



# **DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE ACCESORIO SENSORIAL POR ULTRASONIDO PARA BASTONES GUÍA**

**YILMER EDUARDO VERANO TELLEZ**

Universidad Antonio Nariño  
Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica Ingeniería Electrónica  
Villavicencio, Colombia

2020

# **DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE ACCESORIO SENSORIAL POR ULTRASONIDO PARA BASTONES GUÍA**

**YILMER EDUARDO VERANO TELLEZ**

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:  
**Ingeniero Electrónico**

Director:

ING. WILSON ANDRES HERNANDEZ PhD.

Universidad Antonio Nariño

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica

Villavicencio, Colombia

2020

## **Agradecimientos**

Primeramente, le agradezco a Dios y mi madre por su apoyo por su paciencia y motivación en este ciclo de formación. Gracias porque creyeron en mí cuando decidí empezar este camino que el día de hoy vemos frutos al estar culminando esta etapa tan importante para mí.

Al profesor Wilson Andrés Hernández Baquero, director de proyecto de grado, quien me brindó su asesoría durante el desarrollo y ejecución del presente trabajo planteado. Así mismo al ingeniero Jhon Urbina, a mis amigos, compañeros y demás ingenieros que de una u otra forma estuvieron e hicieron parte.

También a cada uno de nuestros compañeros, que durante el transcurso de la carrera compartimos muchas experiencias y con los cuales superamos trabajos y dificultades que se presentaron.

# Resumen

Según datos de la organización mundial de la salud (OMS), hay aproximadamente 314 millones de personas con discapacidad visual, de las cuales 45 millones son ciegas y 269 millones presentan baja visión. A nivel nacional según datos registrados por el observatorio social del INCI existen 1.143.992 casos de personas con algún grado de discapacidad visual, un total del 43,5 % de los discapacitados del país. Por otra parte, se presentan datos de acceso a la educación superior; en donde el Sistema Nacional de Información de la Educación Superior – (SNIES) dice que se encuentran matriculados en programas técnicos, de pregrado y posgrado 518 estudiantes con discapacidad visual en el año 2012, un 9% menos que los matriculados en el año 2011 (Mancera Salinas, 2016). Actualmente existen dispositivos para la localización de obstáculos, los cuales son inasequibles debido a que la mayoría de la población con discapacidad visual pertenecen a un estrato socioeconómico medio o bajo un bastón que puede referenciar un costo elevado es el bastón EGARA con un costo de 320 Euros (VSL Accesibilidad, 2018).

En esta era de modernización, este trabajo propone la construcción de un prototipo de accesorio inteligente para personas invidentes, ligero, con bajo costo y fácil de manipular. Dentro del trabajo se diseñó, modelado y construcción del prototipo de dicho accesorio. Este prototipo cumple con funciones específicas como la de alertar a través de sonidos a la persona invidente cuando hay elementos u obstáculos suspendidos a altura de la cabeza y el cuerpo, que puedan generar alguna lesión.

El módulo sensorial cuenta con un sistema de ultrasonido compuesto de tres sensores HC-SR04, los cuales se conectarán por medio de una tarjeta de desarrollo denominada Raspberry Pi Zero, programada con un algoritmo basado en las fórmulas del principio tiempo de vuelo, que previamente ha sido diseñado. La tarjeta se encarga de interpretar los datos, realizar cálculos y ejecutar las alarmas por medio de un *buzzer* y motor para ser percibidas por el operario.

Palabras clave: (ultrasonido, módulo sensorial, algoritmo, Buzzer, bastón blanco).

# Abstract

According to data from the World Health Organization (WHO), there are approximately 285 million people with visual disabilities, of which 39 million are blind and 246 million have low vision. Approximately 90% of the global burden of visual impairment is concentrated in developing countries. In Colombia there are approximately 181,945 people with visual impairment, which represents 13% of the total disabled rate. [1]

There are currently devices for locating obstacles, which are unavailable because the majority of the population with visual impairment belong to a medium or low socioeconomic stratum.

At this stage of modernization, the construction of a smart accessory prototype for blind people is proposed, lightweight, inexpensive and easy to handle. Within the work the design, modeling and construction of the prototype of said accessory was raised. This prototype will fulfill specific functions such as alerting the blind person of elements or obstacles at the height of the head and body, which may cause some injury

The sensory module will have an ultrasound system composed of three HC-SR04 sensors which will be connected by means of a development card called raspberry pi zero, programmed with an algorithm of previously designed flight time and difference formulas. Which is responsible for interpreting the data, perform calculations and execute communication via Bluetooth with a wireless headset with the operator.

Keywords: (ultrasound, sensor y modulus, algorithm, Buzzer, white stick)

# Contenido

	Pág.
<b>Resumen</b>	<b>IV</b>
<b>Lista de figuras</b>	<b>VIII</b>
<b>Lista de tablas</b>	<b>IX</b>
<b>Introducción</b>	<b>1</b>
Objetivos	12
Objetivo general	12
Objetivos específicos	12
<b>1. Marco teórico</b>	<b>13</b>
1.1 Bastón blanco	13
1.1.1 Funciones	13
1.1.2 Tipos de bastones y guía de colores	14
1.1.3 Características	15
1.1.4 Técnicas del bastón	16
1.2 Ultrasonido	18
1.2.1 Tiempo de vuelo	19
1.2.2 problemas de los sensores por ultrasonido	20
1.3 Modulación por ancho de pulso (PWM)	23
1.4 Bluetooth	25
1.5 Tarjetas de procesamiento	26
1.6 Python	26
1.7 Estadística básica de datos	27
1.7.1 Media	27
1.7.2 Desviación típica	27
1.7.3 Recta de calibración	27
<b>2. Metodología</b>	<b>28</b>
2.1 Fase 1: Diseño de base de datos parametrizados para la caracterización de sensores HC-SR04	28
2.1.1 Experimento 1: Análisis de Datos	28
2.2 Fase 2: Estructuración y Diseño del algoritmo que se usara para la percepción del módulo sensorial a través de análisis de datos.	30
2.2.1 Experimento 2: pruebas de medición y alarma sin montaje estructural	32
2.3 Fase 3: Diseño e implementación de la estructura	33
<b>3. Resultados</b>	<b>36</b>
3.1 Experimento 1	36
3.2 Experimento 2	40

<b>4.</b>	<b>Conclusiones y recomendaciones</b>	<b>41</b>
4.1	Conclusiones	41
4.2	Recomendaciones	42
4.3	Sección de costos	43
<b>A.</b>	<b>ANEXO: Sección de partes usados en el desarrollo del proyecto</b>	<b>44</b>
<b>B.</b>	<b>ANEXO: Seccionado del módulo ensamblado con un bastón casero</b>	<b>49</b>
<b>C.</b>	<b>ANEXO: Instalación de los controladores xrdp, vlc, bluez</b>	<b>50</b>
<b>D.</b>	<b>ANEXO: Algoritmo</b>	<b>50</b>
	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>52</b>

# LISTA DE FIGURAS

<b>Figura1-1:</b> Bastón blanco plegable	13
<b>Figura 1-2:</b> Bastón plegable	14
<b>Figura 1-3:</b> Bastón rígido	14
<b>Figura 1-4:</b> Guía de colores	15
<b>Figura 1-5:</b> Postura de la Técnica Hoover	16
<b>Figura 1-6:</b> Técnica de Hoover	17
<b>Figura 1-7:</b> Técnica de deslizamiento	17
<b>Figura 1-8:</b> Técnica del toque	18
<b>Figura 1-9:</b> Sistema de ultrasonido	19
<b>Figura 1-10:</b> Frecuencias audibles	19
<b>Figura 1-11:</b> Ondas afectadas por factores ambientales.	20
<b>Figura 1-12:</b> Reflexión del sonido	21
<b>Figura 1-13:</b> Transductor emisor y receptor	21
<b>Figura 1-14:</b> reflexiones múltiples	22
<b>Figura 1-15:</b> Efecto crosstalk	23
<b>Figura 1-16:</b> Ciclo de trabajo 25%	23
<b>Figura 1-17:</b> Ciclo de trabajo 50%	24
<b>Figura 1-18:</b> Ciclo de trabajo 75%	24
<b>Figura 2-1:</b> Plantilla de pruebas	29
<b>Figura 2 2:</b> Sistema de barricada	29
<b>Figura 2-3:</b> Diagrama de flujo del algoritmo.	31
<b>Figura 2-4:</b> pruebas de las alarmas con cinta métrica.	33
<b>Figura 2-5:</b> bastón con modulo ensamblado	34
<b>Figura 2-6:</b> Estructura y modelamiento del módulo	35
<b>Figura 3-1:</b> Recta de calibración de las medidas con la caja B.	36
<b>Figura 3-2:</b> Recta de calibración para las medidas con el obstáculo (Tubo 1.27cm)	37
<b>Figura 3-3:</b> Desviación Típica de las medidas del Tubo de diámetro 1,27 cm	37
<b>Figura 3-4:</b> Desviación Típica para el conjunto de muestras tomadas (tubo 5,08cm).	38
<b>Figura 3-5:</b> Desviación Típica para el conjunto de muestras tomadas en la Caja B de cara 25x25	38
<b>Figura 3-6:</b> Medidas con baja y buena precisión	39
<b>Figura 3-7:</b> Desviación estándar de 3 a 400 cm	40
<b>Figura A-1:</b> Sección principal	44
<b>Figura A-2:</b> Unión metálica	44
<b>Figura A-3:</b> Mango del bastón	44
<b>Figura A-4:</b> Soporte de sensores	45
<b>Figura A-5:</b> Soporte del bastón de dos sensores	45
<b>Figura A-7:</b> Mango del bastón con soporte	46
<b>Figura A-6:</b> Sensores y soportes	46
<b>Figura A-8:</b> Diagrama de bastón ensamblado	46
<b>Figura A-9:</b> Modelado 3D HC-SR04	46
<b>Figura A-10:</b> Batería del sistema.	47
<b>Figura A-11:</b> Ensamble del bastón casero	47
<b>Figura A-12:</b> Incorporación del mango prototipo	47
<b>Figura A-13:</b> Primer prototipo de soporte	48



**Figura B-1:** Bastón casero con modulo sensorial instalado48

**Figura B-2:** Soportes diseñados sección 1

49

**Figura B-3:** Soportes diseñados sección 2

49

# LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1-1:</b> Tarjetas de procesamiento y sus características	26
<b>Tabla 2-1:</b> Posicionamiento y cantidad de partes generadoras del peso del módulo	36
<b>Tabla 4-1:</b> Valorización y costos de los materiales y mano de obra usadas en el Proyecto	43

# Introducción

En la actualidad los sistemas sensoriales que han surgido, son una alternativa para mejorar la calidad de vida de los discapacitados, consecuentemente resulta necesario integrar diversas áreas como los sistemas de control, la computación, la ingeniería mecánica y otros. Unos de los principios que cabe resaltar es el uso del ultrasonido en algunos de los dispositivos que se desarrollan, poniendo en contexto la implementación de sistemas sensoriales que sean usados como prototipos y ayudas de las personas con discapacidad visual. Los prototipos tienen el objetivo de realizar la detección temprana de obstáculos y generar alertas mediante sonidos o vibraciones. Algunas de las lecturas principales que se estudiaron y diferentes proyectos previos que relacionan los aspectos necesarios para la implementación y desarrollo de dicho Sistema, resaltan a continuación:

En el área de la bioingeniería se tiene como referencia el proyecto (Lizárraga González, 2018) en donde se expone la realización de un bastón electrónico destinado a personas invidentes, fabricado con materiales de fácil adquisición en el mercado, o en los diversos establecimientos para venta de componentes electrónicos. Este bastón permitió calcular un aumento en confianza por la persona discapacitada y demostró que el 20,14% de 293 personas se sintieron más cómodas al mejorar la movilidad cuando el bastón detectaba los objetos próximos a encontrarse. También se realizaron entrevistas a personas con discapacidad visual para hacer una comparación del desplazamiento con el bastón blanco, y con el bastón Electrónico. Luego por medio de encuestas se calibraron los sensores y el ajuste del bastón para mejorar el funcionamiento en los sistemas de alarma; por otra parte (Martínez Núñez, 2017) diseñaron un bastón inteligente para la movilidad que generó un aumento en la autonomía y seguridad al desplazarse de las personas con ceguera. Extrayendo de aquí el tipo de metodología que se siguió para la construcción del módulo sensorial y luego realizar ensayos de su funcionamiento, permitiendo de esta forma detallar posibles mejoras que se pudieran generar en el dispositivo a pesar de sus piezas económicas.

Adicionalmente (Ayala Cruz, 2011). En su investigación evaluó el uso de un sistema para la detección de obstáculos, que afectan la movilidad "capacidad para desplazarse de un lugar a otro de forma independiente, segura y eficaz". En donde se diseñó un dispositivo

que mide la distancia de los obstáculos, ubicado en el mango del Bastón Blanco a una distancia considerable del dedo índice y de esta forma no modificó su uso normal. En el caso del sensor de ultrasonido se colocó de modo que la señal siga una trayectoria perpendicular respecto al bastón. El dispositivo posee una alerta sonora que se activa al estar a una distancia de 75 cm del obstáculo, también se incorporaron alertas luminosas para advertir en las noches a las personas del entorno.

La técnica que permite adquirir, examinar y procesar datos en la actualidad a través de imágenes digitales se denomina la visión artificial. (Omar Moromenacho, 2019) Trabajo en el diseño de un robot llamado lazarrillo, que permitía por medio de este método asistir el desplazamiento de las personas invidentes en un entorno controlado. Este robot cuenta con una tarjeta de procesamiento denominada Raspberry Pi 3 para el control del sistema y la comunicación inalámbrica vía Bluetooth, además de un Intel Neural Compute Stick 2 (INTEL NCS2) que le posibilitaba al dispositivo robótico recibir y determinar el tipo de imagen mediante una cámara Web. La cual tenía como orden tomar fotos del medio en donde se movilizaba y por consiguiente seguir una línea roja para poder guiar a la persona invidente. Por otra parte podemos apreciar (Adrianzen Brocq, 2019) presentan un sistema portable de proximidad para invidentes que permite el uso de ambas manos, utilizando sensores de distancia por ultrasonido y un sistema de aviso por vibración, el cual permite a las personas invidentes alertar de los obstáculos que existan en su desplazamiento, realizando simulaciones y pruebas de funcionamiento del sistema electrónico cuya implementación será en un gorro visera.

También se puede resaltar la integración de diferentes tecnologías que tienen como objetivo aportar en forma de ayuda a las personas que presenten discapacidad visual. Un ejemplo es el proyecto de (Espinoza Moncayo, 2015) en el cual se diseña un prototipo de gafas para personas no videntes, en donde se incorporan componentes de tipo electrónico como lo son: módulos Bluetooth, sensores de ultrasonido y microcontroladores. Permitiéndole tener la capacidad de detectar obstáculos y a través de un dispositivo móvil generar una alerta que advierte una posible colisión del objeto con la persona discapacitada, adicionalmente el sistema cuenta con la opción de permitir al usuario generar un alertar a una persona externa por medio de mensajería móvil. A continuación

en este proyecto se busca diseñar un módulo sensorial que ayude a mitigar algunas falencias que presenta el bastón blanco tradicional, y a su vez facilitar la movilización de personas con dificultades visuales o con ceguera. Basado en la investigación de (Cabezas Gagñay, 2017) El módulo sensorial está diseñado de tal manera que posee la capacidad de detectar objetos a partir de un rango de 2 a 200 centímetros, todo esto respecto a la posición de un conjunto de sensores denominado sistemas por ultrasonido, el cual permite localizar y determinar la distancia de objetos a través de la técnica de tiempo de vuelo. Se plantea de objetivo evitar golpes a la altura dorsal y de la cabeza, como también que el usuario tenga la posibilidad de evasión de obstáculos que se encuentren de forma paralela a los sensores del módulo ensamblado al bastón. Para ello se integraron sistemas de advertencia y alarma de dos clases: una advertencia por vibración, seguidamente de una alarma sonora transmitida por conexión bluetooth a unos auriculares AirDogs.

