



**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL**

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA E  
INDUSTRIAS**

**CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA**

**“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE  
NAVEGACIÓN AUTÓNOMO DE UN ROBOT MÓVIL  
CONTROLADO POR VOZ ”**

**TRABAJO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO  
DE INGENIERO MECATRÓNICO**

**JAIME ANDRÉS ALBÁN FERNÁNDEZ**

**DIRECTOR: VLADIMIR BONILLA**

**Quito, Octubre 2017**

© Universidad Tecnológica Equinoccial 2017.  
Reservados todos los derechos de reproducción

**FORMULARIO DE REGISTRO BIBLIOGRÁFICO**  
**PROYECTO DE TITULACIÓN**

| DATOS DE CONTACTO    |  |
|----------------------|--|
| CÉDULA DE IDENTIDAD: | 172275696-0  |
| APELLIDO Y NOMBRES:  | Jaime Andrés Albán Fernández                                 |
| DIRECCIÓN:           | Av. Cacha y Elías Godoy                                      |
| EMAIL:               | <a href="mailto:jaaf015@hotmail.com">jaaf015@hotmail.com</a> |
| TELÉFONO FIJO:       | 02-3485084   |
| TELÉFONO MOVIL:      | 0984945206   |

| DATOS DE LA OBRA                             |   |
|--|---|
| TÍTULO:                                      | " DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE NAVEGACIÓN AUTÓNOMO DE UN ROBOT MÓVIL CONTROLADO POR VOZ "   |
| AUTOR O AUTORES:                             | Jaime Andrés Albán Fernández  |
| FECHA DE ENTREGA DEL PROYECTO DE TITULACIÓN: | 4 de Octubre del 2017   |
| DIRECTOR DEL PROYECTO DE TITULACIÓN:         | Vladimir Bonilla  |
| PROGRAMA                                     | PREGRADO <input checked="" type="checkbox"/> POSGRADO <input type="checkbox"/>  |
| TÍTULO POR EL QUE OPTA:                      | Ingeniero Mecatrónico   |
| RESUMEN: Mínimo 250 palabras                 | Este proyecto propone el desarrollo de un sistema de navegación autónomo para el control y desplazamiento en terrenos planos de un robot móvil mediante comandos de voz. Este trabajo propone una alternativa de comunicación entre usuario y dispositivo autónomo facilitando la operación del mismo, siendo el medio de enlace los comandos de voz emitidos |

|                                |  |
|--------------------------------|--|
|                                | <p>por la persona a través de una aplicación móvil, la cual permite la comunicación entre ellos (robot-usuario), con la finalidad de que se pueda utilizar y aplicar en distintos campos como: medicina, exploración, mejoramiento de procesos, entre otros. El desarrollo de este robot fue realizado por etapas previamente preestablecidas.</p> <p>Cada una de las etapas fueron previamente analizadas y evaluadas, adquiriendo información acerca de cada uno de sus componentes, siendo los sensores la parte primordial para la toma de decisiones, desplazamiento del móvil en el campo, evasión de obstáculos y ejecución de trayectorias previamente establecidas, realizando así varias pruebas previas de funcionamiento de sus partes (mecánica, electrónica, control) para garantizar y corregir posibles errores de conexión, colisiones, programación y montaje de sus elementos evitando así daños en el prototipo.</p> <p>Inicialmente en el documento se analiza y se detallan varios robots móviles con características semejantes al prototipo que se va a diseñar y construir, además del planteamiento de los objetivos. Posteriormente se realiza la metodología del diseño en donde se analizan los requerimientos y restricciones del robot móvil. Otro aspecto que realiza es el desarrollo del diseño electrónico, mecánico y la aplicación móvil del prototipo, mostrando los resultados obtenidos en el diseño del robot móvil, además de la implementación de todas sus partes (mecánica, electrónica y de control) y las respectivas pruebas de funcionamiento del sistema. Finalmente se describen las conclusiones del proyecto que se diseñó y construyó, y las recomendaciones pertinentes para su mejora.</p> |
| <p><b>PALABRAS CLAVES:</b></p> | <p><b>ROBOT</b></p> <p><b>AUTÓNOMO</b></p> <p><b>VOZ</b></p>   |

|                         |  |
|-------------------------|--|
|                         | <p><b>NAVEGACIÓN</b></p>   |
| <p><b>ABSTRACT:</b></p> | <p>This project addresses the development of an autonomous navigation system with voice control and displacement in the lands. This work proposes an alternative of communication between the user and the device that facilitates the operation, there is a link between the voice commands issued by the person through by an Android application, which allows communication between them (robot-user); it can be used and applied in different fields such as: medicine, exploration, process improvement, and others. The development of this robot was performed in stages previously established.</p> <p>Each stage has been previously analyzed and evaluated, acquiring information about each one of its components, being the elements of the primary part for the execution, decision making and the displacement in the field with the evasion of obstacles and previously established paths, thus performing several pre-tests of its parts (mechanics, electronics, control) to guarantee and correct possible connection errors, collisions, programming and assembly of its elements thus avoiding damage in the prototype.</p> <p>Initially the document analyzes and gives detailed information on several mobile robots with similar characteristics to the prototype to be designed and built, and the addition of the objectives. Afterwards the methodology of the design has been accomplished in which the requirements and restrictions of the mobile robot are analyzed. Another aspect is the development of the electronics design, mechanical and the mobile application of the prototype, showing the results obtained in the design of the mobile robot, in addition to the implementation of all its parts (mechanical, electronic and control) and the respective tests of operation of the system. Lastly, there are the conclusions of the project that was designed and constructed, and the pertinent recommendations for its improvement.</p> |

|                 |  |
|-----------------|--|
| <b>KEYWORDS</b> | <b>ROBOT</b><br><b>AUTONOMOUS</b><br><b>NAVIGATION</b><br><b>VOICE</b> |
|-----------------|--|

Se autoriza la publicación de este Proyecto de Titulación en el Repositorio Digital de la Institución.

f. \_\_\_\_\_



**ALBÁN FERNÁNDEZ JAIME ANDRÉS**

**C I: 1722756960**

## DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Albán Fernández Jaime Andrés**, CI 1722275696-0 autor del proyecto titulado: **"Diseño e Implementación de un sistema de navegación autónomo de un robot móvil controlado por voz "** previo a la obtención del título de **Ingeniero en Mecatrónica** en la Universidad Tecnológica Equinoccial.

1. Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las Instituciones de Educación Superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de graduación para que sea integrado al Sistema Nacional de información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.
2. Autorizo a la BIBLIOTECA de la Universidad Tecnológica Equinoccial a tener una copia del referido trabajo de graduación con el propósito de generar un Repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Quito, 04 de Octubre del 2017

f: \_\_\_\_\_



**ALBÁN FERNÁNDEZ JAIME ANDRÉS**

C I: 17222756960

Quito, 04 de Octubre del 2017

## DECLARACIÓN

Yo **Jaime Andrés Albán Fernández**, declaro que el trabajo 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.

La Universidad Tecnológica Equinoccial puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

f: \_\_\_\_\_

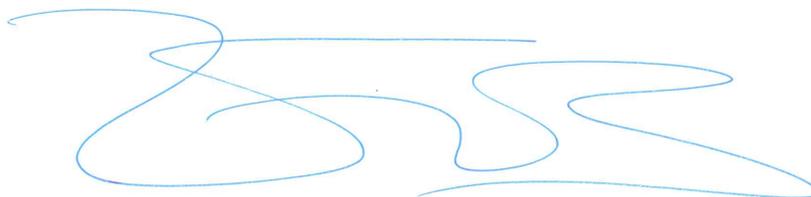


**ALBÁN FERNÁNDEZ JAIME ANDRÉS**

C I: 1722756960

## CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo que lleva por título "**Diseño e Implementación de un sistema de navegación autónomo de un robot móvil controlado por voz**", que, para aspirar al título de **Ingeniera Mecatrónica** fue desarrollado por **Jaime Andrés Albán Fernández**, bajo mi dirección y supervisión, en la Facultad de Ciencias de la Ingeniería e Industrias; y cumple con las condiciones requeridas por el reglamento de Trabajos de Titulación artículos 19, 27 y 28.



---

Vladimir Bonilla  
**DIRECTOR DEL TRABAJO**  
C.I. 1710300045

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo de titulación especialmente a mi familia, mis padres, mis hermanas y abuelita que han sido un pilar fundamental a lo largo de mi carrera, que me han demostrado su apoyo incondicional en cada una de mis etapas de mi vida estudiantil.

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a mi familia, a mis padres y mis amigos que me brindaron su apoyo incondicional a lo largo de toda mi vida y que han sido la fuerza y motivación para seguir adelante y culminar mi carrera universitaria.

# INDICE DE CONTENIDOS

|   | PÁGINA |
|---|--------|
| RESUMEN .....   | iv     |
| ABSTRACT .....  | v      |
| 1. INTRODUCCIÓN A LOS SISTEMAS DE NAVEGACIÓN PARA<br>ROBOTS MÓVILES ..... | 1      |
| 1.1 ROBOTS MÓVILES: CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES.....                      | 2      |
| 2. METODOLOGÍA Y DISEÑO DEL ROBOT MÓVIL .....                             | 7      |
| 2.1 METODOLOGÍA .....   | 7      |
| 2.2 REQUERIMIENTOS Y RESTRICCIONES .....                                  | 8      |
| 2.3 DISEÑO CONCEPTUAL.....  | 9      |
| 2.4 DISEÑO ESPECÍFICO DE LOS COMPONENTES DEL<br>. SISTEMA.....            | 10     |
| DISEÑO ELECTRÓNICO.....   | 10     |
| DISEÑO MECÁNICO .....   | 19     |
| DISEÑO DE LA APLICACIÓN.....  | 24     |
| 3. RESULTADOS DEL ROBOT MÓVIL.....  | 27     |
| 3.1 RESULTADOS DEL DISEÑO MECÁNICO.....                                   | 26     |
| 3.2 RESULTADOS DEL DISEÑO ELECTRÓNICO .....                               | 28     |
| 3.3 RESULTADOS DE LA APLICACIÓN MÓVIL .....                               | 29     |
| 3.4 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO .....                                       | 30     |
| 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....                                    | 34     |
| BIBLIOGRAFÍA.....   | 36     |

# ÍNDICE DE FIGURAS

|   | <b>PÁGINA</b> |
|---|---------------|
| <b>Figura 1.</b> Parámetros de la Navegación .....                                  | 1             |
| <b>Figura 2.</b> Robot AGVS .....   | 3             |
| <b>Figura 3.</b> Robot Microbot Siko.....   | 4             |
| <b>Figura 4.</b> Robot Versatrax 450 tm .....                                       | 4             |
| <b>Figura 5.</b> Robot Secyt-CNEA-DOE .....   | 5             |
| <b>Figura 6.</b> Modelo en V.....   | 7             |
| <b>Figura 7.</b> Sistema Mecatrónico.....   | 9             |
| <b>Figura 8.</b> Filtro RC.....   | 10            |
| <b>Figura 9.</b> Frecuencia de corte del ruido.....                                 | 11            |
| <b>Figura 10.</b> Circuito RC de los sensores.....                                  | 12            |
| <b>Figura 11.</b> Placa Arduino Mega.....   | 12            |
| <b>Figura 12 .</b> Módulo Bluetooth HC-06.....                                      | 13            |
| <b>Figura 13.</b> Integrado L293D .....   | 15            |
| <b>Figura 14.</b> Sensor Infrarrojo Sharp.....                                      | 15            |
| <b>Figura 15.</b> Esquemático de conexión .....                                     | 16            |
| <b>Figura 16.</b> Esquema de los Sensores Infrarrojos .....                         | 17            |
| <b>Figura 17.</b> Esquema Reguladores de Voltaje de Entrada y Modulo Bluetooth..... | 18            |
| <b>Figura 18.</b> Esquema Inversores de Movimiento para los Motor reductores        | 19            |
| <b>Figura 19.</b> Motorreductor DC.....   | 21            |
| <b>Figura 20.</b> Rueda del Motorreductor DC .....                                  | 22            |
| <b>Figura 21.</b> Batería Lipo.....   | 22            |
| <b>Figura 22.</b> Diagrama de Proceso de la Aplicación móvil .....                  | 25            |
| <b>Figura 23.</b> Base del robot móvil.....   | 26            |
| <b>Figura 24.</b> Base – Análisis de Esfuerzos.....                                 | 27            |
| <b>Figura 25.</b> Base – Análisis de Deformaciones.....                             | 27            |
| <b>Figura 26.</b> Prototipo Terminado.....  | 28            |
| <b>Figura 27.</b> Placa Electrónica de Control del Robot móvil .....                | 29            |
| <b>Figura 28.</b> Esquema de la aplicación de control.....                          | 30            |
| <b>Figura 29.</b> Trayectoria en forma de “S” con obstáculos .....                  | 32            |
| <b>Figura 30.</b> Trayectoria en forma de “L” con obstáculos .....                  | 32            |
| <b>Figura 31.</b> Trayectoria en forma de “Lineal” con obstáculos .....             | 33            |

# ÍNDICE DE TABLAS

|  | <b>PÁGINA</b> |
|--|---------------|
| <b>Tabla 1.</b> Microcontroladores .....   | 13            |
| <b>Tabla 2.</b> Módulos Bluetooth .....  | 14            |
| <b>Tabla 3.</b> Inversores de giro para motores DC.....                          | 15            |
| <b>Tabla 4.</b> Sensores infrarrojos.....  | 16            |
| <b>Tabla 5.</b> Dimensiones de los componentes electrónicos del robot móvil..... | 17            |
| <b>Tabla 6.</b> Motorreductores .....  | 21            |
| <b>Tabla 7.</b> Baterías Lipo .....  | 22            |
| <b>Tabla 8.</b> Voltajes y corrientes de los componentes del robot móvil .....   | 23            |
| <b>Tabla 9.</b> Voltajes y corrientes de los componentes del robot móvil .....   | 24            |
| <b>Tabla 10.</b> Tiempo de recorrido de las trayectorias.....                    | 31            |
| <b>Tabla 11.</b> Tiempo de ejecución de los comandos de voz .....                | 31            |

## RESUMEN

Este proyecto propone el desarrollo de un sistema de navegación autónomo para el control y desplazamiento en terrenos planos de un robot móvil mediante comandos de voz. Este trabajo propone una alternativa de comunicación entre usuario y dispositivo autónomo facilitando la operación del mismo, siendo el medio de enlace los comandos de voz emitidos por la persona a través de una aplicación móvil, la cual permite la comunicación entre ellos (robot-usuario), con la finalidad de que se pueda utilizar y aplicar en distintos campos como: medicina, exploración, mejoramiento de procesos, entre otros. El desarrollo de este robot fue realizado por etapas previamente preestablecidas.

