

## **Información Importante**

La Universidad Santo Tomás, informa que el(los) autor(es) ha(n) autorizado a usuarios internos y externos de la institución a consultar el contenido de este documento a través del catálogo en línea, página web y Repositorio Institucional del CRAI-USTA, así como en las redes sociales y demás sitios web de información del país y del exterior con las cuales tenga convenio la Universidad.

Se permite la consulta a los usuarios interesados en el contenido de este documento, para todos los usos que tengan finalidad académica, siempre y cuando mediante la correspondiente cita bibliográfica se le dé crédito al trabajo de grado y a su autor, nunca para usos comerciales.

De conformidad con lo establecido en el Artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, la Universidad Santo Tomás informa que “los derechos morales sobre documento son propiedad de los autores, los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables.”

**Centro de Recursos para el Aprendizaje y la Investigación, CRAI-USTA**

**Universidad Santo Tomás, Bucaramanga**

**Diseño y construcción de un prototipo de robot semiautónomo para el consultorio  
pediátrico Harker.**

**Laura Rossio Ortiz Rugeles**

**Sonia Smith Tarazona Cuadros**

**Trabajo de grado para obtener el título de ingeniera mecatrónica.**

**Director**

**William Razvan Castro Jaluba**

**Ingeniero Electricista**

**Codirector**

**Hernán Josué Hernández Lamprea**

**Ingeniero Mecatrónico**

**Universidad Santo Tomás, Bucaramanga**

**División de Ingenierías y Arquitectura**

**Facultad de Ingeniería Mecatrónica**

**27 de Marzo de 2020.**

### **Dedicatoria**

Este proyecto está dedicado a las personas que más han influenciado nuestra vida, dándonos los mejores consejos, guiándonos, haciéndonos personas de bien, apoyándonos en todas las decisiones, así mismo nos motivan a cumplir con nuestros objetivos y nuestras metas, por ello está dedicado a nuestros padres (Lucila Cuadros, Vidal Tarazona, Rossio Rugeles y Samuel Ortiz) quienes con mucho esfuerzo nos han dado el mejor regalo: la educación; por ende queremos demostrar que todo ese esfuerzo no fue en vano y al final se verá reflejado en cada paso que demos no solo en nuestra vida sino también cuando influimos en la de los demás, como plantea Kofi Annan “el conocimiento es poder, la información es libertad, y la educación es la premisa del progreso...”, por ello deseamos aportar nuestros conocimientos para mejorar todo aquello que nos propongamos en cualquier momento y aspecto de nuestra vida y así dejar una huella única e inolvidable en el mundo, citando al Dr. Hiruluk: la muerte no es cuando se acaba la vida sino cuando el mundo te olvida.

### **Agradecimientos**

Queremos agradecer conjuntamente a varias personas e instituciones que han hecho posible llevar a cabo este proyecto y que han contribuido significativamente al desarrollo del mismo.

A nuestros padres, Rossío Rugeles y Samuel Ortiz, Lucila Cuadros y Vidal Tarazona, porque a través de los años y a pesar de las dificultades, respectivamente nos sacaron adelante, dándonos sustento, motivación, y apoyo.

A la Universidad Santo Tomás seccional Bucaramanga, por permitirnos trabajar largas jornadas en sus laboratorios y facilitarnos el préstamo de materiales y herramientas que en su momento fueron de vital importancia.

A nuestro director William Castro y codirector Hernán Hernández porque siempre hubo gran confianza, asesoría y acompañamiento.

A nuestro decano de facultad Cesar Valencia por tomarse el tiempo de sugerir correcciones y llevar este proceso con nosotras.

A los profesores de la Universidad Santo Tomás por su acompañamiento en diferentes etapas del proyecto aportando sus conocimientos en la realización de éste, y a lo largo de toda la carrera.

Al centro pediátrico Harker por disponer de sus administrativos y su sede en la clínica FOSCAL internacional para la ejecución del proyecto.

A nuestros compañeros y amigos Christian Manjarrés y Maria Camila Isaza, porque influyeron de manera positiva en el desarrollo del proyecto, por sus conocimientos, sus críticas, sus sugerencias, o sus herramientas, entre otros aportes.

Al Servicio Nacional de Aprendizaje SENA, y su rama Tecnoparque, por el apoyo en material y equipo.

A todas las personas que estuvieron junto a nosotras con todo el apoyo y la motivación posible.

**Tabla de contenido**

<b>Resumen</b>	<b>14</b>
<b>Abstract</b>	<b>16</b>
<b>Introducción</b>	<b>18</b>
1. Formulación del Problema.	<b>21</b>
1.1 Motivación y Formulación Del Problema	21
1.2 Finalidad	21
1.2.1 Objetivo General.	22
1.2.2 Objetivo Específicos.	22
1.3 Aportes del Trabajo	23
1.4 Organización del Documento	23
<b>2. Marco de Referencia</b>	<b>24</b>
2.1. Marco teórico	24
2.1.1 Robot Diferencial.	25
2.1.2 Robot Vehículo Triciclo.	26
2.2. MARCO CONCEPTUAL	27
2.2.1 Motor de Corriente Continua.	27

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE ROBOT	6
2.2.2 Baterías eléctricas.	30
2.2.3 Sensor ultrasónico.	32
2.2.4 Puente H.	33
2.2.5 Regulador de Voltaje.	34
2.2.6 Encoder óptico.	35
2.3 Marco legal	36
2.4 Marco tecnológico y científico (estado del arte)	38
2.5 Condiciones iniciales del proyecto	43
<b>3. Diseño Metodológico</b>	<b>44</b>
3.1 Método de investigación	44
3.2 Criterios de diseño	49
3.2.1 Requisitos y especificaciones del cliente.	50
3.2.2 Requerimientos de función.	51
3.2.3 Requerimientos estructurales.	52
3.3. Descripción de etapas y tareas	52
<b>4. Desarrollo</b>	<b>54</b>
4.1. Diseño y Construcción.	56
4.1.1 Diseño estructural del Robot.	57

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE ROBOT	7
4.1.2 Diseño del circuito.	63
4.1.3 Interfaz del usuario.	69
4.1.4 Software.	70
4.1.5 Selección de la batería.	74
4.1.6 Selección del actuador.	77
4.2 Pruebas	80
4.3 Resultados	83
<b>5. Conclusiones y Trabajos Futuros</b>	<b>87</b>
5.1 Conclusiones	87
5.2 Trabajos Futuros	89
Bibliografía	91

**Lista de tablas**

Tabla 1. <i>Condiciones iniciales del proyecto.</i>	44
Tabla 2. <i>Requisitos y especificaciones.</i>	51
Tabla 3. <i>Resultados.</i>	54
Tabla 4. <i>Distribución puertos arduino nano (#1).</i>	66
Tabla 5. <i>Distribución puertos arduino nano (#2).</i>	66
Tabla 6. <i>Tabla de la verdad para los ultrasónicos.</i>	73
Tabla 7. <i>Datos de cada uno de los elementos del circuito</i>	74
Tabla 8. <i>Especificaciones generales motor Pololu.</i>	78
Tabla 9. <i>Tiempos obtenidos para un metro de recorrido.</i>	81
Tabla 10. <i>Tiempos obtenidos en cada ruta.</i>	

