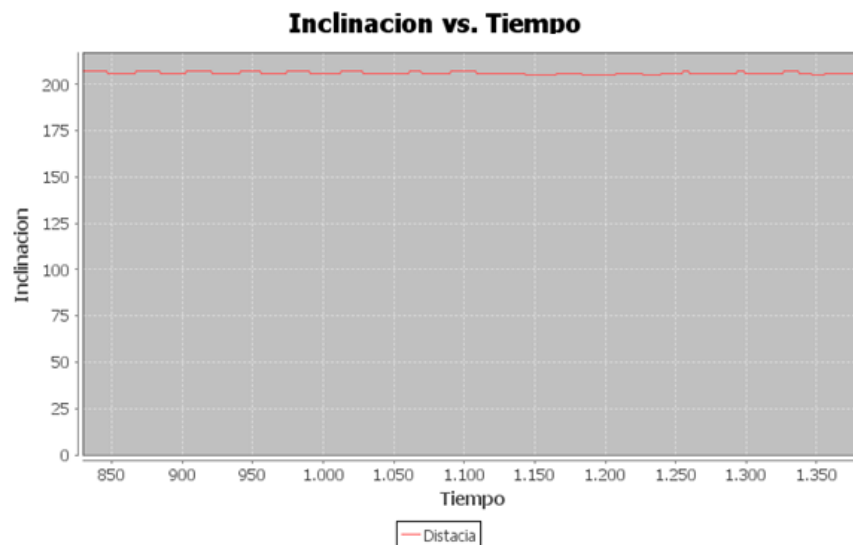


Figura 60. Respuesta de acelerómetro eje X en movimiento
Fuente: Elaboración propia

Dado que el eje Y se encuentra posicionado en la dirección del movimiento fue

vulnerable a optar una mala posición, en la Figura 61 se observa una señal con mayores variaciones. Sin embargo luego de dos alertas el invidente mantuvo una mejor posición del bastón.

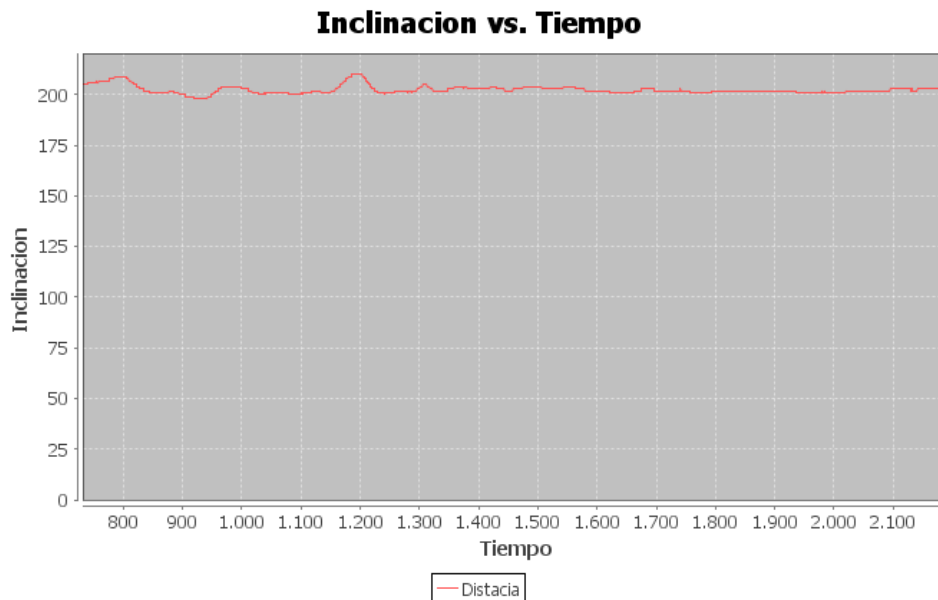


Figura 61. Respuesta acelerómetro eje Y en movimiento
Fuente: Elaboración propia

Tomando como referencia la Figura 24 del diseño geométrico vertical, en ella se contempla una altura óptima de 90 cm, de acuerdo a la variación permisible establecida, esta puede oscilar entre 81,32 y 111 cm sobre el eje Y sin que afecte considerablemente el funcionamiento del sistema, datos obtenidos a de la misma forma que en el punto 2.2.1.

4.2.1 Caracterización de los sensores de ultrasonidos

Como primera medida se realizó una caracterización a cada uno de los sensores, en la que se generó una curva promedio de funcionamiento para los 4 sensores (Figura 62).