Cada una de las etapas fueron previamente analizadas y evaluadas, adquiriendo información acerca de cada uno de sus componentes, siendo los sensores la parte primordial para la toma de decisiones, desplazamiento del móvil en el campo, evasión de obstáculos y ejecución de trayectorias previamente establecidas, realizando así varias pruebas previas de funcionamiento de sus partes (mecánica, electrónica, control) para garantizar y corregir posibles errores de conexión, colisiones, programación y montaje de sus elementos evitando así daños en el prototipo.

Inicialmente en el documento se analiza y se detallan varios robots móviles con características semejantes al prototipo que se va a diseñar y construir, además del planteamiento de los objetivos. Posteriormente se realiza la metodología del diseño en donde se analizan los requerimientos y restricciones del robot móvil. Otro aspecto que realiza es el desarrollo del diseño electrónico, mecánico y la aplicación móvil del prototipo, mostrando los resultados obtenidos en el diseño del robot móvil, además de la implementación de todas sus partes (mecánica, electrónica y de control) y las respectivas pruebas de funcionamiento del sistema. Finalmente se describen las conclusiones del proyecto que se diseñó y construyó, y las recomendaciones pertinentes para su mejora.

## ABSTRACT

This project addresses the development of an autonomous navigation system with voice control and displacement in the lands. This work proposes an alternative of communication between the user and the device that facilitates the operation, there is a link between the voice commands issued by the person through an Android application, which allows communication between them (robot and user); it can be used and applied in different fields such as: medicine, exploration, process improvement, and others. The development of this robot was performed in stages previously established.

Each stage has been previously analyzed and evaluated, acquiring information about each one of its components, being the elements of the primary part for the execution, decision making and the displacement in the field with the evasion of obstacles and previously established paths, thus performing several pre-tests of its parts (mechanics, electronics, control) to guarantee and correct possible connection errors, collisions, programming and assembly of its elements thus avoiding damage in the prototype.

Initially the document analyzes and gives detailed information on several mobile robots with similar characteristics to the prototype to be designed and built, and the addition of the objectives. Afterwards the methodology of the design has been accomplished in which the requirements and restrictions of the mobile robot are analyzed. Another aspect is the development of the electronic design, mechanical and the mobile application of the prototype, showing the results obtained in the design of the mobile robot, in addition to the implementation of all its parts (mechanical, electronic and control) and the respective tests of operation of the system. Lastly, there are the conclusions of the project that was designed and constructed, and the pertinent recommendations for its improvement.

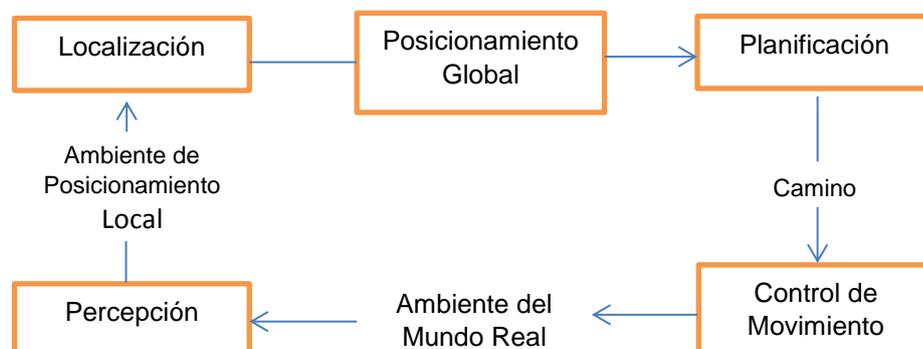
# **1. INTRODUCCIÓN A LOS SISTEMAS DE NAVEGACIÓN PARA ROBOTS MÓVILES**

La robótica móvil constituye una valiosa herramienta en el desarrollo de tecnologías para la creación de robots de navegación autónoma; hoy en día en el país existen en el medio robots manipulados por radio frecuencia (Cárdenas, 2007), por medio de un software de computadora mediante puerto serial, esto ocasiona que los robots sean poco autónomos y limitados en sus funcionalidades. Si bien en la actualidad podemos encontrar una variedad de robots móviles su acceso es limitado debido a la falta de aplicación de esta tecnología en el área educativa y de investigación (Yandún, 2012), lo cual surge como una alternativa de comunicación entre usuario y dispositivo autónomo que es controlado mediante voz facilitando al operario el control del mismo.

Tecnológicamente se busca impulsar la creación de robots móviles (Cárdenas, 2007). Los robots han asumido un papel cada vez más importante en el desarrollo y avance de la civilización moderna y la tecnología. Prácticamente, en cada aspecto de las actividades en la vida diaria está afectado por algún tipo de sistema considerado como robot. Estos se encuentran en gran cantidad en todos los sectores de la industria, es necesario que el robot tenga la capacidad necesaria de ejecutar ciertas tareas a través de su movimiento; es importante conocer previamente el espacio de trabajo. Por ejemplo, para planear una ruta libre de colisión es importante conocer la ubicación de los obstáculos. Se pretende crear un robot inteligente con la finalidad de que se pueda utilizar y aplicar en distintos campos como medicina, exploración, mejoramiento de procesos, etc. a bajo costo de construcción.

Uno de los inconvenientes de un robot móvil es la generación de trayectorias y la manipulación de su movimiento; esta información proviene de un sistema de sensores externos, que permiten su desplazamiento entre dos puntos cualesquiera dentro del entorno de trabajo sin colisiones (Bambino, 2008).

En la Figura 1 se presenta el enfoque y el proceso de los parámetros de la navegación y planificación de trayectorias (Ortiz, 2017).



**Figura 1.** Parámetros de la Navegación

La navegación autónoma de un robot móvil implica la resolución de problemas los cuales están dados bajo los siguientes parámetros:

- **Percepción:** Interpretación de los datos provenientes de los sensores.
- **Localización:** Determinación de su posición dentro del entorno.
- **Planificación:** Acciones que te permiten cumplir los objetivos.
- **Control de Movimiento:** Accionamiento de sus actuadores para realizar la trayectoria definida.

## 1.1 ROBOTS MÓVILES: CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES

Actualmente la tendencia en el desarrollo y construcción de robots móviles para diferentes campos y aplicaciones en la medicina, exploración marítima y terrestre, agro-industria, defensa y vigilancia militar, uso doméstico, transporte de materiales, minería, proyecta independizar al máximo al robot móvil de su operador; esto significa que son capaces de identificar el lugar en donde van a desempeñar sus actividades o realizar trabajos.

Cada tipo de robot móvil posee características específicas en el funcionamiento estructural y sensorial dependiendo del entorno, sea este exterior o interior en donde exista la presencia de objetos estáticos o dinámicos. De acuerdo a las condiciones del entorno de trabajo de un robot móvil sus sistemas de locomoción son los siguientes (Bambino, 2008):

- Sistema terrestre con ruedas
- Sistema terrestre con patas
- Sistema terrestre con cadena o tipo oruga
- Sistema acuático tipo flotante
- Sistema acuático tipo submarino
- Sistema Aéreo

A continuación se describen algunos tipos de robots móviles terrestres.

**Robot AGVS.** Este robot móvil fue construido para el transporte interno de cargas pesadas de forma autónoma en la Figura 2.



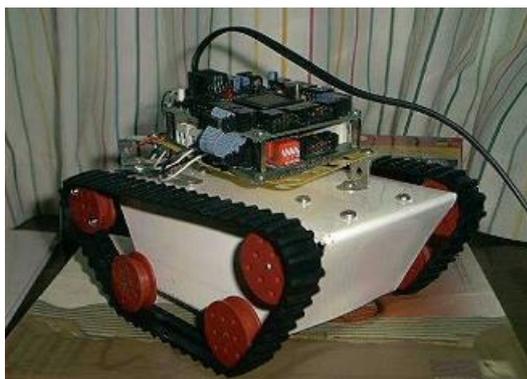
**Figura 2.** Robot AGVS  
(Robotnik, 2017)

Está fabricado de aluminio y acero, posee una mesa elevadora capaz de levantar hasta 500 kg, adicional cuenta con un motor eléctrico de tracción de 500 W y un motor de control de dirección de 60 W. Este robot está equipado en la parte frontal con un láser que detecta objetos y personas y con un sistema de freno mecánico que se acciona cuando una persona entra en la zona de trabajo. Posee una cinemática que le permite el óptimo seguimiento de curvas y evasión de obstáculos con una autonomía de 8 horas. Se comunica mediante Ethernet o Wifi y las dimensiones con las que lo fabricaron son: 175 x 65.2 x 34.5 cm y con un peso de 250 kg.

La Velocidad de desplazamiento con la que este robot lo hace es de: 1.25 m/s. Para su alimentación tiene una batería tipo: LiFePO de 100 Ah a 24 V. Su sistema de Control se lo puede realizar de dos maneras, la primera mediante PC embebida con Linux y la segunda mediante arquitectura abierta ROS. Además posee un sistema opcional de control mediante HMI en la plataforma de monitoreo SCADA o en Linux (Robotnik, 2017).

La navegación la realiza mediante un sensor magnético (antena) que le da información sobre las posibles desviaciones de la posición del robot además de dos sensores laser que entregan información al sistema SLAM.

**Microbot Siko.** Este robot móvil tipo oruga fue diseñado para evadir obstáculos pequeños y que pueda navegar en terrenos no completamente lisos (Figura 3).



**Figura 3.** Robot Microbot Siko  
(Pichardo, 2004)

Fue fabricado con una estructura de aluminio de 2mm de espesor, sus componentes adicionales son piezas de meccano un material parecido al plástico, además tiene un kit de orugas de Cebek tipo C-6083. Para su desplazamiento utiliza servomotores de la marca Hitec HS-303 truncados. Cuenta con una tarjeta CT293+ con la que controla los motores y los sensores y una tarjeta CT6811 en donde está la programación principal del robot. La tarjeta CT6811 lleva el Motorola 68HC11E2 el cual dispone de 2K de memoria EEPROM y 512 bytes de memoria RAM y con la ayuda de la herramienta CTTOOLS se puede controlar el robot y los sensores por medio de una PC. Adicional consta con una alimentación independiente para los motores de 7.2 V y 1200 mA (Pichardo, 2004).

La navegación la realiza mediante 4 sensores infrarrojos tipo CNY70 que adquieren la información del entorno.

**Versatrax 450 tm.** Este robot móvil fue creado para operarlo en lugares riesgosos con el propósito de inspeccionar, manipular y remover objetos de mediano tamaño (Figura 4).



**Figura 4.** Robot Versatrax 450 tm  
(Inuktun, 2017)

Para la construcción de su estructura fue realizada en aluminio con un peso alrededor de las 100 lb. Sus dimensiones de fabricación son 51.1 x 35.1 x 51.6 cm, una de sus características es que posee un brazo manipulador de 38.1 cm incorporado en él una cámara, este brazo manipulador puede cargar objetos entre 16 y 32 lb. Su velocidad de desplazamiento está entre 0 y 9 m/min, en su parte mecánica posee un motor de 1HP y para su sistema trabaja con un voltaje nominal de 115 V (Inuktun, 2017).

La temperatura de trabajo está entre 0 y 40 °C, adicional tiene incorporada una cámara de aluminio tipo Spectrum 90 y la interfaz de trabajo se lo controla por medio de un control remoto o teclado. Para su navegación y desplazamiento lo realiza mediante la cámara incorporada que tiene en su chasis frontal.

**Robot Secyt- CNEA-DOE.** Este robot fue construido como transporte de instrumental con la finalidad de inspeccionar distintos entornos, recopilando información en lugares riesgosos para el ser humano (Figura 5).



**Figura 5.** Robot Secyt-CNEA-DOE  
(Verrastro, 2017)

El material de construcción que se utilizó es el plástico, las dimensiones son: 30x40x30 cm con un peso de estructura de 5 kg, este robot tiene una velocidad máxima de desplazamiento de 1 m/s con una autonomía de una 1 hora. Adicional posee un sensor tipo sonar para evadir obstáculos con una precisión menor a los 5 cm y está incorporado con un radio módem con un alcance de 100 m a 9600 baudios. Está integrada una cámara blanco y negro de 200x200px, esta cámara tiene una movilidad de 3 grados de libertad con un alcance de 50 cm al objeto, tiene incorporado una pinza que puede levantar hasta 500 g de peso (Verrastro, 2017).

Para su desplazamiento tiene servomotores de corriente continua marca IGNIS, modelo MR-8 a 12 V, estos motores son controlados por microcontroladores dedicados AVR tecnología risk, además que tiene un

encoder HP HEDS-5600 que sensa la posición del eje del motor. Se utilizó un puente H LMD18200T DMOS, y tiene 3 tipos de comunicación: inalámbrica con una PC mediante un radio módem, reconocimiento de imágenes y reconocimiento de voz. Para la navegación y adquisición de datos del entorno utiliza sensores infrarrojos y una cámara de video.

Una vez analizadas las diferentes estructuras se concluye que es posible realizar la construcción del robot móvil debido a que existe: la información necesaria sobre sensores, actuadores, materiales, herramientas tecnológicas (softwares), adquisición de datos y varios prototipos con características similares que sirven como de guía para la implementación del presente robot móvil.

Para lograr que el diseño del robot cumpla con las características de los principales representantes se planteó como objetivo general diseñar e implementar un sistema de navegación autónomo de un robot móvil controlado por voz.

Para cumplir esta meta es necesario llevar a cabo los siguientes objetivos específicos:

- Diseñar el Sistema Mecánico.
- Diseñar el Sistema de Sensores y Actuadores.
- Diseñar el Sistema de Control.
- Implementar un Sistema de Reconocimiento y Evasión de Obstáculos.
- Diseñar el Sistema de Navegación.
- Implementar sus partes Mecánicas y Electrónicas.

El alcance del proyecto consiste en desarrollar un prototipo móvil de navegación controlado por voz, el cual reconocerá el comando de voz del usuario, se movilizará netamente en zonas planas y será de pequeñas dimensiones debido a los costos de construcción. El sistema de navegación le permitirá tener algoritmos de evasión de obstáculos que tendrán posibles aplicaciones en el campo de salud, investigación, exploración.

## **2. METODOLOGÍA Y DISEÑO DEL ROBOT MÓVIL**

## 2.1 METODOLOGÍA

Para el presente trabajo se utilizará una metodología basada en el Modelo en V, la que permite orientar el desarrollo de sistemas mecatrónicos, como se indica en la Figura 6.