**Lista de Figuras.**

<i>Figura 1.</i> Restricciones holonómicas del robot diferencial.	26
<i>Figura 2.</i> Distancia entre puntos método no holonómico.	26
<i>Figura 3.</i> Adaptación de asignación de sistemas de coordenadas en el vehículo triciclo.	27
<i>Figura 4.</i> Bateria Electrica.	30
<i>Figura 5.</i> Batería eléctrica de Lipo.	30
<i>Figura 6.</i> Funcionamiento Sensor ultrasónico.	32
<i>Figura 7.</i> Puente H implementado con Relés.	33
<i>Figura 8.</i> Puente H implementado en un L298.	33
<i>Figura 9.</i> Voltaje de regulación (a) Sin carga. (b) Con carga.	35
<i>Figura 10.</i> Encoder óptico	36
<i>Figura 11.</i> Robot móvil operado por medio de señales infrarrojas	40

<i>Figura 12.</i> Robot para niños autistas	41
<i>Figura 13.</i> Contixo R1	42
<i>Figura 14.</i> Fases del proyecto.	45
<i>Figura 15.</i> Corrección de errores en el programa.	47
<i>Figura 16.</i> Modelo V implementado en el Robot.	49
<i>Figura 17.</i> Vista isométrica de la cabeza.	50
<i>Figura 18.</i> Vista frontal robot real.	58
<i>Figura 19.</i> Vista real del robot prototipo	58
<i>Figura 20.</i> Vista isométrica de la base con respectiva ubicación de los elementos.	59
<i>Figura 21.</i> Sistema para el sensado de velocidad.	59
<i>Figura 22.</i> Vista Isométrica de los pies y baterías	60
<i>Figura 23.</i> Vista isométrica de la estructura central superior del Robot, ubicación de los sensores y PCB.	61
<i>Figura 24.</i> sensor infrarrojo, USB, led y Switch	61

<i>Figura 25.</i> Cabeza del robot.	62
<i>Figura 26.</i> Interior de la cabeza.	62
<i>Figura 27.</i> Puerto de carga del robot.	62
<i>Figura 28.</i> Conexión al arduino nano #2	63
<i>Figura 29.</i> Conexiones al arduino nano #1	64
<i>Figura 30.</i> Etapa de Potencia.	65
<i>Figura 31.</i> Tarjeta diseñada en Eagle.	67
<i>Figura 32.</i> Diagrama de bloques del circuito	68
<i>Figura 33.</i> Selección Manual.	69
<i>Figura 34.</i> Seleccion Automatico.	69
<i>Figura 35.</i> Preconsulta.	70
<i>Figura 36.</i> Diagrama de todos los sistemas	71
<i>Figura 37.</i> Diagrama de flujo Main Arduino 1 (void loop).	72
<i>Figura 38.</i> Diagrama de flujo de un encoder.	72

<i>Figura 39.</i> Diagrama de flujo lectura de los ultrasónicos	74
<i>Figura 40.</i> Motor Pololu (1000:1)	77
<i>Figura 41.</i> Diagrama de cuerpo libre en una rueda.	79
<i>Figura 42.</i> Diagrama de cuerpo libre de una rueda robot Harker.	79
<i>Figura 43.</i> Robot terminado, vista frontal.	85
<i>Figura 44.</i> Robot terminado, vista de perfil izquierdo.	85
<i>Figura 45.</i> Robot terminado, vista posterior.	86
<i>Figura 46.</i> Robot terminado, vista de perfil derecho.	86

**Lista de Apéndices**

(ver apéndices adjuntos en medio digital)

Apéndice A Compromiso

Apéndice B Requerimientos de Harker

Apéndice C Proceso de Diseño Físico en SolidWorks 2016

Apéndice D Diseño de PCB

Apéndice E Manual Técnico

Apéndice F Manual de Usuario

Apéndice G Cotización del Motor para Harker

Apéndice H Rutas del Robot

Apéndice I Diagrama de Flujo y Código

Apéndice J Evaluación de Harker

Apéndice K Presupuesto Robot Final

Apéndice L Presupuesto Robot Prototipo

## Resumen

El presente proyecto pretende contribuir a futuro con la disminución de interrupciones que se presentan en el Centro Pediátrico Harker durante las consultas, debido a que algunos pacientes ingresan a consultorios que no les corresponden donde se están atendiendo otros pacientes, lo cual genera molestias a los usuarios y trabajadores; Para ello se dispondrá de un Robot con rutas preestablecidas a los consultorios, el paciente deberá indicar a cual consultorio se dirige y podrá seguir al robot. Estas interrupciones ocurren debido al desconocimiento de la distribución y organización del Centro Pediátrico por parte de los pacientes especialmente cuando son nuevos.

También se busca dar un valor agregado al Centro Pediátrico pues pocas instituciones colombianas cuentan con éste tipo de tecnología enfocada a la comodidad de los clientes.

De acuerdo a lo anterior se realizará el diseño mecatrónico y construcción de un prototipo de robot que funciona como guía para los pacientes en el Centro Pediátrico Harker. El paciente al ingresar a las instalaciones de la institución debe registrarse en la recepción y dirigirse a la sala de espera donde posteriormente será llamado y podrá seguir al robot de camino al consultorio donde se indica que debe ser atendido.

El proyecto se dividió en dos fases: la primera fase es el diseño, y en ella se definió el alcance, el cronograma, los planos (del modelo físico del robot con el circuito implementado) y adicionalmente los materiales necesarios para llevar a cabo la segunda fase.

La segunda fase es la construcción del prototipo se divide en cuatro subfases: Desarrollo del software, implementación de los circuitos y programas diseñados previamente, el ensamblaje de todas las partes y finalmente las pruebas de funcionamiento.

En el diseño y la construcción del prototipo del robot se implementan los conocimientos adquiridos en las distintas asignaturas cursadas en el programa de ingeniería mecatrónica de la Universidad Santo Tomás, como lo son principalmente: microcontroladores para el uso de Arduino y construcción de la tarjeta electrónica, robótica móvil aportó los conocimientos vistos sobre tipos de Robot en especial robots diferenciales, dibujo de piezas y dibujo de máquinas para el diseño físico del Robot en SolidWorks.

Palabras Clave: *Sistema Semiautónomo, software de control, mecatrónica, microcontrolador, robotica.*

### **Abstract**

The present project wants to contribute to the reduction of interruptions inside the Harker Pediatric center office because patients enter inside the rooms where someone is attending other patients, making users and workers feel annoyed. These interruptions happen because the distribution and organization in the clinic could be hard to understand to the new people. It also seeks to add value to the Pediatric Center because few Colombian institutions have this type of technology focused on well-being of customers.

It wants to give value added to the Pediatric Center too, because a few Colombian institutions have this kind of technology focused on customer comfort.

According to the above, the mechatronic design and construction of a robot prototype will be carried out that works as a guide for patients at the Harker Pediatric Center. When the patients go inside the institution, they must register at the reception and go to the waiting room where they will be called and may follow the robot on the way to the room where they will be treated.

The project is divided into two phases: the first phase is the design, and it first defined the scope, the schedule, the plans (of the physical model of the robot and the circuit implemented), and additionally the materials necessary to carry out the process.

The second phase is the construction of the prototype is divided into four subphases: Software development, implementation of the previously designed circuits and programs, the assembly of all parts and finally the functional test. In the design and construction of the robot prototype, techniques put to the test in different subjects in the mechatronic engineering of the Santo Tomás University are implemented like: Microcontrollers to use Arduino and construction of the

electronic card, mobile robotics gave us the knowledge of kinds of robots, in special, differential robots, draw of pieces and draw of machines were important to the physical design.