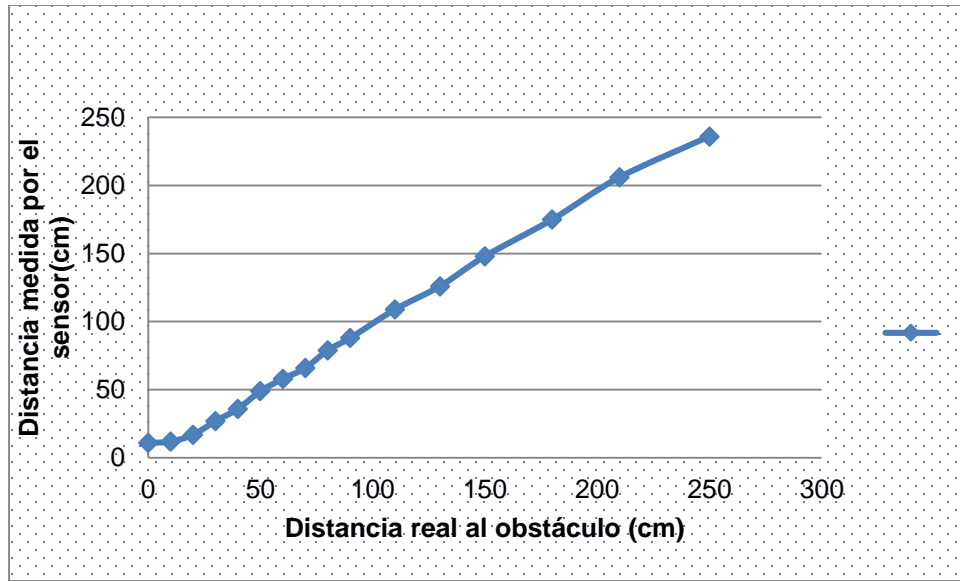


Figura 62. Curva empírica de funcionamiento sensor EZ0
Fuente: Elaboración propia

En medios muy concurridos y ruidos, los sensores generan grandes variaciones en su respuesta, esto debido a la multitud de obstáculos que pueden detectar. Para afrontar el problema anterior, fue necesario hacer filtrado de datos.

La librería para arduino Maxbotix, trae incorporado entre sus funcionalidades filtros estadísticos, en la cual, el desarrollador ingresa el número de datos a tomar y el tipo de dato a tomar, entre los que se encuentran: mediana, dato más alto, dato más bajo, dato que más se repite y simple.

Teniendo en cuenta los valores obtenidos en el centro de la ciudad de Popayán, los cuales generan picos muy altos y picos muy bajos, se optó por tomar el valor que más se repite de nueve muestras. En la Figura 63 se observa la respuesta de los sensores sin filtrado y en la Figura 64 la respuesta con el filtro implementado.

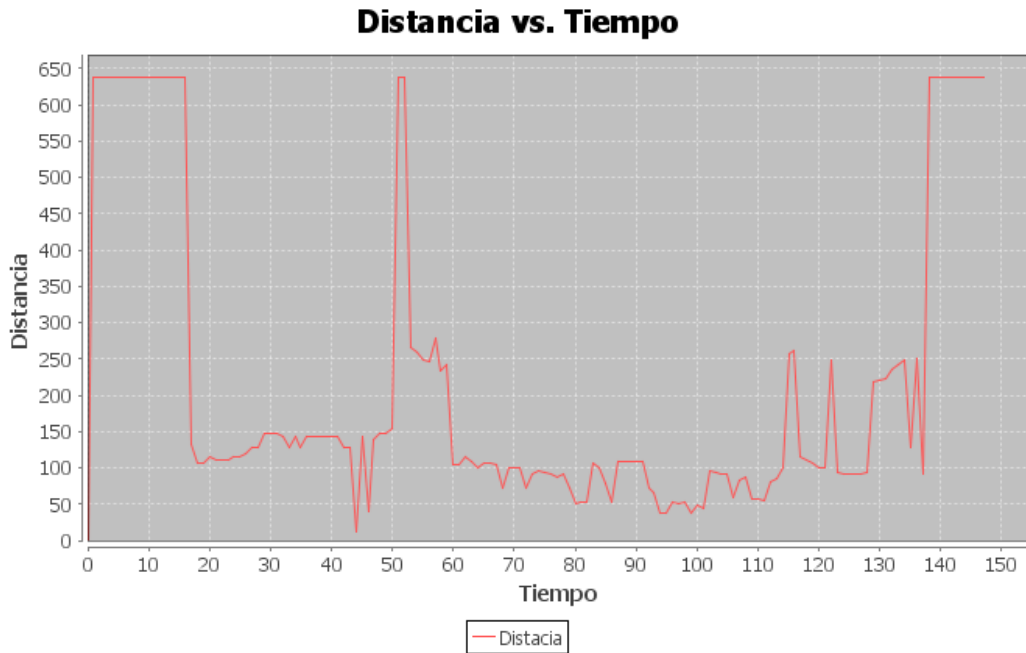


Figura 63. Respuesta de sensores sin filtrado de datos
Fuente: Elaboración Propia