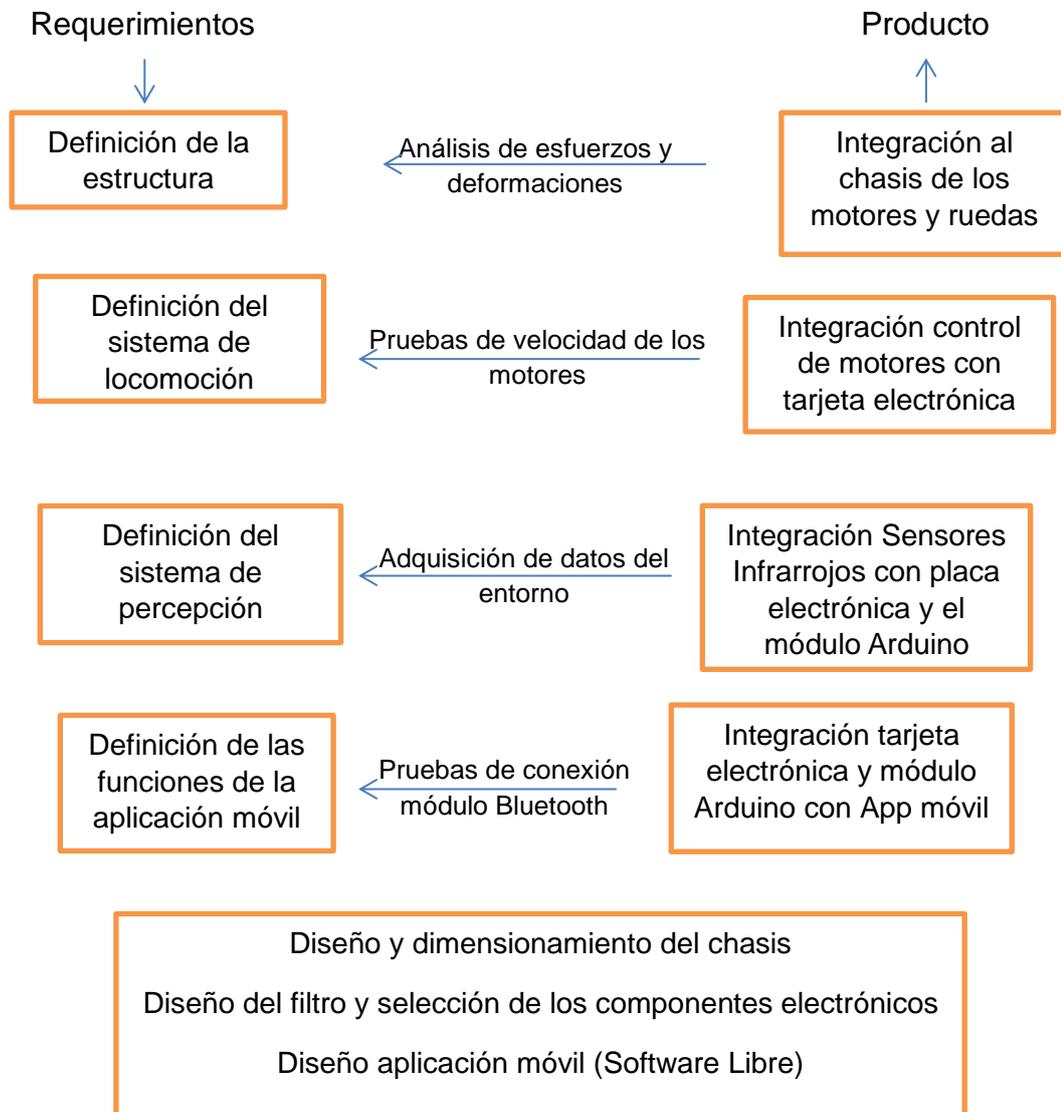


Figura 6. Modelo en V

En esta parte se muestra un resumen de la metodología que se utilizará en el diseño y construcción del robot móvil:

- Definición de la estructura: en esta parte se analizará las dimensiones y forma del chasis del robot móvil.
- Definición del sistema de locomoción: se escogerá el mejor sistema de tracción para el desplazamiento del robot móvil.

- Definición del sistema de percepción: se analizará y escogerá los sensores del robot móvil que le permitan adquirir de la mejor manera la información del entorno.
- Definición de las funciones de la aplicación móvil; en esta etapa se desarrollara las funciones y subfunciones del sistema de control para la ejecución de las órdenes emitidas por el usuario.
- Diseño y dimensionamiento del chasis: se modelada el chasis del robot móvil.
- Diseño del filtro y selección de los componentes electrónicos: se realiza el análisis de todos los componentes necesarios el desarrollo del sistema de control.
- Diseño aplicación móvil: en esta etapa se desarrolla el esquema que tendrá la aplicación móvil.
- Ya definidas y diseñadas todas las partes del robot móvil se realiza la integración de: los motores y ruedas al chasis, control de los motores con la tarjeta electrónica, los sensores infrarrojos con la placa electrónica y el módulo Arduino, la tarjeta electrónica y módulo Arduino con la App móvil.
- En cada una de estas etapas de integración se realizan: análisis de esfuerzos y deformaciones, pruebas de velocidad de los motores, adquisición de datos del entorno, pruebas de conexión del módulo Bluetooth respectivamente.

## **2.2 REQUERIMIENTOS Y RESTRICCIONES**

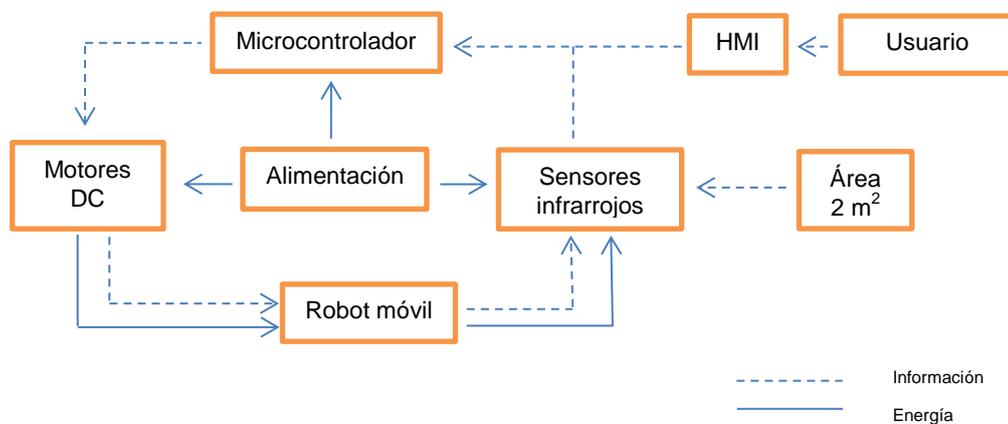
En el diseño del robot móvil se han establecido los siguientes requerimientos, así como restricciones de funcionamiento del mismo:

- Interfaz de comunicación inalámbrica entre el usuario y el robot autónomo.
- Diseño Mecánico con dimensiones de: 30 cm x 20 cm x 10 cm.
- Evasión de obstáculos y seguimiento de trayectorias definidas en un área de 2 m<sup>2</sup>.
- El material a utilizar debe ser capaz de soportar una masa de 200 g, para esto se consideró el uso de un tipo de polímero resistente a la humedad, con características de flexibilidad y rigidez llamado PLA (Alberto, 2017).
- El tiempo de retardo en la emisión de los comandos de voz realizadas por el usuario para la ejecución de las órdenes al robot móvil es de unos pocos milisegundos.
- La velocidad de desplazamiento del robot móvil debe estar comprendida entre 2cm/s - 5 cm/s.
- La carga máxima que puede cargar el robot móvil sin perder velocidad es 400 g.

- La vida útil de los componentes del robot móvil por lo menos es de 2 años, esto varía dependiendo del uso, el desgaste de las ruedas y batería, el desgaste de los elementos electrónicos y por defecto de fábrica
- La batería debe durar entre 20 y 25 minutos en uso continuo.
- La distancia máxima que permite la comunicación inalámbrica entre el módulo Bluetooth del robot móvil y el dispositivo móvil es entre 5 y 10 m.
- El alcance del control de los comandos de voz entre el usuario y el dispositivo móvil es de 1.5 m, aproximadamente.

### 2.3 DISEÑO CONCEPTUAL

Para la realización del diseño de un sistema (Lygin, 2014), se establece varios dominios los cuales describen las características de funcionamiento físicas y lógicas del robot móvil (en este capítulo hay que ser muy específico en la construcción del robot). Además de dividir a la función principal en varias subfunciones



**Figura 7.** Sistema Mecatrónico

La Figura 7 describe las funciones y subfunciones que realiza el robot móvil, iniciando con la conexión entre el robot y la aplicación móvil de forma inalámbrica en donde el usuario ejecuta los comandos de voz por medio del HMI, esta información llega al microcontrolador activando los motores DC del robot móvil permitiéndole su desplazamiento en el entorno de trabajo en un área de 2 m<sup>2</sup>. La información del entorno de trabajo es adquirida por los sensores infrarrojos los cuales se comunican con el microcontrolador que está encargado de procesar los datos recibidos por los sensores y el usuario para posteriormente realizar la orden o trayectoria definida. Tanto microcontrolador, motores DC y sensores infrarrojos se encuentran conectados a la alimentación del sistema.

## 2.4 DISEÑO ESPECÍFICO DE LOS COMPONENTES DEL SISTEMA

En esta sección se realizará el cálculo y selección de los componentes que involucran la construcción del robot móvil considerando las definiciones estructurales, definición del sistema de locomoción, definición del sistema de percepción y la definición de las funciones de la aplicación móvil.

### DISEÑO ELECTRÓNICO

Para el diseño del sistema de control electrónico del robot móvil mediante comandos de voz es importante considerar los componentes necesarios, que estarán integrados para el tratamiento de las señales analógicas adquiridas del entorno por medio de los sensores, el accionamiento de los actuadores, el control por voz realizada desde la aplicación móvil y la tarjeta de control donde estará cargado el programa principal que permitirá ejecutar posteriormente las ordenes emitidas por el usuario al robot.

### DISEÑO DEL FILTRO

Para el diseño electrónico del robot móvil se inició con el cálculo del filtro RC para la eliminación de ruido y perturbaciones en la entrada del sensor infrarrojo. En la Figura 8 se visualiza el esquema del filtro.

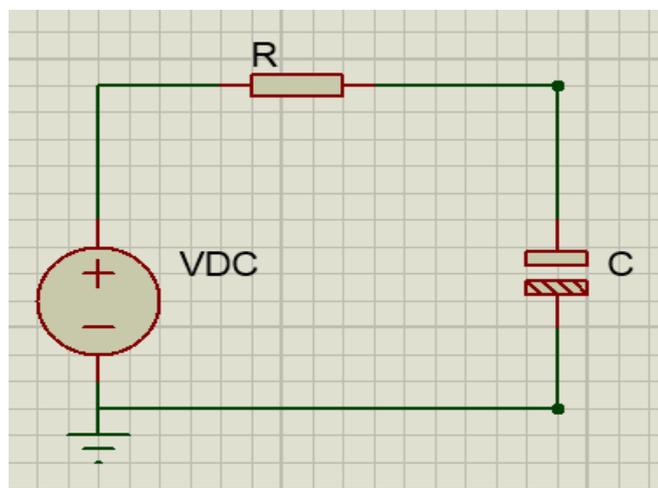
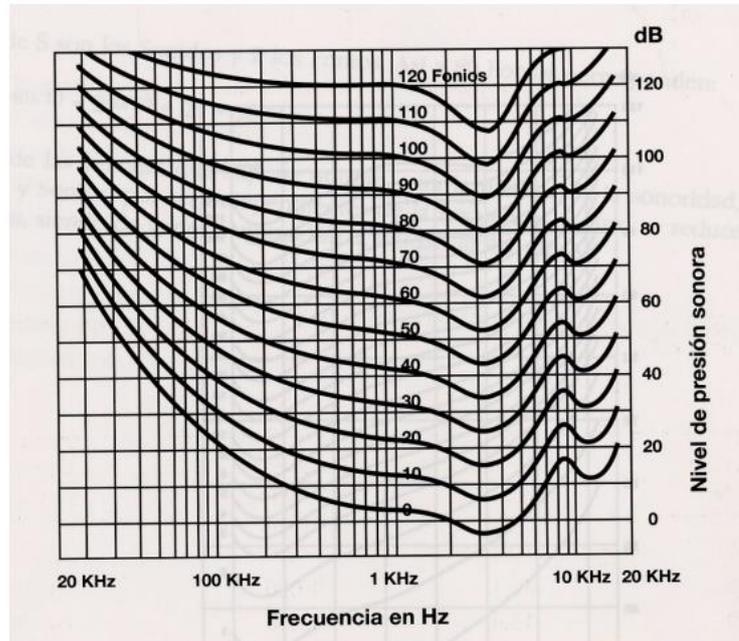


Figura 8. Filtro RC

Datos:

- VDC - Voltaje de polarización: 5V
- $f$  - Frecuencia de Corte: 3000 Hz
- $W$  – Frecuencia de oscilación
- $R$  – Resistencia
- $C$  – Capacitor se asume: 10  $\mu$ F

En la Figura 9 se muestra la frecuencia de propagación del sonido en el aire, escogida para el cálculo de la resistencia del filtro RC.



**Figura 9.** Frecuencia de corte del ruido  
(Segués, 2007)

Partiendo de la ecuación:

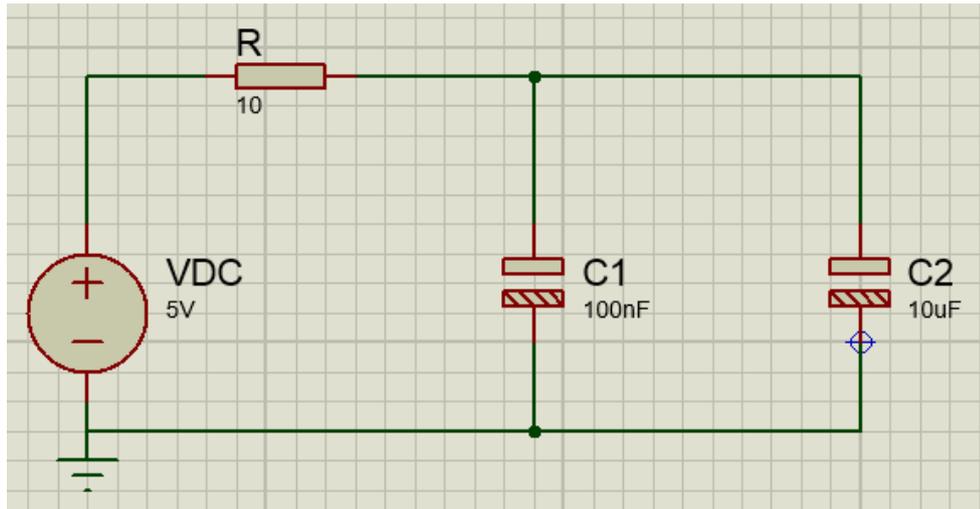
$$W = 2 * \pi * f = 2 * 3.1416 * 3000 = 18849.37 \text{ rad/s} \quad [1]$$

Sabiendo que:

$$W = \frac{1}{R*C} \rightarrow R = \frac{1}{W*C} = 5.3051 \text{ } \Omega \quad [2]$$

Con los valores calculados procedemos a seleccionar los capacitores y resistores para ello es importante que estos componentes estén de acuerdo a valores que existen en el mercado, para la selección de la resistencia se escogió una de  $10 \text{ } \Omega$  (Domínguez, 2014), mientras que para la selección de los capacitores se los escogió de la siguiente manera: C1 de  $100 \text{ nF}$  y C2 de  $10 \text{ } \mu\text{F}$  (Giménez, 2017).

