



**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BASTÓN ELECTRÓNICO DE
DETECCIÓN DE OBSTÁCULOS CON UN DISPOSITIVO DE
COMUNICACIÓN INALÁMBRICA PARA PERSONAS INVIDENTES**

WILLIAN BUSTAMANTE DUARTE

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAAGUAZU
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIAS
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA
Coronel Oviedo - Paraguay**

Año 2020

TITULO

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BASTÓN ELECTRÓNICO DE DETECCIÓN
DE OBSTACULOS CON UN DISPOSITIVO DE COMUNICACIÓN INALÁMBRICA
PARA PERSONAS INVIDENTES**

Elaborado por

Willian Bustamante Duarte

Tutor

Ing. Victor Leonardo Leguizamón Centurion

Trabajo presentado a la Facultad de Ciencias y
Tecnología de la Universidad Nacional de Caaguazú,
como requisito para la obtención del título de Ingeniero en
Electrónica

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAAGUAZU
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIAS
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA**

Coronel Oviedo - Paraguay

Año 2020

PÁGINA DE APROBACIÓN

Trabajo de fin de grado para la obtención del Título de Ingeniero Electrónico aprobado en representación de la Facultad Ciencias y Tecnología de la Universidad Nacional de Caaguazú, por el Tribunal Examinador constituido por los siguientes profesores.

Prof. Ing.

Prof. Ing.

Prof. Ing.

Dedicado a:

A Dios y la Virgen por estar conmigo en todo momento, por darme salud, fortaleza y perseverancia necesaria para superar cada obstáculo y también por iluminar mi mente durante todos estos años de estudio.

A mis queridos padres Olga Duarte y Alfredo Bustamante, por brindarme siempre sus apoyos, por quererme mucho, creer en mí y por todo el sacrificio y esfuerzo que hicieron para darme la oportunidad de poder estudiar esta carrera a pesar de todas las dificultades que tenían no me hicieron faltar nada, se los debo a ustedes.

A mis familiares que siempre confiaron en mí y me por haberme apoyado en todo momento.

A mis amigos y compañeros de la facultad que me brindaron su amistad incondicional y apoyarme durante todos estos años que estuve por la facultad.

Agradecimientos:

Al Ingeniero Leonardo Leguizamón por su orientación como tutor, su paciencia, dedicación y por haber sido un excelente docente durante mis años de estudio.

Al Ingeniero Cesar Ferreira por ser un guía, apoyo y exigencia a la hora de la realización de este proyecto de fin de grado.

Gracias a todas las personas de la Facultad de Ingeniería UNC@, por su atención y amabilidad.

A todos los Docentes que formaron parte de mi crecimiento profesional.

Agradezco mucho la ayuda de mis compañeros y a todos mis familiares que están cerca de mí.

“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BASTÓN ELECTRÓNICO DE DETECCIÓN DE OBSTACULOS CON UN DISPOSITIVO DE COMUNICACIÓN INALAMBRICA PARA PERSONAS INVIDENTES”

Willian Bustamante Duarte

RESUMEN

En el presente proyecto de fin de grado se diseñó un bastón electrónico para personas invidentes. Dicho prototipo tiene la funcionalidad de detectar objetos a una distancia de 1.50 metros aproximadamente cuenta con dos sistemas de comunicación, uno por alerta de voz a través de la transmisión inalámbrica a un auricular, y el otro por vibraciones indicando los objetos que se encuentran al paso del invidente.

Para dar cumplimiento a los objetivos formulados y así dar solución al problema planteado, se establecieron los siguientes objetivos específicos: análisis y recolección de datos, diseño de software del bastón electrónico, análisis y selección de los materiales, modelación del prototipo mediante software, desarrollo o construcción del prototipo para la persona invidente, por último, la evaluación económica y su posterior implementación.

La adquisición de las señales de detección de objetos que activan el sistema de comunicación por alerta de voz o vibración se logró por medio de dos sensores ultrasónica uno incorporado en la parte inferior del bastón y el segundo en la parte superior. Con ellos se identificaron las distancias a la que se encuentran los objetos del bastón, con lo cual la persona invidente evita los posibles choques o accidentes.

Para captar las señales ultrasónicas de los sensores se diseñó, construyó e implementó una placa de circuitos impreso con sus respectivos componentes y microcontroladores. El procesamiento de las señales y la ejecución de las alertas fueron realizados por un microcontrolador Arduino NANO. Para el diseño del prototipo se utilizó un software libre de la empresa de Autodesk que es el Fusión 360, y por último para concluir con el diseño se utilizó la impresión 3D con lo cual se obtuvo el modelo físico del prototipo. Finalmente, se logró construir un bastón electrónico eficiente con diseño compacto, liviano de fácil manejo similar al bastón convencional.

Palabras claves: Arduino, Bluetooth, Sensores, Transductores Ultrasónicos

DESIGN AND CONSTRUCTION OF AN ELECTRONIC WALKING STICK OF DETECTION OBSTACLE WITH A AN WIRELESS COMMUNICATION DEVICE AND VIBRATION FOR BLIND PEOPLE.

Willian Bustamante Duarte

ABSTRACT

In the present graduation project, an electronic walking stickwalking stick prototype for blind people was designed. It has the functionality of detecting objects at a distance of approximately 1.50 meters, two communication systems, one for voice alerts through wireless transmission to a headset, and the other for vibrations indicating the objects that are in the path of the blind.

To comply with the objectives formulated and thus solve the posed problem, following specific objectives were established: analysis and data collection, design of the electronic walking stick software, analysis and selection of materials, modeling of the prototype using software, development or construction of the prototype for the blind person, finally, the economic evaluation and its subsequent implementation.

The acquisition of the object detection signals that activate the communication system by voice or vibration alert was achieved by means of two ultrasonic sensors, one incorporated in the lower part of the walking stick and the second in the upper part. Thereby the distances at which the objects of the stick are found were identified, allowing blind person avoids possible collisions or accidents.

To capture the ultrasonic signals from the sensors, a printed circuit board with its respective components and microcontrollers was designed, built and implemented. The processing of the signals and the execution of the alerts were carried out by an Arduino NANO microcontroller. For the design of the prototype, free software from the Autodesk company was used, which is the Fusion 360, and finally, to conclude the design, 3D printing was used, which obtained the physical model of the prototype. Finally, it was possible to build an efficient electronic stick with a compact, lightweight design easy to handle and similar to the conventional stick.

Key Words: Arduino, Bluetooth, Sensors, Ultrasonic Transducers.

CONTENIDO

PÁGINA DE APROBACIÓN	i
<i>Dedicado a:</i>	ii
<i>Agradecimientos:</i>	iii
CONTENIDO	vi
LISTA DE FIGURAS	xi
LISTA DE TABLAS	xiii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	4
CAPÍTULO 1	4
1.1. ANTECEDENTES HISTORICO	4
1.2. ESTADO DEL ARTE	6
1.3. DEFINICION DE TERMINOS BASICOS	8
CAPÍTULO 2	10
2.1 Generalidades	10
2.2 La discapacidad visual	10
2.3 Clasificación de la Discapacidad Visual	11
2.4 Datos y cifras de la discapacidad visual	12
2.4.1. Cifras de discapacitados en Paraguay	13
2.5 Concepto de Ceguera	15
2.5.1. Ceguera Legal	15
2.5.2. Ceguera nocturna	16
2.6 Concepto de baja visión	17
2.7 Tipos de baja visión	17
2.8 Patrones de visión y pérdida de visión	18
2.9 Síndrome de Charles Bonnet	19
2.10 Causas de la deficiencia visual	19
2.10.1. Hereditarias y Congénitas	19
2.10.1.1. Miopía	19
2.10.1.2. Cataratas	21
2.10.1.3. Glaucoma	22

2.10.1.4.	Hipermetropía	23
2.10.1.5.	Daltonismo	24
2.10.1.6.	Desprendimiento de Retina.....	25
2.10.1.7.	XASTELASMA.....	26
2.10.1.8.	Xeroftalmia	26
2.10.1.9.	Nistagmo.....	26
2.10.1.10.	Moscas Volantes y Centelleos	27
2.10.1.11.	Entropión	27
2.10.2.	Adquiridas/accidentales.....	28
2.10.2.1.	Presbicia	28
2.10.2.2.	Ambliopía.....	28
CAPÍTULO 3		30
3.1. Generalidades		30
3.2. Historia		30
3.3. El Bastón		31
3.4. Tipos de bastón según el color		31
3.5. Las técnicas de uso del bastón por los invidentes		33
3.5.1.	Técnica diagonal.....	34
3.5.2.	Técnica rítmica	34
3.6. La indicación del uso del bastón		35
3.7. Habilidades desarrolladas por los invidentes		36
3.7.1.	Sistema olfativo y gustativo	36
3.7.2.	Sistema táctil - kinestésico.....	37
CAPITULO 4		38
4.1. Generalidades		38
4.2. Sensores de nivel y proximidad		38
4.3. Sensor ultrasónico		39
4.3.1.	Principio de funcionamiento	42
4.3.2.	Modos de operación de un sensor ultrasónico.....	45
4.3.3.	Inconvenientes del Ultrasonido	49
CAPITULO 5		50
5.1. Generalidades		50
5.2. Comunicación del sensor ultrasónico HC-SR04 con Arduino		50

5.3. Placa Arduino	53
5.3.1. Por que Arduino	54
5.3.2. Características del Arduino	55
5.3.3. Código Arduino	56
5.3.4. Comunicación con la PC	60
5.3.5. Aplicaciones del Arduino	61
5.3.6. Interfaces de programación del Arduino	62
5.4. Nano Arduino	62
CAPITULO 6.....	64
6.1. Generalidades.....	64
6.2. Motor vibrador DC.....	64
6.3. Mecanismo de control con Arduino	66
6.3.1. Motores y Arduino	66
6.3.2. Driver L293D	68
6.3.3. Driver L298	70
6.4. Modulo bluetooth	71
6.4.1. Introducción.....	71
6.4.2. Bluetooth con Arduino	72
6.5. Módulo DFPlayer Mini	75
6.5.1. Especificación	75
6.5.2. Campos de trabajo	76
6.5.3. Diagrama de conexión con Arduino	77
III. RESUMEN EJECUTIVO	78
CAPITULO 7.....	78
7.1. Descripción del trabajo.....	78
7.1.1. Métodos y Técnicas utilizadas.....	78
• Fase I: Análisis y Recolección de datos	78
• Fase II: Análisis y selección de los Materiales, Componentes necesarios para la ejecución del Prototipo.....	78
• Fase III: Modelación del bastón electrónico mediante software ..	79
• Fase IV: Diseño de Software del Prototipo	79
• Fase V: Desarrollo del Prototipo para las Personas Invidentes ...	79
• Fase VI: Evaluación económica del prototipo	80

7.2. Justificación	80
7.3. Finalidad del proyecto	81
7.4. Metas	81
7.5. Objetivos	82
7.5.1. Objetivos generales	82
7.5.2. Objetivos específicos	82
7.6. Beneficiarios	82
7.7. Producto	82
7.8. Localización física y cobertura espacial	83
7.9. Especificaciones de actividades y tareas realizadas	83
7.10. Recursos necesarios	83
7.10.1. Recursos humanos	83
7.10.2. Recursos materiales	84
7.11. Factibilidad técnica	84
7.12. Factibilidad económica	84
IV. INGENIERÍA DE DISEÑO	90
CAPÍTULO 8	90
8.1. Introducción	90
8.2. Análisis del campo de movilidad	90
8.2.1. Estudio de la ruta de movilidad	90
8.2.2. Obstáculos de las posibles rutas de movilidad	91
8.3. Definición de requerimientos	93
8.3.1. Identificación de los Requerimientos	94
8.4. Selección de hardware y software	95
8.4.1. Hardware	95
8.4.1.1. Selección de la tarjeta Arduino	96
8.4.1.2. Sensores de proximidad	98
8.4.1.3. Sistema de comunicación	100
8.4.1.4. Prosper Blu-03	101
8.4.1.5. Motor vibrador	102
8.4.1.6. Módulo de audio	103
8.1.1.1. Alimentación	104
8.1.1.2. Materiales adicionales	105

8.4.2. Software.....	106
8.4.2.1. IDE de Arduino	106
8.4.2.2. Software Eagle	108
8.5. Prueba de funcionamiento del Nano Arduino	109
8.6. DFPlayer Mini reproductor mp3	110
CAPÍTULO 9.....	113
9.1. Introducción	113
9.2. Diseño del prototipo	113
9.2.1. Diseño del circuito esquemático en Eagle	113
9.2.2. Programación	115
9.2.2.1. Análisis del programa.....	115
9.2.2.2. Código.....	118
9.2.3. Diseño del circuito impreso	121
9.2.3.1. Implementación de las placas.....	123
9.2.3.2. Método de grabado	124
9.2.3.3. Proceso de lavado de las placas.....	125
9.2.3.4. Montaje de los componentes	125
9.3. Diseño de las carcasas para el bastón electrónico	126
9.3.1. Carcasa principal inferior.....	127
9.3.2. Carcasa frontal superior	127
9.3.3. Soportes de carcasas	128
9.3.4. Porta motores.....	129
9.3.5. Impresión 3D.....	129
9.3.6. Montaje	131
9.3.7. Diseño final del prototipo.....	133
9.4. Característica del Bastón Electrónico	136
V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	137
VI. CONCLUSIONES	138
VII. RECOMENDACIONES	139
VIII. APÉNDICE	140
Apéndice A: Resumen ejecutivo	140
Apéndice A.1: Determinación de los Costos del Prototipo	140
Apéndice B: Ingeniería de diseño.....	147

Apéndice B.1: Datasheet del Arduino Nano	147
Apéndice B.2: Datacheet del módulo DFPlayer Mini.....	150
Apéndice B.2: Datacheet del Sensor Ultrasónico SR04	154
Apéndice B.3: Código Arduino para la detección de objetos	156

LISTA DE FIGURAS

CAPITULO 2

Figura 1: La Miopía	20
Figura 2: Ojo con problema de Cataratas.....	22
Figura 3: Hipermetropía.....	24
Figura 4: Ojo con desprendimiento de retina	25
Figura 5: Problemas de ojos con Moscas Volantes y Centelleos.....	27

CAPITULO 3

Figura 6: Bastón para Personas Sordo-Ceguera	32
Figura 7: Bastón para Personas con baja Visión	32
Figura 8: Bastón amarillo Personas Ciegas	33

CAPITULO 4

Figura 9: Clasificación de Sensores de nivel y proximidad.....	38
Figura 10: Funcionamiento del sensor ultrasonido	40
Figura 11: Traductores de fuente pistón	41
Figura 12: Funcionamiento del emisor y receptor del ultrasonido.....	43
Figura 13: Distancia mínima del emisor y receptor de sensor ultrasonido.....	44
Figura 14: Zona de detección	45
Figura 15: Tipos de operación del sensor ultrasonido.....	45
Figura 16: Configuración de reflexión	46
Figura 17: Configuración ventana.....	46
Figura 18: Configuración de barrera bidireccional	47
Figura 19: Configuración de supresión de primer plano.....	48
Figura 20: Configuración de medidor de distancia	48
Figura 21: Barrera para detección de defecto.....	49

CAPITULO 5

Figura 22: Diagrama conexión del sensor ultrasonido con Arduino.....	51
Figura 23: Vista frontal y reverso del Arduino UNO.....	54
Figura 24: Ejemplo de uso de las funciones del Arduino	57
Figura 25: Vista Frontal del Arduino Nano.....	63

CAPITULO 6

Figura 26: Motor vibrador	64
Figura 27: Motor DC.....	66
Figura 28: Transistor NPN 2N2222	67
Figura 29: Pulsos de operación del Driver L293D	69
Figura 30: Esquema de conexión del Driver L293D con Arduino.....	69
Figura 31: Montaje del Driver L298	70
Figura 32: Esquema de conexión del L298 con Arduino.....	71
Figura 33: Módulos bluetooth HC-05 y HC-06	73
Figura 34: Conexión del HC-05 con Arduino.....	74
Figura 35: Conexión del DFPlayer Mini mp3 con Arduino	77

CAPITULO 7

Figura 36: Evaluación Económica del Costo de Producción	86
--	----

CAPITULO 8

Figura 37: Obstáculos colocados en las veredas	91
Figura 38: Negocios que obstruye el camino peatonal	92
Figura 39: Obstrucción de paso a los peatones por vehículos estacionados	93
Figura 40: Prosper BLU-03.....	102
Figura 41: Motorcito Vibrador.....	103
Figura 42: Baterías 18650 UltraFire	105
Figura 43: Entorno IDE de Arduino	107
Figura 44: Plataforma del software Eagle.....	109

CAPITULO 9

Figura 45: Diseño del Circuito en Eagle.....	114
Figura 46: Segundo Circuito en Eagle	115
Figura 47: Lógica de Progrmación del Prototipo.....	116
Figura 48: Circuito impreso de la placa principal del prototipo	121
Figura 49: Circuito final de la placa principal en Eagle.....	122
Figura 50: Segundo circuito impreso del Prototipo	122
Figura 51: Circuito final de la segunda placa	123
Figura 52: Implementación del circuito impreso.....	124
Figura 53: Montaje completo de las placas	126
Figura 54: Carcasa Principal Inferior	127
Figura 55: Carcasa Frontal Superior	128
Figura 56: Soportes de las Carcasas	128
Figura 57: Porta Motores.....	129
Figura 58: Impresión 3D de la carcasa superior	130
Figura 59: Impresión 3D de la carcasa inferior	130
Figura 60: Impresión 3D de porta motores	131

Figura 61: Montaje final de la carcasa inferior.....	131
Figura 62: Montaje final de la carcasa superior	132
Figura 63: Montaje completo del porta motores.....	132
Figura 64: Montaje final del Bastón Electrónico	135

APENDICE B

Figura 65: DataSheet del Arduino Nano	149
Figura 66: DataSheet del DFPlayer Mini.....	153
Figura 67: Código Arduino para la detección de objetos	158

LISTA DE TABLAS

CAPITULO 2

Tabla 1: Porcentaje de discapacitados en Paraguay.....	13
---	----

CAPITULO 5

Tabla 2: Características generales del Arduino UNO R3.	55
Tabla 3: Tipos de Variables	60

CAPITULO 7

Tabla 4: Costo Inicial del Prototipo.	85
Tabla 5: Tasa Interna de Retorno.	87
Tabla 6: Valor presente neto (VPN).....	88
Tabla 7: Resumen financiero.....	89

CAPITULO 8

Tabla 8: Características de Microcontroladores.	96
Tabla 9: Características de las Tarjetas Arduino.....	97
Tabla 10: Característica de los Sensores de Proximidad.....	99
Tabla 11: Característica general de los Sensores Ultrasónicos.	99
Tabla 12: Especificaciones de los módulos HC-05 y HC-06.....	100
Tabla 13: Especificaciones del DFPlayer Mini.....	104
Tabla 14: Lista de materiales adicionales.	106

CAPITULO 9

Tabla 15: Característica del Bastón Electrónico.....	136
---	-----

APÉNDICE A.1

Tabla 16: Aspecto Electrónico.....	142
Tabla 17: Aspecto de Diseño y Programación del Software.	142
Tabla 18: Costo de la Impresión del Prototipo.....	143
Tabla 19: Costo y Tiempo de Montaje del Prototipo.	143
Tabla 20: Componentes del flujo de caja	144
Tabla 21: Flujo de Caja.	145

LISTA DE ABREVIATURAS

- **WPAN:** Redes Inalámbrica de Área Personal
- **BLE:** Bluetooth Low Energy.
- **DAC:** Conversión Analógica Digital.
- **DC:** Corriente Directa.
- **IDE:** Entorno de Desarrollo Integrado.
- **CAD:** Diseño Asistido por Computadora.
- **PCB:** Placas de Circuitos Impresos.
- **PWM:** Modulación por Ancho de Pulso.
- **FAT:** Tabla de Asignación de Archivos.
- **SRAM:** Memoria Estática de Acceso Aleatorio.
- **EEPROM:** ROM Programable y Borrable Eléctricamente.
- **PLA:** Ácido Poliláctico o Poliácido Láctico.

I. INTRODUCCIÓN

Este proyecto de fin de grado consiste en el Diseño y Construcción de un Bastón Electrónico de Detección de Obstáculos con un Dispositivo de Comunicación Inalámbrica para Personas Invidentes.

Con el fin de realizar un trabajo de grado que impacte positivamente a una población vulnerable de nuestro país, surge la idea en la implementación de un bastón electrónico de detección de obstáculos que ayude a las personas invidentes en el desarrollo de su vida cotidiana.

La movilidad en las vías para las personas con discapacidad visual ha sido una problemática universal de muchos años. Existen peligros que los invidentes tienen que enfrentar cuando salen de sus hogares, tales como coladeras abiertas, desniveles, ramas de árboles, carteles, otras personas con los que el individuo puede llegar a lastimarse.

Al investigar sobre las limitaciones que poseen las personas con deficiencia visual para la ejecución de actividades en su vida normal, se identificó que la movilidad es una de las actividades más importantes; por ello, el enfoque del trabajo de grado se dirigió hacia la implementación de un bastón electrónico que apoye a estas personas en su movilidad.

A raíz del problema planteado, el proyecto tiene como objetivo diseñar y construir un bastón electrónico de detección de obstáculos con comunicación inalámbrica. Para esto se pretende modelar un hardware adecuado acorde a las necesidades de los invidentes, realizar las pruebas necesarias para mejorar el funcionamiento, presentar un estudio de costo del prototipo y de esta forma ofrecer a las personas con discapacidad visual de nuestro país un dispositivo completo que les ayude en sus desplazamientos.

La principal motivación con la realización de este prototipo es mejorar la seguridad de los invidentes, darles mayor independencia para realizar sus actividades y, de igual forma, ayudarlas a que se incluyan en la sociedad, compartiendo muchas actividades que por su inseguridad al movilizarse no lo pueden realizar. Por ello, el principal beneficiario de este proyecto de fin de

grado serán los invidentes, y de manera indirecta también lo serán sus familiares.

Para el cumplimiento de los objetivos se desarrolló una investigación del tipo aplicada y de desarrollo tecnológico que a su vez adoptó un diseño de campo y según el tipo de datos empleados es cualitativo. Las técnicas e instrumentos de recolección de datos que se establecieron son la observación, la entrevista focalizada, la historia de vida, el análisis de contenido de los documentos a través de una población seleccionada de invidentes y un muestreo no probabilístico.

El proyecto final de grado cuenta con distintos capítulos cuyo contenido contiene informaciones importantes que permitió llegar a la finalización de este proyecto. A continuación, se describen:

En el Capítulo 1: Conceptos Generales, se realiza un estudio sobre los antecedentes históricos del desarrollo del bastón electrónico para personas invidentes presentando cada antecedente con sus principales aportes y conclusiones, seguido con el estado del arte y por último la definición de los términos básicos.

En el Capítulo 2: Discapacidad visual, se describe las distintas deficiencias que posee la visión del ser humano, clasificación, datos y cifras de discapacitados a nivel mundial y dentro de nuestro país, como así, al final del capítulo se describe en forma general los diferentes tipos de enfermedades que genera la discapacidad visual o baja visión y ceguera en las personas.

En el Capítulo 3: El bastón y técnicas de detección de obstáculos por los invidentes, se presenta una breve reseña histórica, luego se describe los tipos de bastón existente en la actualidad, las técnicas de uso y las habilidades desarrolladas por las personas invidentes para tener una mejor movilidad y seguridad durante su desplazamiento en cualquier lugar.

En el Capítulo 4: Fundamentos electrónicos, se presentan los conceptos asociados a los sensores que detectan objetos o señales que se encuentran cerca del elemento sensor, denominados sensores de nivel y proximidad. En

particular, se describe el sensor ultrasónico, los principios de funcionamiento, modo de operación e inconvenientes del mencionado sensor.

En el Capítulo 5: Procesamiento de la información, en dicho capítulo se describe la placa Arduino con sus respectivos códigos de programación, comunicación con el pc, sus características y las ventajas que tiene el microcontrolador, como así, al final

En el Capítulo 6: Sistema de comunicación y algoritmo de control, en esta sección se presenta el estudio del motor utilizado para el sistema de comunicación por vibración para el prototipo, esquema de conexión, driver para dicho motor y por último se describe al DFPlayer mini el módulo mp3 utilizado para la comunicación por alerta de voz.

En el Capítulo 7: Resumen Ejecutivo, en éste capítulo se presenta la descripción del trabajo, los métodos y técnicas utilizadas para el cumplimiento del presente proyecto, la justificación, la finalidad del proyecto, los objetivos, el costo del proyecto final de grado y sobre todo los beneficios.

En el Capítulo 8: Desarrollo de Propuestas para el Diseño del Bastón Electrónico, se detalla el proceso de análisis del campo de movilidad de las personas invidentes, definición de requerimientos, selección de software y hardware para el diseño del prototipo.

En el Capítulo 9: Diseño, Construcción e Implementación del Bastón Electrónico, este capítulo es la etapa final del prototipo donde se da una vista general respecto al diseño de los circuitos esquemático e impreso de la placa, impresión 3D, la lógica de programación, se muestra los avances de los diseños hasta alcanzar el prototipo final.

II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

CAPÍTULO 1

CONCEPTOS GENERALES

1.1. ANTECEDENTES HISTORICO

- En Barranquilla Colombia en la Facultad de Ingeniería se desarrolló el proyecto titulado “diseño y construcción de un módulo asistente adaptable al bastón de las personas con discapacidad visual para mejorar su desplazamiento”, realizado por Luis Alberto Nieto Martelo y Carlos Vidal Padilla Cerda en el año 2015. Entre los principales aportes del mencionado estudio figuran: un dispositivo que mejore la calidad de vida de las personas con discapacidad visual severa, se pretende lograr mediante la construcción de un sistema electrónico capaz de detectar cierto tipo de obstáculos, de difícil percepción con un bastón para las personas Invidentes.

La conclusión a la que se llegó en este proyecto fue que el desarrollo de dispositivos electrónicos enfocados a mejorar la calidad de vida de las personas con algún tipo de discapacidad, es siempre gratificante para los desarrolladores de cualquier investigación con este propósito. También se logró observar la eficacia del sistema de alerta, el cual presenta una interacción entre una interfaz háptica y sonora, brindando una gama de posibilidades sensoriales para que las personas invidentes identifiquen los obstáculos que se encuentran en su camino.

- En la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca Ecuador, Facultad de Ingeniería año 2011, se desarrolló el proyecto “Diseño y construcción del prototipo de un sistema electrónico por ultrasonido para medir distancias aplicada a un bastón blanco”, realizado por Tnlg. Edy Leonardo Ayala Cruz. Entre los principales aportes del mencionado

estudio figuran: el desarrollo de un sistema electrónico que se adapte al Bastón Blanco para medir la distancia de los objetos con un límite de 5,5 metros que permitió a los No Videntes complementar la funcionalidad del Bastón Blanco para detectar obstáculos con los cuales podrían tropezar al caminar por encima de área de rastreo.

La conclusión más importante a la que se llegó en este estudio, se pudo comprobar que los No Videntes se adaptan fácilmente a los diferentes ambientes orientándose de acuerdo al sonido, al reconocimiento del lugar, el tacto. Por lo tanto, no se debe implementar un sistema que reste la percepción de estos sentidos.

- Otro estudio relacionado “Bastón guía ultrasónico con indicador sonoro para personas con limitación visual” desarrollado por Jonatan Yahír Galán Acuña para la obtención del título de Ingeniería en Electrónica en la Universidad Javeriana Facultad de Ingeniería ubicado en Colombia.

La característica principal que se pretendía lograr con este dispositivo es que por medio de audio le indicara al usuario la distancia a la que se encuentra de algún obstáculo, sin necesidad que el usuario choque con este para saber de su presencia. Otra de sus características es que se use un dispositivo similar al “bastón blanco” para detectar anomalías en el terreno y obstáculos muy bajos, lo cual nunca desprotege al usuario.

El principal interés en la realización de este dispositivo es brindar un poco de seguridad a las personas con discapacidad visual, al moverse, darles mayor independencia para realizar sus actividades cotidianas y, de igual forma, ayudarlas a que se incluyan en la sociedad, compartiendo muchas actividades que por su inseguridad al moverse no realizan.

La conclusión más importante a la que se llegó con este trabajo es que el prototipo desarrollado permitirá el desplazamiento con mayor seguridad e independencia de las personas con limitación visual. Esto gracias a que el dispositivo aumenta la información acerca de los obstáculos que se encuentran en el camino y, por consiguiente, se le

ayuda con la toma de decisiones acerca de las posibles rutas que pueda tomar hacia su destino. Este prototipo además de indicar la distancia del obstáculo sirve como sustituto de los bastones comúnmente usados, ya que este también posee una extensión con la cual el usuario podrá sentir los obstáculos que no se detectan con el ultrasonido.

1.2. ESTADO DEL ARTE

- Un equipo de investigadores de un consorcio formado por varios centros de investigación australianos ha conseguido realizar con éxito el primer implante de un prototipo inicial de ojo biónico, que cuenta con 24 electrodos. Dianne Ashworth, de 54 años, es la primera paciente a la que se le ha implantado este dispositivo, en un proceso quirúrgico que se llevó a cabo en The Royal Victorian Eye and Ear Hospital de Melbourne, el pasado mes de mayo. Ashworth sufrió una pérdida de visión profunda porque padece retinitis pigmentaria, un trastorno de origen genético y carácter degenerativo, que se caracteriza por una degeneración progresiva de la estructura del ojo sensible a la luz, la retina, que poco a poco va perdiendo las principales células que la forman, los conos y los bastones. La paciente ha recibido lo que ella denomina un implante de “ojo pre-biónico”, que le permite tener algo de visión. Ashworth se prestó voluntaria al experimento del implante porque es una apasionada de la tecnología y porque quería hacer una contribución al programa de investigación sobre el ojo biónico, informa The Royal Victorian Eye and Ear Hospital en un comunicado. De repente, pude ver un pequeño destello, tras años de planificación y de arduo trabajo, el implante le fue realizado a la paciente en el Bionics Institute, mientras los investigadores responsables del dispositivo contenían la respiración en una sala adyacente, en la que observaron la operación por vídeo. No sabía que esperar, pero de repente, podía ver un pequeño destello fue maravilloso. Cada vez que había un nuevo

estímulo, aparecían nuevas formas ante mi ojo”, señala Ashworth. La doctora Penny Allen, una cirujana especializada, fue la encargada de dirigir al equipo quirúrgico de The Royal Victorian Eye and Ear Hospital responsable del implante de este prototipo.

- Un grupo de investigadores internacional ha desarrollado y probado con éxito la primera retina artificial ultra fina del mundo, un dispositivo flexible, basado en, materiales 2D muy delgados, que podría algún día devolver la vista a los millones de personas con enfermedades de la retina. Además, con algunas modificaciones, el dispositivo podría usarse para rastrear la actividad del corazón y el cerebro. Así lo explican las investigadoras del estudio, Nanshu Lu, de la Universidad de Texas en Austin, y Dae-Hyeong Kim, de la Universidad Nacional de Seúl (Corea del Sur), que han presentado su trabajo en la 256° Reunión Anual de la Sociedad Americana de Química. La retina, ubicada en la parte posterior del ojo, contiene células fotorreceptoras especializadas llamadas varillas y conos que convierten la luz entrante en señales nerviosas. Estos impulsos viajan al cerebro a través del nervio óptico, donde se codifican en imágenes visuales. Las enfermedades como la degeneración macular pueden dañar la retina o destruir el tejido de la retina, lo que lleva a la pérdida de la visión o la ceguera completa. Con base en estos estudios, las investigadoras determinaron que este prototipo de retina artificial es biocompatible e imita con éxito las características estructurales del ojo humano. Aseguran que podría ser un paso importante en la búsqueda para desarrollar la próxima generación de prótesis de retina bioelectrónica.

1.3. DEFINICION DE TERMINOS BASICOS

- **Prototipo:** Primer ejemplar que se fabrica de una figura, un invento u otra cosa, y que sirve de modelo para fabricar otras iguales, o molde original con el que se fabrica.
- **Comunicación:** Transmisión de señales mediante un código común al emisor y al receptor.
- **Ruido:** Los ruidos en la comunicación son barreras que obstaculizan la trasmisión de un mensaje del emisor al receptor.
- **Bastón:** Bastón es en general un palo con empuñadura que sirve de apoyo a quienes tienen dificultades para caminar, permitiéndoles no perder el equilibrio. Generalmente es de madera.
- **Multiplataforma.** Se ejecuta en los sistemas operativos Windows, Macintosh OSX y Linux.
- **Actuadores:** Un actuador es un dispositivo inherentemente mecánico cuya función es proporcionar fuerza para mover o “actuar” otro dispositivo mecánico. La fuerza que provoca el actuador proviene de tres fuentes posibles: Presión neumática, presión hidráulica, y fuerza motriz eléctrica (motor eléctrico o solenoide).
- **Visión:** Sentido de la vista, es una función sumamente compleja, en la que intervienen numerosas estructuras del ojo humano.
- **Comando:** Es una instrucción u orden que el usuario proporciona a un sistema informático, desde la línea de comandos o desde una llamada de programación.
- **Terminal:** Todo dispositivo electrónico que forma parte del Hardware de un ordenador, y que tiene la funcionalidad básica de ingresar o mostrar los datos que se encuentran dentro de una computadora o en un determinado sistema de computación.

- **Tejido:** Materiales biológicos naturales constituidos por un conjunto complejo y organizado de células, de uno o de varios tipos, distribuidas regularmente con un comportamiento fisiológico coordinado y un origen embrionario común.
- **Placas:** Es una superficie constituida por caminos, pistas buses de material conductor laminadas sobre una base no conductora. El circuito impreso se utiliza para conectar eléctricamente a través de las pistas conductoras, y sostener mecánicamente, por medio de la base, un conjunto de componentes electrónicos
- **Lenguaje de comunicación:** Se utiliza para definir la estructura, diseño y operación de circuitos electrónicos, y más comúnmente, de circuitos electrónicos digitales, como el convertidor analógico-digital o cualquier antena satelital. Así, los lenguajes de hardware hacen posible una descripción formal de un circuito electrónico, y posibilitan su análisis automático y su simulación.

CAPÍTULO 2

La discapacidad visual

2.1 Generalidades

La discapacidad en general es la objetivación de la deficiencia en el sujeto y con una repercusión en su capacidad de realizar actividades en los términos considerados normales para cualquier sujeto de sus características (edad, genero). Donde la deficiencia es toda perdida o anomalía de una estructura o función psicológica, fisiológica o anatómica. La discapacidad es toda restricción o ausencia (debida a una deficiencia) de la capacidad de realizar una actividad en la forma y dentro del margen que se considera normal para un ser humano [1].

La carencia o anomalía que puede ser temporal o permanente, de carencias físicas (un miembro, órgano, tejido u otra estructura del cuerpo), psíquicas o sensoriales que puedan afectar a un individuo, desde el principio de su vida, o de forma sobrevenida. Representa la exteriorización de un estado patológico, es la consecuencia de una enfermedad [2].

2.2 La discapacidad visual

Se define como la dificultad que presentan algunas personas para participar en actividades propias de la vida cotidiana, que surge como consecuencia de la interacción entre una dificultad específica relacionada con una disminución o pérdida de las funciones visuales y las barreras presentes en el contexto en que se desenvuelve la persona.

La discapacidad visual se refiere a personas con deficiencias funcionales del órgano de la visión y, de las estructuras y funciones asociadas, incluidos los párpados (OMS, 2013a; OMS, 2013b). Está determinada por los niveles de deterioro de la función visual, y que se establece tras la medición de la agudeza visual y del campo visual de cada uno de los ojos por separado. Los demás

aspectos de la capacidad funcional visual, como la acomodación de la visión, sensibilidad al color, contraste y diferentes intensidades de iluminación, la visión binocular y el uso pragmático del resto visual, que pueden ser controladas garantizando unas condiciones de iluminación óptimas, con una orientación adecuada y manteniendo constante la intensidad, no son cuantificados para valorar en la práctica clínica distintos niveles de deterioro funcional, aunque sí se tienen en cuenta en lo concerniente a la visión binocular a efectos legales para la obtención de permisos o licencias de conducción de vehículos y para los baremos de indemnizaciones socio laborales.

La Clasificación Internacional de Enfermedades (CIEMC, 2014) indica que el deterioro visual se refiere a la limitación funcional del ojo, como puede ser la disminución de la agudeza visual o el campo visual, y lo distingue de la incapacidad visual como una limitación de las capacidades del individuo, como las reducciones en la capacidad de lectura o las habilidades profesionales, y de la minusvalía visual, que indica una limitación de la independencia personal y socioeconómica, como la movilidad limitada o limitación de empleo [2].

2.3 Clasificación de la Discapacidad Visual

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2014), la función visual se subdivide en cuatro niveles: visión normal, discapacidad visual moderada, discapacidad visual grave y ceguera.

- **La ceguera:** se define como una agudeza visual de presentación inferior a 3/60 (0.05), o una pérdida del campo visual a menos de 10°, en el mejor ojo.
- **Discapacidad visual grave:** se entiende una agudeza visual inferior a 6/60 (0.1) e igual o superior a 3/60 (0.05).
- **Discapacidad visual moderada:** una agudeza visual de entre menos de 6/18 (0.3) y 6/60 (0.1).

La discapacidad visual moderada y la discapacidad visual grave se reagrupan comúnmente bajo el término “baja visión”, y el total de casos de

discapacidad visual están representados conjuntamente por la baja visión y la ceguera (OMS, 2014).