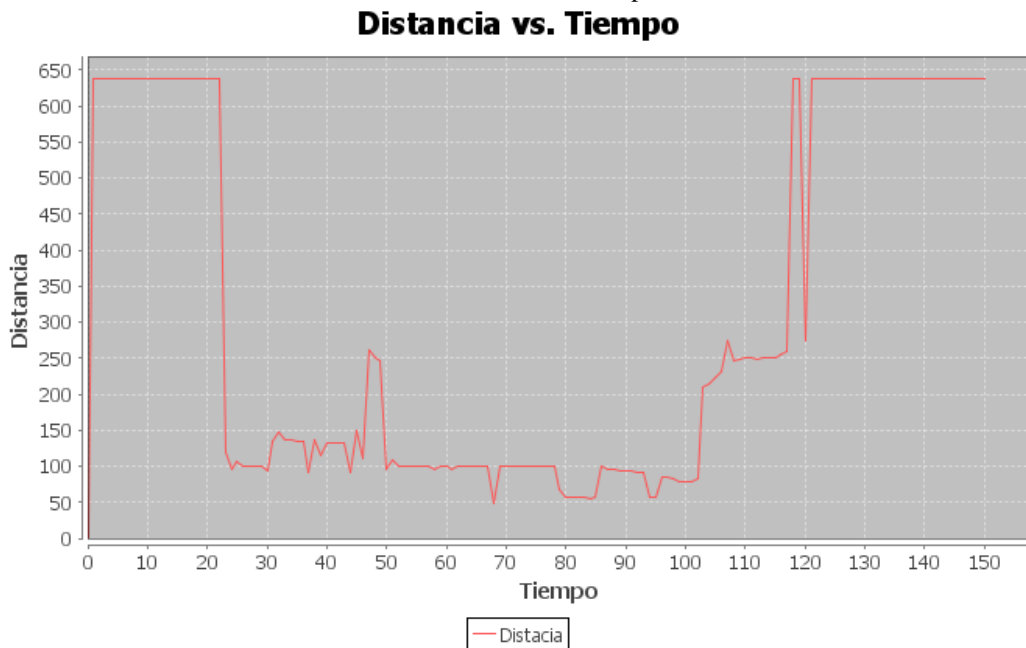


Figura 64. Respuesta de sensores con filtrado de datos
Fuente: Elaboración Propia

El sistema filtrado arroja una señal más suave y sin grandes cambios repentinos, lo cual, da mayor fidelidad al sistema de alertas.

Los sensores EZ0 en promedio presentaron un buen desempeño. Las mayores variaciones

se encontraron en entornos muy cerrados, sin embargo, en las lecturas realizadas la gran mayoría fueron acertadas. En entornos abiertos el sistema arrojó un 95% de aciertos. Las variaciones en entornos cerrados se presentan por las múltiples reflexiones que sufren la ondas de ultrasonidos en los objetos, lo cual genera que fragmentos de ondas de un sensor a, sean leídas por un sensor b. En entornos abiertos, las lecturas erróneas se dan porque los ángulos entre la onda de ultrasonidos incidente y la superficie del obstáculo, superan el límite permitido. En la Tabla 4 se pueden observar veinte alertas generadas clasificadas entre acertadas y erradas.

Tabla 4: *Pruebas de aciertos del sensor EZ0*

Alertas	Entornos cerrados		Entornos abiertos	
	Acertadas	Erradas	Acertadas	Erradas
Caso 1	X		X	
Caso 2	X		X	
Caso 3	X		X	
Caso 4	X		X	
Caso 5		X	X	
Caso 6	X		X	
Caso 7	X		X	
Caso 8	X			X
Caso 9		X	X	
Caso 10	X		X	
Caso 11	X		X	
Caso 12		X	X	
Caso 13	X		X	
Caso 14	X		X	
Caso 15	X		X	
Caso 16	X		X	
Caso 17	X		X	
Caso 18	X		X	
Caso 19		X	X	

Caso 20	X		X	
Total	16	4	19	1

4.3 Mapeo de obstáculos

Se observó el comportamiento del dispositivo en ejecución con el Software de mapeo para el dispositivo de ayuda. La prueba se realizó tomando los valores del dispositivo real por el puerto COM del módulo de Bluetooth y, a continuación, se procesaron en el programa para la renderización de los diferentes elementos virtuales. Para obtener los valores, como primera medida se imprimió en pantalla los datos arrojados por la tarjeta Arduino en el siguiente orden con el número de caracteres (Tabla 5):

Tabla 5. *Valores utilizados en el software*

Orden	Elemento	Comando	Numero de caracteres
1	Carácter de inicio	Serial.print("a");	1
2	Sensor ultrasónico derecha	Serial.print(derecha);	2
3	Sensor ultrasónico izquierda	Serial.print(izquierda);	2
4	Sensor ultrasónico frente	Serial.print(frente);	2
5	Sensor ultrasónico elevado	Serial.print(elevado);	3
6	Giroscopio	Serial.print(x);	3
7	Carácter de finalización	Serial.print("b");	1

Fuente: Elaboración propia

Los datos obtenidos por cada sensor ultrasónico se obtienen en centímetros; los primeros 3 sensores (derecha, izquierda, frente) tienen una longitud de dos caracteres, entonces, usando la numeración decimal se podrán extraer las unidades y decenas de cada valor de sensor, alcanzando así valores desde 0 hasta 99 centímetros. Para graficar los obstáculos se modificaron los valores de distancia de cada uno según los datos obtenidos; solo los valores menores a 60 centímetros se graficaban con los obtenidos de la tarjeta Arduino.

Para el sensor elevado se tiene una longitud de tres caracteres, esto permite que los valores tomen rangos entre 0 a 650 centímetros, esta última distancia es el valor máximo permitido por el sensor ultrasónico. Para el software solo se verificaron los valores que estuvieran por debajo de 150 centímetros, los valores por encima no se graficaban.

En cuanto el giroscopio, se utilizó un tamaño de 3 caracteres para los datos obtenidos que variaban entre 100 para un giro de 180° hacia las manecillas del reloj, 300 para un giro de 180° en contra a las manecillas del reloj y un valor de 200 para un ángulo de giro de 0° .

Con lo anterior se obtiene un total de 14 caracteres incluyendo los caracteres de inicio y finalización. Estos valores son enviados por el puerto Serial a través del método Serial() (ver Capítulo 3.4.2) en donde se separan en orden de llegada para crear las distintas variables utilizadas para las posiciones de los obstáculos virtuales, esto se hace con guardando cada carácter recibido para después concatenarlo y volver a formar la lectura de cada sensor en centímetros donde se guarda en distintas variables creadas en el entorno Visual Studio.