Con la selección de la resistencia y capacitores, en la Figura 10 se muestra los componentes que conforman el filtro RC y su diseño final del circuito.



**Figura 10.** Circuito RC de los sensores

Con el diseño del filtro RC se procede a la selección de los demás componentes electrónicos que formaran parte del diseño de control del robot móvil.

### **MODELO DE LA PLACA ARDUINO MEGA 2560**

Para el control de los motores y sensores del robot móvil se utilizó la placa Arduino Mega 2560 que consta de 54 puertos entre entradas y salidas, además de 16 pines de entradas analógicas como se puede observar en la Figura 11.



**Figura 11.** Placa Arduino Mega  
(Store, 2017)

En la Tabla 1 se muestra dos tipos de placas Arduino con sus características más representativas, debido que se está utilizando 4 motorreductores, se escogió el Arduino Mega ya que este posee 14 pines de entrada PWM que están encargados del control de velocidad de los motores.

**Tabla 1.** Microcontroladores

| Placas            | Características   |
|-------------------|---|
| Arduino Uno       | - 14 pines digitales , 6 PWM<br>- 6 pines análogos. (Uno, 2017) |
| Arduino Mega 2560 | - 54 pines digitales, 14 PWM<br>- 16 pines análogos             |

- Voltaje Funcionamiento : 5V
- Pines Digitales entre entradas y salidas: 54
- Pines Utilizados como PWM: 14
- Entradas Análogas: 16
- Corriente CC de Entradas y Salidas: 20 mA
- Dimensiones: 101.52mm x 53.3 mm
- Peso: 37 gramos
- Velocidad del reloj: 16 MHz
- Microcontrolador: ATmega 2560
- Memoria Flash: 256 KB

### **MÓDULO BLUETHOOT HC-06**

Para poder realizar la comunicación entre el robot móvil y el usuario se realizó una aplicación móvil para esto es necesario el uso del módulo bluetooth HC-06 que nos permite enlazarnos y establecer la comunicación usuario-maquina (Figura 12).



**Figura 12 .** Módulo Bluetooth HC-06  
(Caldas, 2017)

En la Tabla 2 se muestra dos tipos de módulos Bluetooth con sus características más representativas, debido a la facilidad de conexión de cada uno de sus pines con el arduino y su menos consumo de corriente se escogió el Bluetooth HC-06.

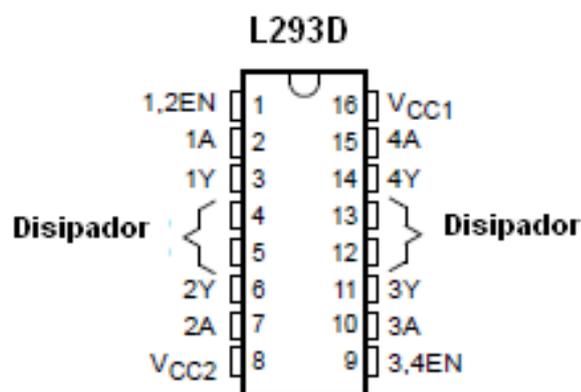
**Tabla 2.** Módulos Bluetooth

| Módulo | Características  |
|--------|--|
| HC-05  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Corriente de consumo: 50 mA</li> <li>- Posee 6 pines de conexión: VCC, GND,RX,TX,KEY, STATUS LED</li> <li>- Pin RX necesita resistencia de conexión. (Electronilab, Módulo Bluetooth HC-05 Serial Rs232, 2017)</li> </ul> |
| HC-06  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Corriente de consumo: 30 mA</li> <li>- Posee 4 pines de conexión: VCC, GND,RX,TX</li> </ul>   |

- Voltaje de Funcionamiento: 3.6V – 6V
- Chip de Radio modelo: CSR BC417143
- Frecuencia de Trabajo: 2.4 GHz
- Potencia de emisión en decibeles:  $\leq 6\text{ db}$
- Alcance conexión: 5 – 10 metros
- Corriente de Consumo: 30 mA – 40mA
- Dimensiones: 17mm x 40mm
- Rango de Temperatura de Operación: -25 a 75 °C
- Módulo de 4 pines: VCC, GND, TXD, RXD

### PUENTE H L293D

Para el control de dirección de los motorreductores DC del robot móvil se utilizó el integrado L293B, que nos permite controlar el sentido de giro de los motores sea estos hacia adelante o de reversa (Figura 13).



**Figura 13.** Integrado L293D  
(Electrónica, 2017)

En la Tabla 3 se muestra dos tipos de integrados que controlan en sentido de giro de un motor DC con sus características más representativas, debido a la corriente de consumo, el voltaje de alimentación y costo se escogió el integrado L293D.

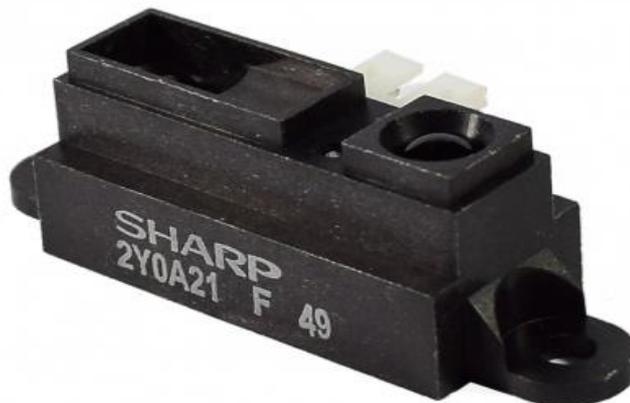
**Tabla 3.** Inversores de giro para motores DC

| <b>Integrado</b> | <b>Características</b>   |
|------------------|--|
| L298             | <ul style="list-style-type: none"><li>- Corriente de consumo por canal<br/>2 A</li><li>- Voltaje de operación: 5 – 12 V</li><li>- Precio: \$ 9 (factory, 2017)</li></ul> |
| L293D            | <ul style="list-style-type: none"><li>- Corriente de consumo por canal<br/>2 A</li><li>- Voltaje de operación: 4.5 – 36 V</li><li>- Precio: \$ 2</li></ul>               |

- Pin de Alimentación Vcc1: 5V
- Pin de Alimentación Vcc2: 4.5V – 36V
- Corriente de Operación: 600 mA
- Consta de 4 Amplificadores Operacionales que forman dos puente H que son los pines: 1Y, 2Y, 3Y, 4Y
- Temperatura de Trabajo: 0 a 70 °C
- Dimensiones: 13mm x 7.6mm

## **SENSOR INFRARROJO SHARP**

Para la adquisición de datos del entorno en que se va a desempeñar el robot móvil y cumplir con sus funciones establecidas es necesario utilizar un sensor infrarrojo marca SHARP GP2Y0A21YKOF (Figura 14).



**Figura 14.** Sensor Infrarrojo Sharp  
(Teslabeem, 2017)

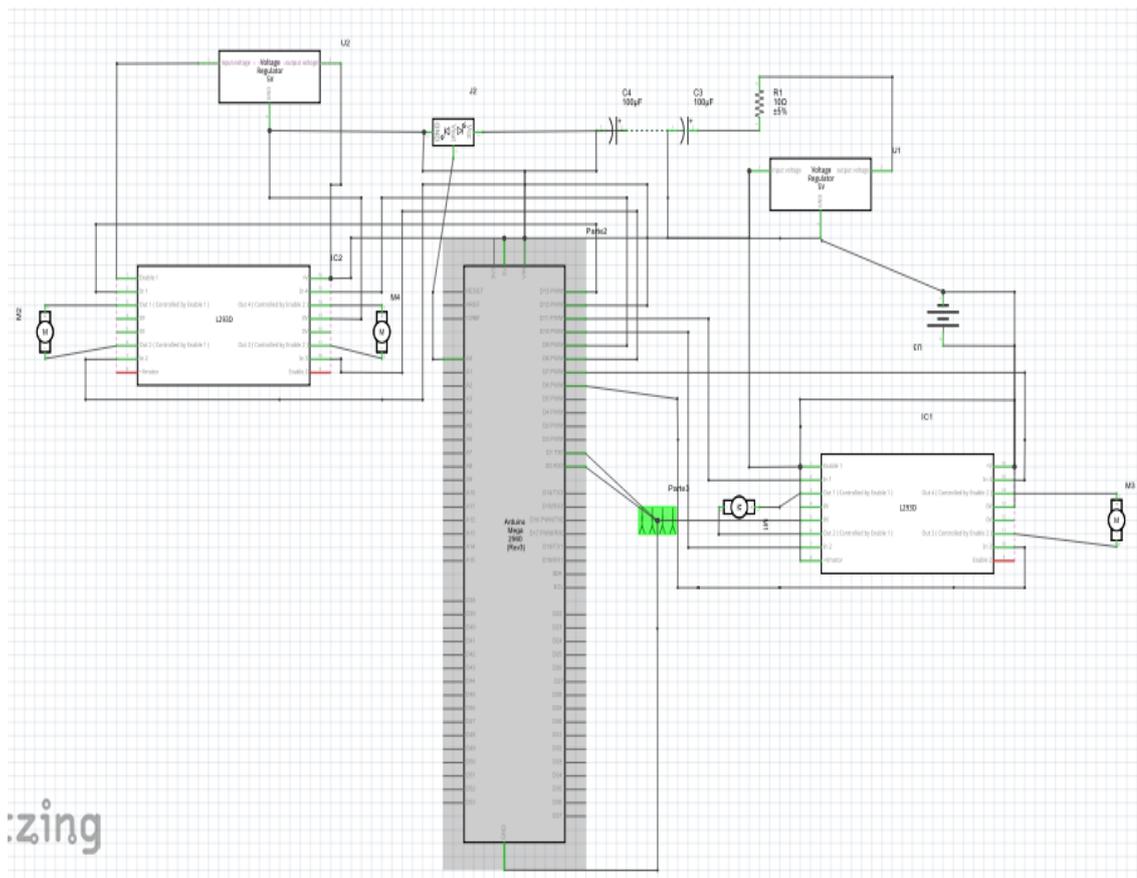
En la Tabla 4 se muestra dos tipos de sensores infrarrojos que permiten la adquisición de información del entorno, con sus características más representativas, debido a sus pines de conexión y ángulo de medición se escogió el sensor infrarrojo Sharp.

**Tabla 4.** Sensores infrarrojos

| Sensores | Características  |
|----------|--|
| Sharp    | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Posee 3 pines de conexión: VCC, GND, Señal</li> <li>- Rango de medición: 30°</li> </ul>                         |
| HC-SR04  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Posee 4 pines de conexión: VCC, GND, Trigger, Echo</li> <li>- Rango de medición: 15° (Factory, 2017)</li> </ul> |

- Rango de medición: 10 – 80 cm
- Corriente: 30 mA
- Voltaje de Trabajo: 4.5V – 5.5V
- Dimensiones: 29.5 mm x 13 mm x 13.5 mm
- Tiempo de Respuesta: 38 +/- 10 ms
- Peso: 3.5 g

Ya seleccionados los componentes del sistema electrónico se realizará a breves rasgos un esquema de conexión de los elementos a la placa de control Arduino como se muestra en la Figura 15.



**Figura 15.** Esquemático de conexión

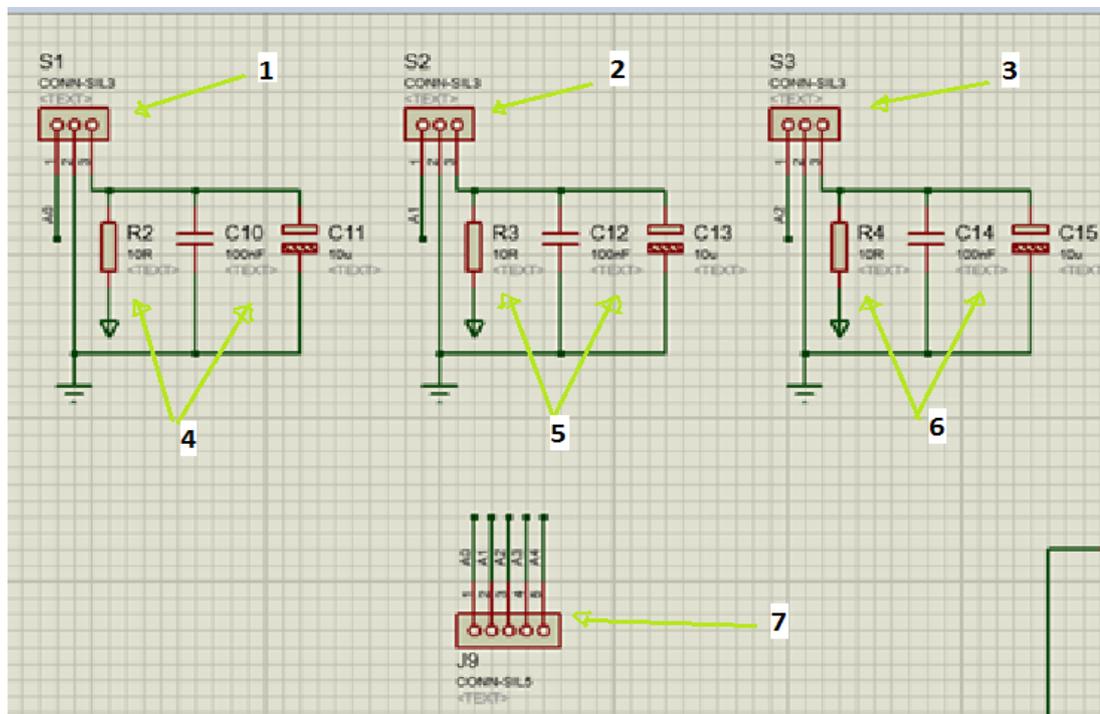
La Figura 15 muestra brevemente la conexión de los actuadores que se encuentran en los pines digitales PWM 6 -13, el sensor infrarrojo conectado en el pin analógico AO encargado de leer la señal, módulo Bluetooth que consta de 4 pines uno VCC, GND y RXD, TXD, el filtro RC conectado en la entrada de alimentación del sensor infrarrojo, la fuente de alimentación hacia el arduino, los reguladores de voltaje conectados hacia los integrados L293D.