Key Words- *Semi-autonomous system, software of control, mechatronic, microcontroller, robot.*

## Introducción

Actualmente es común utilizar robots móviles para diversas actividades, tales como ensamblaje automotriz, colaboración en los laboratorios farmacéuticos y en quirófanos, en las actividades diarias de personas discapacitadas, búsqueda y desactivación de explosivos, entre otras funcionalidades; en Colombia la mayoría de los artefactos tecnológicos provienen de importaciones, las cuales han venido en aumento en los últimos años. Diego A. Santos, columnista de la Editorial La República de Bogotá, en su artículo: ¿Cómo va Colombia en tecnología? relata que el problema no es otro que la escasa oferta de expertos en tecnología en el país; además se puede ver cómo en los últimos años la demanda se incrementó notoriamente.

Un claro ejemplo es el centro pediátrico Harker, que desde hace un par de años tuvo la iniciativa de implementar novedades tecnológicas para brindar una mejor experiencia a los clientes, a su vez que sea amigable con los niños y útil para sus acompañantes.

Una de las formas para mejorar la experiencia de los pacientes que asisten al centro pediátrico es tener un robot que pueda guiarlos, y que sea seguro para los niños. De manera mecatrónica, inspirada en diseños propios de las autoras y tomando alternativas más seguras (con bordes redondeados y sin filo, con sensores de proximidad, gran estabilidad del robot), se puede dar una experiencia única al público infantil.

Los juguetes para bebés son generalmente de material suave y redondos, pues de esta manera se evitan inconvenientes a la hora de usarse; cabe resaltar que la limpieza de todo los consultorios y elementos que pertenecen al centro pediátrico Harker es muy estricta, por ende, es recomendable utilizar materiales que son fáciles de limpiar como lo es el polímero Corian®,

material en el que se desea fabricar el robot final pues, los objetos que usan Corian® tienen un aspecto uniforme debido a que las juntas no son fácilmente visibles, y es posible encontrarlo en combinación con acero, madera, granito y vidrio. Una de las ventajas que ha hecho tan popular a este material es que se limpia con facilidad y es resistente a gran variedad de abrasiones, es un material muy utilizado en escritorios, baños, estantes, muebles de sala, y en el Centro Pediátrico Harker se encuentra implementado en la zona de juegos infantiles. Cabe resaltar que los directivos de Harker exigen que el robot sea construido en este material por las razones anteriormente mencionadas, y buscan que la estética del robot sea acorde con la decoración y que a su vez garantice la durabilidad del producto.

El robot funciona mediante dos modos de operación: el principal es autónomo donde el robot se podrá desplazar por el consultorio mediante rutas pre-establecidas, las cuales son estipuladas por el centro teniendo el conocimiento de los consultorios con mayor afluencia de pacientes; estas rutas inician desde un punto específico y terminan en el mismo punto. El segundo modo es teleoperado, y es utilizado cuando: están en un campo donde las rutas establecidas no son visibles, los consultorios no existen en la misma ubicación y su funcionalidad sea para el entretenimiento a los niños y demás personas que estén presentes.

Este proyecto se realizó en cuatro etapas importantes como se explica a continuación:

1. Indagación sobre las leyes de control que se pueden utilizar para un robot diferencial, el cual consiste en dos ruedas donde ninguna de ellas es principal, y el cambio de dirección se realiza modificando la velocidad de ambas.
2. Selección de la instrumentación adecuada para el buen funcionamiento del robot, tal como sensores de proximidad, sensores de velocidad, motores DC, entre otros.

3. Realización de un diseño detallado del prototipo del robot donde se pueda observar la ubicación de todos los elementos con el fin de obtener una ayuda visual de lo que se desea implementar en el consultorio, para ello se hizo uso de la herramienta SolidWorks pues esta permite observar el diseño y obtener datos importantes que corroboren la funcionalidad del robot. También se diseñó el circuito de potencia y control implementados en los motores.
4. Construcción física del prototipo del robot. En esta etapa se construyó el circuito de potencia y control, además de acoplar los componentes físicos tales como el exterior, sensores, y actuadores.

Cabe destacar que la programación se hizo de forma transversal a todas las etapas principales del proyecto.

El valor agregado se enfoca principalmente en ofrecer un producto tecnológico diseñado y construido a la medida del cliente con ingeniería colombiana de la Universidad Santo Tomás de Bucaramanga (USTA), resaltando la calidad del pregrado de ingeniería mecatrónica.

El prototipo se realizó con herramientas y orientación de Tecnoparque nodo Bucaramanga el cual es un programa de innovación tecnológica del Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA) dirigido a todos los colombianos de manera gratuita con el fin de generar empresas nuevas y empleos. El proceso para crear el vínculo con Tecnoparque nodo Bucaramanga se muestra en el capítulo 4.

## **1. Formulación del Problema.**

### **1.1 Motivación y Formulación Del Problema**

El centro pediátrico Harker ha aumentado el número de clientes desde hace unos años, y este cambio ha provocado serios inconvenientes, pues muchos de los usuarios no tienen el conocimiento de la localización de las dependencias presentes en el consultorio, y la señalización en la que invirtieron anteriormente parece no ser muy efectiva, por ende al ser llamados por los altavoces no logran ubicarse y tienden a entrar a consultorios donde se están atendiendo otros pacientes causando incomodidades y molestias.

La atención al cliente es fundamental en el centro pediátrico Harker, y pensando en esto se desea implementar tecnología para cumplir con algunas de las necesidades específicas de los usuarios; además esto abre las puertas a una nueva opción de mercadeo que permita aumentar la competitividad dentro del gremio y dar apoyo a las creaciones colombianas lo que los hace una empresa innovadora. El compromiso a prestar su atención hacia el proyecto y correr con los gastos del robot final por parte del centro pediátrico Harker se muestra en el Apéndice A.

### **1.2 Finalidad**

Diseñar y construir un prototipo de un robot semiautónomo para el consultorio pediátrico Harker, con el fin de guiar a los pacientes hasta el consultorio asignado. Para esto se llevaron a

cabo diferentes objetivos específicos que finalmente dieron como resultado el cumplimiento de las necesidades del cliente:

Diseñar la estructura del robot que cumplan con los requerimientos de la empresa. Dichos requerimientos están de manera específica en el Apéndice B, además de eso se construyó el prototipo del robot con las especificaciones de diseño mecatrónico y se implementaron dos modos de operación para el desplazamiento: manual y automático. El diseño externo del robot es agradable, llamativo y sin bordes pronunciados, con el fin de evitar accidentes en la población infantil.

### **1.2.1 Objetivo General.**

Diseñar y construir un prototipo de robot semiautónomo para el consultorio pediátrico Harker, con el fin de guiar a los pacientes hasta el consultorio asignado.

### **1.2.2 Objetivo Específicos.**

1. Diseñar la estructura del robot que cumpla con los requerimientos de la empresa.
2. Diseñar y construir el prototipo del robot a escala que será implementado en el centro pediátrico Harker.
3. Implementar dos modos de operación para el desplazamiento: manual y automático.
4. Realizar el diseño externo del robot agradable, llamativo y seguro para la población infantil.

### **1.3 Aportes del Trabajo**

El presente trabajo de grado busca mejorar la experiencia de los pacientes que son atendidos en el centro pediátrico Harker, debido a que a estos se les dificulta ubicar y dirigirse al consultorio donde serán atendidos. Es por ello que se implementó un robot diferencial semiautónomo que guía pacientes hasta su consultorio asignado.

Por otra parte, este proyecto es importante en la actualidad en Colombia pues con él se busca incentivar a los empresarios para que apoyen el crecimiento de tecnología colombiana especialmente en el área de la robótica, el cual les refleja un aumento en su competitividad y productividad.