Se realizaron pruebas de funcionamiento para el entorno virtual creado con ayuda del dispositivo real. La primera prueba realizada fue en línea recta, con una pared lateral a la

izquierda y caminando de forma paralela. Se observa en pantalla que se grafica el obstáculo de la derecha de color rosado; además, hay un objeto que sobresale hacia el bastón. Si se comparan la Imagen 65 y la Imagen 66, se puede observar un objeto que está cerca del dispositivo que, en este caso, es una maceta. El sensor de la derecha lo capta y lo grafica tal cual como se ve en el entorno real. Debido a que la prueba se hizo en línea recta, no se modificó la dirección de la gráfica con los valores arrojados por el giroscopio.



Imagen 65. Evasión de obstáculo a la derecha
Fuente: Elaboración propia

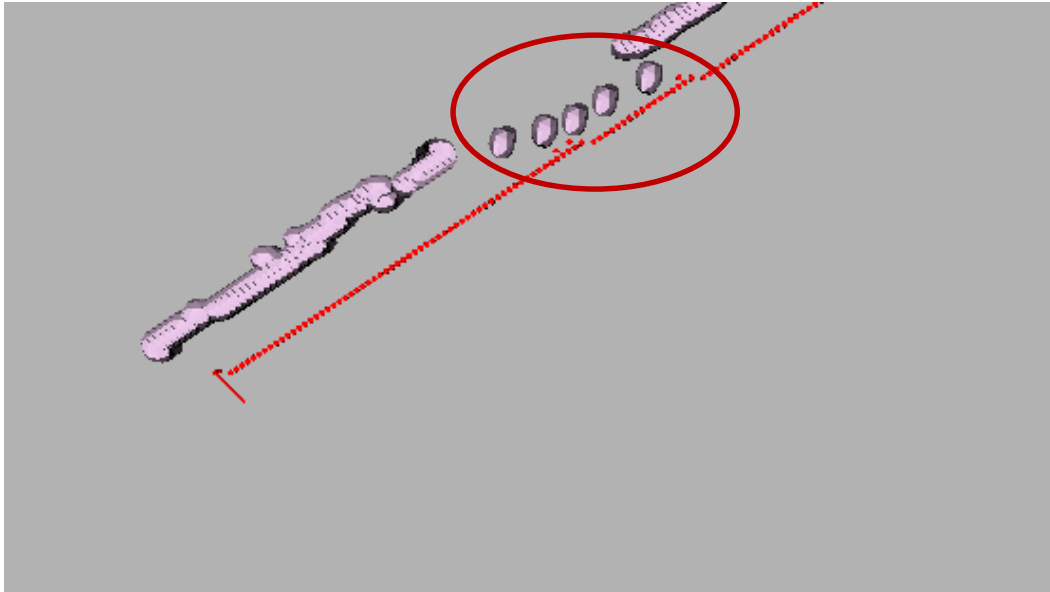


Imagen 66. Presencia de objeto a la derecha.
Fuente: Elaboración propia

La siguiente prueba de campo se realizó con el dispositivo girando una esquina como se muestra en la Imagen 67 y en la Imagen 68. En este caso el dispositivo realiza un cambio en su ángulo de trayectoria de 90 grados, esto se observa mejor observando la trayectoria que sigue la línea roja, la persona se mueve en línea recta y luego cruza hacia la derecha. En el entorno virtual se observa que el obstáculo con forma de banca se grafica con los objetos rosados, a continuación cruza y el dispositivo alcanza a tomar algunos valores de la reja que se encuentra a su izquierda representados con los objetos amarillos.



Imagen 67. Cruce de esquina entorno real.
Fuente: Elaboración propia.

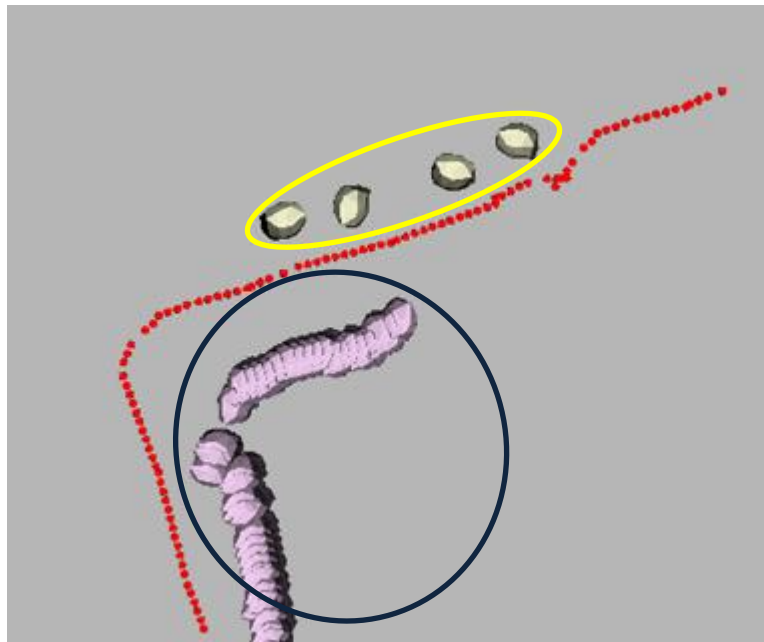


Imagen 68. Movimiento del dispositivo cruzando una esquina.
Fuente: Elaboración propia

La siguiente prueba se realizó en un entorno cerrado donde se encuentran paredes y mesas laterales en ambos lados. El dispositivo encuentra espacios y obstáculos laterales, al encontrar un armario se muestra el objeto rosa con mayor constancia (Imagen 69 E Imagen 70).