2.4 Datos y cifras de la discapacidad visual

En el mundo hay aproximadamente 285 millones de personas con discapacidad visual, de las cuales 39 millones son ciegas y 246 millones presentan baja visión. Aproximadamente un 90% de la carga mundial de discapacidad visual se concentra en los países de ingresos bajos.

El 82% de las personas que padecen ceguera tienen 50 años o más. En términos mundiales, los errores de refracción no corregidos constituyen la causa más importante de discapacidad visual, pero en los países de ingresos medios y bajos las cataratas siguen siendo la principal causa de ceguera. El número de personas con discapacidades visuales atribuibles a enfermedades infecciosas ha disminuido considerablemente en los últimos 20 años. El 80% del total mundial de casos de discapacidad visual se pueden evitar o curar [3].

Principales causas de discapacidad visual

La distribución mundial de las principales causas de discapacidad visual es como sigue: errores de refracción (miopía, hipermetropía o astigmatismo) no corregidos: 43%; cataratas no operadas: 33%; glaucoma: 2%.

2.4.1. Cifras de discapacitados en Paraguay

Población censada con discapacidad, según el tipo de discapacidad, 2012.

Tipos de discapacidad	Población cesada con discapacidad
Total con discapacidad	129.707
Visual	88.774
Auditiva	27.684
Motriz	43.219
Intelectual	13.842
Psicosocial	13.276

Tabla 1: Porcentaje de discapacitados en Paraguay

Según **(DGEEC) Dirección General de Estadística, Encuestas y Censos**. Censo Nacional de Población y Viviendas, 2012.

La sumatoria de los tipos de discapacidad no reproduce el total, considerando que una persona puede tener más de una discapacidad. Para personas de 2 años y más de edad. Con discapacidad, se refiere a la población que tiene al menos una discapacidad, ya sea visual, auditiva, motriz, intelectual o psicosocial

Tipo de discapacidad

Visual: No puede, mucha y poca dificultad permanente para ver.

Auditiva: No puede, mucha y poca dificultad permanente para escuchar.

Motriz: No puede hacerlo, mucha y poca dificultad permanente para caminar, subir escaleras o realizar tareas con los brazos y manos. (Para personas de 2 años y más de edad).

Intelectual: No puede hacerlo, mucha y poca dificultad permanente para entender o aprender (Retraso mental, síndrome de Down, autismo). (Para personas de 2 años y más de edad).

Psicosocial: Dificultad permanente de tipo mental o emocional (Enfermo mental, trastornado) total, mucha y poca dificultad. (Para personas de 2 años y más de edad).

El Censo Nacional de Población y Viviendas 2012 tuvo una cobertura poblacional aproximada del **74,4%** que resulta de comparar la población censada con la población estimada para 2012. El departamento Central tuvo una cobertura de **71,4%**. Por tanto, existe una parte de población con discapacidad que no ha sido censada y que no está contemplada en la información procesada. No se recomienda aplicar el porcentaje de omisión a la estimación total para obtener la cantidad de personas con discapacidad que no ha sido censada. Considerando el total de personas censadas, se tiene que a nivel nacional el **10,7%** de ellas fueron captadas con discapacidad/es. En el departamento Central el porcentaje de población censada con al menos una discapacidad es del **9,8%**.

2.5 Concepto de Ceguera

CEGUERA: Es la ausencia de percepción de la luz. Es la forma más grave de discapacidad visual, puede reducir la capacidad de las personas para realizar tareas cotidianas y caminar sin ayuda [3].

El órgano receptor es el ojo cuando alguna de las partes constitutivas de la visión no funciona adecuadamente e interfiere en la transmisión y percepción de las impresiones luminosas en su viaje al cerebro se produce disminución visual o pérdida súbita [4].

Se estima que el 82% de todas las personas con ceguera son mayores de 50 años. Se prevé que este número aumentará con el envejecimiento de la población mundial. **Unos 1,4 millones de niños son ciegos** Las principales causas de ceguera entre los niños son las cataratas, la retinopatía de la prematuridad y la carencia de vitamina A. Aproximadamente la mitad de todas las cegueras infantiles se pueden evitar o tratar. Un programa mundial ejecutado en 35 países por una alianza de la OMS con la Asociación Internacional de los Clubes de Leones presta servicios oftalmológicos para conservar y restablecer la vista de los niños [3].

2.5.1. Ceguera Legal

Se considera legalmente ciego ciega legal cuya persona con una agudeza visual de 20/200 o menos con la mejor corrección posible, o un campo visual de 20 grados o menos. La ausencia de percepción de luz no se debe confundir con sensaciones de deslumbramiento que son sensaciones producidas cuando la luminosidad externa es muy exagerada es decir muy fuerte o por destellos luminosos debido a la actividad eléctrica retiniana o cortical. Con fines legales se considera ciego legal al niño, niña, joven, adulto o adulto mayor cuya acuidad visual es igual o menor a 20/200.

La agudeza visual va desde 0 (cero) que es la falta de percepción lumínica hasta un décimo que equivale a la pérdida del 90 % y el campo visual restringido del 20% en el diámetro más amplio. Así es como se define

legalmente la ceguera. La agudeza visual es la percepción de los objetos y sus cualidades de lejos y de cerca, expresadas en cifras, que permite tener una connotación objetiva, expresada en forma de quebrado o decimales, el numerador indica la distancia entre la persona evaluada y el objeto denominado opto-tipo, y el denominador la distancia desde el ojo normal que podría identificar el estímulo. La agudeza visual debe ser medida tanto de lejos como de cerca. Se denomina campo visual al área en la cual un estímulo adecuado produce una respuesta visual [4].

2.5.2. Ceguera nocturna

Etiología

La ceguera nocturna o hemeralopía puede ser producida por:

- **Carencia de vitamina A o retinol:**

En efecto, la vitamina A desempeña un papel primordial en el ciclo de la rodopsina. La avitaminosis A puede producir así mismo sequedad, prurito y quemaduras oculares, con disminución de las secreciones y, a la larga, conjuntivitis.

El B caroteno contenido en ciertos alimentos se convierte en vitamina A. Los pescadores deslumbrados por la radiación solar experimentan disminución de la agudeza visual nocturna. Antaño, prevenían las afecciones retinianas tomando aceite de hígado de bacalao (vitamina A).

- **Insuficiencia tiroidea**

Que inhibe la conversión del caroteno en vitamina Inversamente, la carencia de vitamina A puede producir insuficiencia tiroidea.

- **Afecciones renales, intestinales, hepáticas y la diabetes,** que obstaculizan la transformación del caroteno en vitamina A.

Observación

Para aumentar la visión crepuscular, se aconseja consumir grandes cantidades de arándanos y casis.

2.6 Concepto de baja visión

La baja visión es el grado de visión parcial que permite su utilización como canal primario para aprender y lograr información (Cebrián de Miguel, 2003), y limita las capacidades de las personas a la hora de realizar actividades cotidianas, pero precisa de adaptaciones sencillas para poder llevar a cabo algunas de ellas. El rango de la baja visión está comprendido entre el límite máximo inferior 6/18 (0.3) y mínima superior a 3/60 (0.05), según la escala de Snellen; en cuanto al rango del campo visual se encuentra entre los límites máximo inferior de 20° y mínimo superior de 10°. Mientras que el término ceguera, se concibe como el estado caracterizado por la ausencia operativa de visión, y abarca desde 0,05 hasta la no percepción de la luz, o una restricción del campo visual inferior a 10° alrededor del punto de fijación.

Una persona sufre de baja visión cuando no ve con la calidad que le permita manejarse diariamente con independencia.

2.7 Tipos de baja visión

- **Baja Visión Severa:** Las personas afectadas perciben la luz
- **Baja Visión Moderada:** Las personas afectadas son capaces de distinguir objetos grandes y medianos en movimiento, sin discriminar detalles especiales y o del color.
- **Baja Visión Leve:** Las personas afectadas tienen la capacidad de percibir objetos pequeños, dibujos y símbolos.
- **Pérdida de la visión central**
- **Pérdida de la visión periférica (visión lateral)**
- **Ceguera nocturna**
- **Visión borrosa**
- **Visión perezosa**

2.8 Patrones de visión y pérdida de visión

Visión central

Esta es la visión detallada que utilizamos cuando observamos algo directamente. La degeneración macular (DM) afecta la visión central. La retinopatía diabética puede afectar la visión central o periférica.

Visión Periférica

Esta es la visión menos detallada que utilizamos para ver todo lo que nos rodea. El glaucoma afecta primero la visión periférica. Los accidentes cerebrovasculares pueden afectar un lado de la visión periférica.

Sensibilidad central

Esta es la capacidad de diferenciar objetos de tonos similares como leche en una taza blanca o reconocer rasgos faciales. Todos los problemas oculares pueden disminuir la sensibilidad de contraste.

Percepción de profundidad

Es la capacidad de juzgar la ubicación de los objetos. Una nueva pérdida de visión en un ojo puede afectar la percepción de profundidad, como, por ejemplo, la altura de un escalón.

Procesamiento visual

El cristalino del ojo enfoca los rayos de luz sobre la retina. La retina convierte estos rayos de luz en señales que son enviadas a través del nervio óptico al cerebro, donde son interpretadas como las imágenes que vemos. Un problema en cualquiera de estos procesos afecta de varias formas nuestra visión.

2.9 Síndrome de Charles Bonnet

De 20% a 30% de quienes tienen pérdida de visión ve imágenes que parecen reales, aunque sabe que no lo son. Esto es lo que se conoce como el síndrome de Charles Bonnet (SCB). Se trata de un síndrome que no es una pérdida de capacidad mental sino solo parte de la pérdida de visión en algunas personas. Ayuda considerarlas como el intento del cerebro por reemplazar las imágenes que faltan en el ojo afectado.

2.10 Causas de la deficiencia visual

El conocimiento de las causas que originan la discapacidad visual es importante porque con ellas se establece medidas preventivas, se evita 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, aunque, normalmente, las más frecuentes son las que afectan al globo ocular.

2.10.1. Hereditarias y Congénitas

2.10.1.1. Miopía

La imagen converge y se forma delante del plano de la retina. El miope ve bien de cerca y mal de lejos [5].

La miopía se debe a dos factores:

- El cristalino es demasiado grueso
- La distancia anteroposterior del ojo es demasiado grande respecto del cristalino.

Estos dos factores son:

- Congénitos.
- Adquiridos.

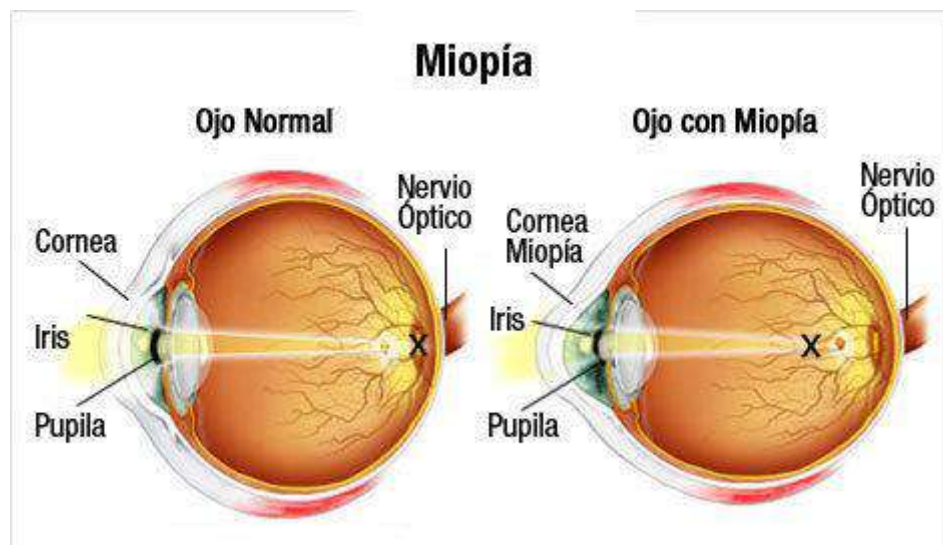


Figura 1: La Miopía [6].

Ojo miope: los rayos incidentes paralelos forman su foco por delante de la retina, llegando a ésta una imagen borrosa. El ojo miope se caracteriza por tener una buena visión de cerca (leer sin gafas hasta la escritura impresa más pequeña) y las dificultades para la visión lejana (es habitual el semicerrar los párpados). De aquí surge la expresión "corto de vista", ya que su punto remoto está a menos de seis metros del ojo.

Generalmente podemos establecer dos grados

- **Miopía simple:** de tipo escolar, de débil intensidad (inferior a 7 dioptrías). Comienza en el niño en edad escolar, aumenta con el crecimiento, con los problemas de la estática y se estabiliza al final del crecimiento.

- **Miopía fuerte:** supera las 7 dioptrías. Es hereditaria o consecuencia de una enfermedad ocular en la infancia.
Aparece muy pronto y es evolutiva, incluso después del final del crecimiento. Se acompaña de una disminución de la agudeza visual (3/10 a 4/10 de visión solamente).

2.10.1.2. Cataratas

Una catarata es una opacidad de la lente (cristalino del ojo), la cual normalmente es clara y transparente; puede compararse a una ventana que se escarcha con hielo o se empaña con vapor.

Unos síntomas comunes de las cataratas son:

- La visión se torna borrosa sin dolor.
- Deslumbramiento o sensibilidad a la luz.
- Cambios frecuentes en la graduación de los lentes.
- Visión doble en un ojo.
- Necesidad de luz más intensa para leer.
- Visión nocturna muy pobre.
- Los colores se ven desvanecidos o amarillentos.

El tamaño y la forma de la opacidad de la lente pueden variar. Si la opacidad no está cerca del centro del cristalino, es probable que usted ni siquiera sospeche que tenga una catarata.

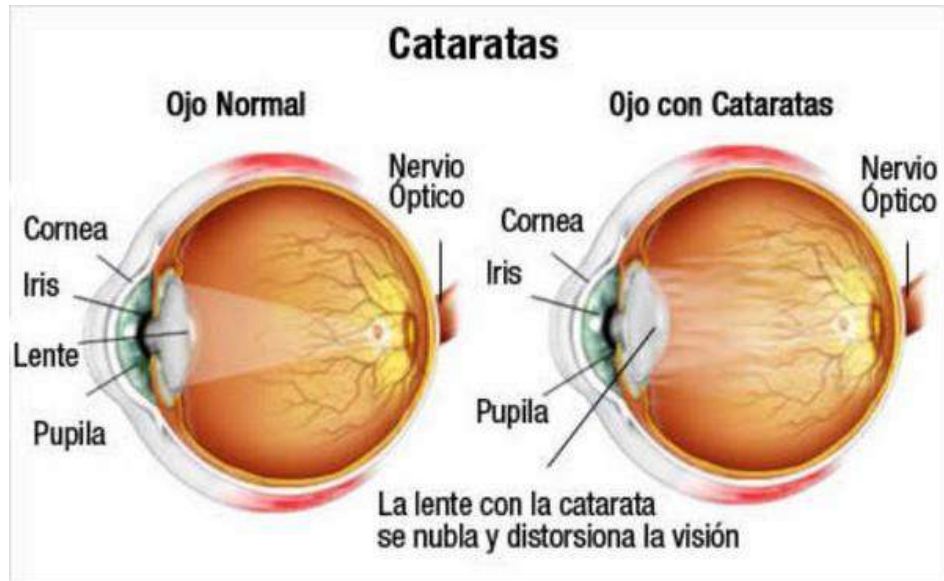


Figura 2: Ojo con problema de Cataratas [5].

Etiología

El tipo más común de catarata está relacionado con el envejecimiento natural del ojo. Algunas otras causas de cataratas son:

- Herencia;
- Problemas médicos, tal como la diabetes;
- Lesiones en el ojo;
- Medicamentos, tales como esteroides;
- Exposición a largo plazo a los rayos del sol sin usar protección;
- Cirugía ocular previa

2.10.1.3. Glaucoma

Es un aumento de la presión interna del ojo. Se debe a la acumulación excesiva de líquido en las cámaras anterior y posterior. El globo se vuelve entonces duro y el glaucoma evoluciona hacia la ceguera.

Normalmente el humor acuoso circula de la cámara anterior al mismo ritmo que penetra en la cámara posterior, de forma que la cantidad de humor acuoso en

el ojo sigue siendo relativamente la misma. Lo mismo ocurre con la tensión intraocular. Pero puede suceder que este equilibrio se vea alterado y la tensión intraocular aumente por encima del nivel normal: de 20 a 25 mm Hg [5].

Etiologías

- **Glaucoma crónico:** es el más frecuente. Alrededor del 2 % de los individuos de más de 40 años desarrollan glaucoma crónico debido en gran parte a causas hereditarias.
- **Glaucoma agudo:** de aparición repentina, es grave y necesita tratamiento de urgencia para evitar la ceguera. Sobreviene la mayoría de las veces en la mujer de más de 50 años como consecuencia de una emoción fuerte, traumatismo o intervención quirúrgica.
- **Glaucoma congénito:** aparece en los primeros meses o primeros años de vida. Se manifiesta de entrada por el aumento del volumen de los ojos y en especial, de las córneas, cuyo diámetro aumenta.
- **Glaucoma secundario:** en general, aparece después de diversas patologías oculares como uveítis, desprendimiento de retina, trombosis de la vena central de la retina, traumatismo ocular o tumor retino corioideo.

2.10.1.4. Hipermetropía

En el hipermétrope los rayos luminosos que llegan paralelos al ojo, se reúnen en un punto situado detrás de la retina, produciendo cierta borrosidad en la imagen. La imagen se forma por detrás del plano de la retina. El hipermétrope ve bien de lejos y mal de cerca [5].

La hipermetropía se debe a dos factores:

- El cristalino es demasiado delgado.
- La distancia anteroposterior del ojo es demasiado corta en relación con el cristalino.

Esos dos factores son:

- Tipo congénito.
- Tipo adquirido.

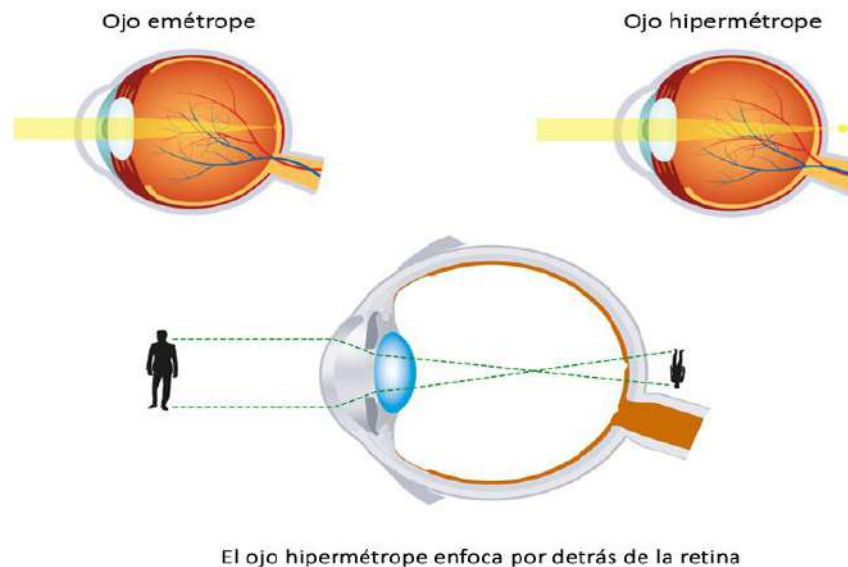


Figura 3: Hipermetropía.

Ojo hipermetrope: cuando la imagen enfocada se forma detrás del plano de la retina.

Podemos establecer dos grados:

- **Hipermetropía ligera:** no suelen presentar complicaciones.
- **Hipermetropía elevada:** en la infancia tiene el riesgo de producirse el llamado "ojo vago". En edades más avanzadas, hay que descartar la existencia de una cámara anterior y un ángulo estrechos, que puedan predisponer a una crisis de glaucoma agudo de ángulo estrecho.

2.10.1.5. Daltonismo

El daltonismo consiste en una dificultad para distinguir el rojo y el verde, aunque hay casos en que también es difícil diferenciar los demás colores. El daltonismo, mucho más corriente en el hombre que en la mujer puede ser

hereditario. No suele causar otros trastornos, aunque puede constituir un problema en algunas profesiones que exigen una correcta visión de los colores.

2.10.1.6. Desprendimiento de Retina

El desprendimiento de retina, consiste en la separación de la retina sensorial de la pared del globo ocular producido por la rotura de la retina y la acumulación subsiguiente de vítreo fluido en el espacio virtual subretiniano (hasta este momento inexistente, ya que las tres capas están unidas).

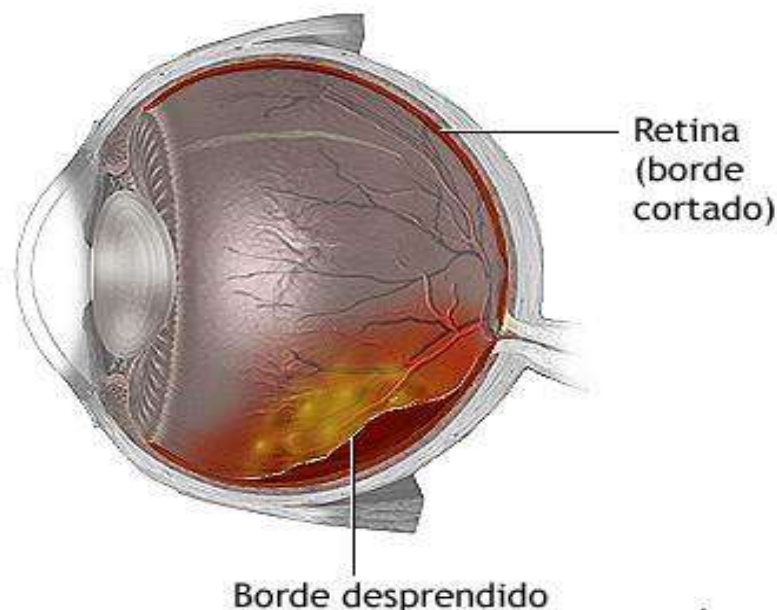


Figura 4: Ojo con desprendimiento de retina.

Existen algunos síntomas, que podemos calificar de premonitorios:

- Destellos luminosos.
- Lluvia súbita de cuerpos flotantes (moscas volantes).

Es importante destacar, que no toda rotura retiniana acaba de forma obligada en un desprendimiento de retina, si se diagnostica a tiempo y se trata adecuadamente. Por lo tanto, la aparición de estos síntomas no debe alterar al paciente, pero sí debe acudir a su médico oftalmólogo para realizar una exploración y descartar posibles lesiones.

2.10.1.7. XASTELASMA

Xantelasma es un término médico usado para llamar a pequeños tumores benignos o levantamientos grasos (esteres de colesterol) situados en o alrededor de los párpados. Dichos depósitos pueden encontrarse en otras áreas de la piel y son llamados xantomas. No se tiene que tener el colesterol alto para que aparezcan.

Causas

Los xantelasma son frecuentes en personas con trastornos metabólicos como la hipercolesterolemia, diabetes y cirrosis biliar y ocurre predominantemente en personas adultas.

2.10.1.8. Xeroftalmia

La xeroftalmia es una enfermedad de los ojos caracterizada por la sequedad persistente de la conjuntiva y opacidad de la córnea. El término xeroftalmia procede del griego *xerós*(seco) + *ophthalmós* (ojo) + *ia*.

La xeroftalmia se debe a una disminución de la función de las glándulas lagrimales, con menor producción de lágrimas.

2.10.1.9. Nistagmo

El nistagmo es un movimiento involuntario e incontrolable de los ojos. El movimiento puede ser horizontal, vertical, rotatorio, oblicuo o una combinación de estos. Está asociado a un mal funcionamiento en las áreas cerebrales que se encargan de controlar el movimiento, pero no se comprende muy bien la naturaleza exacta de estas anomalías.

Los pacientes con nistagmo a menudo ponen la cabeza en una posición no normal para mejorar su visión, anulando lo más posible el efecto que produce el movimiento de los ojos.

2.10.1.10. Moscas Volantes y Centelleos

En ocasiones, es posible que usted vea pequeños puntitos o nubes que se mueven en su campo visual. Se les denomina moscas volantes. Suelen observarse al mirar un fondo simple, tal como una pared o el cielo azul.

Las moscas volantes son diminutos trocitos de la sustancia gelatinosa o de las células del humor vítreo, el líquido transparente y gelatinoso que llena la cámara interior del ojo.

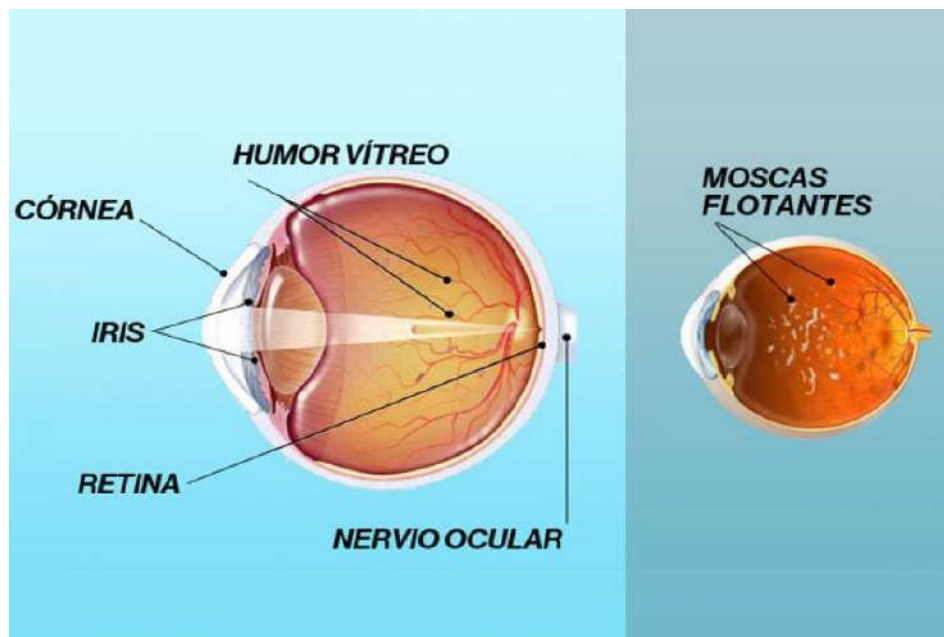


Figura 5: Problemas de ojos con Moscas Volantes y Centelleos.

2.10.1.11. Entropión

Entropión es un término médico usado cuando el borde del párpado (más frecuentemente el párpado inferior) se pliega o invierte en dirección hacia la superficie del ojo. El contacto y, más aún el roce de las pestañas causan irritación característica del ojo y con el tiempo, ulceración y cicatrización de la córnea. Es opuesto al ectropión y no debe confundirse con la triquiasis.

2.10.2. Adquiridas/accidentales

2.10.2.1. Presbicia

La presbicia o "vista cansada", es la disminución fisiológica de la capacidad de enfoque de las lentes oculares para formar una imagen de un objeto próximo.

Con la edad perdemos la capacidad de enfocar correctamente aquellos objetos que tenemos más cerca. Esto se debe a que el músculo ciliar va perdiendo la capacidad de contracción necesaria para que el cristalino, que también disminuye su elasticidad, aumente su diámetro antero posterior y se comporte como una lente de más dioptrías.

Etiologías:

- **Lesión por compresión** de la SEB.
 - **Edad:** La afección es frecuente después de los 50 años puesto que entonces se experimenta un envejecimiento de los tejidos y el cristalino pierde su elasticidad.
 - **Deterioros estructurales:** debidos a errores en la alimentación, productos tóxicos, estrés repetido y uso abusivo de iluminación artificial.
 - **Drenaje venoso y linfático:** por causas clínicas u osteopáticas.
- Trastornos vasomotores:** La vasomotricidad del globo depende del ortosimpático procedente de la región C6-D2 y toma el ganglio de Gasser (temporal) luego el VI (seno cavernoso, hendidura esfenoidal).

2.10.2.2. Ambliopía

La Ambliopía, conocida también como "ojo vago", es la disminución de la agudeza visual, sin lesión orgánica o con una lesión cuya severidad no es proporcional a la intensidad de esa disminución. Puede afectar a un sólo ojo, lo más frecuente, o a los dos [6]. Es la disminución de la agudeza visual, cualquiera que sea la causa [5].

Juegan un papel importante los siguientes factores:

- La ausencia de una adecuada estimulación visual del ojo afectado.
- La existencia de una interrelación binocular anormal, con el establecimiento a nivel cerebral, de una marcada dominancia de uno de los ojos.

Para que se produzca la Ambliopía, dichos factores deben tener lugar durante una época temprana de la vida, desde el nacimiento hasta los siete años (etapa de plasticidad sensorial). En esta etapa la Ambliopía será reversible si se adoptan las medidas terapéuticas adecuadas, de ahí la importancia de un diagnóstico y un tratamiento precoz.

Etiologías

- **Toxemia.** En este caso la ambliopía es ante todo el resultado del envejecimiento prematuro de los tejidos del ojo. Las alteraciones metabólicas son la principal causa.
- **Lesiones del globo y de las vías visuales cerebrales,** como consecuencia de traumatismo, infección, intoxicación, tumor, hemorragia, etc.
- **Estrabismo:** por encima de los 4 grados, puede producir ambliopía unilateral por ocultación de la imagen en el cerebro (escotomización).
- **Nistagmo:** produce ambliopía bilateral.
- **Miopía, hipermetropía, astigmatismo:** producen ambliopía, al igual:
- **Glaucoma y catarata.**
- **Diferentes lesiones del movimiento craneal.**

CAPÍTULO 3

El bastón y técnicas de detección de obstáculos por los invidentes

3.1. Generalidades

Para la mayoría de la gente, incluso para muchos profesionales, el bastón blanco es un instrumento con el cual las personas ciegas se identifican y que les sirve para detectar obstáculos. Lo que ignora es que el bastón se utiliza con una técnica determinada, que debe ser adecuado a la altura de la persona, que hay diferentes modelos y que no sólo lo utilizan las personas ciegas. En este capítulo se estudió sobre las distintas características y técnicas de uso del bastón para invidentes.

3.2. Historia

Tras la segunda guerra mundial surgen las técnicas de orientación y movilidad. En un hospital de Estados Unidos en donde se llevaba a cabo un programa de rehabilitación para veteranos ciegos, el entonces sargento Richard Hoover (quien se desempeñaba como Director de Rehabilitación Física, Orientación y Recreación) observa que los ciegos se movían con pesados y cortos bastones que les servían como apoyo pero que le prestaban escasos servicios a la hora de anticipar obstáculos. Idea entonces un bastón largo, liviano, y la técnica de uso que hoy lleva su nombre y que les permitió a los ciegos del mundo desplazarse en forma autónoma y segura. Con anterioridad a este evento las personas sin vista se movilizaban con perros o varas, aunque lo que ocurría en general es que no se desplazasen sin una persona que oficiase de lazarillo. Es por ello que el Club de Leones de Toronto, Canadá, instituye el día 15 de octubre como el día del Bastón Blanco, emblema de la posibilidad de independencia de la persona ciega [7].

3.3. El Bastón

Lo conocemos como bastón largo, o de Hoover, o de movilidad. Generalmente se fabrica con tubos de aluminio hueco recubierto con material plástico. En el extremo inferior tiene una puntera metálica recambiable y en el superior una empuñadura que idealmente debe ser de goma para facilitar la toma. Puede ser rígido o plegable. Este último modelo trae en su interior un elástico grueso que posibilita su plegado generalmente en cuatro tramos. Con respecto a las ventajas y desventajas de uno y otro modelo podemos decir que el rígido es más durable y transmite mejor las sensaciones táctiles mientras que el plegable se destaca por su portabilidad siendo ideal para quien no necesita usarlo de forma permanente (por ejemplo, quien posee ceguera nocturna). En cuanto a la medida, debe llegar hasta la apófisis xifoides del esternón, siendo las medidas más comunes 1.05; 1.10; 1.15 y 1.20 metros. Es muy importante respetar la altura apropiada para cada persona ya que un bastón muy corto no permitirá anticipar lo suficiente los obstáculos u obligará a posturas incorrectas con el consiguiente perjuicio físico mientras que un bastón muy largo resultará incómodo y tampoco permitirá la toma correcta [7].

3.4. Tipos de bastón según el color

1. Bastón rojo y blanco

La Federación Mundial de Sordociegos estableció el bastón rojo y blanco como el símbolo que identifica a las personas con sordo-ceguera. No se han establecido normas estrictas sobre cómo deben ser estos bastones, aunque en España normalmente el tramo final, el más cercano al suelo, es blanco y luego se van alternando los colores rojo y blanco.

Así que cuando vemos a alguien con un bastón con estos colores, ya podemos identificar que es una persona con sordo-ceguera y prestarle ayuda de acuerdo a sus circunstancias, y es que no es igual ser invidente que no ver ni oír [8].



Figura 6: Bastón para Personas Sordo-Ceguera [9].

2. Bastón verde

Su aparición es la más reciente. El origen del bastón verde está en Argentina, donde se usa por ley desde 2002, y se reserva como elemento de orientación y movilidad para personas con baja visión. La función de este color es identificar a las personas con baja visión, cuyas necesidades y circunstancias no son las mismas que las personas con ceguera total. Las personas con baja visión son las que tiene entre $1/3$ y un $1/10$ de la visión normal o un campo visual igual o menor de 20° (cuando lo normal es 180°) [8].



Figura 7: Bastón para Personas con baja Visión [9].

3. Bastón amarillo

El uso del bastón amarillo es más específico, ya que en algunos países se emplea como sustituto del bastón blanco. En América Latina, hay algunos países que utilizan el bastón amarillo en lugar del bastón verde que identifica a las personas con baja visión.

En todos los casos, el bastón es un elemento que ayuda a las personas ciegas o con baja visión en sus desplazamientos por la ciudad.



Figura 8: Bastón amarillo Personas Ciegas [9].

3.5. Las técnicas de uso del bastón por los invidentes

El entrenamiento en el uso del bastón largo debe ser progresivo, continuado y lo suficientemente prolongado como para cerciorarnos de que la persona lo utiliza en forma adecuada y segura. Existen técnicas pre-bastón que deben enseñarse previamente (como la de rastreo o la del brazo cruzando el cuerpo) pero no nos extenderemos en ellas por no ser objetivo del presente trabajo. Las técnicas con bastón son básicamente dos: técnica diagonal y rítmica.

3.5.1. Técnica diagonal

Es la que se utiliza para deambular en interiores desconocidos. Consiste en colocar el bastón en forma diagonal, delante del cuerpo a modo de parachoques y no de explorador. Se toma colocando la parte interna de la muñeca hacia abajo, con el dedo índice extendido y colocando el bastón a unos 30° del cuerpo de manera que la punta quede (sin tocar el suelo) delante del pie del lado contrario al que sostiene el bastón. Es la técnica que se usa por ejemplo para circular en un shopping, en un edificio público, en un hospital.

3.5.2. Técnica rítmica

Es la que le permitirá a la persona desplazarse en forma segura e independiente en exteriores conocidos y desconocidos. Consiste en mover en forma rítmica el bastón delante del cuerpo mientras se camina, con el fin de detectar obstáculos en el suelo.

Para las técnicas es importante que:

- **La toma** se efectúe de forma correcta, es decir con la muñeca apoyada en el centro del cuerpo, el dedo índice en extensión (a fin de posibilitar una buena percepción táctil e imprimirle direccionalidad al movimiento), ubicando el bastón extendido hacia delante de modo que la punta quede delante del pie que comenzará la marcha.
- **La posición del brazo** sea la adecuada, es decir que esté con el hombro relajado en posición primaria (sin que se extienda hacia delante ni hacia atrás, ni esté elevado ni caído), el brazo al costado y el antebrazo apoyado delante del cuerpo formando un ángulo de 90° con respecto al brazo de forma de posibilitar la correcta toma.

- **El movimiento de la muñeca** se realice en forma recta de derecha a izquierda evitando movimientos circulares que imprimirían al bastón una dirección incorrecta.
- **El arco** sea el adecuado, es decir levemente más ancho que el ancho del cuerpo de modo que al moverse el bastón anticipe en forma efectiva el sitio en que la persona va a pisar. El bastón debe tocar el suelo en los extremos derecho e izquierdo del arco levantándose levemente del piso (en el caso de la técnica de dos puntos) o deslizándose (en el caso de la técnica de contacto constante).
- **El ritmo** se realice de modo que el bastón toque el suelo del lado derecho mientras que el pie izquierdo se adelanta y viceversa.

3.6. La indicación del uso del bastón

En el caso de ceguera congénita hay distintas teorías acerca de cuál es el momento más apropiado para introducir la enseñanza de la técnica de Hoover. Algunos autores indican la edad preescolar como la más adecuada mientras que otros desaconsejan su uso hasta una edad comprendida entre los diez y los doce años. Personalmente concuerdo con esta última postura lo cual no impide que se presente al niño previamente este auxiliar de ayuda a la movilidad, en forma de juego y sin exigencia de ningún tipo.

En cuanto a la persona con ceguera adquirida el momento de indicar el bastón variará con cada individuo dependiendo del grado de aceptación de su discapacidad. Quizás sea el tomar el bastón el momento de mayor significación real y simbólica de la nueva situación de no ver.

Es de vital importancia el respetar los tiempos individuales. Es el instructor quien deberá estar alerta al momento adecuado ya que de él dependerá en gran parte que el bastón sea vivenciado como símbolo de lástima o posibilidad de autonomía. Es deber del instructor velar por el desplazamiento seguro y autónomo de cada persona ciega no otorgando jamás

un alta sin estar seguro de que este objetivo se haya cumplido, pero es potestad de cada individuo ciego la decisión sobre cuál será su forma de movilizarse [7].