A continuación en la Tabla 5 se resume las dimensiones de los elementos que conformaran en diseño electrónico del robot móvil.

**Tabla 5.** Dimensiones de los componentes electrónicos del robot móvil

| Componentes      | Dimensiones (mm) |
|------------------|------------------|
| Placa Arduino    | 101.52 x 53.3    |
| Módulo Bluetooth | 17 x 40          |
| L293D            | 13 x 7.6         |
| Batería Lipo     | 105 x 33 x 24    |
| Sensor Sharp     | 29.5 x 13 x 13.5 |
| Filtro RC        | 30 x 30          |

En la Figura 16 se visualiza la simulación que se lo realizó en el simulador electrónico.



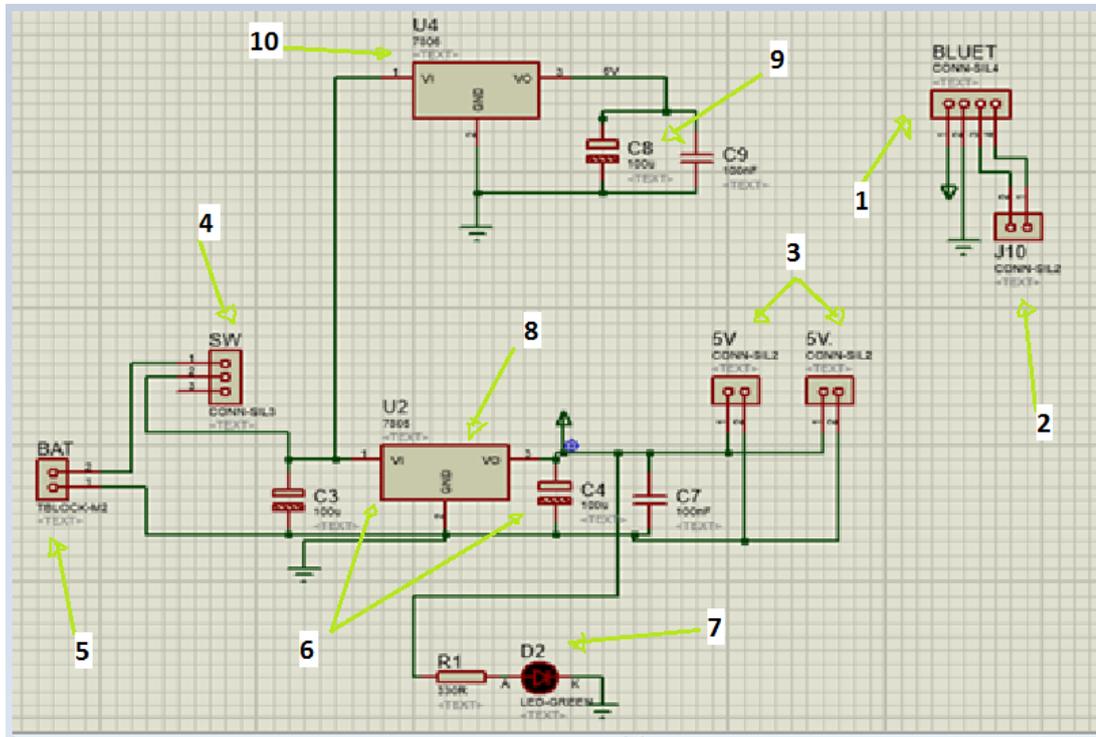
**Figura 16.** Esquema de los Sensores Infrarrojos

Los componentes que conforman la Figura 16 son los siguientes:

- 1 - 3 son los sensores infrarrojos Sharp.

- 4 - 6 son los filtros de cada uno de los sensores infrarrojos
- 7 son los sockets de conexión de los sensores hacia el módulo Arduino Mega 2560.

En la Figura 17 se visualiza el resultado de los reguladores de voltaje de entrada las entradas para el arduino, módulo bluetooth y para el puente H.

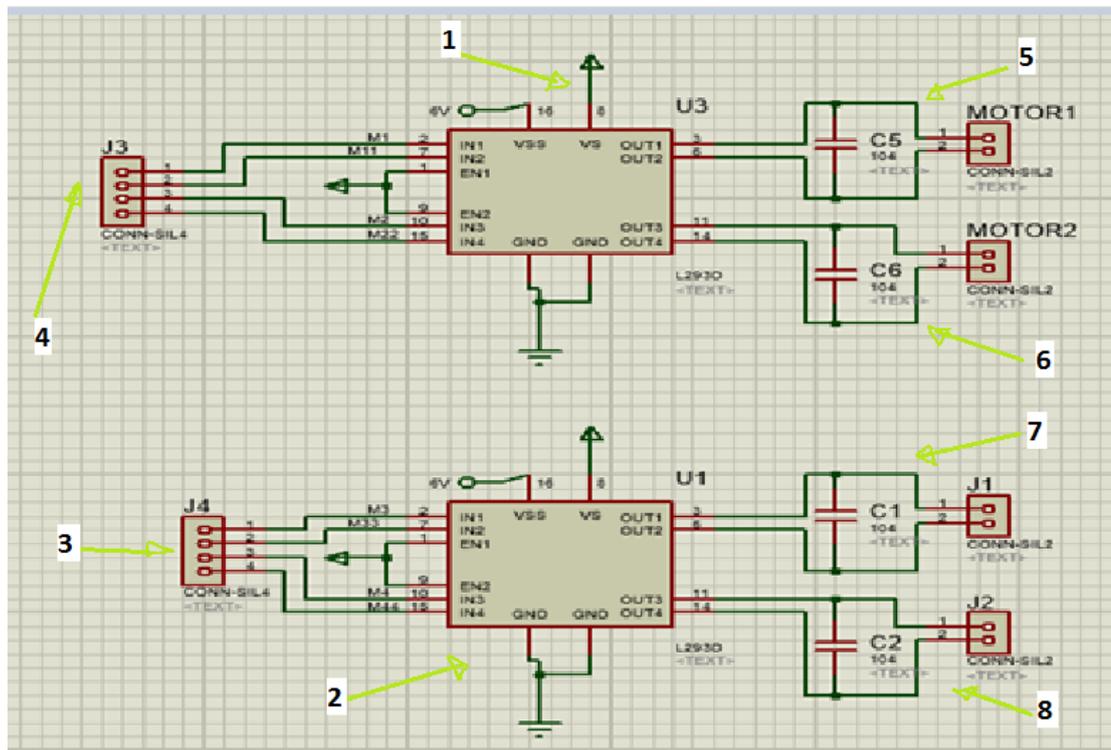


**Figura 17.** Esquema Reguladores de Voltaje de Entrada y Modulo Bluetooth

Los componentes que se muestra en la Figura 17 están descritos de la siguiente manera:

- 1 módulo Bluetooth.
- 2 Socket de conexión del módulo bluetooth hacia el arduino.
- 3 Sockets de 5 voltios de alimentación para los puente h y módulo arduino.
- 4 Socket de conexión de la batería Lipo y los reguladores de voltaje 7805 y 7804 respectivamente.
- 5 Batería de alimentación del circuito.
- 6 Capacitores conectados al 7805 que sirven de filtros de picos de tensión.
- 7 Led que indica cuando está encendida la tarjeta de control.
- 8 Regulador 7805.
- 9 Capacitores conectados al 7804 que sirven de filtros de picos de tensión.
- 10. Regulador 7804.

En la Figura 18 se visualiza el resultado del circuito de conexión de los motorreductores.



**Figura 18.** Esquema inversores de movimiento para los motor reductores

Sus componentes están descritos de la siguiente manera:

- 1 - 2. Son los Integrados L293D o puente H que permite la inversión de giro de los motorreductores.
- 3 - 4 Sockets de Alimentación para el puente H.
- 5 - 8 Son los motorreductores del robot móvil.

## DISEÑO MECÁNICO

Para la construcción y dimensionamiento del robot móvil se consideraron principalmente las medidas de los elementos electrónicos y mecánicos que son: arduino mega, sensores infrarrojos, batería Lipo, motores DC, tarjeta electrónica de control, llantas, módulo Bluetooth, cables; detallados en la Tabla 5.

## SELECCIÓN DEL MOTOR

Para el cálculo del torque se necesita conocer el peso del chasis y de cada uno de los componentes que los detallaremos a continuación:

- Peso del Chasis: 409.48 g
- Peso Arduino: 37 g

- Peso de la batería de Lipo: 197 g
- Peso Sensor Infrarrojo Sharp: 3.5 g
- Peso del módulo Bluetooth: 3 g
- Peso materiales (cables, resistencias, capacitores, reguladores de voltaje, puente h): 35 g
- Distancia: 6.5 cm
- Fuerza: 0.6849 kg

Para el cálculo del torque la siguiente ecuación con los datos anteriormente descritos.

$$\tau = F * d \quad [3]$$

En donde:

- $\tau$  – Torque (N\*m)
- $F$  – Fuerza (N)
- $d$  – distancia (m)

$$\tau = 0.1090 \text{ N} * \text{m}$$

Para el cálculo de la potencia mecánica aplicamos la siguiente ecuación:

Datos:

- $v$  – Velocidad: 0.025 m/s
- $\tau$  – Torque: 0.1090 N\*m
- $w$  - Velocidad Angular
- $R$  - Radio de Giro: 6.5 cm = 0.065 m
- $I$  – Corriente
- $P$  – Potencia
- $V$  – Voltaje de polarización: 6V

$$P = \tau * w \quad [4]$$

$$P = \tau * \frac{v}{R}$$

$$P = 0.0503 \text{ W}$$

$$P = V * I \quad [5]$$

De la ecuación [4] despejamos la corriente y tenemos

$$I = \frac{P}{V} = 8.3846 \text{ mA}$$

Con el torque calculado en la ecuación [5] procedemos a selección del motorreductor, como se indica en la Figura 19



**Figura 19. Motorreductor DC**  
(Electronilab, Ingeniería y Diseño Electrónico, 2017)

En la Tabla 6 se muestra dos tipos de motores DC que permiten, con sus características más representativas, debido al torque, dimensiones y costo, se escogió el motorreductor DC.

**Tabla 6. Motorreductores**

| <b>Motorreductores</b> | <b>Características</b>  |
|------------------------|---|
| Motorreductor          | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Dimensiones: 7 x 2.2 x 1.8 cm</li> <li>- Precio: \$ 6</li> <li>- Torque: 800 kgf*cm</li> </ul>                 |
| Motorreductor de metal | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Dimensiones: 7.2 x 2.5 x 0.95 cm</li> <li>- Precio: \$ 25</li> <li>- Torque: 250 N* cm (Ebay, 2017)</li> </ul> |

- Voltaje: 3V a 6V
- Torque máximo: 800kgf \*cm
- Dimensiones: 7x2.2x1.8 cm
- Corriente: 130 a 150 mA
- Velocidad con Carga: 175 rev/min
- Torque de Salida 1.1 kg\*cm

## **RUEDAS PARA EL MOTORREDUCTOR DC**

Ya escogido el motorreductor DC que se va utilizar en el robot móvil se procede al seleccionar las ruedas de mejor funcionabilidad para los motores. En la Figura 20, tenemos la rueda seleccionada.



**Figura 20.** Rueda del Motorreductor DC  
(RCEXTREMO, 2015)

- Dimensión de la rueda: 65 mm x 26 mm
- Dimensión del centro del agujero: 5.3 mm x 3.66 mm

## SELECCIÓN DE LA FUENTE

Las baterías Lipo son utilizadas en distintas aplicaciones robóticas tales como: aviones, helicópteros, carros de radiocontrol. Estas baterías son recargables y ligeras. Y su tiempo de vida útil depende de la carga y descarga. En la Figura 21 se muestra la selección de una batería tipo Lipo de marca Turnigy de las siguientes características.



**Figura 21.** Batería Lipo  
(Hstore, 2017)

En la Tabla 7 se muestra dos tipos baterías tipo Lipo que permiten, con sus características más representativas, debido a su voltaje y corriente se escogió la batería lipo de 11.1 V y 2.2 A.

**Tabla 7.** Baterías Lipo

| Motorreductores | Características   |
|-----------------|---|
| Lipo nano TECH  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Voltaje: 7.4 V</li> <li>- Corriente: 2 A</li> <li>- Numero de celdas: 2 (libre, 2017)</li> </ul> |
| Lipo TURNIGY    | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Voltaje: 1.1 V</li> <li>- Corriente: 2.2 A</li> <li>- Numero de celdas: 3</li> </ul>             |

- Capacidad Máxima: 2200 mA
- Voltaje: 11.1 V
- Configuración: 3S1P de 3 celdas
- Peso: 188 gramos
- Dimensiones: 105mm x 33mm x 24mm
- Constante de Descarga: 25C
- Puerto de Carga tipo: JST-XH

## DISEÑO DEL CHASIS DEL ROBOT MÓVIL

Con la información previa detalla en la Tabla 5, selección del motor y ruedas para el motorreductor DC; se procedió a diseñar su estructura en Solid Works siendo las medidas del robot móvil de: 25 cm de largo x 18 cm de ancho x 7.2 cm de altura.

## SELECCIÓN DEL MATERIAL

Para la selección del material de construcción del robot móvil que se muestra en la Tabla 8. Se escogió este material por la facilidad de adquisición en el mercado, de maquinado fácil y de costo no muy elevado.