Se espero de una segunda manera que el proyecto presentara un costo lo más bajo posible y que pueda ser asequible con aun salario mínimo vigente en Colombia \$877.802 (Mintrabajo, 2019).

De alguna manera y encerrando todos los problemas que se agrupan para resolver, se da la justificación de realizar este proyecto. Buscando una mejora en la confianza de las personas que sufren de ceguera por medio del uso de materiales electrónicos de fácil adquisición comercial. Con el fin de obtener independencia y fluidez en la persona invidente cuando se usa el bastón tradicional (Mora gerrero, 2017).

Bajo estos parámetros el dispositivo diseñado no pretender reemplazar el bastón blanco que es utilizado por las personas con discapacidad visual, por ende, quiere brindar un apoyo al bastón que estas personas utilizan.

En la siguiente sección se definen los conceptos claves de los elementos integrados al módulo, conjuntamente con los conceptos acerca del diseño y el funcionamiento, para comprender y entender el desarrollo de este trabajo; en la sección 2, se explican las fases necesarias desarrolladas a lo largo de este proyecto generando la explicación del proceso de cada fase, marcando así los pasos necesarios en el desarrollo realizado en este Proyecto y luego en la sección 3 se presentan los resultados obtenidos al realizar diferentes pruebas con el sensor HSCR-04 se realiza el análisis correspondiente de estos con gráficas de dispersión; En la sección 4 se presentan las conclusiones del trabajo, así como también posibles mejoras y sugerencias.

# Objetivos

## Objetivo general

Diseñar un módulo sensorial por ultrasonido, con la capacidad de identificar obstáculos que se adaptable para los bastones para invidentes.

## Objetivos específicos

- Diseñar una base de datos parametrizada para la caracterización el sensor HC-SR04 de ultrasonido a través de la tarjeta raspberry.
- Diseñar un algoritmo en lenguaje Python para la parte del software basado en las técnicas de tiempo de vuelos y diferencia de fase para percibir objetos distantes.
- Diseñar e implementar la estructura física del módulo sensorial por medio de software gráfico tridimensional.

# 1. Marco teórico

## 1.1 Bastón Blanco

El Bastón blanco o bastón guía es un instrumento auxiliar a la movilidad que permite identificar a las personas invidentes y deficientes visual, permitiendo también realizar el desplazamiento autónomo y seguro en su vida cotidiana en la Figura 1-1. Se observa un bastón blanco plegable. Las características de diseño y técnica de manejo de bastón, mejoran el rastreo o percepción oportuna de obstáculos que se encuentran sobre el suelo. (Cloquell, 2015) este instrumento fue ingeniado el 22 de junio de 1931 por José Mario Falliotico luego de auxiliar a una persona invidente y volver a su hogar, en donde se preguntó cuál podría ser la posible solución para poder identificar a personas ciegas y así, lograr auxiliarse en el cruce de calles de manera más rápida. (COMERCIO, 2017)

**Figura 1-1:** Bastón blanco plegable (AMAZON, 2016)



### 1.1.1 Funciones

El bastón blanco o bastón guía supone un tipo de ayuda que actúa como una prolongación del cuerpo de la persona invidente. Esta herramienta auxiliar diseñada con fibras sintéticas o metálicas, tienen como función dirigir los pasos de la persona invidente y advertir de los distintos obstáculos ubicados de la parte media del cuerpo hacia el suelo. (Vázquez, 2012)

Empleando las distintas técnicas de rastreo, el puntero por medio de oscilaciones da

información sobre el plano en que se desplaza seguidamente se proporciona a sí misma una idea de donde se encuentra posicionado (Mosquera sandoval J. A., 2014)

### 1.1.2 Tipos de bastones y guía de colores

- Bastón largo plegable

El bastón plegable es aquel de longitud fija elaborado con fibras sintéticas o metálicas que debe estar adecuado a la estatura de la persona invidente pero que ofrece la posibilidad de dividirlo en varios segmentos y facilitar su transporte. (Codina, 2007)

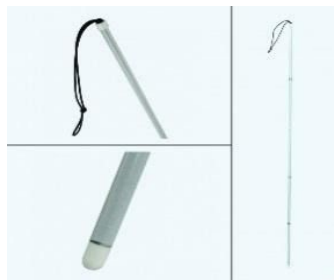
**Figura 1-2:** Bastón plegable (ONLINEORTO, s.f.)



- Bastón largo rígido

Es una vara ligera y alargada, elaborada en materiales sintéticos o metálicos ligeros, que posee una empuñadura de goma y en su extremo inferior una punta metálica rodante. Suelen ser más resistentes que los bastones plegables y con una mejor capacidad conductora lo cual ayuda a percibir mejor la información del terreno. (Codina, 2007)

**Figura 1-3:** Bastón rígido (latinoamerica, s.f.)





- Bastón símbolo

Es un bastón de dimensiones pequeñas, poco funcional para realizar desplazamiento por medio de técnicas, cumple con la función de informar a las personas del entorno de una posible deficiencia visual (Codina, 2007) La guía de colores fue creada con el fin de poder identificar el grado de deficiencia visual de la persona con tan solo observar el color del bastón.

actualmente existen cuatro categorías de color, en la Figura 4 podemos observar la guía de colores del bastón, los cuales son: blanco, blanco y rojo, verde y por último Amarillo

- Blanco: es usado por personas con discapacidad visual grave o ceguera completa.
- Blanco y rojo: utilizado para identificar las personas que presentan sordo-ceguera.
- Verde (blanco y verde): cumple la función de identificar a las personas con baja visión, pero que en ocasiones pueden pasar desapercibidas entre la sociedad.
- Amarillo: en algunos países, este bastón actúa como sustituto del bastón blanco o verde.

**Figura 1-4:** Guía de colores (baston.online, 2018).



### 1.1.3 Características

Existen varios tipos de bastón, entre los más comunes se encuentran: el bastón de identificación, el bastón de apoyo y el bastón largo. Las principales características son:

- **Altura**

El tamaño del bastón puede llegar a la altura del esternón y la medida puede variar dependiendo de la altura o la necesidad de la persona que lo usa. Para saber la talla correcta del bastón solo basta con multiplicar 0.67 por la estatura en cm (Codina, 2007)

- **Material de elaboración**

Comúnmente el cuerpo suele estar fabricado con fibras sintéticas de plástico o metales bastantes ligeros, las empuñaduras pueden ser de corcho, espuma o plástico (Codina, 2007) .

- **Peso**

Es uno de los puntos más importantes para tener en cuenta debido a que es un elemento de uso constante, se pueden encontrar bastones desde 170 g hasta los 300g

### **1.1.4 Técnicas del bastón**

Existen diversas técnicas que se emplean al usar el bastón para que las personas de baja visibilidad o invidentes puedan desplazarse con relativa seguridad, a continuación, se describen tres técnicas principales denominadas técnica hoover, técnica de deslizamiento y la técnica del toque.

- **Técnica Hoover**

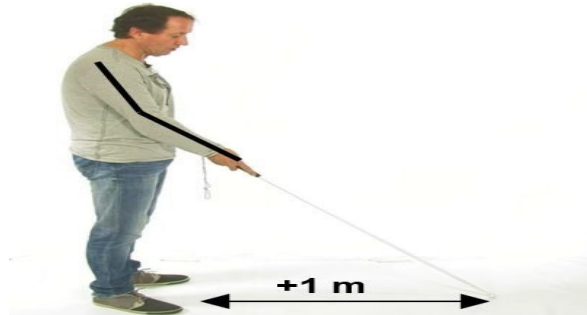
Con la técnica de Hoover, es necesario conservar una postura flexionada del miembro superior o mano con la cual se tenga más dominio o comodidad del bastón, siempre se debe de estar tocando el cuerpo y permanecer extendido hacia adelante perpendicularmente y en la dirección en la que se está trasladando. lo dedos deben estar como se muestra en la Figura 1-5 señalando a lo largo del mango y sujetando la empuñadura. Si no se centra el bastón, la persona no vidente presentan inclinación hacia uno de los lados al caminar (José Rojas, 2017)

Las personas invidentes o que posean deficiencias agudas de visión, deben realizar con el bastón un movimiento rítmico de manera horizontal de izquierda a derecha, haciendo un semicírculo imaginario con el extremo a medida que va avanzando. En la Figura 1-5 y en la Figura 1-6 se observa la postura correcta para aplicar la técnica de Hoover.

El desplazamiento de la punta del bastón para invidentes no debe sobrepasar del ancho de los hombros al trazar el semicírculo. Ya que de esta manera se asegura que no se tienen

obstáculos que le impidan el paso, por otra parte, que pueda detectar algún elemento, escalones u objetos que se hallen en la superficie (José Rojas, 2017)

**Figura 1-5:** Postura de la Técnica Hoover. (Codina, 2007)



**Figura 1-6:** Técnica de Hoover. (Codina, 2007)



- **Técnica del deslizamiento**

Esta técnica posibilita a la persona invidente a desplazarse sin inconvenientes entre espacios estrechos como los centros comerciales, edificios u otros. El bastón tiene que colocarse de manera diagonal, con la punta haciendo contacto con la pared y el suelo, sin hacer ningún toque o elevación. Solo se tiene que ir deslizando por la arista (José Rojas, 2017). Cómo se presenta en la Figura 1-7. En donde se observa la forma correcta de realizar la técnica de deslizamiento.

**Figura 1-7:** Técnica de deslizamiento (Cáceres Lugo, 2015)



• **Técnica del toque**

La técnica de toque que se usa con el bastón para ciegos ofrece a la persona no vidente mayor seguridad en los desplazamientos que pueda realizar en terrenos disparejos, montañas o zonas rurales. Consiste en sujetar el bastón firmemente, ubicándolo en el centro del cuerpo y realizando toques con el suelo repetidamente, hacia un lado y hacia el otro, teniendo en cuenta no superar la apertura de los hombros en más de 10 centímetros de cada lado (José Rojas, 2017).

En la Figura 1-8. Se observa cómo debe realizarse el movimiento de la técnica del toque.

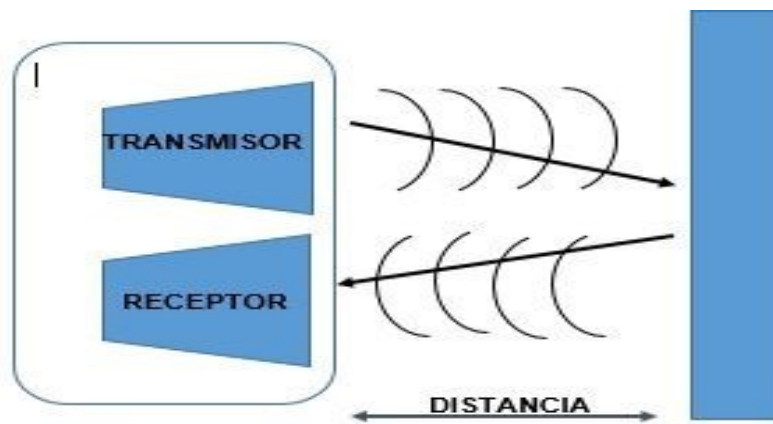
**Figura 1-8:** Técnica del toque. (Codina, 2007)



## 1.2 Ultrasonido

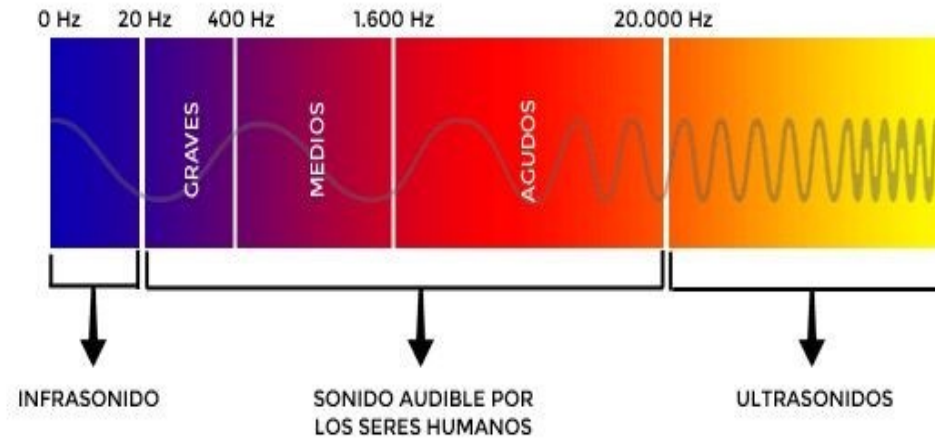
La frecuencia máxima audible por el oído humano oscila entre los 16 Hz y los 20 KHz, muy por el contrario, a las ondas de ultrasonido poseedoras de una frecuencia superior a los 20 KHz; razón por la cual no logramos percibir las. Las ondas de ultrasonido tienen características y comportamientos muy similares a las ondas sonoras audibles, pero difieren en las utilidades, una de las más básicas es en la aplicación de sensores ultrasónicos, que pueden ser usados como medidores de distancia. En la Figura 1-9 se muestra de una manera clara la forma más detallada de la respuesta de un sensor ultrasónico, en donde se tiene un emisor que emite una onda de ultrasonido que impacta una superficie generando seguidamente un eco. El cual es detectado por un transductor del sensor, permitiendo hacer una lectura de tiempo y distancia (Contreras, 2010).

**Figura 1-9:** Sistema de ultrasonido. (Contreras, 2010)



En la Figura 1-10. Se observa el rango de frecuencias audibles.

**Figura 1-10:** Frecuencias audibles (Hernandez, 2018)



Una característica de los transductores ultrasónicos es la generación de una onda o campo de acción, de forma cónica. En donde por medio de la medida del tiempo de inicio de la onda y el tiempo final respecto a su llegada, se puede calcular la distancia a la que se haya el objeto. Causante de la producción de la onda en forma de eco (Contreras, 2010).

