

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

## **FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA**

### **DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BASTÓN GUÍA PARA AYUDA EN LA MOVILIDAD DE PERSONAS NO VIDENTES**

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PRESENTADO COMO  
REQUISITO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN  
ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN**

**DARIO XAVIER LOMAS ARCINIEGA**

**dario.lomas@epn.edu.ec**

**DIRECTOR: NELSON GONZALO SOTOMAYOR OROZCO, MSc.**

**nelson.sotomayor@epn.edu.ec**

**DMQ, febrero 2022**

## CERTIFICACIONES

Yo, Dario Xavier Lomas Arciniega declaro que el trabajo de integración curricular aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.



---

**DARIO XAVIER LOMAS ARCINIEGA**

Certifico que el presente trabajo de integración curricular fue desarrollado por Dario Xavier Lomas Arciniega, bajo mi supervisión.



Firmado digitalmente  
por NELSON  
GONZALO  
SOTOMAYOR  
OROZCO - 1710436724  
Fecha: 2022.02.08  
07:58:00 -05'00'

---

**NELSON SOTOMAYOR, MSc.**  
**DIRECTOR**

## **DECLARACIÓN DE AUTORÍA**

A través de la presente declaración, afirmamos que el trabajo de integración curricular aquí descrito, así como el (los) producto(s) resultante(s) del mismo, son públicos y estarán a disposición de la comunidad a través del repositorio institucional de la Escuela Politécnica Nacional; sin embargo, la titularidad de los derechos patrimoniales nos corresponde a los autores que hemos contribuido en el desarrollo del presente trabajo; observando para el efecto las disposiciones establecidas por el órgano competente en propiedad intelectual, la normativa interna y demás normas.

DARIO XAVIER LOMAS ARCINIEGA

NELSON SOTOMAYOR, MSc.

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo a mis padres Marlene y Washington, quiénes me han inculcado valores, me han guiado, por siempre estar junto a mí a lo largo de esta travesía y por ser los pilares fundamentales en mi vida.

A mis hermanos Washington, Belén y Juan, que siempre han sido mi apoyo incondicional y han estado conmigo en cualquier situación, a mis sobrinos Alejandra y Daniel que con sus locuras alegran mis días y a Gabriela por estar junto a mí apoyando en cada decisión.

## **AGRADECIMIENTO**

En primer lugar, agradezco a Dios por permitirme culminar esta etapa de mi vida.

A mi madre Marlene por estar siempre junto a mi dándome ánimo, por su amor incondicional y por enseñarme que nunca hay que rendirse que solo es cuestión de esforzarme y dar todo de mí.

A mi padre Washington por guiarme a lo largo la de la vida, por ser mi compañía en noches largas de estudio, y por enseñarme que es muy importante el conocimiento, pero ante todo primero están los valores.

A mis hermanos Washington, Belén, y Juan, por estar siempre pendientes de mí, por cuidarme cuando fue necesario, por ser como padre o madre para mí y por cada uno de los bellos momentos que hemos compartido y los que nos faltan por compartir.

A mis sobrinos Alejandra y Daniel que son una fuente de motivación para seguir adelante.

A mi tío Gerónimo, por estar siempre presente con su apoyo y consejos.

Agradezco de forma sincera al MSc Nelson Sotomayor, por su tiempo, y constate ayuda en el seguimiento para el desarrollo de este trabajo.

A Gabriela y su familia por brindarme su apoyo incondicional y por darme ánimos cuando lo necesite.

A la Unidad de Mantenimiento Electrónico por abrirme sus puertas y brindarme su conocimiento, y a la familia UME por todas las experiencias que vivimos de las cuales he aprendido mucho.

A Erick, Paola, Rafael y Francisco por ser unos grandes amigos y por acompañarme durante la carrera.

# ÍNDICE DE CONTENIDO

|   |      |
|---|------|
| CERTIFICACIONES.....  | I    |
| DECLARACIÓN DE AUTORÍA.....   | II   |
| DEDICATORIA.....  | III  |
| AGRADECIMIENTO.....   | IV   |
| ÍNDICE DE CONTENIDO.....  | V    |
| RESUMEN .....   | VII  |
| ABSTRACT .....  | VIII |
| 1 INTRODUCCIÓN.....   | 1    |
| 1.1 OBJETIVO GENERAL .....  | 2    |
| 1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....   | 2    |
| 1.3 ALCANCE .....   | 2    |
| 1.4 MARCO TEÓRICO.....  | 3    |
| 1.4.1 SISTEMAS SIMILARES .....  | 3    |
| 1.4.2 SENSORES Y ACTUADORES A SER UTILIZADOS.....   | 6    |
| 1.4.3 SISTEMA EMBEBIDO .....  | 9    |
| 1.4.4 ALGORITMO DE PLANIFICACIÓN DE RUTAS PARA ROBOTS<br>MÓVILES DE CAMPOS POTENCIALES ARTIFICIALES ..... | 9    |
| 2 METODOLOGÍA.....  | 11   |
| 2.1 DISEÑO ELECTRÓNICO.....   | 11   |
| 2.1.1 SENSORES ULTRASÓNICOS.....  | 12   |
| 2.1.2 SISTEMA EMBEBIDO Y PERIFÉRICOS .....  | 14   |
| 2.1.3 FUENTE DE ALIMENTACIÓN.....   | 15   |
| 2.1.4 REPRODUCCIÓN DE LOS AUDIOS EN FORMATO MP3 .....   | 19   |
| 2.1.5 CIRCUITO DE MANDO .....   | 21   |
| 2.1.6 PLACA DE PERIFÉRICOS.....   | 22   |
| 2.2 DISEÑO MECÁNICO Y ENSAMBLAJE .....  | 22   |
| 2.2.1 DIRECCIÓN Y UBICACIÓN DE LOS SENSORES ULTRASÓNICOS<br>.....   | 22   |
| 2.2.2 MANGO DEL BASTÓN .....  | 23   |
| 2.2.3 ENSAMBLAJE .....  | 23   |
| 2.3 DISEÑO DEL SOFTWARE .....   | 24   |

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 2.3.1 | ALGORITMO DE PLANIFICACIÓN DE RUTAS PARA ROBOTS<br>MÓVILES DE CAMPOS POTENCIALES ARTIFICIALES ..... | 25 |
| 2.3.2 | DIAGRAMA DEL PROGRAMA DE CONTROL PRINCIPAL .....  | 31 |
| 3     | RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....   | 39 |
| 3.1   | PRUEBA DE AUDIO .....   | 39 |
| 3.2   | PRUEBA DE LOS SENSORES ULTRASÓNICOS .....   | 39 |
| 3.3   | PRUEBA PARA DETERMINAR EL RANGO DE VISIÓN FRONTAL .....   | 43 |
| 3.4   | PRUEBAS EN USUARIOS .....   | 44 |
| 3.4.1 | PRUEBAS EN UNA ESCUELA .....  | 45 |
| 3.4.2 | PRUEBAS EN LA SALA DE ESTAR DE UN DEPARTAMENTO .....  | 47 |
| 3.4.3 | PRUEBAS EN LA TERRAZA DE UNA CASA .....   | 47 |
| 3.4.4 | PRUEBA CON UNA PERSONA NO VIDENTE .....   | 50 |
| 3.5   | ENCUESTA.....   | 52 |
| 3.6   | COSTO DE IMPLEMENTACIÓN .....   | 55 |
| 3.7   | CONCLUSIONES.....   | 56 |
| 3.8   | RECOMENDACIONES .....   | 57 |
| 4     | REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....  | 58 |
| 5     | ANEXOS.....   | 61 |
|       | ANEXO I.....  | 62 |
|       | MANUAL DE USUARIO.....  | 62 |
|       | I.1. INTRODUCCIÓN .....   | 62 |
|       | I.1.1 OBJETIVO .....  | 63 |
|       | I.2. CARACTERÍSTICAS .....  | 63 |
|       | I.2.1 CARGA Y ENCENDIDO DEL SISTEMA.....  | 63 |
|       | I.2.2. CIRCUITO DE MANDO .....  | 63 |
|       | I.2.3. SALIDA DE AUDIO.....   | 64 |
|       | I.2. GUÍA PARA USAR EL DISPOSITIVO .....  | 64 |
|       | I.3. RECOMENDACIONES DE USO .....   | 66 |
|       | ANEXO II.....   | 67 |
|       | ESQUEMÁTICO Y PCB DE LA PLACA DISEÑADA.....   | 67 |
|       | ANEXO III.....  | 71 |
|       | PLANOS DE DISEÑO DE LAS PIEZAS 3D DEL EQUIPO .....  | 71 |
|       | ANEXO IV .....  | 73 |
|       | ENCUESTA .....  | 73 |

# RESUMEN

En el presente trabajo de integración curricular se desarrolló un bastón guía que será utilizado para la ayuda en la movilidad de personas no videntes. Este prototipo consta de dos modos de funcionamiento, el primero modo es para ser utilizado en espacios pequeños o interiores, y el segundo modo es para espacios amplios o exteriores, ambos modos son similares solo que se fija una distancia de detección diferente, el usuario recibe la información por medio de mensajes de audios reproducidos por un auricular de un solo oído.

Con el fin de cumplir los objetivos del presente trabajo primero se desarrolla la recopilación de información de sistemas electrónicos similares de modo que se determine las características más relevantes de ellos que puedan ser ocupadas en este trabajo, en el capítulo uno se encuentra la información acerca de sensores, actuadores y del algoritmo de planificación de rutas para robots móviles de campos potenciales que serán de utilidad para el desarrollo del presente trabajo. En el capítulo dos se presenta el diseño todo el hardware y software del prototipo. Finalmente, en el capítulo 3 se presenta las pruebas realizadas del prototipo a las personas, en las cuales su rango de edad se encuentra entre 22 a 64 años, una de ellas es una persona es no vidente.

**PALABRAS CLAVE:** Bastón guía, planificación de rutas.



## **ABSTRACT**

In the present project of curricular integration, a guide cane was developed that will be used to help the mobility of blind people. This prototype has two operation modes, the first mode is to be used in small or indoor spaces, and the second mode is for large or outdoor spaces, both modes are similar, only a different detection distance is set, the user receives information through audio messages played through a single-ear headset.

In order to meet the objectives of this project, first the collection of information from similar electronic systems is developed so that the most relevant characteristics of them that can be used in this work are determined, in chapter one is the information about sensors, actuators and the generating routes algorithm for mobile robots of potential fields that will be useful for the development of this project. In chapter two, the design of all the hardware and software of the prototype is presented. Finally, in chapter 3, the tests carried out on the prototype are presented to people, in which their age range is between 22 to 64 years, one of them is a person who is blind.

**KEYWORDS:** Guide cane, generating routes.

# 1 INTRODUCCIÓN

En el Ecuador existen 274.846 personas con discapacidad visual según el censo del año 2010 realizado por el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC), para las cuales movilizarse resulta todo un reto debido a los peligros y dificultades que se presentan a lo largo de sus trayectos cotidianos. Debido a esta problemática se han desarrollado diversos dispositivos o mecanismos en algunos países como Alemania, Turquía, Inglaterra, etc., que facilitan la movilidad de las personas con discapacidad visual [1].

Una herramienta muy utilizada en la actualidad por las personas no videntes es el bastón blanco, el cual permite detectar objetos que se encuentren dentro del rango de la cintura y los pies de una persona, con el fin de evitarlos, sin embargo, esta herramienta no cuenta con una realimentación previa para detectar los objetos, sino que es necesario el contacto del bastón con los objetos, ocasionando choques que en ciertas ocasiones pueden resultar molestos para la persona no vidente [2].

El equipo implementado busca un acercamiento al desarrollo de sistemas con tecnología que permitan mejorar la calidad de vida de las personas no videntes en el Ecuador, orientado a mejorar su movilidad, generando una mayor autonomía y la sensación de confianza al transportarse [3].

Con el trabajo propuesto se pretende brindar un sistema de bastón guía que permita mediante la detección previa de obstáculos generar una ruta que pueda seguir la persona no vidente.

El equipo consta de un sistema electrónico para detectar obstáculos en la trayectoria del bastón y procesar la información de los sensores, un algoritmo de planificación de rutas, un sistema de audio que permita enviar mensajes al usuario de rutas libres de obstáculos, como parte final un sistema de mando en el cual se puede seleccionar el modo de uso del bastón ya que se encuentra seteado para diferentes valores de distancia de detección dependiendo si este será utilizado en un lugar cerrado o un lugar abierto, y para comandar la dirección del bastón cuando esté detecte un objeto al frente permitiendo al usuario optar por un giro hacia la derecha o izquierda, y una rueda impulsada directamente por el usuario.

Por último, debido a que las personas no videntes deben trasladarse de un lugar a otro junto a su bastón, el equipo implementado será ligero de manera que brinde la facilidad de transportarlo sin mayor dificultad.

## **1.1 OBJETIVO GENERAL**

Diseñar y construir un bastón guía para ayuda en la movilidad de personas no videntes.

## **1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

1. Realizar revisión bibliográfica de sensores, actuadores y sistema embebido que serán utilizados en el prototipo a implementarse, y sistemas similares con el objetivo de conocer sus características más relevantes.
2. Diseñar y construir un prototipo de bastón guía para invidentes, que sea capaz de enviar mensajes audibles al usuario.
3. Implementar un algoritmo de planificación de rutas en el sistema embebido.
4. Realizar pruebas de funcionamiento del prototipo implementado.

## **1.3 ALCANCE**

1. Realizar una revisión bibliográfica de sistemas similares al propuesto en este trabajo de titulación, con el objetivo de determinar sus características más relevantes.
2. Realizar una revisión bibliográfica de sensores y actuadores que serán utilizados en el prototipo de bastón guía para personas no videntes, para determinar sus características generales.
3. Diseñar y construir un bastón guía para no videntes de una sola rueda, cuya tracción será proporcionada por el usuario y la dirección por medio de un motor.
4. Realizar la revisión bibliográfica de un algoritmo de planificación de rutas de robots móviles, el cual será implementado en el prototipo.
5. Para obtener información de ambiente de trabajo se montarán en el prototipo los sensores ultrasónicos, que serán los encargados de detectar los obstáculos en la trayectoria del mismo y esta información enviarla al sistema embebido.
6. El control integral del prototipo se realizará con un sistema embebido el cual, en base a la información recibida por los sensores ultrasónicos y el algoritmo de planificación de rutas, enviará mensajes de audio al usuario que le permitan caminar por un ambiente libre de obstáculos. Se contará con pulsadores para que el usuario seleccione la dirección.

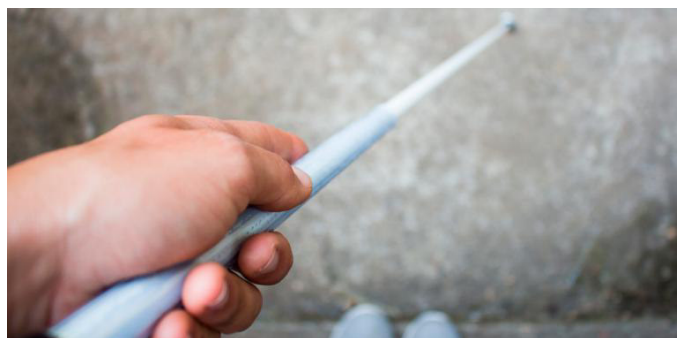
7. Se seleccionará el sistema de audio que permita enviar los mensajes al usuario mediante el uso de un audífono para un solo oído.
8. Realizar las pruebas de funcionamiento del prototipo con personas videntes con los ojos cubiertos.

## **1.4 MARCO TEÓRICO**

En la esta sección se presenta información teórica que permite comprender la problemática y la solución propuesta en este trabajo. A continuación, se describe sistemas comerciales similares para determinar las características de cada uno de ellos, además, se describen los sensores, actuadores y sistema embebido que se utilizará en la implementación del prototipo, especificando sus características. Finalmente se describe el algoritmo de planificación de rutas que será implementado.

### **1.4.1 SISTEMAS SIMILARES**

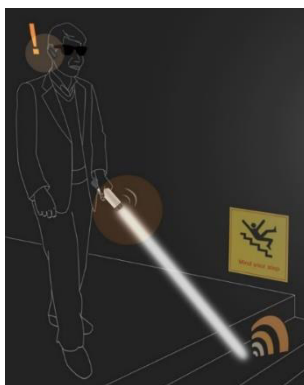
A continuación, se presentan algunos equipos similares al propuesto en este trabajo, con el fin de destacar las características de cada uno de ellos. En la Figura 1.1 se puede apreciar el bastón blanco, el cual es una herramienta que tiene como objetivo ayudar a orientarse a las personas que poseen algún tipo de discapacidad visual, de manera que esto les permita mejorar su movilidad, generando una mayor seguridad en ellos, logrando así desempeñarse con más autonomía en el traslado para el desarrollo de sus actividades diarias [2]. El problema que presenta el bastón blanco es que requiere golpear el objeto para indicar al usuario la presencia del mismo, esto se debe a que no consta con una realimentación, por lo cual el implementar un sistema electrónico que evite estos impactos resulta útil ya que brinda comodidad y confort. Este trabajo de integración curricular pretende incentivar al desarrollo de equipos con tecnología que ofrezcan mejoras en el bienestar de las personas con discapacidad visual.



**Figura 1.1.** Bastón blanco [2]

### 1.4.1.1 Eye Stick

Eye Stick fue diseñado por la firma Yanko Design en el año 2012, utiliza ondas ultrasónicas con el fin de medir la distancia a la cual se encuentran los obstáculos en el camino, el sistema ultrasónico proporciona información acerca de peligros como barrederas y desniveles del suelo, funciona de manera adecuada a pesar de cualquier factor climático ya sea lluvia, niebla, etc., además incorpora un haz de luz visible como se puede observar en la Figura 1.2. De manera que este da a conocer a las demás personas la dirección en la cual se dirige la persona no vidente para evitar cualquier tipo de colisión, finalmente Eye Stick, permite adquirir información de productos mediante su código de barras, el escaneo se lo realiza mediante una cámara, para posteriormente enviar esta información por medio de una conexión bluetooth de manera que se convierta en un mensaje de voz para el usuario [4].



**Figura 1.2.** Bastón Eye Stick [4]

### 1.4.1.2 WeWALK

En la Figura 1.3 se puede observar el bastón WeWALK desarrollado por Kursat Ceylan en Turquía en el año 2017, el cual posee la capacidad de detectar obstáculos que se encuentran a alturas superiores al pecho logrando de esta manera que las personas no videntes puedan evitarlos, esto lo realiza mediante un sensor ultrasónico, además posee un altavoz, un micrófono, un touchpad que permite al usuario navegar por las diversas opciones que brinda y un sensor háptico el cual es muy útil al momento de enviar vibraciones, también consta con conexión bluetooth lo que permite conectarlo con un teléfono móvil ya sea que utilice el sistema operativo iOS o Android, con el propósito de hacer el uso de Google Maps o un asistente personal como son Siri o Google Assistant, logrando de esta manera informar al usuario diferentes direcciones o ubicaciones que él requiera [5].



**Figura 1.3.** Bastón WeWALK [5]

### 1.4.1.3 Xplor

Xplor es un bastón desarrollado por estudiantes de la Universidad de Birmingham en el año 2015, el cual consta de un sistema de reconocimiento facial basado en la tecnología de los teléfonos móviles, este sistema tiene un alcance máximo de 10 metros, permitiendo al usuario conocer si se acerca un familiar o un amigo, los rostros son comparados con imágenes que se encuentran almacenadas en la tarjeta de memoria SD del equipo, al detectarse el rostro conocido vibra para dar la indicación y mediante la tecnología bluetooth se envía la información a un auricular de manera que se pueda guiar al usuario. Además, consta con un GPS para facilitar la navegación [6]. En la Figura 1.4. se puede observar el bastón Xplor.



**Figura 1.4.** Bastón Xplor [6]

Luego de revisar los sistemas similares, las características más relevantes que se presentan son:

- Uso de sensores ultrasónicos o sensores láser para detectar obstáculos.
- Uso de un sistema embebido para el procesamiento de la información proporcionada por los sensores.
- Realimentación al usuario por mensajes audibles o por vibraciones.

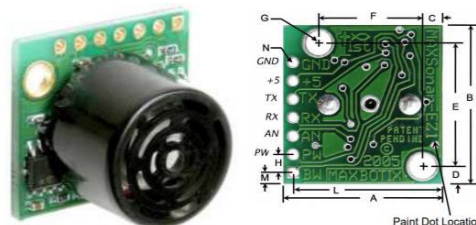
Por lo cual el prototipo a realizar utilizará sensores ultrasónicos para detectar los obstáculos, un sistema embebido para procesar la información y un sistema de audio que permita informar a los usuarios la ruta libre de obstáculos. El prototipo tendrá una sola rueda a la cual se controlará únicamente su dirección por medio de un servomotor.