3.7. Habilidades desarrolladas por los invidentes

Es sabido que las personas ciegas desarrollan habilidades, muy por encima del promedio de un vidente, ya sean invidentes por nacimiento o a causa de un accidente o enfermedad en la niñez y edad adulta. Como los invidentes utilizan constantemente estrategias de memoria secuencial en las circunstancias cotidianas de su vida diaria, tienden a desarrollar habilidades superiores [10].

3.7.1. Sistema olfativo y gustativo

Los datos del olfato y el gusto son transmitidos por sustancias químicas que forman parte de la materia. Los mismos se mezclan en el cerebro para una mejor interpretación sensorial.

En los niños ciegos la función olfativa desempeña una función muy importante ya que utiliza este sentido como fuente primaria y complementaria de información del entorno. Los olores despiertan curiosidad, son un estímulo motivador para iniciar la exploración y clave para la orientación. El sentido del olfato es muy importante para los disminuidos visuales.

Respecto a la identificación de olores, se ha observado que los videntes tienen una sensibilidad absoluta más desarrollada que los ciegos, mientras que estos son mejores en la tarea de identificación de olores.

Parece que el olfato sigue el mismo curso de adaptación funcional que el tacto o la audición en los disminuidos visuales, esto es, los ciegos no son mejores que los videntes para detectar la presencia de un olor, pero una vez detectado los ciegos son más capaces de categorizarlo.

3.7.2. Sistema táctil - kinestésico

El sistema táctil es el sentido más importante para los ciegos, pues entran al contacto con muchas señales del medio en el cual se desarrollan. Hay investigaciones que dicen que, en cuanto a la sensibilidad cutánea, los niños ciegos suelen ser mejores que los videntes; sin embargo, se ha observado que el umbral inferior de discriminación táctil en la yema del dedo índice derecho es más bajo en los niños ciegos (lectores de braille), que en videntes. Algunos autores señalan que los niños ciegos discriminan tamaños y longitudes con mayor precisión que los videntes.

La percepción kinestésica es la capacidad de saber dónde está ubicada cada parte del cuerpo en relación a su propio eje y al espacio inmediato vinculado con los objetos que lo rodean, permitiendo realizar los movimientos necesarios para una actividad. Las posiciones de los huesos, tendones y articulaciones informan al cerebro y éste orienta al cuerpo en el espacio. En ausencia de la visión la referencia que regula el equilibrio y los movimientos proviene del oído.

CAPITULO 4

Fundamentos electrónicos

4.1. Generalidades

En el presente capítulo se describe el tipo de sensor utilizado en el prototipo para la detección de obstáculos, con una breve descripción de las características y funcionamiento que consiste en dos etapas principales: la primera detectar los distintos tipos de obstáculos en cualquier superficie y la de transmitir la señal generada por el sensor al detectar un objeto.

4.2. Sensores de nivel y proximidad

Un sensor de proximidad es un transductor que detecta objetos o señales que se encuentran cerca del elemento sensor.

Los sensores de nivel y proximidad son muy usados en aplicaciones como envasados, sistemas de control para monitoreo de llenado, detección de obstáculos en sistemas inteligentes y en algunas configuraciones específicas en sistemas táctiles, para su aplicación en sistemas electrónicos, como teléfonos móviles, pantalla táctil, etc [11].

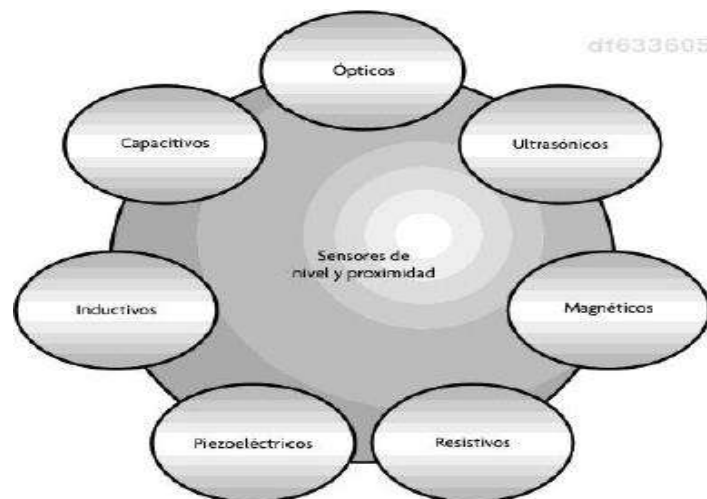


Figura 9: Clasificación de Sensores de nivel y proximidad [11].

4.3. Sensor ultrasónico

En ésta sección se hizo hincapié al estudio, análisis y aplicación de los sensores ultrasónicos, debido a su utilidad y ventajas al trabajar libres de roces mecánicos y que detectan objetos a distancias que van desde pocos centímetros hasta varios metros. El sensor emite un sonido y mide el tiempo que la señal tarda en regresar.

Los sensores ultrasónicos son muy utilizados en sistemas de medición no invasivos para determinar la distancia del emisor a un objeto dado. También puede ser considerado un transceptor, debido a que no solo puede suarse como un transductor de entrada, sino también como una salida. Las principales ventajas de este tipo sensor es que al ser una medición no invasiva, es decir, que no requiere contacto alguno para realizar la medida, la variedad de objetos que es posible medir es muy amplia. Debido a la naturaleza de la señal ultrasónica, es posible realizar mediciones en superficie variada, líquidos y en ambientes hostiles.

La señal ultrasónica se puede generar mediante diferentes técnicas, como eletromanégtica, ópticas, capacitivas y piezoeléctricas; de todas, esta última es una de las mas utilizadas debido a su alta efectividad en comparación con las anteriores.

Un sensor ultrasónico se auxilia del efecto Doppler, ya que un elemento ultrasónico (considerado como emisor) emite una onda ultrasónica, la cual es absorbida en parte y reflejada en parte por el objeto a medir; así, a través de la medición de la atenuación de la onda percibida por el receptor, el tiempo que le toma a esta ser percibida por el receptor, o por la presencia o ausencia de dicha onda en el emisor, es posible obtener característica de la variable física que se desea determinar.

El efecto Doppler consiste en un cambio aparente de frecuencia de la onda sonora respecto al emisor cuando esta es reflejada en un objeto móvil. Este

cambio de frecuencia resulta proporcional a la velocidad relativa del emisor
reflector.

$$f - 2f_e \frac{V}{V_s} \cos \theta = f_c - f_r$$

donde:

f_e : frecuencia emitida

f_r : frecuencia recibida

θ : angulo entre la velocidad y la dirección de propagación

V_s : velocidad de sonido

V : velocidad de objeto o fluido

f : diferencia de frecuencia

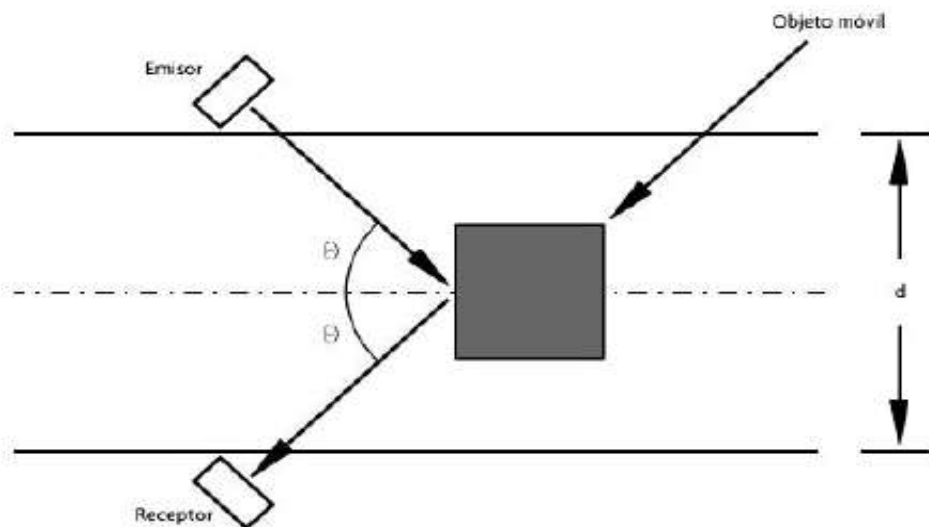


Figura 10: Funcionamiento del sensor ultrasonido.

Si lo que se desea es conocer el tiempo que tarda la onda desde que sale del emisor hasta que llega al receptor, se debe usar la siguiente ecuación:

$$t = \frac{(d/\text{sen}\theta)}{Vs + v \text{cos}\theta}$$

donde:

t : tiempo [s]

d : distancia [m]

Si la posición de los sensores cambia, es decir, si ahora el emisor se considera receptor y el receptor emisor, se debe reemplazar el signo positivo del denominador por un signo negativo.

El corazón de un sensor ultrasónico es un material piezoeléctrico; la onda ultrasónica que emite el material piezoeléctrico se genera por medio de una excitación eléctrica al material (el efecto piezoeléctrico también se presenta de manera inversa; es decir, al aplicar un voltaje el material experimenta una deformación, y como resultado este emite una onda mecánica). Esta onda es emitida por todo el material, lo que significa que no es puntual. Por tanto, los sensores ultrasónicos cuyo elemento piezoeléctrico es de forma redonda se conoce como transductores de fuente pistón, debido a la geometría que presenta el campo sonoro que emite [11].

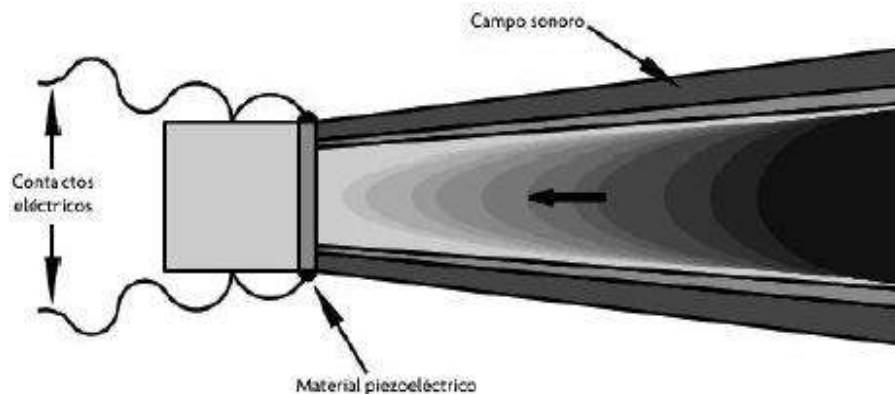


Figura 11: Traductores de fuente pistón [11].

4.3.1. Principio de funcionamiento

El principio de funcionamiento de estos sensores consiste en la emisión de una onda de manera cíclica, la cual es de alta frecuencia y corta duración, además de que propaga en el medio. Al encontrar un objeto a su paso, esta es reflejada y vuelve en forma de eco al receptor.

Detectan objetos a distancias de hasta 8m. El sensor emite impulsos ultrasónicos. Estos reflejan en un objeto, el sensor recibe el eco producido y lo convierte en señales eléctricas, las cuales son elaboradas en el aparato de valoración. Estos sensores trabajan solamente en el aire, y pueden detectar objetos con diferentes formas, superficies y de diferentes materiales. Los materiales pueden ser sólidos, líquidos o polvorientos, sin embargo, han de ser deflectores de sonido. Los sensores trabajan según el tiempo de transcurso del eco, es decir, se valora la distancia temporal entre el impulso de emisión y el impulso del eco.

Este sensor al no necesitar el contacto físico con el objeto ofrece la posibilidad de detectar objetos frágiles, como pintura fresca, además detecta cualquier material, independientemente del color, al mismo alcance, sin ajuste ni factor de corrección [11].

A través de la siguiente ecuación es posible calcular el tiempo que tarda el receptor en percibir la señal reflejada en el objeto a medir:

$$d = \frac{1}{2} v_s t$$

donde:

d : distancia del emisor-receptor al objeto [m]

v_s : velocidad del sonido

t : tiempo transcurrido [s]

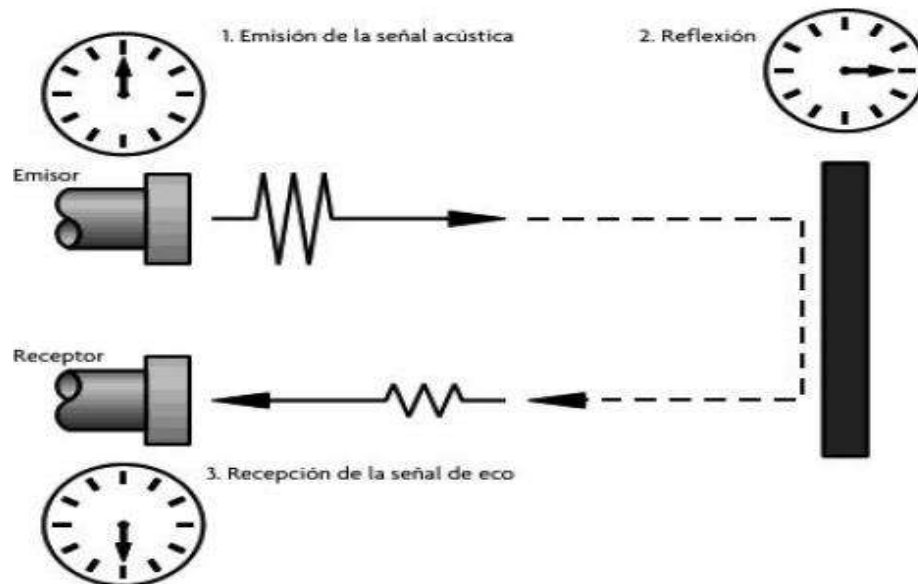


Figura 12: Funcionamiento del emisor y receptor del ultrasonido.

Cuando estos tipos de sensores se basa en la medición del tiempo del recorrido del sonido, por ejemplo para determinar la distancia del objeto el sensor, es difícil que el ruido de fondo influya en la medición; por el contrario, si la medición se basa en la intensidad de la onda que es reflejada, el sistema es sensible al ruido de fondo. Una de las principales ventajas de este tipo de sensor es que todo el material que refleje el sonido puede ser detectado, independientemente del color, la textura o el grosor del objeto. La desventaja es que debido a la velocidad de propagación de la onda ultrasónica, esta depende de la temperatura del ambiente; ante esto, entonces se debe realizar una **compensación** mediante la siguiente ecuación:

$$V_s = V_{s0} \sqrt{1 + \frac{T}{273}}$$

Donde:

V_s : velocidad del sonido [$\frac{m}{s}$]

V_{s0} : velocidad del sonido a 0 °C

T : Temperatura [k]

Un sensor ultrasónico permite medir de entre 20 mm hasta 10 m; no obstante, con un buen acondicionamiento de señal es posible obtener valores con hasta 1 mm de precisión. Para lograr una buena medición es importante tener en cuenta la forma en que se coloca tanto el emisor como el receptor, además de una compensación de temperatura. Por ejemplo, este tipo de sensores se puede colocar frente a frente o uno contiguo al otro.

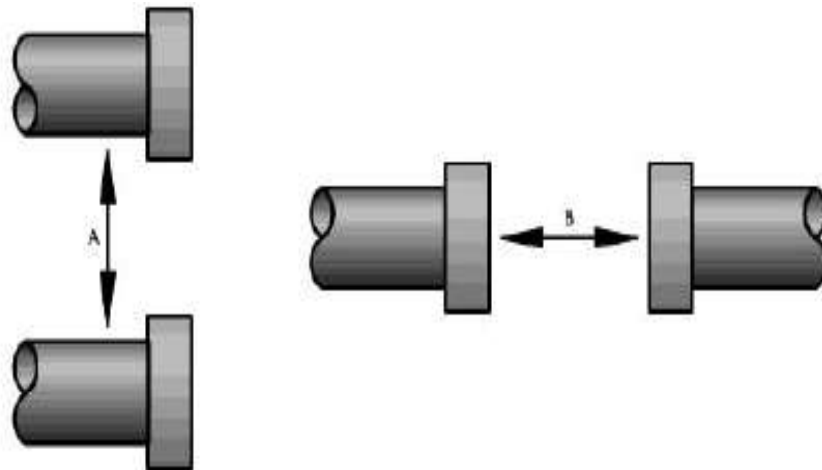


Figura 13: Distancia mínima del emisor y receptor de sensor ultrasonido [11].

Cuando los sensores ultrasónicos se colocan, ya sea de manera contigua o frente a frente, se debe guardar una distancia mínima entre estos, dependiendo de la zona de operación, con el fin de evitar interferencias, lo cual depende de la zona de detección (zona dentro de la cual es posible detectar un objeto), la zona ciega (zona en la cual un objeto no puede ser identificado y que se caracteriza por estar muy proxima al sensor), la zona de exploración funcional

(zona dentro de la cual el sensor opera de manera típica) y la zona de exploración límite (zona en la cual es posible detectar solo objetos que presentan buenas propiedades acústicas).

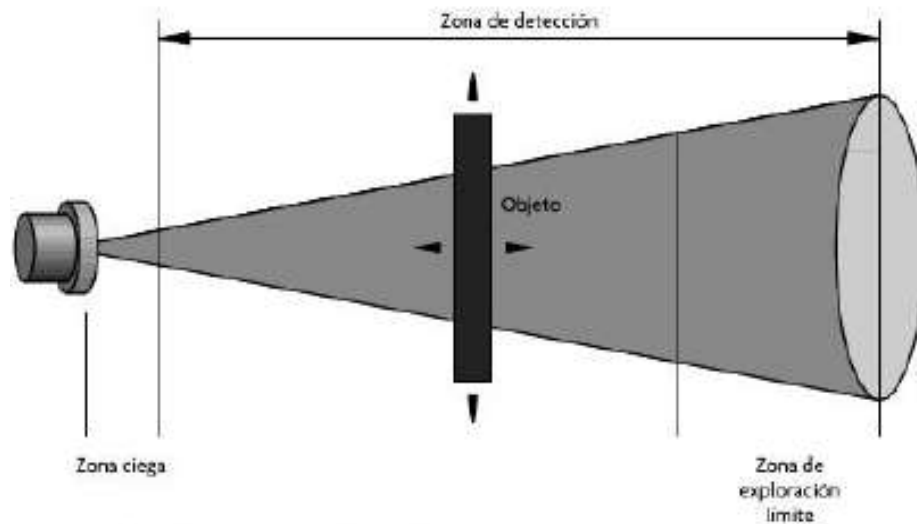


Figura 14: Zona de detección.

4.3.2. Modos de operación de un sensor ultrasónico

Un sensor ultrasónico puede usarse en distintos modos, de acuerdo con el tipo de medición que se desea obtener.

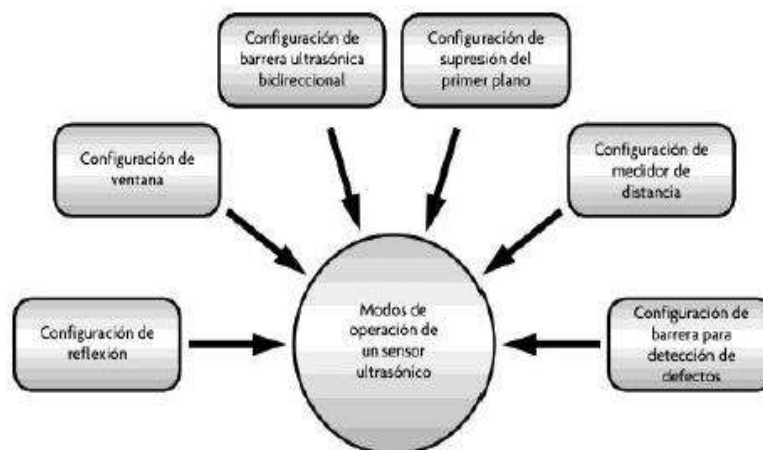


Figura 15: Tipos de operación del sensor ultrasonido.

Configuración de reflexión

Este modo de operación se caracteriza por la similitud a un sensor de presencia convencional (óptico, magnético, etc). Este registra un cambio de estado cuando detecta un objeto dentro de un umbral.

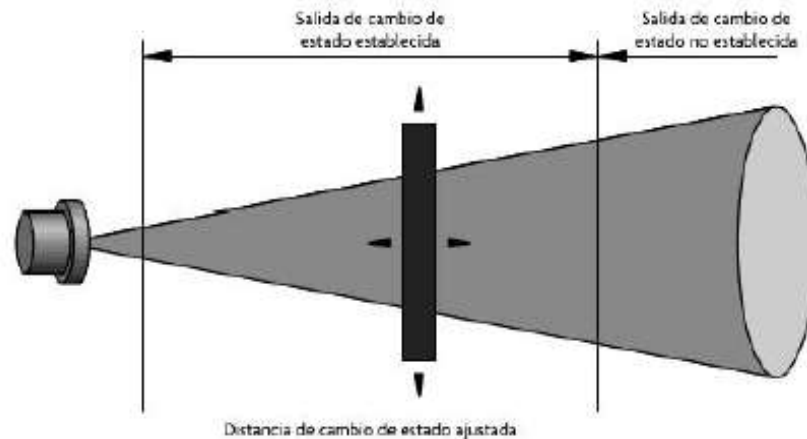


Figura 16: Configuración de reflexión.

Configuración de ventana

Esta se caracteriza por tener un cambio de estado cuando el objeto se halla dentro de una ventana definida por dos límites.

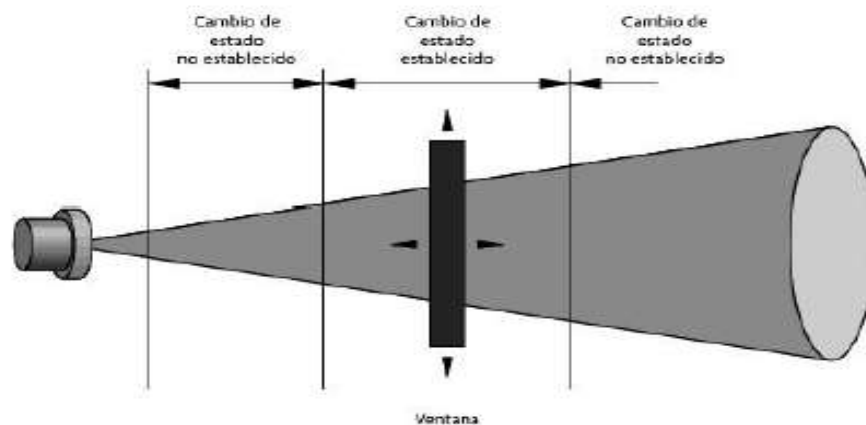


Figura 17: Configuración ventana.

Configuración de barrera ultrasónica bidireccional

El principio de funcionamiento de esta configuración es muy similar a la de ventana; la diferencia radica en que se requiere de un objeto reflector, el cual debe estar dentro de la ventana. Así, al colocar el objeto que se desea detectar, este interrumpe la reflexión proveniente del reflector. Esta configuración se usa para objetos de difícil detección, como materiales espumosos o con superficies muy irregulares.

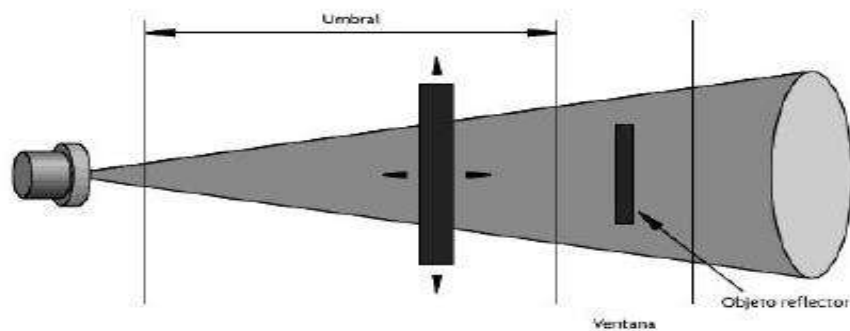


Figura 18: Configuración de barrera bidireccional.

Configuración de supresión de primer plano

Esta configuración se basa, al igual que la de barrera ultrasónica bidireccional, en la configuración de ventana; la diferencia radica en que esta evita medir las esquinas indeseables de los recipientes. Por ejemplo, si se desea medir el nivel de líquido dentro de una botella, la medición podría ser afectada por la detección de la boca de la botella.

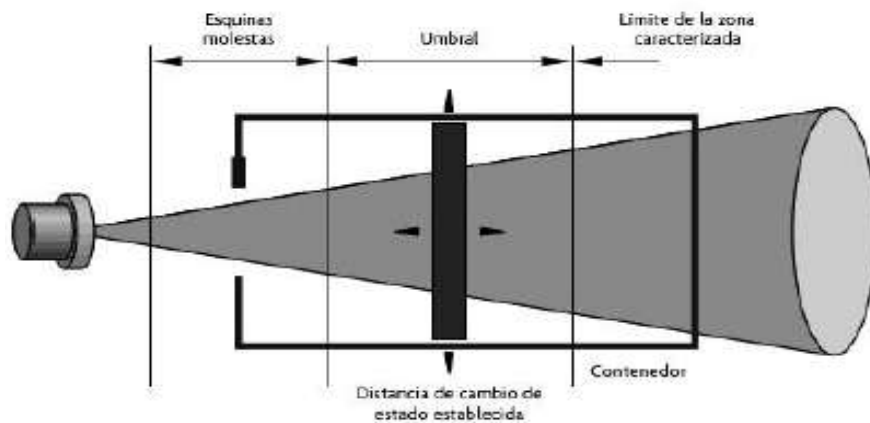


Figura 19: Configuración de supresión de primer plano.

Configuración de medidor de distancia

Esta configuración se caracteriza por permitir medir la distancia del emisor a un objeto, líquido, etc. Para determinar la distancia se debe hacer una caracterización previa dentro de una ventana de trabajo, donde los límites de la ventana deben corresponder a un nivel de voltaje o corriente medidos en el receptor. En general, esta salida es analógica.

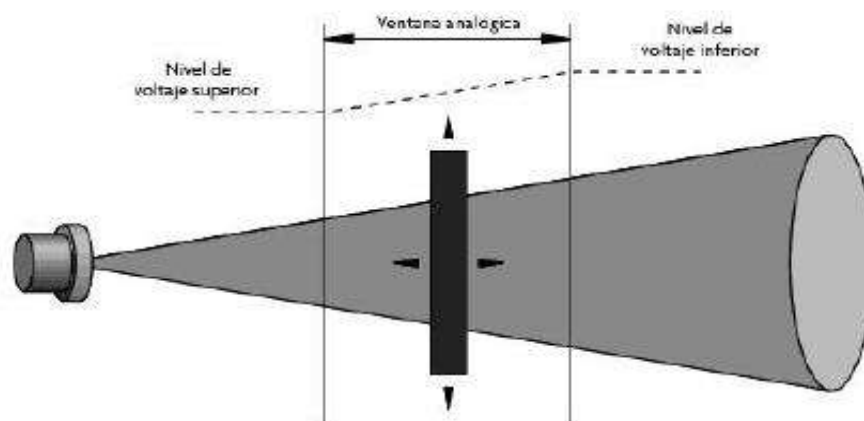


Figura 20: Configuración de medidor de distancia [11].

Configuración de barrera para detección de defecto

Esta configuración se caracteriza por la posición en la que se encuentra el emisor y el receptor, ya que, a diferencia de las anteriores configuraciones, estos se deben posicionar frente a frente. Esta configuración solo sirve para detectar objetos delgados, como hojas, láminas o cartones (estos deben ser delgados y antivibratorios; además, no deben ser aislantes ni absorbentes). Permite detectar cuántas hojas han sido colocado o identificar si alguna tiene defecto [11].

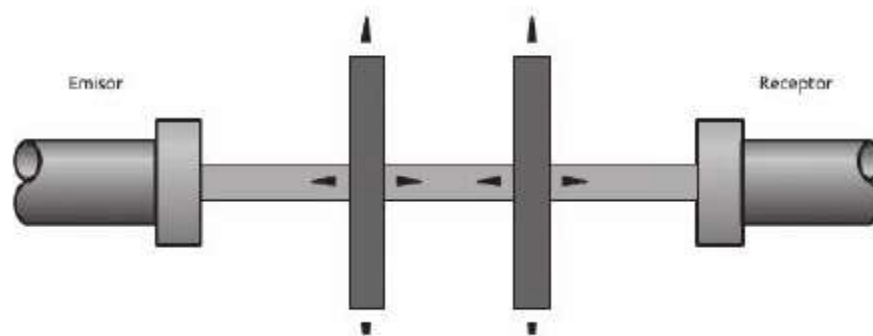


Figura 21: Barrera para detección de defecto.

4.3.3. Inconvenientes del Ultrasonido

El problema que presentan estos dispositivos son las zonas ciegas (blanking) y el problema de las falsas alarmas. La zona ciega es la zona comprendida entre el lado sensible del detector y el alcance mínimo en el que ningún objeto puede detectarse de forma son las zonas ciegas y el problema de las falsas alarmas.

CAPITULO 5

Procesamiento de la información

5.1. Generalidades

En este capítulo se describe el procesamiento de la señal generada por el sensor ultrasónico al detectar un objeto. El procesamiento inicia con una etapa de transmisión de la señal ultrasónica, luego es muestreada mediante un microcontrolador Arduino, es el que cuantifica la intensidad de la señal a partir de las muestras y obtener la comunicación con el usuario.

5.2. Comunicación del sensor ultrasónico HC-SR04 con Arduino

Obviamente el sensor por sí solo no sirve de mucho, necesitamos algún microcontrolador para leer los datos que nos entrega, en nuestro caso se utilizó el Arduino. Su infinidad de librerías y contenido disponible en la web nos facilita muchísimo el trabajo y nos acorta los tiempos de desarrollo.

¿Que nos entrega el sensor HC-SR04?

Nos entrega tiempo, el sensor **hc-sr04** cuenta el tiempo que transcurre entre la **emisión** y la **recepción** de la señal ultrasónica, claramente podemos deducir que el tiempo es dependiente de la distancia, la señal tardara más en ir y volver si el objeto está lejos que si está cerca.

Recordando algunas ecuaciones básicas de física sabemos que $d = v \cdot t$ (la distancia recorrida es igual a la velocidad del objeto en movimiento por el tiempo que transcurre en llegar). La velocidad del sonido, aproximadamente es 340 m/s.

Si el sensor **hc-sr04** nos entrega una lectura de 1,47 mili segundos y aplicamos la formula anterior nos queda $d = 340 \times 1,47 = 341$ milímetros, pero como este

tiempo es el de ida y vuelta, la distancia real al objeto será la mitad, por eso es que dividimos el resultado por dos, lo que nos da un resultado final de 170 milímetros (17 centímetros).

Diagrama de conexión

El sensor tiene 4 pines, uno es VCC otro GND un pin de trigger donde enviamos un pulso al sensor para inicializarlo y de alguna manera decirle (comenzar a enviar información) y otro pin más Echo donde nos viene el resultado final a la placa de Arduino.

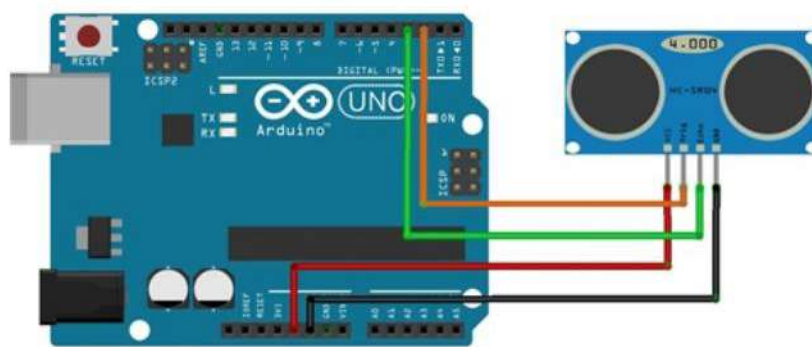


Figura 22: Diagrama conexión del sensor ultrasonido con Arduino.

Código Arduino

Primero configuramos los pines y la comunicación serial a 9600 baudios

```
const int Trigger = 2; //Pin digital 2 para el Trigger del sensor
const int Echo = 3; //Pin digital 3 para el echo del sensor

void setup() {
  Serial.begin(9600); //inicializamos la comunicación
  pinMode(Trigger, OUTPUT); //pin como salida
  pinMode(Echo, INPUT); //pin como entrada
  digitalWrite(Trigger, LOW); //Inicializamos el pin con 0
}
```

Ahora en el bucle void loop() empezamos enviando un pulso de 10us al Trigger del sensor

```
digitalWrite(Triigger, HIGH);  
delayMicroseconds(10); //Enviamos un pulso de 10us  
digitalWrite(Triigger, LOW);
```

Seguidamente recibimos el pulso de respuesta del sensor por el pin Echo, para medir el pulso usamos la función pulseIn (*pin, value*)

```
t = pulseIn(Echo, HIGH); //obtenemos el ancho del pulso
```

La variable t, tiene el tiempo que dura en llegar el eco del ultrasonido, el siguiente paso es calcular la distancia entre el sensor ultrasónico y el objeto

Partimos de la siguiente formula:

$$\text{Velocidad} = \frac{\text{distancia recorrida}}{\text{tiempo}}$$

Donde Velocidad es la velocidad del sonido 340m/s, pero usaremos las unidades en cm/us pues trabajaremos en centímetros y microsegundos, tiempo es el tiempo que demora en llegar el ultrasonido al objeto y regresar al sensor, y la distancia recorrida es dos veces la distancia hacia el objeto, reemplazando en la formula tenemos:

$$\frac{340m}{s} \times \frac{1s}{1000000us} \times \frac{100cm}{1m} = \frac{2d}{t}$$
$$d(cm) = \frac{t(us)}{59}$$

Finalmente enviamos serialmente el valor de la distancia y terminamos poniendo una pausa de 100ms, que es superior a los 60ms recomendado por los datos técnicos del sensor

A continuación, se muestra el código completo del programa.

```
const int Trigger = 2; //Pin digital 2 para el Trigger del sensor
const int Echo = 3; //Pin digital 3 para el Echo del sensor

void setup() {
  Serial.begin(9600); //inicializamos la comunicación
  pinMode(Trigger, OUTPUT); //pin como salida
  pinMode(Echo, INPUT); //pin como entrada
  digitalWrite(Trigger, LOW); //Inicializamos el pin con 0
}

void loop()
{
  long t; //timepo que demora en llegar el eco
  long d; //distancia en centimetros

  digitalWrite(Trigger, HIGH);
  delayMicroseconds(10); //Enviamos un pulso de 10us
  digitalWrite(Trigger, LOW);

  t = pulseIn(Echo, HIGH); //obtenemos el ancho del pulso
  d = t/59; //escalamos el tiempo a una distancia en cm

  Serial.print("Distancia: ");
  Serial.print(d); //Enviamos serialmente el valor de la distancia
  Serial.print("cm");
  Serial.println();
  delay(100); //Hacemos una pausa de 100ms
}
```

5.3. Placa Arduino

Una vez que la señal ultrasónica ha sido generada por el sensor, se debe realizar la comunicación con el controlador, ahí entra en acción la Placa Arduino quien realiza el procesamiento correspondiente. El microcontrolador es una placa Arduino UNO. En la Figura 7.6 se muestra una vista frontal y reverso de la misma.



Figura 23: Vista frontal y reverso del Arduino UNO.

5.3.1. Por que Arduino

Hay muchos otros Microcontroladores y plataformas microcontroladoras disponibles en el mercado para computación física. Parallax Basic Stamp, Netmedia's BX-24, Phidgets, MIT's Handyboard, Rasberry Pi y muchas más otras ofertas de funcionalidad similar. Todas estas herramientas toman los desordenados detalles de la programación de microcontrolador y la encierran en un paquete fácil de usar, Arduino también simplifica el proceso de trabajo con Microcontroladores, pero ofrece mayores ventajas para profesores, estudiantes y aficionados interesados en otros sistemas.

Las ventajas son:

- **Barato:** las placas Arduino son relativamente baratas comparado con otras plataformas microcontroladoras.
- **Multiplataforma:** el software de Arduino se ejecuta en sistemas operativos Windows, Macintosh OSX GNU/Linux. La mayoría de los sistemas Microcontroladores están limitados a Windows.
- **Entorno de programación simple y clara:** el entorno de programación de Arduino es fácil de usar para principiantes, pero suficientemente flexible para que usuarios avanzados puedan aprovecharlo también. Para profesores, está convenientemente basado en el entorno de programación Processing, de manera que estudiantes aprendiendo a programar en éste entorno estarán familiarizados con el aspecto e imagen de Arduino.

- **Código abierto y Software extensible:** el software de Arduino está publicado con herramientas de código abierto, disponibles con extensiones por programadores experimentados. El lenguaje puede ser expandido mediante librerías C++, y la gente que quiera entender los detalles técnicos pueden hacer el salto desde Arduino a la programación en lenguaje AVR C en el cual está basado, de forma similar, puedes añadir el código AVR C directamente al entorno de programación Arduino.
- **Código abierto y Hardware extensible:** el Arduino está basado en Microcontroladores ATMEGA8, ATMEGA168 y ATMEGA328P de Atmel, los planos para los módulos están publicados bajo la licencia Creative Commons, por lo que diseñadores experimentados de circuitos pueden hacer su propia versión del módulo, extendiéndolo y mejorándolo, incluso usuarios relativamente inexpertos pueden construir la versión de la placa del módulo para entender cómo funciona y ahorra costos [12].