### **1.4 Organización del Documento**

A continuación, se muestra una breve descripción de los temas principales de cada capítulo de éste libro con el fin de concentrar los temas. Este libro cuenta con cinco capítulos partiendo de la descripción del segundo de ellos en el cual se dará a conocer información sobre los resultados de estudios anteriores, teorías y metodologías empleados en proyectos similares, los cuales sirven como motivación para la construcción del robot. En el tercer capítulo se dará a conocer la metodología empleada para cumplir con cada uno de los objetivos, además se explicará cómo se llevó a cabo cada proceso, para una mejor comprensión de cómo se llegó al resultado obtenido.

En el capítulo cuatro se dará a conocer cómo se obtuvo el producto final, además se mostrará cada detalle de sus componentes. En el quinto y último capítulo se darán a conocer las conclusiones derivadas del trabajo desarrollado y de los conocimientos adquiridos a lo largo del desarrollo del proyecto, además se sugieren mejoras de funcionamiento.

## **2. Marco de Referencia**

Este Marco de Referencia se dividirá en: (1) Marco Teórico, donde se presentan los principales planteamientos expuestos por expertos, sobre los diferentes tipos de robot según la distribución de sus ruedas. (2) Marco Conceptual, en el cual se precisan conceptos que son muy importantes para la realización de este proyecto como lo es conocer los motores y los diferentes sensores a utilizar, entre otros; (3) Marco Legal, donde se enmarcan ciertos aspectos tanto de la robótica como de la medicina establecidas mundialmente para los robots en general; y finalmente (4) Estado del Arte.

### **2.1. Marco teórico**

Los robots teleoperados son definidos por José Luis Torres Moreno en el libro: *Manual de prácticas de tecnología de fabricación* como “dispositivos robóticos con brazos manipuladores y/o sensores con cierto grado de movilidad, controlados remotamente por un operador humano de manera directa, o mediante un ordenador” [1], es por esto que en el diseño de éstos se

desarrollan tecnologías para el funcionamiento teledirigido de robots para aplicaciones tanto espaciales como terrestres. Estos robots dirigidos utilizan dispositivos de entrada, ya sea con diversos tipos de sensores o visualización gráfica, planeando las ayudas para ordenar la ejecución de una tarea a un sitio remoto.

Las áreas de investigación y desarrollo más comunes en los robots teleoperados son:

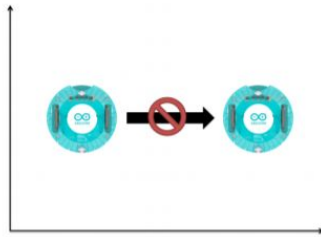
- El manipulador.
- Las arquitecturas del telerobot remotas.
- Procesado, integración, y fusión, del sistema sensorial.
- Tareas interactivas que planea y ejecuta.
- Procesamiento de las imágenes.
- Micromecanismos y control para el despliegue de los instrumentos.

### **2.1.1 Robot Diferencial.**

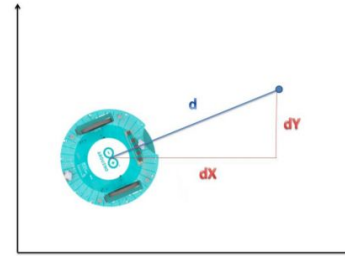
Un robot diferencial es aquel que consta de dos ruedas guiadas unidas según la geometría del chasis del robot en el cual reposan los motores. Dependiendo de la magnitud de la velocidad con la que giran las ruedas, el robot tendrá un movimiento definido, es decir, si los dos motores de las ruedas giran a la misma magnitud de velocidad positiva, su trayectoria será recta hacia el frente; si por el contrario la velocidad es igual pero negativa, será recta hacia atrás, si uno de los dos motores gira con mayor velocidad, el robot tenderá a girar y el sentido va a depender de la

rueda más veloz. Los robots holonómicos son aquellos que su número de grados de libertad controlables es igual al número de grados de libertad totales.

Esto se puede observar en el documento: Seguimiento de trayectorias con un robot móvil de configuración diferencial (Figura 1 y Figura 2). [2]



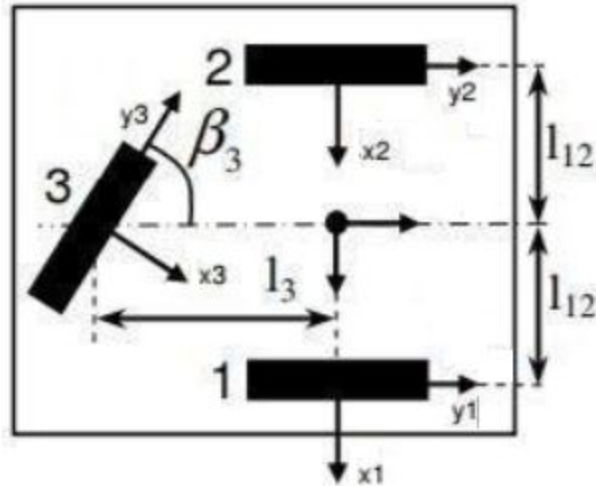
*Figura 1.* Restricciones holonómicas del robot diferencial. Autor: Leonardo Solaque Guzmán [2]



*Figura 2.* Distancia entre puntos método no holonómico. Autor: Leonardo Solaque Guzmán [2]

### 2.1.2 Robot Vehículo Triciclo.

Para realizar el modelado de un vehículo tipo triciclo a diferencia del robot diferencial se debe unificar la rueda 1 y 2 que se observan en la Figura 3. Con el fin de que se pueda hacer el análisis como un triciclo en el cual la rueda delantera da la dirección por lo que su velocidad de direccionamiento no interviene en la cinemática instantánea y la rueda trasera la velocidad del robot. En la tesis “Modelado Cinemático y Control de Robots Móviles con Ruedas” se puede observar todo el modelo cinemático para un vehículo tipo triciclo [3].



*Figura 3.* Adaptación de asignación de sistemas de coordenadas en el vehículo triciclo. Autor: Luis Ignacio Gracia Calandín. [3]

En el proyecto a realizar se implementó un robot diferencial debido a que su estructura es adaptable según los requisitos dados por el Centro Pediátrico Harker y el espacio del que se dispone.

## 2.2. MARCO CONCEPTUAL

A continuación, se darán a conocer los instrumentos que se utilizaron y sus características.

### 2.2.1 Motor de Corriente Continua.

Los motores de c.c. convierten la energía eléctrica en energía mecánica a través de la acción de los campos magnéticos producidos por sus bobinas y son ideales para impulsar máquinas que son difíciles de poner en marcha en carga y que tienen que ser impulsadas a velocidades variables o

tal vez invertir con frecuencia el sentido de marcha. Su velocidad puede variarse entre límites muy amplios, por encima y por debajo de la normal.

Estos motores tienen un par de arranque alto comparado con los de corriente alterna, también son más fáciles de controlar la velocidad, por tal motivo son eficaces en aplicaciones donde se requiera un control de velocidad. Son usados para ascensores, trenes, tranvías, automóviles eléctricos y todas aquellas aplicaciones en las que se requiere un control de velocidad constante.

A continuación se mostraran los tipos de motores presentes en el mercado [5].