## 1.4.2 SENSORES Y ACTUADORES A SER UTILIZADOS

En este apartado se describe los sensores y actuadores que serán utilizados en el prototipo de bastón guía.

### 1.4.2.1 Sensor ultrasónico LV-MaxSonar-EZ4

El sensor ultrasónico LV-MaxSonar-Ez4 tiene su emisor y receptor en un solo tambor, lo que permite que su diseño sea pequeño, además posee su circuito de acondicionamiento y es muy utilizado en detección de personas, detección de objetos, medición de nivel, medición de distancia, etc., en la Figura 1.5 se puede observar el sensor [7]. Fue seleccionado ya que, al momento de realizar la medición de la distancia, su respuesta puede obtenerse por medio de una señal analógica, además es pequeño, liviano y finalmente posee un buen alcance, lo cual es ideal para la aplicación, con la ventaja de no requerir un circuito de acondicionamiento adicional.



**Figura 1.5.** Sensor ultrasónico LV-MaxSonar-EZ4 (MB1040) [7]

Características del sensor [7]:

- Voltaje de alimentación: 2.5 V a 5.5 V
- Consumo de corriente: 2 mA
- Frecuencia de operación: 42 kHz
- Rango de detección: 5 cm a 6.45 m
- Tipos de salida:
  - Serial, 0 a Vcc, 9600 baudios
  - Analógica:  $(V_{cc}/512)$  /pulgada

- Ancho de pulso: 147  $\mu$ s/pulgada

#### 1.4.2.2 Servomotor HS311

Se ha seleccionado el servomotor HS311 para permitir realizar el giro de la rueda del prototipo de bastón guía, ya que brinda un torque adecuado para la aplicación, lo que permite el posicionamiento de la rueda. En la Figura 1.6 se puede apreciar el servomotor HS311 de la marca Hitec, el cual brinda un torque constante a lo largo de su rango de posicionamiento, razón por la cual es muy utilizado en el aeromodelismo y robótica [8].



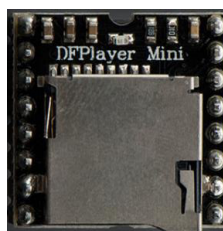
**Figura 1.6.** Servomotor HS311 [8]

Características del servomotor [8]:

- Voltaje de alimentación: 4.8 a 6 VDC
- Velocidad: 0.19 segundos/ 60° (4.8 V) y 0.15 segundos/ 60° (6 V)
- Torque: 3 kg-cm (4.8 V) y 3.7 kg-cm (6 V)
- Consumo de corriente: 7.4 mA (4.8 V) y 7.7 mA (6 V)
- Rango de giro: 180°

#### 1.4.2.3 DFPlayer Mini

El DFPlayer Mini es el módulo necesario para reproducir los mensajes de audio que serán enviados al usuario, ha sido seleccionado gracias a su pequeño tamaño y compatibilidad con el sistema embebido que será implementado. En la Figura 1.7 se puede apreciar al DFPlayer Mini, el cual hace uso de comunicación serial para su funcionamiento [9].



**Figura 1.7.** DFPlayer Mini [9]

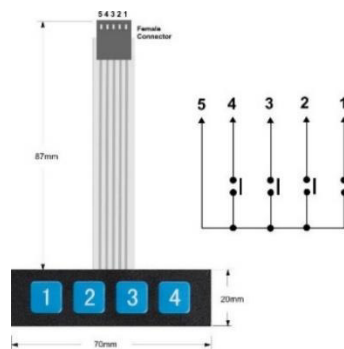


Características del DFPlayer Mini [9]:

- Voltaje de alimentación: 3.3 a 5 VDC
- Formato de audio: MP3, WAV, WMA
- Tipo de comunicación: UART
- Volumen ajustable: 30 niveles
- Almacenamiento: Tarjeta micro SD hasta 32 GB.

#### 1.4.2.4 Teclado matricial de membrana 1x4

El teclado matricial de membrana 1x4 es el elemento necesario para el sistema de mando, por medio del cual el usuario puede seleccionar el modo de funcionamiento y la dirección de giro, esto únicamente cuando se detecte un objeto en la sección frontal, ha sido seleccionado gracias a su pequeño tamaño y compatibilidad con el sistema embebido que será implementado. En la Figura 1.8 se puede apreciar el teclado matricial de membrana 1x4 [10].



**Figura 1.8.** Teclado matricial de membrana 1x4 [11]

Características del teclado matricial de membrana 1x4 [10]:

- Voltaje máximo de alimentación: 35 VDC
- Número de pines: 5 (4 pines de señal y 1 en común a tierra)
- Estilo de montaje: Auto adherencia
- Tiempo del rebote del contacto:  $\leq 5$  ms
- Vida útil: 1 000 000 de pulsaciones

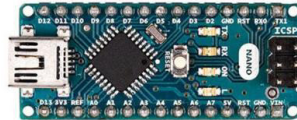
### 1.4.3 SISTEMA EMBEBIDO

Un sistema embebido tiene como fin realizar una o ciertas tareas de control específicas, un claro ejemplo de un sistema embebido de código abierto que es muy utilizado en la actualidad es Arduino [12].

En base a las características requeridas por el prototipo se selecciona el sistema embebido Arduino Nano ya que brinda los recursos suficientes para el prototipo, una velocidad de procesamiento adecuada y un tamaño pequeño lo que facilita su montaje.

#### 1.4.3.1 Arduino Nano

Es una placa de desarrollo de pequeño tamaño, que es muy utilizada en el área de la robótica [13]. En la Figura 1.9 se puede apreciar el Arduino Nano.



**Figura 1.9.** Arduino Nano [13]

Características del Arduino Nano [13]:

- Voltaje de alimentación: 7 a 12 VDC
- Voltaje de operación: 5 VDC
- Memoria SRAM: 2 KB
- Consumo de corriente por pin: 40 mA
- Frecuencia del reloj: 16 MHz
- Conversor AD: 10 bits
- Pines analógicos: 8
- Pines digitales: 22 (6 con salida PWM)

### 1.4.4 ALGORITMO DE PLANIFICACIÓN DE RUTAS PARA ROBOTS MÓVILES DE CAMPOS POTENCIALES ARTIFICIALES

El algoritmo de planificación de rutas estará presente en el sistema para lograr generar una ruta segura para el usuario, la cual debe encontrarse libre de obstáculos, y así evitar cualquier colisión.

Se ha optado por el algoritmo de planificación de rutas de Campos Potenciales Artificiales ya que cuenta con un tiempo de ejecución y coste computacional bajo, brinda una implementación sencilla y una eficiencia adecuada para la aplicación.

El método de campos potenciales se basa en considerar que el robot y cada uno de los obstáculos, poseen cargas eléctricas de idéntico signo, generando así una fuerza de repulsión entre ellos, estos se encuentran dentro de un campo potencial que viene a ser el medio donde se ubican, y al punto de llegada como una carga eléctrica de signo contrario, lo que permite a su vez generar una fuerza de atracción entre el robot y el punto de llegada [14].

Este método es implementado en medios estáticos sin embargo se ha desarrollado modificaciones en la cuales se consideran tanto la posición como la velocidad de los obstáculos cuando se trata de un medio cambiante. Además, aquí se pueden originar mínimos locales, siendo estas posiciones en la trayectoria en las cuales la suma de fuerzas tanto atracción como repulsión es igual a cero, de tal manera que el robot no logró continuar y se quede quieto en un punto diferente al de llegada. Razón por la cual se desarrollaron varias modificaciones que permite resolver este inconveniente, una de ellas es emplear una fuerza ficticia que permita al robot eludir el mínimo local, otra modificación consiste en ocupar un objetivo virtual reemplazando al objetivo global una vez que el robot se ubique en un mínimo local, y por otro lado se tiene una modificación que se fundamenta en un movimiento traslacional a lo largo de la trayectoria, pero al momento que el robot se encuentre en un mínimo local ocupar un movimiento circular [14].

Características del método [15]:

- Las rutas son suaves y se originan en tiempo real en función del campo de fuerza ocupado.
- Presencia de mínimos locales.
- El tiempo de ejecución es relativamente bajo.
- Implementación sencilla
- Coste computacional bajo.

Los detalles de la implementación se presentan en el siguiente capítulo.

## 2 METODOLOGÍA

En el presente trabajo de integración curricular es de tipo exploratorio, descriptivo y experimental, ya que, en base a la información consultada, recopilada y analizada, se implementa un bastón guía para ayuda en la movilidad de personas no videntes, y por último para conocer los criterios de los usuarios se utiliza la técnica de recopilación de información por medio de encuestas.

El trabajo de integración curricular se compone de cuatro fases: la fase teórica, la cual se encuentra en el capítulo uno, en donde se presenta información relevante, acerca de sistemas similares, sensores y actuadores que serán utilizados y la descripción del algoritmo de planificación de rutas para robots móviles de campos potenciales artificiales, la fase de diseño e implementación presente en el capítulo dos llamado metodología, en la cual se detalla el diseño e implementación de cada uno de los sistemas que conforman el equipo (hardware y software), por último la fase de resultados comprendida en el capítulo tres, en la que se expone las pruebas de funcionamiento de las diferentes partes que conforman el prototipo desarrollado así como su funcionamiento global, se muestra su desempeño y la realimentación de los usuarios que probaron el prototipo, finalmente se presentan las conclusiones y recomendaciones fruto del trabajo realizado.

El diseño será explicado en dos partes una conformada por la parte electrónica y mecánica, y la otra que corresponde al programa de control del prototipo.

### 2.1 DISEÑO ELECTRÓNICO

Para tener una visión general del diseño electrónico que debe tener el prototipo de bastón guía, en la Figura 2.1 se presenta la arquitectura del hardware en la cual se puede apreciar cada uno de los elementos que lo conforman los cuales serán descritos o diseñados según corresponda.

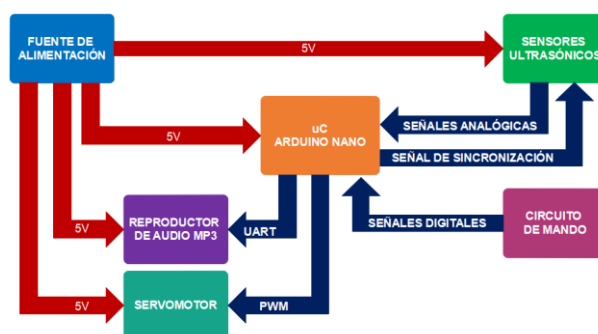


Figura 2.1. Arquitectura de hardware del bastón guía

A continuación, se describe la función que cumple de cada uno de los bloques que se encuentran en la Figura 2.1:

- Sensores ultrasónicos: elementos necesarios para detectar los objetos cercanos.
- Arduino Nano: sistema embebido el cual consta con el programa de control principal.
- Circuito de mando: pulsantes que permite al usuario seleccionar las opciones de modo de uso y giro en caso de detección frontal.
- Reproductor MP3: elemento que recibe un comando del sistema embebido y reproduce el mensaje audible para el usuario.
- Servomotor: permite realizar el giro de la rueda.
- Fuente de alimentación: suministro de energía para todos los elementos que conforman el equipo.

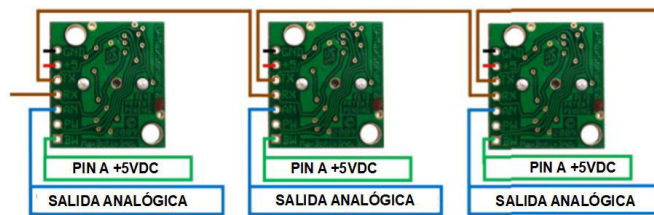
### **2.1.1 SENSORES ULTRASÓNICOS**

Como se mencionó en el capítulo 1 el sensor ultrasónico seleccionado es el LV-MaxSonar-EZ4, sin embargo, al requerir cuatro de ellos para el bastón guía, se debe tener presente que estos no pueden tener un funcionamiento libre, ya que al tener varios sensores funcionando se ocasionan interferencias entre ellos, debido a que en este tipo de funcionamiento libre o no sincronizado uno de estos sensores se puede encontrar trabajando un poco más rápido que los demás, produciendo de esta manera que este sensor se halle transmitiendo, mientras que los demás sensores se hallen recibiendo, de tal manera que los sensores que se encuentran en modo recepción pueden captar el rebote de la señal de eco que no fue generada por su respectivo emisor, causando fallos en las mediciones, razón por la cual se deben sincronizar los sensores con la finalidad de que estos funcionen de manera correcta. Para resolver este inconveniente en el datasheet el fabricante detalla tres métodos, bucle comandado de salida AN, salida en bucle constante y operación simultánea de salida AN, los mismos que pueden ser realizados para sincronizar los sensores, a continuación, se describe cada uno de ellos a detalle.

#### **2.1.1.1 Bucle comandado de salida AN [7]**

Para realizar este método de sincronización se requiere enviar una señal PWM desde el microcontrolador al pin RX del primer sensor, la cual debe tener un tiempo en alto mayor a 20  $\mu$ s y menor a 48 ms, luego conectar el pin TX del primer sensor hacia el pin RX del

segundo sensor, y realizar el mismo procedimiento con los siguientes sensores. En la Figura 2.2 se puede observar la conexión descrita.

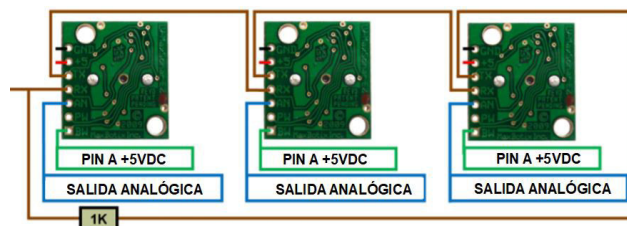


**Figura 2.2.** Conexión para el método de bucle comandado de salida AN [7]

Al realizar este método de sincronización se logra que una vez que haya terminado la lectura el primer sensor, continúe el segunda y así de manera consecutiva.

### 2.1.1.2 Salida en bucle constante [7]

En este método de sincronización se realiza la misma conexión entre sensores que en el método anterior con una pequeña variante, que es conectar el pin TX del último sensor hacia el pin RX del primer sensor con una resistencia de  $1k\Omega$ . En la Figura 2.3 se puede observar la conexión de los sensores.

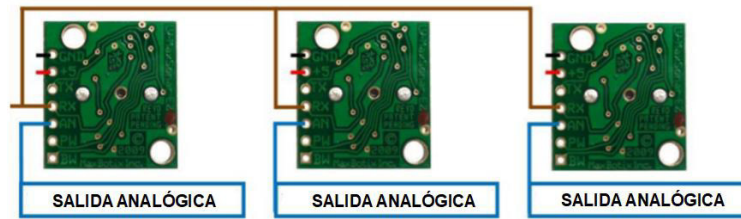


**Figura 2.3.** Conexión para el método de salida en bucle constante [7]

Este método de sincronización realiza una lectura constante en donde una vez que el último sensor termine su lectura, este indica por medio de una señal desde su pin TX hacia el pin RX del primer sensor, lo que permite activarlo nuevamente y de esta manera se repetirá este bucle de manera infinita.

### 2.1.1.3 Operación simultánea de salida AN [7]

En este método de sincronización se requiere conectar los pines RX de todos los sensores, como un punto común y enviar una señal PWM desde el microcontrolador la misma que debe tener un tiempo en alto mayor a  $20\ \mu s$  y menor a  $48\ ms$ . En la Figura 2.4 se puede apreciar la conexión de los sensores.

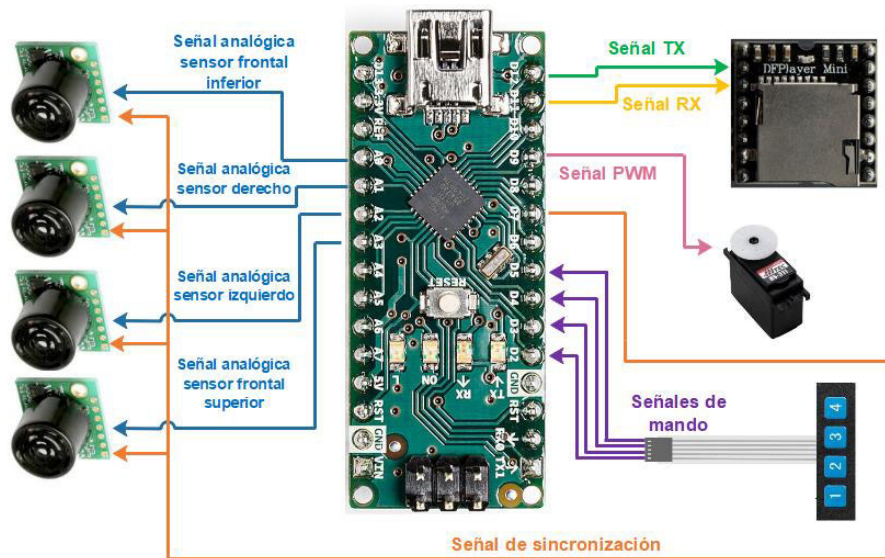


**Figura 2.4.** Conexión para el método de operación simultánea de salida AN [7]

Este método de sincronización permite que todos los sensores se sincronicen de manera que todos comiencen su lectura al mismo tiempo, evitando la posibilidad de que uno de ellos opere más rápido, razón por la cual es el método seleccionado a ser implementado.

### 2.1.2 SISTEMA EMBEBIDO Y PERIFÉRICOS

El sistema embebido seleccionado es el Arduino Nano, al cual se le añadió los sensores y actuadores necesarios, en la Figura 2.5 se presenta el esquema de conexión para tener una mejor idea de la distribución de los pines que se utilizan en el bastón guía.



**Figura 2.5.** Esquema de conexión del sistema

En función del esquema de conexión, en la Tabla 2.1 se presenta el análisis de entradas y salidas del sistema embebido, así como la distribución de cada uno de los pines que serán ocupados para los diferentes sensores y actuadores.

**Tabla 2.1.** Análisis de entradas y salidas del sistema embebido

| Acción lógica  | Entrada analógica | Entrada digital | Salida digital     |          | Pines   |
|--|-------------------|-----------------|--------------------|----------|---------|
|  |                   |                 | Tipo TTL (0L - 1L) | Tipo PWM |         |
| Pulsadores para la selección del modo de uso y sentido de giro | -                 | 4               | -                  | -        | D2-D5   |
| Señal de control del servomotor                                | -                 | -               | -                  | 1        | D9      |
| Señal PWM de sincronización de los sensores ultrasónicos       | -                 | -               | -                  | 1        | D7      |
| Señal de la medición de los sensores ultrasónicos              | 4                 | -               | -                  | -        | A0-A3   |
| Comunicación con el módulo MP3                                 | -                 | 1               | 1                  | -        | D11-D12 |
| Total de pines   | 4                 | 5               | 1                  | 2        | 13      |

### 2.1.3 FUENTE DE ALIMENTACIÓN

Para el equipo se ha seleccionado las baterías de ion de litio de 3,7 V ya que, al compararlas con las baterías tradicionales, brindan ciertas ventajas como: ser recargables, mayor duración y además una densidad de potencia más alta, razón por la cual estas baterías son de menor tamaño y peso, pero con una mayor autonomía [16]. Sin embargo, el equipo consta de elementos que requieren un voltaje de alimentación de 5 V, motivo por el cual se optó por usar un módulo elevador de voltaje de tal modo que estos puedan ser alimentados sin ningún problema, y de igual manera se añade un módulo de carga de baterías de ion de litio para evitar problemas de desmontaje. En la Figura 2.6 se puede observar el esquema de la fuente de alimentación.



**Figura 2.6.** Fuente de alimentación

Para seleccionar de manera apropiada la batería de ion de litio, se requiere primero considerar la corriente total que consumirá el equipo, razón por la cual se requiere conocer la corriente que consume cada uno de los elementos que conforman el bastón, estos datos se presentan en la Tabla 2.2.



**Tabla 2.2.** Corrientes de consumo

| Cantidad                          | Elemento                              | Corriente | Voltaje | Corriente total |
|-----------------------------------|---------------------------------------|-----------|---------|-----------------|
| 1                                 | Arduino Nano                          | 40 mA     | 5 V     | 40 mA           |
| 1                                 | Servomotor HS311                      | 400 mA    | 5 V     | 400 mA          |
| 1                                 | Módulo DFPlayer Mini                  | 200 mA    | 5 V     | 200 mA          |
| 4                                 | Sensores ultrasónicos LV-MaxSonar-EZ4 | 2 mA      | 5 V     | 8 mA            |
| <b>Consumo total de corriente</b> |                                       |           |         | <b>648 mA</b>   |

En la Tabla 2.2 se puede ver que se requiere de una fuente de alimentación que pueda proporcionar un valor de corriente de  $I_{total} = 648 \text{ mA}$ .

Una vez que se tiene el valor de corriente que consumirá el bastón guía se procede a determinar su fuente de alimentación, razón por la cual es importante considerar la autonomía que tendrá el equipo, la misma que será de 5 horas, debido a que es un tiempo estimado en cual la persona se encuentra transportándose de un lugar a otro, es decir le permite llegar a un punto de carga.