5.3.2. Características del Arduino

En la Tabla 5.3.2 se resume las características generales de la placa Arduino utilizada:

Microcontrolador	ATmega328p
Voltaje de Operación	5V
Voltaje de Alimentación	6 a 20V
Pines Digitales de E/S	14 (6 proveen salidas tipo PWM)
Pines Analógicas de Entrada	6 (A0 a A5)
Corriente Máxima por cada Pin de E/S	40mA (50mA para el pin de 3.3V)
Corriente Máxima total por Pines E/S	200mA
Memoria FLASH	32kB (0.5kB para el bootloader)
Memoria SRAM	2kB
Memoria EEPROM	1kB
Velocidad de Reloj	16MHz

Tabla 2: Características generales del Arduino UNO R3.

5.3.3. Código Arduino

El microcontrolador en la placa Arduino se programa mediante un lenguaje basado en Wiring, mientras que el entorno de desarrollo, en Processing [13], la inteligencia de Arduino se expresa mediante su lenguaje de programación. El código se compone de dos grandes partes:

- **Setup ():** la función `setup()` se ejecuta una sola vez cuando el programa empieza, se utiliza para inicializar los modos de trabajo de los pines, o el puerto serial. Debe ser incluido en el programa, aunque no haya declaración que ejecutar.

void setup()

```
{  
  pinMode(pin,OUTPUT); //configura el "pin" como salida  
}
```

- **Loop ():** después de llamar a `setup()`, la función `loop()` hace precisamente lo que sugiere su nombre, se ejecuta de forma cíclica, lo que posibilita que el programa esté respondiendo continuamente a los eventos que se produzcan en la placa .

void loop()

```
{  
  digitalWrite(pin,HIGH); //pone en uno (on, 5V) el "pin"  
  delay(1000); //espera un segundo (1000ms)  
  digitalWrite(pin,LOW); //pone en cero (off, 0V) el "pin"  
  delay(1000);  
}
```

Funciones

Arduino provee varias funciones predefinidas que facilitan la implementación de la tarea deseada. Algunas se describen a continuación:

- **pinMode(x,modo):** configura el pin digital x para comportarse como entrada (INPUT) o salida (OUTPUT). Los pines analógicos A0 a A5 son siempre de entrada.
- **digitalWrite(x,valor):** asigna el valor HIGH(5V) o LOW(0V) al pin digital x.
- **digitalRead(x):** lee el estado del pin digital x.

- **analogReference(ref):** fija el voltaje de referencia utilizado para la conversión analógico-digital (AD). Los posibles valores son: DEFAULT (5V), INTERNAL (1.1V), EXTERNAL (utiliza el voltaje conectado al pin *AREF* de la placa).
- **analogWrite(x,ciclo):** para los pines del tipo PWM, fija el ciclo de trabajo de la señal PWM del pin x. El ciclo de trabajo tiene una resolución de 8 bits (valores de 0 a 255).
- **delay(t):** permite esperar un tiempo t expresado en milisegundos, se debe usar con precaución ya que bloquea las interrupciones que se puedan originar durante su ejecución [7]

Figura 7.7 muestra un ejemplo de un programa sencillo que enciende y apaga el LED ubicado entre el pin 13 y GND de la placa Arduino.



```
LED Arduino 1.8.9 (Windows Store 1.8.21.0)
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda
LED
int pin=3;
void setup() {
  Serial.begin(9600);
  pinMode(pin, OUTPUT);
}

void loop() {
  digitalWrite(pin, HIGH);
  delay(500);
  digitalWrite(pin, LOW);
  delay(500);
}
1 Arduino/Genuino Uno en COM8
```

Figura 24: Ejemplo de uso de las funciones del Arduino.

Estructuras de Control

Además de las funciones mencionadas, se dispone de estructuras de control clásicas como pueden ser: if, while, for, do/while y switch/case. Estas estructuras se muestran a continuación:

- **if (si):**

```
if(unaVariable==valor)//si "unaVariable" es igual a valor
```

```
{
```

```
    Ejecuta las instrucciones;// se ejecuta si cumple la condición
```

```
}
```

- **if else (si...sino..):**

```
if (inputPin==HIGH)//si el valor de la entrada inputPin es alto
```

```
{
```

```
    instruccionesA; //ejecuta si se cumple la condición
```

```
}
```

```
else
```

```
{
```

```
    instruccionesB;//ejecuta si no se cumple la primera condición
```

```
}
```

- **else if**

```
if (inputPin<500)
```

```
{
```

```
    instruccionesA;//ejecuta las operaciones A
```

```
}
```

```
else if (inputPin>=1000)
```

```
{
```

```
    instruccionesB;//ejecuta las operaciones B
```

```
}
```

```
else
```

```
{  
  instruccionesC;//ejecuta las operaciones C  
}
```

• **for**

for (int i=0; i<20; i++) //declara i, prueba que es menor a 20, incrementa i en 1

```
{  
  digitalWrite(13,HIGH);// envía un 1 al pin 13  
  delay(250);//espera ¼ segundo  
  digitalWrite(13,LOW);//pone en cero al pin 13  
  delay(250); //espera ¼ segundo  
}
```

• **while**

```
while (unaVariable<200 )//testea si unaVariable es menor que 200  
{  
  instrucciones;//ejecuta las instrucciones entre llaves  
  unaVriable++;//incrementa la variable en 1  
}
```

• **do while**

```
do  
{  
  X=leesensor();  
  delay(50);  
}  
While (x<100);
```

Variables y Constantes

Antes de poder utilizar una variable, primeramente, hay que declararla. Esto implica definir el tipo de dicha variable, en la Tabla 7.2 se observa las características de los distintos tipos de variables que se pueden emplear.

Tipos de Variables	Rango de Valores	Memoria Utilizada
boolean	0 o 1 (verdadero o falso)	8 bits
char	-128 a 127	8 bits
Byte	0 a 255	8 bits
int	-32768 a 32767	16 bits
unsigned int	0 a 65535	16 bits
long	$\approx -2.14 \times 10^9$ a $\approx 2.14 \times 10^9$	32 bits
unsigned long	0 a $\approx 4.29 \times 10^9$	32 bits
float	$\approx -3.40 \times 10^{38}$ a $\approx 3.40 \times 10^{38}$	32 bits
double	Equivale al tipo float en A.UN	

Tabla 3: Tipos de Variables

El tipo de variable float es el único que permite trabajar con valores numéricos no enteros, es decir, con decimales. Si bien, el uso de variables del tipo float permite mayor exactitud, requiere más tiempo de cálculo por parte del procesador.

5.3.4. Comunicación con la PC

Durante la ejecución de un programa, es posible intercambiar datos entre el Arduino y la PC mediante la conexión USB entre ambos. Esto resulta útil para depurar el código y realizar el intercambio de datos, se establece una comunicación serie mediante los pines 0 (RX) y 1 (TX). El software de Arduino provee un "Monitor Serie" para la visualización de los datos de la comunicación. En el código, lo primero que se debe de hacer es establecer la conexión en la sección del setup(), para esto se utiliza la función "Serial.begin(baudios)", donde baudios es la tasa de transmisión de datos, usualmente 9600 bps. Posteriormente los datos se intercambian en la sección loop() mediante los siguientes comandos [7]:

- **Serial.print(valor, formato):** envía el dato "valor" desde el Arduino a la PC. El formato define la base utilizada para representarlo, por ejemplo, para números en base 10 se utiliza formato=DEC.
- **Serial.println(valor, formato):** similar al comando anterior pero además envía un carácter de nueva línea.

- **Serial.read():** lee un byte proveniente de la PC a través de la comunicación serial.

5.3.5. Aplicaciones del Arduino

- **Xoscillo:** Osciloscopio de código abierto
- **Equipo científico para investigaciones**
- **Arduinome:** Un dispositivo controlador MIDI
- **OBduino:** un económetro que usa una interfaz de diagnóstico a bordo que se halla en los automóviles modernos
- **SCA-ino:** Sistema de cómputo automotriz capaz de monitorear sensores como el TPS, el MAP y el O2S y controlar actuadores automotrices como la bobina de ignición, la válvula IAC y aceleradores electrónicos
- **Humane Reader:** dispositivo electrónico de bajo coste con salida de señal de TV que puede manejar una biblioteca de 5000 títulos en una tarjeta microSD
- **The Humane PC:** equipo que usa un módulo Arduino para emular un computador personal, con un monitor de televisión y un teclado para computadora
- **Ardupilot:** software y hardware de aeronaves no tripuladas
- **ArduinoPhone:** un teléfono móvil construido sobre un módulo Arduino
- **Máquinas de control numérico por computadora (CNC)**
- **Open Theremín Uno:** Versión digital de hardware libre del instrumento Theremín
- **Impresoras 3D**
- **Ambilight:** sistema de retroiluminación led imitando el sistema de los televisores Philips

5.3.6. Interfaces de programación del Arduino

Es posible comunicar una aplicación que corra sobre Arduino con otros dispositivos que corran otros lenguajes de programación y aplicaciones populares,³¹ debido a que Arduino usa la transmisión serial de datos, la cual es soportada por la mayoría de los lenguajes que se mencionan a continuación. Y para los que no soportan el formato serie de forma nativa, es posible utilizar software intermediario que traduzca los mensajes enviados por ambas partes para permitir una comunicación fluida. Algunos ejemplos de lenguajes son:

- **C++ (mediante libSerial o en Windows)**
- **Java**
- **Matlab**
- **MaxMSP:** Entorno gráfico de programación para aplicaciones musicales, de audio y multimedia
- **Php**
- **Liberlab** (software de medición y experimentación).

5.4. Nano Arduino

El Arduino Nano es una pequeña, pero poderosa tarjeta basada en el ATmega328. Posee las mismas funcionalidades que un Arduino UNO, solo que en un tamaño reducido. Para programarla solo se necesita de un cable Mini USB. El Arduino Nano puede ser alimentado usando el cable USB MiniB, con una fuente externa no regulada de 6-20V (pin 30), o con una fuente externa regulada de 5V (pin 27). La fuente de alimentación es seleccionada automáticamente a aquella con mayor tensión. El chip FTDI FT232RL que posee el Nano solo es alimentado si la placa está siendo alimentada usando el cable USB. Cuando se utiliza una fuente externa (no USB), la salida de 3.3V (la cual es proporcionada por el chip FTDI) no está disponible y los pines 1 y 0 parpadearán si los pines digitales 0 o 1 están a nivel alto.

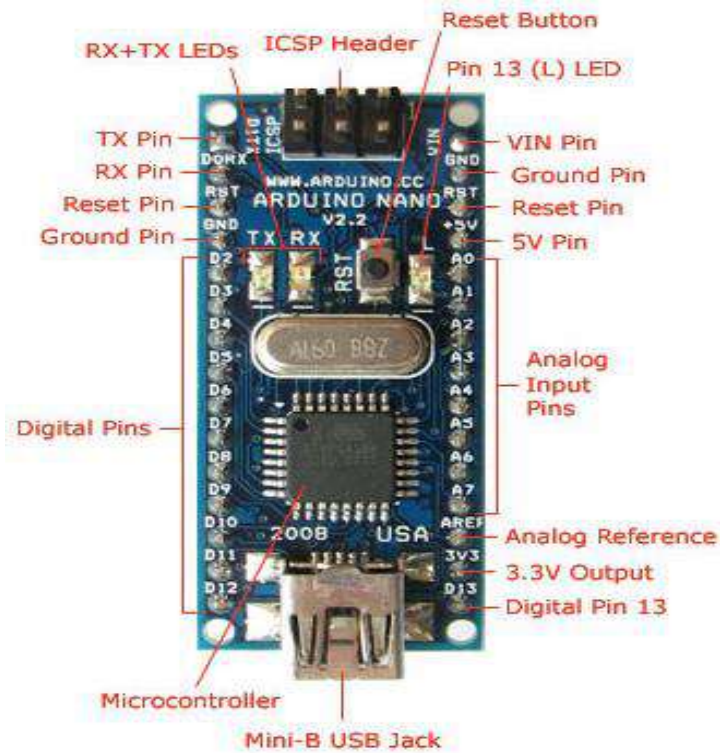


Figura 25: Vista Frontal del Arduino Nano.

CAPITULO 6

Sistema de comunicación y algoritmo de control

6.1. Generalidades

En éste capítulo se analizaron los tipos de comunicación en el prototipo para enviar la información al usuario, el primero es a través de un módulo bluetooth generando una conexión inalámbrica al cual está conectado un auricular bluetooth quien recibe la información en forma de alerta de voz, el segundo es mediante el tacto con la ayuda de dos mini motores vibradores los dos trabajan dependiendo del Arduino y de los obstáculos detectado por el sensor ultrasónico. A continuación, se describe las características generales y el control mediante un algoritmo de control con el Arduino UNO una vez ya procesada la señal ultrasónica.

6.2. Motor vibrador DC

Este pequeño motor de corriente continua produce vibraciones al girar un eje excéntrico en más de 10.000 RPM cuando se alimenta a 3 V. Los motores de este tipo se encuentran comúnmente en los teléfonos celulares y otros dispositivos que utilizan la vibración para una respuesta táctil, su pequeño tamaño (11,6 × 4,6 × 4,8 mm) y peso ligero (0,8 g) hacen que sea fácil de integrar en sistemas con restricciones de espacio reducidos. El motor vibrador es el encargado de ofrecer la información enviado de prototipo al usuario y su forma física es posible de apreciar en la Figura 26 [14].

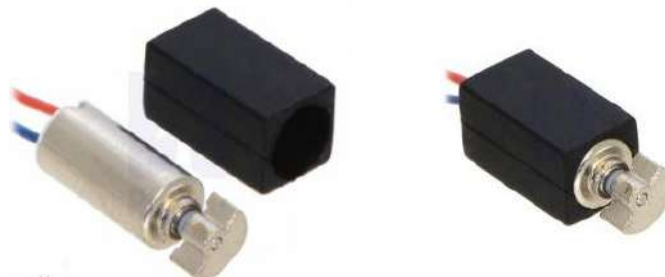


Figura 26: Motor vibrador [14].

El motor tiene 1,5 " y está encerrado en un manguito de caucho extraíble que le da superficies planas para el montaje y evita que castañetearan contra lo que se monta. Está destinado para el funcionamiento alrededor de 3 V (2,4 V a 3,5 V recomendado), y la polaridad no es importante (el motor puede funcionar CW o CCW) [14].

Dimensiones

- Tamaño: 11,6 x 4,6 x 4,8 mm 1
- Peso: 0,8 g2

Especificaciones generales

- FUNC.LIBRE velocidad 3V: 12500 rpm
- sin corriente ejecutar 3V: 65 mA
- Estancar actual 3V: 100 mA
- Voltaje: 3 V

Para controlar un motor dc se debe aplicar un pulso de duración y frecuencia específicas. Este pequeño componente tiene un mini motor que, al momento de ser conectado, causa un efecto vibratorio.

Es muy fácil de usar se alimenta con un voltaje de 2 a 5 V puedes hacerlo con unas baterías, el cable rojo del motor vibrador es positivo y el cable negro es negativo, entre mayor sea el voltaje de alimentación el consumo de corriente será más alto, así como también la velocidad de vibración. También se puede usar con Arduino o cualquier otro microcontrolador. Si se desea reducir la corriente de drenaje (por ejemplo, para controlar directamente de un pin de Arduino) lleva una resistencia 100 a 1000 Ohms en serie. Para el control de potencia completa, un pequeño transistor PN2222 puede controlar este motor con facilidad.

6.3. Mecanismo de control con Arduino

En esta sección se describe la forma de control y los algoritmos utilizados para el control de un motor dc con Arduino

6.3.1. Motores y Arduino

Un pin de Arduino solo puede tener valores de 0 y 5 voltios y dar hasta 40 mA de corriente. Esto es insuficiente para mover casi cualquier motor del tipo que sea, por lo tanto, si queremos que Arduino maneje un motor, deberemos usar un driver.

Un motor driver es un amplificador de corriente cuya función es tomar una pequeña señal de control de baja corriente y convertirla en una señal de alta corriente que pueda alimentar el motor. Hay muchos tipos de motor drivers en función del motor a manejar, máximo voltaje, máxima corriente de salida, etc...

Motor DC

Un motor de corriente continua convierte la energía eléctrica en mecánica. Se compone de dos partes: el estator y el rotor. El estator es la parte mecánica del motor donde están los polos del imán. El rotor es la parte móvil del motor con devanado y un núcleo, al que llega la corriente a través de las escobillas. Si queremos cambiar el sentido de giro del rotor, tenemos que cambiar el sentido de la corriente que le proporcionamos al rotor, es decir, basta con invertir la polaridad de la pila o batería

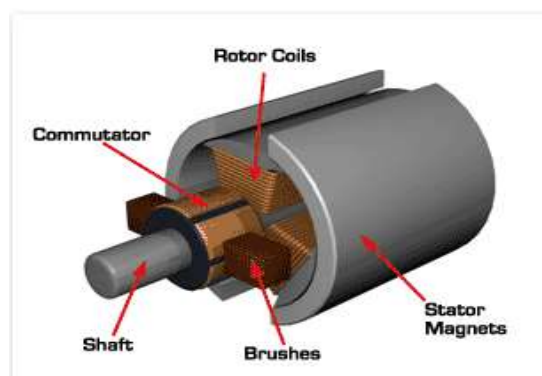


Figura 27: Motor DC

Para controlar un motor DC desde Arduino, tendremos que usar un driver de motores para proporcionar más corriente al motor ya que las salidas del Arduino sólo dan hasta 40mA y más voltaje porque este tipo de motores suelen ser de 6V o más. El driver debemos alimentarlo con una fuente de alimentación externa con el voltaje y corriente eléctrica suficiente para mover el motor.

O utilizar un transistor como el 2N2222 para alimentarlo. Y usaremos uno de los pines de Arduino para gobernar este transistor.

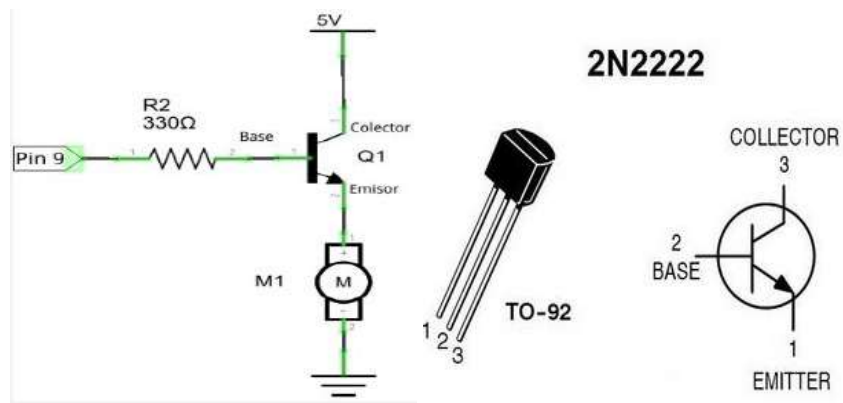


Figura 28: Transistor NPN 2N2222.

Esquema de conexión del transistor

Para comprobar que el motor funciona, se carga este pequeño programa, que simplemente varia la tensión que ponemos en el pin 9 para modificar la velocidad de giro del motor:

```
const int control = 9 ;

void setup()
{  pinMode(control, OUTPUT) ; }

void loop()
{
  for ( int n = 0 ; n < 255 ; n++)
  {
    analogWrite (control, n) ;
    delay(15) ;
  }
}
```

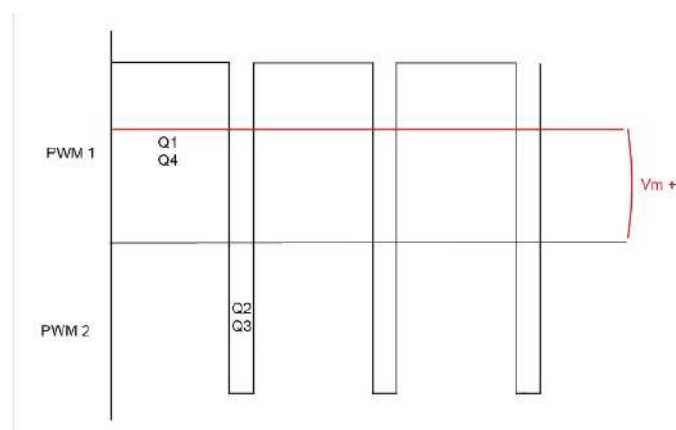
Simplemente pone un valor analógico en el pin 9. Podemos controlar la velocidad del motor variando la intensidad de tensión que ponemos en la base del transistor, ya que esta regula la resistencia que el transistor presenta entre emisor y colector.

A 0V el transistor entra en **corte** (Resistencia infinita) y a 5V está en **saturación**, con lo que presenta resistencia nula

6.3.2. Driver L293D

El L293D es un integrado para controlar motores DC que usa doble puente en H. Es un sistema para controlar el sentido de giro de un motor DC usando cuatro transistores y también para variar la velocidad del motor. En la imagen vemos que los transistores se comportan como interruptores y dependiendo que transistores conducen y cuáles no cambia la polarización del motor y con esto el sentido de giro.

El L293D tiene dos puentes H y proporciona 600mA al motor y soporta un voltaje entre 4,5V y 36V. Para controlar la velocidad del motor se usa la técnica de PWM. Sabemos que hay que atacar los pines 2 y 7 del L293D desde dos salidas del Arduino. En estas dos salidas habrá un PWM a cada una. Pero tenemos que invertir un PWM. ¿Qué quiere decir invertir? Pues que cuando en un PWM tengamos un pulso a un valor alto, en el otro PWM el mismo pulso sea valor bajo. En la imagen lo entenderemos de una manera más gráfica.



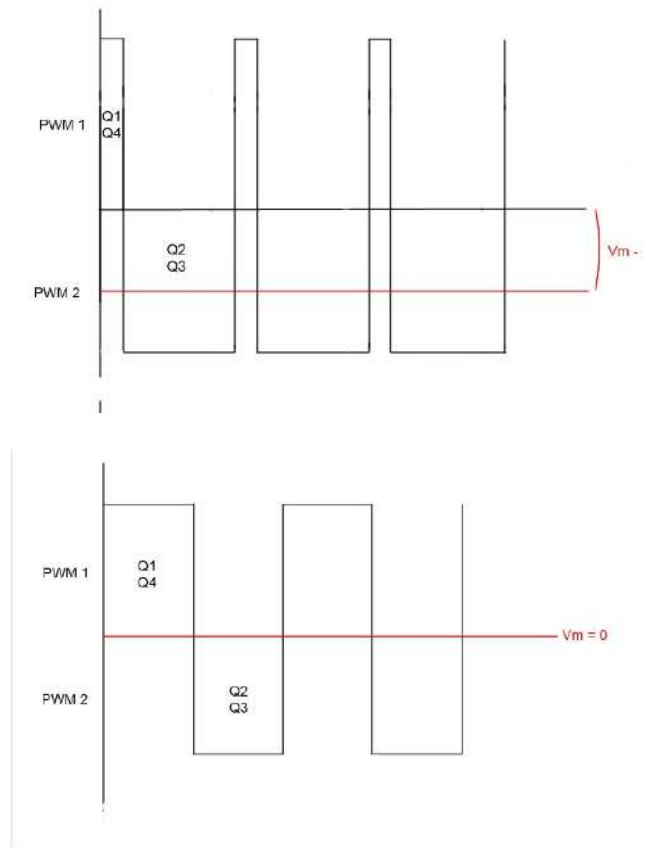


Figura 29: Pulsos de operación del Driver L293D.

Montaje:

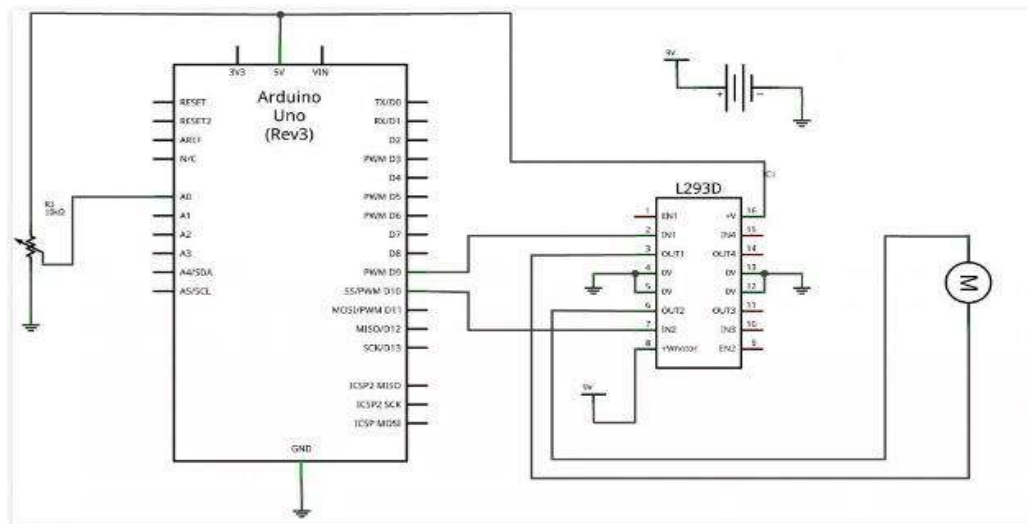


Figura 30: Esquema de conexión del Driver L293D con Arduino.

6.3.3. Driver L298

Otro driver de motor muy utilizado es el L298, que es el utilizado por el Arduino motor shield. Este driver es similar en funcionamiento al anterior, pero posee un sensor de corriente muy útil y puede manejar corrientes más grandes que el L293D.

Montaje:

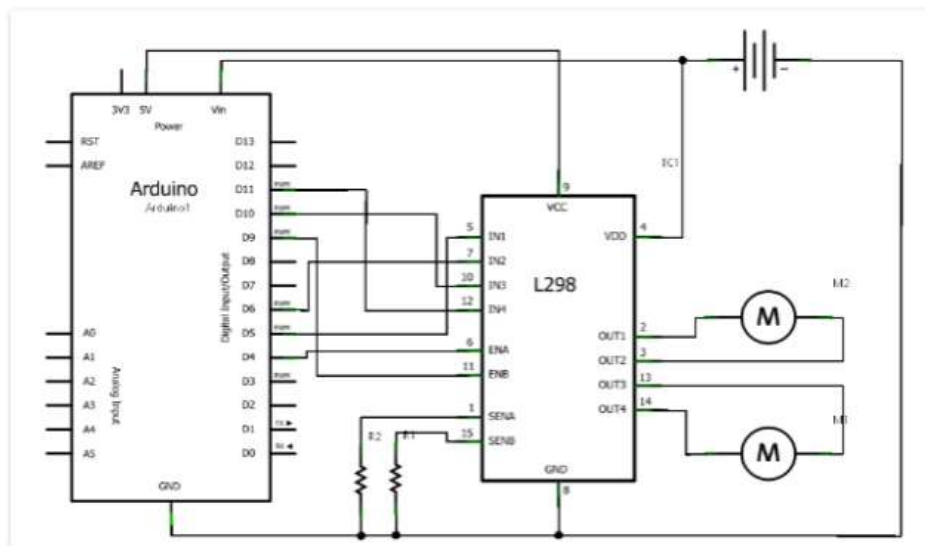


Figura 31: Montaje del Driver L298 .

Esquema de conexión:

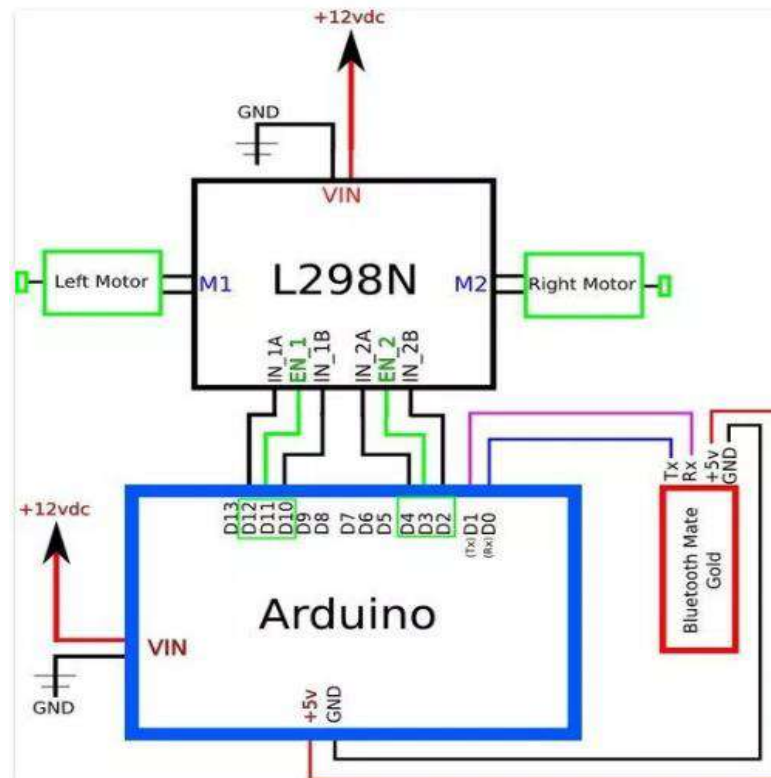


Figura 32: Esquema de conexión del L298 con Arduino.

6.4. Modulo bluetooth

6.4.1. Introducción

Bluetooth es una especificación industrial para Redes Inalámbricas de Área Personal (WPAN) que posibilita la transmisión de voz y datos entre diferentes dispositivos mediante un enlace por radiofrecuencia en la banda ISM de los 2.4 GHz. Los principales objetivos que se pretenden conseguir con esta norma son:

- Facilitar las comunicaciones entre equipos móviles.
- Eliminar los cables y conectores entre estos.
- Ofrecer la posibilidad de crear pequeñas redes inalámbricas y facilitar la sincronización de datos entre equipos personales.

Se denomina Bluetooth al protocolo de comunicaciones diseñado especialmente para dispositivos de bajo consumo, que requieren corto alcance de emisión y basados en transceptores de bajo costo. Con el tiempo han ido apareciendo módulos como los que conocemos que soportan el protocolo Bluetooth V4.0 o Low Energy al alcance de todos los bolsillos y los fabricantes chinos han empezado a suministrarlos de forma accesible, tales como los modelos HC-08 y HC-10.

El nuevo Bluetooth 4.0 es un nuevo protocolo diseñado pensando en disminuir todo lo posible las necesidades de energía de los dispositivos que lo usan, y de sobre todo de la propia comunicación que tradicionalmente ha sido de consumo insaciable. Se le suele llamar también BLE por Bluetooth Low Energy, o simplemente Bluetooth LE.

Mejora bastante el consumo previo, pero la distancia también disminuye.

6.4.2. Bluetooth con Arduino

Para dotar de comunicación bluetooth con Arduino podemos hacerlo de varias formas:

- Módulo bluetooth externo
- Módulo HC-05 o HC-06
- Módulo Bluetooth 4.0 HC-08 y HC-09
- Módulo sparkfun
- Módulo integrado en placa como el Arduino bt o BQ Zum Core [https](https://www.sparkfun.com/products/11822) que permiten su programación mediante OTA
- Microcontrolador con Bluetooth integrado como el Arduino 101
- Shield Bluetooth
- Arduino wireless programmer

Los módulos más frecuentes en el mercado son los módulos HC-06 y HC-05 que son muy económicos y están disponibles independientes o en modo SHIELD y para zocalo XBEE.

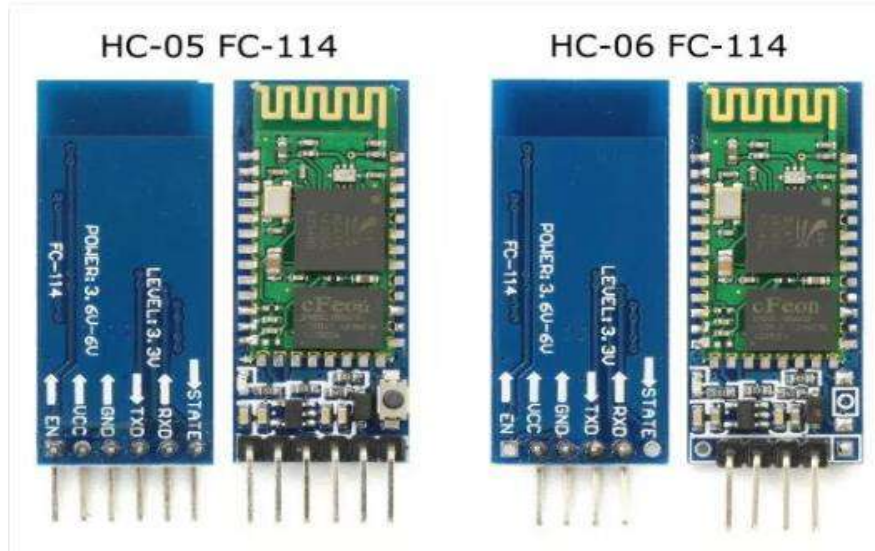


Figura 33: Módulos bluetooth HC-05 y HC-06.

Como el módulo bluetooth es básicamente un nodo BT conectado a un interface serie, se puede conectar los pines RX y Tx a los equivalentes de Arduino en los pines 0 y 1 digitales, sin más que cruzarlos (BT Tx a Arduino Rx y BT Rx a Arduino Tx). El módulo HC-05, que puede configurarse tanto como Master que, como Slave, y que además dispone de bastante más parámetros de configuración y capacidades de interrogación.

Mientras que el HC-06 entra en modo de programación en cuanto lo enciendes y mientras no haya nadie conectado por Bluetooth, el HC-05 es ligeramente más complicado de colocar en modo comandos y requiere una cierta manera de arrancado, concretamente requiere que el pin KEY, (que no estaba conectado el caso del HC-06) esté en HIGH cuando encendemos el módulo.

Conexión a Arduino

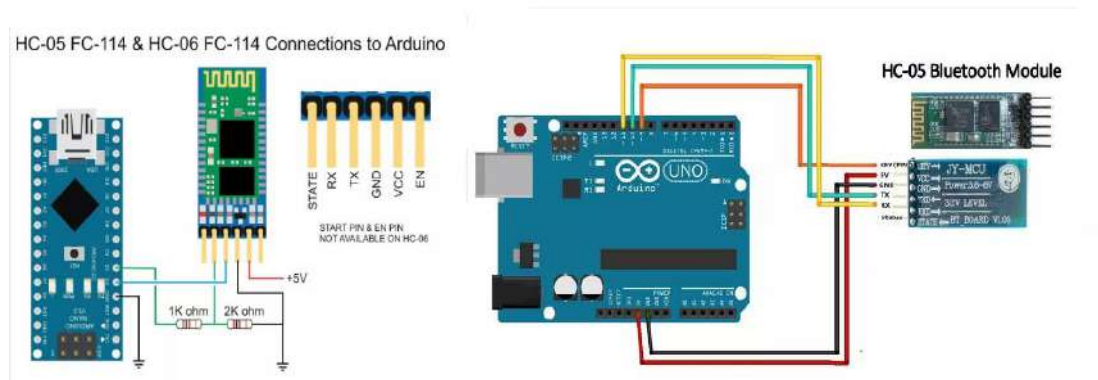
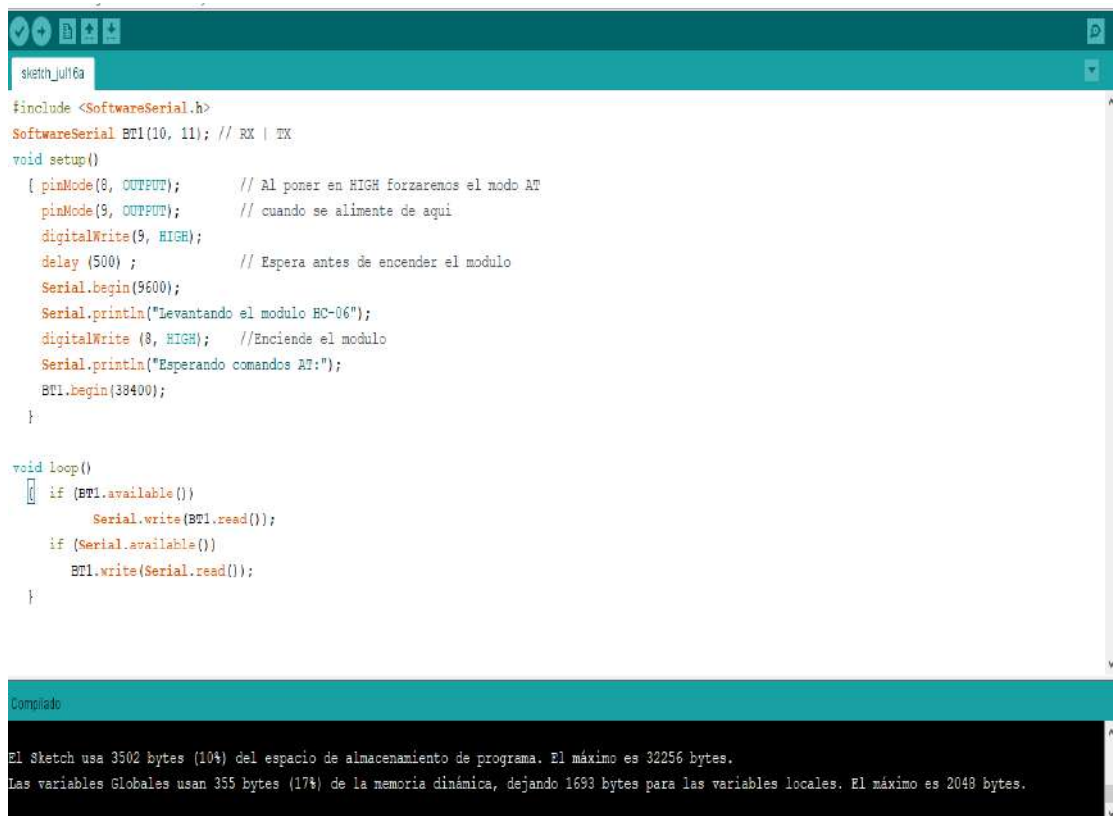


Figura 34: Conexión del HC-05 con Arduino.