Por medio de la ecuación del movimiento rectilíneo uniforme, se nos permite calcular la distancia del trayecto recorrido por la onda. Pero para hallar la distancia del objeto se debe dividir entre 2 (ver Ecuación (1.1)).

$$D = \frac{v \cdot t}{2} \tag{1.1}$$

Como se puede ver en la Ecuación (1.1) la letra  $v$  es la velocidad del sonido y la letra  $t$  es el tiempo final de llegada de la onda (Álvarez, 2015)

### 1.2.1 Tiempo de vuelo

Se empleó la siguiente ecuación que describe el tiempo que tarda la onda emitida por el sensor de ultrasonido en impactar con el objeto, rebotar y regresar al sensor (ver Ecuación (1.2)).

$$t = \frac{D_f}{v} \quad (1.2)$$

Donde  $D_f$  la distancia del objeto más cercano en el rango del sensor, y  $v$  (m/s) es la velocidad de propagación del sonido en el aire la cual es dependiente de la temperatura del ambiente ( $24C^\circ$ ) =  $331.3 + (0.606 * \text{Temperatura del aire})$  por lo que siempre se debe corregir este parámetro antes de realizar cualquier medición o realizar las pruebas en un entorno controlado de temperatura (Goplani, 2018)

### 1.2.2 Problemas de los sensores por ultrasonido

Los sensores de ultrasonido funcionan de una manera sencilla ocasionando la facilidad del cálculo de variables como por ejemplo la distancia. Cabe resaltar que, de lo anterior, se deben tener en cuenta los problemas al captar la onda. En muchas ocasiones estos problemas se dan por la variación de la temperatura, la humedad y las formas geométricas que presentan los objetos. Por lo tanto, previamente se hace un recordatorio de estos factores que causan incertidumbre en los datos captados (Contreras, 2010). Algunos que resaltan son:

- Factores ambientales

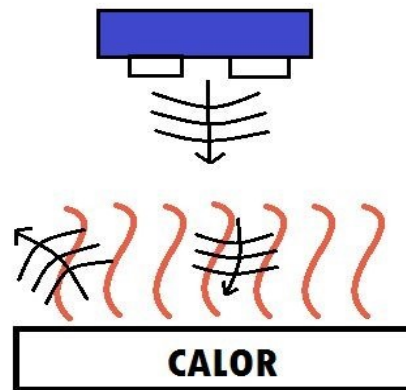
Siendo que la densidad del aire es una variable que depende directamente de la temperatura, resalta que las condiciones ambientales tienen un papel significativo en las muestras tomadas. Porque las ondas de ultrasonido se transportan a través del aire y esta al verse afectada por el cambio temperatura el cálculo de la distancia varía. Ya que la velocidad de propagación de la onda se ve afectada (RODRIGUEZ, 2010). Según la siguiente. (ver Ecuación (1.3)).

$$V_s = V_{so} \sqrt{1 + \frac{T}{273}} \quad (1.3)$$

Siendo  $V_{so} = 331,5 \text{ m/s}$  la representación de la velocidad con la que se propaga la onda en 0 grados Celsius ( $^{\circ}C$ ), y ( $T$ ) la temperatura en grados Kelvin ( $^{\circ}K$ ).

Para un ejemplo del comportamiento de la onda respecto a los factores ambientales, se puede observar en la Figura 1-11, el caso en cuando se da variación en la temperatura.

**Figura 1-11:** Ondas afectadas por factores ambientales. (RODRIGUEZ, 2010)

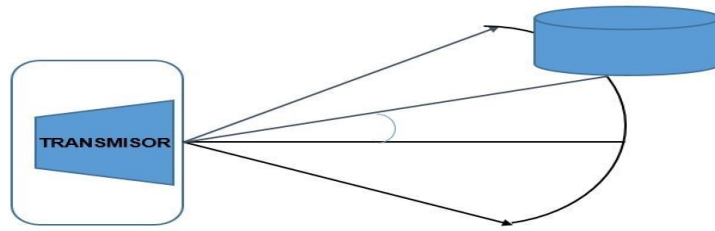


- Incertidumbre angular

El pulso que se emite desde un transductor de ultrasonido en la superficie posee una forma cónica, de igual manera se expresa su campo de actuación que se puede observar en la Figura 1-12. La señal que se devuelve corresponde a la onda de ultrasonido que nos muestra algún tipo de objeto cercano en el rango de percepción del sensor. Pero esta no especifica la posición que presenta dicho objeto. (Álvarez, 2015)



**Figura 1-12:** Reflexión del sonido (Álvarez, 2015)

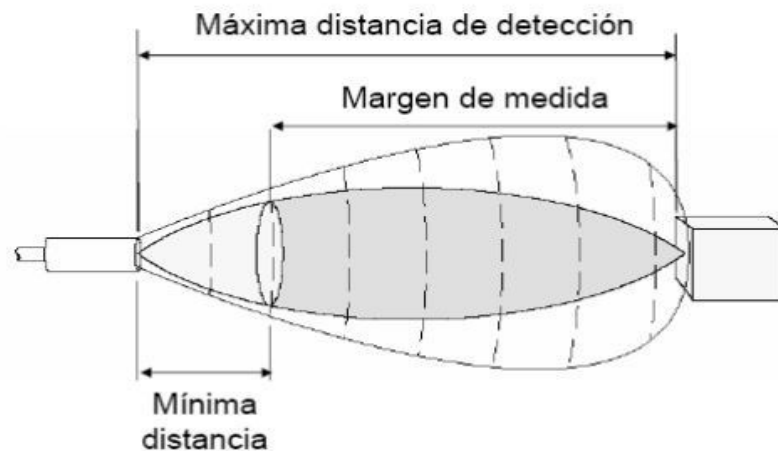


- Mono-transductor

Al ser un sensor que trasmite y recibe el ultrasonido con el mismo transductor, su función le obliga a dar una espera para que la vibración en el sensor desaparezca. Con el objetivo de estar así preparado y poder captar la señal que se genera del encuentro con el obstáculo. Debido a esto se genera una restricción denominada distancia mínima que consiste en tener una distancia a partir de la cual el sensor mide con precisión y es proporcional al tiempo de relajación del transductor por lo general. Además, los objetos que están por debajo del límite inferior de medida son interpretados con el valor de dicha distancia mínima (Álvarez, 2015)

En la Figura 1-13 se presenta un esquema que describe la distancia mínima que debe respetar el objeto para que lo perciba el transductor

**Figura 1-13:** Transductor emisor y receptor (Álvarez, 2015).



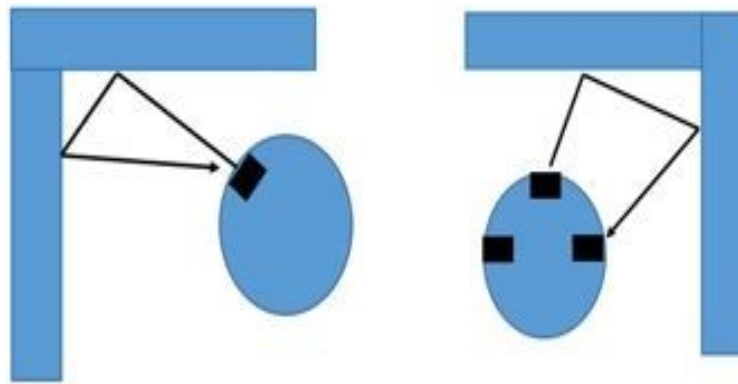
- Falsos ecos

Los errores de falsos ecos se pueden producir por diferentes motivos: Está la situación en donde la reflexión de la señal es causada por el encuentro de diversas superficies y seguidamente retornando al sensor. Este fenómeno es denominado como reflexiones múltiples.

En el efecto de reflexiones múltiples se ve involucrada la distancia que es calculada, ya que es proporcional al tiempo que transcurre la onda en ir desde el inicio al final; es decir, una distancia errónea con respecto a la realidad de la localización del objeto, que fue el generador de la oscilación de la onda por primera vez. (Contreras, 2010)

La Figura 1-14 muestra casos comunes de errores que pueden presentarse los sensores de ultrasonido por los falsos ecos, tanto individual o como en trabajos a la par.

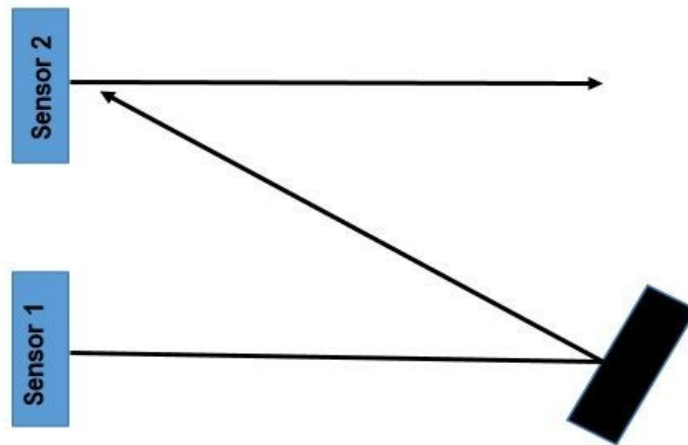
**Figura 1-14:** reflexiones múltiples (Contreras, 2010)



- Efecto crosstalk

Crosstalk es otra forma más conocida de denominar al efecto de los falsos ecos, pero este fenómeno es conocido porque se genera cuando se usa más de un sensor ultrasónico; los cuales están trabajando a la par. Este efecto ocurre con una frecuencia relativamente alta cuando un sensor trabaja a la par con otro, y la señal que se emite en uno, es recibida por el otro o sentido contrario (dominguez, 2013).

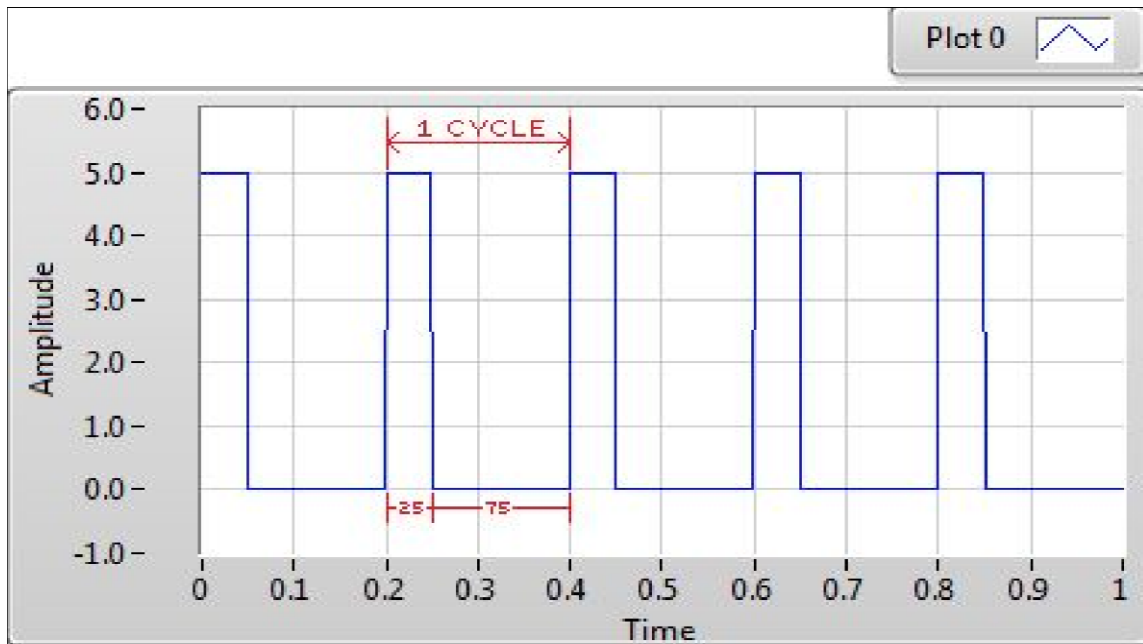
**Figura 1-15:** Efecto crosstalk (dominguez, 2013)



### **1.3 Modulación por ancho de pulso (PWM)**

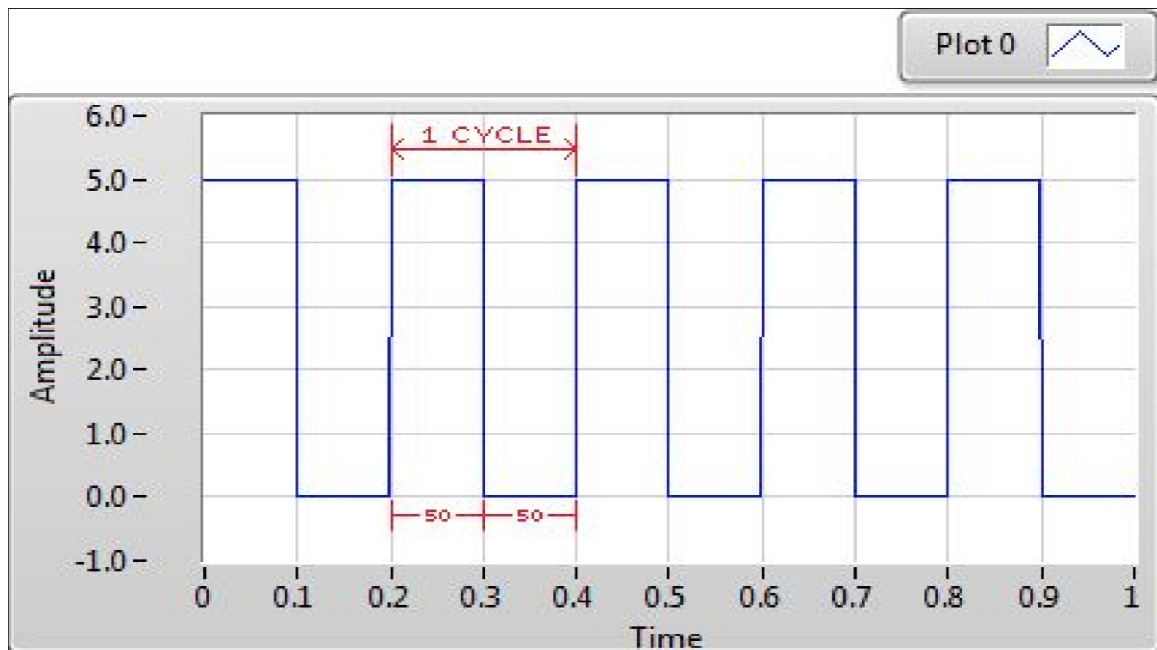
Una señal de modulación de ancho de pulso (PWM, por sus siglas en inglés) es un procedimiento para ocasionar una señal analógica utilizando una fuente digital. La cual está formada por dos factores que definen su comportamiento: el ciclo de trabajo y la frecuencia. (INSTRUMENTS, 2019) El ciclo de trabajo es el factor que define la porción de tiempo que la señal está en un estado prominente (encendido) como un porcentaje del tiempo total que se tarda en terminar un ciclo y la frecuencia decreta qué tan rápido el PWM completa un ciclo. Por lo tanto, qué tan veloz cambia entre los estados alto y bajo. La señal digital al alternarse a una velocidad suficientemente rápida, y con un cierto ciclo de trabajo, da la impresión que la salida se comportarse como una señal analógica de voltaje constante. (INSTRUMENTS, 2019) En las Figuras 1-16, 1-17, 1-18, se muestra un ejemplo de una señal digital con un ciclo de trabajo del 25%, 50% y 75%.

**Figura 1-16:** Ciclo de trabajo 25% (INSTRUMENTS, 2019).



*Ciclo de trabajo del 25%*

**Figura 1-17:** Ciclo de trabajo 50% (INSTRUMENTS, 2019)



*50% de ciclo de trabajo*

**Figura 1-18:** Ciclo de trabajo 75% (INSTRUMENTS, 2019)



El PWM es una técnica digital comúnmente utilizada para controlar la potencia eléctrica hacia una carga mediante pulsos de onda cuadrada en un determinado ciclo de trabajo. El ciclo de trabajo de una señal periódica es el ancho relativo de su parte positiva en relación con el período (Ermakov, 2019). Expresado matemáticamente (ver ecuación (1.4))

$$d = \frac{T_{on}}{T} \quad (1.4)$$

$d$  es el ciclo de trabajo,  $T_{on}$  es el ancho de pulso y  $T$  es el periodo de la función.

## 1.4 BlueTooth

Este sistema se basa en la comunicación de usuarios por medio de redes inalámbricas, las cuales permiten el envío de tramas de datos entre diferentes equipos por medio de radiofrecuencia. Cubre parte de comunicaciones como lo son: móviles y estáticas (Blasco, 2013).

La versión del cuerpo pequeño de la Raspberry Pi es compatible con Bluetooth 4.1, lo que hace que sea más compatible con Bluetooth Low Energy (BLE) y aumenta la cantidad de dispositivos posibles que podemos interactuar con Raspberry Pi Zero W (DFRobot, 2018). Una forma de uso del bluetooth es en la construcción de sistemas sensoriales en donde se usan para la comunicación de sensores o de activación de actuadores.