- *Motor Asíncrono o de Inducción (AC)*. Su principal característica es que el giro del rotor no corresponde a la velocidad de giro del campo magnético producido por el estator. Este motor está formado por un rotor que puede ser de tipo jaula de ardilla o bobinado. En el estator (anillo cilíndrico de chapa magnética) se encuentran las bobinas inductoras que son trifásicas, desfasadas entre sí a  $120^\circ$ . Entre las ventajas se encuentra la alta eficiencia, coste bajo, fiabilidad, bajo ruido y vibraciones y par constante. En cambio sus contras son su baja densidad de potencia, el bajo par en el arranque y el riesgo de sobrecarga. Es uno de los motores más utilizados en la industria de VE (vehículos eléctricos), por ello Tesla Motors lo usa en todos sus modelos al igual que los pequeños fabricantes Reva o Tazzari.
- *Motor síncrono de imanes permanentes (AC)*. Con una velocidad de giro constante, siendo igual el giro del rotor que la velocidad del campo magnético creado por el estator, el motor síncrono de imanes permanentes puede ser de dos tipos; de flujo radial o de flujo axial, dependiendo de la posición del campo magnético de inducción, que puede ser perpendicular o paralelo al eje de giro del rotor. Son más usados los de flujo radial. En cambio, los de flujo axial permiten ser integrados directamente en la rueda del vehículo,

optimizando el espacio en el vehículo y simplificando los acoplamientos mecánicos entre motor y rueda, son los conocidos como «in-wheel motor». Las ventajas de este tipo de motor son su alto rendimiento, un control de velocidad sencillo, bajo ruido, vibración, tamaño y peso. Aunque tienen un alto coste, junto con los motores asíncronos, son los más extendidos dentro de los VE e híbridos. Lo utilizan Nissan, BMW, VW, Kia, BYD, Smart, el Outlander PHEV y el iMiEV (y sus «mellizos» Peugeot iON y Citroën C-Zero) de Mitsubishi o los híbridos de Chevrolet, Opel, Toyota y Lexus.

- *Motor síncrono de reluctancia conmutada o variable (AC)*. La corriente es conmutada entre las bobinas de cada fase del estator hasta crear un campo magnético que gira. El rotor, que está hecho con materiales magnéticos con polos salientes, son influenciados por el campo magnético, atrayendo y creando un par que mantiene el rotor moviéndose a velocidad síncrona. Estos motores no necesitan imanes permanentes ni escobillas, y tienen a favor su elevado par, robustez y bajo coste, mientras que en contra tiene su baja potencia y la complejidad de su diseño. Renault y su departamento «Electric Powertrain» desarrollaron el modelo 5A, un modelo de motor síncrono más eficiente que los de imanes permanentes.
- *Motor sin escobillas de imanes permanentes (DC)*. Conocidos con «brushless», estos motores poseen imanes permanentes situados en el rotor que funcionan mediante la alimentación secuencial de cada una de las fases del estator. Pueden ser «inrunner», mayor velocidad de giro y menor par, o «outrunner» menor velocidad y mayor par. Aunque son usados mayormente en vehículos híbridos, los motores «brushless» ofrecen algunas ventajas para su uso en VE, su bajo ruido y rozamiento, robustez y ausencia de

mantenimiento. Por ahora son motores poco experimentados, que tienen un precio elevado y poca potencia. Lo ha utilizado Honda en algunos de sus preseries o prototipos eléctricos.

### 2.2.2 Baterías eléctricas.

La batería (Figura 4 y Figura 5) es uno de los elementos más importantes en el desarrollo de cualquier robot móvil pues estos necesitan la autonomía para tener libre desplazamiento y practicidad. Por ello a continuación se darán a conocer la definición y algunos tipos de baterías dependiendo del material. Las baterías son elementos eléctricos que permiten acumular o almacenar electricidad, para después suministrar a los receptores. Además, tiene la particularidad de que una vez descargadas se pueden volver a cargar [6].



Figura 4. Batería Electrica. Autor. Jose Roldan Vilorio.[6]



Figura 5. Batería eléctrica de Lipo. Autor: tdRobótica.[6]

Los acumuladores o baterías eléctricas son elementos de diversa composición que tiene la posibilidad de cargarse de electricidad, para después suministrar al circuito cuando así se lo requieran los receptores.

Ferro-níquel.

- Polo positivo: armazón en acero recubierto por oxido de níquel.
- Polo negativo: armazón de acero recubierto de hierro.
- Electrolito: a base de potasa cáustica.

Níquel- cadmio con placas de rejilla

- Polo positivo: compuesto de cadmio
- Polo negativo: hidroxido de níquel.
- Electrolito: de hidróxido de potasio
- Energía específica: 50 Wh/kg.

Iones de litio

- Polo positivo: puede ser de cobalto o manganeso
- Polo negativo: litio metálico.
- Energía específica: 115 Wh/kg.

Polímero de litio (LiPo)

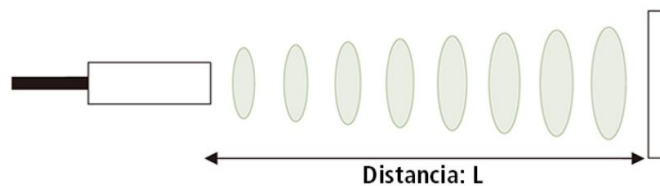
- Energía específica: 130-200 Wh/kg.
- Eficiencia Carga/Descarga: 99.8%.

- Durabilidad: >1000 ciclos.

Siendo esta última la utilizada en el proyecto ya que es un metal liviano que posee un alto potencial electroquímico, generalmente están compuestas de varias células secundarias idénticas en paralelo para aumentar su capacidad de descarga, y lo más importantes es que con recargables.

### 2.2.3 Sensor ultrasónico.

Los sensores ultrasónicos miden la distancia mediante el uso de ondas ultrasónicas (Figura 6). El cabezal emite una onda ultrasónica y recibe la onda reflejada que retorna desde el objeto. Los sensores ultrasónicos miden la distancia al objeto contando el tiempo entre la emisión y la recepción. [7]



*Figura 6.* Funcionamiento Sensor ultrasónico. Autor: Keyence[7]

Un sensor óptico tiene un transmisor y receptor, mientras que un sensor ultrasónico utiliza un elemento ultrasónico único, tanto para la emisión como la recepción. En un sensor ultrasónico de modelo reflectivo, un solo oscilador emite y recibe las ondas ultrasónicas, alternativamente. Esto permite la miniaturización del cabezal del sensor.

La distancia se puede calcular con la siguiente fórmula:

$$L = \frac{1}{2} \times T \times C \quad (1)$$

donde L es la distancia, T es el tiempo entre la emisión y la recepción, y C es la velocidad del sonido. (El valor se multiplica por 1/2 ya que T es el tiempo de recorrido de ida y vuelta). [7]

### 2.2.4 Puente H.

El Puente H es un circuito que permite controlar el sentido de circulación de la corriente por un dispositivo o equipo, como un motor eléctrico DC creando un efecto de giro en ambos sentidos, véase la Figura 7, donde se puede observar un puente H realizado con relés, aunque el que se utilizó para el control de los motores se implementó con un circuito integrado L298 (Figura 8), esto no hace que cambie el funcionamiento. Además dependiendo de una adecuada técnica de conmutación permite también controlar el nivel de voltaje a ser aplicado a la carga, con un alto nivel de eficiencia y bajas pérdidas.[8]

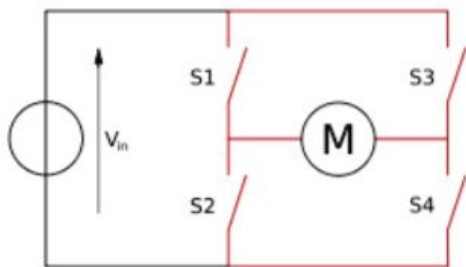


Figura 7. Puente H implementado con Relés. Autor: Roberto Guaman Choca.[8]