El consumo del módulo es mínimo y nuestro Arduino es capaz de alimentarlo sin problemas al iniciar nuestro programa y de este modo cuando arranque entrará sin más en el modo de comandos AT. El resto de los pines se conectan de forma que Txd y Rxd se deben conectar cruzados con los pines de comunicación de Arduino, que usaremos mediante la librería software Serial.

Para mandar comandos AT.



```
sketch_jul16a
#include <SoftwareSerial.h>
SoftwareSerial BT1(10, 11); // RX | TX
void setup()
{
  pinMode(8, OUTPUT);      // Al poner en HIGH forzaremos el modo AT
  pinMode(9, OUTPUT);      // cuando se alimente de aqui
  digitalWrite(9, HIGH);
  delay(500);              // Espera antes de encender el modulo
  Serial.begin(9600);
  Serial.println("Levantando el modulo HC-06");
  digitalWrite(8, HIGH);   //Enciende el modulo
  Serial.println("Esperando comandos AT:");
  BT1.begin(38400);
}

void loop()
{
  if (BT1.available())
    Serial.write(BT1.read());
  if (Serial.available())
    BT1.write(Serial.read());
}
```

Compiado

El Sketch usa 3502 bytes (10% del espacio de almacenamiento de programa. El máximo es 32256 bytes.
Las variables Globales usan 355 bytes (17% de la memoria dinámica, dejando 1693 bytes para las variables locales. El máximo es 2048 bytes.

6.5. Módulo DFPlayer Mini

Para el sistema de comunicación por alerta de voz para este proyecto se tuvo que usar este módulo mp3 con algunas modificaciones con el objetivo de mejorar la transmisión de sonido para el usuario, en esta sección se presenta algunas características de dicho módulo.

El reproductor de mp3 DFPlayer Mini para Arduino es un módulo MP3 pequeño y de bajo precio con una salida simplificada directamente al altavoz. El módulo se puede usar como un módulo independiente con batería, altavoz y botones adjuntos o en combinación con un Arduino o cualquier otro con capacidades RX / TX.

6.5.1. Especificación

- Frecuencias de muestreo admitidas (kHz): 8 / 11.025 / 12/16 / 22.05 / 24/32 / 44.1 / 48

- Salida DAC de 24 bits, soporte para rango dinámico 90dB, soporte SNR 85dB
- Totalmente compatible con FAT16, sistema de archivos FAT32, soporte máximo 32G de la tarjeta TF, soporte 32G de disco U, 64M bytes NORFLASH
- Una variedad de modos de control, modo de control de E / S, modo serie, modo de control de botón AD
- Función de espera de sonido publicitario, la música se puede suspender. Cuando la publicidad termine en la música, continúe reproduciéndose
- Datos de audio ordenados por carpeta, soporta hasta 100 carpetas, cada carpeta puede contener hasta 255 canciones
- Volumen ajustable de 30 niveles, ecualizador de 6 niveles ajustable

6.5.2. Campos de trabajo

- Transmisión de voz de navegación para automóviles.
- Inspectores de transporte por carretera, estaciones de peaje, mensajes de voz.
- Estación de ferrocarril, indicaciones de voz de inspección de seguridad del autobús.
- Electricidad, comunicaciones, sala de negocios financieros, mensajes de voz.
- El vehículo que entra y sale del canal verifica que la voz lo indique.
- Las indicaciones de voz del canal de control de fronteras de seguridad pública.
- Alarma de voz multicanal o voz de guía de funcionamiento del equipo.
- El automóvil turístico eléctrico conduce con seguridad los avisos de voz.
- Alarma de falla del equipo electromecánico.
- Mensajes de voz de alarma contra incendios.
- El equipo de transmisión automática, transmisión regular.

6.5.3. Diagrama de conexión con Arduino

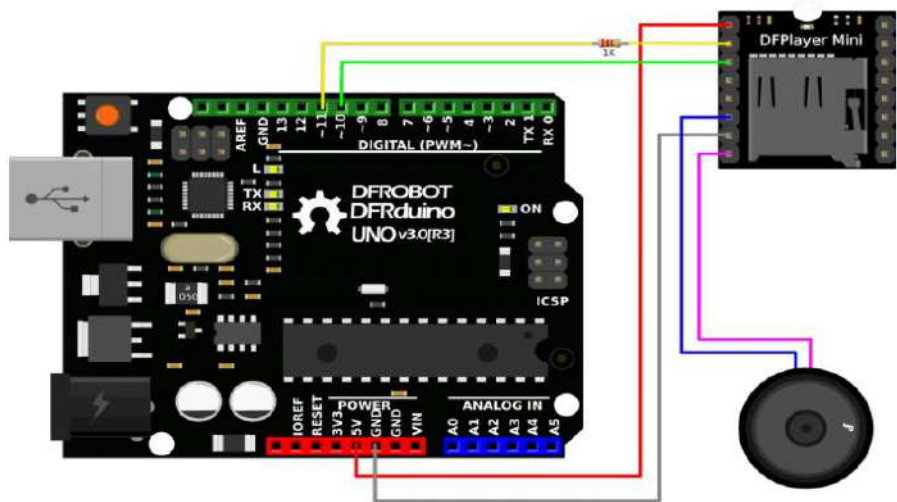


Figura 35: Conexión del DFPlayer Mini mp3 con Arduino [15].

III. RESUMEN EJECUTIVO

CAPITULO 7

7.1. Descripción del trabajo

El presente proyecto final de grado consiste en el diseño y construcción de un bastón electrónico de detección de obstáculos con un dispositivo de comunicación inalámbrica para personas invidentes, proporcionando los diversos pasos, métodos y técnicas a llevar a cabo para su desarrollo.

Se presenta el costo del diseño, fabricación e implementación del prototipo del bastón electrónico.

7.1.1. Métodos y Técnicas utilizadas

Las técnicas empleadas en este proyecto para el cumplimiento y desarrollo de los objetivos planteados se llevaron a cabo con las siguientes fases:

- **Fase I: Análisis y Recolección de datos**

En este punto se analizaron el desenvolvimiento de las personas invidentes con el uso del bastón convencional para tener conocimiento sobre los alcances y limitaciones que presentan en sus desplazamientos con el bastón.

Se realizaron consultas a personas invidentes mayores de experiencia con el uso del bastón, también se llevaron a cabo el levantamiento de los datos necesarios durante la ejecución del proyecto y así se logró diseñar un prototipo del bastón electrónico acorde a los requerimientos de las personas invidentes.

- **Fase II: Análisis y selección de los Materiales, Componentes necesarios para la ejecución del Prototipo**

En esta fase se realizaron la selección de los materiales, componentes electrónicos necesarios para la ejecución del proyecto, se tuvo en cuenta la disponibilidad en el mercado, los precios, la calidad, el tamaño y la adaptabilidad a las exigencias que presentaron los usuarios.

Primeramente, se realizaron consultas a Ingenieros, técnicos o distribuidores que tienen conocimientos de componentes electrónicos necesarios para el proyecto. Luego, se realizó el estudio o evaluación técnicos de los componentes consultados y se seleccionaron aquellos componentes que cumplieron con los requerimientos técnicos.

- **Fase III: Modelación del bastón electrónico mediante software**

En este punto se realizó la modelación, análisis y modificación adecuada del prototipo para la adaptabilidad al futuro con sus componentes acorde a los requerimientos de las personas invidentes y con la ayuda de una herramienta de diseño asistido por computadora (CAD), el cual permitió realizar pruebas y múltiples modificaciones.

Se diseñó el hardware, la parte física del bastón electrónico inteligente para invidentes a través del software (CAD) diseño asistido por computadora que nos permitió obtener un modelado predefinido del prototipo con todos sus componentes para luego montar físicamente.

- **Fase IV: Diseño de Software del Prototipo**

En esta fase se realizó el diseño y análisis del software o programa que implementó el bastón electrónico con un lenguaje de programación Arduino basado en el lenguaje IDE de Arduino.

En esta programación se realizó la comunicación del bastón electrónico con el usuario a través de un Sistema de Comunicación Inalámbrica vía Bluetooth el cual transmite todas las señales recibidas a un audífono.

- **Fase V: Desarrollo del Prototipo para las Personas Invidentes**

En esta parte se hizo el desarrollo del prototipo para la persona invidente teniendo en cuenta el modelado de la fase anterior y el funcionamiento electrónico, logrando la construcción a través de los materiales seleccionados y equipos necesarios. Se analizó diversas alternativas de observación o monitoreo para conocer los diversos aspectos que implica el uso del bastón

electrónico de detección de obstáculos en el mundo real de las personas ciegas. Se establecieron alternativas técnicas más factible de uso y sobre todo que dicho proyecto pueda ser usada por cualquier tipo de personas con dicha discapacidad.

- **Fase VI: Evaluación económica del prototipo**

Finalmente, en esta fase del proyecto se realizó la evaluación de los costos de inversión que requería la construcción del prototipo mediante el análisis del precio de cada uno de los componentes electrónicos y también de los sistemas o equipos (CAD) para la modelación del hardware que fueron necesario para la elaboración de dicho proyecto, así como también el costeo del diseño de ingeniería (mano de obra e ingeniería de desarrollo del prototipo).

Además, se estudió los beneficios y las ventajas que proporciona el bastón electrónico en la vida de las personas invidentes. Analizados estos puntos se realizó el presupuesto completo del prototipo.

7.2. Justificación

Hoy en día el mundo de la tecnología ha crecido considerablemente avanzando a grandes escalas en la rama de la electrónica ayudando a mejorar la calidad de vida de la sociedad. Por ello el presente proyecto está dirigido al diseño y construcción de un bastón electrónico de detección de obstáculos con un dispositivo de comunicación inalámbrica para personas con discapacidad visual, a su vez con el desarrollo de este bastón electrónico serán reducidas las dificultades de las personas discapacitadas.

La situación de los discapacitados es de gran impacto en nuestra sociedad, y en especial de las personas que pierden la vista ya sea por algún tipo de accidentes, enfermedades o invidentes desde el nacimiento estos presentan grandes desventajas para él buen desenvolvimiento y desplazamiento en las vías o en lugares donde no tienen la capacidad de representación mental del espacio.

Los bastones actuales que utilizan presentan poca funcionalidad, plantean soluciones muy limitados que se alejan de las expectativas de un invidente, pero, aun así, le dan consuelo y les permiten mejorar su autoestima personal y ser útiles a sí mismos. La mayoría de las personas invidentes usan el bastón convencional que no tiene ningún tipo de tecnologías que incorpora el bastón electrónico como los sensores de detección de obstáculos, comunicación inalámbrica el sistema de vibración para las alertas.

A través de este proyecto de fin de grado se busca aportar una solución viable, implementando un prototipo de un bastón electrónico que sea de fácil manejo, practico y adaptabilidad para cualquier tipo de usuarios, favoreciendo positivamente de esta manera a los discapacitados. La calidad de vida de estas personas mejora realizando las actividades consideradas normales con un mayor grado de confianza y seguridad sin la ayuda de otras personas, con lo cual se beneficiará también los familiares y al entorno social.

7.3. Finalidad del proyecto

El propósito del proyecto final de grado es brindar una nueva forma de perspectiva al desenvolvimiento, oportunidad y manejo de la persona invidente en su entorno cotidiano y en la sociedad, proporcionando una solución confiable y tecnológica. Sobre todo, que el usuario se sienta seguro y confiable mientras su desplazamiento de un lugar a otro.

7.4. Metas

La meta del presente trabajo es el diseño de un bastón electrónico en un plazo de 6 meses, que sea un producto confiable, innovador y seguro, que pueda ofrecer un funcionamiento óptimo para la detección de todo tipo de objetos para las diferentes superficies.

7.5. Objetivos

7.5.1. Objetivos generales

Diseñar y construir un bastón electrónico de detección de obstáculos con un dispositivo de comunicación inalámbrica para invidentes.

7.5.2. Objetivos específicos

- Diseñar el bastón electrónico de detección de obstáculos mediante dispositivo de comunicación inalámbrica que cumpla con los requerimientos acordes con las necesidades de las personas invidentes.
- Modelar un hardware adecuado para el bastón electrónico inteligente de detección de obstáculos.
- Desarrollar el bastón electrónico inteligente de detección de obstáculos implementando cada uno de los componentes electrónicos requeridos.
- Realizar las pruebas necesarias del prototipo para mejorar el funcionamiento y corregir las fallas detectadas durante este proceso.
- Elaborar el presupuesto de costo del prototipo diseñado.

7.6. Beneficiarios

Los beneficiarios directos son las personas con discapacidad visual y los indirectos son sus familiares y la sociedad en general.

7.7. Producto

El producto de este trabajo es un prototipo para personas con discapacidad visual que permitirá establecer una solución factible a las demandas establecidas en un mercado poco conocido.

7.8. Localización física y cobertura espacial

El proyecto se desarrolla en la ciudad de Coronel Oviedo, y sus resultados tienen validez para las personas con discapacidad visual, se puede aplicar en cualquier lugar donde se disponga de los materiales y accesorios requeridos para su ejecución.

7.9. Especificaciones de actividades y tareas realizadas

- Relevamiento de Datos de las Personas Invidentes.
- Revisión bibliográfica sobre los Prototipos de Bastones Electrónicos existente en el mercado.
- Estudio y observación a las técnicas de manejo del Bastón por las Personas Invidentes.
- Revisión bibliográfica sobre el diseño, construcción e implementación de un sistema de Comunicación Inalámbrica y del Bastón Electrónico.
- Estudio del software Autodesk Fusión 360 y Eagle para el diseño del prototipo.
- Familiarización con el lenguaje de programación del Arduino.
- Revisión bibliográfica del diseño de la Arquitectura del prototipo a implementar.

7.10. Recursos necesarios

7.10.1. Recursos humanos

Este proyecto de final de grado fue elaborado por el alumno proyectista de la Facultad de Ciencias y Tecnologías – UNCA carrera de Ingeniería en Electrónica con la ayuda del Ingeniero encargado de la materia del proyecto final de grado, Ingeniero tutor y personales del grupo de investigación (GIEM).

7.10.2. Recursos materiales

Se utilizaron los siguientes recursos de materiales:

- Computadora e internet (Propio)
- Medios de transporte
- Bloc de notas y agenda
- Impresora 3D
- Materiales de impresión PLA

7.11. Factibilidad técnica

Mediante los estudios realizados a las personas de invidentes y sus técnicas de uso del bastón convencional permitió mejorar la calidad, desempeño y compatibilidad del prototipo, agregándole un sensor y otro sistema de alerta por vibración. De esa forma, se asegura un desempeño confiable del Bastón Electrónico y superando varios obstáculos, con lo que el proyecto se justifica plenamente desde el punto de vista tecnológico.

Finalmente, con el prototipo se logró también generar mayor confiabilidad, seguridad y satisfacción a la persona invidente, reduciendo las dificultades, peligros por las que atraviesan a la hora de desplazarse de un lugar a otro y de esta manera mejorando la calidad de vida de estas personas.

7.12. Factibilidad económica

En este apartado presentamos el presupuesto de costos de los materiales, recursos técnicos y mano de obra invertida, tanto para el desarrollo como para la ejecución del proyecto.

Se realiza un análisis de costos de los recursos utilizados para nuestro Bastón electrónico, donde, nos permitirá determinar si es factible desarrollar económicamente el proyecto. La evaluación económica en la fabricación del Prototipo, está basada en cuatros aspectos:

- Electrónico
- Diseño y Programación de Software (Ingeniero Junior)
- Impresión 3D
- Montaje del Prototipo

En la Tabla 4, se observa los costos de cada aspecto que pertenecen a la evaluación económica. Para más detalles, referirse al Apéndice A.1.

Aspectos	Números de Componentes	Costo total (Gs)
Electrónico	21	1.244.000
Diseño y Programación de Software	Completo	39.143.000
Impresión 3D	Completo	350.000
Montaje del Prototipo	Completo	400.000
Costo de Fabricación		41.137.000

Tabla 4: Costo Inicial del Prototipo.

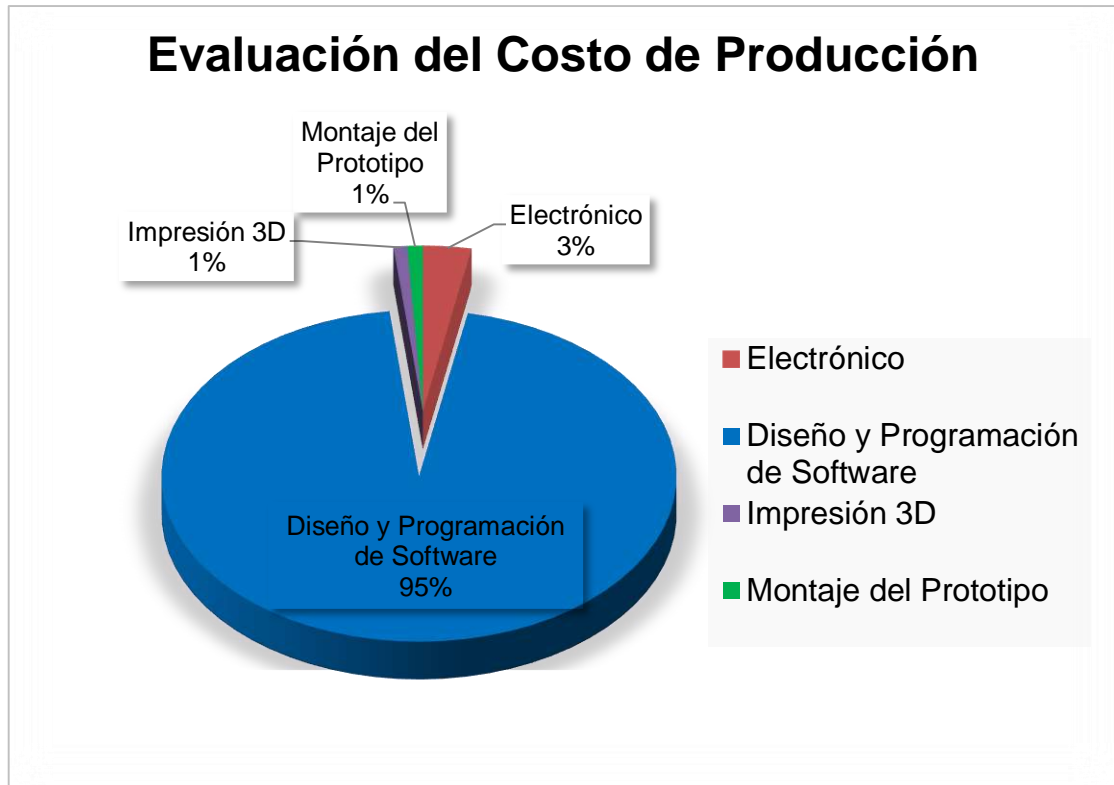


Figura 36: Evaluación Económica del Costo de Producción.

Teniendo en cuenta los niveles de inversión realizados para el diseño, construcción e implementación del Bastón Electrónico con un Sistema de Comunicación Inalámbrica, la evaluación de costos se representa en la Figura 36. El costo por prototipo (sin contar con la rentabilidad) es de 1.994.000 Gs, el 95% del costo total representa al diseño y programación de software lo cual es un costo fijo de la fabricación del prototipo y el 6% representa un costo variable que puede ser modificado según la variación de precios existente en el mercado.

Considerando un proceso de producción masiva del Bastón, a seguir se muestra el cálculo de la Tasa interna de retorno (TIR) sobre la base del flujo de caja expuesto en el Apéndice A.1.

7.12.1. Determinación de la tasa interna de rendimiento(TIR)

TASA INTERNA DE RETORNO	
Ingreso año 0	Ø - 43.899.300
Ingreso año 1	Ø 17.892.313
Ingreso año 2	Ø 17.027.176
Ingreso año 3	Ø 28.193.317
Ingreso año 4	Ø 32.828.769
Ingreso año 5	Ø 45.705.024
Ingreso año 6	Ø 43.809.786
Ingreso año 7	Ø 56.006.028
Ingreso año 8	Ø 58.581.279
Ingreso año 9	Ø 61.156.530
TIR (9 años)	57%

Tabla 5: Tasa Interna de Retorno.

Se observa en la Tabla 5 que la Tasa Interna de Retorno (TIR) es del 57% considerando un horizonte de inversión de 9 años. Como la tasa de descuento utilizada para el cálculo del TIR es del 10 %, podemos decir que la inversión es altamente rentable para la fabricación y comercialización del bastón electrónico pues el indicador es más 5 veces de dicha tasa.

7.12.2. Determinación del valor presente neto (VPN)

Valor Presente Neto (VPN)		
Año 0	₡	-43.899.300
Año 1	₡	-27.633.561
Año 2	₡	-13.561.515
Año 3	₡	7.620.542
Año 4	₡	30.043.033
Año 5	₡	58.422.257
Año 6	₡	83.151.739
Año 7	₡	111.891.687
Año 8	₡	139.220.286
Año 9	₡	165.156.624

Tabla 6: Valor presente neto (VPN)

El resultado obtenido en el estudio del VPN también arrojo un resultado positivo al final del periodo del estudio, lo que significa que el proyecto es rentable económicamente. El valor del VPN obtenido a los 9 años es de 165.156.624 Gs como se puede observar en la tabla 6.

7.12.3. Determinación del payback o periodo de recuperación de la inversión (PRI)

El tiempo necesario para la recuperación de la inversión inicial es de dos años y cuatro meses, como se puede observar en la Tabla 6 en la columna de historial del VAN que, se tiene un valor positivo a partir del tercer año lo que indica mayor solidez para la inversión del proyecto. Para más detalles ver apéndice A.2.

7.12.4. Resumen de la evaluación económica del proyecto

RESUMEN FINANCIERO		
INDICADOR	VALOR	VIABLE
TIR	57%	Si
VPN	165.156.624 Gs	Si
PRI	2.4 años	Si

Tabla 7: Resumen financiero

Todos los cálculos financieros se hicieron en base a los costos de materiales utilizados para el bastón electrónico, mano de obra de un ingeniero junior, la impresión 3D, montaje y entre otros aspectos que se detallan en el flujo de caja en el apéndice A1.

IV. INGENIERÍA DE DISEÑO

CAPÍTULO 8

Desarrollo de propuestas para el diseño del bastón electrónico

8.1. Introducción

El presente proyecto se basa en el diseño y construcción de un prototipo de bastón electrónico inteligente por alertas de voz y vibraciones, cuenta con una comunicación inalámbrica con el usuario también de forma táctil o vibración. El prototipo obtiene datos de obstáculos cercanos dentro del campo de movilidad del usuario mediante sensores ultrasonidos y de acuerdo a la opción elegida por la persona se emiten las alertas de sonido o vibración. Este proyecto está diseñado para ayudar a las personas con discapacidad visual a tener una mayor facilidad de movilidad, orientación y seguridad en sus desplazamientos.

8.2. Análisis del campo de movilidad

Mediante sensores el dispositivo debe detectar la distancia de los diferentes tipos de obstáculos que se encuentran en la ruta de movilidad y generar las alertas de sonido o vibraciones entendibles para el invidente. Por lo cual para la identificación de los requerimientos se realizó los siguientes pasos que se presenta a continuación:

8.2.1. Estudio de la ruta de movilidad

La ruta de movilidad para una persona invidente es un campo de obstáculos, amplio y complicado a la hora de salir fuera de sus casas se topan con múltiples problemas en sus desplazamientos ya sea por las calles de la ciudad o cualquier otro tipo de lugares fuera de sus casas en donde no tienen

la capacidad de conocimiento de la ubicación de los obstáculos. Entonces la movilidad de estas personas dentro de estos campos se basa únicamente en la obtención de información mediante su bastón convencional, sus sentidos más desarrollados como son el auditivo y el táctil, los cuales ayudan a la persona a desplazarse con menos dificultad en lugares que desconocen.

8.2.2. Obstáculos de las posibles rutas de movilidad

En esta sección se presentan imágenes de los obstáculos existentes en la ruta de movilidad de una persona invidente, los cuales pueden presentar un peligro al movilizarse:

- En las calles se encuentra diferentes tipos de obstáculos las casas de negocios exhiben cualquier producto en las veredas que obstaculizan el camino a los peatones y generan un problema mayor para los discapacitados visuales.



Figura 37: Obstáculos colocados en las veredas.

- Luego existen negocios que cierran totalmente los pasillos o en alguna parte no se cuenta con una vereda, donde el invidente tiene que desviar por la calle para su desplazamiento.

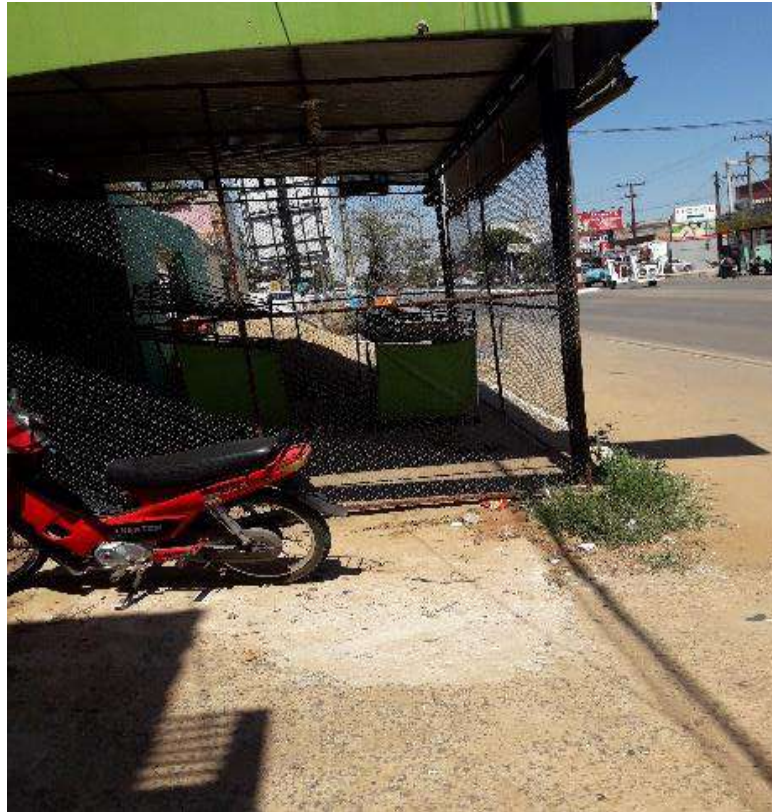


Figura 38: *Negocios que obstruye el camino peatonal.*

- También están los vehículos estacionados que son un peligro para las personas con discapacidad visual.



Figura 39: Obstrucción de paso a los peatones por vehículos estacionados.

8.3. Definición de requerimientos

Teniendo en cuenta la entrevista realizada a personas con discapacidad visual en el Centro de Formación Integral para Personas Ciegas y Baja Visión, filial Coronel Oviedo-Caaguazú y el estado del arte realizado a los prototipos existentes en el mercado, se hizo la selección de los principales requerimientos para el diseño y construcción del bastón electrónico inteligente y así dar una solución al problema planteado en este proyecto.

8.3.1. Identificación de los Requerimientos

Los principales requerimientos para la implementación de este proyecto se han identificado en base al estudio anteriormente realizado con los invidentes del centro y una entrevista realizada a un estudiante invidente de la Facultad de Ciencias y Tecnologías Unca de donde se obtienen las siguientes informaciones:

- Los invidentes informan tener accidentes con obstáculos muchas veces ya que el bastón que usan tiene ciertas limitaciones para la detección de obstáculos.
- Les resultaría muy útil usar un bastón electrónico que detecte obstáculos y entregue información por alertas de voz como también de vibración.
- Tienen interés en experimentar con un dispositivo que reemplace el bastón convencional para la detección de obstáculos.

Gracias a toda la información obtenida se han identificado los siguientes requerimientos:

- Viabilidad de uso del prototipo
- Comodidad de portabilidad del prototipo
- Corto y mediano alcance de detección de obstáculos
- Confiabilidad de uso para el usuario
- Comprensibilidad de las alertas
- Accesible costo del prototipo

De acuerdo a las informaciones obtenidas con los estudios y entrevistas se ha definido los requerimientos funcionales del prototipo:

- El Bastón debe detectar objetos a una distancia mínima entre 3 y/o 80 cm.
- Un sensor ultrasónico que realiza todas las funciones de detección de obstáculos que están por debajo de la media altura.
- Un segundo sensor para la detección de obstáculos que están por encima de la media altura.
- Dos sistemas de comunicación alerta de voz y de vibración.

- El prototipo debe indicar por medio de una vibración en la mano o dedos de la persona invidente.
- Por medio de sonidos transmitidos a un auricular de forma inalámbrica indicando la distancia, al encontrarse con un objeto u obstáculo.
- Dos interruptores uno para prender y apagar el prototipo el segundo es para activar el sistema de vibración, el usuario tiene la ventaja de elegir la comunicación que quiere usar si es por alerta de voz o vibración.
- El circuito o hardware pequeño y de menor costo.
- Un microcontrolador que sea lo más pequeño posible y económico existente en el mercado con las entradas y salidas suficientes para el manejo de los sensores y los sistemas de comunicación.

8.4. Selección de hardware y software

A continuación, se muestran los pasos desarrollados para la selección de hardware y software que más se ajustan a las necesidades del proyecto. Teniendo en cuenta las medidas y el modo de funcionamiento específico de cada componente electrónico seleccionado y de esta manera obtener un diseño adecuado para el modelado final del prototipo.

8.4.1. Hardware

Existen diversos tipos de hardware que se han ido desarrollando con el avance de la tecnología, para este proyecto se ha seleccionado específicamente equipos de hardware libre debido a su accesibilidad para cualquier tipo de usuarios. Para el desarrollo del presente proyecto se requiere diseñar un prototipo portable de fácil manejo y cómodo, por lo cual se requiere que sea de menor tamaño posible.

Por este motivo se plantea un estudio previo de estas marcas de microcontroladores, partiendo de la selección de los modelos quien más se adecue a la necesidad, es decir, a los invidentes.

Características	Arduino	Raspberry pi	Netduino	OSWarrior DK
Microcontrolador	Atmegax8	BroadcomBCM2711	AT91SAM7X512 ATMEL	S08AC60 de Freescale Semiconductor
Voltaje de operación	3.3 a 5 V	5 V	Entre 7.5 y 12 voltios	5 V
Corriente salida	(40 a 130) mA		8 mA	40 mA
Posee E/S Digitales	Si	Si	Si	Si
Memoria Flash	(32, 512) KB		128 KB	64 KB
SRAM	(2, 2.5, 8 ,96) KB	4GB LPDDR4-3200 SDRAM	60 KB	2 KB
Velocidad de reloj	(16 y 84) MHz	1.5GHz	48 MHz	40 MHz
Tipo de USB	Mini USB y Estándar	USB 3.0	USB Estándar	USBDM

Tabla 8: Características de Microcontroladores.

Analizando las necesidades del proyecto y las características de las plataformas de hardware libre, se ha optado por Arduino. Es una de las marcas renombradas en el área de la electrónica en la actualidad se enfoca en acercar y facilitar el uso de la electrónica.

8.4.1.1. Selección de la tarjeta Arduino

Dentro de la plataforma de Arduino existe una variedad de tarjetas de diferentes características, tamaños y precios. Pero en este proyecto se han analizado y comparado principalmente las tarjetas Arduino de menor tamaño existente para ajustar a los requerimientos y obtener mayor utilidad dentro de la portabilidad del prototipo para el usuario. Otra de las razones por las cuales se determina el estudio de estos microcontroladores es que se puede conseguir con más facilidad en nuestro país y también en tiendas online.

Para lo cual como alternativa se analizan las principales características de los distintos modelos de la marca Arduino.

Tarjeta	Arduino micro	Arduino Uno	Arduino Pro Mini	Arduino Nano
Microcontrolador	ATmega32u4	ATmega328	ATmega328	ATmega328
Voltaje operativo	5 V	5 V	5 V	5V
Voltaje de Entrada	7-12 V	7-12 V	5-12 V o 3.3-12 V	7-9 V
E/S digitales	12	14	14	14
Pines PWM	5	6	6	6
Entradas Analógicas	4	6	6	8
Corriente de salida	40 mA	40 mA	40 mA	40 mA
Memoria flash	32 KB	32 KB	32 KB	32, 16 KB
SRAM	2.5 KB	2 KB	2 KB	2 KB
EEPROM	1 KB	1 KB	1 KB	1 KB
Velocidad de reloj	16 MHz	16 MHz	8 MHz o 16 MHz	16 MHz
Tamaño	48.3 x17.8 mm	68.6x53.3 mm	33x17.8 mm	43.1x18.5 mm
Peso	13 g	25 g	2 g	5 g
Precio \$	20	25	10	14

Tabla 9: Características de las Tarjetas Arduino.

Una vez analizado las alternativas de los distintos modelos vemos que todos poseen casi las mismas capacidades tanto en potencia del microcontrolador como en conectividad. Dados las características que poseen el Arduino nano y el Arduino pro mini por la cantidad de entradas analógicas y digitales como sus funcionamientos son considerado como los más óptimos, pero para este proyecto se selecciona el nano debido a que funciona con un cable USB Mini-B en lugar de uno estándar para la comunicación serial con una computadora lo cual facilita más su programación.

8.4.1.2. Sensores de proximidad

Uno de los componentes fundamentales para la implementación de este proyecto es el sensor de proximidad, el encargado principal de la orientación y seguridad del invidente en sus desplazamientos. Se necesita de un sensor con gran exactitud, que tenga un rango de alcance acorde a las necesidades del usuario. Los sensores que se investigó para este proyecto se muestran en la siguiente tabla.

Tipo	Inductivos	Capacitivos	Fotoeléctricos	Ultrasónicos
Característica	-Gran utilización en la industria. - Funcionamiento sin roce mecánicos.	-Producen campos electrostáticos.	-Dispositivo electrónico que responde al cambio en la intensidad de la luz.	-El sensor emite un sonido y mide el tiempo que la señal tarda en regresar.
Ventajas	-Consumo de corriente extremadamente bajo. -Son duraderos.	-Posibilidad de detectar materiales distintos del metal. -Adecuado para la detección de materiales polvorientos o granulados.	Baja influencia a campos magnéticos. -Detección de objetos pequeños.	-Detecta cualquier material, independientemente del color al mismo alcance sin ajuste ni factor de corrección.
Desventajas	-Solo pueden detectar objetos metálicos. -Interferencia por campos electromagnéticos.	-Si se quiere realizar una detección de cualquier tipo de objeto este sensor no sirve.	-El objeto que se va a detectar debe ser opaco. -Se debe realizar una alineación precisa y delicada, ya que el detector emite en infrarrojos.	-Presenta estos dispositivos son las zonas ciegas y el problema de las falsas alarmas.
Aplicaciones	-Detectar presencia o ausencia de objetos metálicos. -Detección de paso, de	-Utilizados para muchos dispositivos con pantalla táctil. -Control de nivel de carga de materiales sólidos o líquidos.	-Se utiliza más en ambientes industriales.	-Detección de objeto en movimiento

	atasco, de codificación y de conteo.			
--	--	--	--	--

Tabla 10: Característica de los Sensores de Proximidad.

Los sensores ultrasónicos tienen un amplio rango de detección y pueden detectar cualquier tipo de objetos, tienen una función de aprendizaje para definir el campo de detección, con un alcance mínimo y máximo de precisión, por lo que se adaptan a las necesidades y requerimientos del proyecto. Además, existen módulos ultrasónicos compatibles con Arduino y otras plataformas de microcontroladores por lo que en este proyecto se requiere de un sensor que sea compatible con la tarjeta Arduino nano y a continuación se muestra los diferentes tipos de sensores ultrasónicos.

Sensor	SRF02	SRF235	MaxSona r EZ1	SRF08	SRF05	HC-SR04
Tensión	5V	5 V	5 V	5 V	5 V	5 V
Corriente	4 mA	25 mA	2 mA	15 mA	15 mA	15 mA
Dimensión	24*20*17 mm	34*20*19 mm	22*20*16 mm	43*20*17 mm	45*20*17 mm	45*20*17 mm
Rango	0.15 a 6 m	0.10 a 1.2 m	0 a 6 m	0.03 a 6 m	0.02 a 4.5 m	0.02 a 4.5 m
Resolución	3mm	3mm	25,4 mm	3mm	3mm	3mm
Frecuencia	40KHz	235KHz	42KHz	40 KHz	40KHz	40KHz
Angulo	<15°	<15°	<15°	<15°	<15°	<15°
Peso	4,6 g	3 g	4.3 g	10 g	10 g	10 g
Precio \$	28	100	31	25	15	10

Tabla 11: Característica general de los Sensores Ultrasónicos.

El sensor ultrasónico HC-SR04 son unos de los más eficientes con el SRF05 poseen un rango de detección de 0.02 a 4 m, con un ángulo de detección <15° y tienen un bajo precio comparados a los otros existente en el mercado, para este proyecto se optó por HC-SR04 es un excelente sensor que se usa mucho en la actualidad con las tarjetas Arduino y con un costo menor que el SRF05.