## 1.5 Tarjetas de procesamiento

Se les conoce Como el núcleo del sistema, tanto hardware y como de software, proporcionan la funcionalidad de una computadora de escritorio, desde su aparición se han convertido en una fuerza predominante en el mundo del desarrollo, usadas en gran cantidad de proyectos de código abierto (Atwell, 2013). Se encarga de integrar los diferentes dispositivos con los que cuenta el proyecto requerido. Además, contiene un Sistema Operativo y un lenguaje de programación, con el cual se logra una comunicación a nivel de software con elementos internos y externos (Griffith, 2018).

En la Tabla 1-1 se observa algunas características de 5 tarjetas de procesamiento que se pueden encontrar hoy en día en el mercado y por lo tanto se podrían usar en la realización del presente proyecto.

**Tabla 1-1:** Tarjetas de procesamiento y sus características (AMAZON, s.f.)

Característica	Raspberry pi 3B	Arduino Mega	Msp 430	Raspberry pi Zero
Procesador	Broadcom BCM2837 based on ARM Cortex A-53	ATmega 2560	Intel Atom T5700	Broadcom BCM2835
Arquitectura	64-bit RISC	32-bit RISC	64-bit x86	32-bit RISC
Velocidad de reloj	1.2 GHz	16 MHz	1.7 GHz	1 GHz
WIFI	Yes	No	Yes	Yes

Sistemas operativos compatibles	Android, various Linux distributions, windows 10	Android, various Linux distributions	Ubuntu Desktop/core, ostro/yocto, Linux, Windows 10	Android, various Linux distributions, windows 10
Consumo de potencia	250-750 mA. @ 5V	210-460 mA. @ 5V	130-600 mA. @ 12V	250-4800 mA. @ 12V

## 1.6 Python

Software de programación poderoso y de fácil aprendizaje, capaz de analizar y ejecutar otros programas. Basado en estructuras de librerías eficientes y de alto nivel (Rossun, 2019). Como una de sus características es el de ser un lenguaje de programación multiparadigma, permitiendo crear programas usando diferentes estilos de programación dependiendo la conveniencia, además cuenta con extensas bibliotecas estándar que están a libre disposición. (PYTHON, s.f.)

## 1.7 Estadística básica de datos

### 1.7.1 Media

La media aritmética o promedio simple ( $\bar{x}$ ) muestra el valor central de los datos que fueron censados y determina la medida que más se utiliza. En general, es calculada con la sumatoria de los valores de interés ( $X_i$ ) y dividiendo entre el número de valores sumados ( $n$ ) (ver en la ecuación (1.5)) (Paz)

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad . (1.5)$$

### 1.7.2 Desviación típica

Se define como la raíz cuadrada de la varianza. Esta es una medida (cuadrática) que nos señala el promedio ( $\mu_x$ ) de las distancias que tienen los datos respecto a la media aritmética ( $x$ ), expresada en las mismas unidades de la variable (ver en la ecuación (1.6)) (Romero, 2013)

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x - \mu_x)^2}{n}} \quad (1.6)$$

### 1.7.3 Recta de calibración

La recta de calibración fue usada para estudiar la naturaleza de la relación entre dos variables y buscar una línea recta que más se aproxime al conjunto de datos dado. (ver ecuación (1.7)) (Orellana, 2008)

$$F(x) = p_1x + p_2 \quad (1.7)$$

$F(x)$  es la variable dependiente,  $p_1$  es la pendiente y  $p_2$  es el punto de intersección en el eje  $x$ .



## **2. Metodología**

En el proyecto propuesto se diseñó un prototipo de accesorio sensorial para personas invidentes, que le permita caminar con naturalidad y de forma autónoma empleando la detección de obstáculos por medio de un sistema de ultrasonido integral. La metodología planteada se divide en las tres siguientes fases:

### **2.1 Fase 1: Diseño de base de datos parametrizados para la caracterización de sensores HC-SR04**

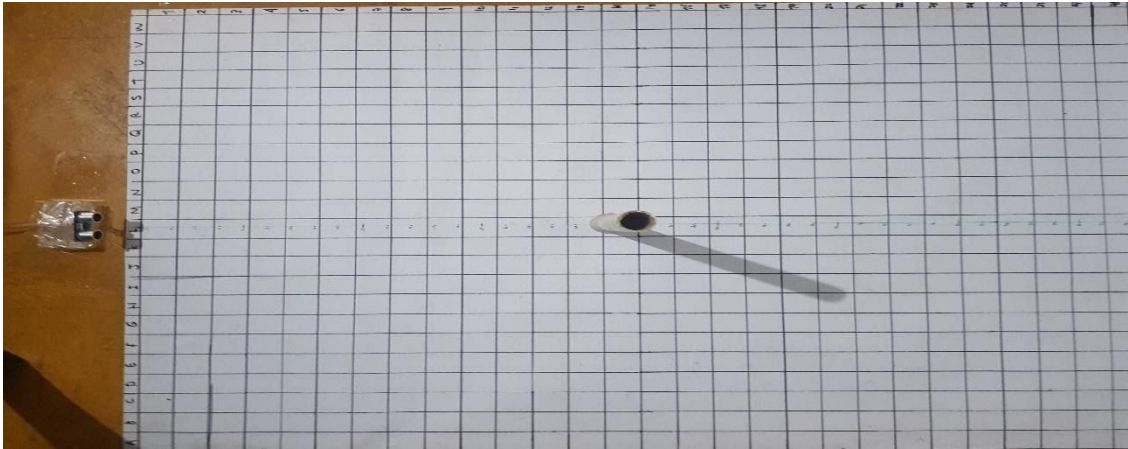
Se realizó una plantilla casera con cartulina de dimensiones 100 x 200 cm que contaba con una cinta métrica y cuadros de 3x3 cm. Se tomó como referencia un entorno previamente acondicionado para la ejecución de las pruebas, obtención y almacenamiento de datos, en donde fueron sometidos a estudios con el fin de verificar el buen funcionamiento de los sensores y realizar una caracterización adecuada. Los datos se han procesado en MATLAB para poder generar las gráficas y el ajuste de las ecuaciones que describen el comportamiento de estos.

#### **2.1.1 Experimento 1**

Para determinar la exactitud y presión de los sensores se ha realizado el procedimiento que se describe a continuación.

Se ha dispuesto una superficie plana (suelo) a modo de plataforma, y se ha fijado una cinta métrica a la superficie como medida correspondiente de un patrón de referencia. Dicha cinta posee una distancia total de 200 cm y tienen una resolución de 0,1cm. Sobre la plataforma se centró y fijo el sensor de ultrasonido al inicio de la plantilla como se muestra en la Figura 2-1. Por consiguiente, se ha implementado un sistema de barricada con objetos de forma cuadrada y cilíndrica, ubicados de manera individual y paralela al sensor HCSR-04.

**Figura 2-1:** Plantilla de pruebas.



Seguidamente se inicia un algoritmo (véase en el Anexo C) en la tarjeta Raspberry Pi que permitió activar el sensor HSCR-04, el cual produce ondas ultrasónicas que al entrar al contacto con la barricada generaron ecos que fueron captados por el receptor del sensor e interpretados como pulsos on/off en los puertos de la tarjeta y a través de la (ecuación( 1-2)) se determina la distancia en que se encuentra la barricada. Para empezar con la parametrización se hace un análisis con unos datos de distancia que fueron captado así: Se posiciona un objeto al sensor de forma paralela con diferencia de 2 cm seguidamente se va moviendo el objeto a razón de un centímetro hasta alcanzar los 200 cm como se ve en la Figura 2-2. Esto quiere decir 198 posiciones por objeto.

En cada posición se captan 60 datos de medida, las cuales se envían a un formato Excel de un escritorio remoto. En donde se les aplica la básica estadística de datos, estableciendo como medida representativa la media en cada distancia.

**Figura 2-2:** Sistema de barricada



Se hace el muestreo con los siguientes objetos: una botella con diámetro 7 cm, 3 tubos de diámetro 1.27 cm, 1.92 cm, 5.08 cm y dos cajas con una cara plana de medida 21 x 21 cm y 36x31 cm.

## **2.2 Fase 2: Estructuración y Diseño del algoritmo que se usará para la percepción del módulo sensorial.**

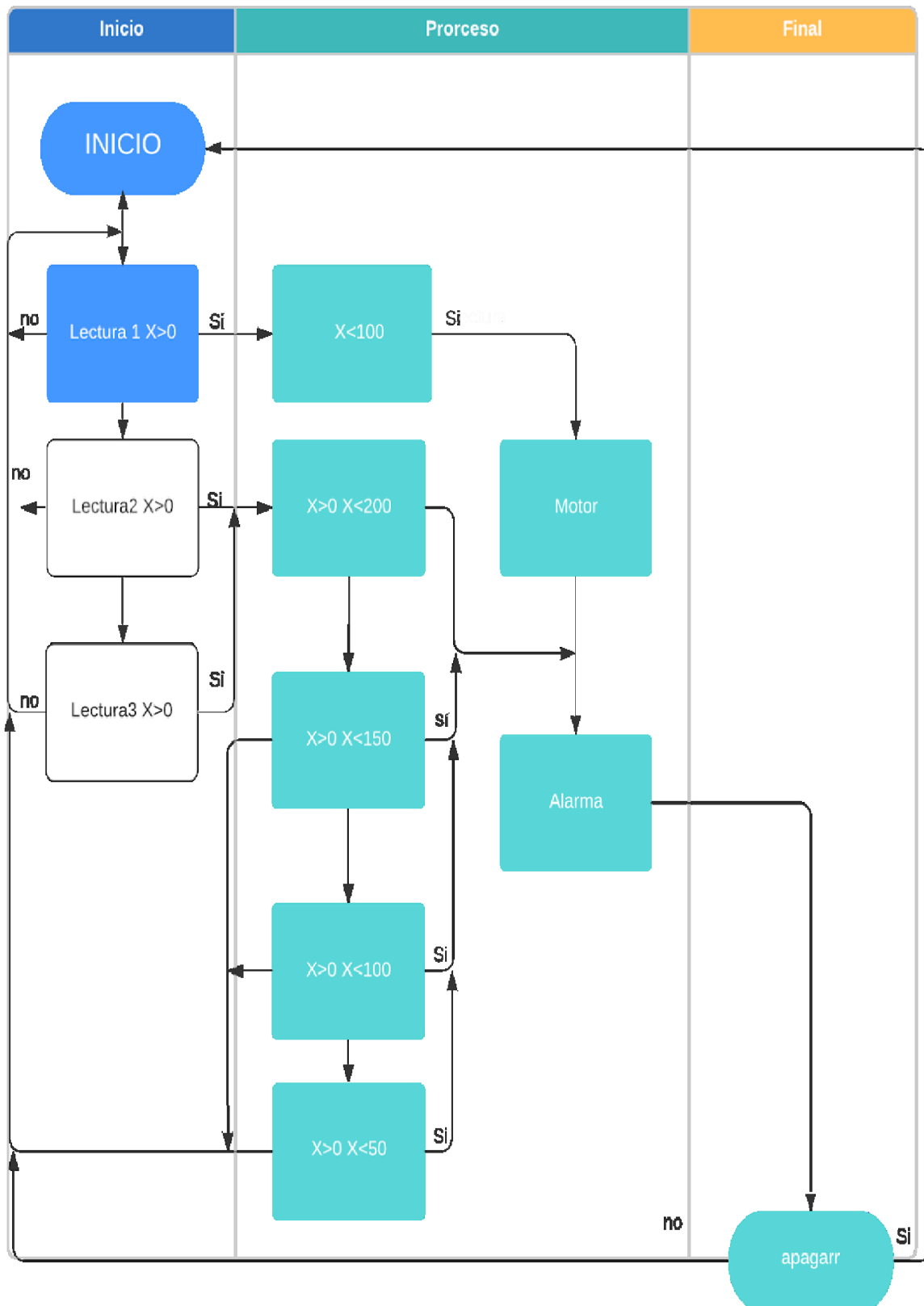
Para la estructuración del algoritmo se buscó un lenguaje de programación de software libre, que fuera compatible de buena manera con el sistema operativo que maneja la tarjeta Raspberry Pi Zero. Además, que contará con una variedad de librerías en donde se pudiera trabajar el sensor HC-SR04 y dos sistemas de alerta, el de vibración y el de sonido. Seguidamente se expresan en lenguaje de programación python los métodos matemáticos de tiempo de vuelo o diferencia de fase y se diseña el algoritmo del software para percibir objetos que pudieran afectar la movilidad de la persona invidente en un rango lineal. Con el uso de las librerías de python se establecen los dos sistemas de alerta, para un determinado rango de 2 a 200 cm de la siguiente manera.

Para iniciar se activa el módulo sensorial, se hace una primera lectura en los sensores determinando si hay presencia de algún obstáculo entre las distancias mayores a 0 y menores a 200 cm. De no encontrar algún objeto en la lectura esta se reinicia. Una vez determinado una perturbación en el rango, el algoritmo calcula que tan lejos está el objeto para así generar una alerta. Los tipos de aviso son según la distancia, la posición y el

sensor. En la lectura 1, un sensor activa una vibración basada en el PWM, en donde el ciclo de trabajo es inversamente proporcional a la distancia calculada. En el caso de una lectura en distancia menor a 100 cm se reproduce un archivo de audio en formato WAV (*Waveform audio file format*) transmitido a través de bluetooth y seguidamente escuchado en el oído en donde se haya posicionado el auricular inalámbrico. De igual manera en las lecturas de los sensores 2 y 3 se sigue el mismo principio a diferencia que los dos sensores activados con el algoritmo, usan un sistema de alerta que es generado por un *buzzer* y así evita el uso del auricular inalámbrico.

Se presenta un diagrama en la Figura 2-3 de flujo del inicio, proceso y final del algoritmo.

Figura 2-3: Diagrama de flujo del algoritmo



Para finalizar el proceso se apaga el dispositivo.

### 2.2.1 Experimento 2: Pruebas de medición, y alarma fuera del montaje estructural

En este experimento se realizó el siguiente procedimiento:

- Se selecciona un objeto de preferencia de cara plana como se ve en la Figura 2-9 el cual hace de barricada para empezar las pruebas.
- Todos los datos captados se almacenan para analizar el comportamiento en cada uno de los sensores más adelante.
- Se hace una calibración de los sensores utilizados y luego se activa todo el funcionamiento y se separa la sección 1 de la sección 2.
- Se limitan los rangos para las alarmas en donde se define 4 rangos para la sección 2 y uno fijo para la sección 1.
- Se recorre de 3 a 400 cm de distancia la barricada y se observa la respuesta del ultrasonido con los 2 sensores en funcionamiento.

En la Figura 2-4 se muestra cómo es el sistema de barricada para determinar a qué distancia se encuentran los objetos respecto a los sensores. A través de un equipo de sonido por medio de bluetooth se revisa el funcionamiento del estado de la tarjeta, su respuesta y comportamiento de las alarmas.