**Tabla 8.** Voltajes y corrientes de los componentes del robot móvil

| <b>Material</b> | <b>Características</b>   |
|-----------------|--|
| PLA             | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Facilidad de impresión</li> <li>- Material Resistente, translucido</li> <li>- Poca contracción entre capas (poco agrietamientos)               <ul style="list-style-type: none"> <li>- Material no tóxico</li> </ul> </li> <li>- Temperatura de impresión: 190 – 220 °C (3d, 2017)               <ul style="list-style-type: none"> <li>- Densidad: 1.23 g/cm<sup>3</sup></li> <li>- Costo: \$ 20 - 45 por kg</li> </ul> </li> </ul> |
| ABS             | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Resistente a impactos</li> <li>- Soporta temperaturas altas</li> <li>- Poca absorción de humedad</li> <li>- Facilidad de procesado (Mariano, 2011)               <ul style="list-style-type: none"> <li>- Densidad: 1.05 g/cm<sup>3</sup></li> </ul> </li> <li>- Costo: \$ 3 con dimensiones de: 200 x 250 x 5 mm</li> </ul>  |
| Acrílico        | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Resistente a la intemperie</li> <li>- Permite el paso de la luz</li> <li>- Es un material dieléctrico</li> <li>- Material inflamable (Pérez, 2012)               <ul style="list-style-type: none"> <li>- Densidad: 1.18 g/cm<sup>3</sup></li> </ul> </li> <li>- Costo: \$ 117 con dimensiones de: 1220 x 2440 x 5 mm</li> </ul>  |

La Tabla 9 resume el consumo de voltajes y corrientes de cada uno de los componentes principales del sistema mecánico y electrónico del robot móvil.

**Tabla 9.** Voltajes y corrientes de los componentes del robot móvil

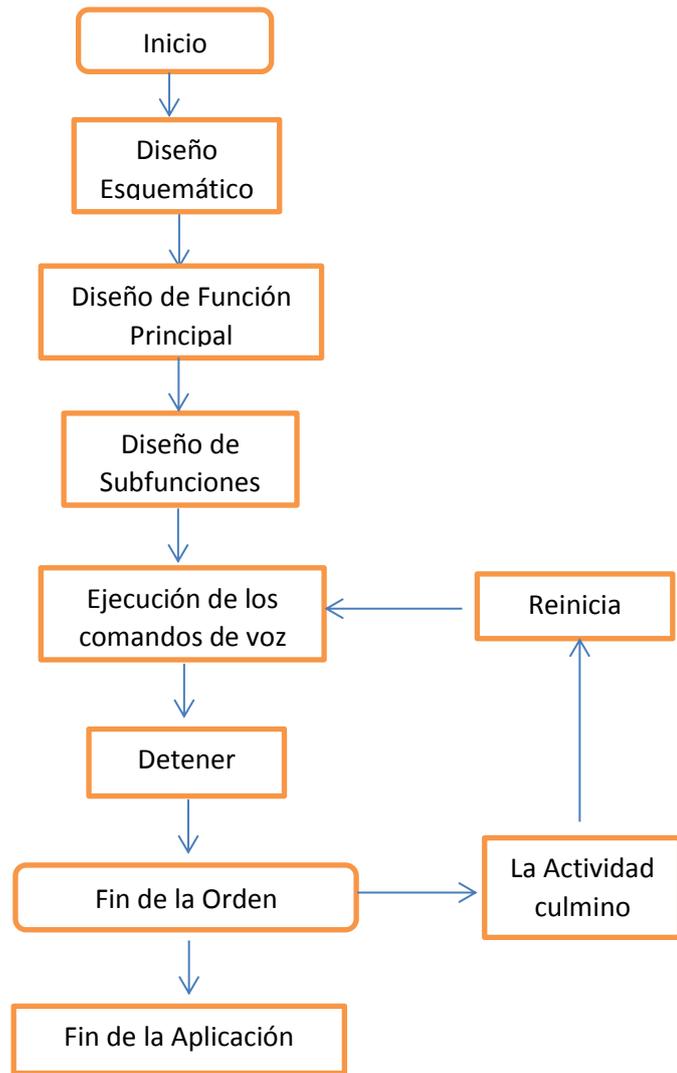
| <b>Elementos</b>        | <b>Voltaje (V)</b> | <b>Corriente (mA)</b> | <b>Cantidad</b> |
|-------------------------|--------------------|-----------------------|-----------------|
| Arduino Mega 2560       | 5                  | 20                    | 1               |
| Módulo Bluetooth        | 5                  | 30                    | 1               |
| Sensor infrarrojo Sharp | 5                  | 30                    | 1               |
| Integrado L293D         | 5                  | 600                   | 2               |
| Motorreductor DC        | 6                  | 130                   | 4               |
| Filtro RC               | 5                  | 20                    | 1               |

Con la selección de la fuente de alimentación (Batería Lipo) para el robot móvil se concluye que tanto el voltaje como la corriente son suficientes para que todos sus componentes mecánicos y electrónicos funcionen, la corriente total que se necesita es de: 1800 mA, mientras que la corriente máxima de la batería Lipo es de 2200 mA.

El voltaje de consumo de los componentes del robot móvil es de 11 V repartidos 6 V para los motorreductores DC y 5 V para los integrados L293D, sensor Sharp, Arduino Mega 2560 y filtro RC, mientras que el voltaje de la batería Lipo es de 11.1 V.

## **DISEÑO DE LA APLICACIÓN**

Para el diseño de la aplicación Android del robot móvil se utilizó el software libre, a continuación se realiza un esquema en donde se visualizará las etapas del diseño en la Figura 22.



**Figura 22.** Diagrama de Proceso de la Aplicación móvil

En la Figura 22 se representa el proceso de funcionamiento de la aplicación móvil, iniciando por diseño esquemático en donde se distribuyen los espacios de los botones, títulos y conexión bluetooth.

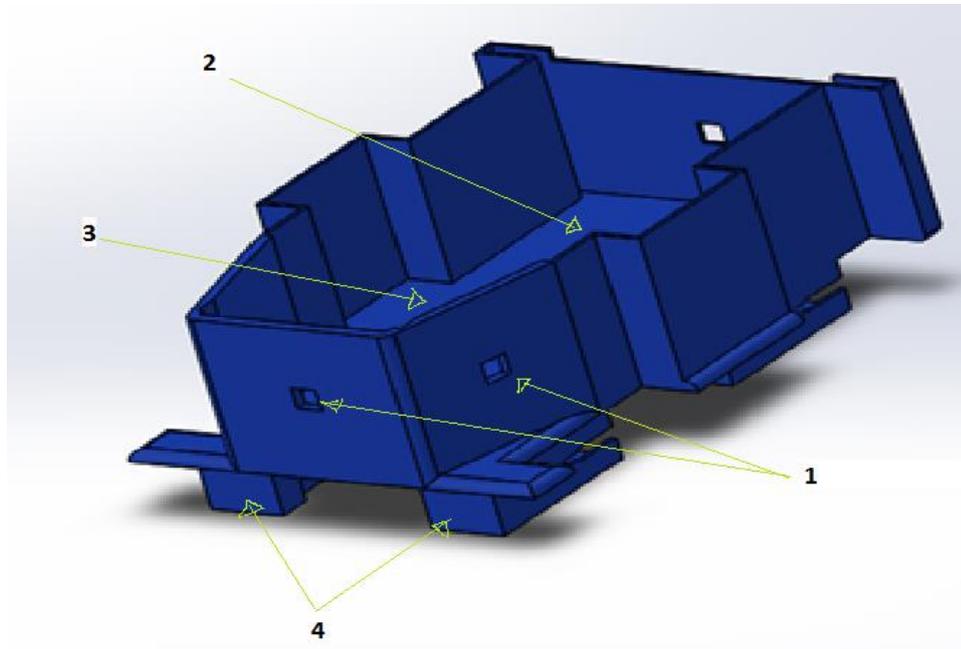
Posteriormente el diseño de la función principal que es el reconocimiento de voz, dentro de esta función están las subfunciones del sistema representadas por las palabras: adelante, derecha, izquierda, trayectoria uno, trayectoria dos, trayectoria tres y detener. Siguiendo la ejecución de cada una de ellas, la culminación de las ordenes en donde al terminar la orden emitida por el usuario esta se reinicia y retorna a la parte de los comandos de voz donde se puede volver a emitir cualquiera de las ordenes antes mencionadas. Finalmente la parte de desconexión y cierre de la aplicación móvil.

Una vez analizados, seleccionados y calculados los diferentes componentes electrónicos, mecánicos y la aplicación Android del robot móvil se concluye que es posible construir el robot móvil debido a que existe: la información necesaria sobre sensores, actuadores, materiales, herramientas tecnológicas (softwares), para la implementación de sus partes.

### **3. RESULTADOS DEL ROBOT MÓVIL**

### 3.1 RESULTADOS DEL DISEÑO MECÁNICO

El resultado de la estructura mecánica del robot móvil se puede observar en la Figura 23, su modelado se la realizó mediante una herramienta CAD en el cual se dimensionó cada una de las piezas que lo conforman.

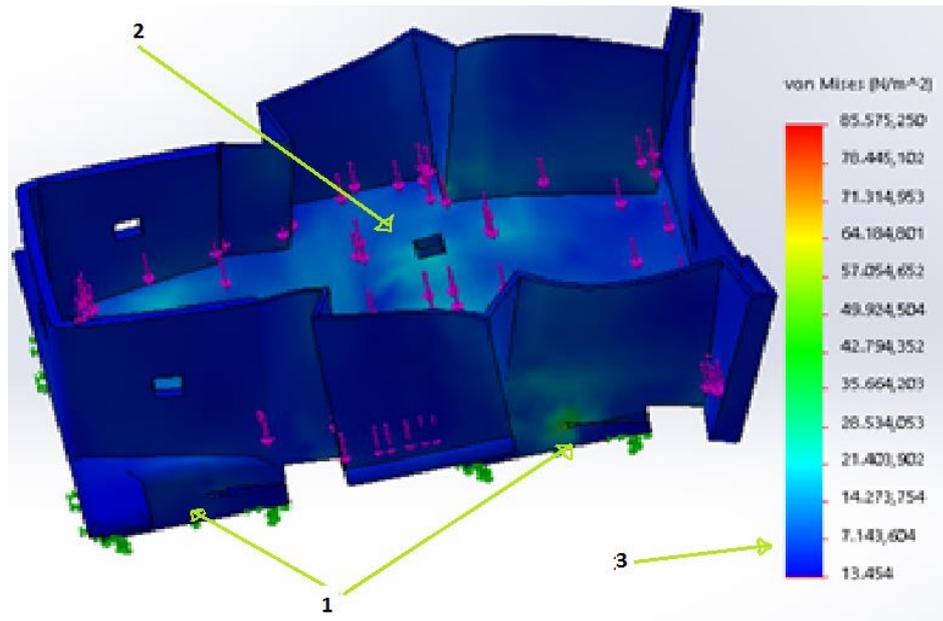


**Figura 23.** Base del robot móvil

La posición y montaje de los componentes están representados de la siguiente forma:

- 1 Montaje de los sensores infrarrojos.
- 2 En esa área se encuentra la batería de alimentación y el módulo Arduino.
- 3 En esa área se encuentra la placa electrónica.
- 4 En esa parte se colocan los motores DC con sus respectivas ruedas.

En la Figura 24 se observa el resultado del análisis de esfuerzo que sufre la estructura mecánica del robot móvil.

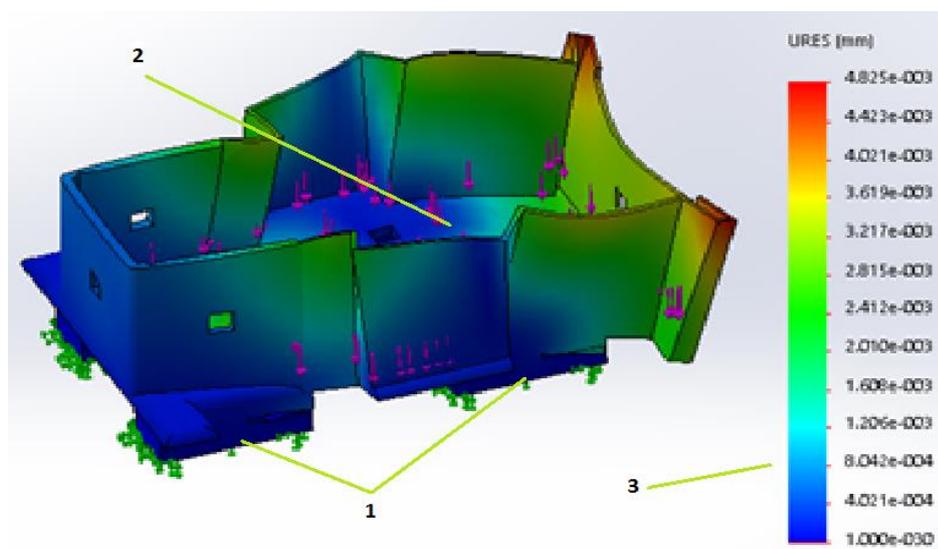


**Figura 24.** Base – Análisis de Esfuerzos

Para el análisis de esfuerzos al que fue sometida la estructura mecánica del robot móvil, se consideraron los siguientes aspectos:

- 1 Son los soportes fijos para el análisis.
- 2 En el área que se indica, es donde se coloca la carga distribuida (módulo Arduino, tarjeta de control, motores DC, batería de alimentación).
- 3 Son los resultados de los esfuerzos que indican las zonas más críticas en donde la estructura sufre mayor carga.

En la Figura 25 se observa el resultado del análisis de deformaciones que sufre la estructura mecánica del robot móvil.



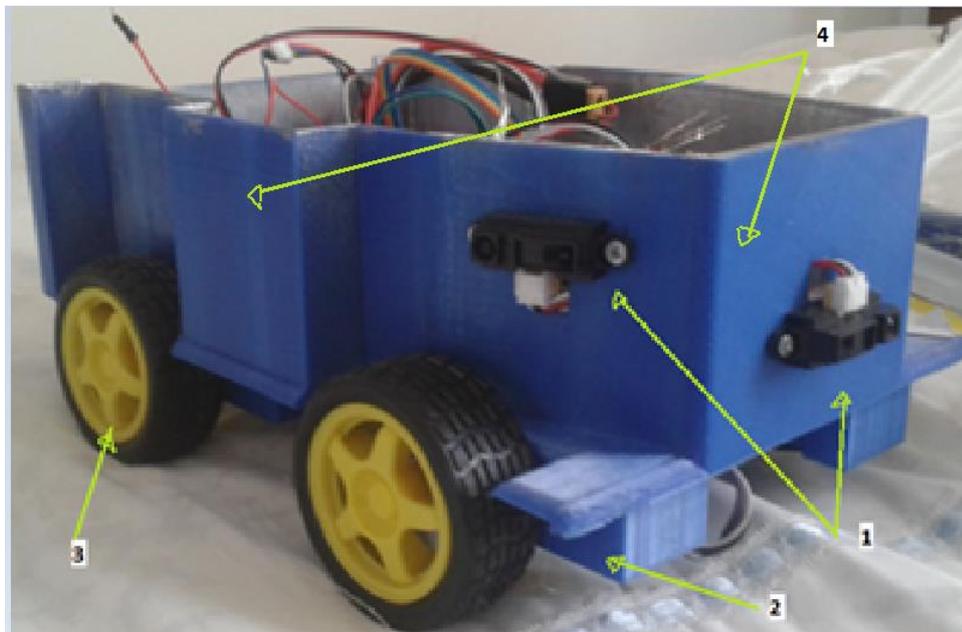
**Figura 25.** Base – Análisis de Deformaciones

Para el análisis de deformaciones al que fue sometida la estructura mecánica del robot móvil, se consideró los siguientes aspectos:

- 1 Son los soportes fijos para el análisis.
- 2 En el área que se indica, es donde se coloca la carga distribuida (módulo Arduino, tarjeta de control, motores DC, batería de alimentación).
- 3 Son los resultados de los esfuerzos que indican las zonas más críticas en donde la estructura sufre mayor carga.