8.4.1.3. Sistema de comunicación

Como se menciona en el título del proyecto la comunicación del prototipo con el usuario tiene que ser de forma inalámbrica consiste en transmitir las informaciones detectada por el sensor en alerta de voz mediante el protocolo bluetooth, lo cual en la actualidad es muy utilizado para Redes de Área Personal. La información debe ser enviada a un auricular inalámbrico a través de un módulo o un dispositivo que establezca la comunicación y que actúe de interfaz del prototipo al usuario, de esta manera todas las informaciones recibidas por Arduino del sensor serán transmitidas al auricular para la comunicación, se analizan las siguientes alternativas:

Módulo	HC-05	HC-06
Modo de operación	Maestro/esclavo	Esclavo
Voltaje de alimentación	3.6 a 5 V	3.3 a 5 V
Corriente de trabajo	50 mA	30 a 40 mA
Versión	V2.0	V2.0
Rango de alcance	10 m	10 m
Velocidad	1 Mbps	1 Mbps
Precio \$	11	10

Tabla 12: Especificaciones de los módulos HC-05 y HC-06.

Primeramente, se analizaron dos tipos de módulos que sería el HC-05 y el HC-06 tienen características similares, de los cuales se llegó a usar el hc-05 por su característica de maestro/esclavo y por su compatibilidad con la placa Arduino. Su función principal es la vinculación con un auricular bluetooth y así transmitir informaciones o en este caso la alerta de voz del prototipo directamente al auricular.

Al configurar el HC-05 para el emparejamiento se tuvo varios problemas no se vinculaba con ningún auricular bluetooth, después de varios intentos e investigaciones sobre sus funcionamientos se llegó a la conclusión que el

módulo no es muy viable para este tipo de funcionamiento debido a su difícil emparejamiento con otros dispositivos que poseen bluetooth superiores al V2.0.

El problema que se presenta en la actualidad con estos tipos de módulos son el emparejamiento todos los dispositivos actuales ya cuenta con nuevas versiones de bluetooth y estos son de las primeras versiones que sería el V2.0 cuyo funcionamiento no es muy óptimo y tienen muchas limitaciones también la velocidad con la que trabaja no es suficiente para la transmisión de una buena calidad de sonido lo que sería molesto al usuario.

La facilidad de vinculación del módulo bluetooth con otros dispositivos es muy importante en este proyecto ya que el bastón electrónico será usado por personas con discapacidad visual a quienes debemos proporcionar un producto de uso lo más fácil posible ya que ellos no cuentan con la capacidad de la vista, estos son los motivos más resaltantes para la descartación del módulo bluetooth hc-05. A continuación se presenta el dispositivo bluetooth que cumple las condiciones requeridas para el proyecto.

8.4.1.4. Prosper Blu-03

El Prosper BLU-03 con protección contra sobretensiones y sobrecargas presenta una salida USB y una interfaz Mini Jack de 3.5 mm. Está diseñado para proporcionar una conexión inalámbrica optimizada entre dispositivos compatibles con la tecnología de emparejamiento y otros que no pueden emparejarse, y tiene 95 dB para mejorar la confiabilidad del sonido con un rango de señal de aproximadamente 20 metros. El prosper es un dispositivo transmisor con una conectividad Wireless bluetooth 4.2 de las versiones más actualizadas que permite un fácil emparejamiento con el auricular inalámbrico, también soporta formatos de audio MP3, WAV, WMA, APE, FLAC que nos permite una mayor ventaja para la transmisión de sonido con una buena calidad que es muy importante para el usuario ya que la mayoría de las personas invidentes tienen un sentido auditivo más desarrollado por lo que tenemos que transmitir un sonido de alta calidad.



Figura 40: Prosper BLU-03.

8.4.1.5. Motor vibrador

El mini motor es una incorporación en la parte de comunicación del prototipo ya que al comienzo de este proyecto solo se trabajaba con un solo sistema de comunicación que es por alerta de voz, después de consultar a más personas invidentes e investigar más sobre los antecedentes de los bastones electrónicos se encontró la necesidad de implementar la comunicación o aviso por vibración para el mejor desenvolvimiento de los invidentes.

Sus características son especiales para trabajar en lugares de espacio reducido. Es una pieza fundamental, las personas invidentes por medio de este podrá percibir el objeto u obstáculo cercano a través de una vibración, es de tamaño pequeño para que no sea incómodo su uso en el bastón.

- Voltaje de funcionamiento entre 1,3 VDC ~ 3,6 VDC, corriente: 65mA.
- Diámetro: 8mm
- Altura: 3 mm



Figura 41: Motorcito Vibrador.

- En la sección 7.3.1. Se muestra la comunicación y conexión en forma general de este motor vibrador con Arduino.

8.4.1.6. Módulo de audio

El módulo de audio que cumple las condiciones que se requiere en este proyecto y que es compatible con la plataforma Arduino es el DFPlayer mini, utiliza una tarjeta micro sd máxima de 32 Gb en la cual se puede grabar mensajes de alertas que se reproducen fácilmente con la ayuda de una tarjeta de control, es un módulo MP3 pequeño y de bajo costo con una salida simplificada directamente al altavoz posee salida DAC para conectar un cable auxiliar también es compatible con el dispositivo prosper blu-03 lo que nos permitirá transmitir sonido en forma inalámbrica. En el siguiente cuadro se presenta sus características:

Módulo	DFPlayer Mini MP3
Característica	<ul style="list-style-type: none"> • Frecuencias de muestreo admitidas (kHz): 8 / 11.025 / 12/16 / 22.05 / 24/32 / 44.1 / 48. • Salida DAC de 24 bits, soporte para rango dinámico 90dB, soporte SNR 85Db. • Soporte completo FAT16, sistema de archivos FAT32, soporte máximo 32G de la tarjeta TF, soporte 32G de disco U, 64M bytes NORFLASH. • Una variedad de modos de control, modo de control de E / S, modo serie, modo de control de botón AD. • Función de espera de sonido publicitario, la música se puede suspender. Cuando la publicidad termina en la música, continúe reproduciéndose. • Datos de audio ordenados por carpeta, soporta hasta 100 carpetas, cada carpeta puede contener hasta 255 canciones. • Volumen ajustable de 30 niveles, ecualizador de 6 niveles ajustable. • Voltaje de operación DC 3.2~5V. • Copiar archivos de voz en la tarjeta SD por PC.

Tabla 13: Especificaciones del DFPlayer Mini.

8.1.1.1. Alimentación

La alimentación del sistema empleado es el UltraFire de 3.7 V, las baterías 18650 son pilas de litio recargables muy parecidas a las AA, pero con un tamaño más grande. Estas baterías de litio también llamadas baterías Li-ion, son un dispositivo fabricado para la acumulación de energía eléctrica que

utilizan como electrolito una sal de litio, que logra los iones precisos para la reacción electroquímica transformable, que tiene lugar entre el cátodo y el ánodo.



Figura 42: Baterías 18650 UltraFire.

8.1.1.2. Materiales adicionales

Aparte de los materiales seleccionados anteriormente, también se utilizaron materiales y herramientas fundamentales para la implementación del prototipo. Estos se presentan en el siguiente listado:

Materiales	Características
Tarjeta micro SD	16GB
Mini interruptor	OFF/ON
Auricular	Inalámbrico
Transistores	NPN
Resistencias	Varios valores
Cables	0.5 mm
Conectores	Tipo jbt
Estaño	5 m
Barras de silicona	5

Cable auxiliar	3.5 mm
----------------	--------

Tabla 14: Lista de materiales adicionales.

8.4.2. Software

Para el desarrollo de la programación del Arduino nano con el módulo de audio y respectivos sensores seleccionados anteriormente se necesita de un software compatible para desarrollar el funcionamiento que debe cumplir el prototipo teniendo en cuenta los requerimientos del usuario, también se necesita de otro software para el diseño del circuito impreso del prototipo.

El software que se usó para la programación se basa en el hardware seleccionado para este proyecto es en un lenguaje propio creado por la misma empresa. Arduino IDE es un software libre que se puede descargar de la página oficial de Arduino.cc provee todos los soportes para el desarrollo de las programaciones de los microcontroladores. Para el diseño de las placas del circuito impreso se utilizó el software Eagle, por la facilidad de incorporar nuevos componentes en su plataforma que son usados en este prototipo, como otros softwares no tienen esta opción. Eagle te permite descargar y cargar librerías completas sobre distintos microcontroladores que en sus librerías de programa no se encuentran, además cuenta con la versión gratuita para estudiantes y docentes.

8.4.2.1. IDE de Arduino

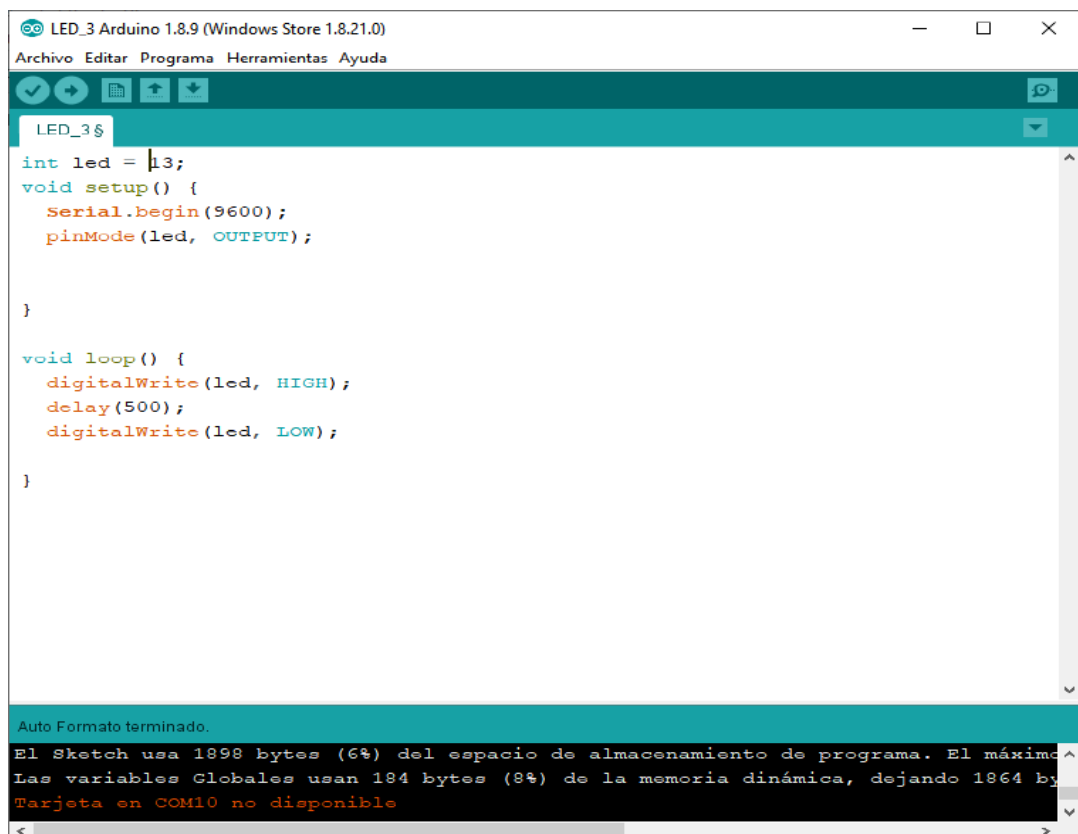
En esta sección se da una breve descripción del (IDE) y una prueba de funcionamiento del Arduino Nano con un ejemplo de programación. El software se puede descargar de la página web de Arduino.

El entorno de desarrollo integrado (IDE) de Arduino es una aplicación multiplataforma (para Windows, macOS, Linux) que está escrita en el lenguaje de programación Java. Se utiliza para escribir y cargar programas

en placas compatibles con Arduino, pero también, con la ayuda de núcleos de terceros, se puede usar con placas de desarrollo de otros proveedores.

A continuación, se muestran los pasos para trabajar con Arduino:

- Descargar el entorno de desarrollo Arduino
- Conseguir una placa Arduino y el cable USB
- Conectar la tarjeta Arduino
- Conectar un LED
- Ejecutar el ambiente de desarrollo Arduino
- Seleccionar el puerto serial de comunicación del controlador con la computadora
- Subir el programa en la tarjeta de control
- Mirar como pestañea el led



```
LED_3 Arduino 1.8.9 (Windows Store 1.8.21.0)
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda
LED_3$
int led = 13;
void setup() {
  Serial.begin(9600);
  pinMode(led, OUTPUT);
}
void loop() {
  digitalWrite(led, HIGH);
  delay(500);
  digitalWrite(led, LOW);
}
Auto Formato terminado.
El Sketch usa 1898 bytes (6%) del espacio de almacenamiento de programa. El máximo
Las variables Globales usan 184 bytes (8%) de la memoria dinámica, dejando 1864 by
Tarjeta en COM10 no disponible
```

Figura 43: Entorno IDE de Arduino.

8.4.2.2. Software Eagle

Autodesk EAGLE es un software de automatización de diseño electrónico (EDA). Permite a los diseñadores de placas de circuito impreso (PCB) conectar sin problemas diagramas esquemáticos, colocación de componentes, enrutamiento de PCBs. Es muy famoso alrededor del mundo de los proyectos electrónicos, debido a que muchas versiones de este programa tienen una licencia Freeware y gran cantidad de bibliotecas de componentes alrededor de la red.

Algunas ventajas del software:

- Interfaz ordenada
- Cuenta con una cantidad enorme de librerías
- Muy utilizado en el mundo, por lo que los usuarios contribuyen con la creación de librerías y diagramas muy frecuentemente
- La versión gratuita cumple con los requisitos para este proyecto
- Sencillo editor de componentes y librerías
- Actualizaciones frecuentes
- Compatibilidad con Windows

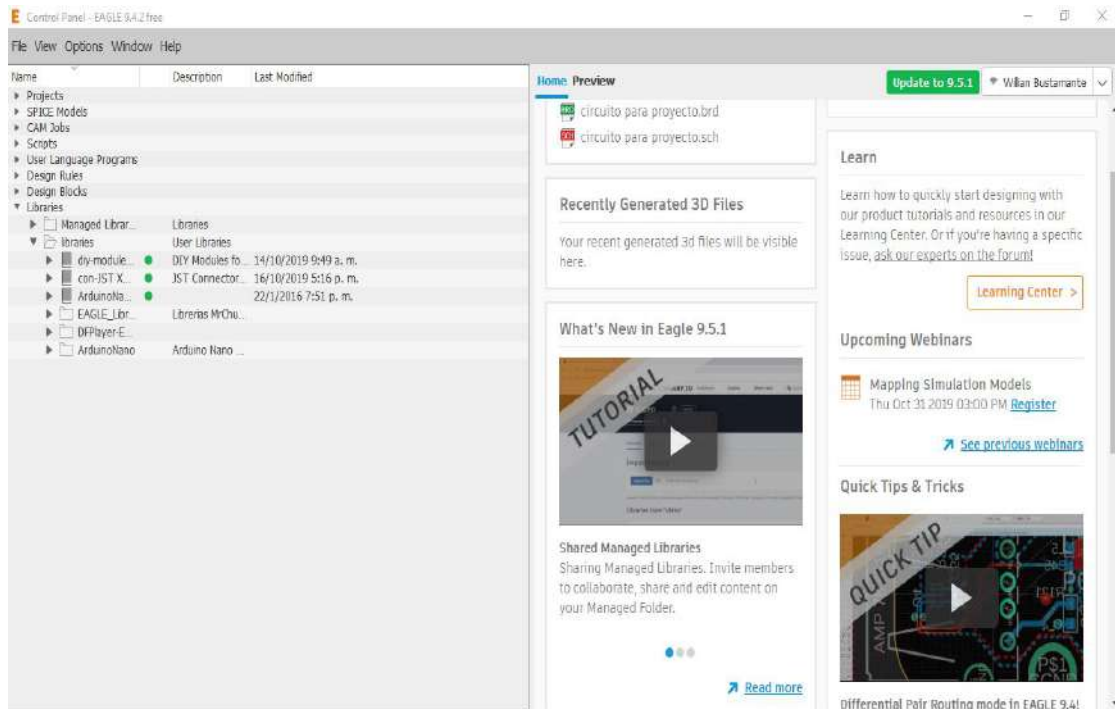


Figura 44: Plataforma del software Eagle.

8.5. Prueba de funcionamiento del Nano Arduino

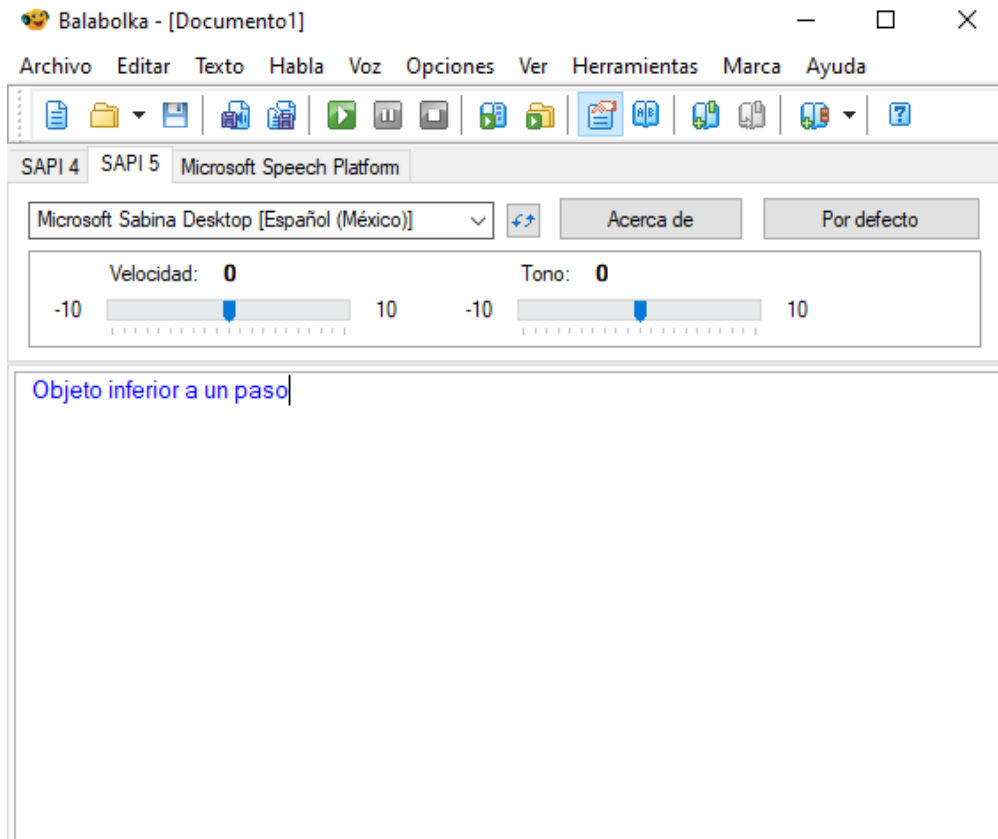
Una vez que se adquirió el módulo se procedió a verificar el funcionamiento adecuado del microcontrolador. Se puede comprobar cargando un programa de los ejemplos que trae IDE llamado Blink el cual lo único que hace es parpadear un led conectado directamente a pin 13. A continuación los pasos para realizar lo detallado:

- Iniciar IDE de Arduino
- En herramientas elegir la placa Nano Arduino y el puerto com
- Abrir Archivo – Ejemplos – Basics – Blink
- Subir el programa a la tarjeta
- Listo, led del pin 13 parpadea cada segundo

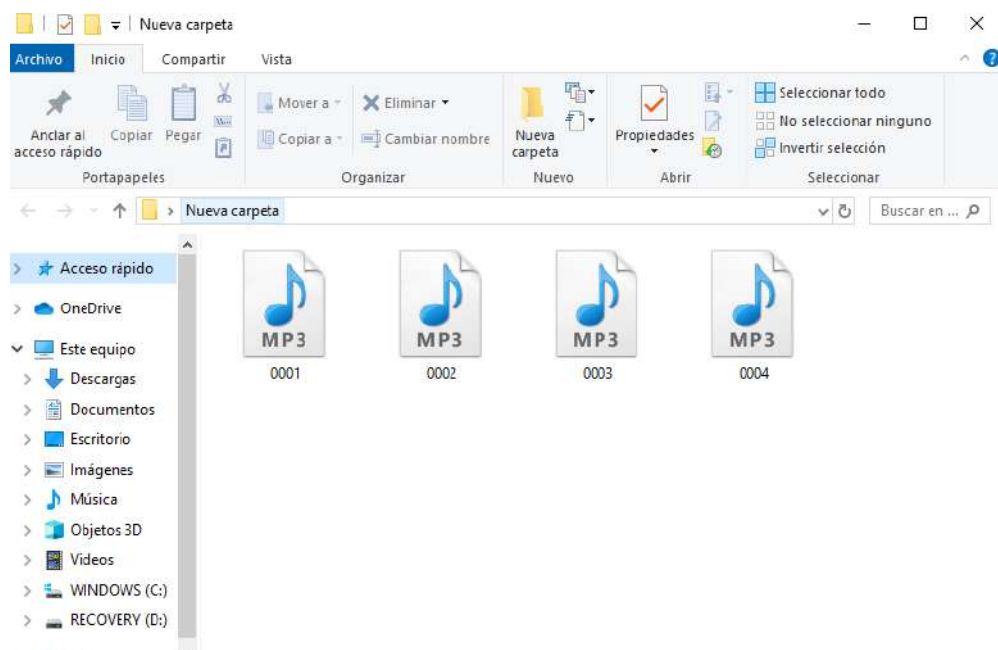
8.6. DFPlayer Mini reproductor mp3

Para crear las alertas de voz se usó el módulo DFplayer que es un reproductor de mp3 para Arduino que utiliza una tarjeta micro sd para guardar los sonidos mp3 puede soportar hasta tarjetas de 32Gb. Para la grabación de las alertas de voz se debe seguir los siguientes pasos:

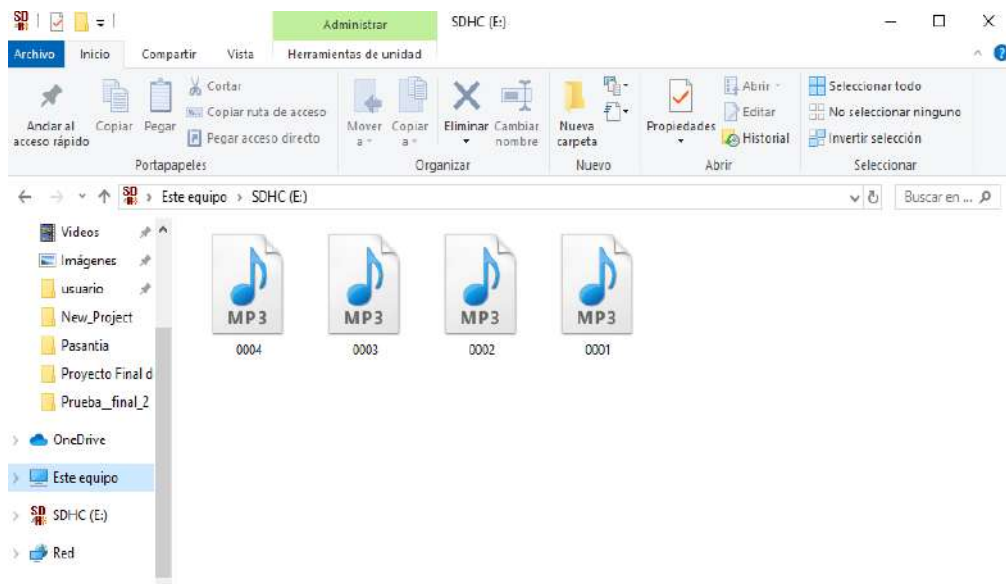
1. Descargar e instalar un programa que nos permita crear archivos de audio, en este proyecto utilizamos Balabolka.
2. Crear los mensajes de alertas en un formato mp3. Los archivos deben tener el nombre 0001, 0002, 0003 y así sucesivamente para ser llamados en la programación de la tarjeta Arduino.
 - Obstáculo inferior a un paso
 - Obstáculo inferior a dos pasos
 - Obstáculo inferior a tres pasos
 - Obstáculo frontal superior a un paso



3. Guardar todos los archivos en formato .mp3 ya que este tipo de archivos son compatibles con este módulo.



4. Luego pasar los archivos mp3 en la tarjeta micro sd de 16Gb.



5. Insertar la tarjeta micro sd en el módulo DFPlayer mini y ya está listo para emitir las alertas de voz.

CAPÍTULO 9

Diseño, Construcción e Implementación del Bastón Electrónico

9.1. Introducción

Con el objetivo de implementar un bastón electrónico para mejorar la calidad vida de las personas invidentes, inicialmente en este capítulo se realiza el diseño del circuito esquemático con todos los componentes.

Posteriormente se muestra los diseños de las carcasas que se van a adaptar al bastón convencional, como así también se presenta la impresión en 3D de dichas carcasas y los circuitos impresos con todos los componentes electrónicos montado.

Al final del capítulo se presenta el prototipo terminado con sus diferentes partes que lo conforman.

9.2. Diseño del prototipo

9.2.1. Diseño del circuito esquemático en Eagle

Utilizando el software Eagle 9.4.2, se realizó el diseño esquemático de las placas implementadas en este proyecto. Eagle es fácil de usar y consta de muchas herramientas para realizar las conexiones de los componentes necesarios para el diseño de los circuitos, también permite cargar distintas librerías de Arduino y otros tipos de módulos, se trabaja directamente con los componentes seleccionados para cualquier tipo de proyecto.

También fue necesario crear los PCBs para el diseño del circuito impreso que se muestra más adelante. A continuación, se presentan los diagramas esquemáticos.

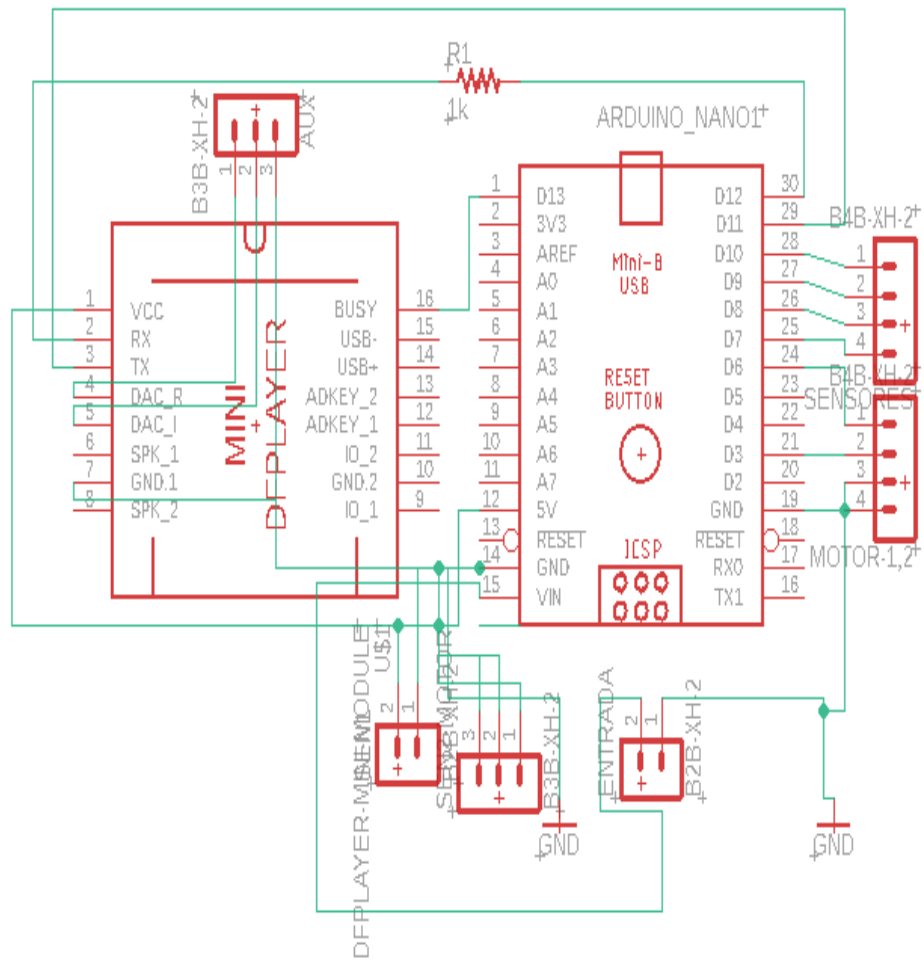


Figura 45: Diseño del primer Circuito en Eagle.

El segundo esquema se diseñó para aumentar la corriente de salida de los pines 3 y 4 del Nano Arduino para que trabaje los dos motores de vibración.

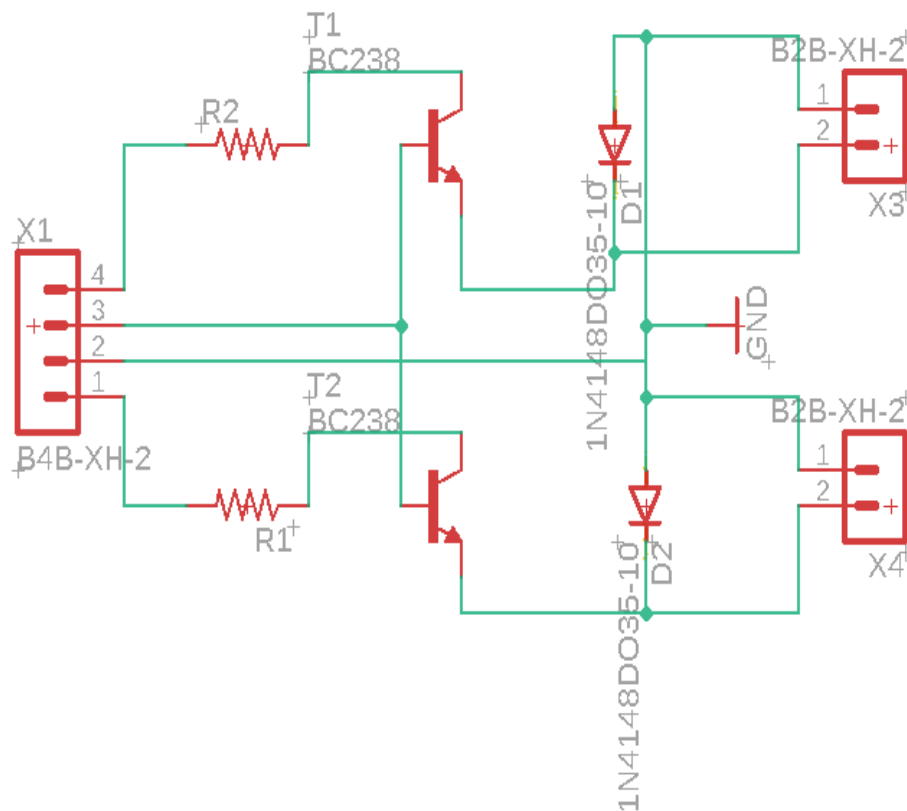


Figura 46: Segundo Circuito en Eagle.

9.2.2. Programación

9.2.2.1. Análisis del programa

Para el funcionamiento del programa primeramente el Nano Arduino envía un pulso en alto de 5 microsegundo por el pin 7 y 10 a los pines trig de los dos sensores ultrasónicos, los cuales emiten una onda de sonido no audible para los humanos cuando estos rebotan por algún obstáculo los pines 8 y 9 del Arduino se encarga de leer y así procesar la información, los pines echo de los sensores mide el tiempo transcurrido que tarda en regresar la señal y mediante una ecuación se obtiene la distancia de los obstáculos.

A continuación, se muestra gráficamente el funcionamiento del programa a través de un diagrama de flujo.

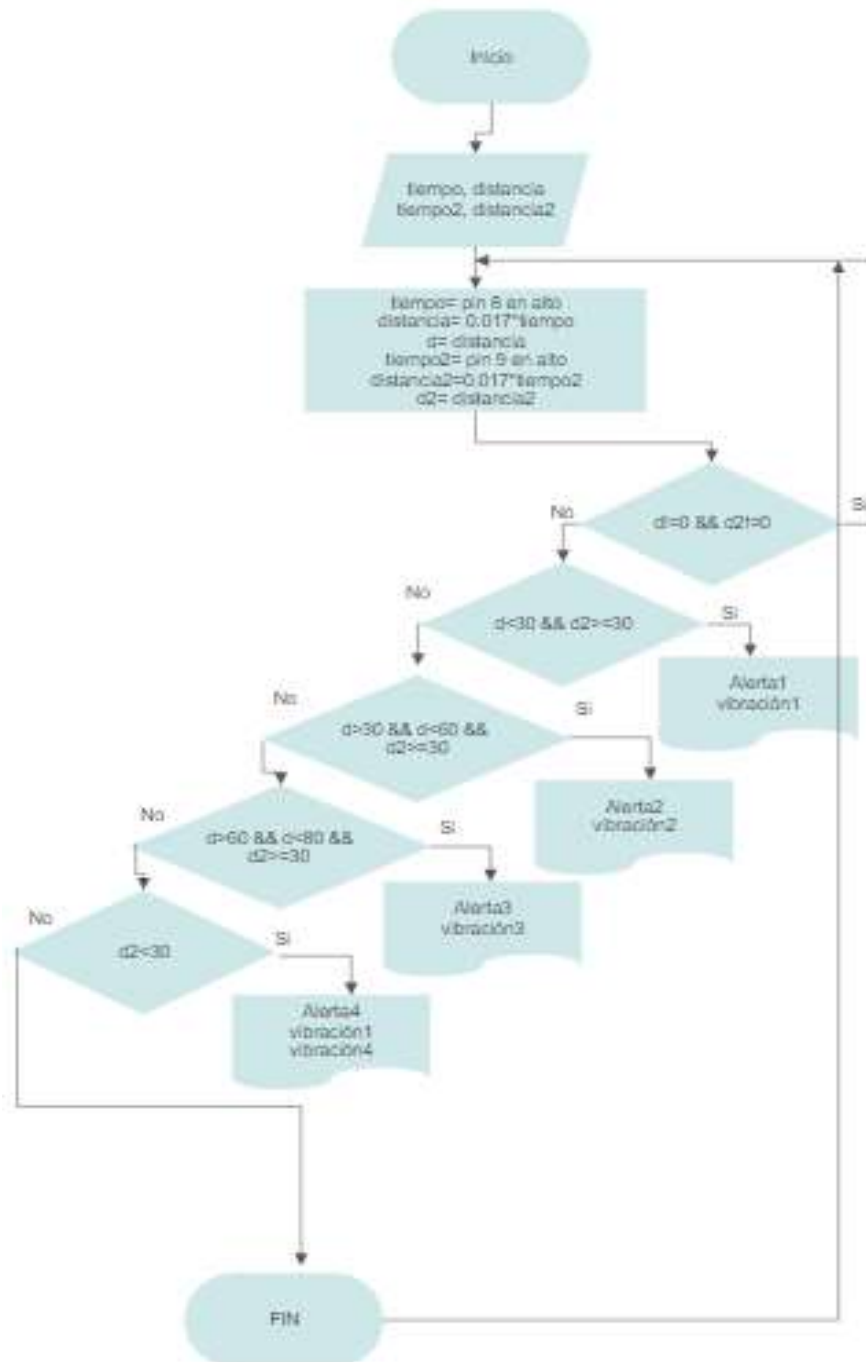


Figura 47: Lógica de Programación del Prototipo.

El dispositivo tiene dos sistemas de comunicación alerta de voz y vibración dependiendo del obstáculo ya sea inferior o superior en cada caso se emite diferentes tipos de alertas, el usuario tiene la facilidad de reconocer más rápido de esta forma la distancia a la que se encuentra del obstáculo a

continuación, se presenta los diferentes casos y funcionamiento del programa que se detalló gráficamente arriba.