**Figura 2-4:** pruebas de las alarmas con cinta métrica.



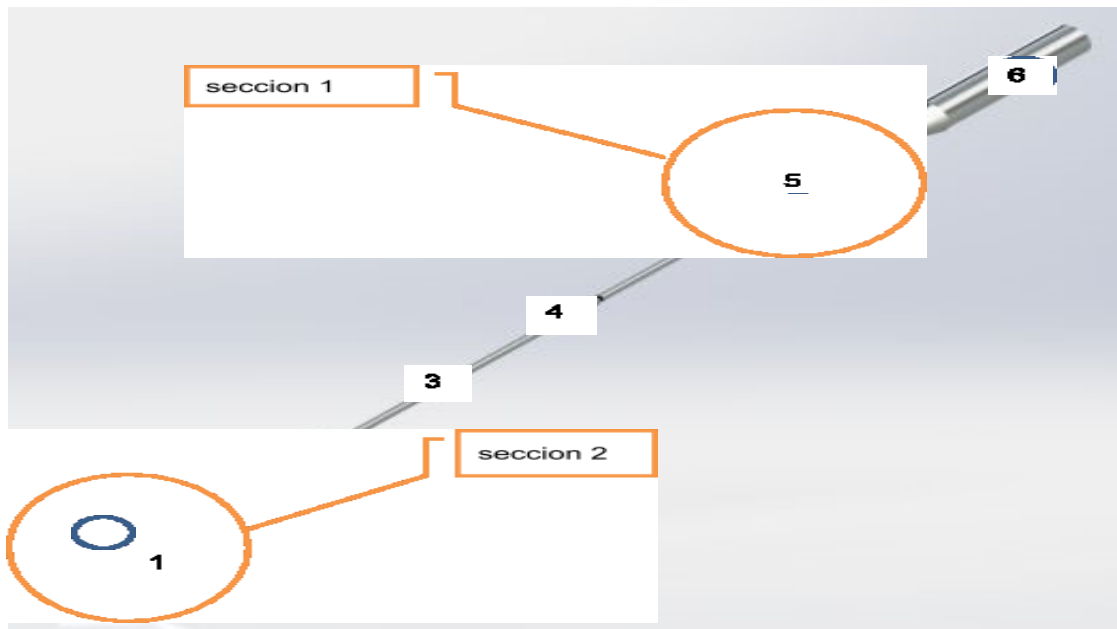
Los valores tomados durante un tiempo con los 3 sensores, se promedian obteniendo la media por cada valor de distancia. Los datos tomados se grafican de 3 a 400 cm y se determina un rango que pueda generar más viabilidad para detectar los objetos, según la respuesta del sistema bluetooth de la Raspberry Pi.

## **2.3 Fase 3: Diseño e implementación de la estructura**

Por medio de un software de diseño tridimensional SolidWorks 2016 se proyectó la estructura que tendría el prototipo sensorial, además de las piezas que lo comprenden. Ya que el software es caracterizado por su versatilidad de extraer planos de su modelado permitió mejorar mucho la percepción de cómo se estructuraría el dispositivo y se mitigaron errores en el ensamblaje, debido a que permitió hacer una imagen clara de las dimensiones. A continuación, En la Figura 2-5 se ve el montaje del módulo sensorial en un bastón casero y el posicionamiento de los componentes de la estructura del bastón ensamblado de la siguiente manera.

La parte inferior se encuentra constituida por una punta de goma de un bastón blanco tradicional, usada principalmente para deslizar el bastón en las superficies planas. La posición 1 está conformada por el primer soporte hecho en un material acrilonitrilo butadieno estireno o ABS (por sus siglas en inglés *Acrylonitrile Butadiene Styrene*) ubicada 16 cm más arriba de la punta del bastón, el cual cuenta con las siguientes dimensiones, largo 11 cm altura 2 cm y de ancho 2 cm para más detalles véase en el anexo A. Este cumple con el objetivo de fijar los ultrasonidos etiquetados con la posición 2 que se deben ubicar de manera perpendicular al bastón y todo esto debe de estar anclado a un tubo de aluminio denominado cuerpo del bastón, que está conformado con las piezas como se ve en la Figura 2-5, posición 3 y posición 4. Estas piezas están unidas por una cuerda interna y sellados por las uniones (posición 4), y dimensionado de la siguiente forma: 3 tubos de diámetro 0,95 cm de 30 cm de longitud y 3 uniones hechas de tubos de 1.11cm con longitud de 10 cm hechas del mismo material que el cuerpo del bastón. 72,5 cm más arriba se encuentra el segundo soporte posición 5 con longitud 6 cm, altura 2 cm y de ancho 2 cm.

**Figura 2-5:** bastón con módulo ensamblado

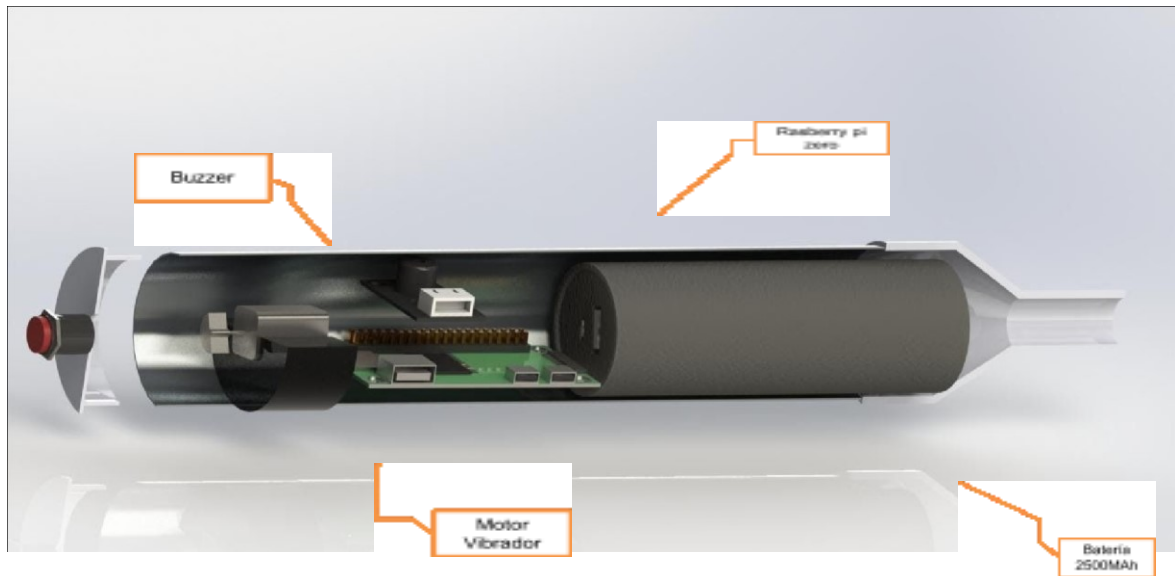


Terminando en la parte superior con el mango en donde se encuentra el módulo sensorial el cual tiene las siguientes dimensiones: 21 cm con una punta cónica de diámetros 3,2 cm y 0,95 cm cavidad suficiente para poder ubicar sus componentes como se observa en la Figura 2-6:

- Motor vibrador: Diámetro: 12 x 15.1 x 10 cm con un peso aproximado de 0,020 Kg
- Raspberry pi Zero: 6.5x3.0 cm con un peso solo de 0.009 Kg
- Batería: 10 cm, diámetro 2,2 cm de forma cilíndrica y tiene una duración de a próximamente de 2 horas con un uso constante y es su carga total(2500mAh) su peso es aproximado 0.120kg
- Buzzer: Voltaje de funcionamiento 5V, Material PCB, Dimensiones: 2.0x1.5x1.3 cm, Peso: 0.002kg



**Figura 2-6:** Estructura y modelamiento del módulo



**Tabla 2-1:** Posicionamiento y cantidad de partes generadoras del peso del modulo

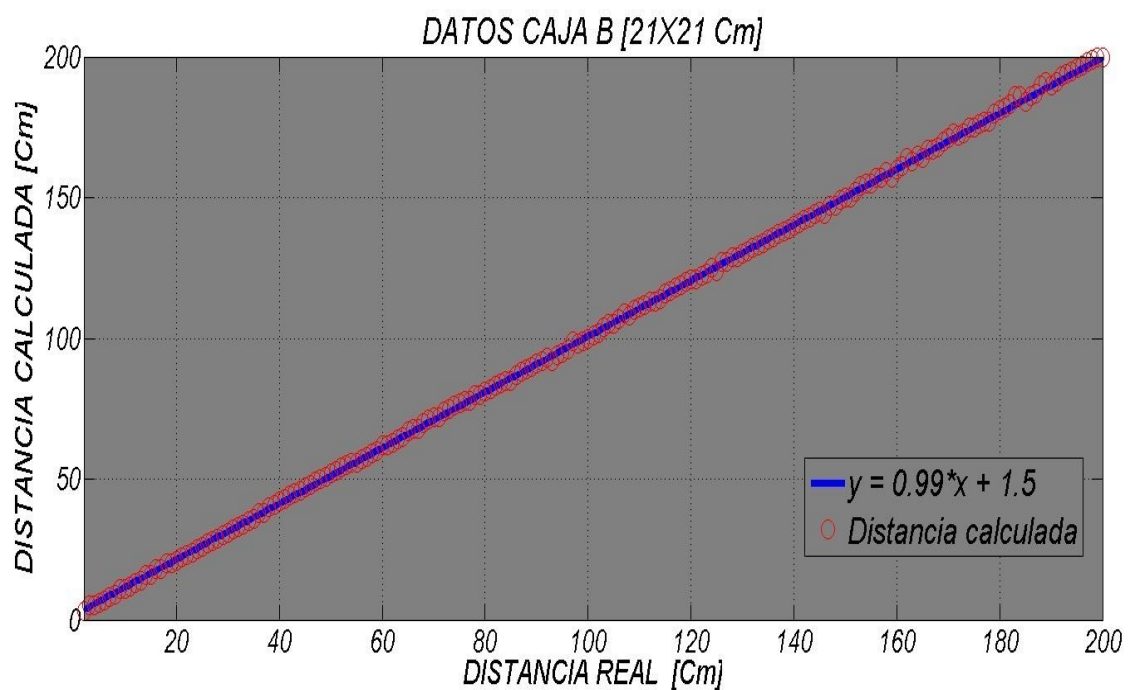
Posición	Objeto	Cantidad	Peso	Peso total
1	Módulo y embudo	1	0,230kg	0,330kg
2	Tubo de aluminio	3	0,020Kg	0,060Kg
3	Uniones de aluminio	2	0,007Kg	0,014Kg
4	Soporte para un sensor	1	0,014Kg	0,018Kg
5	Soporte para dos sensores	1	0,012Kg	0,012Kg
6	ultrasonido	3	0,010kg	0,030kg
Total				0,460Kg

# 3. Resultados

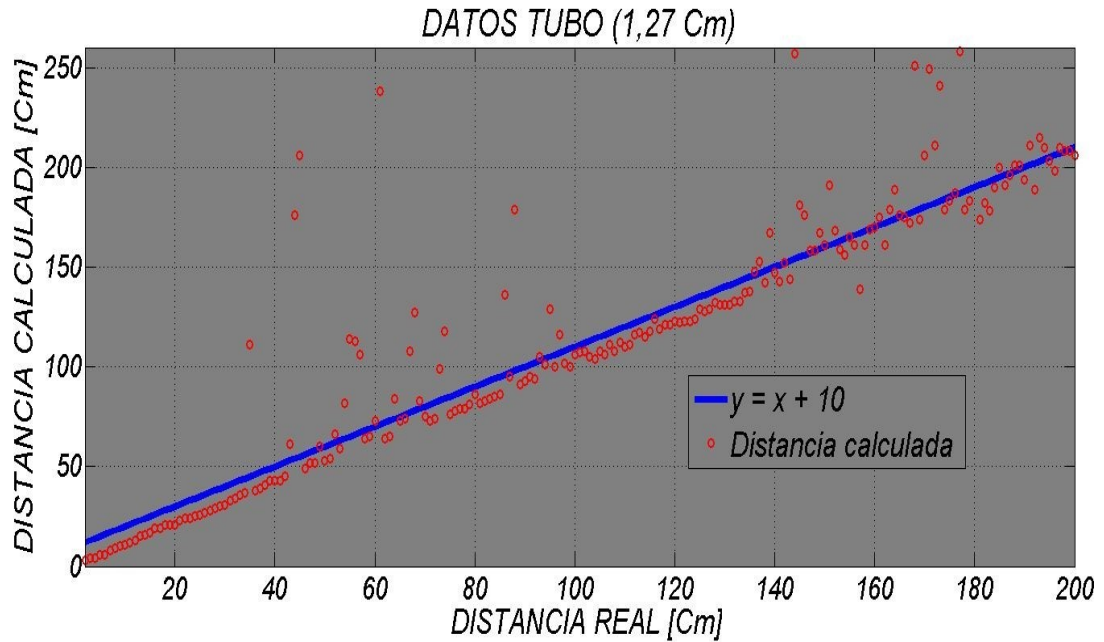
## 3.1 Experimento 1

Mediante la técnica de regresión lineal. Se pudo encontrar una ecuación. (ver ecuación (1.7)) característica que relaciona la distancia real con la medida por el Sensor de Ultrasonidos HC-SR04. Se grafican las distancias calculadas de 2 a 200 cm por el sensor en el sistema de barricada, cada dato graficado corresponde al promedio de 60 medidas tomadas en la misma posición del objeto, hasta completar las 198 posiciones. Por medio de la herramienta de ajuste de curvas del software Matlab (Curve Fitting Tool) se encuentra una expresión polinómica de grado 1 que satisface la recta véase en la Figura 3-1 y 3-2.

**Figura 3-1:** Recta de calibración de las medidas con la caja B.



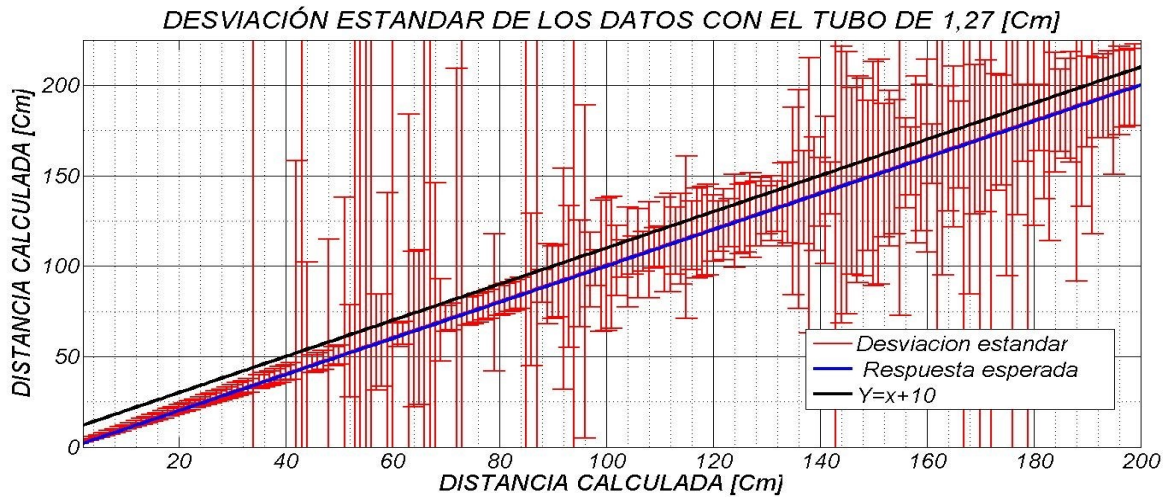
**Figura 3-2:** Recta de calibración para las medidas con el obstáculo (Tubo 1.27cm).



La línea de tendencia determina que el objeto de menor contextura presenta mayor dificultad para ser detectados.