Como resultado del análisis de esfuerzos y deformaciones que sufrió el chasis del robot móvil mediante la ayuda de la herramienta CAD se obtuvieron los siguientes resultados que se muestra en la Tabla 10.

En la Figura 26 se visualiza el resultado del prototipo mecánico del robot móvil visto de forma lateral.



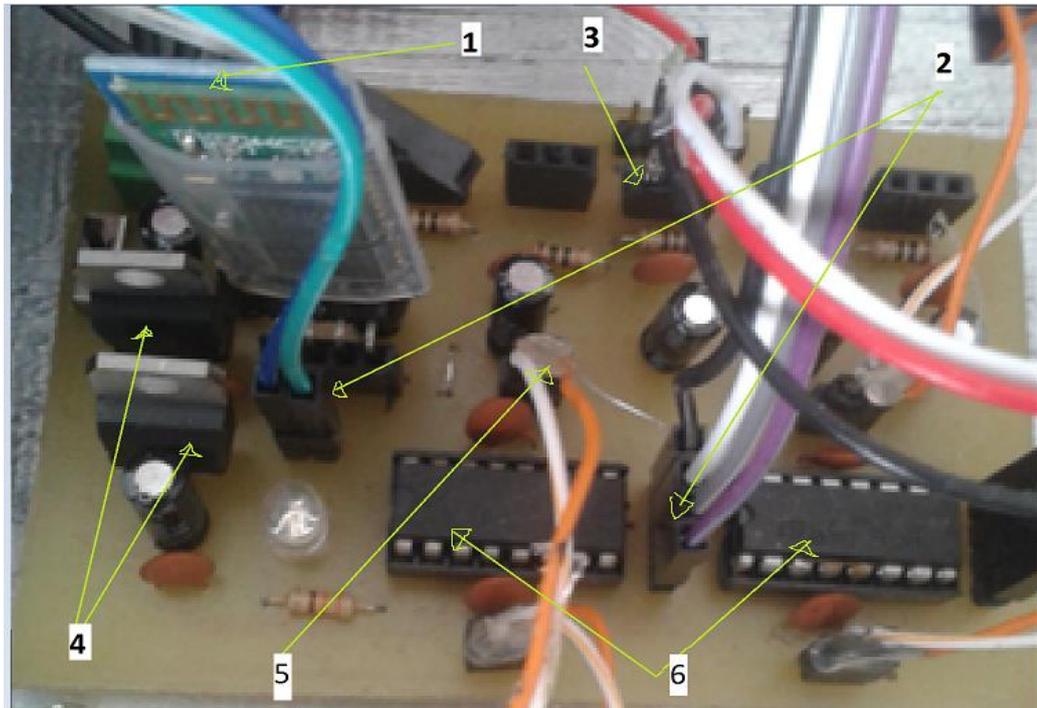
**Figura 26.** Prototipo Terminado

El montaje los componentes están descritos de la siguiente manera:

- 1 Sensores infrarrojos Sharp.
- 2 Soporte donde se encuentran los motores dc.
- 3 Llantas de goma.
- 4 Chasis del robot móvil.

### **3.2 RESULTADOS DEL DISEÑO ELECTRÓNICO**

En la Figura 27, se visualiza el resultado de la tarjeta de control del robot móvil implementada en el chasis.



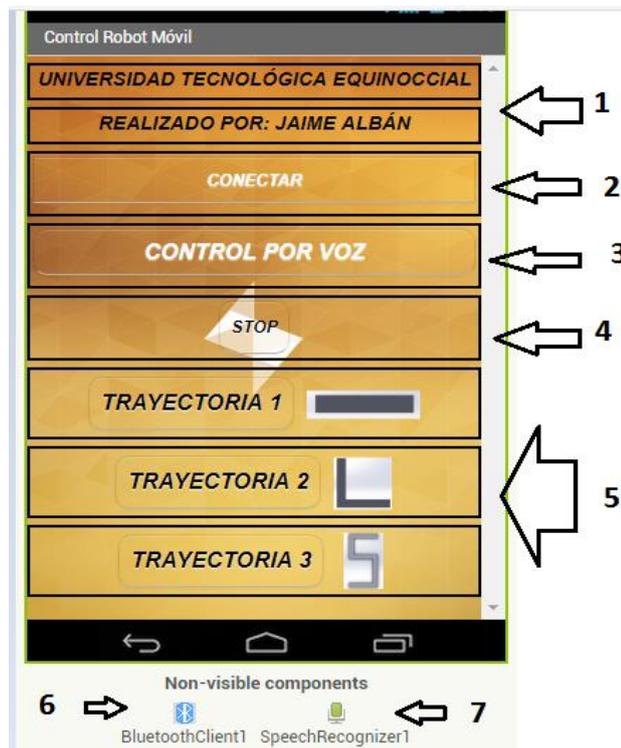
**Figura 27 .** Placa Electrónica de Control del Robot móvil

A continuación, se describen brevemente los componentes de la tarjeta de control:

- 1 Módulo Bluetooth
- 2 Socket de conexión del módulo Bluetooth hacia el arduino y el socket de conexión de los motorreductores hacia el arduino.
- 3 Socket de conexión de los sensores infrarrojo.
- 4 Reguladores de voltaje.
- 5 Socket de alimentación del motorreductor.
- 6 Integrados L293D.

### **3.3 RESULTADOS DE LA APLICACIÓN MÓVIL**

En la Figura 28, se observa el resultado de la aplicación móvil que nos permitirá enviar los comandos de voz hacia el robot móvil



**Figura 28.** Esquema de la aplicación de control

La descripción de la Figura 28 es la siguiente:

- 1 Títulos.
- 2 Botón de que permite la conexión entre la aplicación y el robot mediante bluetooth.
- 3 Botón del control de los comandos de voz donde se ejecutan las diferentes órdenes para el robot móvil.
- 4 Botón de parada de emergencia
- 5 Son las actividades que realiza el robot móvil tales como: evasión de obstáculos, trayectoria uno: que es una trayectoria lineal, trayectoria dos: que es una trayectoria en forma de “L”, trayectoria tres: que es una trayectoria en forma de “S”.

Una vez implementada todas sus componentes mecánicas, electrónicas y aplicativos en el robot móvil, se concluyó que el robot controlado por comandos de voz cumple con todos los objetivos propuestos.

### 3.4 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

En esta sección se mostrarán las pruebas de funcionamiento de las órdenes emitidas por el usuario mediante la aplicación móvil y que serán ejecutadas por el robot móvil resumidas en la Tabla 10 y Tabla 11.

**Tabla 10.** Tiempo de recorrido de las trayectorias

| PRUEBAS         | TIEMPO (s)                |                      |                      |
|-----------------|---------------------------|----------------------|----------------------|
|                 | TRAYECTORIA 1<br>"LINEAL" | TRAYECTORIA 2<br>"L" | TRAYECTORIA 3<br>"S" |
| 1               | 7.25                      | 8.56                 | 24.15                |
| 2               | 13.73                     | 15.82                | 36.23                |
| 3               | 7.33                      | 8.63                 | 24.21                |
| 4               | 13.85                     | 15.92                | 36.28                |
| 5               | 7.19                      | 8.47                 | 24.11                |
| 6               | 13.66                     | 15.77                | 36.19                |
| <b>Promedio</b> | 10.502                    | 12.195               | 30.195               |

En la Tabla 10 se muestra los resultados tomados de las pruebas de funcionamiento de las trayectorias que se realizó de la siguiente manera:

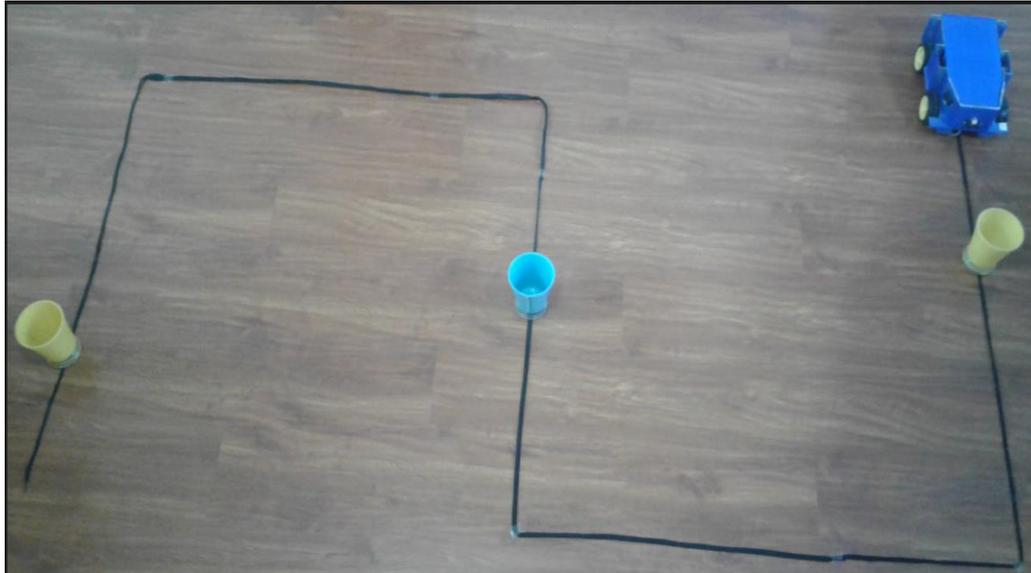
- Las pruebas 1, 3, 5 se las realizó sin obstáculos en ninguna de sus trayectorias, recorriendo una distancia de 1 m respectivamente en cada una de ellas.
- Las pruebas 2, 4, 6 se las realizó con uno, dos y tres obstáculos respectivamente para cada una de las trayectorias con una distancia de 1 mm.

**Tabla 11.** Tiempo de ejecución de los comandos de voz

| PRUEBAS         | TIEMPO (s) |         |           |         |
|-----------------|------------|---------|-----------|---------|
|                 | Adelante   | Derecha | Izquierda | Detener |
| 1               | 1.56       | 1.45    | 1.62      | 1.55    |
| 2               | 1.60       | 1.51    | 1.65      | 1.52    |
| 3               | 1.61       | 1.48    | 1.59      | 1.50    |
| 4               | 1.55       | 1.43    | 1.61      | 1.53    |
| 5               | 1.53       | 1.52    | 1.63      | 1.56    |
| 6               | 1.50       | 1.45    | 1.64      | 1.58    |
| <b>Promedio</b> | 1.558      | 1.473   | 1.623     | 1.54    |

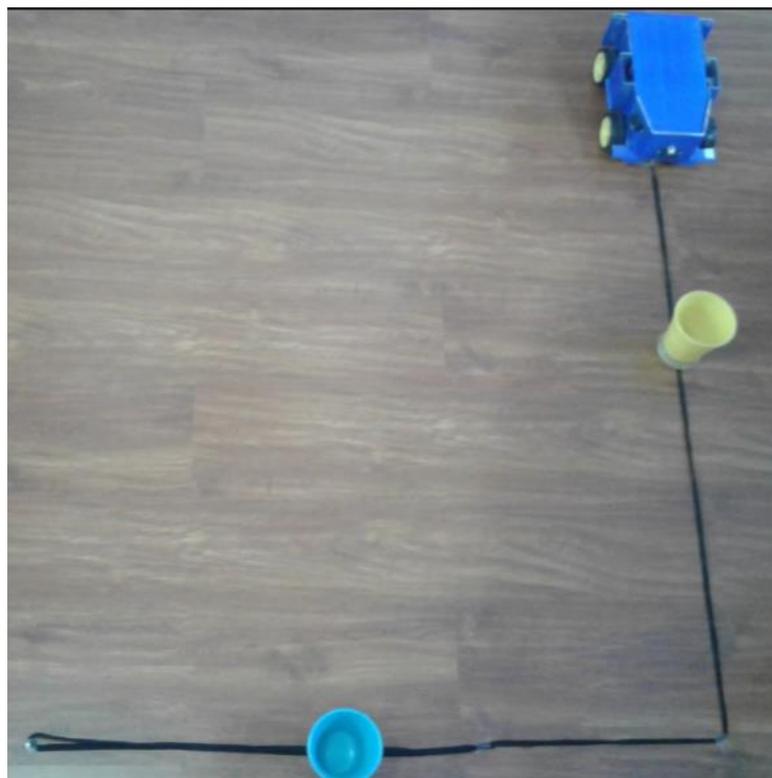
En la Tabla 11 se muestra los resultados de los tiempos que tardan en ejecutarse el comando de voz después de ser emitido por el usuario.

En la Figura 29 se muestra la trayectoria tres del robot móvil en forma de "S" con obstáculos de 1m de distancia entre cada línea, partiendo desde la posición en que se encuentra el robot móvil.



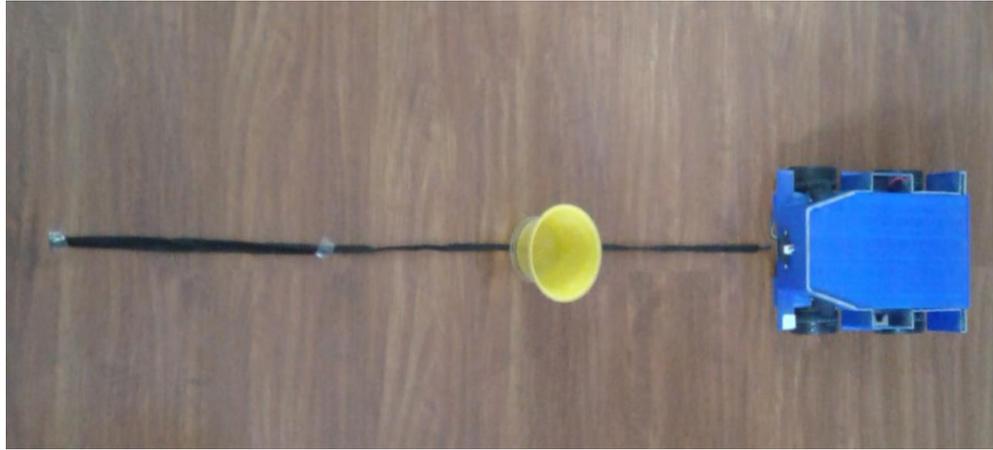
**Figura 29.** Trayectoria en forma de “S” con obstáculos

En la Figura 30 se muestra la trayectoria dos del robot móvil en forma de “L” con obstáculos de 1m de distancia entre cada línea, partiendo desde la posición en que se encuentra el robot móvil.