Primero se debe calcular la capacidad en Ah del equipo por medio de la ecuación 2.1 [17]:

$$C = X \cdot t \quad (2.1)$$

Donde:

$C$  = Capacidad que requiere el equipo en Ah (amperios hora).

$X$  = Corriente de consumo del equipo en Ah (amperios hora).

$t$  = Tiempo de autonomía que se desea en h (horas).

$$C = 0.648 \text{ A} \cdot 5 \text{ h}$$

$$C = 3.24 \text{ Ah}$$

Una vez que se ha determinado la capacidad que requiere el equipo en Ah se debe proceder a determinar la capacidad de la batería de ion de litio en Ah, este cálculo se lo realiza por medio de la ecuación 2.2 [17].

$$C^* = \frac{C}{x} \quad (2.2)$$

Donde:

$C^*$  = Capacidad de la batería de ion de litio en Ah (amperios hora).

$C$  = Capacidad que requiere el equipo en Ah (amperios hora).

$x$  = Porcentaje de descarga de la batería de ion de litio (adimensional).

$$C^* = \frac{3.24 \text{ Ah}}{0.6}$$

$$C^* = 5.4 \text{ Ah}$$

Es importante considerar que nunca se debe llegar a descargar la batería al 100% ya que esto puede causar daños y reducir su vida útil [17]. Razón por la cual se ha considerado llegar a un 60% de descarga de la batería.

Dentro de las baterías de ion de litio que se encuentran disponibles en el mercado local se ha seleccionado las baterías de ion de litio ICR18650 D1. En la Figura 2.7 se puede apreciar la batería.



**Figura 2.7.** Batería de ion de litio [18]

Características de la batería de ion de litio ICR18650 D1 [18]:

- Capacidad nominal: 3000 mAh
- Voltaje nominal: 3.7 VDC
- Voltaje de carga: 4.35 VDC
- Peso: 47.6 g

Como se puede apreciar en las características la carga eléctrica que almacena esta batería es de 3000 mAh o 3 Ah, sin embargo, para cumplir con la capacidad de la batería que requiere el equipo de 5.4 Ah, se realiza una conexión en paralelo de dos de ellas con el fin de incrementar su capacidad y que esta sea mayor a la requerida.



**Figura 2.8.** Conexión en paralelo de las baterías de ion de litio

Como se puede apreciar en la Figura 2.8 con esta conexión se logra incrementar la carga eléctrica de almacenamiento de la fuente a 2C que viene a ser 6000 mAh o 6Ah con un voltaje de 3.7 V, de tal manera que se tiene una mayor autonomía a la deseada en el equipo.

### 2.1.3.1 Módulo de carga TP4056

El módulo TP4056 es el elemento necesario para realizar la carga de las baterías de ion de litio, este ha sido seleccionado ya que brinda una carga a corriente y voltaje constante, lo que lo convierte en un método seguro de carga, de igual manera brinda la protección necesaria a las baterías y es de pequeño tamaño. En la Figura 2.9 se puede apreciar el módulo de carga TP4056 [19].



**Figura 2.9.** Módulo de carga TP4056 [19]

Características del módulo de carga TP4056 [19]:

- Voltaje de alimentación: 4.5 a 6 VDC
- Corriente de carga constante: 1 A
- Umbral de protección contra sobrecorriente: 3 A
- Protección contra sobrecarga
- Protección contra sobrecorriente y cortocircuito
- Protección de arranque suave
- Protección de carga lenta

### 2.1.3.2 Módulo elevador de voltaje MT3608

El módulo elevador de voltaje MT3608 es el elemento necesario para elevar el voltaje de las baterías de ion de litio (3.7 VDC) al voltaje requerido de alimentación de los demás componentes como son el servomotor, los sensores ultrasónicos, el módulo MP3 y el Arduino Nano (5 VDC). Para seleccionar este módulo se ha considerado la corriente que circula por el circuito. En la Figura 2.10 se puede apreciar el módulo elevador MT3608, el mismo que consta de un potenciómetro para regular el voltaje de salida [20].



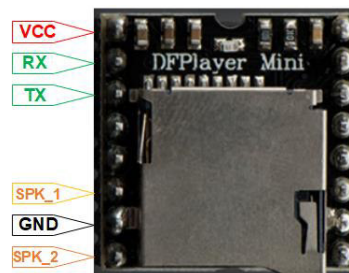
**Figura 2.10.** Módulo elevador MT3608 [20]

Características del módulo elevador MT3608 [20]:

- Voltaje de alimentación: 2 a 24 VDC
- Voltaje de salida: 5 a 28 VDC
- Corriente de salida máxima: 2 A
- Frecuencia de trabajo: 1.2 MHz
- Protección contra sobrecorriente

#### 2.1.4 REPRODUCCIÓN DE LOS AUDIOS EN FORMATO MP3

El módulo DFPlayer Mini es aquel que permite la reproducción de los audios en formato MP3, existen dos modos de funcionamiento, el primero es el modo manual en el cual se hace uso de pulsadores y el segundo es el modo serial en el cual el módulo DFPlayer Mini recibe la señal del sistema embebido para la reproducción de audios. En el presente trabajo de integración curricular se utilizó el segundo modo de funcionamiento por lo cual se hace énfasis en explicar los pines que se utilizaron del módulo y la manera en que se accede a los audios. En la Figura 2.11 se puede observar los pines utilizados.



**Figura 2.11.** Pines utilizados del módulo DFPlayer Mini [9].

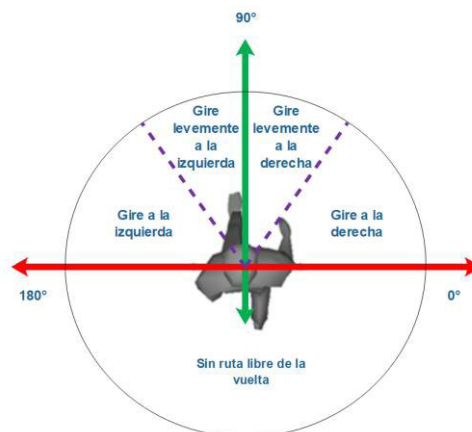
En la Tabla 2.3 se puede apreciar los pines utilizados con su respectiva descripción [9]:

**Tabla 2.3.** Pines y descripción

| Pin   | Descripción                 |
|-------|-----------------------------|
| VCC   | Alimentación del módulo (+) |
| RX    | Entrada serial UART         |
| TX    | Salida serial UART          |
| SPK_1 | Salida de audio (+)         |
| SPK_2 | Salida de audio (-)         |
| GND   | Alimentación del módulo (-) |

Los pines VCC y GND son necesarios para energizar el módulo, los pines RX y TX permiten la comunicación entre el módulo y el sistema embebido; y los pines SPK\_1 y SPK\_2 son utilizados para la salida de audio en donde se conectan los audífonos.

Para ayudar a la comprensión de los mensajes que se reproducen en torno a la detección de un obstáculo, en la Figura 2.12. se puede observar las direcciones de evasión que existen, el primer caso es una detección en lado derecho en donde las posibles direcciones de evasión son aquellas que se encuentran en el rango de 90° a 180°, en el segundo caso de detección al lado izquierdo las rutas de evasión que existen son las que se encuentran en el rango de 0° a 90°; el tercer caso es una detección frontal aquí se pueden dar las rutas que se encuentran entre 0° a 180°; y el cuarto caso es una detección en todos los sentidos donde no existe una ruta libre de obstáculos se indica a la persona que debe dar la vuelta.



**Figura 2.12.** Direcciones de evasión.

Los archivos MP3 deben ser almacenados en una tarjeta microSD, en la cual estos deben conservar un nombre de escritura al inicio de 4 dígitos por ejemplo "0001nombre.mp3" [23]. En la Tabla 2.4 se puede apreciar los mensajes grabados para esta aplicación en la tarjeta microSD.

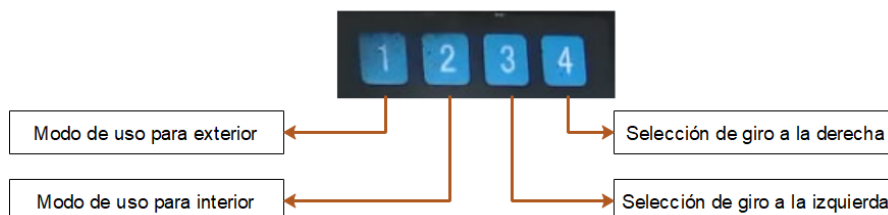
**Tabla 2.4.** Mensajes grabados

| Nombre | Mensaje   |
|--------|---|
| 0001   | Sistema encendido seleccione el modo de uso interior o exterior                   |
| 0002   | Modo de uso interior seleccionado   |
| 0003   | Modo de uso exterior seleccionado   |
| 0004   | Objeto detectado a la izquierda, gire a la derecha                                |
| 0005   | Objeto detectado a la izquierda, gire levemente a la derecha                      |
| 0006   | Objeto detectado a la derecha, gire a la izquierda                                |
| 0007   | Objeto detectado a la derecha, gire levemente a la izquierda                      |
| 0008   | Objeto detectado al frente y a la izquierda, gire a la derecha                    |
| 0009   | Objeto detectado al frente y a la izquierda, gire levemente a la derecha          |
| 0010   | Objeto detectado al frente y a la derecha, gire a la izquierda                    |
| 0011   | Objeto detectado al frente y a la derecha, gire levemente a la izquierda          |
| 0012   | Objeto detectado en la zona frontal inferior, seleccione giro derecha o izquierda |
| 0013   | Objeto detectado en la zona frontal superior, seleccione giro derecha o izquierda |
| 0014   | Objeto detectado en todas las direcciones, no hay una ruta libre de la vuelta     |
| 0015   | Giro a la derecha seleccionado  |
| 0016   | Giro a la izquierda seleccionado  |

Para acceder a los archivos MP3 que se encuentran en la tarjeta microSD, el sistema embebido Arduino Nano debe direccionar el nombre del archivo al cual quiere acceder y el módulo MP3 (DFPlayer Mini) lo reproduce, por ejemplo, para acceder al primer audio de la Tabla 2.5 el Arduino Nano debe enviar por comunicación serial el direccionamiento “0001” y el módulo DFPlayer Mini reproduce el mensaje “Sistema encendido, seleccione el modo de uso interior o exterior”.

### 2.1.5 CIRCUITO DE MANDO

El circuito de mando se encuentra conformado por un teclado matricial de membrana 1x4, este teclado consta de cuatro pulsantes los mismos que pueden ser apreciados en la Figura 2.13, los pulsantes 1 y 2 son los encargados de permitir al usuario seleccionar el modo de uso del bastón ya sea para espacios interiores o exteriores, mientras que, los pulsantes 3 y 4 permiten al usuario seleccionar la dirección de giro cuando se detecta únicamente un objeto en la zona frontal. Estos controles se encuentran en la parte superior en el mango del bastón.



**Figura 2.13.** Funciones de los botones.

## 2.1.6 PLACA DE PERIFÉRICOS

Para el diseño de la placa de circuito impreso (PCB) se ha optado por el software computacional Proteus, la placa diseñada fue realizada a doble cara con el fin de reducir el tamaño de la misma ya que esta será montada en el mango del bastón guía, aquí se han colocado cada uno de los elementos que conforman el sistema electrónico de control y la fuente de alimentación, adicionalmente se colocó la entrada para el cargador de baterías, el interruptor de encendido y la salida del sistema de audio los mismos que se encuentran disponibles para el usuario desde la parte exterior. En la Figura 2.14 se puede apreciar la placa diseñada con los componentes electrónicos montados.

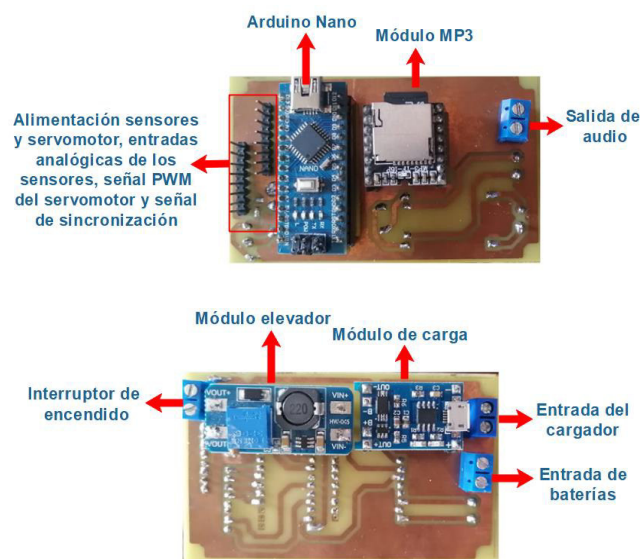


Figura 2.14. Placa de periféricos

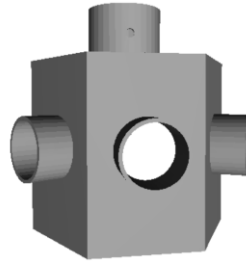
## 2.2 DISEÑO MECÁNICO Y ENSAMBLAJE

En el presente apartado se presenta las piezas diseñadas para el montaje de los sensores y placa por medio del software computacional SOLIDWORKS, así como el montaje final de cada de una de ellas.

### 2.2.1 DIRECCIÓN Y UBICACIÓN DE LOS SENSORES ULTRASÓNICOS

Debido a que el bastón guía consta de cuatro sensores es importante considera la ubicación de cada uno de ellos con el fin de obtener un campo de visión, que permita detectar los obstáculos que se encuentren tanto al frente como a cada uno de los lados derecha o izquierda, razón por la cual se ha optado por distribuirlos de la siguiente manera: dos sensores para la sección frontal superior e inferior, un sensor para el lado izquierdo y un sensor para el lado derecho, ya que estos sensores deben estar montados en el bastón

guía, en la Figura 2.15 se puede observar la pieza 3D que se ha diseñado e impreso, para que sirva de soporte para la ubicación de los sensores que se encuentran en la parte inferior del bastón.

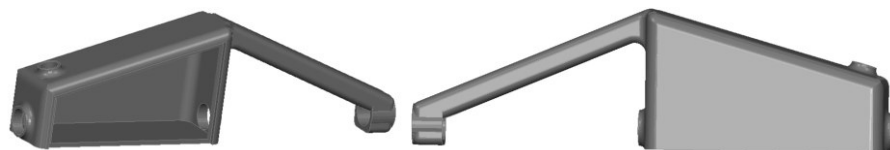


**Figura 2.15.** Pieza 3D para el montaje de los sensores ultrasónicos en el bastón guía

La pieza 3D de soporte consta de ángulos de inclinación de  $45^\circ$  y  $135^\circ$ , los cuales permiten orientar a los sensores del lado derecho e izquierda, de tal manera que su campo de visión permita detectar los objetos que se encuentren presentes a cada uno de estos lados y con esta información por medio del algoritmo de planificación de rutas, optar por el camino libre de obstáculos.

### 2.2.2 MANGO DEL BASTÓN

Esta pieza fue diseñada e impresa en 3D para colocar el cuarto sensor ultrasónico de tal modo que se obtiene un campo de visión que permita detectar objetos que se encuentra en la parte superior, y también para servir de soporte para el montaje de las baterías de ion de litio y la placa en la cual se encuentra los componentes electrónicos, esta pieza consta con un ángulo de inclinación de tal modo que permite al usuario una mayor comodidad al momento de sujetar el mango del bastón. En la Figura 2.16 se puede observar la pieza 3D que se ha diseñado y construido



**Figura 2.16.** Pieza 3D para el montaje de la placa y el sensor frontal de la parte superior

En esta pieza también se encuentran colocados el interruptor de encendido, el pin de entrada para el cargador de las baterías de ion de litio, y la salida de audio.

### 2.2.3 ENSAMBLAJE

El ensamblaje del equipo está conformado por las piezas 3D que fueron construidas como soporte de los sensores y placa, tubo de aluminio, pieza del servomotor y llanta; el cableado



de los sensores ultrasónicos y servomotor fue transportado por el interior del tubo de aluminio, los botones del circuito de mando se encuentran en la parte superior del mango de modo que sea fácil para el usuario acceder a ellos con uno de los dedos de la mano con la cual sujeta el mango del bastón, al ya encontrarse todos los elementos montados se obtiene que el bastón mide 1.20 m de longitud. En la Figura 2.17 se puede observar el prototipo y la distribución de cada uno de los elementos que lo conforman.



**Figura 2.17.** Prototipo final del bastón guía

## 2.3 DISEÑO DEL SOFTWARE

En este apartado se presenta el desarrollo del programa de control, así como del algoritmo de planificación de rutas para robots móviles de campos potenciales artificiales que fue implementado.

En la Figura 2.18 se observa el esquema general del software, en donde al accionar el switch de encendido, se energiza el sistema embebido (Arduino Nano), además de los sensores y actuadores, y posterior a esto se ejecuta el programa de control, el cual empieza con la lectura de los sensores ultrasónicos; sin embargo para que un objeto sea detectado se debe esperar que el usuario seleccione uno de los dos modos de uso ya sea interior o exterior, ya que estos modos proporcionan el valor de distancia mínima de detección, una vez que haya sido detectado algún objeto se envía al usuario un mensaje de audio por medio del módulo MP3 indicando la dirección en que fue detectada el objeto, si este objeto es detectado únicamente en la parte frontal ya sea superior o inferior se da opción al usuario que seleccione la dirección de giro por medio de los pulsantes que se encuentran en el circuito de mando en base a un ángulo preestablecido que se encuentra en el sistema

embebido, caso contrario estos valores de distancia son ingresados al algoritmo de planificación de rutas de robots móviles de campos potenciales artificiales en donde se determina la dirección y el ángulo de giro; en ambos casos estos valores son enviados al servomotor por medio de su señal PWM de control, con el fin de que este permita girar la rueda que se encuentra en la parte inferior del bastón guía; una vez que no se detecte ningún objeto dentro del campo de visión de los sensores ultrasónicos el servomotor regresa a su posición inicial.



Figura 2.18. Esquema general del software

### 2.3.1 ALGORITMO DE PLANIFICACIÓN DE RUTAS PARA ROBOTS MÓVILES DE CAMPOS POTENCIALES ARTIFICIALES

En esta sección se presenta el diseño del algoritmo de planificación de rutas para robots móviles de campos potenciales artificiales, para lo cual se inicia con la representación matemática de la orientación y posición, y posterior a esto la descripción del algoritmo para la evasión de objetos.

#### 2.3.1.1 Representación matemática de la orientación y posición

Las ecuaciones toman como referencia el sistema de coordenadas oXY. La ecuación 2.3 corresponde a la matriz de rotación y traslación [21]:

$$\begin{pmatrix} X' \\ Y' \\ 1' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \theta & -\sin \theta & P_x \\ \sin \theta & \cos \theta & P_y \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X \\ Y \\ 1 \end{pmatrix} \quad (2.3)$$

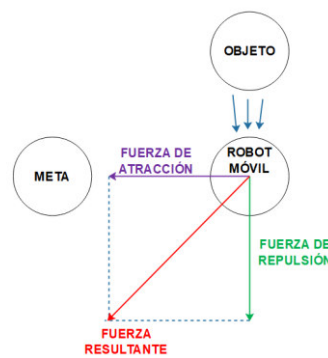
Aquí se tiene una traslación al punto (Px,Py), y una rotación de un ángulo P con referencia al sistema de coordenadas oXY en sentido antihorario [21].

Sin embargo, si el vector gira sobre el mismo eje  $(P_x, P_y) = (0,0)$  con referencia al sistema de coordenadas  $oXY$ , se produce como consecuencia la matriz descrita en la ecuación 2.4, que es denominada matriz de rotación [21]:

$$\begin{pmatrix} X' \\ Y' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X \\ Y \end{pmatrix} \quad (2.4)$$

### 2.3.1.2 Método de campos potenciales artificiales

El método de campos potenciales artificiales ha sido usado en la planificación de rutas de robots móviles de gran manera en los últimos años, gracias a su eficiencia y simplicidad matemática. Este método se base en producir una fuerza ficticia dentro del ambiente de trabajo, por medio de la cual el robot móvil es atraído al punto de llegada o meta, y repelido por cada objeto presente en su trayectoria [22]. En la Figura 2.19 se puede apreciar al robot y cada una de las fuerzas que se producen.



**Figura 2.19.** Fuerzas producidas en el método de campos potenciales artificiales

El campo potencial generado gracias a la fuerza ficticia es variante, ya que este depende de la distancia del robot al obstáculo, de la velocidad real y máxima del robot. En la ecuación 2.5 se presenta la manera en que se define esta fuerza ficticia [22]:

$$|\vec{F}_{(k)}| = \begin{cases} 0 & \text{si } d_{(k)} > d_{max} \\ \frac{c_f \eta}{|d_{min} - d_{(k)}|} & \text{si } d_{(k)} \leq d_{max} \end{cases} \quad (2.5)$$

Donde:

$|\vec{F}_{(k)}|$  = Fuerza ficticia.