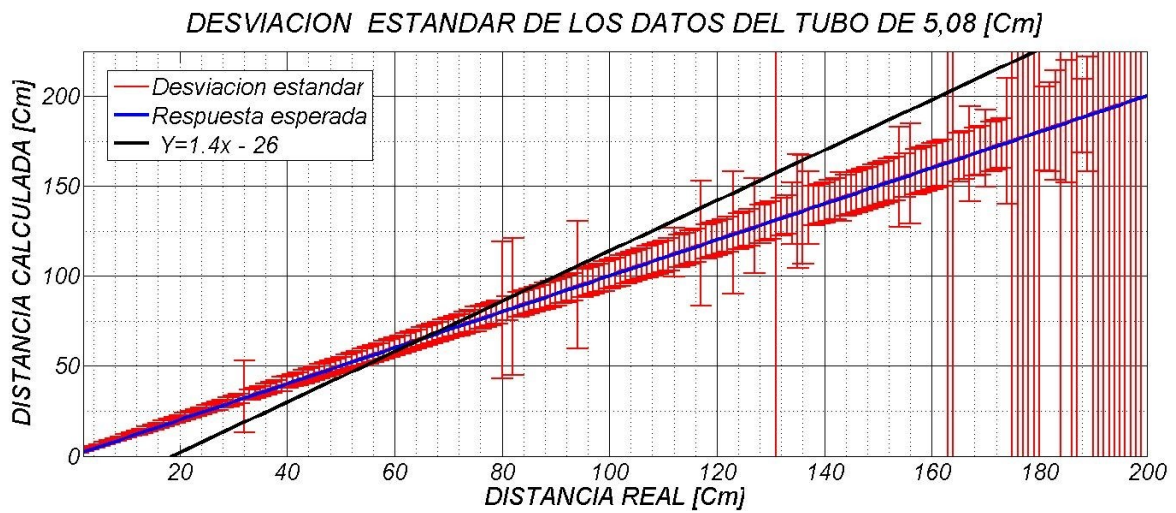
A continuación, La gráfica de cada valor de medida en 3 diferentes objetos, la respuesta de la desviación para el tubo de 1,27 cm de diámetro véase en la Figura 3-3.

**Figura 3-3:** Desviación Típica de las medidas del Tubo de diámetro 1,27 cm.



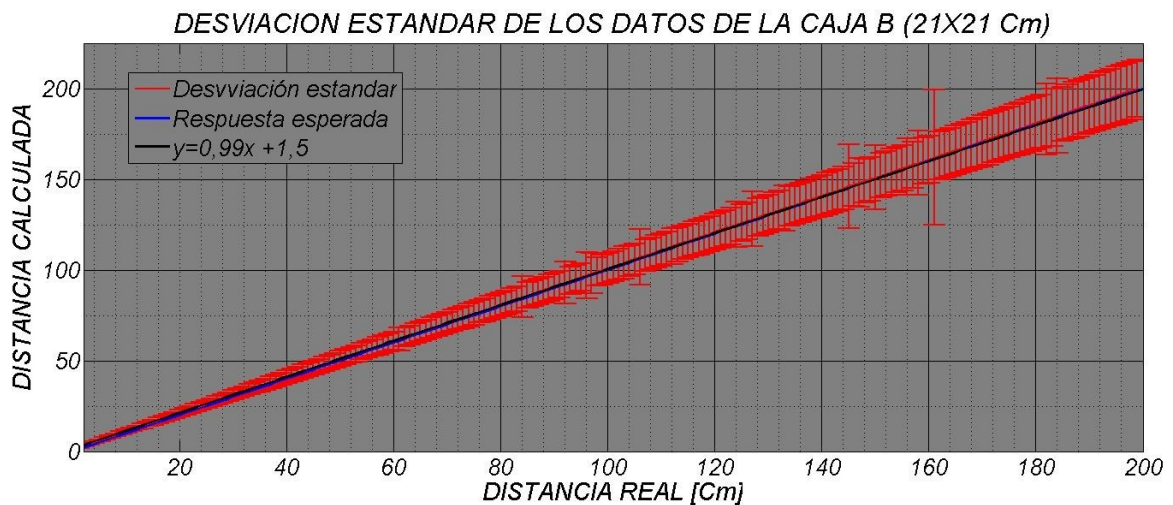
En la Figura 3-4 se grafica el mismo procedimiento, pero con el objeto de diámetro de 5.08 cm.

**Figura 3-4** Desviación Típica para el conjunto de muestras tomadas (tubo 5,08cm).



Para terminar en la Figura 3-5 se hace la gráfica del muestreo con un objeto de cara plana de dimensiones 25x25 cm.

**Figura 3-5:** Desviación Típica para el conjunto de muestras tomadas en la Caja B de cara 25x25 cm.



De los datos que se analizaron se pueden deducir mediante la comparación de la medida hallada con respecto a el valor de distancia real. es notable el fallo de la medida en objetos delgados comparados con los de la medida en objetos anchos, en las distancias más grandes. Agregando que la desviación estándar graficada es el promedio de 60 muestras por medida.

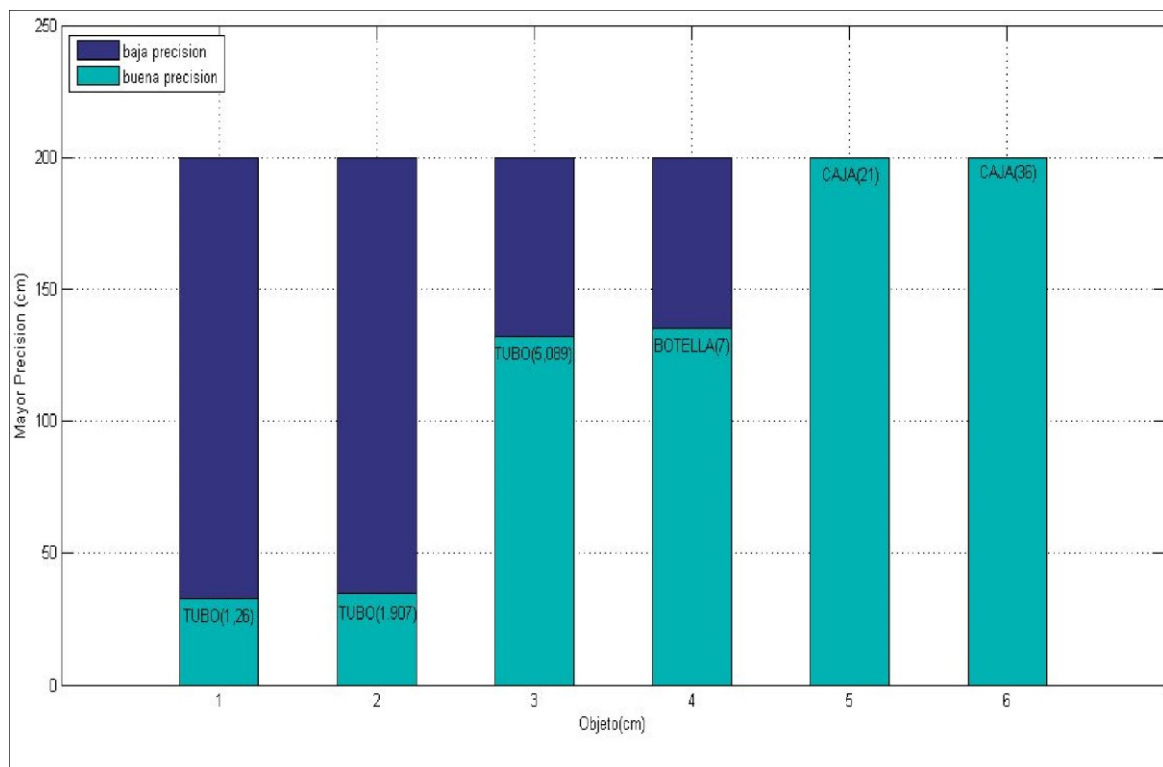
Para por ejemplo el objeto de cara plana caja B 21x21 cm presenta los siguientes niveles de precisión en las 198 posiciones.

- Precisión: las distancias menores o iguales a 100 cm poseen una diferencia de aproximadamente 1,23 cm.
- Precisión: las distancias entre 100 cm y 150 cm poseen una diferencia de aproximadamente 2,7 cm.
- Precisión: las distancias mayores o iguales a 200 cm poseen una diferencia de aproximadamente 5 cm.

Aunque algunas medidas se desbordan por interferencia o porque no se encuentra el objeto debido a su grosor como el ejemplo en el tubo de 1,27 cm, su mejor rango de medida se estable entre 2 y 34cm.

En la Figura 3-6 se presenta un diagrama de barras en donde se exponen las medidas en el cual se obtuvo mayor precisión según las dimensiones del objeto.

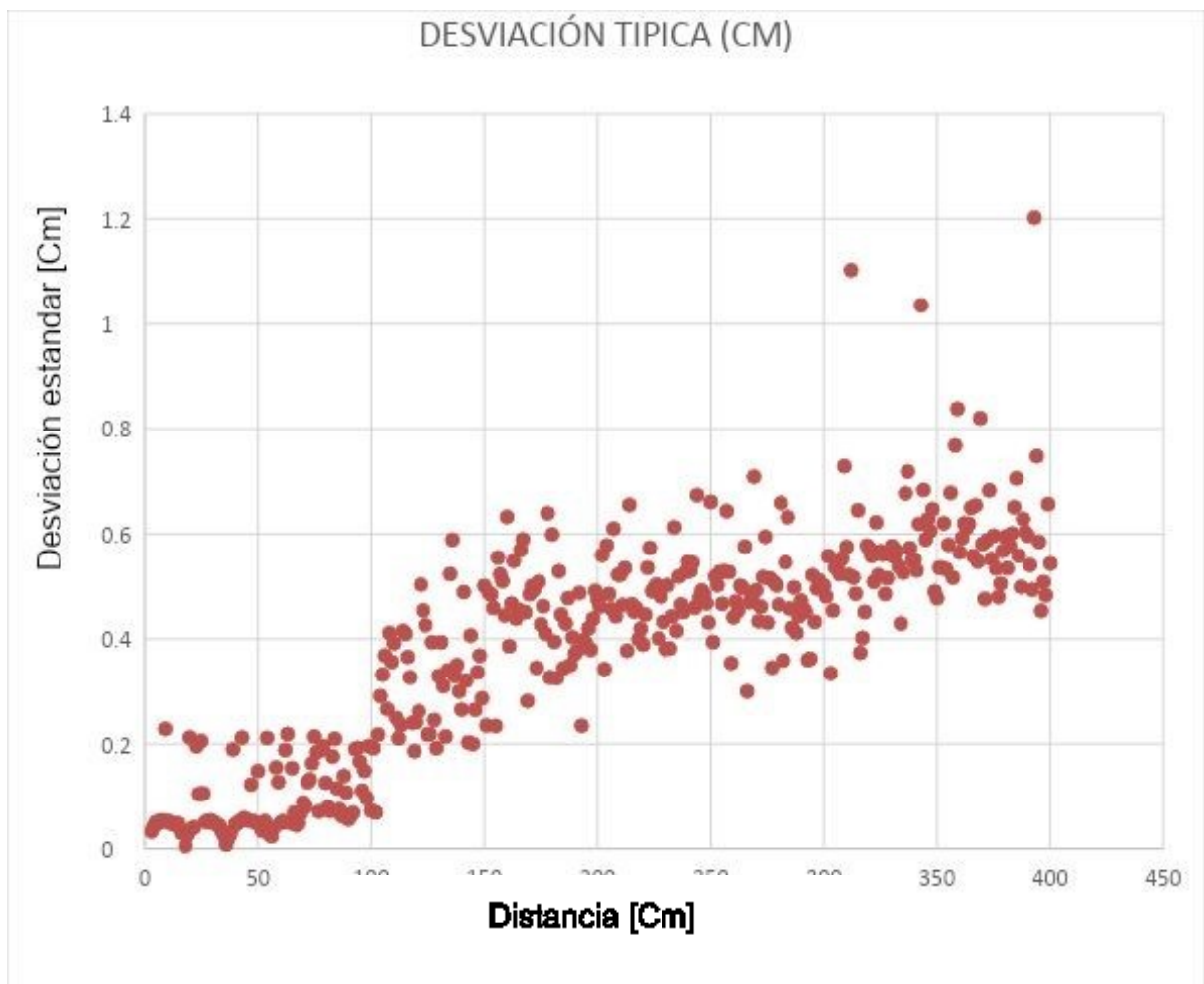
**Figura 3-6:** Medidas con baja y buena precisión.



## 3.2 Experimento 2

En la figura 2-10 se presenta la desviación estándar de 397 medidas tomadas con los tres ultrasonidos a la vez. El valor de la desviación estándar en cada distancia se calculó a partir de 40 datos para cada uno de los tres ultrasonidos. Se observa que a mayor distancia la desviación estándar se va aumentando y que es un comportamiento que se presenta. En los tres sensores.

**Figura 3-7:** Desviación estándar de 3 a 400 cm



# 4. Conclusiones y recomendaciones

## 4.1 Conclusiones

Se obtiene de la caracterización del sensor HC-SR04 que este posee dificultades para percibir objetos delgados de diámetros menores a 2 cm. Esta dificultad no se presenta para distancias menores a los 40 cm ni para objetos de diámetro mayores a 21 cm. Dadas las dificultades mencionadas anteriormente es mejor limitar la región en la que se va trabajar con el sensor, porque puede presentar problemas a más de 2 metros de distancia para detectar objetos de diferentes contornos.

El prototipo de accesorio sensorial es funcional siempre y cuando sea ubicado en la posición correcta con los sensores hacia arriba en forma recta a  $45^\circ$  del vértice del bastón empleado. Esto se debe a que la posición del sensor que está tomando la lectura puede alterar los cálculos del tiempo de vuelo con el que el algoritmo se basa para determinar la distancia. Al no mantener la posición el sensor ultrasónico no podrá alertar de forma correcta.

La implementación de software de modelación de piezas mecánicas tridimensional, permitió evidenciar posibles problemas de construcción y ensamble del módulo sensorial. A su vez Facilitó a través de impresión 3D la obtención de piezas no comercializadas que fueron fundamentales en la construcción y ensamble del módulo sensorial.

## 4.2 Recomendaciones

Con la implementación y desarrollo del presente trabajo, han surgido posibles mejoras que se pueden realizar, además de trabajos de investigación para el futuro. Algunos de estos son:

- Para mejorar el desempeño del prototipo durante la lectura de distancias, se sugiere la integración de sensores de ultrasonido de doble transductor para evitar la mínima distancia que debe tener el objeto para que el sensor se reinicie o también llamado el efecto medida mínima.
- Se sugiere mejorar la estructura del módulo usando componentes con características resistentes a ingresos de sólidos, *Ingress Protection (IP)*. Que puedan generar protección a los componentes electrónicos contra agua, humedad y el calor.
- Emplear materiales menos densos y con mayor resistencia para disminuir considerablemente el peso del prototipo en general y aumentar su vida útil, ejemplo: la fibra de carbono u otro tipo de aleación de metales.
- Una de las funciones que se podría implementar en la mejora de este prototipo es un mecanismo de GPS con el cual pueda guiar a la persona mientras se traslada en un medio de transporte convencional.