1. La primera condición “ $d < 30 \ \&\& \ d_2 \geq 30$ ” el sensor1 detecta un obstáculo inferior que se encuentra menor a 30 cm, si el prototipo está en modo de alerta de voz o en el caso de que este en modo vibración se ejecuta las siguientes alertas:
 - **Alerta1: Obstáculo inferior a un paso**
 - **Vibración1**
2. Segunda condición “ $d > 30 \ \&\& \ d < 60 \ \&\& \ d_2 \geq 30$ ” el sensor1 percibe un obstáculo entre 30 y 60 cm, dependiendo del modo en que este el prototipo, transmite las siguientes alertas:
 - **Alerta2= Obstáculo inferior a dos pasos**
 - **Vibración2**
3. Tercera condición “ $d > 60 \ \&\& \ d < 80 \ \&\& \ d_2 \geq 30$ ” en esta parte el obstáculo inferior esta entre 60 y 80 cm
 - **Alerta3: Obstáculo inferior a tres pasos**
 - **Vibración3**
4. Por ultimo si “ $d_2 \leq 30$ ” el sensor2 que está en la parte superior del bastón detecta un obstáculo por encima de la media altura las alertas son las siguientes:
 - **Alerta4: Obstáculo frontal a un paso**
 - **Vibración1**
 - **Vibración4**

9.2.2.2. Código

Código final del programa

```
#include <SoftwareSerial.h>
#include "DFRobotDFPlayerMini.h"
SoftwareSerial mySoftwareSerial(11, 12);
int pingcm;
int c=0;
int motors=6;
int echoPin = 8;
int trigPin = 7;
int motor = 3;
long tiempo, distancia;
int timer;
int echoPin2=9;
int trigPin2=10;
long tiempo2,distancia2;
DFRobotDFPlayerMini myDFPlayer;
void setup() {
  mySoftwareSerial.begin(9600);
  Serial.begin(115200);
  if (!myDFPlayer.begin(mySoftwareSerial)) {
    Serial.println(F(" Error"));
    while(true);
  }
  Serial.println(F(" Funcionando"));
  myDFPlayer.volume(20);
  pinMode(13,INPUT);
  pinMode(echoPin, INPUT);
  pinMode(trigPin, OUTPUT);
  pinMode(echoPin2, INPUT);
  pinMode(trigPin2, OUTPUT);
  pinMode(motor, OUTPUT);
  pinMode(motors,OUTPUT);
```

```
}  
void apagar(){  
  c=1;  
  while(c==1){  
    if(digitalRead (13)==1)  
      c=0;}  
  }  
void motor1(){  
  analogWrite(motor,255);  
  }  
void motor2(){  
  analogWrite(motor,127);  
  }  
void motor3(){  
  analogWrite(motor,80 );  
  }  
void motor4(){  
  analogWrite(motors,255);  
  }  
void sensor1(){  
  digitalWrite(trigPin, LOW);  
  delayMicroseconds(5);  
  digitalWrite(trigPin, HIGH);  
  delayMicroseconds(10);  
  tiempo = pulseIn(echoPin, HIGH);  
  distancia = 0.017 * tiempo;  
  Serial.print(" distancia 1 es: ");  
  Serial.print(distancia);  
  Serial.println("cm.");  
  delay(500);  
  digitalWrite(trigPin2, LOW);  
  delayMicroseconds(5);  
  digitalWrite(trigPin2, HIGH);  
  delayMicroseconds(10);
```

```
tiempo2 = pulseIn(echoPin2, HIGH);
distancia2 = 0.017 * tiempo2;
Serial.print("distancia 2 es:");
Serial.print(distancia2);
Serial.println("cm.");
delay(500);
}
void loop() {
  sensor1();
  if( distancia!=0 && distancia2!=0){
    if( distancia<30 && distancia2>=30){
      myDFPlayer.play(4);
      motor1();
    }else if(distancia>30 && distancia<60 && distancia2>=30){
      myDFPlayer.play(1);
      motor2();
    }else if(distancia>60 && distancia<80 && distancia2>=30){
      myDFPlayer.play(2);
      motor3();
    }
    else if(distancia2<30){
      myDFPlayer.play(3);
      motor1();
      motor4();
    }
    delay(650);
    analogWrite(motor,0);
    analogWrite(motors,0);
  }
}
```

9.2.3. Diseño del circuito impreso

Después de realizar todas las pruebas correspondientes y simulación en la placa de pruebas de los módulos con los circuitos para la placa final, se procedió a realizar los diagramas de circuito impreso con la ayuda de Eagle 9.4.2 y los diagramas esquemáticos anteriormente realizados en el mismo software.

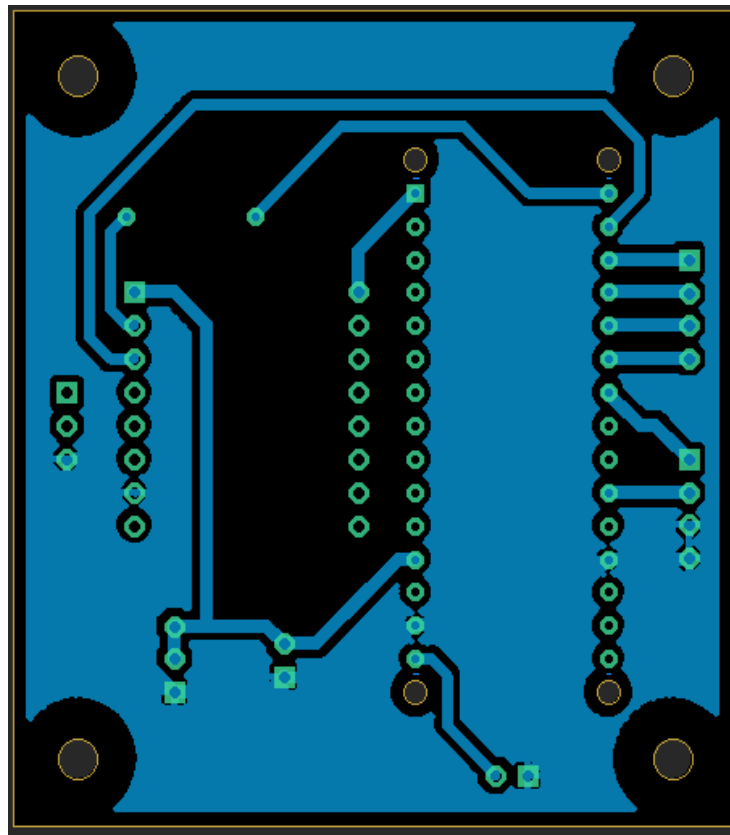


Figura 48: Circuito impreso de la placa principal del prototipo.

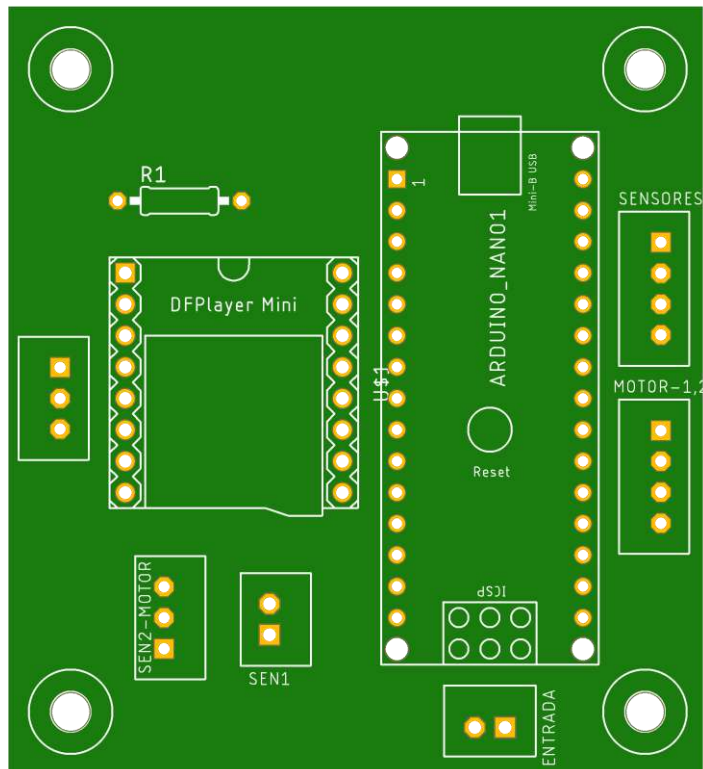


Figura 49: Circuito final de la placa principal en Eagle.

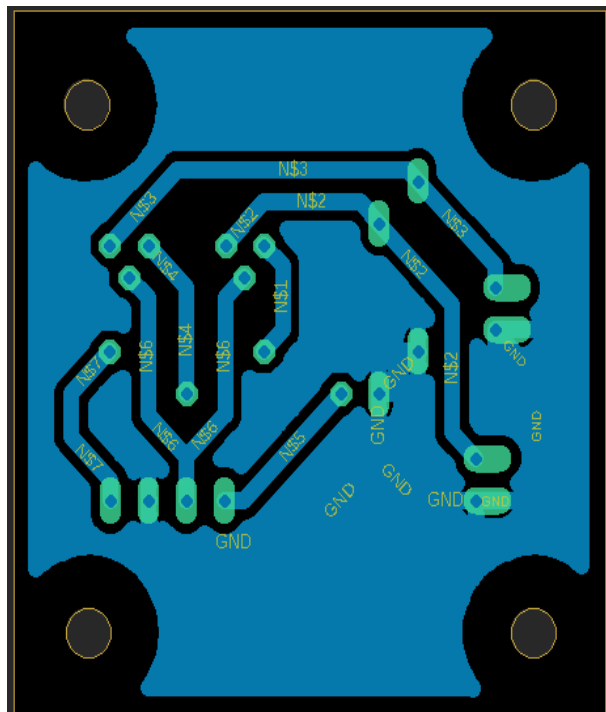


Figura 50: Segundo circuito impreso del Prototipo.

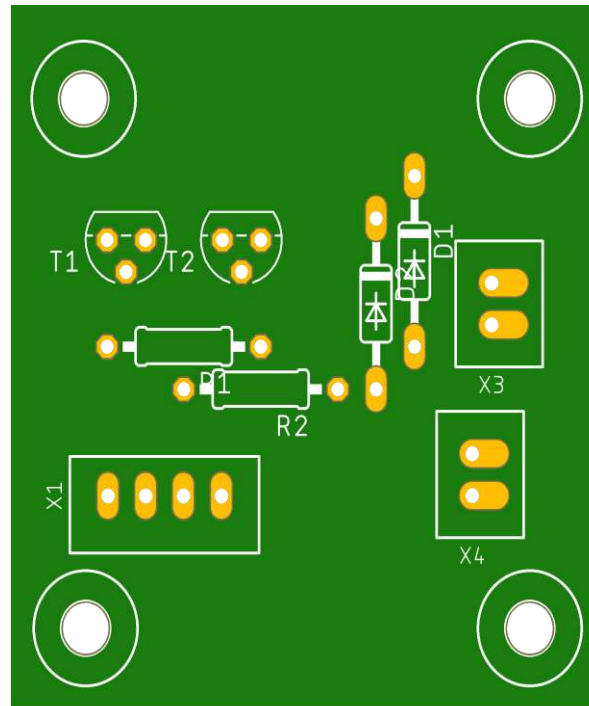


Figura 51: Circuito final de la segunda placa.

9.2.3.1. Implementación de las placas

Lo primero que se hizo es exportar el diseño de las placas de Eagle en pdf de esta forma se imprime el diseño en una hoja, en la fabricación de circuitos impresos hay distintos tipos de papeles especiales que se usan para el diseño de PCBs con la técnica del planchado, luego al tener impreso el diseño en una hoja se recortó la baquelita a un tamaño mayor al circuito impreso para mayor facilidad del planchado. También es importante limpiar muy bien la superficie brillante de las placas eliminar todas las impurezas.

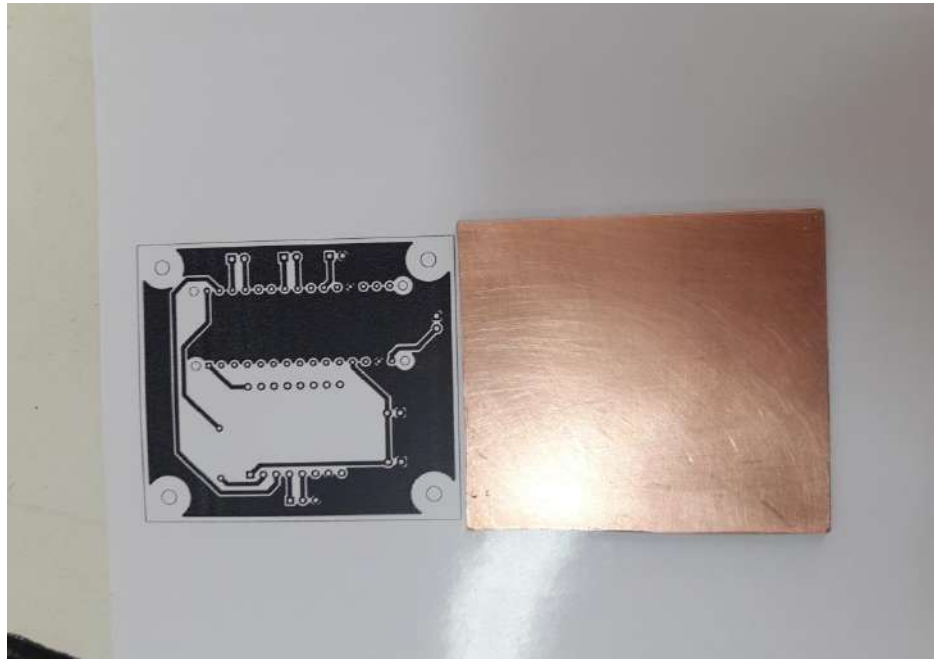


Figura 52: Implementación del circuito impreso.

9.2.3.2. Método de grabado

Una vez terminada la parte de limpieza del cobre, se procedió al método de planchado, que transferirá el diseño del circuito impreso de la hoja a la placa.

- Primero colocamos la hoja sobre el cobre y centrada.
- Planchamos a una temperatura media durante unos minutos procurando que la impresión se fije muy bien a las placas
- Terminado el planchado ponemos la placa en agua y las dejamos remojar por varios minutos para luego desprenderlas fácilmente.
- Desprendemos el papel con cuidado
- Verificamos que las pistas salieron bien y si es necesario retocar el grabado utilizando un marcador indeleble fino.

9.2.3.3. Proceso de lavado de las placas

Esta parte se extrae el cobre de las placas menos las pistas grabadas del circuito para esto se siguió los siguientes pasos:

- Poner un poco de agua lo suficiente para cubrir las placas, en un recipiente de plástico.
- Mezclar el ácido clorhídrico en el recipiente con el agua.
- Colocar las placas dentro de la mezcla y para acelerar el proceso mover ligeramente con cuidado el recipiente.
- Una vez que las placas quedan limpias en la parte del cobre extraer las placas y lavarlas con agua limpia.

9.2.3.4. Montaje de los componentes

Una vez terminado las partes de diseño e impresión del circuito en la placa, lo siguiente es soldar y fijar los componentes. Para este proyecto se usó conectores del tipo Jst hembra y macho para una mayor facilidad de montaje y desmontajes de los sensores ultrasónicos entre la conexión con los motores de vibración y alimentación del prototipo. Los módulos Arduino el DFPlayer mini y otros componentes más pequeños son soldados directamente por la placa para un mejor funcionamiento. A continuación, se presentan los pasos:

- Limpiar bien las placas para una mejor fijación del estaño.
- Comprobar continuidad eléctrica de todas las pistas y reparar si es necesario.
- Con cautín caliente y estaño fijar correctamente los pines de los componentes
- Verificar continuidad entre las pistas, y pines de los componentes para prevenir sueldas frías o mal soldadas.
- Verificar que no exista ningún corto circuito entre las pistas.
- Listo

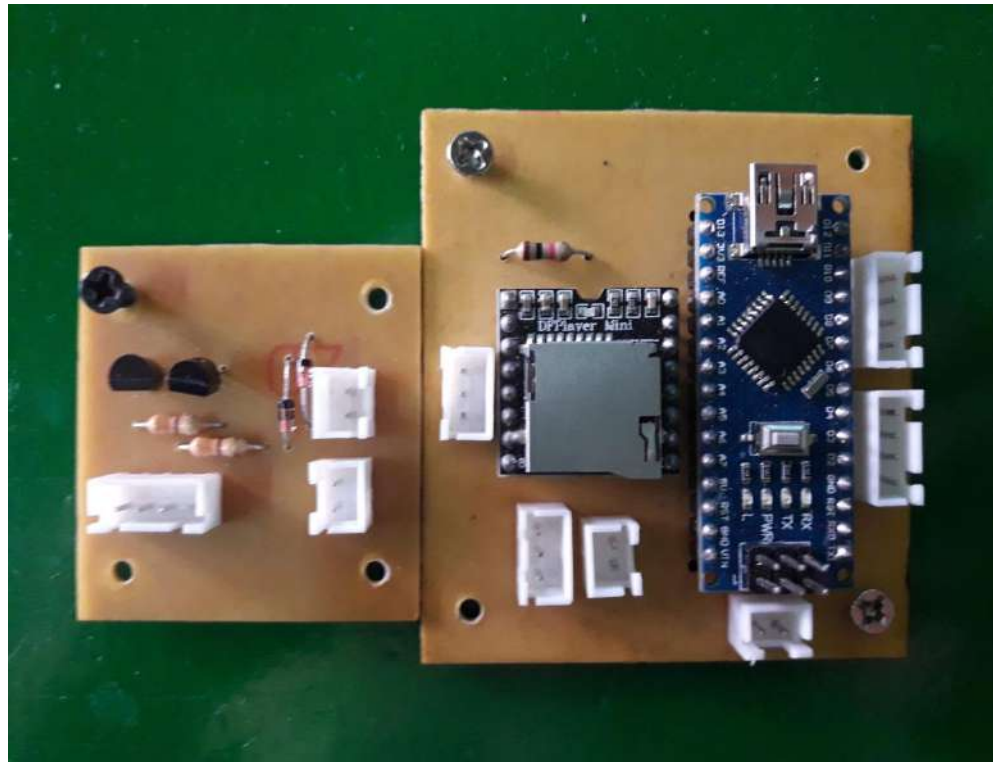


Figura 53: Montaje completo de las placas.

9.3. Diseño de las carcasas para el bastón electrónico

Para el diseño de las carcasas se utilizó un software de Autodesk que es la fusión 360 se optó por este ya que tiene la versión gratuita para estudiantes y profesores, con este programa se creó la modelación en 3D, se diseñó las medidas exactas para el soporte de los componentes del prototipo.

9.3.1. Carcasa principal inferior

La primera carcasa se diseñó para ir en la parte inferior del bastón con unos de los sensores y las placas de circuito.

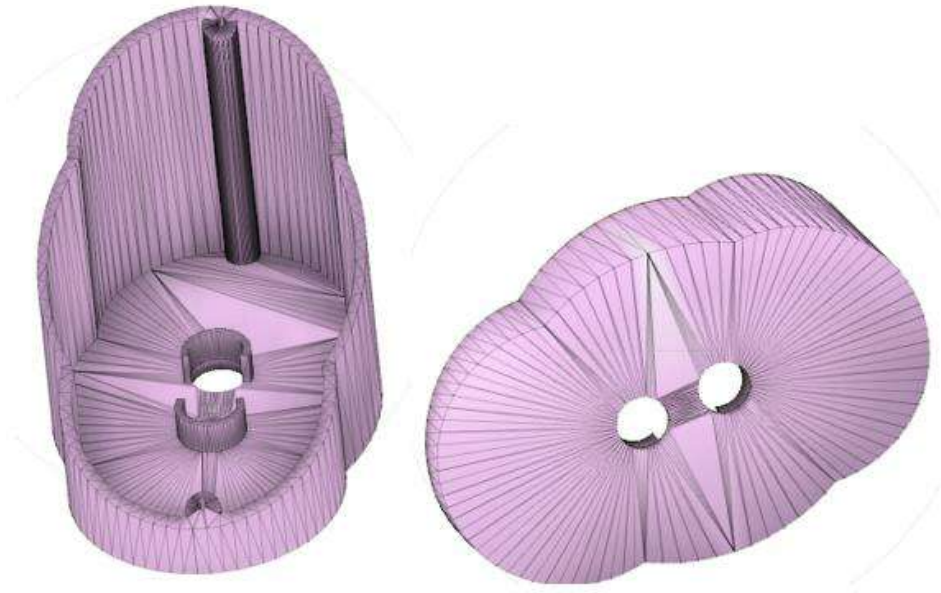


Figura 54: Carcasa Principal Inferior.

9.3.2. Carcasa frontal superior

En la parte superior se diseñó otra carcasa con la incorporación de un sensor más para la detección de obstáculos por encima de la media altura del bastón y también para el soporte del módulo bluetooth prosper.



Figura 55: Carcasa Frontal Superior.

9.3.3. Soportes de carcasas

El prototipo lleva tres soportes con las mismas medidas para la fijaciones el bastón.

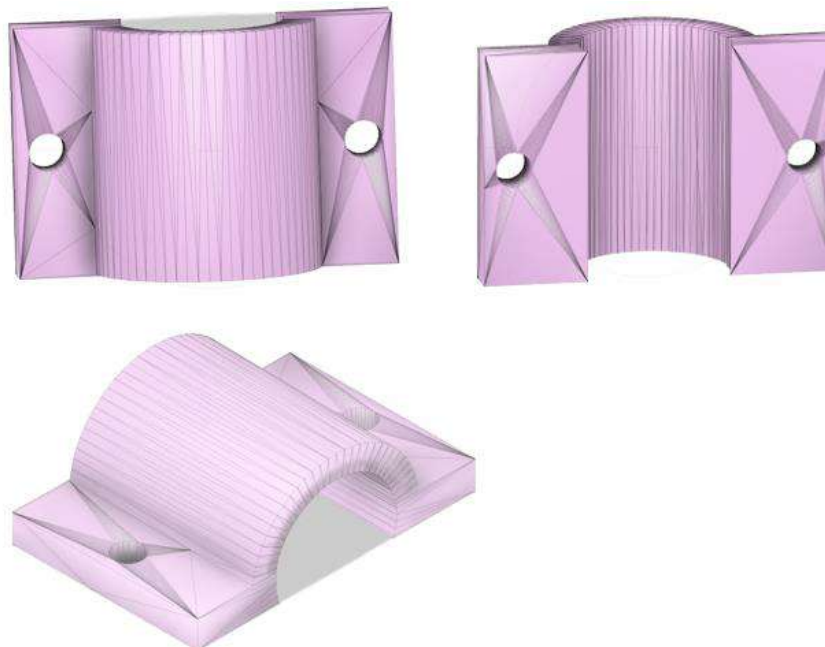


Figura 56: Soportes de las Carcasas.

9.3.4. Porta motores

Por último, para terminar el prototipo se diseñó la porta motores para el sistema de vibración del bastón.

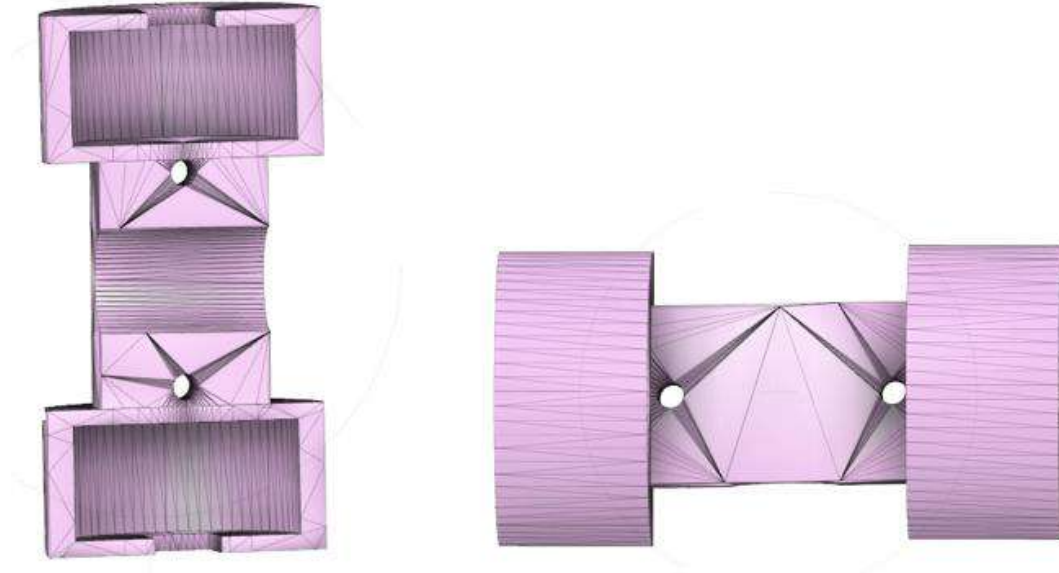


Figura 57: Porta Motores.

9.3.5. Impresión 3D

Luego de modelar todas las carcasas se lleva a una impresora 3D, el material utilizado para la impresión es el PLA, un plástico biodegradable que tiene una alta resistencia y es más fácil de imprimir para las impresoras. A continuación, se muestran las carcasas terminadas.



Figura 58: Impresión 3D de la carcasa superior.



Figura 59: Impresión 3D de la carcasa inferior.



Figura 60: Impresión 3D de porta motores.

9.3.6. Montaje

Las carcasas fueron diseñadas con las medidas exactas de los componentes y las placas, de esta manera el ensamblaje es más sencillo y rápido.

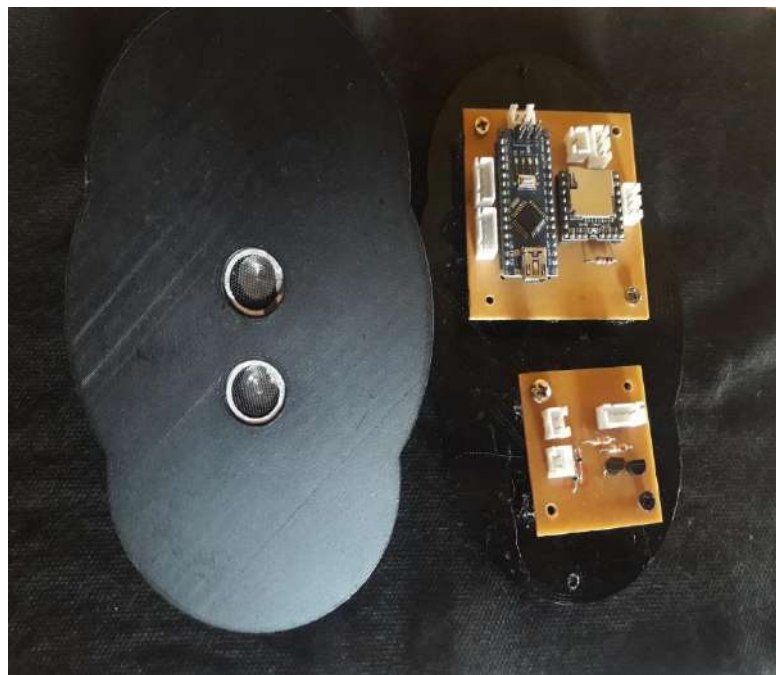


Figura 61: Montaje final de la carcasa inferior.



Figura 62: Montaje final de la carcasa superior.



Figura 63: Montaje completo del porta motores.

9.3.7. Diseño final del prototipo

Para finalizar la implementación del presente proyecto se diseñaron tres elementos con sus respectivos soportes para adaptar al bastón, los cuales son: una carcasa principal donde se encuentran los módulos electrónicos y un sensor encargado de detectar obstáculos en la parte inferior del bastón, otra segunda carcasa con el módulo bluetooth que va en la parte superior para la comunicación inalámbrica y la detección de objetos frontales del usuario, y por último el porta motores que fue diseñado a fin de transmitir las informaciones por vibración. El prototipo tiene dos sistemas de comunicación: uno por alerta de voz con una comunicación inalámbrica bluetooth el segundo por sistema de vibración. De esta forma ofrece un mejor desenvolvimiento con el bastón y la ventaja de seleccionar unos de los dos sistemas de acuerdo a elección del usuario.



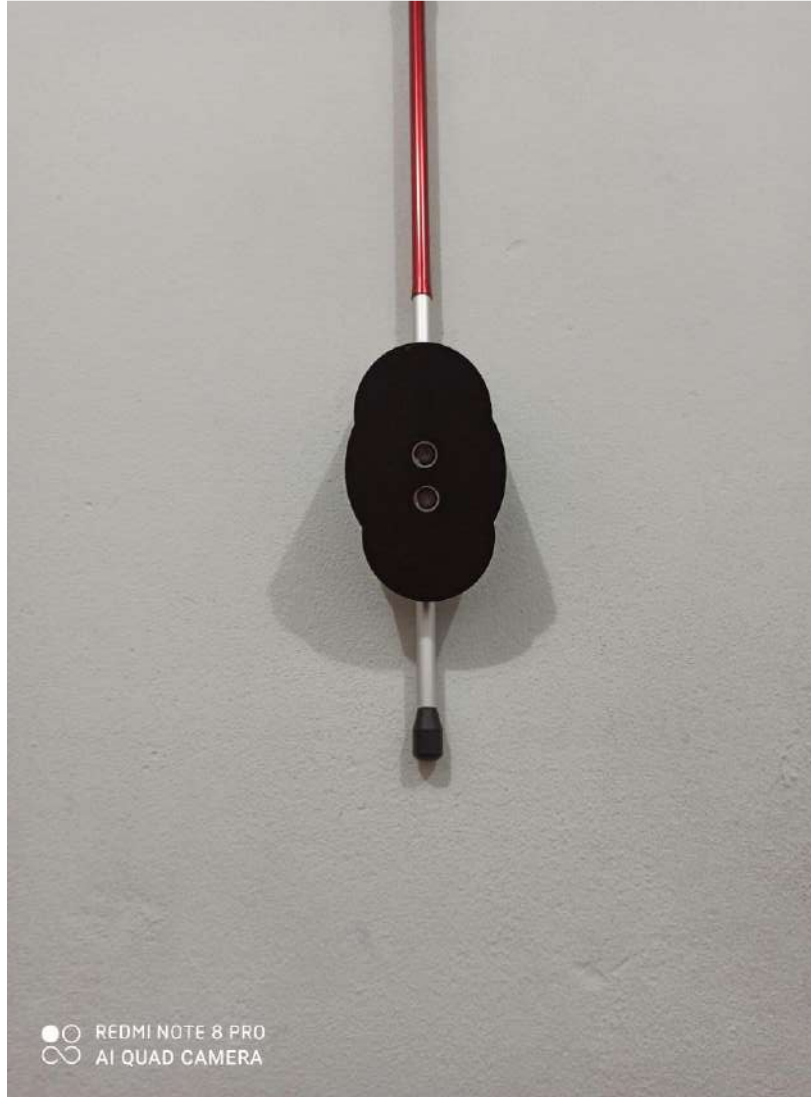




Figura 64: Montaje final del Bastón Electrónico.

9.4. Característica del Bastón Electrónico

Este bastón electrónico para personas invidentes con un sistema de comunicación inalámbrica y vibración presenta las siguientes características

Características del Prototipo	
Componentes	<ul style="list-style-type: none">✓ 1 Tarjeta Arduino Nano✓ 2 Sensores HC-SR04✓ 1 DFPlayer Mini reproductor mp3✓ 1 Transmisor de audio Prosper BLU-03✓ 2 Mini motor vibrador✓ Otros elementos electrónicos
Rango de trabajo	2cm a 400cm.
Rango de alerta	2cm a 120cm.
Velocidad de Comunicación	115200 Baudios.
Alimentación	7V-4600 mA
Modelo	Bastón Electrónico

Tabla 15: Característica del Bastón Electrónico.

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Por medio de varias investigaciones realizadas sobre las técnicas de uso del bastón y desenvolvimiento de las personas invidentes, fue posible determinar el diseño específico del prototipo, sensores necesarios y la forma de comunicación o alertas de aviso.

En lo que respecta al diseño completo se ha obtenido favorablemente con el programa fusión 360 de la compañía Autodesk, realizando los ajustes necesarios de la modelación acorde a las medidas de los componentes electrónicos y adaptaciones al bastón convencional.

Analizando los resultados obtenidos en base de las pruebas realizadas, el Bastón Electrónico resulta cómodo, ligero y fácil de utilizar. Las alertas de voz son muy claras entregando información detallada de la distancia de los obstáculos al usuario, agregándole a esto la altura, es decir, si se encuentra en la parte inferior o superior también las alertas de vibración configuradas de cuatros modos diferentes entregan información detallada lo cual luego de que el usuario se adapte le resulta fácil entenderlas. En la actualidad existen dispositivos y aplicaciones desarrolladas para personas con discapacidad visual, algunos dispositivos que está entre los más eficientes solo detectan obstáculos en la parte inferior o superior del usuario. En cambio, el Bastón Electrónico desarrollado en este proyecto ofrece información mediante alertas de voz con comunicación inalámbrica y/o alertas de vibración tanto en la parte inferior como superior, lo cual permite al usuario sentirse más seguro al desplazarse evitando posibles accidentes en su desplazamiento.

VI. CONCLUSIONES

Al finalizar el diseño, construcción e implementación del bastón electrónico se han obtenido los resultados esperados para el cumplimiento de los objetivos trazados, partiendo de los requerimientos dados por las personas invidentes del Centro de Formación Integral para Personas Ciegas y Baja Visión, filial Coronel Oviedo-Caaguazú.

Se considera que el prototipo del bastón electrónico es de gran apoyo para las personas con discapacidad visual, ya que con este bastón pueden realizar la detección de obstáculos, impidiendo percances en su movilidad.

Todas las etapas del presente trabajo de investigación llevaron a mejorar en parte el uso del bastón convencional, proporcionando así mayor seguridad y confianza a las personas ciegas a desplazarse en lugares abiertos

El prototipo del bastón electrónico es completamente funcional de peso ligero, cómodo, fácil de usar con un diseño propio no muy robusto. Gracias a estas características permitieron al usuario una rápida adaptación o familiarización.

Finalmente, por medio de la realización del análisis económico queda demostrado que en un periodo de 9 años la tasa de inversión de retorno es del 56% concluyendo así que el proyecto es totalmente viable tanto técnica como económicamente.

VII. RECOMENDACIONES

En base a lo registrado en el proceso de diseño, construcción e implementación del bastón electrónico, se realizan las siguientes recomendaciones:

- Se recomienda la búsqueda de un material con más resistencia para los golpes, proporcionando más durabilidad de las carcasas.
- Buscar una opción de solucionar la flexibilidad del bastón para poder doblarlo y ofrecer mayor comodidad al usuario.
- Cambiando el Angulo de posición de las carcasas con respecto al eje del bastón se obtendría una mejor medición de los sensores.
- Se recomienda el uso del sensor SRF235, porque permite detectar objetos con más precisión y menos error.
- Cambiando la tarjeta Arduino nano por una tarjeta con más capacidad de memoria y procesamiento de informaciones se obtendría un aumento considerable de la funcionalidad del bastón.
- Con las mejoras propuestas, se deberá realizar otra evaluación económica para verificar la factibilidad económica del nuevo diseño.

VIII. APÉNDICE

Apéndice A: Resumen ejecutivo

Apéndice A.1: Determinación de los Costos del Prototipo

En este apartado se contabilizará los costos monetarios en la ejecución del proyecto. Para lo que tenemos en cuenta los costos detallados de los cuatro aspectos, que son: electrónico, el diseño y programación del software, la impresión en 3D de las carcasas y la mano de obra.

Aspectos Electrónicos

Consideraremos el aspecto electrónico, en la Tabla 16 se observa los costos de los materiales y componentes de las partes electrónicas para la fabricación del prototipo con sus respectivos precios del mercado en la actualidad.

Componentes	Cantidad	Precio Unitario (Gs)	Costo Total (Gs)
Tarjeta Arduino Nano	1	60.000	60.000
Sensor HC-SR04	2	65.000	130.000
DFPlayer Mini Reproductor mp3	1	130.000	130.000
Prosper Blu-03	1	80.000	80.000

Mini Interruptores	2	6.000	12.000
Pilas UltraFire	2	30.000	60.000
Porta pilas	1	15.000	15.000
Tarjeta Micro SD 16GB	1	25.000	25.000
Transistores C1815	2	6.500	13.000
Resistencias	3	6.000	18.000
JST Connector	9	14.000	126.000
Auricular Inalámbrico	2	75.000	150.000
Micro motor de Vibración	2	25.000	50.000
Diodos	2	6.000	12.000
Estaño	1 Rollo	50.000	50.000
Placa de Cobre	1	35.000	35.000
Cautín	1	50.000	50.000
Pistola de Silicona	1	11.000	11.000

Barra de Silicona	5	1.000	5.000
Cables	12 m	1.000	12.000
Otros Materiales	1	200.000	200.000
Costo Sub Total			1.244.000

Tabla 16: Aspecto Electrónico.

Aspecto de Diseño y Programación del Software

En la Tabla 17, se observa la mano de obra invertida por un ingeniero junior para el diseño y programación del software, estimando un tiempo de seis meses, con un costo por día de 233.000Gs.

Concepto	Unidad	Cantidad	Precio Unitario (Gs)	Costo total (Gs)
Ingeniero Junior	Día	168	233.000	39.143.000

Tabla 17: Aspecto de Diseño y Programación del Software.

Impresión 3D

En este apartado, se observa en la Tabla 18, la impresión 3D durante 5 días (120 horas) y el costo invertido por día de 70.000 Gs.

Concepto	Unidad	Cantidad	Costo total (Gs)
Impresión	Día	120 hs	350.000

Tabla 18: Costo de la Impresión del Prototipo.

Montaje del Prototipo

El ensamblaje del prototipo es realizado por un técnico en electrónica, cuyo costo de mano de obra por prototipo es de 400.000 Gs. En la Tabla 19 se observa el tiempo de montaje y el costo por parte.

Horas	Días	Partes Ensambladas	Costo por parte (Gs)
08:00 a 11:00 13:00 a 16:00	Lunes	Ensamble de la carcasa principal inferior	100.000
08:00 a 11:00 13:00 a 16:00	Martes	Ensamble de la carcasa frontal superior y porta motores	100.000
08:00 a 11:00 13:00 a 16:00	Miércoles	Alimentación y conexiones del prototipo	100.000
8:00 a 11:00 13:00 a 16:00	Jueves	Prueba de funcionamiento del prototipo	100.000
Costo Total (Gs)			400.000

Tabla 19: Costo y Tiempo de Montaje del Prototipo.

Flujo de Caja

En la tabla 20 se presenta los principales componentes que se tuvo en cuenta para la realización del flujo de caja del prototipo, también se describe los puntos específicos para costear cada componente de la siguiente tabla.

Componentes del flujo de caja	Precio	Observación
Aspecto electrónico	1.244.000 Gs	En este aspecto incluye todos los componentes electrónicos que se usó en el prototipo y el precio total con que adquirió cada componente.
Mano de obra del Ing. Junior	39.143.000 Gs	Esta parte se calculó el tiempo invertido por un Ing. Junior para el diseño del prototipo con un salario por día de 233.000 Gs. Un 20 % de este monto se consideró en los años 2 y 6 previendo algún update o upgrade del dispositivo
Impresión 3D	350.000 Gs	Para costear la impresión 3D se tuvo en cuenta el precio del plástico utilizado y el tiempo de trabajo de las impresoras.
Técnico electrónico mano de obra	400.000 Gs	Costo de mano de obra por cada dispositivo fabricado.