$d_{(k)}$  = Distancia entre el robot y el objeto.

$d_{min}$  = Distancia mínima de no contacto del robot con el objeto, más los radios del robot y del objeto.

$c_f$  = Constante positiva que determina la cobertura de fuerza.

El parámetro  $\eta$  se encuentra definido como [22]:

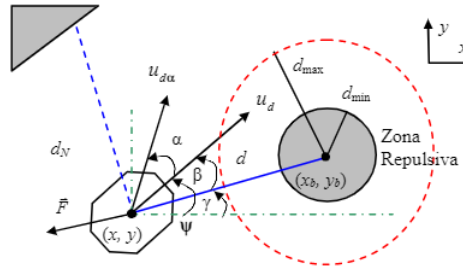
$$\eta = \rho \frac{u_{(k)}}{u_{max}}, \quad 0 < \rho \leq 1 \quad (2.6)$$

Donde:

$u_{(k)}$  = Velocidad real.

$u_{max}$  = Velocidad máxima del robot.

En la Figura 2.20 se presenta el esquema de la fuerza ficticia, en donde se tiene  $\psi$  ángulo de orientación del robot,  $\gamma$  ángulo entre el objeto y el robot,  $\beta$  ángulo que proporciona la dirección en la que se encuentra presente el objeto con respecto al robot, razón por la cual proporciona la dirección de evasión o desvío para la trayectoria;  $\alpha$  ángulo de rotación ocasionado por la fuerza ficticia,  $d$  distancia al objeto,  $d_N$  distancia en la dirección normal a  $d$  que denota la presencia de un objeto en dirección perpendicular al objeto a evadir,  $u_d$  vector velocidad deseada y  $u_{d\alpha}$  velocidad deseada modificada. Los ejes  $(x_b, y_b)$  indica la posición del objeto y  $(x, y)$  la posición del robot [22].



**Figura 2.20.** Esquema del método de campos potenciales artificiales [23]

Los componentes que corresponden al vector velocidad deseada  $u_d$  varían conforme a la ecuación 2.7 [23]:

$$\begin{pmatrix} \frac{x_{d\alpha(k+1)} - x_{d\alpha(k)}}{T_0} \\ \frac{y_{d\alpha(k+1)} - y_{d\alpha(k)}}{T_0} \end{pmatrix} = \sigma \begin{pmatrix} \cos \alpha(k) & -\sin \alpha(k) \\ \sin \alpha(k) & \cos \alpha(k) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \frac{x_{d(k+1)} - x_{d(k)}}{T_0} \\ \frac{y_{d(k+1)} - y_{d(k)}}{T_0} \end{pmatrix} \quad (2.7)$$

Aquí se tiene que  $T_0$  es el periodo de muestro, y el parámetro  $\sigma$  cumple la condición de  $0 < \sigma < 1$  por medio de la cual se reduce la magnitud del vector velocidad deseada modificada en el instante de la evasión del objeto. Es decir, para la trayectoria normal se cumple que  $|\vec{F}_{(k)}| = 0, \sigma = 1$  [22].

El ángulo de rotación  $\alpha$  se calcula como:

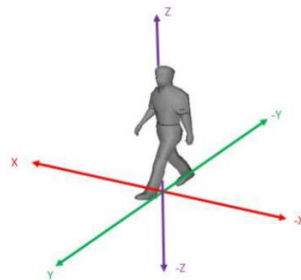
$$\alpha_{(k)} = |\vec{F}_{(k)}| \text{sign}(\sin(\beta_{(k)})) \quad (2.8)$$

Con el fin no tener problemas de encerramiento se utiliza una distancia normal ( $d_N$ ) a la distancia del objeto ( $d$ ), de manera que si  $d_N \leq d_{max}$  se suma  $\frac{\pi}{2}$  al ángulo  $\alpha$ , esta operación realizada permite al robot dar la vuelta y así evitar este problema [22].

### 2.3.1.3 Diseño del algoritmo de detección y evasión de objetos

En esta sección se presenta las ecuaciones de control que se implementan en el sistema embebido, estas se deducen a partir del algoritmo de campos potenciales artificiales utilizando la misma lógica.

El sistema consta con dos modos de uso que son en interiores y exteriores, ambos cumplen las mismas condiciones que se detallarán a continuación, la única diferencia entre ellos es el valor de distancia mínima establecido. En la Figura 2.21 se puede apreciar el sistema de referencia.



**Figura 2.21.** Sistema de referencia [21]

En ambos modos de uso se reproducen los mensajes de audio que permite indicar la ruta libre de objetos, esto se realiza conforme a la dirección en la que apunte la fuerza de atracción artificial. En la Tabla 2.5 se encuentran las abreviaciones que se utilizan para definir los parámetros que serán utilizados en las ecuaciones [21].

**Tabla 2.5.** Abreviatura y descripción

| Abreviatura | Descripción                      |
|-------------|----------------------------------|
| DMD         | Distancia mínima de detección    |
| DDM         | Distancia de detección medida    |
| DDF         | Distancia de detección frontal   |
| DDL         | Distancia de detección lateral   |
| DDD         | Distancia de detección derecha   |
| DDI         | Distancia de detección izquierda |

La posición inicial de una fuerza de atracción ( $\vec{F\bar{A}}$ ) es establecida, en dirección de la orientación de la persona, de modo que las componentes  $(x, y)$  en un inicio serán [21]:

$$\vec{F\bar{A}} = \begin{pmatrix} F_{A_x} \\ F_{A_y} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ DMD \end{pmatrix} \quad (2.9)$$

Teniendo en cuenta el concepto del cambio de las componentes  $x, y$  de la velocidad, se tiene que las componentes  $x, y$  de  $\vec{F\bar{A}}$  varían con respecto a un ángulo de rotación  $\theta$  [21].

$$R_{\theta+}(\vec{F\bar{A}}) = \begin{pmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 \\ DMD \end{pmatrix} \quad (2.10)$$

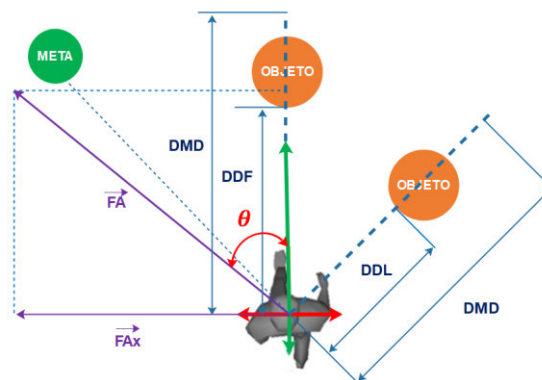
Entonces:

$$R_{\theta+}(\vec{F\bar{A}}) = \begin{pmatrix} F_{A_x} \\ F_{A_y} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -\sin \theta & DMD \\ \cos \theta & DMD \end{pmatrix} \quad (2.11)$$

De tal modo que la ecuación de la componente de repulsión implementada en el sistema embebido viene a ser [21]:

$$F_{A_x} = \sin \theta * DMD \quad (2.12)$$

En este caso el signo (-) indica que sucedió una rotación positiva esto se aprecia en la Figura 2.22 [21].



**Figura 2.22.** Esquema de implementación con distancias y fuerzas que se producen [21]

Al no presentarse ningún objeto en la trayectoria del robot no se produce ninguna fuerza que modifique las componentes  $(x, y)$  de  $u_d$ , de modo que el robot conserva su trayectoria hacia el frente siempre. De aquí surge la ecuación de  $\theta$  para el sistema embebido para el caso en el cual exista una rotación negativa  $\vec{F\bar{A}}$  [21].

$$\theta_- = \begin{cases} \cos^{-1}(\beta_1) & \text{si } DMD \leq DDF \text{ y } DDD \leq DMD \\ \cos^{-1}(\beta_2) & \text{si } DDF \leq DMD \text{ y } DDD \leq DMD \\ 0 & \text{Si no se detecta un objeto} \end{cases} \quad (2.13)$$

Como se conoce el dominio de la función  $\cos^{-1}(\beta_1)$  es  $[-1,1]$ , y considerando que la distancia es una magnitud escalar positiva, se tiene que  $0 \leq \beta_1 \leq 1$  [22]:

$$\beta_1 = \frac{DMD}{DMD+(DMD-DDD)} \quad (2.14)$$

$$\beta_2 = \frac{DDF}{DMD+(DMD-DDD)} \quad (2.15)$$

Estas condiciones son en el caso de una detección en la zona lateral derecha, remplazando la ecuación 2.14 y 2.15 en la ecuación 2.13 se tiene [21]:

$$\theta_- = \begin{cases} \cos^{-1}\left(\frac{DMD}{DMD+(DMD-DDD)}\right) & \text{si } DMD \leq DDF \text{ y } DDD \leq DMD \\ \cos^{-1}\left(\frac{DDF}{DMD+(DMD-DDD)}\right) & \text{si } DDF \leq DMD \text{ y } DDD \leq DMD \\ 0 & \text{Si no se detecta un objeto} \end{cases} \quad (2.16)$$

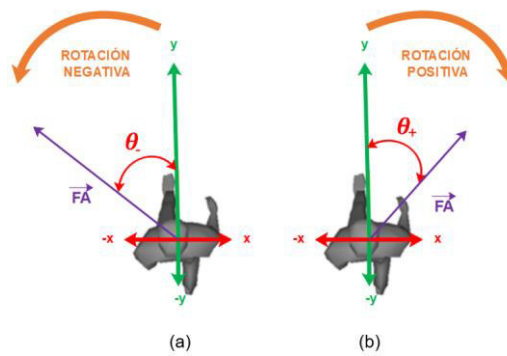
Mientras que, para el caso de una rotación positiva o detección en la zona lateral izquierda, se tiene [21]:

$$\theta_+ = \begin{cases} \cos^{-1}\left(\frac{DMD}{DMD+(DMD-DDI)}\right) & \text{si } DMD \leq DDF \text{ y } DDI \leq DMD \\ \cos^{-1}\left(\frac{DDF}{DMD+(DMD-DDI)}\right) & \text{si } DDF \leq DMD \text{ y } DDI \leq DMD \\ 0 & \text{Si no se detecta un objeto} \end{cases} \quad (2.17)$$

Por medio de la ecuación 2.12 se tiene que  $0 \leq FA_x \leq DMD$  [22].

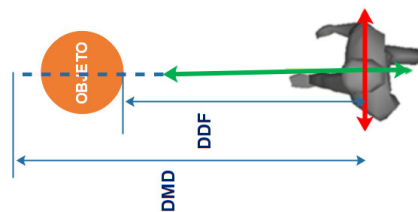
En el bastón se tiene dos formas de evadir los objetos las mismas que se establecen en función de la dirección en la que fue detectada el objeto, la primera forma es en el caso que se presente una detección lateral y lateral-frontal; y la segunda forma es cuando se tiene solo detección frontal.

En la primera forma de evasión se cumplen las ecuaciones ya descritas para el cálculo del ángulo de rotación ( $\theta_-$  o  $\theta_+$ ), el mismo que solo puede variar de  $0 \leq \theta \leq \frac{\pi}{2}$ . En la Figura 2.23 se puede observar los esquemas para la rotación positiva y negativa.



**Figura 2.23.** (a) Rotación negativa, (b) Rotación positiva [21]

En la segunda forma de evasión se tiene al presentarse solo una detección frontal, de modo que el giro de la rueda del bastón puede ser tanto al lado derecho o izquierdo, para seleccionar la dirección de giro se cuenta con dos pulsantes que se encuentran en el circuito de mando, el ángulo de rotación que es indicado al servomotor para permitir el giro de la rueda ya se encuentra previamente establecido en el sistema embebido. En la Figura 2.24 se puede apreciar la detección frontal de un objeto dado que la distancia de detección frontal es menor a la distancia de detección mínima, y no existe ningún objeto u obstáculo a cualquiera de los dos lados ya sea derecha o izquierda.



**Figura 2.24.** Detección frontal [21]

A estas dos formas de evasión se añade la posibilidad de una detección triple es decir los dos sensores laterales y uno de los dos sensores frontales detecten algún objeto, aquí no se puede girar la rueda hacia ningún lado, razón por la cual solo se debe informar al usuario que se encuentra en un camino cerrado y que debe retornar.

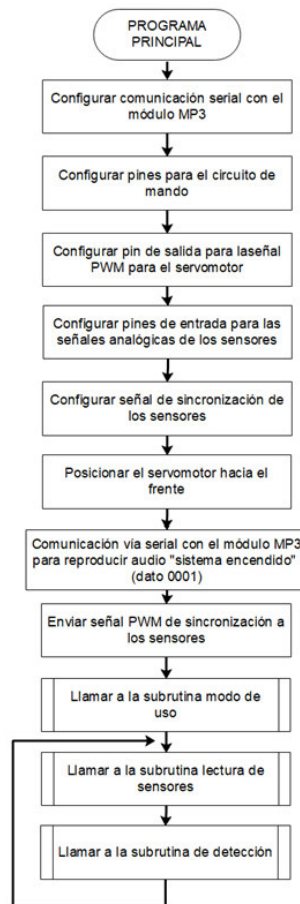
### 2.3.2 DIAGRAMA DEL PROGRAMA DE CONTROL PRINCIPAL

El programa de control principal desarrollado se encuentra implementado en el sistema embebido, la lógica de este programa empieza con la declaración de cada uno de los pines que serán utilizados del sistema embebido, generando la señal PWM de sincronización para los sensores ultrasónicos de tal manera que no exista ningún fallo en la medición de distancia, y enviando el mensaje de audio indicando que el sistema se encuentra encendido y solicitando al usuario seleccionar uno de los modos de uso, mientras se espera la



respuesta del usuario se empieza con la lectura de los sensores ultrasónicos, una vez que el usuario a presionado uno de los pulsantes que permiten seleccionar el modo de uso se establece la distancia de detección mínima en función del modo seleccionado, los pines donde se encuentran conectados estos pulsantes fueron declarados con pull-up de tal manera al detectarse un 0L (cero lógico) se ingresa al lazo de control para establecer el modo de uso.

En el caso de que los sensores detecten un objeto dentro de su campo de visión que se encuentre a una distancia menor a la distancia mínima establecida, se envía el mensaje de audio informando al usuario que un objeto fue detectado y la dirección en que fue detectada, y posterior a esto se inicia el algoritmo de planificación de rutas, el cual toma la o las distancias de detección para determinar el valor de ángulo y sentido de giro de la rueda, este giro de la rueda se lo realiza al accionar el servomotor, y al ya no detectarse ningún objeto se permite al servomotor retornar a su posición inicial. En la Figura 2.25 se presenta el diagrama de flujo del programa de control principal del bastón guía.



**Figura 2.25.** Diagrama de flujo del programa principal implementado en el sistema embebido

El sistema de audio recibe la señal del sistema embebido indicando el audio que debe reproducirse para cada caso, y este sistema accede a los archivos mp3 que se encuentra dentro de la tarjeta microSD y los reproduce.

### 2.3.2.1 Subrutina modo de uso

En esta subrutina se permite al usuario seleccionar el modo de uso ya sea interior o exterior, por medio de los pulsantes que se encuentran en el circuito de mando, estas se diferencian únicamente en el valor de distancia mínima de detección que se establece ya que para el modo interior es de 60 cm y para el modo exterior es de 150 cm. Para entender de mejor manera se puede apreciar la lógica desarrollada en el diagrama de flujo presente en la Figura 2.26.

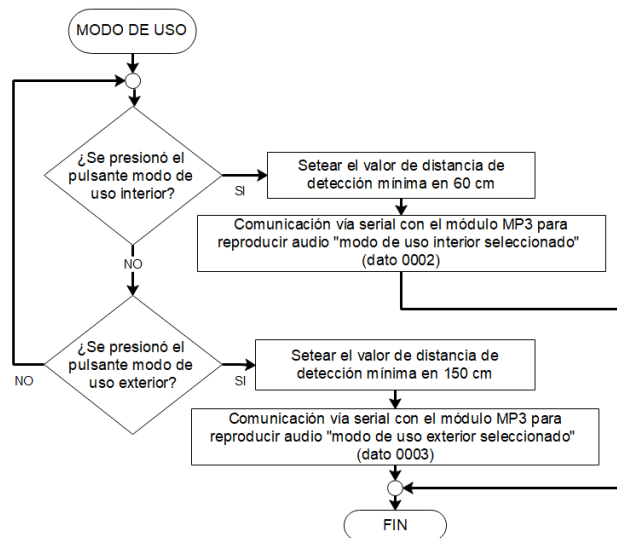


Figura 2.26. Diagrama de flujo de la subrutina modo de uso

### 2.3.2.2 Subrutina lectura de sensores

Como se mencionó en el capítulo 1 estos sensores pueden entregar el dato de la medición de diversas formas, sin embargo, en el presente trabajo de integración curricular se optó por utilizar la salida analógica, razón por la cual se debe determinar la manera en la cual se debe convertir este valor de voltaje que entregan los sensores al valor de distancia que se requiere en el programa de control principal.

Como se mencionó en el capítulo 1 la sensibilidad del sensor es:

$$Sensibilidad = \frac{V_{cc}}{512} \left[ \frac{V}{pulgada} \right] \quad (2.18)$$

Dado que se trabaja con un voltaje de alimentación de 5 VDC reemplazando este dato en la ecuación 2.12 se obtiene:

$$\text{Sensibilidad} = \frac{5}{512} \left[ \frac{V}{\text{pulgada}} \right]$$

$$\text{Sensibilidad} = 9.76 \left[ \frac{mV}{\text{pulgada}} \right]$$

Dentro del sistema embebido el algoritmo de planificación de rutas de campos potenciales artificiales trabaja con las distancias en centímetros (cm), razón por la cual se debe transformar esta sensibilidad, conociendo que 1 pulgada = 2.54 cm, se tiene:

$$\text{Sensibilidad} = 9.76 \left[ \frac{mV}{\text{pulgada}} \right] * \frac{1 \text{ pulgada}}{2.54 \text{ cm}}$$

$$\text{Sensibilidad} = 3.84 \left[ \frac{mV}{\text{cm}} \right]$$

Para leer el valor que entregan los sensores se usa el canal A/D del Arduino Nano, el cual tiene una resolución de 10 bits (0 a 1023), y para obtener el valor real del voltaje de salida del sensor en mV se tiene que:

$$\text{Voltaje de salida del sensor} = \text{Valor leído por el canal AD} * \frac{5}{1024} \text{ [mV]} \quad (2.19)$$

Para finalmente obtener el valor de la distancia en cm se debe operar el voltaje de salida del sensor obtenido por medio de la ecuación 2.19 de la siguiente manera:

$$\text{Distancia} = \text{Voltaje de salida del sensor} * \frac{1}{\text{Sensibilidad}} \text{ [cm]} \quad (2.20)$$

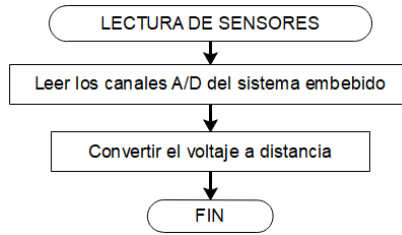
Es decir, la ecuación implementada en el sistema embebido será el resultado de reemplazar la ecuación 2.19 en la ecuación 2.20:

$$\text{Distancia} = \text{Valor leído por el canal AD} * \frac{5}{1024} * \frac{1}{3.84} \text{ [cm]}$$

Obteniendo:

$$\text{Distancia} = \text{Valor leído por el canal AD} * 0.0012 \text{ [cm]}$$

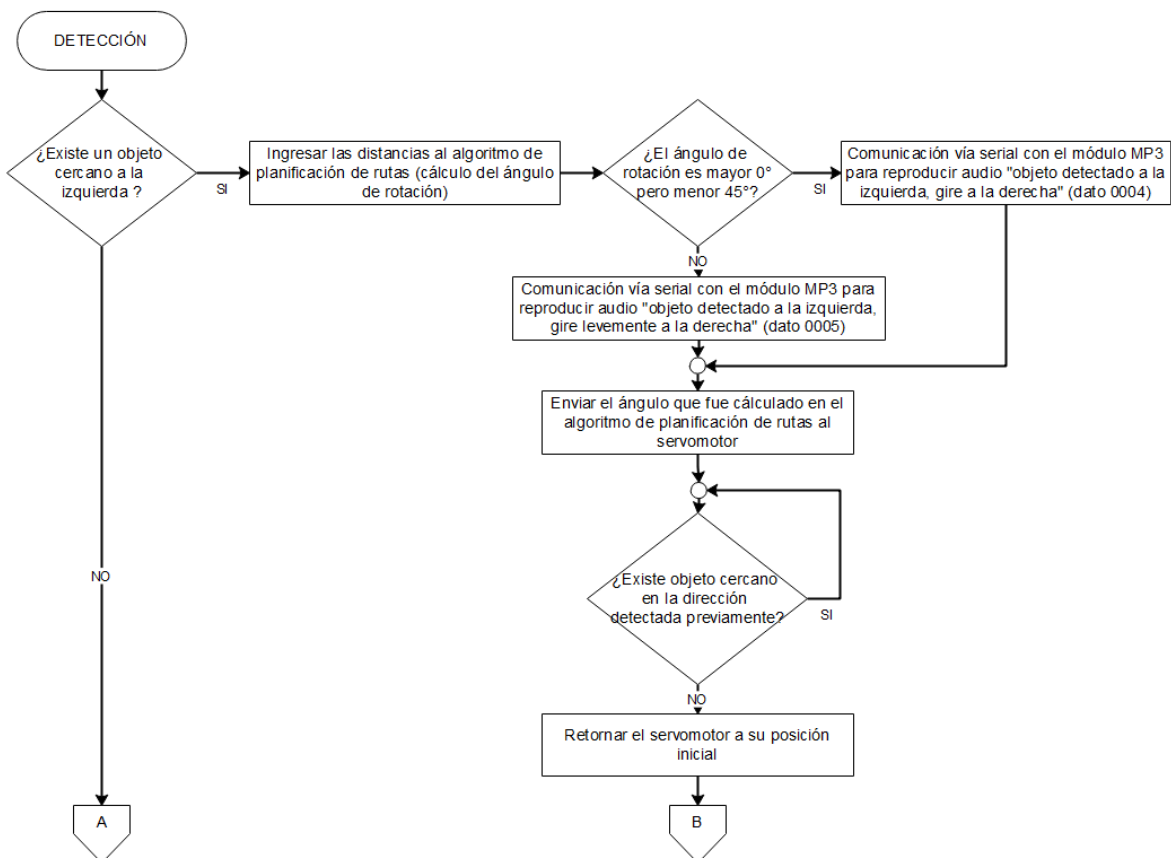
En la Figura 2.27 se presenta el diagrama de flujo que explica la manera en la cual se realiza la lectura de los sensores ultrasónicos.