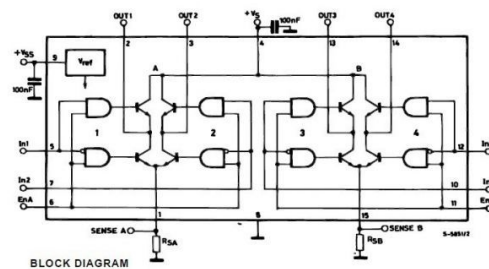


Figura 8. Puente H implementado en un L298. Autor. STMicroelectronic.[8]

### 2.2.5 Regulador de Voltaje.

Los reguladores permiten mantener el voltaje de la salida fijo independiente de las variaciones de carga o ondulación de la entrada (ripple). Las características se especifican a través del porcentaje de regulación. Los reguladores pueden ser tipo serie o paralelo, con o sin realimentación. Los reguladores de voltaje pueden ser implementados usando componentes discretos e integrados. Los elementos más importantes del regulador serán la referencia, basada en un zener, usada para fijar la salida y el transistor regulador que permitirá proveer la corriente.

- Reguladores tipo serie (el dispositivo de control se conecta en serie con la carga y para regular la salida en todos los casos debe absorber parte de la tensión de alimentación).
- Reguladores tipo paralelo (regulador en derivación, el dispositivo de control está en paralelo con la carga y para efectuar la regulación, debe dejar pasar corriente en todos los casos). Cuando la corriente a través del dispositivo de control cae a cero, la acción de regulación cesa.

#### Requerimientos de un regulador

- Mantener la tensión de salida constante independiente de las actuaciones de la entrada y la temperatura.
- Mantener la tensión constante de salida, a las exigencias de corriente de carga.
- El voltaje de salida no debe contener componentes alternos.
- La fuente debe poseer un sistema para limitar la corriente de salida (protección).

El regulador mantendrá el voltaje sin carga (circuito abierto, no provee corriente), o a plena carga, entregando una corriente en la salida como lo indica la Figura 9(b). [9]

En el caso de este proyecto fue necesario establecer el valor del voltaje de salida igual a 5v DC, para la alimentación de los dispositivos de control y los sensores de velocidad y distancia.

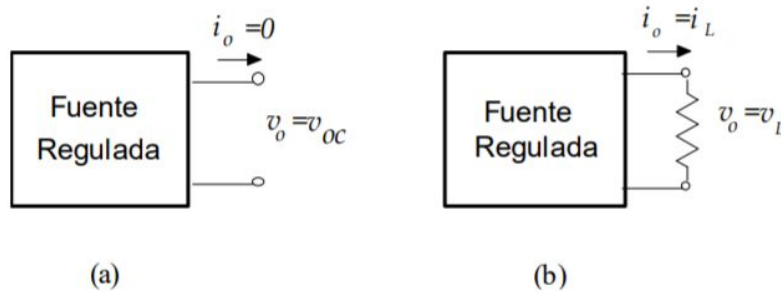


Figura 9. Voltaje de regulación a. Sin carga, b. Con carga.[9]

### 2.2.6 Encoder óptico.

Un encoder es un dispositivo que convierte el movimiento o la posición en una señal eléctrica. En este proyecto se implementaron encoders ópticos (Figura 10), los cuales utilizan un rayo de luz directamente a un disco ranurado para que la luz pase a través y así enviar una señal interpretada como pulso. El número de ranuras en el disco puede variar según la aplicación, pues a más de ellas es más fina la medición, y hay menos error al momento de medir la posición o el movimiento que ha transcurrido. [10].



*Figura 10.* Encoder óptico[10].

### **2.3 Marco legal**

*Leyes de Asimov para la robótica:*

- 1) Un robot no debe hacer daño a un ser humano ni, por inacción, dejar que este sufra un daño.
- 2) Un robot debe obedecer las órdenes que recibe de un ser humano, excepto cuando tales órdenes entran en conflicto con la primera ley.
- 3) Un robot debe proteger su propia existencia siempre que dicha protección no entre en conflicto ni con la primera ni con la segunda ley. [11]

De Acuerdo a las anteriores Leyes planteadas por Asimov , el parlamento Europeo decidió reunirse para realizar un propuesta con recomendaciones destinadas a la Comisión sobre normas de Derecho Civil sobre robótica, donde se plantearon diferentes casos y situaciones que involucran a robot influyendo en la vida de las personas, además se establecieron los principios generales relativos al desarrollo de la robótica y la inteligencia artificial para uso civil entre otras cosas que se pueden observar en el Proyecto de Informe (2015/2103 (INL)) cuya ponente Mady Delvaux donde propone lo siguiente [11]: “Los robots no pueden, en sí mismos, ser considerados

responsables de los actos u omisiones que causan daño a terceros; que las normas vigentes en materia de responsabilidad abarcan aquellos casos en los que es posible remontarse hasta un agente humano concreto —como el fabricante, el propietario o el usuario— a quien imputar la acción u omisión del robot, y en los que dicho agente podía haber previsto y evitado la actuación perjudicial del robot; que, además, los fabricantes, los propietarios o los usuarios podrían ser considerados objetivamente responsables de los actos u omisiones de un robot si, por ejemplo, el robot estuviera clasificado como un objeto peligroso o entrara dentro del ámbito de aplicación de la normativa sobre responsabilidad por daños causados por productos defectuosos” [11]-

El diario español ABC, publicó un artículo donde se dan a conocer las leyes de la robótica que propone Europa, con el fin de regular los avances de inteligencia artificial y robots: [12]

1. Proteger a los seres humanos de los daños causados por robots.
2. Respetar el rechazo de la atención por parte de un robot.
3. Proteger la libertad humana frente a los robots.
4. Proteger a la humanidad contra las violaciones de la privacidad cometidas por un robot.
5. Gestión de datos personales procesados por robots.
6. Proteger a la humanidad contra el riesgo de manipulación por robots.
7. Evitar la disolución de los vínculos sociales.
8. Igualdad de acceso al progreso en robótica.
9. Restringir el acceso humano a las tecnologías de mejora.

Se pueden encontrar leyes propuestas por la unión europea, adicionales a las mencionadas, con la diferencia que algunas de ellas toman acciones legales impuestas también para los humanos: [13]

1. Los robots deberán tener un interruptor de emergencia.
2. Los robots no podrán hacer daño a los seres humanos.
3. No podrán generarse relaciones emocionales con los robots.
4. Los que sean más grandes deberán tener un seguro obligatorio.
5. Derechos y obligaciones para los robots.
6. Tendrán la obligación de pagar impuestos.

#### **2.4 Marco tecnológico y científico (estado del arte)**

En la actualidad hay diversos tipos de robots, utilizados en muchas actividades; algunos de ellos buscan el entretenimiento de espectadores, o evitar el contacto de las personas con elementos peligrosos o actividades repetitivas y fomentan la interacción hombre-máquina de manera divertida e innovadora. Dichos robots pueden ser teleoperados o autónomos, dependiendo de su entorno y su uso.

Para este trabajo de grado se implementó un robot semiautonomo, ya que está integrado por dos modos manual (teleoperado) y automático. El modo manual es utilizado en ambientes fuera del centro pediátrico Harker y el modo Automático dentro del centro pediátrico. Para tener un

conocimiento a fondo sobre el proyecto que se realizó, se expondrán algunas investigaciones y trabajos desarrollados en este ámbito.