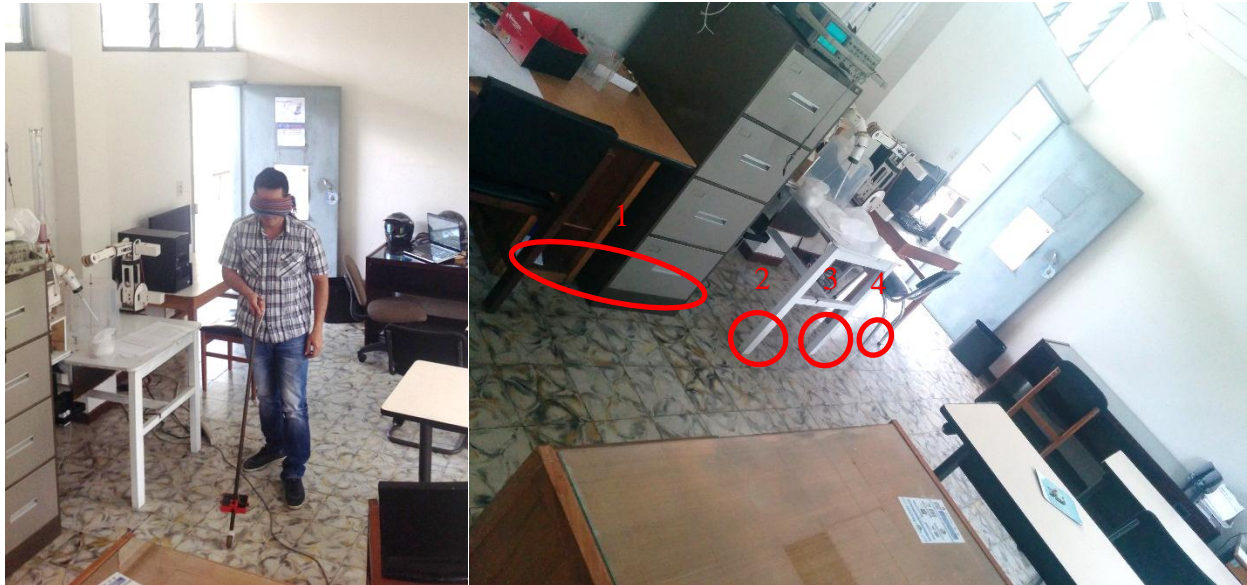


Imagen 69. Entorno cerrado con múltiples obstáculos

Fuente: Elaboración propia.

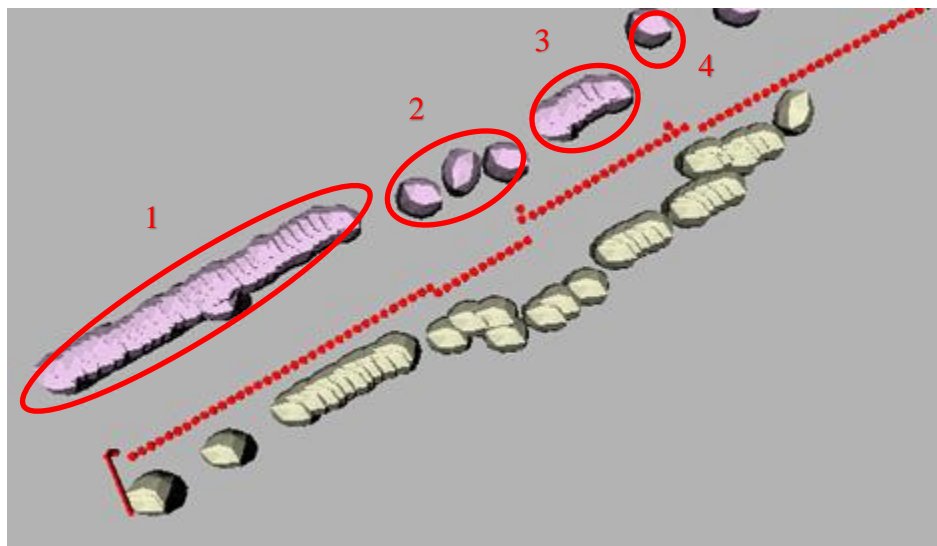


Imagen 70. Movimiento del dispositivo entorno cerrado

Fuente: Elaboración propia

A continuación se realizó el recorrido por lugares de no acceso para el invidente y que un bastón ordinario no lo podría detectar. Se muestra en la Imagen 71 y 72 la presencia un objeto en altura que es leído por el dispositivo y graficado con un bulto hacia arriba de color negro.