**Figura 2.27.** Diagrama de flujo de la subrutina lectura de sensores

### 2.3.2.3 Subrutina detección

En la subrutina de detección se presentan los casos que se pueden generar por la detección de uno o más sensores, como se explicó en la sección 2.3.2.3 de diseño del algoritmo de detección y evasión de objetos del presente capítulo se puede tener una detección lateral única (derecha o izquierda), detección frontal-lateral (frente-derecha o frente-izquierda), detección frontal única (superior o inferior) y como último caso la detección en las tres direcciones derecha, izquierda y frontal. En las Figuras 2.28, 2.29 y 2.30 se puede observar el diagrama de flujo de esta subrutina con el fin de entender la manera en la cual se lleva a cabo la evasión del objeto detectado.



**Figura 2.28.** Diagrama de flujo de la subrutina detección (primera parte)

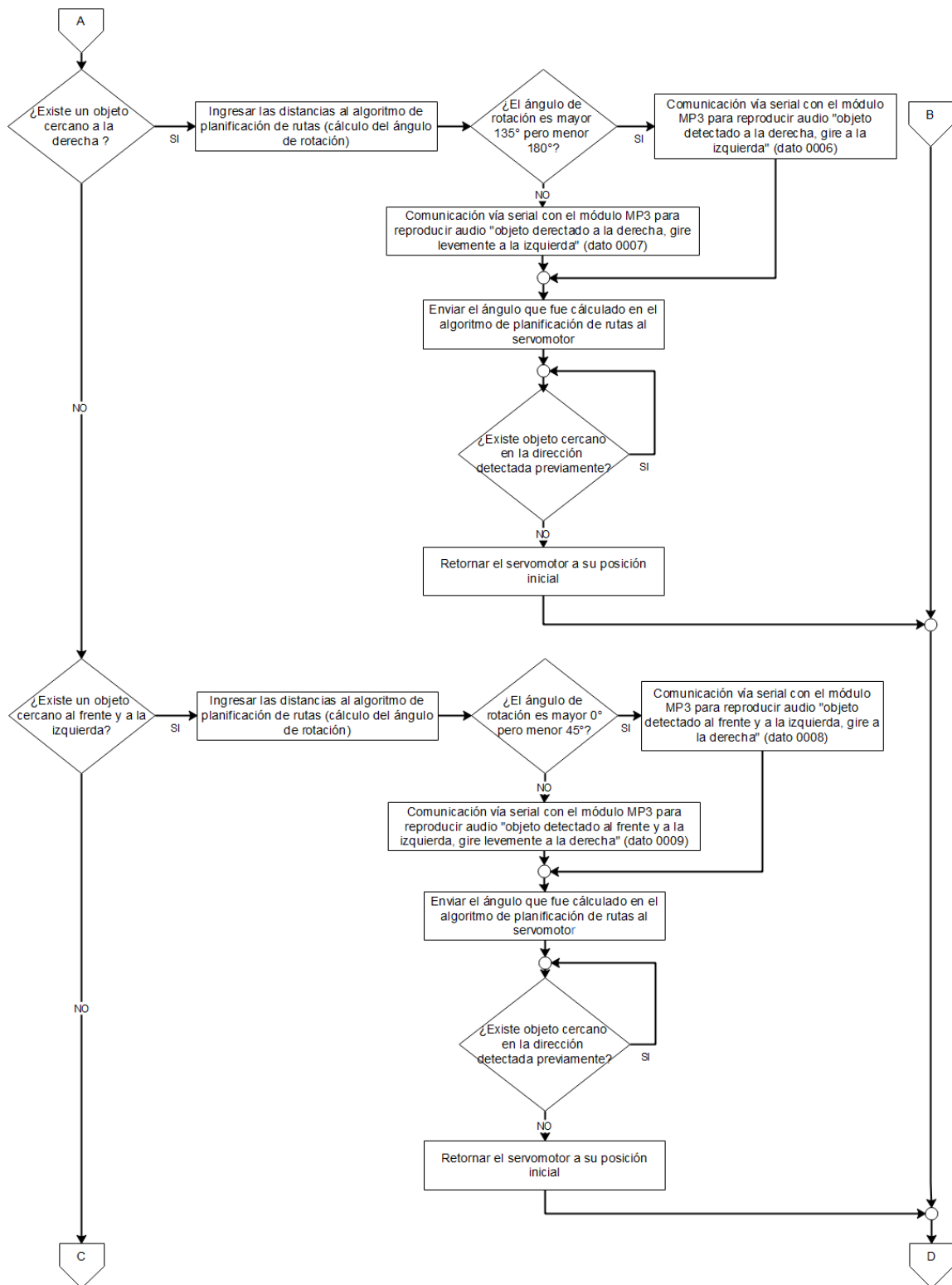


Figura 2.29. Diagrama de flujo de la subrutina detección (segunda parte)

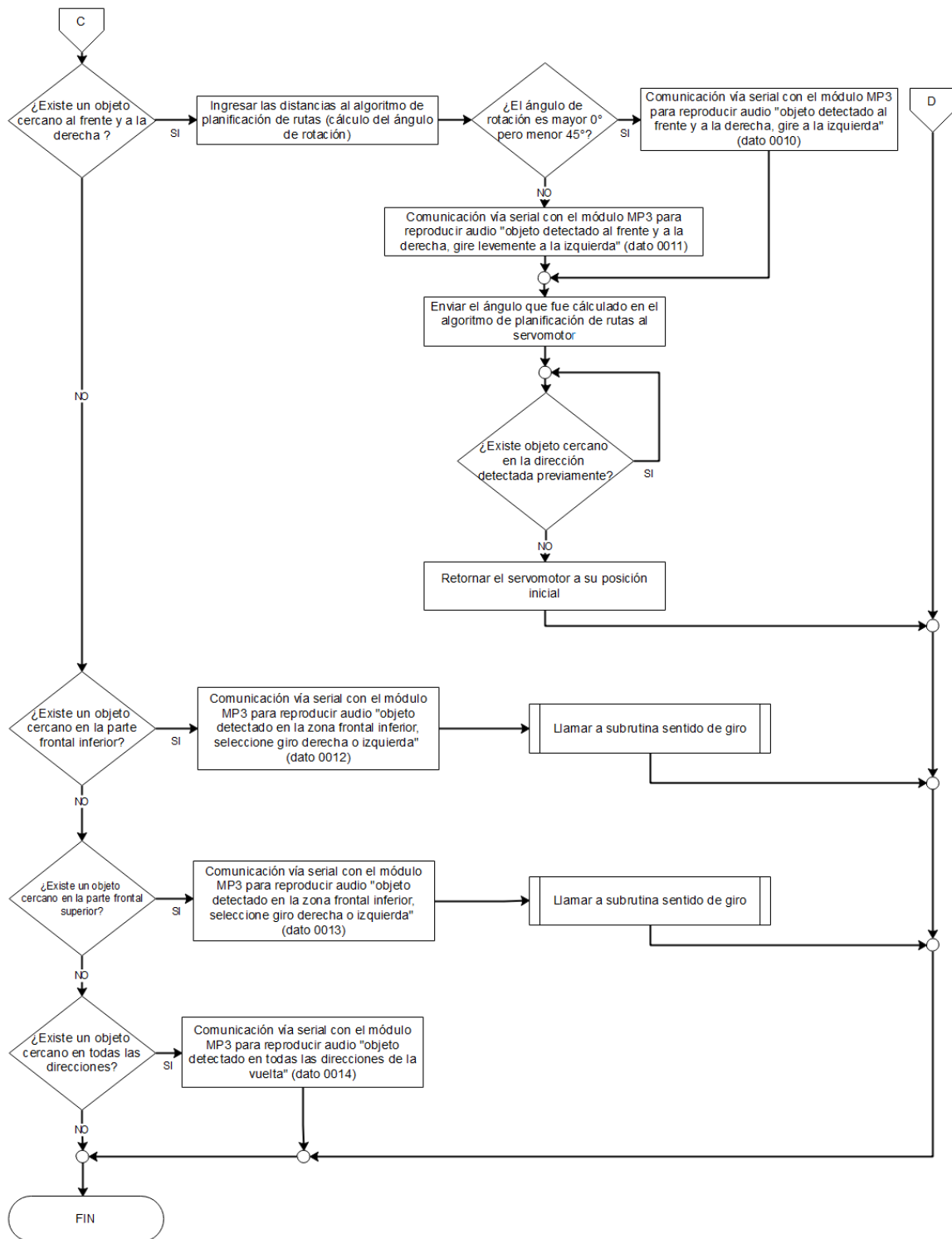
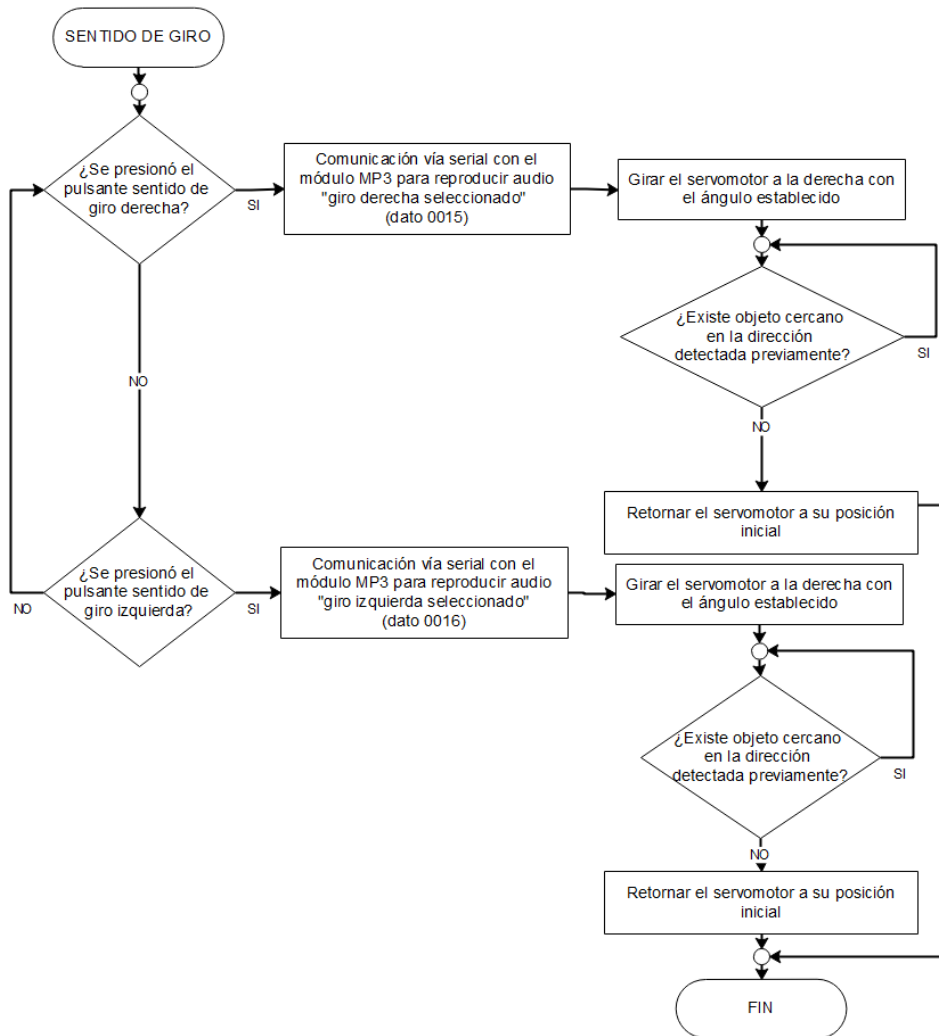


Figura 2.30. Diagrama de flujo de la subrutina detección (tercera parte)

### 2.3.2.4 Subrutina sentido de giro

La subrutina de sentido de giro es llamada una vez que sea detectado un objeto únicamente en la zona frontal ya sea superior e inferior, dado que el lado derecho e izquierdo se encuentran libres se permite que el usuario seleccione la dirección de giro por medio de

dos pulsantes que se encuentran presentes en el circuito de mando. En la Figura 2.31 se puede apreciar la lógica que se lleva a cabo en función del pulsante de dirección que seleccione el usuario.



**Figura 2.31.** Diagrama de flujo de la subrutina sentido de giro

Una vez culminadas las etapas de diseño, construcción y ensamblaje del prototipo se lo denominó a este como GCtech-U, dado que es un bastón guía (GC) que cuenta con tecnología (tech) de ultrasonido (U) para la detección de los obstáculos, en el siguiente capítulo se presenta las pruebas realizadas de manera individual a los sistemas que conforman el equipo, así como al equipo ensamblado y por medio de una encuesta realizada a los usuarios se recopila la información que permite conocer el desempeño del prototipo.

### **3 RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

En el presente trabajo de integración curricular se ha realizado pruebas de funcionamiento tanto de manera individual a cada elemento que conforma el equipo como de manera global. Las primeras pruebas realizadas fueron de manera individual a los sensores ultrasónicos, módulo MP3 y algoritmo de planificación de rutas implementado, para posterior a esto realizar las pruebas globales del equipo con personas videntes que se encuentren con los ojos vendados, con el fin de calificar el rendimiento del equipo y detectar algún tipo de deficiencia que presente, se realiza una encuesta a cada uno de los usuarios, y los resultados obtenidos en estas encuestas se presentan una vez terminado la sección de pruebas.

#### **3.1 PRUEBA DE AUDIO**

La primera prueba que se realizó fue la prueba de audio dado que este sistema es el encargado de la reproducción de los mensajes que informa al usuario que el sistema se encuentra encendido, el modo de uso que seleccionó y la dirección de evasión del obstáculo.

Una vez que los audios se encuentran grabados y almacenados en la tarjeta microSD, se procede a enviar vía serial el dato correspondiente para la reproducción de cada uno de los audios que se encuentran detallados en la Tabla 2.4, de manera que se logró verificar que estos se reproducen de manera clara y con un volumen adecuado. El audio es reproducido por medio de un audífono o parlante en ambos casos con entrada de audio Jack 3.5 mm y el volumen con el cual se reproducen los audios es fijo y solo puede ser modificado desde el sistema embebido Arduino Nano.

#### **3.2 PRUEBA DE LOS SENSORES ULTRASÓNICOS**

En esta prueba se realizó la medición de diferentes distancias por medio de los sensores ultrasónicos para comprobar que la medida que entregan sea la real y a su vez determinar el error que se tiene en la medida, esta medida es comparada con la de un flexómetro, para poder visualizar esta distancia se utilizó el Monitor Serie que brinda el software computacional Arduino IDE. El objeto a ser detectado fue una caja de cartón, la prueba fue realizada con cada uno de los sensores, en la Figura 3.1 se puede apreciar un ejemplo de la prueba realizada al sensor lateral izquierdo.





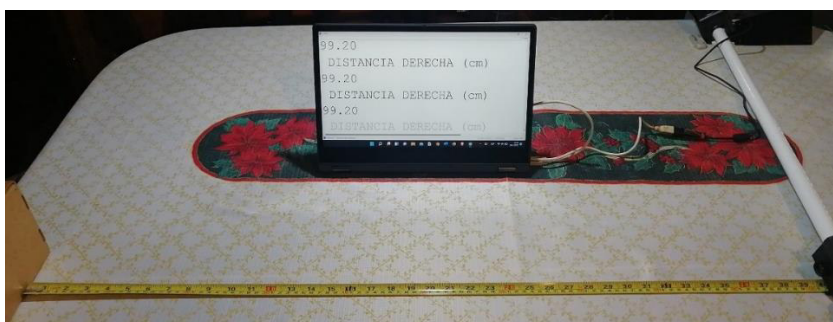
**Figura 3.1.** Prueba de medición al sensor izquierdo

En la Figura 3.2 se puede apreciar que el sensor lateral izquierdo se encuentra a una distancia de 80 cm del objeto a ser detectado, de modo que la medida que entrega el sensor es muy cercana a la real.



**Figura 3.2.** Distancia del sensor lateral izquierdo para la prueba

La prueba de medición de distancia realizada por medio del sensor lateral derecho se puede observar en la Figura 3.3, en este caso el objeto se encuentra a 100 cm.



**Figura 3.3.** Prueba de medición al sensor derecho

En la Figura 3.4 se puede apreciar que el sensor lateral derecho se encuentra a una distancia de 100 cm del objeto a ser detectado, de modo que la medida que entrega el sensor es muy cercana a la real.



**Figura 3.4.** Distancia del sensor lateral derecho para la prueba

La prueba de medición de distancia realizada por medio del sensor frontal inferior se puede observar en la Figura 3.5, en este caso el objeto se encuentra a 60 cm.



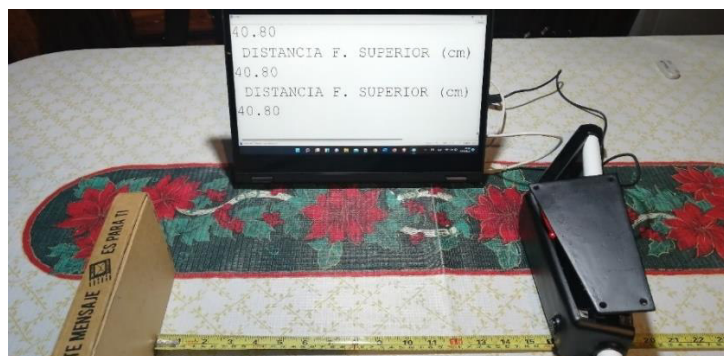
**Figura 3.5.** Prueba de medición al sensor frontal inferior

En la Figura 3.6 se puede apreciar que el sensor frontal inferior se encuentra a una distancia de 60 cm del objeto a ser detectado, de modo que la medida que entrega el sensor es muy cercana a la real.



**Figura 3.6.** Distancia del sensor frontal inferior para la prueba

Para finalizar la prueba de medición de distancia se presenta el resultado obtenido por medio del sensor frontal superior en la Figura 3.7, en este caso el objeto se encuentra a 40 cm.



**Figura 3.7.** Prueba de medición al sensor frontal superior

En la Figura 3.8 se puede apreciar que el sensor frontal inferior se encuentra a una distancia de 40 cm del objeto a ser detectado, de modo que la medida que entrega el sensor es muy cercana a la real.



**Figura 3.8.** Distancia del sensor frontal superior para la prueba

Por medio de la prueba realizada se logró verificar que los sensores miden de manera adecuada la distancia a la que se encuentra el objeto, en la Tabla 3.1 se puede apreciar las medidas obtenidas y los errores que presenta cada uno de los sensores, en esta prueba se ubicó al objeto a una distancia inicial de 10 cm y se lo fue alejando para medir cada 10 cm hasta llegar a los 150 cm.