Uno de los trabajos que se quieren citar es el titulado “*Diseño y construcción de un robot móvil a control remoto*” realizado por Irma Pérez Salinas (en la maestría en electrónica y computación de la universidad Tecnológica de la Mixteca en México), en el cual describe el diseño e implementación de un sistema de control para operar un robot móvil por medio de señales infrarrojas, emitidas por un control remoto convencional; el vehículo considerado tiene un chasis tipo Jeep con cuatro ruedas; dos ruedas de tracción trasera y dos de dirección, las cuales se manipulan por medio de motores de corriente directa haciendo movimientos hacia adelante, hacia atrás y girar las ruedas tanto a la izquierda como a la derecha. El sistema electrónico y de control se constituye por un microcontrolador AT90S2313 y un circuito de potencia.

Según Pérez Salinas se aplicó la técnica modular; con lo cual logró una estructura flexible que permite crear soluciones personalizadas como por ejemplo el módulo de detección se podrá utilizar en diferentes aplicaciones tales como: controlar el encendido-apagado y/o la intensidad de luminiscencia de una lámpara (dimmer), o en la apertura de puertas etc. [14]

Este robot fue realizado modo experimento, por lo tanto, no se llegó al mercado y no se conoce el costo al público, además su apariencia física no es tan llamativa para el cliente (Figura 11).



*Figura 11.* Robot móvil operado por medio de señales infrarrojas. Autor:Irma Perez Salinas[14].

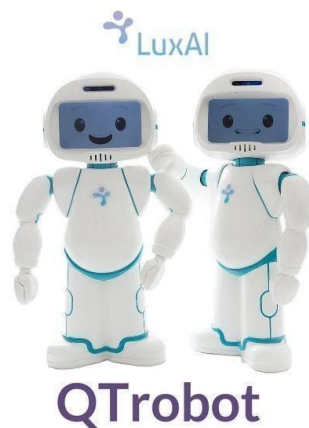
En el artículo *“Control supervisado para la asistencia a la conducción de un robot móvil teleoperado en ambientes interiores”* elaborado por Jaime Andrés Velásquez se evidencia cómo los avances realizados en robots teleoperados han aumentado la seguridad en el ámbito de solución de situaciones donde el ser humano se encuentre en riesgo inminente, o en la cual el trabajo sea tedioso o repetitivo, el cual puede recaer en el error humano a la hora de realizar dicho procedimiento [15].

En el trabajo publicado en la revista científica de ingeniería electrónica, automática y comunicaciones titulado como *“Interfaz de control teleoperado para dos manipuladores industriales usando marcador visual humano”* escrito por Germán Buitrago y Olga Lucia Sandoval Ramos en 2016, se evidencia el trabajo cooperativo entre la robótica y los movimientos realizados por los operarios, esto con el fin de obtener por medio de una interfaz una forma remota de controlar dos manipuladores industriales ubicados en celdas de trabajo contiguas. Por medio de un Kinect se captan las imágenes de los operarios esquemáticamente y con un protocolo Ethernet establecido entre los ordenadores y controladores de los robots se

puede establecer el trazo de la trayectoria descrita y replicada con retardos que pueden llegar a ser casi despreciables en el momento de la ejecución y con menores limitaciones para la movilidad del operario [16].

Actualmente hay empresas que se enfocan en la creación de robots capaces de interactuar con niños; una de estas empresas es LuxAi S.A ubicada en Luxemburgo, los cuales han creado un robot humanoide llamado QTrobot el cual ayuda a la rehabilitación de niños diagnosticados con autismo; este robot cuenta con el sistema operativo ROS, su programación se realiza por medio de una interfaz gráfica sencilla de usar desarrollada en Python [17] y lo más resaltante de este robot es que cuenta con toda la ergonomía y protección para sus clientes.

LuxAi (Figura 12) no está diseñado para interactuar con los padres, pues es especializado exclusivamente en la población infantil con autismo.



*Figura 12.* Robot para niños autistas. Autor:LuxAi.[17]

Contixo R1 (Figura 13) es un robot que cuenta con un sensor táctil y grabador de voz con el fin de interactuar con los niños y padres de familia a través de chistes, su peso es de una libra y mide 4 pulgadas de largo, 3.5 pulgadas de ancho y una altura de 5 pulgadas. Este robot es un juguete el cual tiene una funcionalidad muy reducida a interactuar únicamente con su comando

de voz, donde él genera algunos chistes dependiendo del tema elegido. La capacidad de interpretar el tema y generar el chiste de forma eficiente es sorprendente. Su valor comercial es de 260.555 COP este valor es menor que el estipulado en el proyecto debido a que Contixo R1 es tomado como un juguete pequeño y creado en masa.



*Figura 13.* Contixo R1. Autor: Contixo[18]

Existe una gran brecha entre los robots de servicio y la inteligencia humana en la disciplina cognitiva y de aprendizaje. En 2016 Su Hang, Zhang Yusi, Li Jingsong y Hu Jie propusieron en su publicación “*The shopping assistant Robot design based on ROS and deep learning*” un método de diseño de robot asistente de compras que combinaba el sistema de operación de robot y el método de aprendizaje profundo para el diseño de un robot asistente de compras basado en ROS y aprendizaje profundo. En primer lugar, se diseñan los paquetes ROS para el robot de servicio. En segundo lugar, los sensores Kinect se utilizan para adquirir la información en el robot. Finalmente, utilizaron simulación para evaluar el diseño. [18]

Finalmente Andrés Belzunce, Ming Li y Heikki Handroos plantean que los robots móviles son capaces de realizar movimientos de desplazamiento espacial en diferentes entornos. Estos movimientos pueden ser calculados en base a los datos sensoriales (robot autónomo) o dados

por un operador (robot teleoperado) como se evidencia en documento "Control system design of a teleoperated omnidirectional mobile robot using ROS,"[19] . Este documento se centra en que este último proporciona la arquitectura de control y software que une al operador de telefonía, los datos sensoriales de la circunstancia de la tarea y el sistema de locomoción del robot, así como los efectores finales. Tal tarea podría resultar abrumadora en los casos en que el robot comprende una amplia variedad de sensores y actuadores, por lo tanto, se seleccionó una opción relativamente nueva en el documento: Robot Operating System (ROS). Específicamente, el sistema de control de un robot móvil omnidireccional se desarrolla y prueba utilizando ROS junto con Gazebo para determinar la viabilidad de dicho sistema. También se realiza un análisis de estabilidad. Este trabajo concluyó que tanto las propiedades físicas como la arquitectura de control son factibles y estables.

## **2.5 Condiciones iniciales del proyecto**

*Necesidad o Problema:* Disminuir a futuro las interrupciones que se presentan en el centro pediátrico Harker debido al desconocimiento en la localización de los diferentes consultorios por parte de algunos pacientes.

Tabla 1. *Condiciones iniciales del proyecto*

CONDICIONES.	
Funcionales	El robot real se debe desplazar de tal manera que sea visible para la persona que lo requiera, y vaya a velocidad moderada para que este se pueda seguir. El prototipo debe realizar seis rutas automáticas las cuales dirigen a los pacientes a los consultorios más importantes del Centro Pediátrico Harker. El control del Robot debe ser de fácil manejo tanto en modo manual como automático.
Constructivas	Se utilizan materiales con los que cuenta TECNOPARQUE SENA. Además se presenta el diseño físico del robot real que se podrá implementar en el Centro Pediátrico Harker posteriormente.
Económicas	Para la construcción del prototipo se cuenta con el apoyo de TECNOPARQUE Bucaramanga, una rama del SENA que apoya el emprendimiento Colombiano para generar empresas y construir prototipos.
Estéticas	El robot se diseñó físicamente atractivo para niños y adultos, cumpliendo con las sugerencias estéticas de la empresa.
Seguridad	El robot no debe generar ningún tipo de lesiones a personas, cuando detecte una persona el robot prototipo se detiene.