## 4.4 Sección de costos

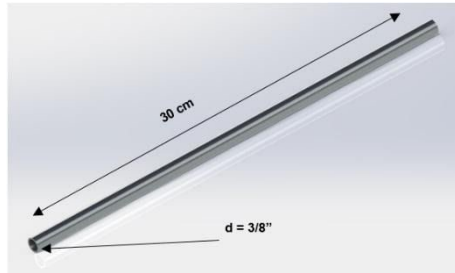
Con software de diseño tridimensional se proyecta la estructura que tendrá el prototipo sensorial y las piezas que lo comprenderán, luego se realiza la selección del costo, del material y del peso

**Tabla 4-1:** Valorización y costos de los materiales y mano de obra usadas en el proyecto

CANTIDAD	MATERIAL	VALOR UNITARIO (COP)	VALOR TOTAL (COP)
480	Horas trabajadas	8.400	4.032.000
4	Horas de asesoría	45.000	180.000
1	Tarjeta de desarrollo raspberry pi Zero w	90.000	90.000
1	Dispositivo inalámbrico de audio	120.000	120.000
3	Sensor ultrasonido HC-SR04	7.000	21.000
1	Motor vibrador	5.000	5.000
1	Buzzer	2.000	2.000
2	Soportes para sensores HC-SR04	8.000	16.000
5	Metro elástico	900	4.500
12	Metro cable estañado	300	3.600
3	Metro tubo aluminio 3/8"	3.700	11.000
1	Motor vibrador	6.500	6.500
TOTAL			4.491.600

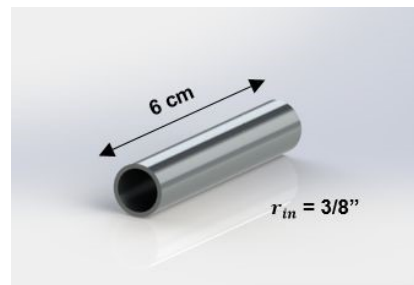
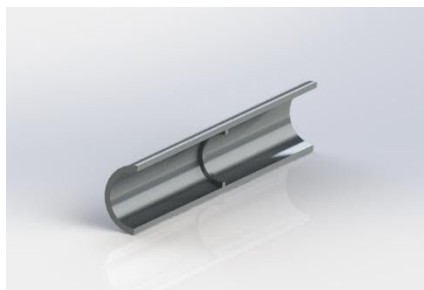
# A. Anexo: Seccionado de Partes usadas en el desarrollo del proyecto

Figura A-1: Sección principal



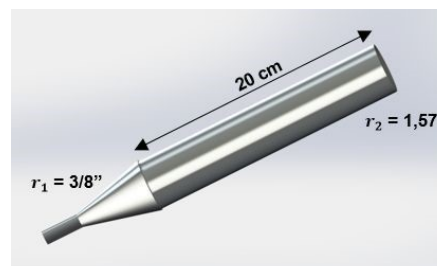
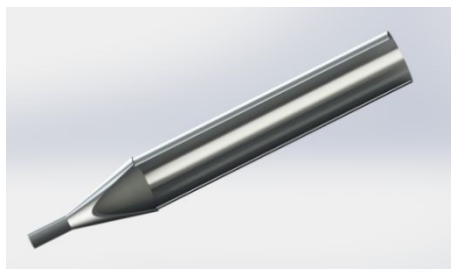
En la Figura A-2 se observa el diseño de una de las uniones del prototipo de bastón con sus respectivas dimensiones.

Figura A-2: Unión metálica



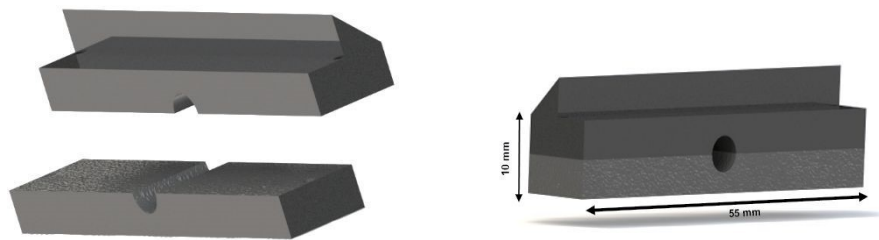
En la Figura A-3 se observa el diseño del mango del prototipo de bastón con sus respectivas dimensiones.

Figura A-3: Mango del bastón



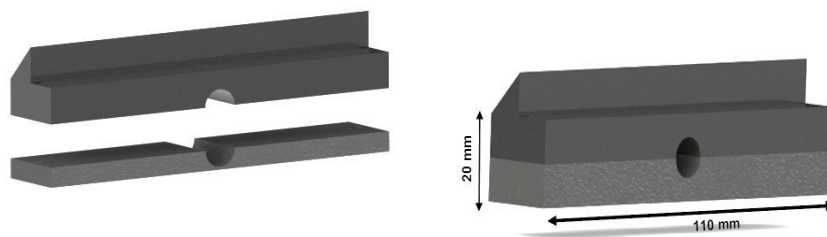
En la Figura A-4 se observa el diseño del soporte para el sensor ultrasonido superior del bastón con sus respectivas dimensiones.

**Figura A-4:** Soporte de sensores



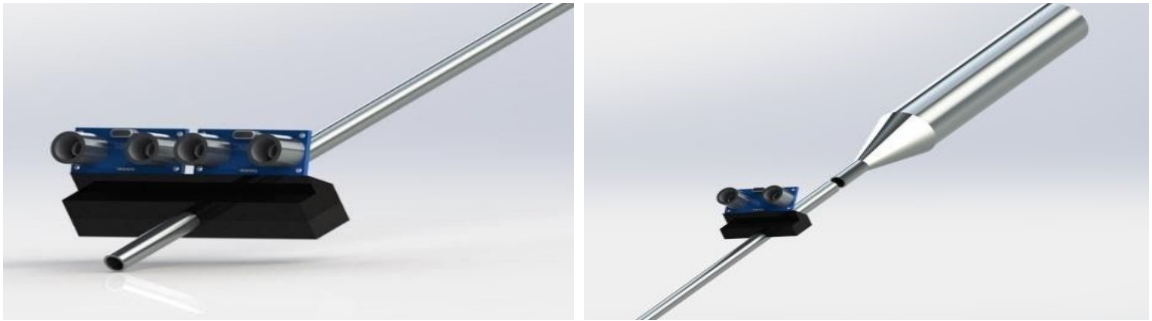
En la Figura A-5 se observa el diseño del mango del prototipo de bastón con sus respectivas dimensiones.

**Figura A-5:** Soporte del bastón de dos sensores



En la Figura A-6 se observa el diseño de los soportes con cada uno de sus sensores del prototipo de bastón.

**Figura A-6:** Sensores y soportes



**Figura A-7:** Mango del bastón con soporte.

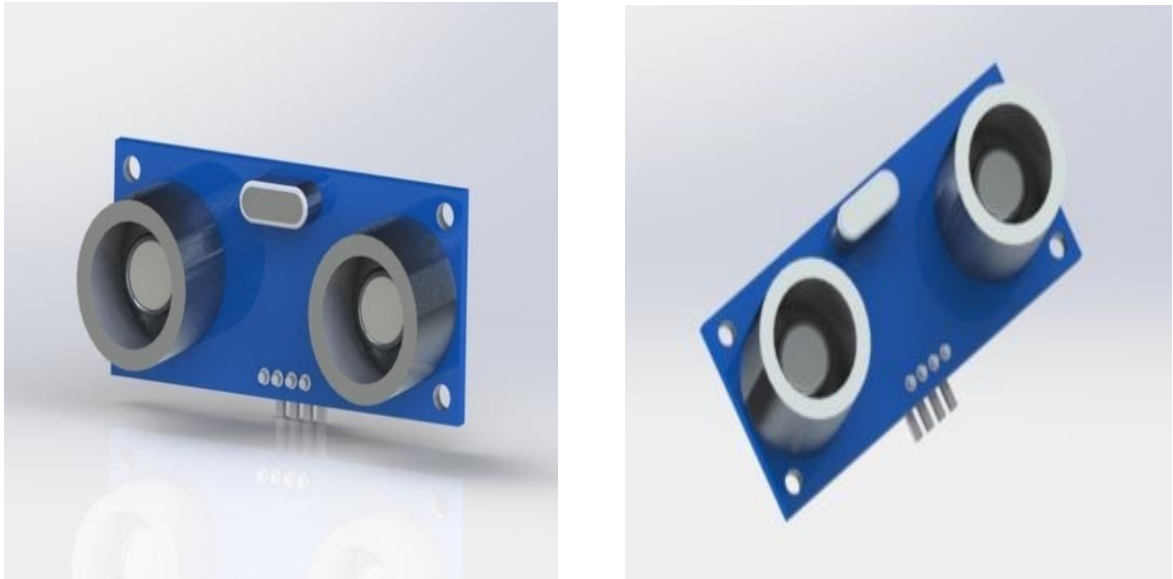


En la Figura A-8 se observa el diseño completo del bastón con cada uno de sus componentes.

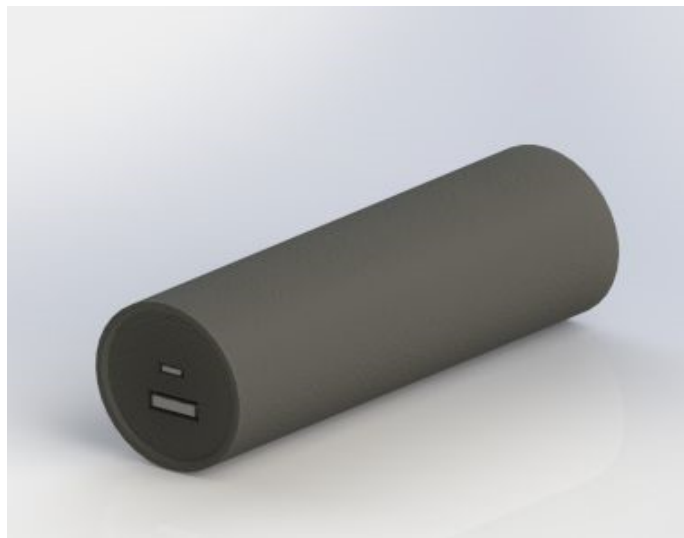
**Figura A-8:** Diagrama de bastón ensamblado



**Figura A-9:** Modelado 3D HC-SR04



**Figura A-10:** Batería del sistema.



**Figura A-11:** ensamble del bastón casero



**Figura A-12:** incorporación del mango prototipo



**Figura A-13:** primer prototipo de soporte

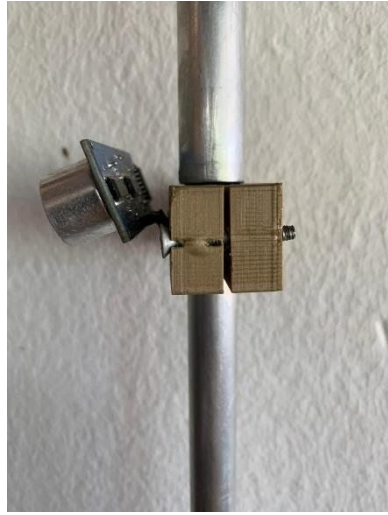


## B. Anexo: Seccionado del módulo ensamblado con un bastón casero

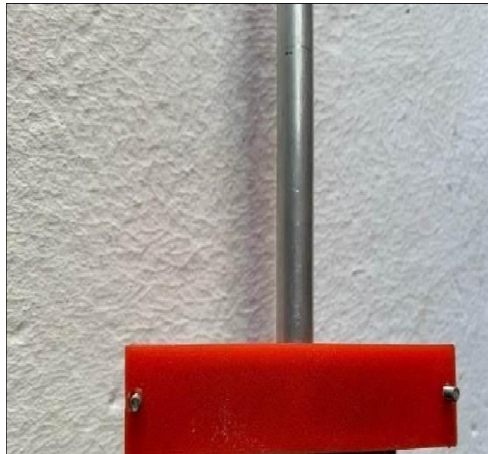
Figura B-1: bastón casero con módulo sensorial instalado



Figura B-2: soportes diseñados sección 1



**Figura B-3:** soportes diseñados sección 2



## **C. Anexo: Instalación de los controladores XRDP, VLC y BLUEZ**

Debido a la necesidad de trabajar de una forma más practica se instala el controlador XRDP con los siguientes comandos en la terminal de la tarjeta raspberry.

```
Sudo apt-get update
```

```
Sudo apt-get upgrade
```

```
Sudo nano apt-get install xrdp tightvncserver
```

Seguido se usan los comandos:



```
Sudo apt-get update
```

```
Sudo nano apt-get install vlc
```

Y una vez terminadas el proceso anterior se instala el controlador bluetooth de la Raspberry usando los comandos:

```
Sudo apt-get update
```

```
Sudo apt-get upgrade
```

```
Sudo apt-get install bluetooth bluez-utils blueman
```

## C. Anexo: Algoritmo

```
#import os
#import RPi.GPIO as GPIO
#time

#GPIO.setmode(GPIO.BCM)
#Temp=4
#Trig1 = 17
#Echo1= 27
#Trig2 = 19
#Echo2= 26
#Trig3 =6
#Echo3= 13
#Led=5 distancia1p=0
#distanciapromedio=0
#piloto=1 pilotoant=0
#Temp35=0
#GPIO.setup(Temp,GPIO.IN)
#GPIO.setup(Trig1,GPIO.OUT)
#GPIO.setup(Echo1,GPIO.IN)
#GPIO.setup(Trig2,GPIO.OUT)
#GPIO.setup(Echo2,GPIO.IN)
#GPIO.setup(Trig3,GPIO.OUT)
#GPIO.setup(Echo3,GPIO.IN)
#GPIO.setup(Led,GPIO.OUT) GPIO.setup(7,GPIO.OUT)
#vibrador = GPIO.PWM(7, 100)
#vibrador.start(0)

#GPIO.output(Trig1,False)
#GPIO.output(Trig2,False)
```

```

#GPIO.output(Trig3,False)
#GPIO.output(Led,False)
#try:
    #while True:
        #GPIO.output(Trig1,True)
        #time.sleep(0.00001)
        #GPIO.output(Trig1,False)
        #inicio = time.time()
        #GPIO.input(Echo1)==0:
        #Inicio = time.time()
        #GPIO.input(Echo1)==1:
        #final = time.time()
        #diferencia = final- inicio
        #Temp35=GPIO.input(Temp)
        #Temp35=Temp35*5/10240

        #distancia1 = ((diferencia * 34300)/2
        #distancia1= 1.0694*distancia1 + 0.0478

        #GPIO.output(Trig2,True)
        #time.sleep(0.00001)
        #GPIO.output(Trig2,False)
        #inicio = time.time()
        #while GPIO.input(Echo2)==0:
            #inicio = time.time()
        #while GPIO.input(Echo2)==1:
            #final = time.time()
        #diferencia = final- inicio
        #distancia2 = ((diferencia * 34300)/2
        #distancia2= 1.0694*distancia2 + 0.0478

        #GPIO.output(Trig3,True)
        #time.sleep(0.00001)
        #GPIO.output(Trig3,False)
        #inicio = time.time()
        #while GPIO.input(Echo3)==0:
            #inicio = time.time()
        #while GPIO.input(Echo3)==1:
            #final = time.time()
        #diferencia = final- inicio
        #distancia3 = ((diferencia * 34300)/2
        #distancia3= 1.0694*distancia3 + 0.0478

        #if distancia1 < 200 :
        #distancia1p=distancia1
        #else:

```

```

#distancia1p=201 if
#distancia2 < 200:
#distancia2p=distancia2
#else:
#distancia2p=201
    #if distancia3 < 200:
    #distancia3p=distancia3
    #else:
    #distancia3p=201

#if distancia1p > 0:
    #if distancia2p > 0:
    #distanciapromedio=distancia1p+distancia2p
    #distanciapromedio=distanciapromedio/2

    #else:
    #distanciapromedio=distancia1p

    #if distancia2p > 0:
    #distanciapromedio=distancia2p
    #else:
    #distanciapromedio= distanciapromedio

    #if distanciapromedio > 200:
    #piloto=4

    #if distanciapromedio > 150:
        #if distanciapromedio < 200:
        #piloto=3

    #if distanciapromedio > 100:
        #if distanciapromedio < 150:
        #piloto=2

    #if distanciapromedio > 50:
        #if distanciapromedio <100:
        #piloto=1

    #if piloto != pilotoant :
        #if distanciapromedio > 200:
        #GPIO.output(Led,False)
        #os.system('cvlc --play-and-exit sonidos/50cm.wav')

    #if distanciapromedio > 150 :
        #if distanciapromedio < 200 :
        #GPIO.output(Led,False)

```

```
        #os.system('cvlc--play-and-exit sonidos/100cm.wav')

    #if distanciapromedio > 100 :
        #if distanciapromedio < 150:
            #GPIO.output(Led,False)
            #os.system('cvlc--play-and-exit sonidos/150cm.wav')

    #if distanciapromedio > 50 :
        #if distanciapromedio < 100 :
            #GPIO.output(Led,False)
            #os.system('cvlc --play-and-exit sonidos/200cm.wav')

    #if distancia3p < 100 :
        #if distancia3p > 50 :
            #vibrador.ChangeDutyCycle(50)
        #if distancia3p < 50 :
            #vibrador.ChangeDutyCycle(100)
            #GPIO.output(Led,True)
            #os.system('cvlc--play-and-exit sonidos/49cm.wav')
            #piloto=pilotoant

#time.sleep(3)
#except KeyboardInterrupt:
#GPIO.cleanup()
```

# Bibliografía

Lizárraga González, C. R. (2018). Propuesta para el diseño de un bastón electrónico para personas invidentes que mejorara la calidad de su desplazamiento diario.