**Tabla 3.1.** Medidas y errores de los sensores

| Distancia (cm) | Distancia sensor izquierdo (cm) | Distancia sensor derecho (cm) | Distancia sensor inferior (cm) | Distancia sensor superior (cm) | Error sensor izquierdo (%) | Error sensor derecho (%) | Error sensor inferior (%) | Error sensor superior (%) |
|----------------|---------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|----------------------------|--------------------------|---------------------------|---------------------------|
| 10             | 14.20                           | 14.35                         | 14.56                          | 14.42                          | 42                         | 43.5                     | 45.6                      | 44.2                      |
| 20             | 20.60                           | 20.20                         | 19.60                          | 20.40                          | 3                          | 1                        | 2                         | 2                         |
| 30             | 30.60                           | 30.15                         | 30.20                          | 30.40                          | 2                          | 0.5                      | 0.66                      | 1.33                      |
| 40             | 40.25                           | 39.85                         | 40.15                          | 40.40                          | 0.625                      | 0.37                     | 0.37                      | 1                         |
| 50             | 50.80                           | 50.30                         | 49.80                          | 50.25                          | 1.6                        | 0.6                      | 0.4                       | 0.5                       |
| 60             | 60.50                           | 60.25                         | 60.40                          | 60.42                          | 0.83                       | 0.42                     | 0.66                      | 0.7                       |
| 70             | 70.36                           | 70.30                         | 70.25                          | 69.85                          | 0.51                       | 0.42                     | 0.36                      | 0.21                      |
| 80             | 80.40                           | 80.42                         | 80.35                          | 80.45                          | 0.50                       | 0.52                     | 0.43                      | 0.56                      |

|     |        |        |        |        |      |      |      |      |
|-----|--------|--------|--------|--------|------|------|------|------|
| 90  | 90.25  | 90.36  | 90.15  | 90.50  | 0.27 | 0.40 | 0.16 | 0.55 |
| 100 | 100.35 | 100.28 | 100.50 | 100.28 | 0.35 | 0.28 | 0.5  | 0.28 |
| 110 | 110.60 | 110.45 | 110.20 | 110.15 | 0.54 | 0.41 | 0.18 | 0.14 |
| 120 | 120.45 | 120.20 | 120.50 | 120.30 | 0.37 | 0.16 | 0.42 | 0.25 |
| 130 | 130.20 | 130.60 | 130.80 | 129.90 | 0.15 | 0.46 | 0.61 | 0.07 |
| 140 | 140.60 | 140.30 | 139.70 | 140.54 | 0.42 | 0.21 | 0.21 | 0.38 |
| 150 | 150.30 | 150.80 | 150.45 | 149.80 | 0.2  | 0.53 | 0.3  | 0.13 |

En base a los datos de la Tabla 3.1 se puede apreciar que los errores son menores al 5 % a excepción de la primera medida de 10 cm, algo que se esperaba ya que el fabricante indica que se puede trabajar entre 6 y 254 pulgadas.

### 3.3 PRUEBA PARA DETERMINAR EL RANGO DE VISIÓN FRONTAL

Para realizar esta prueba se utilizó una caja de cartón de modo que se la colocó de tal manera que el sensor frontal superior e inferior la detecten y esta se fue desplazando de manera vertical hasta determinar el punto máximo de detección que tiene cada sensor, para conocer si el sensor está detectando se utilizó el Monitor Serie que brinda el software computacional Arduino IDE, de modo que si la caja es detectada por el sensor frontal superior en el monitor se puede apreciar la palabra “SUPERIOR” mientras que si la caja es detectada por el sensor frontal inferior se observa la palabra “INFERIOR” como se puede apreciar en la Figura 3.9.



**Figura 3.9** Prueba de rango de visión frontal

Una vez que se tiene el punto máximo de detección de cada sensor, se determina la zona de no detección que corresponde al espacio donde ninguno de los sensores detectará un objeto, en la Figura 3.10 se puede apreciar el valor de esta zona que es de 12 cm aproximadamente.



**Figura 3.10.** Zona de no detección

### **3.4 PRUEBAS EN USUARIOS**

Estas pruebas se realizaron con personas videntes de diferentes edades a las cuales se les vendió los ojos, luego de la prueba realizada se procede a encuestar a los usuarios de modo que por medio de esta información se dé a conocer su punto de vista y recomendaciones del sistema. El sistema brinda una realimentación audible en la cual se indica la dirección de detección y evasión, para lo cual el usuario debe utilizar un auricular de un solo oído, pero para las pruebas realizadas este auricular fue reemplazado por un parlante de modo que se puede escuchar la información entregada por el sistema y así poder realizar el respectivo análisis.

Debido a la pandemia del virus covid-19 que atraviesa el país, las pruebas se desarrollaron con un total de 12 personas videntes y 1 persona no vidente, cumpliendo con las respectivas medidas de bioseguridad como son el distanciamiento social y evitar las aglomeraciones.

Para las pruebas con usuarios se consideraron los siguientes ambientes: patio y pasillo de una escuela, sala de estar de un departamento, terraza de una casa y una vereda que se encuentra dentro de un conjunto habitacional. Antes de realizar la prueba cada uno de los usuarios tuvo una explicación previa la cual tuvo el fin informar como encender el prototipo, la manera de utilizarlo, y el significado de cada uno de los botones del circuito de mando, así como de cada uno de los audios, esto se puede apreciar en la Figura 3.11.





**Figura 3.11.** Indicación del manejo del bastón

### 3.4.1 PRUEBAS EN UNA ESCUELA

El primer ambiente en que se desarrolló la prueba fue en el patio de la escuela para lo cual se ubicaron diferentes objetos como conos y barriles, los mismos que fueron ubicados de manera aleatoria en diferentes posiciones, luego de esto se cubrió los ojos del usuario para que él atravesará el patio y por medio del bastón evada los obstáculos que se presentan.

El primer usuario fue una persona de 22 años de edad, en la Figura 3.12. (a), de izquierda a derecha se puede observar a la persona encendiendo y configurando el bastón, luego dicha persona ya evadió varios objetos y ha avanzado en su trayecto, pero se encuentra con un obstáculo en su zona frontal izquierda, el mismo que es evadido por medio del giro de la rueda hacia el lado derecho y el impulso que la persona le brinda a la rueda; mientras que en la Figura 3.12. (b), se puede observar de manera más clara el movimiento que genera el servomotor permitiendo girar a la rueda hacia la dirección de evasión. Los audios que se reprodujeron fueron los adecuados conforme al obstáculo detectado.



**Figura 3.12 a.** Prueba del prototipo en el patio de la escuela

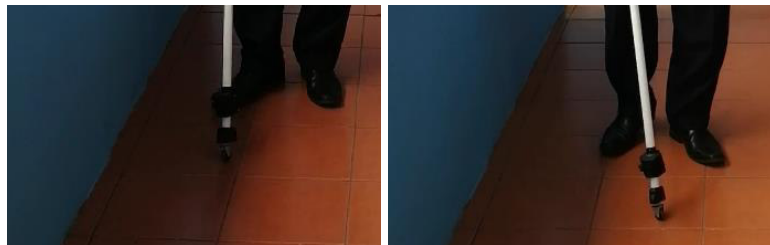


**Figura 3.12 b.** Prueba del prototipo en el patio de la escuela

En el segundo ambiente, una persona de 51 años de edad fue el usuario el cual desarrolló la prueba en el pasillo de la escuela, en la Figura 3.13. (a), se puede observar a la persona caminando normalmente hasta que el bastón detecta la pared, y por medio del mensaje de audio se indica la dirección de detección y el giro a la izquierda; mientras que en la Figura 3.13. (b), se puede observar la manera en la cual la rueda gira para este caso permitiendo a la persona evadir el obstáculo. De igual manera se observó que la persona pudo caminar con normalidad por el pasillo siempre y cuando no se encuentre un objeto dentro del límite de detección del bastón.



(a)



(b)

**Figura 3.13.** Prueba del prototipo en el pasillo de la escuela

### 3.4.2 PRUEBAS EN LA SALA DE ESTAR DE UN DEPARTAMENTO

El siguiente ambiente considerado fue la sala de estar de un departamento, en donde el usuario para esta prueba es una persona de 29 años de edad, en la Figura 3.14. (a), de izquierda a derecha se puede apreciar que el usuario camina sin ningún problema por la sala sin embargo al ser detectado un obstáculo (sillón rojo), se reprodujo el mensaje de audio que informó al usuario la dirección de detección y evasión, la misma que para este caso fue frontal e izquierda; además la rueda giro en la dirección de evasión por medio del servomotor permitiendo así al usuario evadir este obstáculo sin ningún problema; mientras que en la Figura 3.14. (b), se puede observar el giro que se produjo al ser detectado el obstáculo en donde la dirección de evasión es la correcta.



(a)



(b)

**Figura 3.14.** Prueba del prototipo en la sala de estar de un departamento

### 3.4.3 PRUEBAS EN LA TERRAZA DE UNA CASA

En esta prueba se colocaron objetos de manera aleatoria en la terraza de una casa de modo que el usuario, una persona de 56 años de edad no sepa donde se encuentran, en la Figura 3.15. (a), se puede visualizar a la persona yendo por su trayecto, y luego se encuentra con un obstáculo (botella plástica blanca) al lado derecho, el mismo que es detectado e informado al usuario por medio del mensaje de audio correspondiente para esta situación y la rueda gira con dirección izquierda hacia la ruta libre, de modo que el



usuario al impulsar la rueda lo evade sin ningún problema; por otra parte, en la Figura 3.15. (b) se puede apreciar la dirección que tomo la rueda para lograr evadir este obstáculo.



(a)



(b)

**Figura 3.15 (b).** Prueba del prototipo en la terraza de una casa

Continuando con otra prueba realizada en la terraza, como se puede apreciar en la Figura 3.16. (a), en donde el siguiente usuario una persona de 26 años de edad, se encontró con un obstáculo (tarro plástico) en la zona frontal inferior de su trayecto, el mismo que es detectado e informado por medio del mensaje de audio y solicitando que se seleccione la dirección de giro ya sea derecha o izquierda, para este caso la dirección elegida por el usuario es la izquierda, la misma que de igual manera es indicada por medio de otro mensaje de audio, confirmando así la dirección seleccionada, luego de esto el usuario impulsa la rueda logrando así evadir el obstáculo y dirigiéndose hacia la ruta libre; mientras que en la Figura 3.16. (b), se puede observar el giro que realizó la rueda por medio del servomotor.



(a)



(b)

**Figura 3.16.** Prueba del prototipo en la terraza de una casa (detección frontal inferior)

En la Figura 3.17 se puede observar el caso de una detección triple cuando el usuario se encontró en su camino con dos paredes, de modo que no existe ninguna ruta libre lo cual fue indicado por medio del mensaje de audio solicitando al usuario dar la vuelta.



**Figura 3.17.** Prueba del prototipo en la terraza de una casa (detección triple)

Después se detectó un obstáculo (tuvo de PVC) en la zona frontal superior como se puede observar en la Figura 3.18. (a), el cual fue informado mediante el mensaje de audio y solicitando la dirección de giro ya sea derecha o izquierda, aquí el usuario eligió el giro hacia la derecha con el fin de evadir el obstáculo, esta dirección de giro seleccionada fue

confirmada por medio de otro mensaje de audio; además se puede apreciar el giro de la rueda en la Figura 3.18 (b).



(a)



(b)

**Figura 3.18.** Prueba del prototipo en la terraza de una casa (detección frontal superior)

Al escuchar el mensaje de audio que se reprodujo y el ángulo que se generó permitiendo el giro de la rueda en cada una de las pruebas que se realizó, permitió comprobar que el algoritmo efectivamente proporciona una ruta libre de modo que el usuario puede evadir el obstáculo detectado sin ningún problema, y que además es muy útil el indicar en los mensajes de audio tanto la dirección de detección como la dirección de evasión ya que esto ayuda a la persona a tener una idea clara de hacia dónde se dirige.

#### **3.4.4 PRUEBA CON UNA PERSONA NO VIDENTE**

Esta prueba fue realizada con una persona no vidente de 64 años de edad, dentro de su vivienda como se observa en la Figura 3.19. (a), de izquierda a derecha se puede observar como la persona enciende el prototipo, luego selecciona el modo de uso, y posterior a esto empieza a caminar al encontrarse en medio de dos objetos (sillón y mesa de centro) la rueda no gira dado que estos se localizan fuera del límite de detección de modo que el usuario mantiene su trayectoria, sin embargo, luego se encuentra con una mesa la misma que es detectada y se informa la dirección en que se encuentra mediante el mensaje de



audio, al igual que la dirección de evasión, y de igual manera el usuario impulsó la rueda evadiéndolo; en la Figura 3.19. (b) se puede observar la dirección en que gira la rueda.



(a)



(b)

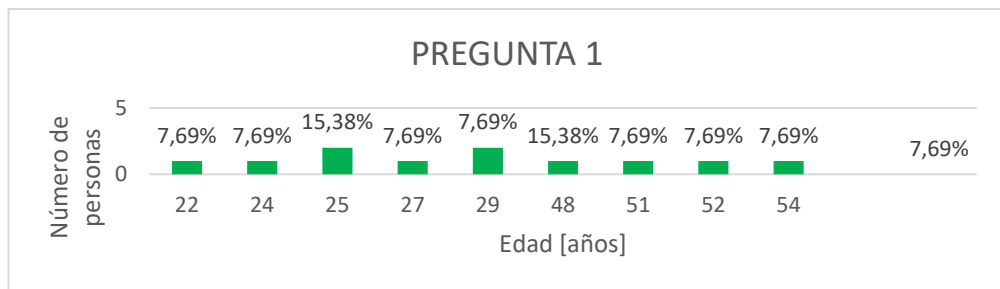
**Figura 3.19.** Prueba del prototipo con una persona no vidente

Esta prueba fue la más importante que se desarrolló ya que la persona no vidente brindó su comentario en torno a su experiencia al usar el prototipo de bastón guía diseñado y construido, el usuario empezó destacando que el bastón guía fue de mucha utilidad ya que le brindó una sensación de comodidad gracias al mango que posee, y además señaló que la detección se realizó a tiempo lo cual le permitió evitar golpear los objetos como lo hace con su bastón guía tradicional, luego afirmó que a pesar de ya tener experiencia usando un bastón guía se requiere de un tiempo para adaptarse al uso del prototipo; posterior a esto mencionó que es importante considerar el volumen de reproducción de los audios dado que el sentido de audición es más sensible para ellos, por lo cual tener un volumen alto les resultaría molesto; para finalizar indicó que sería bueno reducir el peso del prototipo.

### 3.5 ENCUESTA

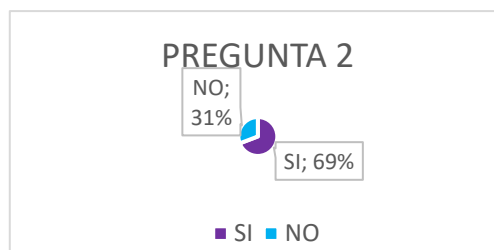
Una vez culminada la etapa de pruebas del prototipo se realiza a los usuarios que fueron parte de ellas una encuesta, por medio de la cual se recopile la información que permita identificar posibles inconvenientes, futuras mejoras y fallas.

En la primera pregunta de la encuesta se pedía a los usuarios indicar su edad, en la Figura 3.20 se puede apreciar que las edades de los encuestados se encuentran en un rango de 22 a 64 años.



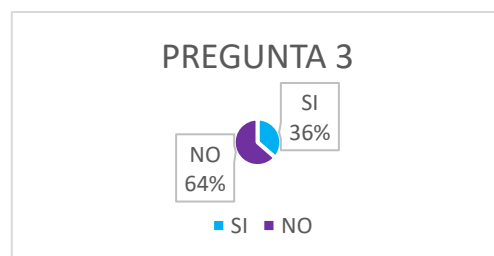
**Figura 3.20.** Datos recopilados de la primera pregunta de la encuesta

En la Figura 3.21 se puede observar que el 69% de los usuarios encuestados, si han escuchado acerca de sistemas electrónicos que ayuden a la movilidad de personas invidentes.



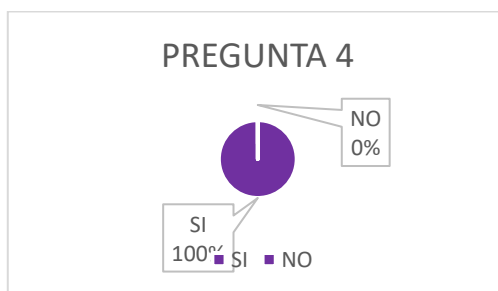
**Figura 3.21.** Datos recopilados de la segunda pregunta de la encuesta

Una pequeña parte de los usuarios afirmó el haber utilizado un sistema electrónico que ayude a la movilidad de las personas invidentes, como se puede apreciar en la Figura 3.22.



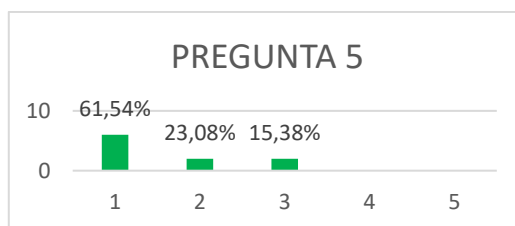
**Figura 3.22.** Datos recopilados de la tercera pregunta de la encuesta

En la Figura 3.23 se puede observar que todos los usuarios afirmaron que los mensajes de audio del prototipo son claros y entendibles.



**Figura 3.23.** Datos recopilados de la cuarta pregunta de la encuesta

Con respecto al uso del equipo el 54% de los usuarios que son la mayoría indicó que les parece fácil, mientras que un 23,08% les parece bastante fácil y el 15,38% señaló que les parece normal su uso. En la Figura 3.24 se puede observar los resultados.



**Figura 3.24.** Datos recopilados de la quinta pregunta de la encuesta

Referente a si les pareció oportuna la detección del obstáculo a los usuarios no existió mucha dispersión de datos, ya que un 69,23% indicó que le parece excelente mientras que al otro 30,77% le pareció muy buena. En la Figura 3.25 se puede apreciar estos resultados.



**Figura 3.25.** Datos recopilados de la sexta pregunta de la encuesta

Con respecto a si la generación de la ruta ayudó a evadir el obstáculo, en la Figura 3.26 se puede observar que el 84,62% de usuarios que corresponden a la mayoría indicó que les pareció eficiente mientras que el 15,38% muy buena.



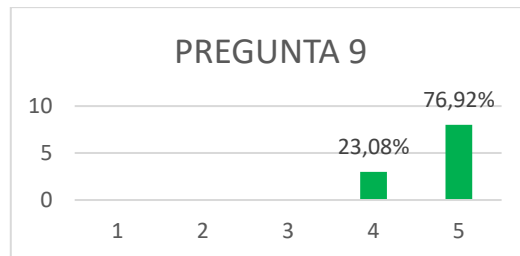
**Figura 3.26.** Datos recopilados de la séptima pregunta de la encuesta

En torno a conocer si el prototipo brinda una sensación de comodidad al usuario, en la Figura 3.27 se puede observar que el 69,23% indicó que les parece muy cómodo, y el 30,77% cómodo.



**Figura 3.27.** Datos recopilados de la octava pregunta de la encuesta

Referente al rendimiento general del equipo el 76,92% de los usuarios señaló que les parece muy bueno y al 23,08% bueno. En la Figura 3.28 se puede apreciar los resultados.



**Figura 3.28.** Datos recopilados de la novena pregunta de la encuesta

Para finalizar se presenta las recomendaciones que fueron descritas por algunos usuarios:

- En los botones para seleccionar el ambiente y dirección de giro se podría implementar escritura braille sobre ellos para que no se tenga dificultad de detectarlos.
- Aumentar el relieve de los botones para distinguirlos de una manera más sencilla.
- Utilizar una rueda más grande.
- El material del mango de un material más suave.

### 3.6 COSTO DE IMPLEMENTACIÓN

Para poder obtener el costo total de implementación del prototipo diseñado en el presente trabajo de integración curricular, se presenta en la Tabla 3.1 el listado de elementos y materiales utilizados, al igual que el costo de cada uno de ellos; mientras que en la Tabla 3.2 se puede apreciar el costo de ingeniería, y por medio de estos dos valores se obtiene el costo total como se indica en la Tabla 3.3.