**Figura 30.** Trayectoria en forma de “L” con obstáculos

En la Figura 31 se muestra la trayectoria dos del robot móvil en forma de “Lineal” con obstáculos de 1m de distancia entre cada línea, partiendo desde la posición en que se encuentra el robot móvil.



**Figura 31.** Trayectoria en forma de "Lineal" con obstáculos

Realizadas las pruebas pertinentes de funcionamiento se concluye que el robot móvil cumple con los objetivos y funciones de control por comandos de voz.

## **4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

## CONCLUSIONES

- La manipulación y control del robot móvil realizada desde la aplicación Android por medio de los comandos de voz, el usuario emite las siguientes órdenes: Adelante, Derecha, Izquierda, Detener, Primera, Segunda, Tercera.
- Se concluye que el resultado del tiempo de respuesta del robot móvil ante la orden emitida por el usuario está en promedio entre uno a dos segundos de retraso.
- Se concluye que el funcionamiento, objetivos planteados respecto a la evasión de obstáculos, trayectorias y comandos de voz son realizados por el robot móvil se cumplen satisfactoriamente.
- El robot móvil no puede reconocer objetos que tengan una altura menor a 12 cm.
- Respecto a la programación desarrollada en Arduino para la navegación autónoma del robot móvil, incluye algoritmos para el control de los actuadores, la adquisición de datos del entorno por medio de los sensores y la ejecución de las órdenes emitidas por el usuario mediante la aplicación móvil.
- La navegación autónoma del robot móvil está dada por las trayectorias previamente definidas, siendo estas ordenadas por el usuario por medio de comandos de voz a través de la aplicación móvil.

## RECOMENDACIONES

- Se recomienda el uso de módulos (GPS), sensores como sonares que permitirán la adquisición de la información del entorno a largas distancias para ampliar el área de navegación autónoma, debido a la limitación planteada de 2 metros cuadrados.
- Para el uso del robot móvil en zonas terrestres de difícil acceso se recomienda la implementación en su estructura mecánica, un sistema de suspensión, motores de mayor torque, ruedas de mayor agarre al suelo.
- Se recomienda el uso de otro material más robusto y resistente en su estructura mecánica, como aleaciones de aluminio o acero para implementar sistemas mecánicos como brazos manipuladores con el objetivo de recolectar muestras del entorno en que se desempeñe.
- Para el mejoramiento de las trayectorias preestablecidas del robot móvil se recomienda el uso de otros algoritmos de adquisición de datos, este puede ser un sistema de redes neuronales en donde el robot sea capaz de aprender, evadir y desplazarse en entornos desconocidos sin colisiones.

- Se recomienda el uso de otro sistema inalámbrico con mayor alcance de comunicación entre el usuario y el robot móvil, este puede ser vía Wifi.
- Se recomienda trabajar en otro tipo de suelo con un coeficiente de fricción mínimo u con otro tipo de ruedas con mejor adherencia al suelo, para evitar que las llantas del robot móvil patinen al desplazarse o al realizar giros.

## BIBLIOGRAFÍA

- Impresoras 3D, (2017). Filamentos PLA. Obtenido de <https://impresoras3d.com/blogs/noticias/122774855-filamento-pla-consejos-caracteristicas-y-mucho-mas>
- Alberto. (09 de 2017). PLA. Obtenido de <http://www.eis.uva.es/~biopolimeros/alberto/pla.htm>
- Bambino, I. (2008). Una introducción a los robots móviles. Obtenido de [http://aadeca.org/pdf/CP\\_monografias/monografia\\_robot\\_movil.pdf](http://aadeca.org/pdf/CP_monografias/monografia_robot_movil.pdf)
- Caldas, E. (Agosto de 2017). Obtenido de <http://www.electronicoscaldas.com/modulos-rf/482-modulo-bluetooth-hc-06.html>
- Cárdenas, N. (enero de 2007). Diseño y construcción de un robot móvil didáctico para estudios experimentales de robótica cooperativa. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/175>
- Domínguez, D. (2014). ITM, Resistencias Eléctricas. Obtenido de <http://dianamardp-itm.webnode.es/circuitos-electricos-1/documentos/resistencia-electrica/>
- Ebay. (2017). Motorreductor 12 v . Obtenido de [http://www.ebay.com/itm/37mm-12V-DC-4RPM-Replacement-Torque-Gear-Box-Motor-/221024411700?\\_ul=EC](http://www.ebay.com/itm/37mm-12V-DC-4RPM-Replacement-Torque-Gear-Box-Motor-/221024411700?_ul=EC)
- Electrónica, K. (Agosto de 2017). Obtenido de <http://www.kitelectronica.com/2016/02/tutorial-circuito-integrado-l293.html>
- Electronilab. (2017). Obtenido de Módulo Bluetooth HC-05 Serial Rs232: <https://electronilab.co/tienda/modulo-bluetooth-hc-05-serial-rs232/>
- Electronilab. (Agosto de 2017). Ingeniería y Diseño Electrónico. Obtenido de <https://electronilab.co/tienda/motorreductor-con-caja-reductora-6v-1-48/>
- Electronilab. (2017). Módulo Bluetooth HC-05 Serial Rs232. Obtenido de <https://electronilab.co/tienda/modulo-bluetooth-hc-05-serial-rs232/>
- Factory, G. (2017). C-SR04 Sensor de distancia ultrasónico para arduino. Obtenido de <https://www.geekfactory.mx/tienda/sensores/hc-sr04-sensor-de-distancia-ultrasonico/>
- Factory, G. (2017). Módulo L298N Driver Puente H L298. Obtenido de <https://www.geekfactory.mx/tienda/motores-y-controladores/modulo-puente-h-l298n/>
- Giménez, M. (2017). Capacitores. Obtenido de <http://www.labc.usb.ve/paginas/mgimenez/Ec1181ele/Material/%20Componentes/Capacitores.pdf>
- Hstore. (Agosto de 2017). Obtenido de <http://www.hstore.cl/shop/baterias-y-cargadores/407-turnigy->

- 2200mah-3s-25c-lipo-pack.html?search\_query=bateria+de+lipo&results=43
- Inuktun. (Agosto de 2017). Obtenido de <http://pdf.directindustry.es/pdf-en/inuktun-incommand-robotics-llc/versatrax-450/163459-635884.html#open>
  - Mercado Libre, Ecuador. (2017). Bateria Lipo nano tech. Obtenido de [https://articulo.mercadolibre.com.ec/MEC-412806890-bateria-turnigy-nano-tech-74v-2000ma-2s1p-25-40c-lipo-pack-\\_JM](https://articulo.mercadolibre.com.ec/MEC-412806890-bateria-turnigy-nano-tech-74v-2000ma-2s1p-25-40c-lipo-pack-_JM)
  - Lygin, K., Langbein, S., Rathmann, C., Otibar, D., & Meier, H... (Junio de 2014). Design methodology for mechatronic systems based on shape memory technology. Obtenido de [https://www.researchgate.net/publication/301290831\\_Design\\_methodology\\_for\\_mechatronic\\_systems\\_based\\_on\\_shape\\_memory\\_technology](https://www.researchgate.net/publication/301290831_Design_methodology_for_mechatronic_systems_based_on_shape_memory_technology)
  - Mariano. (8 de Junio de 2011). Tecnología de Plásticos. Obtenido de <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/06/abs.html>
  - Ortiz, A. (Mayo de 2017). Navegación para robots móviles. Obtenido de [http://dmi.uib.es/aortiz/mobots\\_navegacion.pdf](http://dmi.uib.es/aortiz/mobots_navegacion.pdf)
  - Pérez, M. (16 de Abril de 2012). Características y utilidad del acrílico. Obtenido de <http://ec.globedia.com/caracteristicas-utilidad-acrilico>
  - Pichardo, J. (Marzo de 2004). Obtenido de [http://www.iearobotics.com/proyectos/siko/Microbot\\_Siko.html](http://www.iearobotics.com/proyectos/siko/Microbot_Siko.html)
  - RCEXTREMO. (2015). Motor Reductor Con Rueda Para Robot Arduino. Obtenido de <https://www.rcextremo.co/producto/motor-reductor-rueda-robot-arduino-pic-raspberry/>
  - Robotnik. (Agosto de 2017). Obtenido de [http://www.robotnik.es/web/wp-content/uploads/2014/04/AGVS\\_Datasheet\\_2016\\_e.pdf](http://www.robotnik.es/web/wp-content/uploads/2014/04/AGVS_Datasheet_2016_e.pdf)
  - Segués, F. (2007). Conceptos básicos de ruido ambiental. Obtenido de <http://infodigital.opandalucia.es/bvial/bitstream/10326/720/1/conceptos%20b%C3%A1sicos%20ruido%20ambiental.pdf>
  - Store, A. (Agosto de 2017). Arduino. Obtenido de <https://store.arduino.cc/arduino-mega-2560-rev3>
  - Teslabeem. (Agosto de 2017). Obtenido de <http://teslabem.com/sensor-sharp-de-10-80-cm-gp2y0a21yk0f.html>
  - theSergioscorner. (30 de Junio de 2015). Obtenido de <https://www.thesergioscorner.com/single-post/2015/06/30/%C2%BFPor-qu%C3%A9-los-elementos-electr%C3%B3nicos-fallan>
  - Arduino, Uno (2017). Arduino. Obtenido de <http://arduino.cl/arduino-uno/>

- Verrastro, C. (Agosto de 2017). Obtenido de [http://www.secyt.frba.utn.edu.ar/gia/robot\\_movil.htm](http://www.secyt.frba.utn.edu.ar/gia/robot_movil.htm)
- Yandún, A., & Sotomayor, N. (2011). Planeación y Seguimiento de trayectorias para un robot móvil. Revista politécnica, Quito. Obtenido de <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/4913/1/Planeaci%C3%B3n%20y%20seguimiento%20de%20trayectorias.pdf>

**ANEXOS**

## **Anexo 1.**

### **Plano del Diseño Mecánico**

1

2

3

4

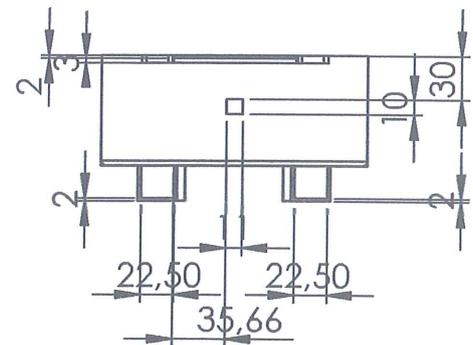
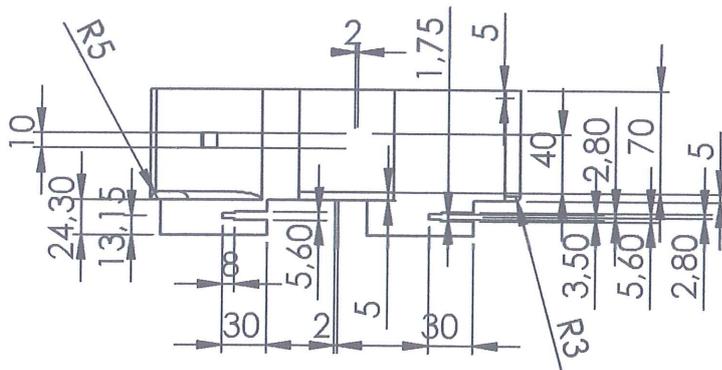
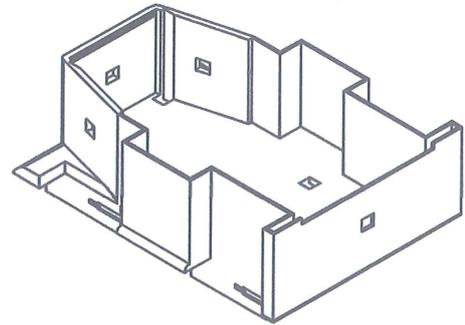
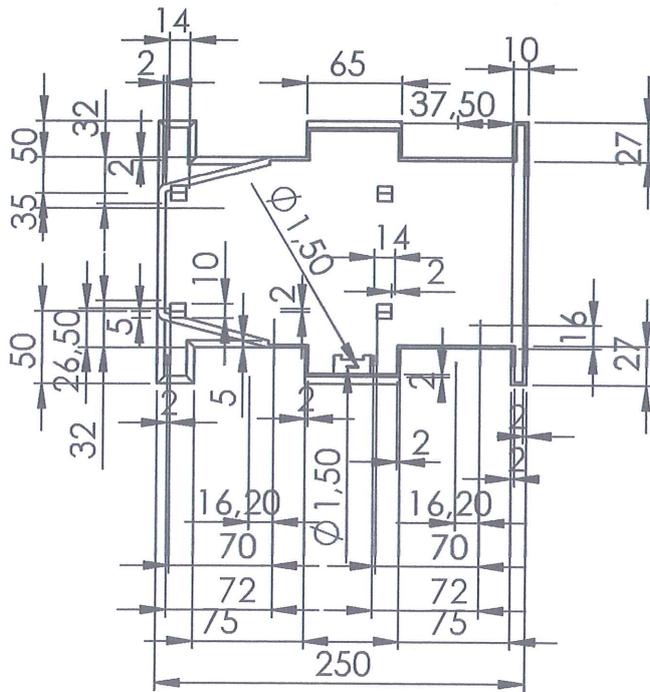
A

B

C

D

E



|         |              |       |        |   |             |              |  |
|---------|--------------|-------|--------|---|-------------|--------------|--|
|         |              |       |        | TOLERANCIA:   | PESO [Kg]:  | MATERIAL:    |  |
|         |              |       |        | ± 0.1   | 409.48 gr   | PLA          |  |
|         |              |       |        | Fecha   | Nombre      | Base         |  |
|         |              |       |        | Dibujado 03/10/2017   | Jaime Albán |              |  |
|         |              |       |        | Revisado  |             |              |  |
|         |              |       |        | Aprobado  |             | ESCALA:      |  |
|         |              |       |        | FIRMA / EMPRESA:  |             | DIBUJO N°: 1 |  |
|         |              |       |        | UTE   |             | HOJA:        |  |
| Edición | Modificación | Fecha | Nombre |  |             | A4           |  |