Ayala Cruz, E. L. (2011). *Diseño y construcción del prototipo de un sistema electrónico por ultrasonido para medir distancias aplicada a un bastón blanco* (Bachelor's thesis).

Espinoza Moncayo, D. A., & Peña Mendoza, C. D. (2015). *Diseño e implementación de un prototipo de gafas electrónicas con comunicación bluetooth a un celular para la detección de objetos circundantes que servirá como ayuda para personas no videntes* (Bachelor's thesis).

Moromenacho Oña, O. A., Peralta, Y., & Danilo, J. (2019). *Desarrollo de un lazarillo robótico apoyado con visión artificial para el guiado de personas invidentes* (Bachelor's thesis).

Martínez-Núñez, L. B., Molina-Tinoco, J. A., Peñalosa-Mendoza, G. R., Hernández-Sánchez, N. K., & Guizar-Rojas, E. (2017, August). Construcción de bastón inteligente para personas con discapacidad visual. In *Memorias del Congreso Nacional de Ingeniería Biomédica* (Vol. 2, No. 1, pp. 149-152).

Adrianzen Brocq, R. A., & Puma Carrasco, G. (2019). Diseño y desarrollo de un sistema portable de proximidad para invidentes que permite el uso de ambas manos.

Mora Guerrero, J. A. (2017). *Sistema de mobiliario de cocina para personas con discapacidad visual a la mano* (Bachelor's thesis, Universidad Piloto de Colombia).

Mosquera Sandoval, J. A., & Rodríguez Burbano, D. J. (2014). Sistema de reconocimiento de obstáculos para movilidad de Invidentes.

CONTRERAS, C. A. A. H. (2010). *ROBOT EDUCACIONAL PROGRAMABLE DESDE EL PC, UTILIZANDO TECNOLOGIA MICROCHIP Y RABBIT, PARA LABORATORIOS DE LA* (Doctoral dissertation, UNIVERSIDAD AUSTRAL DE CHILE).

Utreras, Ñ., & Lorena, N. (2004). *Desarrollo de un dispositivo que mida la distancia a un objeto emulando el efecto de un bastón blanco para personas invidentes* (Bachelor's thesis, QUITO/EPN/2004).

Álvarez, L. A. R., & Salazar, J. C. (2015). *Diseño de un sistema de control de nivel para la preparación de líquidos dializantes basado en señales ultrasónicas* (Doctoral dissertation, Universidad Tecnológica de Pereira. Facultad de Tecnologías. Tecnología en Mecatrónica).

Rojas Icabcaceta, J. D., & López Gutiérrez, E. D. (2017). *Integración de módulo electrónico en bastón para mejorar la detección de obstáculos en el desplazamiento de las personas ciegas* (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de Ingeniería).

Rodríguez, D. A. A. (2010). *Control y medida de nivel de líquido con señales de ultrasonido* (Doctoral dissertation, Universidad Tecnológica de Pereira. Facultad de Tecnologías. Tecnología Eléctrica).

Mancera Salinas, C. C. (2016). Mi tiflo virtual, evaluación de accesibilidad a información Web para estudiantes con discapacidad visual.

VILLAR CLOQUELL, J. A. V. I. E. R. (2015). *PROPUESTA METODOLÓGICA PARA IMPULSAR EL DESARROLLO DE NUEVAS APLICACIONES PARA LAS PERSONAS CIEGAS O CON VISIÓN REDUCIDA A TRAVÉS DEL ANÁLISIS DE LA VIGILANCIA TECNOLÓGICA EN EL SECTOR DE LA TIFLOTECNOLOGÍA* (Doctoral dissertation).

Vázquez, Y. A. G., & Jiménez, M. C. (2012). Estudio de caso a una adolescente con dependencia en la necesidad de seguridad y protección, por deficiencia de proteína C. *Enfermería universitaria*, 9(2), 37-45.

Casals, B. C. (2007). Movilidad con perro-guía: bastón y guía vidente como elementos complementarios de familiarización con nuevos entornos. *Revista sobre ceguera y deficiencia visual*, 33-37.

Domínguez, I. S. Efecto del Cross-talk en la respuesta de un Transductor Ultrasónico tipo I

González Ermakov, M. (2019). *Modulación por ancho de pulso de alta resolución en FPGA* (Bachelor's thesis).

Rasal Blasco, L. Ataques a las comunicaciones sin hilos y sus principales métodos de mitigación.

(2015). Obtenido de <https://core.ac.uk/download/pdf/71398381.pdf>

AMAZON. (s.f.). <https://www.amazon.es>. Obtenido de <https://www.amazon.es:https://www.amazon.es/Aluminio-Baston-Blanco-Plegable-Secciones/dp/B07BDDM6F5>

Ayala Cruz, E. L. (2011). *Diseño y construcción del prototipo de un sistema electrónico por ultrasonido para medir distancias aplicada a un bastón blanco* (Bachelor's thesis).

*baston.online*. (2018). Obtenido de [baston.online](https://baston.online): <https://baston.online>

Rasal Blasco, L. Ataques a las comunicaciones sin hilos y sus principales métodos de mitigación.

Mosquera Sandoval, J. A., & Rodríguez Burbano, D. J. (2014). Sistema de reconocimiento de obstáculos para movilidad de Invidentes.

Cabezas Gagñay, A. P. (2017). *DISEÑO DE UN BASTÓN GUÍA PARA PERSONAS NO VIDENTES, CON SENSORES DE LUZ, HUMEDAD Y ULTRASONIDO, INCORPORANDO UN LOCALIZADOR PARA EL BASTÓN, POR MEDIO DE ONDAS DE RADIO FRECUENCIA INALÁMBRICA* (Doctoral dissertation).

Cáceres Lugo, A. C. (15 de 04 de 2015). Obtenido de <https://es.slideshare.net/monsegimenez37/rehabilitacin-del-no-vidente>

Cloquell, .. V. (mayo de 2015). Obtenido de <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/53241/VILLAR%20-%20PROPUESTA%20METODOL%C3%93GICA%20PARA%20IMPULSAR%20EL%20DESARROLLO%20DE%20NUEVAS%20APLICACIONES%20PARA%20LAS%20PERSO....pdf?sequence=1>

Codina, B. (2007). Movilidad con perro-guía: bastón y guía vidente como elementos complementarios de familiarización con nuevos entornos. *revista sobre ceguera y deficiencia visual*, 8-10.

Comercio, E. (27 de marzo de 2017). Obtenido de <https://www.elcomercio.com/afull/baston-personas-novidentes-historia-salud.html>

CONTRERAS, C. A. (2010). Obtenido de <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2010/bmfcih565r/doc/bmfcih565r.pdf>

dagorret. (16 de Marzo de 2017). *www.dagorret.com.ar*. Obtenido de [www.dagorret.com.ar](http://www.dagorret.com.ar): <https://www.dagorret.com.ar/configurar-bluetooth-linux-bluez-hcitool/>

DFRobot. (09 de abril de 2018). Obtenido de <https://www.dfrobot.com/blog-901.html>

DIGITAL, I. (4 de Octubre de 2018). *www.aimdigital.com.ar*. Obtenido de [www.aimdigital.com.ar](http://www.aimdigital.com.ar): <https://www.aimdigital.com.ar/el-dia-del-baston-blanco/>

dominguez, I. s. (2013). Obtenido de [http://oa.upm.es/23319/1/ISRAEL\\_SANCHEZ\\_DOMINGUEZ.pdf](http://oa.upm.es/23319/1/ISRAEL_SANCHEZ_DOMINGUEZ.pdf)

Ermakov, M. G. (junio de 2019). Obtenido de [https://repositorio.uam.es/bitstream/handle/10486/689071/gonzalez\\_ermakov\\_mario\\_tfg.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.uam.es/bitstream/handle/10486/689071/gonzalez_ermakov_mario_tfg.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Espinoza Moncayo, D. A. (Enero de 2015). <https://dspace.ups.edu.ec>. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec>: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/10424>

Goplani, S. S. (2018). *Analisis, caracterizacion y calibracion de sensores de bajo coste para arduino*. san cristobal de la laguna.

Hernandez, L. d. (2018). <https://programarfacil.com>. Obtenido de <https://programarfacil.com>: <https://programarfacil.com/blog/arduino-blog/sensor-ultrasonico-arduino-medir-distancia/>

infobae. (25 de marzo de 2017). <https://www.infobae.com>. Obtenido de <https://www.infobae.com>: <https://www.infobae.com/discapacidad/2017/03/25/baston-blanco-el-curioso-origen-de-la-herramienta-esencial-de-toda-persona-no-vidente/>

INSTRUMENTS, N. (1 de Enero de 2019). <https://knowledge.ni.com>. Obtenido de <https://knowledge.ni.com>:

<https://knowledge.ni.com/KnowledgeArticleDetails?id=kA00Z0000019OkFSAU&l=es-CO>

interesante, m. (2015). <https://www.muyinteresante.es>. Obtenido de <https://www.muyinteresante.es>: <https://www.muyinteresante.es/curiosidades/preguntas-respuestas/icomofunciona-elbaston-para-ciegos>

INTERESANTE, M. (s.f.). [www.muyinteresante.es](http://www.muyinteresante.es). Obtenido de [www.muyinteresante.es](http://www.muyinteresante.es): <https://www.muyinteresante.es/curiosidades/preguntas-respuestas/icomofunciona-elbaston-para-ciegos>

Jesus Albero Mosquera sandoval, d. j. (2014). Obtenido de <http://repositorio.unicauca.edu.co:8080/bitstream/handle/123456789/1909/SISTEMA%20DE%20RECONOCIMIENTO%20DE%20OBST%C3%81CULOS%20PARA%20MOVILIDAD%20DE%20INVIDENTES.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

latinoamerica, b. i. (s.f.). <https://brailler.cr>. Obtenido de <https://brailler.cr>: <https://brailler.cr/bastones/42--baston-de-identificacion-de-aluminio-plegable.html>

Lewis, M. (17 de Noviembre de 2018). <https://diyodemag.com>. Obtenido de <https://diyodemag.com>: [https://diyodemag.com/education/secret\\_code\\_scheduling\\_tasks\\_with\\_cron\\_on\\_raspberrypi](https://diyodemag.com/education/secret_code_scheduling_tasks_with_cron_on_raspberrypi)

linder, b. (16 de Noviembre de 2018). <https://liliputing.com>. Obtenido de <https://liliputing.com>: <https://liliputing.com/2018/11/raspberry-pi-software-update-brings-vlc-media-player-with-hardware-accelerated-video-playback.html>

Lizárraga González, C. R. (12 de 12 de 2018). <https://repositorio.continental.edu.pe>. Obtenido de <https://repositorio.continental.edu.pe>: <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/5202>

LUIS ALBERTO NIETO MARTELO, C. V. (2015). <http://repositorio.uac.edu.co>. Obtenido de <http://repositorio.uac.edu.co>: <http://repositorio.uac.edu.co/handle/11619/1654>

manuti. (11 de junio de 2013). [www.raspberryparatorpes.net](http://www.raspberryparatorpes.net). Obtenido de [www.raspberryparatorpes.net](http://www.raspberryparatorpes.net): <https://raspberryparatorpes.net/instalacion/xrdp-escritorio-remoto-en-raspberry/>

MECAFENIX, I. (25 de Febrero de 2019). <https://www.ingmecafenix.com>. Obtenido de <https://www.ingmecafenix.com>: <https://www.ingmecafenix.com/automatizacion/sistema-de-control/>

Mintrabajo. (26 de 12 de 2019). Obtenido de [https://www.mintrabajo.gov.co/prensa/mintrabajo-es-noticia/2019/-/asset\\_publisher/5xJ9xhWdt7lp/content/salario-m-c3-adnimo-para-2020-ser-c3-a1-de-877.802](https://www.mintrabajo.gov.co/prensa/mintrabajo-es-noticia/2019/-/asset_publisher/5xJ9xhWdt7lp/content/salario-m-c3-adnimo-para-2020-ser-c3-a1-de-877.802)

Moromenacho Oña, O. A. (2019). <https://dspace.ups.edu.ec>. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec>: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/17692>

OKDIARIO. (20 de Febrero de 2019). <https://okdiario.com>. Obtenido de <https://okdiario.com>: <https://okdiario.com/curiosidades/como-usa-baston-ciegos-3724897>

ONLINEORTO. (s.f.). <https://articulo.mercadolibre.com.mx>. Obtenido de <https://articulo.mercadolibre.com.mx>: [https://articulo.mercadolibre.com.mx/MLM-653253301-baston-para-invidente-plegable-adultoinfantil-medical-store-\\_JM?quantity=1&variation=34199117079](https://articulo.mercadolibre.com.mx/MLM-653253301-baston-para-invidente-plegable-adultoinfantil-medical-store-_JM?quantity=1&variation=34199117079)

OPS. (2006). <https://www.paho.org>. Obtenido de <https://www.paho.org>: [https://www.paho.org/uru/index.php?option=com\\_content&view=article&id=451:285-millones-personas-discapacidad-visual-segun-](https://www.paho.org/uru/index.php?option=com_content&view=article&id=451:285-millones-personas-discapacidad-visual-segun-)



- oms&Itemid=247#targetText=285%20millones%20de%20personas%20con%20dis  
capacidad%20visual%20seg%C3%BAAn%20la%20OMS,-24%20de%20octubre&tar  
Orellana, L. (2008). Obtenido de  
[http://www.dm.uba.ar/materias/estadistica\\_Q/2011/1/clase%20regresion%20simple.pdf](http://www.dm.uba.ar/materias/estadistica_Q/2011/1/clase%20regresion%20simple.pdf)
- Paz, K. (s.f.). *MEDIA ARITMÉTICA SIMPLE*. Obtenido de <http://www.editorialkamar.com/>
- PYTHON, T. D. (s.f.). <http://docs.python.org.ar>. Obtenido de <http://docs.python.org.ar:>  
<http://docs.python.org.ar/tutorial/3/real-index.html>
- RODRIGUEZ, D. A. (Febrero de 2010). Obtenido de  
<https://core.ac.uk/download/pdf/71396098.pdf>
- Romero, A. G. (julio de 2013). Obtenido de  
<http://bdigital.unal.edu.co/12840/1/alexanderguataquiraromero.2013.pdf>
- Rosun, G. V. (Septiembre de 2019). *Tutorial de Pyathon*.
- Vázquez, Y. A. (30 de Marzo de 2012). Obtenido de  
<https://www.medigraphic.com/pdfs/enfuni/eu-2012/eu122e.pdf>