**Tabla 2.5.** Costo de los elementos y materiales

| Cantidad              | Elemento   | Precio unitario (USD) | Precio (USD)  |
|-----------------------|--|-----------------------|---------------|
| 1                     | Arduino Nano   | 8,00                  | 8,00          |
| 1                     | Módulo de carga TP4056                                       | 1,00                  | 1,00          |
| 1                     | Módulo elevador MT3608                                       | 2,00                  | 2,00          |
| 4                     | Sensor ultrasónico LV-MaxSonar-EZ4                           | 44,00                 | 176,00        |
| 1                     | Servomotor HS311   | 19,00                 | 19,00         |
| 1                     | Módulo DFPlayer Mini   | 4,00                  | 4,00          |
| 1                     | Teclado matricial de membrana 1x4                            | 2,25                  | 2,25          |
| 1                     | Interruptor unipolar   | 0,50                  | 0,50          |
| 1                     | Conector Jack hembra 3.5 mm                                  | 0,60                  | 0,60          |
| 1                     | Conector Jack hembra 5.5 mm                                  | 1,00                  | 1,00          |
| 1                     | Diseño e impresión del mango del bastón                      | 20,00                 | 20,00         |
| 1                     | Diseño e impresión de carcasa para ubicación de los sensores | 10,00                 | 10,00         |
| 2                     | Baterías de ion de litio 3000 mAh                            | 9,00                  | 18,00         |
| 1                     | Porta baterías   | 2,00                  | 2,00          |
| 1                     | Tubo de aluminio   | 17,00                 | 17,00         |
| 1                     | Tarjeta microSD 2 GB   | 3,00                  | 3,00          |
| 1                     | Rueda  | 1,50                  | 1,50          |
| 4                     | Borneras 2 pines   | 0,20                  | 0,80          |
| 2                     | Lata de spray  | 2,50                  | 5,00          |
| 1                     | Placa electrónica  | 10,00                 | 10,00         |
| -                     | Cables   | 2,00                  | 2,00          |
| 2                     | Tiras de espadines macho                                     | 0,80                  | 1,60          |
| 3                     | Metro empalme termo encogible                                | 0,30                  | 0,90          |
| 1                     | Audífono   | 5,00                  | 5,00          |
| <b>Subtotal (USD)</b> |  |                       | <b>301,15</b> |

**Tabla 2.5.** Costo de ingeniería

| Horas | Actividad           | Precio unitario (USD) | Precio (USD) |
|-------|---------------------|-----------------------|--------------|
| 150   | Costo de Ingeniería | 6,00                  | 900,00       |



**Tabla 2.5.** Costo total del equipo

| Costo                           | Precio unitario (USD) |
|---------------------------------|-----------------------|
| Costo de elementos y materiales | 301,15                |
| Costo de Ingeniería             | 900,00                |
| <b>Total</b>                    | <b>1201,15</b>        |

### 3.7 CONCLUSIONES

En esta sección se presenta las conclusiones y recomendaciones fruto del desarrollo tanto escrito como experimental.

- Una vez terminadas todas las etapas de desarrollo de este trabajo de integración curricular, se cumple con todos los objetivos y alcances planteados.
- Dado que este sistema fue hecho con características similares a las del bastón blanco tradicional se concluye que este puede ser utilizado por las personas no videntes y tiene la capacidad de detectar objetos al nivel del piso, así como desniveles.
- Por medio de la información consultada y analizada, se observó que en el país no se ha desarrollado tecnología que permita mejorar la calidad de vida de personas que presentan una discapacidad visual por lo cual el desarrollo de este tipo de proyectos contribuye al bienestar de las personas no videntes.
- Dado que el sistema cuenta con tres sensores en su parte inferior, los cuales deben ser ubicados paralelos al piso, se concluye que optar por el diseño 3D de esta pieza es una excelente opción ya que permite la separación entre sensores y el ángulo de inclinación entre el sensor y tubo del bastón.
- Puesto que es importante que la persona no vidente mantenga libre una de sus manos para realizar cualquier otra actividad, se concluye que es óptimo el asemejar el diseño mecánico del sistema al del bastón blanco tradicional.
- Debido a que el uso de baterías normales implicaría que los usuarios estén constantemente cambiando por el tiempo de uso, se optó por unas baterías recargables lo cual permite generar un ahorro económico, y a esto se añade una reducción en torno a la contaminación debida a los residuos de baterías.
- Puesto a que la mayoría de personas utiliza auriculares con un terminal Jack 3.5, se determina que la mejor alternativa es que el dispositivo diseñado cuente con este

mismo terminal, ya que es muy utilizado por las personas no videntes en diferentes dispositivos como es su celular.

- En sistemas de ayuda es primordial que los mensajes sean dados a tiempo a las personas debido a eso, se concluye que el uso de algoritmos con un menor coste computacional favorece a que este mensaje sea dado a la velocidad adecuada, de modo que el haber implementado el algoritmo planificación de rutas de campos potenciales artificiales fue una buena opción ya que este utiliza un número de recursos computacionales reducidos y su tiempo de ejecución es bajo permitiendo una respuesta rápida.
- Cuando se diseña prototipos en los cuales se requiere hacer programaciones frecuentes el uso de un sistema embebido que tenga incluido su programador en el empaquetado es ideal para no tener que adquirir un dispositivo adicional, por lo cual optar por el Arduino Nano fue una buena decisión.

### **3.8 RECOMENDACIONES**

- Para dimensionar de manera adecuada la batería es recomendable que se mida la corriente total que consumen los elementos y en función de esta dimensionar la misma.
- Se recomienda que previo al uso del sistema los usuarios tengan una explicación a detalle que les permita conocer cómo funciona el mismo.
- Es importante que la carga de la batería se haga cada día por el tiempo de autonomía, y así evitar un apagado repentino del equipo a lo que este se encuentre en uso.
- Para trabajos futuros se recomienda implementar un sistema de vibración para que sea complementario, así como utilizar un sensor ultrasónico adicional que permita eliminar la zona de no detección.
- Se recomienda que este dispositivo se use en conjunto con un dispositivo que permita detectar objetos en la parte superior, como por ejemplo el chaleco "Alnet" diseñador por David Rógel y Lesly Cadena, el chaleco diseñado por Víctor Taramuel, etc; de modo que se tenga un sistema de detección completo.

## 4 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] INEC, «Población por condición de discapacidad, según provincia, cantón, parroquia y área de empadronamiento,» ecuadorencifras, 2010. [En línea]. Available: <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/informacion-censal-cantonal/>. [Último acceso: 09 Noviembre 2021].
- [2] E. Salabert, «Bastones guía para ciegos: qué indican sus colores,» Webconsultas Revista de Salud y Bienestar, 15 Octubre 2021. [En línea]. Available: <https://www.webconsultas.com/curiosidades/bastones-guia-para-ciegos-que-indican-sus-colores>. [Último acceso: 10 Noviembre 2021].
- [3] N. Dávalos, «Dos inventos ecuatorianos facilitan la inclusión de las personas ciegas,» Primicias, 09 Noviembre 2019. [En línea]. Available: <https://www.primicias.ec/noticias/tecnologia/inventos-ecuatorianos-inclusion-no-videntes/>. [Último acceso: 11 Noviembre 2021].
- [4] R. Seth, «Light saber can for the sight impaired!,» Yanko Design, 14 Enero 2013. [En línea]. Available: <https://www.yankodesign.com/2013/01/14/light-saber-can-for-the-sight-impaired/>. [Último acceso: 12 Noviembre 2021].
- [5] Wewalk, «WEWALK,» 2020. [En línea]. Available: <https://wewalk.io/en/product/>. [Último acceso: 13 Noviembre 2021].
- [6] B. C. University, «A pioneering facial recognition cane for blind people,» 08 Mayo 2015. [En línea]. Available: <https://www.bcu.ac.uk/news-events/news/a-pioneering-facial-recognition-cane-for-the-blind>. [Último acceso: 14 Noviembre 2021].
- [7] MaxBotix, «LV-MaxSonar-EZ4 Datasheet,» 2005. [En línea]. Available: [https://www.maxbotix.com/documents/LV-MaxSonar-EZ\\_Datasheet.pdf](https://www.maxbotix.com/documents/LV-MaxSonar-EZ_Datasheet.pdf). [Último acceso: 14 Noviembre 2021].
- [8] Electrostore, «Servomotor Hitec HS-3113,7 Kg.cm 180°,» 2021. [En línea]. Available: <https://grupoelectrostore.com/shop/motores/servomotores/servomotor-hitec-hs-311-37-kg-cm-180/>. [Último acceso: 15 Noviembre 2021].
- [9] Dfrobot, «DFPlayer- A Mini MP3 Player,» 2021. [En línea]. Available: <https://www.dfrobot.com/product-1121.html>. [Último acceso: 15 Noviembre 2021].

- [10] Tostatronic, «Teclado Matricial 1X4 de Membrana,» 2021. [En línea]. Available: [https://tostatronic.com/store/teclados-y-botones-pulsadores-keypads-y-push-buttons/1750-test\\_product.html](https://tostatronic.com/store/teclados-y-botones-pulsadores-keypads-y-push-buttons/1750-test_product.html). [Último acceso: 17 Noviembre 2021].
- [11] MakerElectronico, «Teclado membrana 1x4 matricial,» 2021. [En línea]. Available: <https://www.makelectronico.com/producto/teclado-membrana-1x4-matricial/>. [Último acceso: 17 Noviembre 2021].
- [12] D. Pérez, « Lecturas en ciencias de computación Sistemas Embebidos y Sistemas Operativos Embebidos,» International Standard Serial Number, Marzo 2009.
- [13] C. Arduino, «Arduino Nano,» Store Arduino CC, [En línea]. Available: <https://store-usa.arduino.cc/products/arduino-nano/>. [Último acceso: 24 Noviembre 2021].
- [14] H. Espitia y J. Sofrony, «Algoritmo para planear trayectorias de robots móviles, empleando campos potenciales y enjambres de partículas activas brownianas,» Ciencia e ingeniería neogranadina, vol. 22, nº 2, pp. 75-78, Diciembre 2012.
- [15] D. Tibaduiza, J. Barrero y R. Martínez, «Planeamiento de caminos y trayectorias mediante algoritmos genéticos y campos de potencial para un robot móvil,» Innovación e Investigación en Ingeniería, vol. 8, nº 2, pp. 185-186, 2011.
- [16] Apple, «¿Por qué iones de litio?,» 2018. [En línea]. Available: <https://www.apple.com/la/batteries/why-lithium-ion/>. [Último acceso: 28 Noviembre 2021].
- [17] SolarPlak, «Cómo calcular la capacidad de las baterías,» 2021. [En línea]. Available: <https://solarplak.es/energia/como-calcular-la-capacidad-de-las-baterias/#:~:text=Bien%2C%20en%20ese%20caso%20para,T%E2%80%9D%20al%20tiempo%20en%20hora..> [Último acceso: 30 Noviembre 2021].
- [18] Sourcemore, «LG ABD1 18650 3.7V 3000mAh LGABD11865 Rechargeable Li-Ion Battery 2pcs,» 2021. [En línea]. Available: <https://www.sourcemore.com/lg-abd1-18650-3-7v-3000mah-lgabd11865-rechargeable-li-ion-battery.html>. [Último acceso: 04 Diciembre 2021].
- [19] Addicore, «TP4056 / TC4056A Lithium Battery Charger and Protection Module,» 2016. [En línea]. Available: <https://www.addicore.com/TP4056-Charger-and-Protection-Module-p/ad310.htm>. [Último acceso: 07 Diciembre 2021].

- [20] U. Electronics, «MT3608 Elevador de Voltaje Boost Step Up 6W 2A,» 2021. [En línea]. Available: <https://uelectronics.com/producto/modulo-regulador-mt3608-step-up-5-28v-2a/>. [Último acceso: 10 Diciembre 2021].
- [21] N. Sotomayor, D. Chavez, V. Taramuel, O. Camacho y M. Sarzosa, «An approach for Helping the Mobility of People with Visual Impairment: Design and Implementation,» *Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação*, nº 23, pp. 194-205, 2019.
- [22] A. Rosales, G. Scaglia, V. Mut y F. di Sciascio, «Navegación de Robots Móviles en Entornos no Estructurados utilizando Álgebra Lineal,» *Revista Iberoamericana de Automática e Información Industrial*, vol. 6, nº 2, pp. 80-84, 2009.

## **5 ANEXOS**

ANEXO I. Manual de usuario

ANEXO II. Esquemático y PCB de la placa diseñada

ANEXO III. Planos de diseño de las piezas 3D del equipo

ANEXO IV. Encuesta

# ANEXO I

## MANUAL DE USUARIO

### I.1. INTRODUCCIÓN

Para las personas invidentes o con problemas de visión el movilizarse les resulta todo un reto debido a los peligros y dificultades que se presentan a lo largo de sus trayectos cotidianos. Con el fin de ayudarlas se creó el equipo como GCtech-U, dado que es un bastón guía (GC) que cuenta con tecnología (tech) de ultrasonido (U) para la detección de los obstáculos; el cual dispone de dos modos de funcionamiento, para ambos modos se realiza la generación de una ruta libre de obstáculos, en el caso del primer modo es el uso en interiores es decir lugares donde los objetos se encuentren a distancias pequeñas por ejemplo en un salón de clase, auditorio, etc. el segundo modo de uso es para exteriores lugares amplios como las calles de la ciudad. El dispositivo consta de un sistema embebido, el mismo que es el encargado de realizar toda la lógica de control. En la Figura I.1 se puede apreciar el esquema del bastón guía con una vista frontal y lateral.



**Figura I.1.** Vista frontal y lateral del equipo

### I.1.1 OBJETIVO

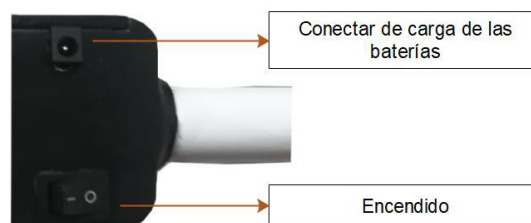
El objetivo del presente manual de usuario es proporcionar la información necesaria a la persona de manera que esta sepa cómo utilizar el dispositivo, logrando así evitar algún tipo de daño; y mejorando la experiencia del usuario.

## I.2. CARACTERÍSTICAS

El sistema es un bastón guía para ayuda en la movilidad de personas no videntes, este cuenta con una salida de audio (audifono), botones para seleccionar los modos de uso y dirección de giro, un interruptor para el encendido del equipo y un pin de carga para las baterías.

### I.2.1 CARGA Y ENCENDIDO DEL SISTEMA

En la parte posterior del mango del bastón se encuentra con un interruptor de encendido del sistema y un conector para la carga de las baterías, como se puede apreciar en la Figura I.2:



**Figura I.2.** Conector para el cargador y control de encendido.

El bastón cuenta con dos baterías de ion de litio recargables, para su carga se tiene un conector Jack hembra de 5.5 al cual debe ser conectado un cargador de 5 VDC, mientras que para el encendido del sistema se cuenta con un interruptor unipolar de dos vías.

### I.2.2. CIRCUITO DE MANDO

Las funciones de los botones que conforman el circuito de mando se indican en la Figura I.3:



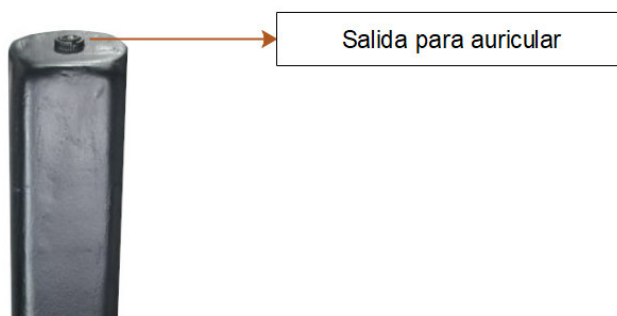
**Figura I.3.** Funciones de los botones.



Los botones 1 y 2 son los encargados de permitir al usuario seleccionar el modo de uso del bastón ya sea para espacios interiores o exteriores, mientras que, los botones 3 y 4 permiten al usuario seleccionar la dirección de giro cuando se detecta únicamente un objeto en la zona frontal; estos controles se encuentran en la parte superior en el mango del bastón.

### I.2.3. SALIDA DE AUDIO

El sistema cuenta con una salida para audífono que se muestra en la Figura I.4:



**Figura I.4.** Conector del auricular.

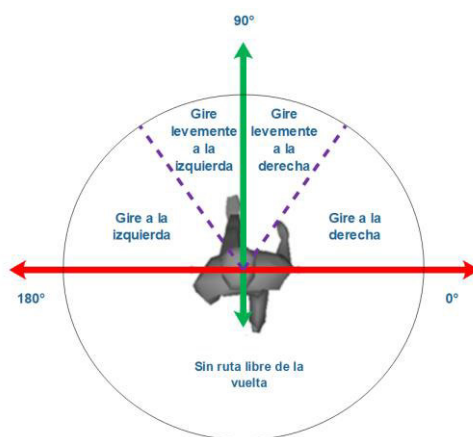
Esta salida se encuentra en la parte superior del mango del bastón, y consiste en un Jack hembra de 3.5mm. En Tabla I.1. se puede observar los audios que reproducirá el dispositivo.

## I.2. GUÍA PARA USAR EL DISPOSITIVO

Una vez encendido el sistema se reproduce un audio de presentación y el usuario debe seleccionar mediante los botones el modo de uso, posteriormente se reproduce un audio de indicando el modo de uso seleccionado y al instante el sistema se encontrará listo para funcionar e indicar los diferentes obstáculos que puedan presentarse en su trayectoria. Si se desea cambiar el modo de uso, el usuario puede realizar una nueva selección por medio de los botones en cualquier momento.

En caso de que se detecte algún obstáculo, el sistema proporcionará un mensaje de audio indicando al usuario la dirección en la que se detectó el objeto y se informará la dirección para evadirlo; y en caso de que se detecte solo un objeto en la zona frontal de igual manera se dará a conocer al usuario esta detección por medio de un mensaje de audio y se indicará que puede mediante los botones seleccionar entre las dos direcciones libres (derecha o izquierda) para evadir el obstáculo; como último caso al encontrarse con una detección en las tres zonas (derecha, izquierda y frontal) se informará al usuario que deber dar la vuelta ya que ninguna dirección se encuentra libre.

Para ayudar a la comprensión de los mensajes que se reproducen en torno a la detección de un obstáculo, en el esquema de la Figura I.5. se puede observar las direcciones de evasión que existen, el primer caso es una detección en lado derecho en donde las posibles direcciones de evasión son aquellas que se encuentran en el rango de 90° a 180°, en el segundo caso de detección al lado izquierdo las rutas de evasión que existen son las que se encuentran en el rango de 0° a 90°; el tercer caso es una detección frontal aquí se pueden dar las rutas que se encuentran entre 0° a 180°; y el cuarto caso es una detección en todos los sentidos donde no existe una ruta libre de obstáculos se indica a la persona que debe dar la vuelta.



**Figura I.5.** Direcciones de evasión.

Los archivos MP3 que se encuentran almacenados en la tarjeta microSD se pueden apreciar en la Tabla I.1.

**Tabla I.1.** Mensajes grabados

| Nombre | Mensaje  |
|--------|--|
| 0001   | Sistema encendido seleccione el modo de uso interior o exterior          |
| 0002   | Modo de uso interior seleccionado  |
| 0003   | Modo de uso exterior seleccionado  |
| 0004   | Objeto detectado a la izquierda, gire a la derecha                       |
| 0005   | Objeto detectado a la izquierda, gire levemente a la derecha             |
| 0006   | Objeto detectado a la derecha, gire a la izquierda                       |
| 0007   | Objeto detectado a la derecha, gire levemente a la izquierda             |
| 0008   | Objeto detectado al frente y a la izquierda, gire a la derecha           |
| 0009   | Objeto detectado al frente y a la izquierda, gire levemente a la derecha |

|      |   |
|------|---|
| 0010 | Objeto detectado al frente y a la derecha, gire a la izquierda                    |
| 0011 | Objeto detectado al frente y a la derecha, gire levemente a la izquierda          |
| 0012 | Objeto detectado en la zona frontal inferior, seleccione giro derecha o izquierda |
| 0013 | Objeto detectado en la zona frontal superior, seleccione giro derecha o izquierda |
| 0014 | Objeto detectado en todas las direcciones, no hay una ruta libre de la vuelta     |
| 0015 | Giro a la derecha seleccionado  |
| 0016 | Giro a la izquierda seleccionado  |

### **I.3. RECOMENDACIONES DE USO**

Para tener una mejor experiencia al usar el dispositivo es importante tener en cuenta las siguientes recomendaciones:

- Realizar la carga de las baterías antes del uso del equipo, ya que si estas llegan a descargarse puede producir daños en el equipo.
- Tener en cuenta que el equipo no deber ser utilizado en ambientes con agua y evitar los golpes.
- Conectar el auricular antes de encender el equipo, de manera que se pueda escuchar el audio inicial con las indicaciones para seleccionar el modo de uso y verificar que el equipo encendió sin problemas.
- Apagar el equipo luego de uso para evitar un consumo de batería innecesario.