Imagen 71. Detección de objeto elevado
Fuente: Elaboración propia

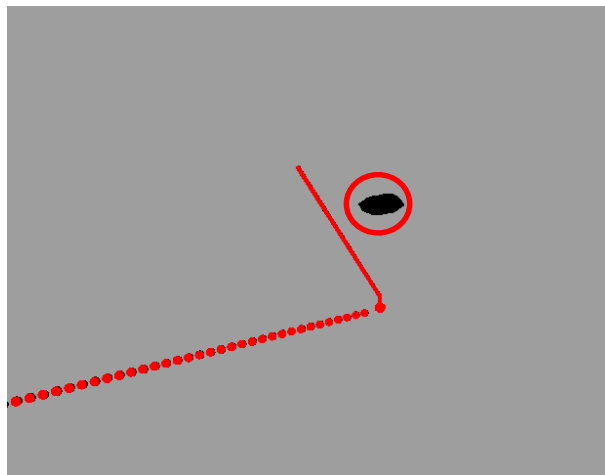


Imagen 72. Detección de obstáculo en altura
Fuente: Elaboración propia

Por último se realizó una prueba de campo donde el dispositivo encontrara un obstáculo de frente, en este momento el Software detecto el objeto y lo grafico en forma de bulto con color azul en frente del dispositivo (Imagen 73 y 74).



Imagen 73. Evasión de obstáculo, detección frontal
Fuente: Elaboración propia

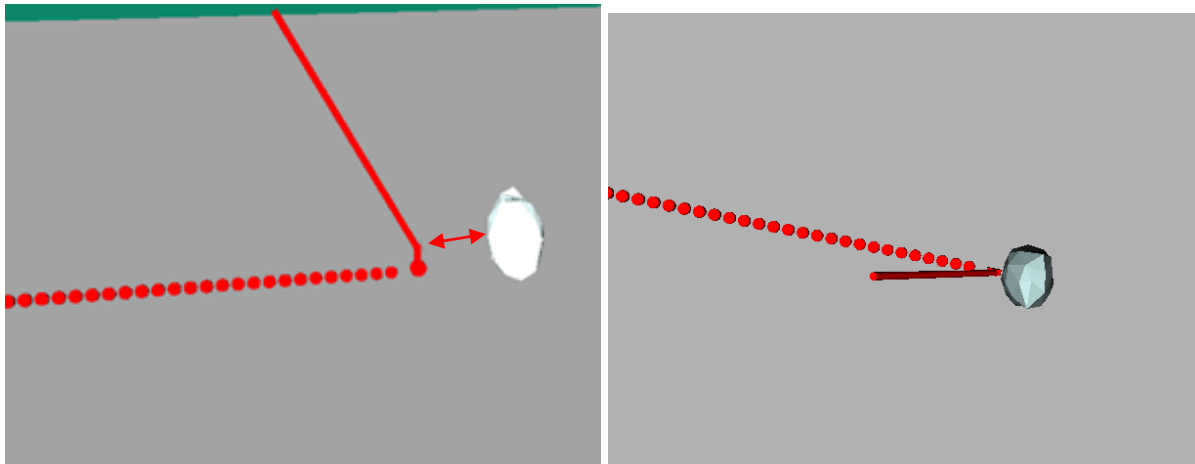


Imagen 74. Gráfico obstáculo frontal
Fuente: Elaboración propia

4.4 Sistema de alertas

El sistema de comunicación de alertas obtuvo un desempeño aceptable para el sistema desarrollado, en la práctica, el sistema de alertas cumplió el propósito, el invidente reaccionó oportunamente a cada evento sucedido, sin embargo, argumentó que al tener un oído copado con el auricular dentro, perdía la precepción del medio, por lo tanto, propuso que la comunicación se realizara a través de un retro auricular, el cual va sujetado en la parte trasera de la oreja. En la Tabla 6 se puede observar el mensaje de las pistas realizadas.

Las pistas 1, 2, 3, 4 son las que requieren agilidad, pues son las que se reproducen de acuerdo al caso que se presente en un instante de tiempo. Las pistas 5 y 6 pueden tomar algo más tiempo, su reproducción se realiza cuando el bastón tenga una mala posición.

Tabla 6: *Listado de pistas*

Pistas	Mensaje	Posición	Tiempo de duración
Pista 1	Frente	3	250ms
Pista 2	Elevado	1	400ms
Pista 3	Izquierda	2	400ms
Pista 4	Derecha	0	350ms
Pista 5	Posición incorrecta en X	4	1500 ms
Pista 6	Posición incorrecta en Y	5	1500ms

4.5 Funcionamiento mecánico

Desde el punto de vista funcional el diseño mecánico del bastón es correcto. Cumple con los requerimientos de maniobrabilidad y permite adecuarse a las características físicas del usuario, graduando la posición del contenedor en los ejes X y Y.

Por otra parte se le encontraron falencias como la de no tener piezas completamente accesibles para la manipulación del invidente. El paciente requiere asistencia en procesos como el cambio de batería y la graduación inicial del ángulo de incidencia de los sensores. Puntos a tratar en trabajos futuros.

4.6 Problemas comunes

Los problemas más comunes encontrados en el momento de validar el funcionamiento del sistema se nombran a continuación.

Se necesitó emparejar los datos que imprimía el microprocesador con los datos que se

recogían del puerto serial en Visual Studio, el gran problema ocurría cuando no se tenían los mismos tiempos de envío y de lectura ya que los datos podrían no llegar en el orden correcto por falta de sincronización.

En cuanto a la renderización de los objetos en la interfaz gráfica se observó que cada vez que se imprime un mayor número de obstáculos, el sistema se vuelve lento y se necesita un computador con un óptimo rendimiento para un buen funcionamiento.