Tabla 20: Componentes del flujo de caja

Horizonte del Proyecto	ANO 0	ANO 1	ANO 2	ANO 3	ANO 4	ANO 5	ANO 6	ANO 7	ANO 8	ANO 9
Ingreso de Cajas										
Prototipo Fabricado		66	78	86	95	120	130	140	145	150
Precio Unitario	1.994.000	1.994.000	1.994.000	1.994.000	1.994.000	1.994.000	1.994.000	1.994.000	1.994.000	1.994.000
Rentabilidad (30%)		598.200	598.200	598.200	598.200	598.200	598.200	598.200	598.200	598.200
Precio Unitario Total	1.994.000	2.592.200	2.592.200	2.592.200	2.592.200	2.592.200	2.592.200	2.592.200	2.592.200	2.592.200
Total de Ingresos		171.085.200	202.191.600	222.929.200	246.259.000	311.064.000	336.986.000	362.908.000	375.869.000	388.830.000
Egresos de Caja										
Aspetto Electrónico	1.244.000	82.104.000	97.032.000	106.984.000	118.180.000	149.280.000	161.720.000	174.160.000	180.380.000	186.600.000
Mano de Obra Ing. Junior	39.143.000	0	7.828.600	0	0	0	7.828.600	0	0	0
Gastos Administrativo	2.200.000	2.200.000	2.200.000	2.200.000	2.200.000	2.200.000	2.200.000	2.200.000	2.200.000	2.200.000
nico electrónico mano de	400.000	26.400.000	31.200.000	34.400.000	38.000.000	48.000.000	52.000.000	56.000.000	58.000.000	60.000.000
Publicidad	400.000	400.000	400.000	400.000	400.000	400.000	400.000	400.000	400.000	400.000
Impresión 3D	350.000	23.100.000	27.300.000	30.100.000	33.250.000	42.000.000	45.500.000	49.000.000	50.750.000	52.500.000
Imprevistos		1.710.852	2.021.916	2.229.292	2.462.590	3.110.640	3.369.860	3.629.080	3.758.690	3.888.300
Local-Alquiler		9.600.000	9.600.000	9.600.000	9.600.000	9.600.000	9.600.000	9.600.000	9.600.000	9.600.000
Reparaciones		650.000	650.000	650.000	650.000	650.000	650.000	650.000	650.000	650.000
Despreciasión	4.440.000	4.440.000	4.440.000	4.440.000	4.440.000	4.440.000	4.440.000	4.440.000	4.440.000	4.440.000
Transporte	600.000	600.000	600.000	600.000	600.000	600.000	600.000	600.000	600.000	600.000
Total de Egresos	48.777.000	151.204.852	183.272.516	191.603.292	209.782.590	260.280.640	288.308.460	300.679.080	310.778.690	320.878.300
Resultado en Caja	-48.777.000	19.880.348	18.919.084	31.325.908	36.476.410	50.783.360	48.677.540	62.228.920	65.090.310	67.951.700
Impuesto (10%)	-4.877.700	1.988.035	1.891.908	3.132.591	3.647.641	5.078.336	4.867.754	6.222.892	6.509.031	6.795.170
Flujo Neto	-43.899.300	17.892.313	17.027.176	28.193.317	32.828.769	45.705.024	43.809.786	56.006.028	58.581.279	61.156.530
TIR	57%									

Tabla 21: Flujo de Caja.

En la Tabla 21, se muestran el flujo de caja del proyecto con un horizonte de 9 años.

La proyección del flujo de caja indica que la inversión inicial invertida retorna de manera neta a los dos años y cuatro meses basado en los cálculos del payback o plazo de recuperación y según la tabla 21 en la cual se clasifica los egresos e ingresos durante los periodos de 9 años, partiendo del inicio de la inversión.

Apéndice A.2: Periodo de recuperación de la inversión (PRI)

Específicamente el valor de PRI se puede calcular de la siguiente manera:

$$PRI = a + \frac{I_0 - b}{Ft} = 2 \text{ años} + \frac{43.899.300 - 34.919.489}{28.193.317} = 2.4 \text{ años}$$

Donde:

a = Numero del periodo hasta recuperar el desembolso inicial

I_0 = Inversión inicial del proyecto.

b = suma de los flujos hasta el final del periodo "a"

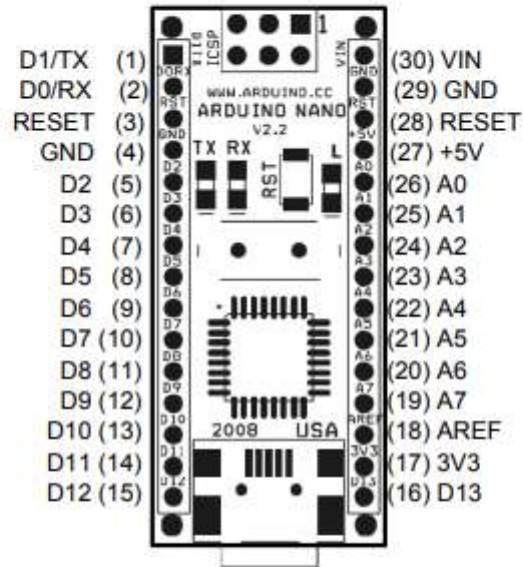
F_t = valor del flujo de caja del año en que se recupera la inversión

Al comienzo del tercer año ya se recuperaría la totalidad de la inversión incluyendo la tasa de descuento del 10%. Lo que significa que a mediados del tercer año ya se obtendrá beneficios económicos.

Apéndice B: Ingeniería de diseño

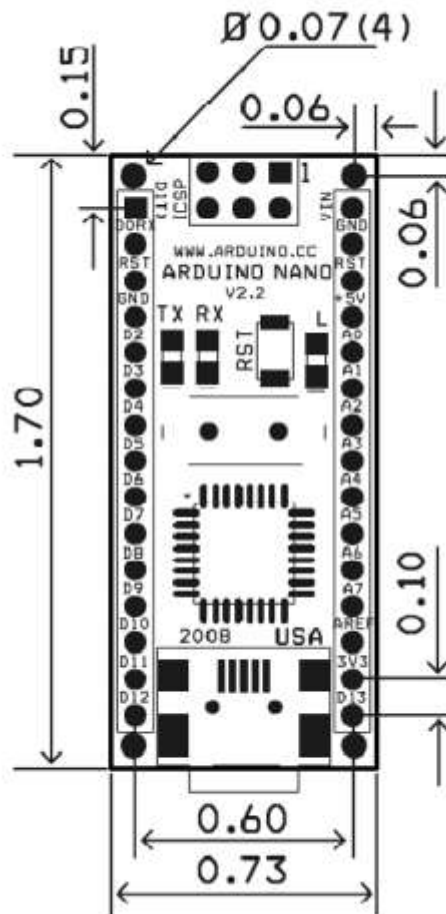
Apéndice B.1: Datasheet del Arduino Nano

Arduino Nano Pin Layout



Pin No.	Name	Type	Description
1-2, 5-16	D0-D13	I/O	Digital input/output port 0 to 13
3, 28	RESET	Input	Reset (active low)
4, 29	GND	PWR	Supply ground
17	3V3	Output	+3.3V output (from FTDI)
18	AREF	Input	ADC reference
19-26	A7-A0	Input	Analog input channel 0 to 7
27	+5V	Output or Input	+5V output (from on-board regulator) or +5V (input from external power supply)
30	VIN	PWR	Supply voltage

Arduino Nano Mechanical Drawing



ALL DIMENTIONS ARE IN INCHES

Arduino Nano Bill of Material

Item Number	Qty.	Ref. Dest.	Description	Mfg. P/N	MFG	Vendor P/N	Vendor
1	5	C1,C3,C4,C7,C9	Capacitor, 0.1uF 50V 10% Ceramic X7R 0805	C0805C104K5RACTU	Kemet	80-C0805C104K5R	Mouser
2	3	C2,C8,C10	Capacitor, 4.7uF 10V 10% Tantalum Case A	T491A475K010AT	Kemet	80-T491A475K010	Mouser
3	2	C5,C6	Capacitor, 18pF 50V 5% Ceramic NOP/COG 0805	C0805C180J5GACTU	Kemet	80-C0805C180J5G	Mouser
4	1	D1	Diode, Schottky 0.5A 20V	MBR0520LT1G	ONsemi	863-MBR0520LT1G	Mouser
5	1	J1,J2	Headers, 36PS 1 Row	68000-136HLF	FCI	649-68000-136HLF	Mouser
6	1	J4	Connector, Mini-B Recept Rt. Angle	67503-1020	Molex	538-67503-1020	Mouser
7	1	J5	Headers, 72PS 2 Rows	67996-272HLF	FCI	649-67996-272HLF	Mouser
8	1	LD1	LED, Super Bright RED 100mcd 640nm 120degree 0805	APT2012SRCPRV	Kingbright	604-APT2012SRCPRV	Mouser
9	1	LD2	LED, Super Bright GREEN 50mcd 570nm 110degree 0805	APHCM2012CGCK-F01	Kingbright	604-APHCM2012CGCK	Mouser
10	1	LD3	LED, Super Bright ORANGE 160mcd 601nm 110degree 0805	APHCM2012SECK-F01	Kingbright	04-APHCM2012SECK	Mouser
11	1	LD4	LED, Super Bright BLUE 80mcd 470nm 110degree 0805	LTST-C170TBKT	Lite-On Inc	160-1579-1-ND	Digikey
12	1	R1	Resistor Pack, 1K +/-5% 62.5mW 4RES SMD	YC164-JR-071KL	Yageo	YC164J-1.0KCT-ND	Digikey
13	1	R2	Resistor Pack, 680 +/-5% 62.5mW 4RES SMD	YC164-JR-07680RL	Yageo	YC164J-680CT-ND	Digikey
14	1	SW1	Switch, Momentary Tact SPST 150gf 3.0x2.5mm	B3U-1000P	Omron	SW1020CT-ND	Digikey
15	1	U1	IC, Microcontroller RISC 16kB Flash, 0.5kB EEPROM, 23 I/O Pins	ATmega168-20AU	Atmel	556-ATMEGA168-20AU	Mouser
16	1	U2	IC, USB to SERIAL UART 28 Pins SSOP	FT232RL	FTDI	895-FT232RL	Mouser
17	1	U3	IC, Voltage regulator 5V, 500mA SOT-223	UA78M05CDCYRG3	TI	595-UA78M05CDCYRG3	Mouser
18	1	Y1	Cystal, 16MHz +/-20ppm HC-49/US Low Profile	ABL-16.000MHZ-B2	Abracon	815-ABL-16-B2	Mouser

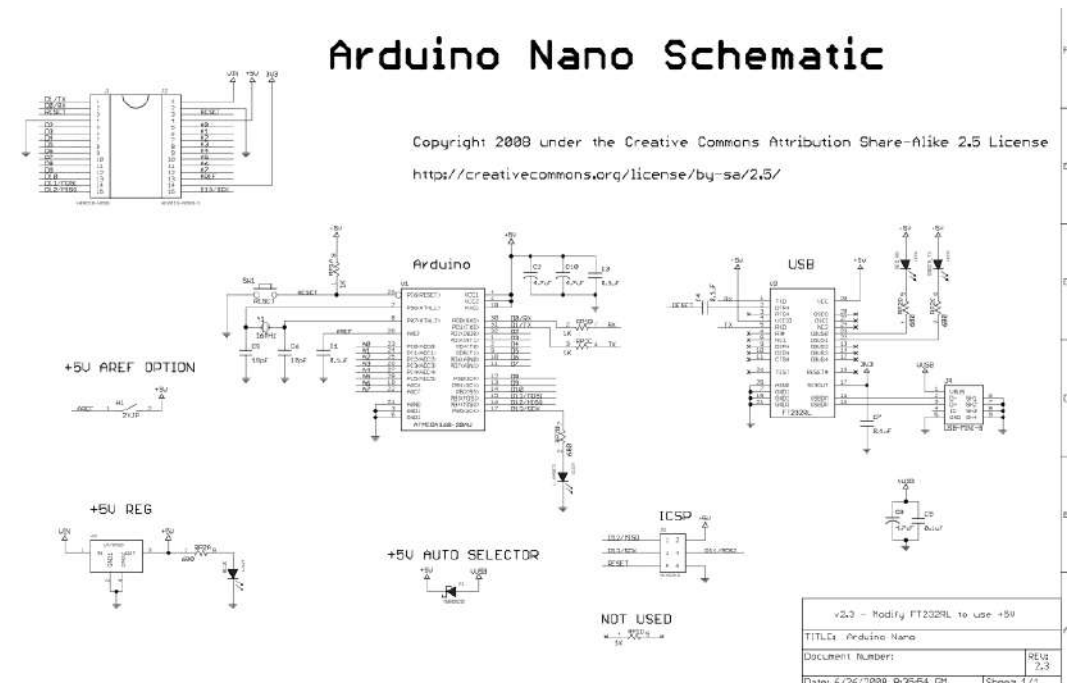
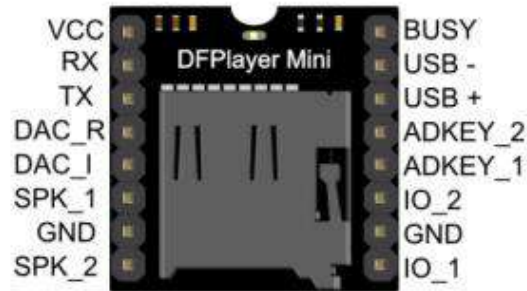


Figura 65: DataSheet del Arduino Nano.

Apéndice B.2: Datasheet del módulo DFPlayer Mini

19/8/2014

DFPlayer Mini SKU:DFR0299 - Robot Wiki



Pin	Description	Note
VCC	Input Voltage	DC3.2~5.0V;Type: DC4.2V
RX	UART serial input	
TX	UART serial output	
DAC_R	Audio output right channel	Drive earphone and amplifier
DAC_L	Audio output left channel	Drive earphone and amplifier
SPK2	Speaker-	Drive speaker less than 3W
GND	Ground	Power GND
SPK1	Speaker+	Drive speaker less than 3W
IO1	Trigger port 1	Short press to play previous (long press to decrease volume)
GND	Ground	Power GND
IO2	Trigger port 2	Short press to play next (long press to increase volume)
ADKEY1	AD Port 1	Trigger play first segment
ADKEY2	AD Port 2	Trigger play fifth segment
USB+	USB+ DP	USB Port
USB-	USB- DM	USB Port
BUSY	Playing Status	Low means playing \High means no

Work Mode

1. Serial Mode

Support for asynchronous serial communication mode via PC serial sending commands Communication Standard:9600 bps Data bits :1 Checkout :none Flow Control :none

- Instruction Description

Format	SS	VER	Len	CMD	Feedback	para1	para2	checksum	SO
\$S			Start bit 0x7E						Each command feedback begin with \$, that is 0x7E
VER			Version						Version Information
Len			the number of bytes after "Len"						Checksums are not counted
CMD			Commands						Indicate the specific operations, such as play / pause, etc.
Feedback			Command feedback						If need for feedback, 1: feedback, 0: no feedback
para1			Parameter 1						Query high data byte
para2			Parameter 2						Query low data byte
checksum			Checksum						Accumulation and verification [not include start bit \$]
\$O			End bit						End bit 0xEF

For example, if we specify play NORFLASH, you need to send: 7E FF 06 09 00 00 04 FF DD EF Data length is 6, which are 6 bytes [FF 06 09 00 00 04]. Not counting the start, end, and verification.

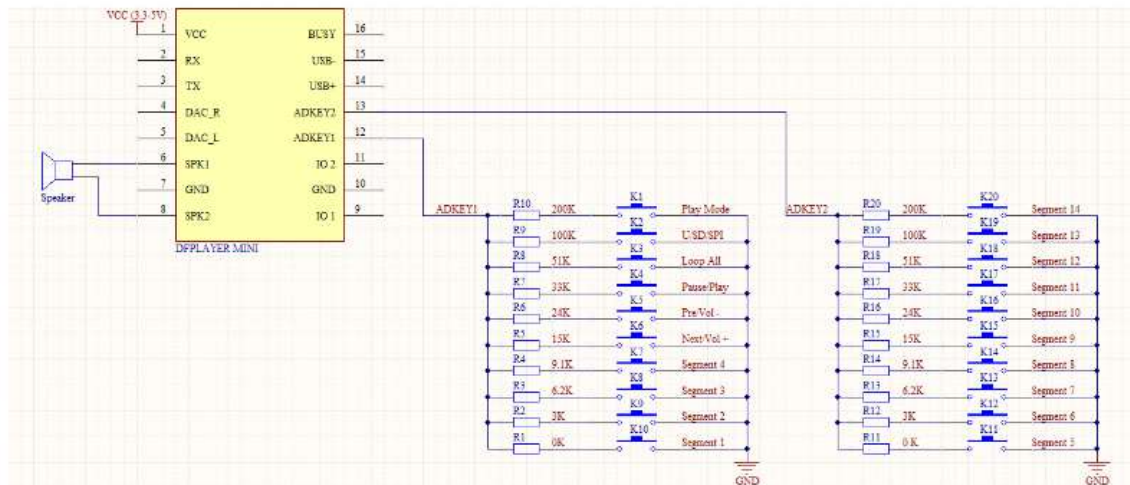
- Serial Control Cmd

CMD	Function Description	Parameters(16 bit)
0x01	Next	
0x02	Previous	
0x03	Specify tracking(NUM)	0-2999
0x04	Increase volume	
0x05	Decrease volume	
0x06	Specify volume	0-30
0x07	Specify EQ(0/1/2/3/4/5)	Normal/Pop/Rock/Jazz/Classic/Base
0x08	Specify playback mode (0/1/2/3)	Repeat/folder repeat/single repeat/ random
0x09	Specify playback source(0/1/2/3/4)	U/TF/AUX/SLEEP/FLASH
0x0A	Enter into standby – low power loss	
0x0B	Normal working	
0x0C	Reset module	
0x0D	Playback	
0x0E	Pause	
0x0F	Specify folder to playback	1~10(need to set by user)
0x10	Volume adjust set	{DH= 1:Open volume adjust } {DL: set volume gain 0~31}
0x11	Repeat play	{1:start repeat play} {0:stop play}

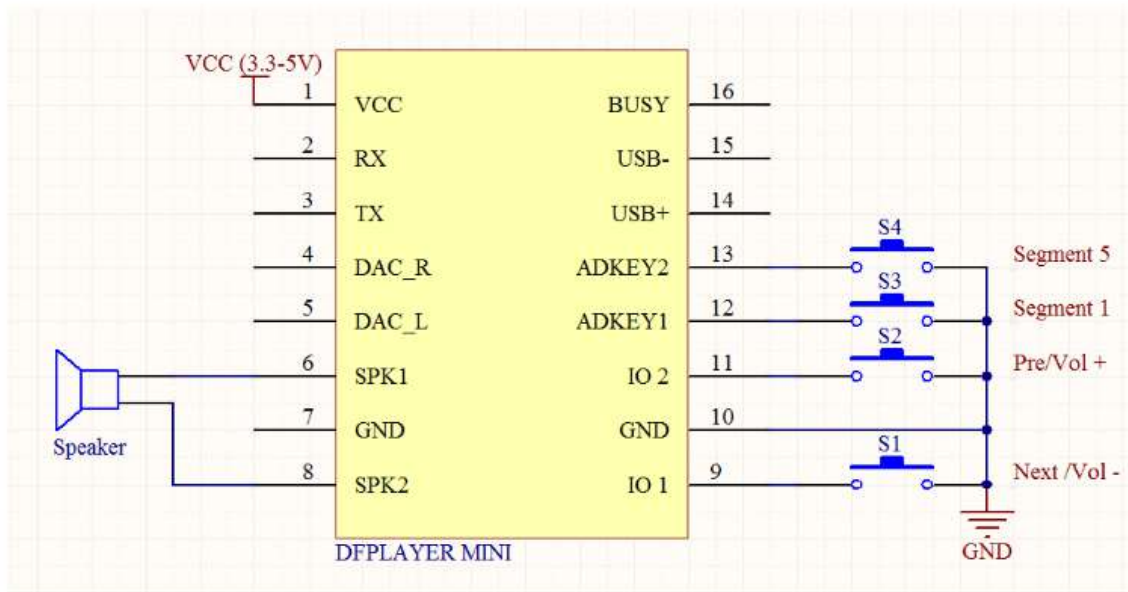
- Serial Query Cmd

Commands	Function Description	Parameters(16 bit)
0x3C	STAY	
0x3D	STAY	
0x3E	STAY	
0x3F	Send initialization parameters	0 - 0x0F(each bit represent one device of the low-four bits)
0x40	Returns an error, request retransmission	
0x41	Reply	
0x42	Query the current status	
0x43	Query the current volume	
0x44	Query the current EQ	
0x45	Query the current playback mode	
0x46	Query the current software version	
0x47	Query the total number of TF card files	
0x48	Query the total number of U-disk files	
0x49	Query the total number of flash files	
0x4A	Keep on	
0x4B	Queries the current track of TF card	
0x4C	Queries the current track of U-Disk	
0x4D	Queries the current track of Flash	

- Refer diagram



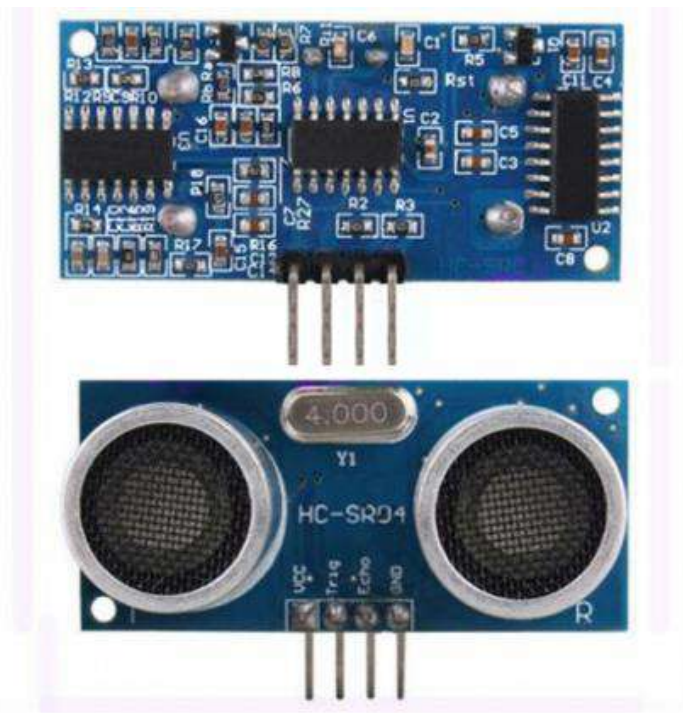
- Refer diagram



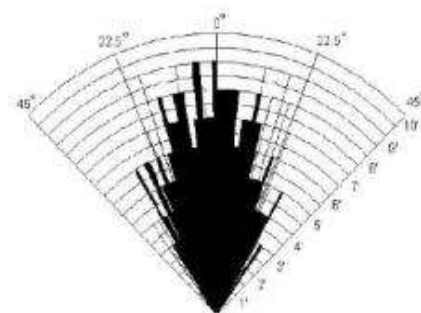
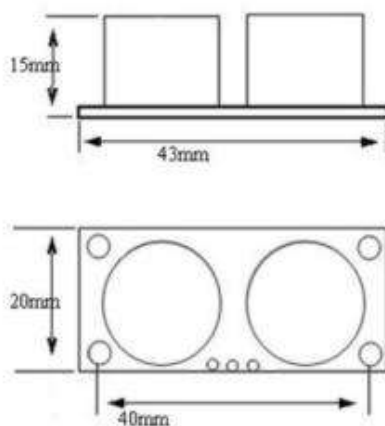
note: short time press means pre/next, and long time press means vol- ,vol +

Figura 66: DataSheet del DFPlayer Mini.

Apéndice B.2: Datasheet del Sensor Ultrasónico SR04



VCC = +5VDC
Trig = Trigger input of Sensor
Echo = Echo output of Sensor
GND = GND

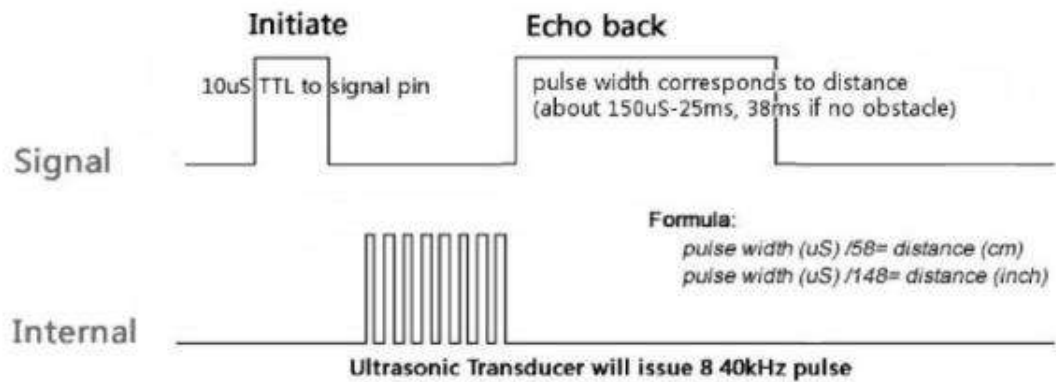


*Practical test of performance,
Best in 30 degree angle*

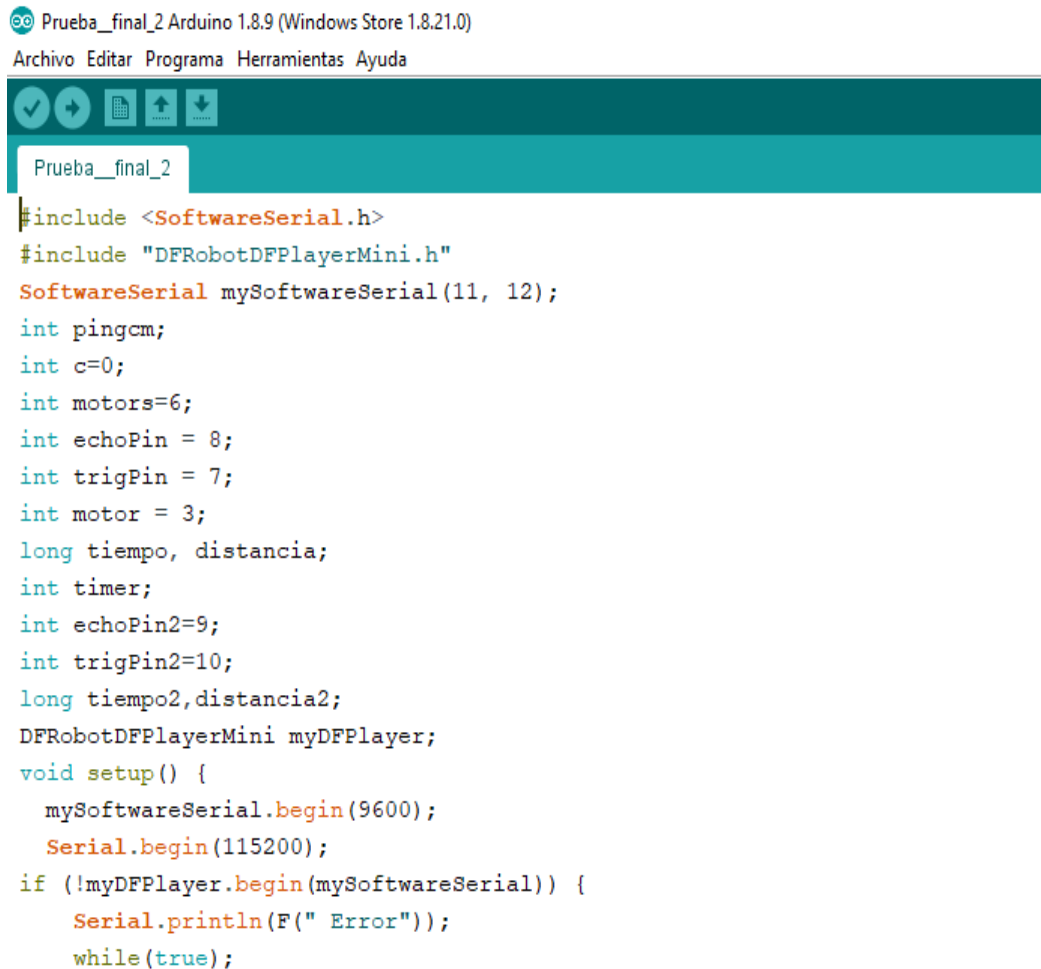
Parameter	Min	Typ.	Max	Unit
Operating Voltage	4.50	5.0	5.5	V
Quiescent Current	1.5	2	2.5	mA
Working Current	10	15	20	mA
Ultrasonic Frequency	-	40	-	kHz

Time = Width of Echo pulse, in uS (micro second)

- Distance in centimeters = Time / 58
- Distance in inches = Time / 148
- Or you can utilize the speed of sound, which is 340m/s



Apéndice B.3: Código Arduino para la detección de objetos



The image shows a screenshot of an Arduino IDE window titled "Prueba_final_2 Arduino 1.8.9 (Windows Store 1.8.21.0)". The menu bar includes "Archivo", "Editar", "Programa", "Herramientas", and "Ayuda". The toolbar contains icons for a checkmark, a right arrow, a keyboard, an up arrow, and a down arrow. The file name "Prueba_final_2" is visible in the title bar. The code editor contains the following C++ code:

```
#include <SoftwareSerial.h>
#include "DFRobotDFPlayerMini.h"
SoftwareSerial mySoftwareSerial(11, 12);
int pingcm;
int c=0;
int motors=6;
int echoPin = 8;
int trigPin = 7;
int motor = 3;
long tiempo, distancia;
int timer;
int echoPin2=9;
int trigPin2=10;
long tiempo2,distancia2;
DFRobotDFPlayerMini myDFPlayer;
void setup() {
  mySoftwareSerial.begin(9600);
  Serial.begin(115200);
  if (!myDFPlayer.begin(mySoftwareSerial)) {
    Serial.println(F(" Error"));
    while(true);
  }
}
```

```
    }
    Serial.println(F(" Funcionando"));
    myDFPlayer.volume(20);
    pinMode(13, INPUT);
    pinMode(echoPin, INPUT);
    pinMode(trigPin, OUTPUT);
    pinMode(echoPin2, INPUT);
    pinMode(trigPin2, OUTPUT);
    pinMode(motor, OUTPUT);
    pinMode(motors, OUTPUT);

}

void apagar() {
c=1;
while(c==1) {
    if(digitalRead (13)==1)
        c=0;}
}
void motor1() {
    analogWrite(motor, 255);
}
void motor2() {
    analogWrite(motor, 127);
}
void motor3() {
    analogWrite(motor, 80 );
}
void motor4() {
    analogWrite(motors, 255);
}
void sensor1() {
    digitalWrite(trigPin, LOW);
    delayMicroseconds(5);
    digitalWrite(trigPin, HIGH);
    delayMicroseconds(10);
    tiempo = pulseIn(echoPin, HIGH);
    distancia = 0.017 * tiempo;
    Serial.print(" distancia 1 es: ");
    Serial.print(distancia);
    Serial.println("cm.");
```

```
    delay(500);
    digitalWrite(trigPin2, LOW);
    delayMicroseconds(5);
    digitalWrite(trigPin2, HIGH);
    delayMicroseconds(10);
    tiempo2 = pulseIn(echoPin2, HIGH);
    distancia2 = 0.017 * tiempo2;
    Serial.print("distancia 2 es:");
    Serial.print(distancia2);
    Serial.println("cm.");
    delay(500);
}

void loop() {

    sensor1();

    if( distancia!=0 && distancia2!=0){
        if( distancia<30 && distancia2>=30){
            myDFPlayer.play(4);
            motor1();
        }else if(distancia>30 && distancia<60 && distancia2>=30){
            myDFPlayer.play(1);
            motor2();
        }else if(distancia>60 && distancia<80 && distancia2>=30){
            myDFPlayer.play(2);
            motor3();
        }
        else if(distancia2<30){
            myDFPlayer.play(3);
            motor1();
            motor4();
        }
        delay(650);
        analogWrite(motor,0);
        analogWrite(motors,0);

    }
}
```

Figura 67: Código Arduino para la detección de objetos.

BIBLIOGRAFIA

- [1] C. E. G. y. A. S. Sánchez, «Clasificaciones,» de *Clasificaciones de la OMS sobre discapacidad*, Murcia, 2001, p. 16.
- [2] M. S. Caballero, *Baja visión y tecnología de acceso a la información*, Madrid, 2015, p. 35.
- [3] Discapacidad Visual D.O.C.E. (Discapacitados otros ciegos de España), «CEGUERA Y DISCAPACIDAD VISUAL SEGÚN LA OMS | DISCAPACIDAD VISUAL D.O.C.E.,» Agosto 2014. [En línea]. Available: <https://asociaciondoce.com/ceguera-y-discapacidad-visual-segun-la-oms/>. [Último acceso: 11 Abril 2019].
- [4] L. A. V. V., «Discapacidad Visual,» Ecuador, p. 5.
- [5] L. Busquet y B. Gabarel, *Osteopatía y Oftamología*, España: Paidotribo, 2008.
- [6] R. Lamberti, «Anatomía de los Ojos,» 03 Diciembre 2009. [En línea]. Available: https://www.monografias.com/usuario/perfiles/rocio_lamberti/monografias. [Último acceso: 29 Marzo 2019].
- [7] F. Mon, «Las Personas Ciegas Y El Uso Del Bastón,» *Almeria Periodico Digital 360*, 29 Junio 2012.
- [8] ORCAM, «Conoce los colores de los walking stickes guia paraciegos,» 31 Mayo 2018. [En línea]. Available: <https://www.orcam.com/es/blog/conoce-los-colores-de-los-bastones-guia-para-ciegos/>. [Último acceso: 24 Abril 2019].
- [9] INVERSORA CORPORATIVA S.A., «Los bastones para ciegos no son todos iguales,» El ciudadano diario de mendoza, 18 Noviembre 2018. [En línea]. Available: <https://www.ciudadanodiario.com.ar/nota/2018-10-24-10-22-51-inclusion-los-bastones-para-ciegos-no-son-todos-iguales>. [Último acceso: 10 Marzo 2020].
- [10] E. M. Córdoba, «Aspectos psicológico de la ceguera,» [En línea]. Available: <http://www.robertexto.com/archivo7/ceguera.htm>. [Último acceso: 25 Abril 2019].
- [11] L. G. Corona, G. S. Abarca y J. Mares, *Sensores y Actuadores Aplicaciones con Arduino*, Mexico : Patria, 2014.
- [12] R. E. Herrador, *Guía de Usuario de Arduino*, Córdoba, 2009.
- [13] J. M. R. Gutiérrez, *Manual de Programación*, San Francisco, California , 2007.
- [14] Inteligencia artificial, «MOT-2265 MOTOR VIBRADOR,» [En línea]. Available: <http://www.inteligenciaartificialrobotica.com>. [Último acceso: 12 Julio 2019].
- [15] B. N. Gutiérrez, «Teoría de los Sistema- El Ojo,» 12 Junio 2006. [En línea]. Available: https://www.monografias.com/usuario/perfiles/bruno_nicolas_gutierrez_perea/monografias. [Último acceso: 29 Marzo 2019].
- [16] Sbelarte, «El Ojo-monografías,» 11 Octubre 2000. [En línea]. Available: <https://www.monografias.com/usuario/perfiles/sbelarte/monografias>. [Último acceso: 01 Abril 2019].
- [17] A. Canal, «El sentido de la vista-monografía,» 25 Enero 2000. [En línea]. Available: <https://www.monografias.com/trabajos/sentidovista/sentidovista.shtml>. [Último acceso: 01 Abril 2019].
- [18] P. R. Areny, *Sensores y Acondicionadores de Señal*, 2016.
- [19] E. L. Sánchez, *Diseño de un sistema de control domótico basado en la plataforma Arduino*, Valencia, 2012.
- [20] L. E. Ayala, *Diseño y Contrucción del Prototipo de un Sistema Electrónico por Ultrasonido para Medir la Distancias Aplicada aun Bastón Blanco*, Cuenca, 2011.
- [21] A. L. Nieto Martelo y C. V. Padilla Cerda, *Diseño y Construcción de un Modulo Asistente Adaptable al Bastón de las Personas con Discapacidad Visual para mejorar su Desplazamiento.*, Barranquilla, 2015.
- [22] C. J. Herrero Herranz y S. A. Jesús, «Una Mirada al Mundo Arduino,» *Tecnología y Desarrollo*, vol.

XIII, 2015.

- [23] E. L. Cando Tite, Bloqueo Electrónico en el Encendido de un Vehículo, para Proporcionar un Sistema de Seguridad contra Robos., Ambato- Ecuador, 2011.
- [24] D. Muñoz y R. Rodríguez, Dispositivo de Detección de Obstáculos para Invidentes, Yucatán, 2013.
- [25] G. Vivanco, «El Comercio,» 19 Mayo 2015. [En línea]. Available: <https://www.elcomercio.com/afull/ojo-miodesopsias-moscasflotantes-vision-oftalmologia>. [Último acceso: 13 Marzo 2020].
- [26] DFRobot Drive The Future, «DFPlayer Mini SKU,» [En línea]. Available: https://wiki.dfrobot.com/DFPlayer_Mini_SKU_DFR0299. [Último acceso: 12 Noviembre 2019].