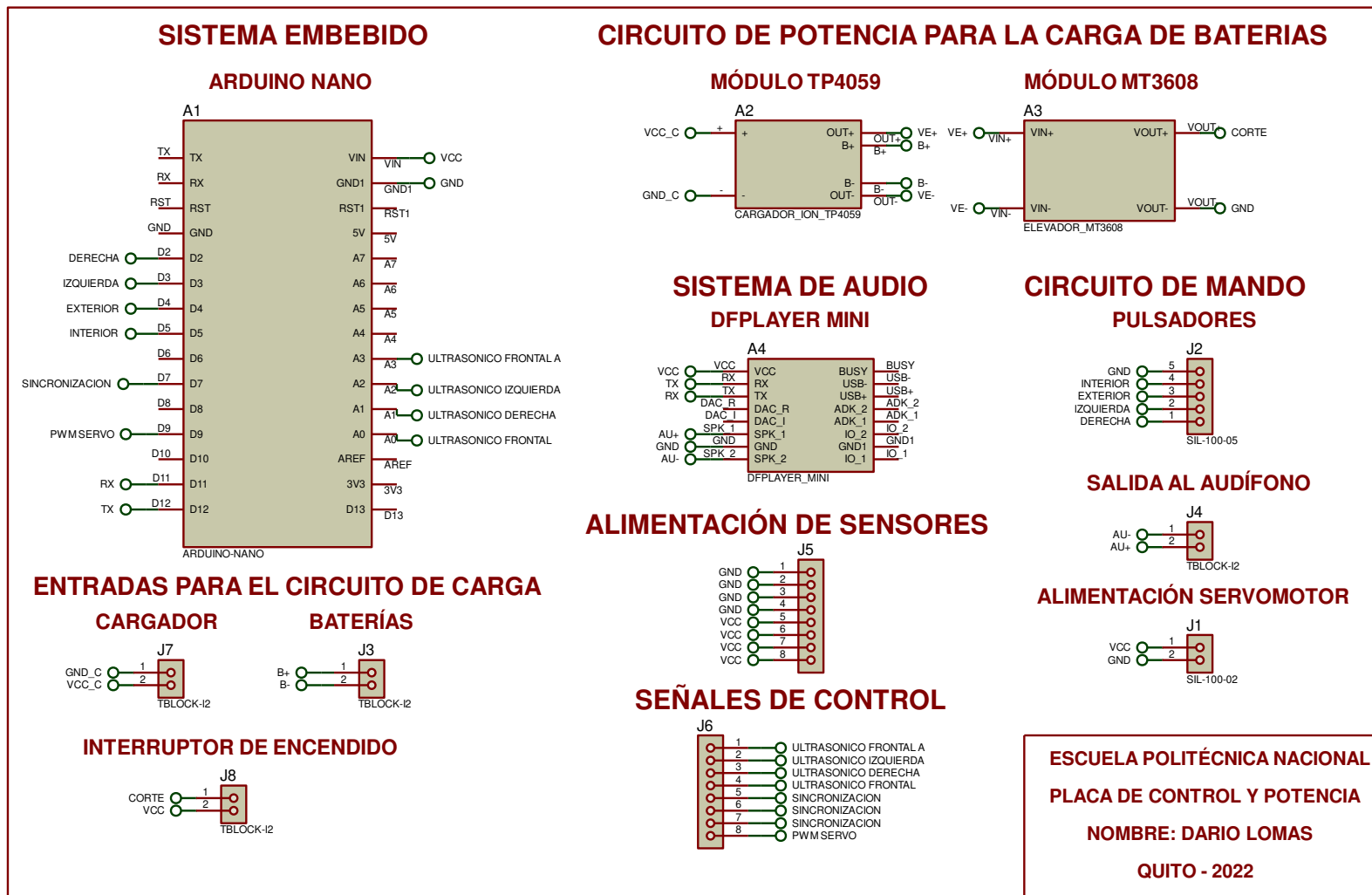


Figura II.1. Esquemático de la placa

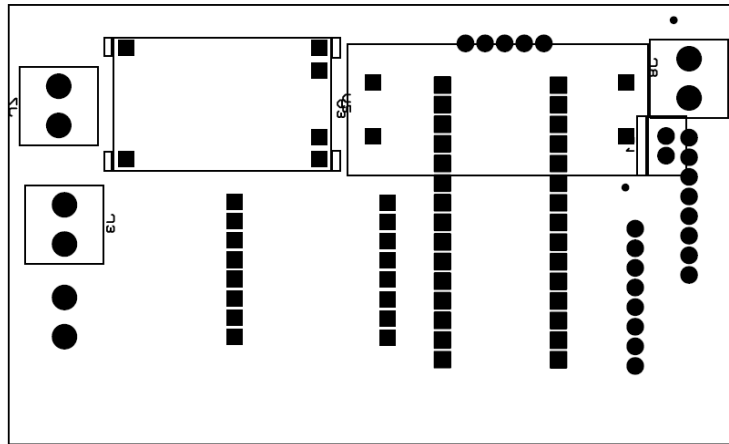


Figura II.2. Distribución de los elementos cara inferior

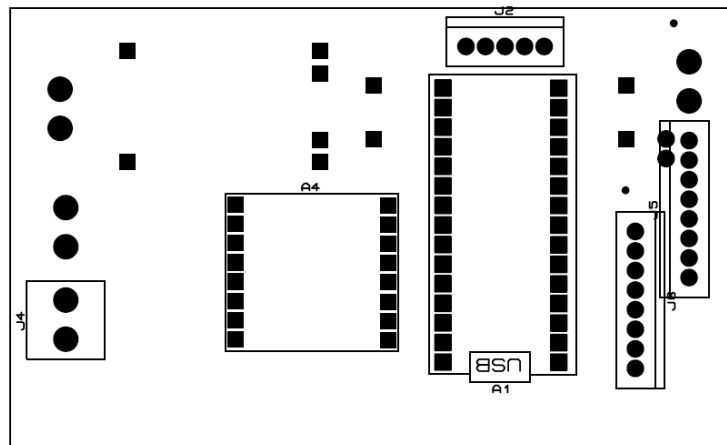


Figura II.3. Distribución de los elementos cara superior

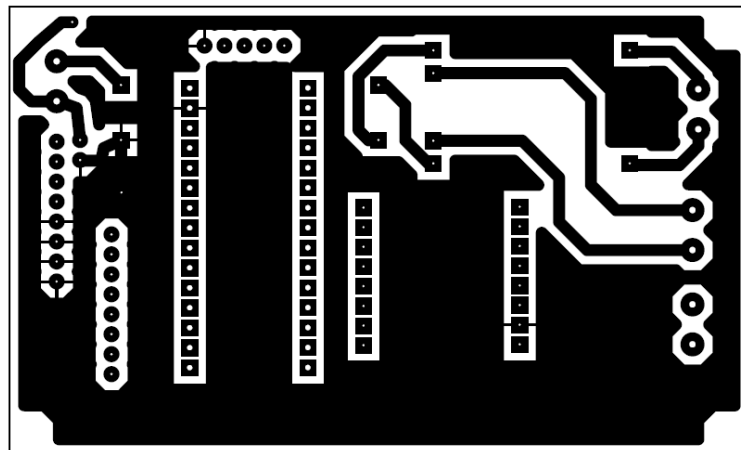
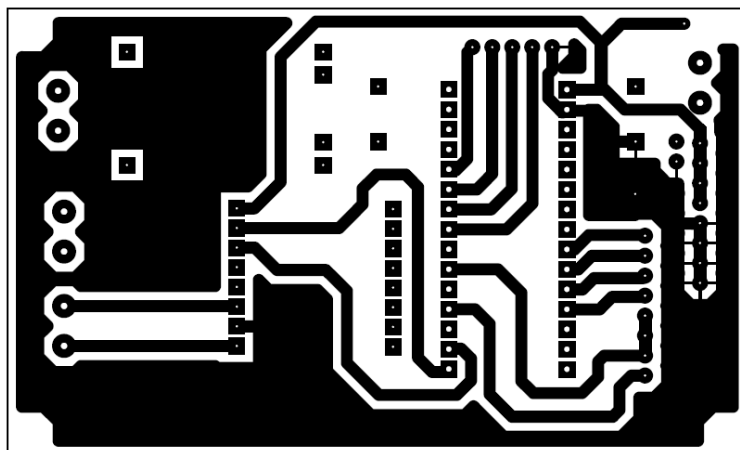


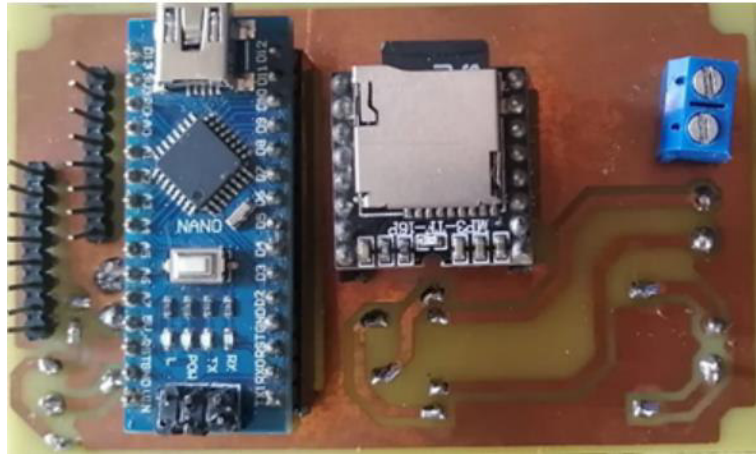
Figura II.4. Circuito impreso cara superior



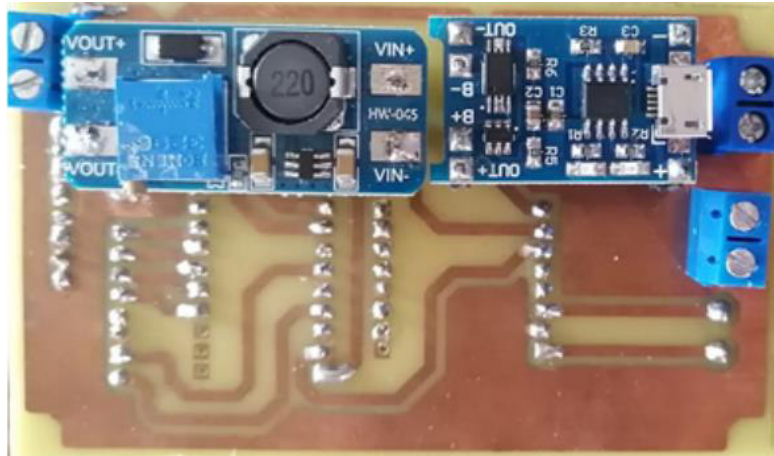
**Figura II.5.** Circuito impreso cara superior

**Tabla II.1.** Lista de elementos de la placa

| Elemento | Componente           | Descripción   |
|----------|----------------------|---|
| A1       | Arduino Nano         | Sistema embebido  |
| A2       | Módulo TP4056        | Módulo necesario para la carga de baterías de ion de litio  |
| A3       | Módulo MT3608        | Módulo necesario para elevar el voltaje   |
| A4       | Módulo DFPlayer Mini | Módulo para la reproducción de audios MP3   |
| J1       | SIL 2 pines          | Alimentación del servomotor   |
| J2       | SIL 5 pines          | Entrada para el teclado matricial de membrana 1x4   |
| J3       | TBLOCK 2 pines       | Entrada para las baterías   |
| J4       | TBLOCK 2 pines       | Salida para el auricular  |
| J5       | SIL 8 pines          | Alimentación de los sensores  |
| J6       | SIL 8 pines          | Entrada de las señales analógicas de los sensores, señal PWM del servomotor y señal de sincronización |
| J7       | TBLOCK 2 pines       | Entrada para la fuente de alimentación de la carga de baterías  |
| J8       | TBLOCK 2 pines       | Entrada para el interruptor de encendido  |



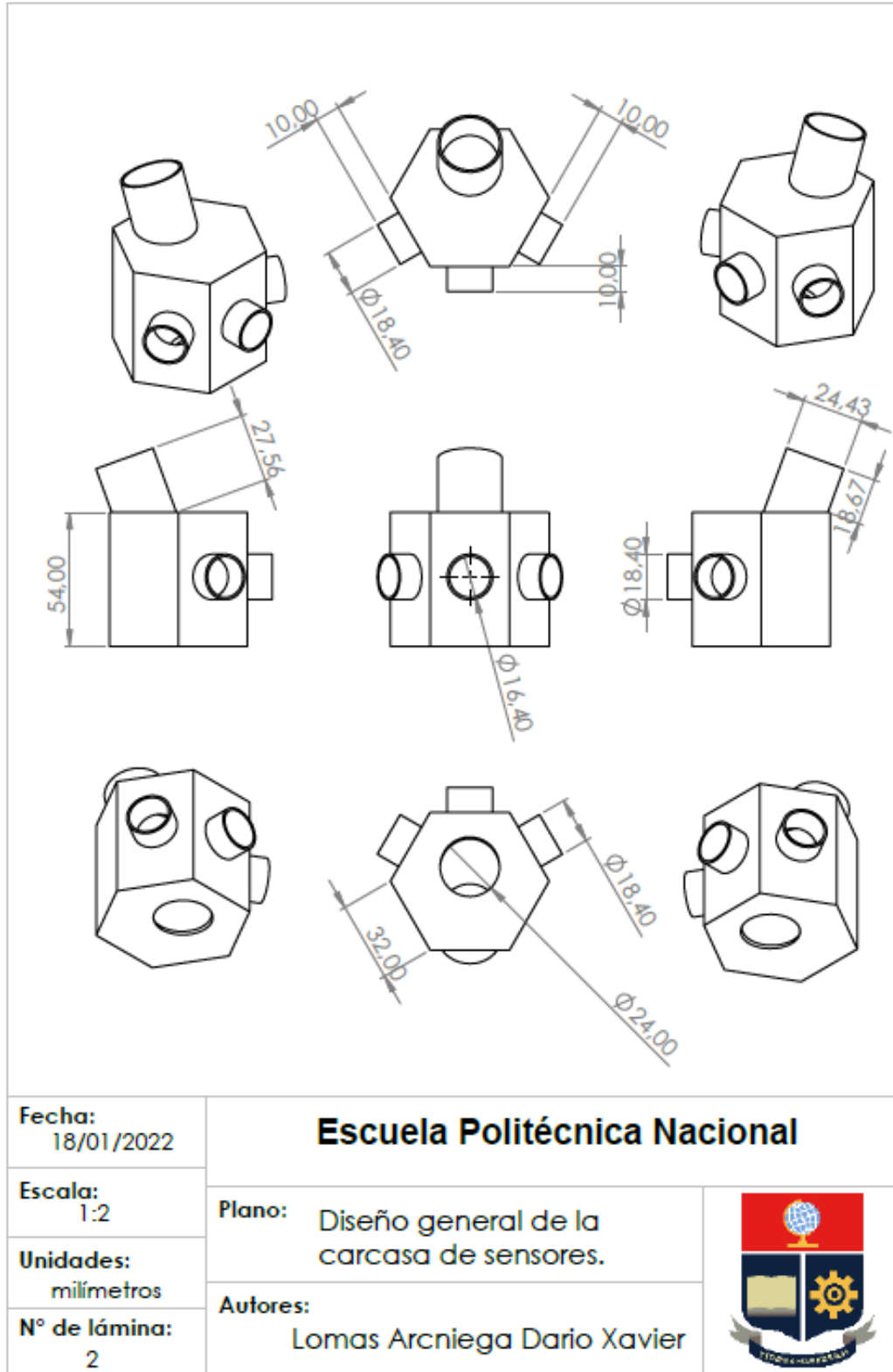
**Figura II.6.** Placa cara superior



**Figura II.7.** Placa cara inferior

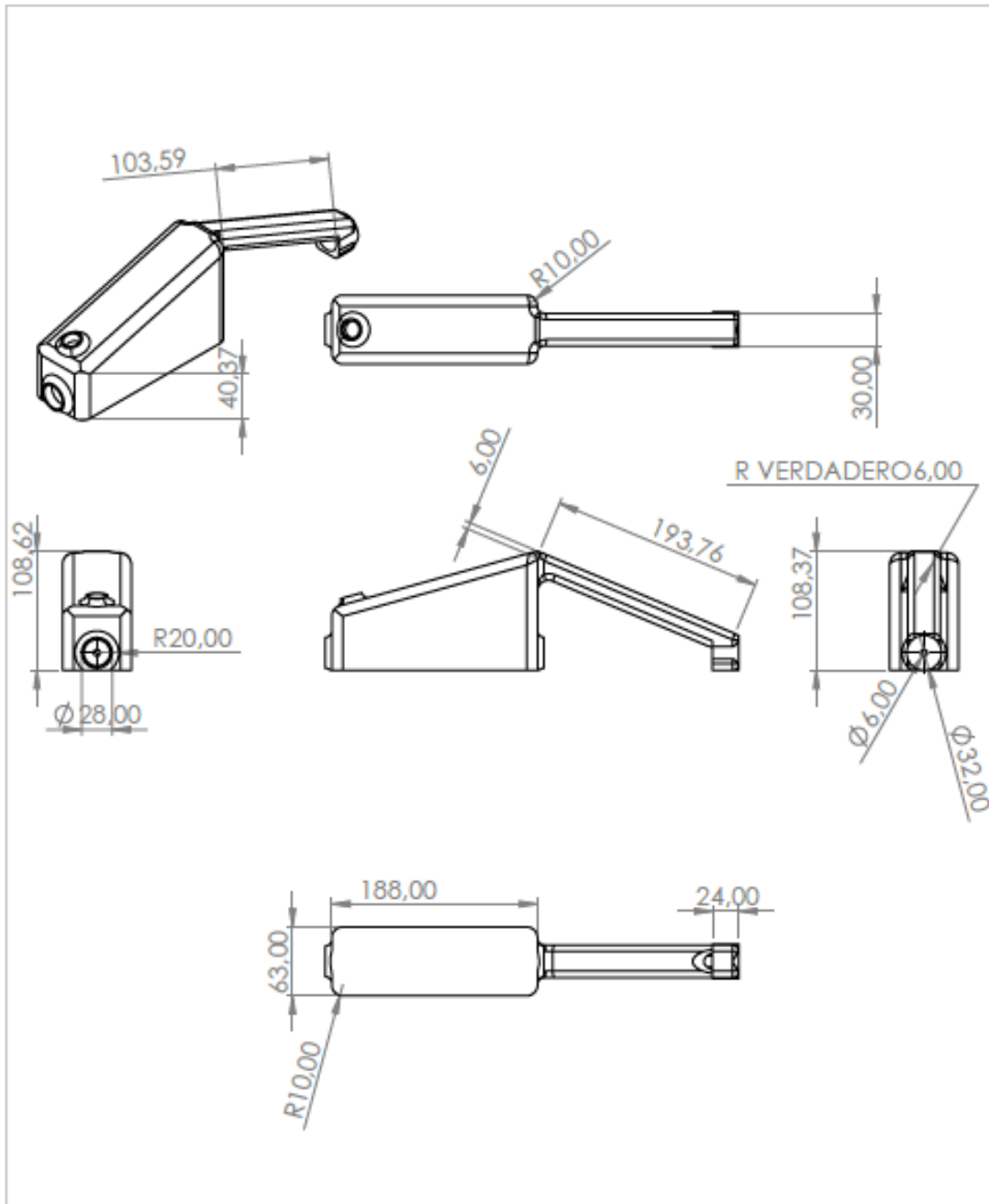
## ANEXO III

### PLANOS DE DISEÑO DE LAS PIEZAS 3D DEL EQUIPO



**Figura III.1.** Diseño de la pieza para el montaje de los sensores





|                         |                                     |  |
|-------------------------|-------------------------------------|--|
| Fecha:<br>18/01/2022    | <b>Escuela Politécnica Nacional</b> |  |
| Escala:<br>1:5          | Plano: Diseño general del Mango     |  |
| Unidades:<br>milímetros | Autor:                              |  |
| N° de lámina:<br>1      | Lomas Arciniega Darío Xavier        |  |

**Figura III.2.** Diseño del mango del bastón

# ANEXO IV

## ENCUESTA

### Sistema para ayuda en la movilidad de personas invidentes “GCtech-U”

1. Indique su edad:

\_\_\_\_\_

2. ¿Ha escuchado acerca de sistemas electrónicos que ayuden a la movilidad de personas invidentes?

Si

No

3. ¿Ha utilizado un sistema electrónico que ayude a la movilidad de personas invidentes?

Si

No

4. ¿Fueron claros y entendibles los mensajes del equipo?

Si

No

5. ¿Cómo le pareció el uso del equipo?

1

2

3

4

5

Fácil

Difícil

6. ¿La detección de los obstáculos fue oportuna?

1

2

3

4

5

Mala

Excelente

7. ¿La generación de la ruta ayudó a evadir el obstáculo que se encontraba presente?

1

2

3

4

5

Deficiente

Eficiente

8. ¿Al utilizar el equipo se sintió cómodo?

1      2      3      4      5

Incómodo      Muy cómodo

9. ¿El rendimiento general del equipo le pareció?

1      2      3      4      5

Malo      Muy bueno

10. Recomendaciones:

---

---

---