Se encontraron algunas dificultades con sensores de proximidad, el posicionamiento incorrecto de los sensores mismo afecta en la recepción de los datos reales, esto ocurría cuando el ángulo de inclinación del bastón superaba los límites establecidos.

Capítulo 5. Conclusiones y trabajos futuros

5.1 Conclusiones

1. La elaboración del presente trabajo pone a prueba la capacidad de ideación de los estudiantes F.I.E.T al momento de enfrentar problemáticas de la comunidad, más aún en personas con limitaciones físicas, siendo éste un tema poco desarrollado en la Universidad.
2. Se elaboró un sistema de reconocimiento de obstáculos basado en sensores de ultrasonidos, apoyado en su etapa de diseño y caracterización por una interfaz gráfica de mapeo en tiempo real. Se comprobó que, al integrar componentes electrónicos a un bastón tradicional, es un buen complemento debido a que simplifica el esfuerzo físico del paciente, agiliza un poco su desplazamiento y cubre la totalidad de espacio que debe recorrer.
3. El uso de sensores ultrasónicos para detección de proximidades en espacios abiertos y en sistemas en movimiento, son la mejor alternativa del mercado en relación costo-beneficio. Algunas de las ventajas encontradas fueron: Detección de todo tipo de materiales, linealidad en su respuesta, poco susceptibles al ruido del medio y bajo consumo energético. Entre sus ventajas, la más marcada, es el ángulo de incidencia.
4. Se implementó un sistema mecánico lo más versátil y adaptable posible, y cuyas características fueron conseguidas en el diseño. Sin embargo, algunas de las operaciones de configuración, deben ser asistidas por una persona vidente.

5. El sistema de alerta por mensajes pregrabados, genera una percepción más real en el invidente y abre una brecha para incorporar más funcionalidades al sistema.
6. Se cuenta con un entorno virtual que permite la realización de pruebas y ensayos con los dispositivos sensoriales. El uso de la interfaz 3D proporciona, al desarrollador, una mejor visualización del funcionamiento del dispositivo real; esto ayuda en gran parte al desarrollo y avances de investigación con dispositivos que usen sensores de proximidad para la alerta de obstáculos. Además, permite evaluar los elementos con la mejor funcionalidad, acorde a las necesidades requeridas, permitiéndole al estudiante aprender de las falencias encontradas.
7. El trabajo realizado resalta la importancia de dedicar, cada vez más, el talento de los estudiantes F.I.E.T al desarrollo de sistemas que ayuden a mejorar la calidad de vida de los seres humanos que se encuentran desfavorecidos. En la convención sobre los derechos de las personas con discapacidad, la ONU resalta lo siguiente: “Es clave que los estados eliminen los obstáculos y las barreras de acceso” [45].

5.2 Trabajos futuros

- Se propone integrar la solución del proyecto actual a una aplicación móvil, en la cual se haga uso de mapas para dar una mejor orientación.
- Como segunda versión del sistema de reconocimiento de obstáculos se propone adicionar módulos para procesamiento de imágenes, para informar al invidente el tipo de obstáculo que se le presenta.
- Realizar un prototipo, implementando lógica difusa o redes neuronales, que lo adecúe a cualquier tipo de ambiente.

Bibliografía

- [1] V. L, "Discapacidad Visual," *Departamento de educación especial*, 2011.
- [2] A. E, "Diseño y construcción del prototipo de un sistema electrónico por ultrasonido para medir distancias aplicada a un bastón blanco," *Trabajo de grado Ingeniería Electronica, Universidad Politécnica Salesiana*, Jun. 2011.
- [3] M. R. Ruiz I, ""Intervención Educativa con Alumnos Ciegos y Deficientes Visuales "," *Servicio de Rehabilitación Integral*, p. 2, 2002.
- [4] Contacto Braile. Contacto Braile. [Online]. http://www.contactobraile.com/ceguera_Total.html
- [5] M. B. Martín. C.R.I. crigipuzkoa I.B.T.. [Online]. http://www.crigipuzkoa.com/UserFiles/File/Definici%C3%B3n_de_baja_vision_y_ceguera-Manuel_Bueno_Martin.pdf
- [6] N. e. institute. National eye institute. [Online]. <http://www.nei.nih.gov/health/espanol/saludable.asp>
- [7] L. A. B. J. y. J. A. C. MORELL. fesemi. [Online]. <http://www.fesemi.org/documentos/1354119962/publicaciones/protocolos/enfermedades-infecciosas/capitulo-2.pdf>
- [8] R. V. L. F. d. C. M. F. Baquero Artigao. Asociación española de pediatría. [Online]. <http://www.aeped.es/sites/default/files/documentos/meningitis.pdf>
- [9] E. M. d. l. Puente. (2011) escuela de medicina. [Online]. <http://escuela.med.puc.cl/paginas/Cursos/quinto/Especialidades/Oftalmologia/pdf/Glaucoma2011.pdf>

- [10] Organización mundial de la salud. (2008,) World health organization. [Online]. http://apps.who.int/gb/ebwha/pdf_files/EB124/B124_7-sp.pdf
- [11] Contacto Braile. contacto braile. [Online]. <http://www.contactobraile.com/baston.html>
- [12] Once. Fundación once del perro guía. [Online]. <http://perrosguia.once.es>
- [13] Escuela perros guía. Fundación para el Perro Guía Vishnú del Cyprés . [Online]. <http://www.escuelaperrosguia.com/>
- [14] S. .-C. R. M. T. Boix Hernández. Reposital. [Online]. <http://repositoral.cuaed.unam.mx:8080/jspui/handle/123456789/2270>
- [15] C. C. F. P. Flavio Pratico, "A new hybrid infrared-ultrasonic electronic travel aids for blind people," *Science Direct*, pp. 363-370, Oct. 2013.
- [16] B. N. L. I. Ramírez S, "Implementación de un bastón para no videntes," *Encuentro de investigación en ingeniería eléctrica*, pp. 140-144, 2008.
- [17] Y. K. K. K. Iwatsuka K, "Development of a guide dog system for the blind people," *Proceedings of the 17th International Conference on Pattern Recognition*, vol. 1, pp. 453-456, 2004.
- [18] D. L. P. G. D. B. Lengua I, "Dispositivo de navegación para personas invidentes basado en la tecnología time of flight," *Dyna*, vol. 179, 2013.
- [19] L. O. Sarmiento L, "DMREI: Sistema de ayuda a invidentes para detectar el color y la posición de los objetos mediante estimulación táctil," *VII Congreso Iberoamericano de Informática Educativa*, pp. 264-273, 2007.
- [20] J. R. Herrera A, "Diseño y constucción de un dispositivo para la alerta de obstáculos (DAO)," *Revista*

Ingeniería Biomédica, vol. 1, pp. 23-27, 2007.

- [21] P. A. Santafe Y, "Bastón ultrasónico, avances," *Fifth LACCEI International Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology*, pp. 6C3(1-6), 2007.
- [22] K. G, "Basic physics and imaging characteristics of ultrasound," *World J Surg*, vol. 24, pp. 134-42, 2000.
- [23] Maxbotix. Maxbotix. [Online]. http://www.maxbotix.com/documents/MB1000_Datasheet.pdf
- [24] Invensense. (2013,) Farnell. [Online]. <http://www.farnell.com/datasheets/1788002.pdf>
- [25] Arduino. Arduino. [Online]. <http://playground.arduino.cc/Interfacing/CPPWindows>
- [26] Arduino. Arduino. [Online]. <http://arduino.cc/en/pmwiki.php?n=Main/ArduinoBoardProMini>
- [27] R. N. Y. S. 7. (. (. G. Sainarayanan, "Fuzzy image processing scheme for autonomous navigation of human blind, *Applied Soft Computing*," vol. 22, p. 257–264, Sep. 2014.
- [28] M. Electronicos. Micro Electronicos. [Online]. <http://www.microelectronicos.com/shopexd.asp?id=686>
- [29] Emartee. Letsmakerobots. [Online]. http://letsmakerobots.com/files/WTV020_manual_V1.3.pdf
- [30] E. Tiempo. El Tiempo. [Online]. <http://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-13128617>
- [31] F. Mon. juntadeandalucia. [Online]. http://www.juntadeandalucia.es/averroes/caidv/interedvisual/ftp/fm_personas_c_y_uso_baston.rtf
- [32] inder. inder. [Online]. <http://www.inder.cu/indernet/Provincias/hlg/documetos/textos/MEDICINA%20DEPORTIVA/MEDICINA%20DEPORTIVA.pdf>

- [33] Y. H. V. Rosa Hernández. (2003) Scielo. [Online]. http://www.scielo.org.ve/scielo.php?pid=S0798-07522003000100003&script=sci_arttext
- [34] C.M.S. Selecting a development approach. [Online]. <https://www.cms.gov/Research-Statistics-Data-and-Systems/CMS-Information-Technology/XLC/Downloads/SelectingDevelopmentApproach.pdf>
- [35] VTK. (2014, Jul.) V. ToolKit. [Online]. <http://www.vtk.org>
- [36] V. B. G. a. W. Schroeder. (2014, Jul.) aosabook. [Online]. <http://aosabook.org/en/vtk.html>
- [37] Wikipedia. (2014, Jul.) Wikipedia la enciclopedia libre. [Online]. [http://es.wikipedia.org/wiki/Qt_\(biblioteca\)](http://es.wikipedia.org/wiki/Qt_(biblioteca)).
- [38] CMake. (2014, Jul.) CMake. [Online]. <http://www.cmake.org/>.
- [39] Wikipedia. (2014, Jul.) Wikipedia La enciclopedia libre. [Online]. http://es.wikipedia.org/wiki/Microsoft_Visual_Studio.
- [40] V. Micro. (2014, Jul.) arduino ide + visual studio. [Online]. <http://www.visualmicro.com>
- [41] Wikipedia. (2014, Jul.) Wikipedia La enciclopedia libre. [Online]. <http://es.wikipedia.org/wiki/Blender>
- [42] P. S. C. (2014, Jul.) Unifield Modeling Language UML. [Online]. <http://users.dcc.uchile.cl/~psalinas/uml/modelo.html>
- [43] Arduino. (2014, Jul.) Arduino. [Online]. <http://playground.arduino.cc/Interfacing/CPPWindows>
- [44] Stackoverflow. (2014, Jul.) Stackoverflow. [Online]. <http://stackoverflow.com/questions/1368584/qt-question-what-does-the-q-object-macro-do-why-do-all-qt-objects-need-this-ma>
- [45] ONU. Naciones unidas. [Online]. <http://www.un.org/esa/socdev/enable/documents/tccconvs.pdf>