### 3. Diseño Metodológico

#### 3.1 Método de investigación

Durante el desarrollo del proyecto se implementaron dos fases, cada una con sus diferentes etapas; buscando una unión entre ellas para lograr de manera efectiva los objetivos específicos y cumplir con todos los requerimientos pactados, a continuación se explicará con más detalle cada etapa y su importancia para el proyecto.



*Figura 14:* Fases del proyecto.

La primera etapa es el diseño del robot (Figura 14); esta etapa es fundamental ya que en ella se aclara la idea de lo que se desea desarrollar y lo que el cliente necesita, para ello se indaga en diferentes fuentes haciendo uso de herramientas como internet y bases de datos de la universidad Santo Tomás de Aquino, las cuales fueron dadas a conocer al director comercial de Harker quien compartió su opinión de cada una de ellas con el fin de tomar como referencia para el diseño del robot, finalmente se lograron establecer criterios de diseño en los que las dos partes interesadas en el proyecto llegaron a acuerdos. Estos criterios se encuentran en la sección 3.2 Criterios de diseño. Posteriormente se inició el proceso de diseño físico del robot, para ello se hizo utilizó software CAD, específicamente SOLIDWORKS 2016 pues éste software permite realizar diseños en 3D haciéndolo más visible y entendible para el cliente quien daba su opinión sobre el

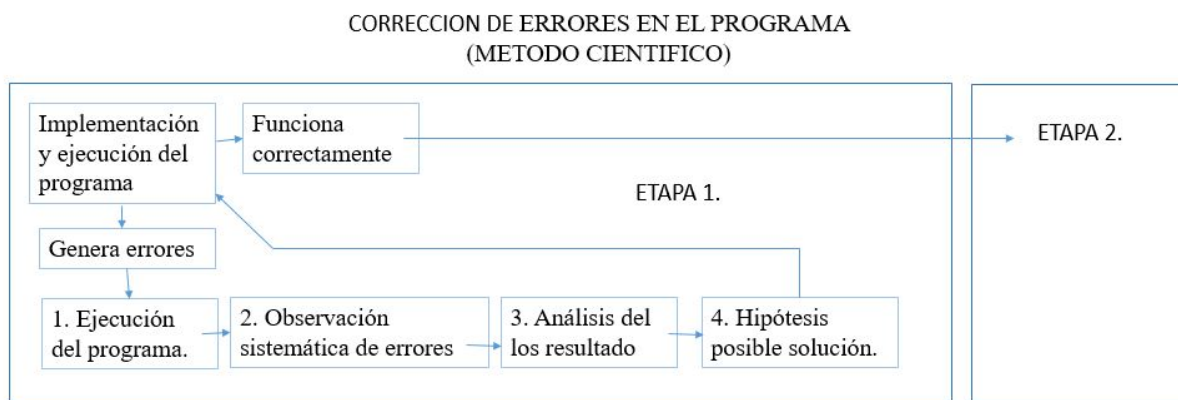
diseño realizado y las mejoras que le gustaría ver. Este proceso se puede observar en Apéndice C.

En cuanto al diseño del circuito se usaron diferentes software; uno de ellos fue PROTEUS, debido a que su entorno gráfico y de esquemas electrónicos se ajustaban a las necesidades al momento de diseñar. El segundo software de gran ayuda fué Eagle, donde se diseñaron varias tarjetas electrónicas (PCB), cada una de ellas mejor que la anterior para lograr el resultado esperado.

El ensamblaje entre el programa y la electrónica tuvo cambios a lo largo de la construcción del prototipo debido al cambio de instrumentación propuesta.

En este proceso se implementó el método científico para la identificación y corrección de errores en el programa, el cual consta en realizar una observación sistemática del error obtenido, y así generar una posible hipótesis de la corrección de este mediante la repetibilidad del experimento y análisis de los resultados obtenidos.

Luego de generar la hipótesis se procede a verificar si es funcional en la corrección. Si es así se genera una nueva hipótesis para la siguiente etapa de ser necesario, de lo contrario se genera otra posible hipótesis que solucione el error y así se repite hasta conseguir el buen funcionamiento de cada etapa del circuito. La implementación del método científico (Figura 15).



*Figura 15.* Corrección de errores en el programa.

Para la implementación del circuito, se realizó una previa selección de materiales, la selección de los materiales se realizó a partir de cálculos obtenidos y posteriormente una verificación de resultados obtenidos con elementos existentes en Tecnoparque, es decir, se propuso dichos materiales a Tecnoparque para determinar cuáles de éstos se encontraban en inventario, o sino, reemplazarlos por uno similar. Posteriormente en la fase 2, los diseños previamente realizados toman forma haciendo que se vean físicamente los detalles reales del prototipo. Se inició con la construcción física del diseño desarrollado en el software de Solidworks, donde se realizaron pequeñas pruebas, con el fin de validar las medidas del software con los elementos que ensamblan en ellas. Una vez se tienen las medidas exactas, se prosiguió a imprimir la pieza completa en una impresora 3D con material PLA blanco, con la seguridad que cada elemento encaja a la perfección.

La construcción de la PCB inicialmente se realizó con la ayuda de la máquina LPKF Laser & Electronics en las instalaciones de Tecnoparque Bucaramanga, pues con ella es posible producir placas de circuitos impreso de una o dos caras, circuitos multicapa, de alto rendimiento. Al

finalizar el maquinado se notaron incongruencias con el circuito original, y la máquina entró en mantenimiento. Para un segundo intento con un circuito más trabajado y menos complejo que el anterior, se utilizó una máquina Voltera, la cual funciona con tinta conductiva. Terminar la PCB con éste método no tuvo buenos resultados, pues a pesar que la persona encargada de capacitar el personal de Tecnoparque afirmaba que era posible implementar con ella elementos que no fueran de montaje superficial, no fue posible hacerlo debido a que la tinta de soldadura no se endurecía como debería, y los componentes obstruían el paso del riel de la máquina y su buen funcionamiento.

Finalmente, la tarjeta fue realizada por medio del método tradicional de la plancha, y la soldadura fue aplicada con cautín y estaño a mano. Todo el proceso del diseño de la PCB se puede observar en el Apéndice D.

Se ensambló la estructura del robot, el circuito y el programa y se prosiguió a evaluar cada etapa del programa luego de corroborar que todos los componentes del circuito funcionaban a la adecuadamente junto con la estructura física. En este proceso se observaron algunos errores que se corrigieron inmediatamente, tales como la estabilidad del robot, donde se superpusieron bloques de bronce en la parte delantera de la base, a modo de contrapeso, y se realizaron múltiples pruebas, con el fin de comprobar el buen rendimiento de todo el prototipo y el cumplimiento de cada uno de los objetivos propuestos, al igual que los requerimientos del cliente. Además se realizaron los manuales técnico (Apéndice E) y del usuario (Apéndice F) los cuales fueron entregados al director comercial de Harker quien verificó su funcionalidad y dio su aprobación en cuanto al buen funcionamiento.

A Continuación se observa de manera simplificada la evolución de cada etapa y cómo se complementan con las anteriores con el fin de verificar el funcionamiento. Para ello se implementó el Modelo V (Figura 16).

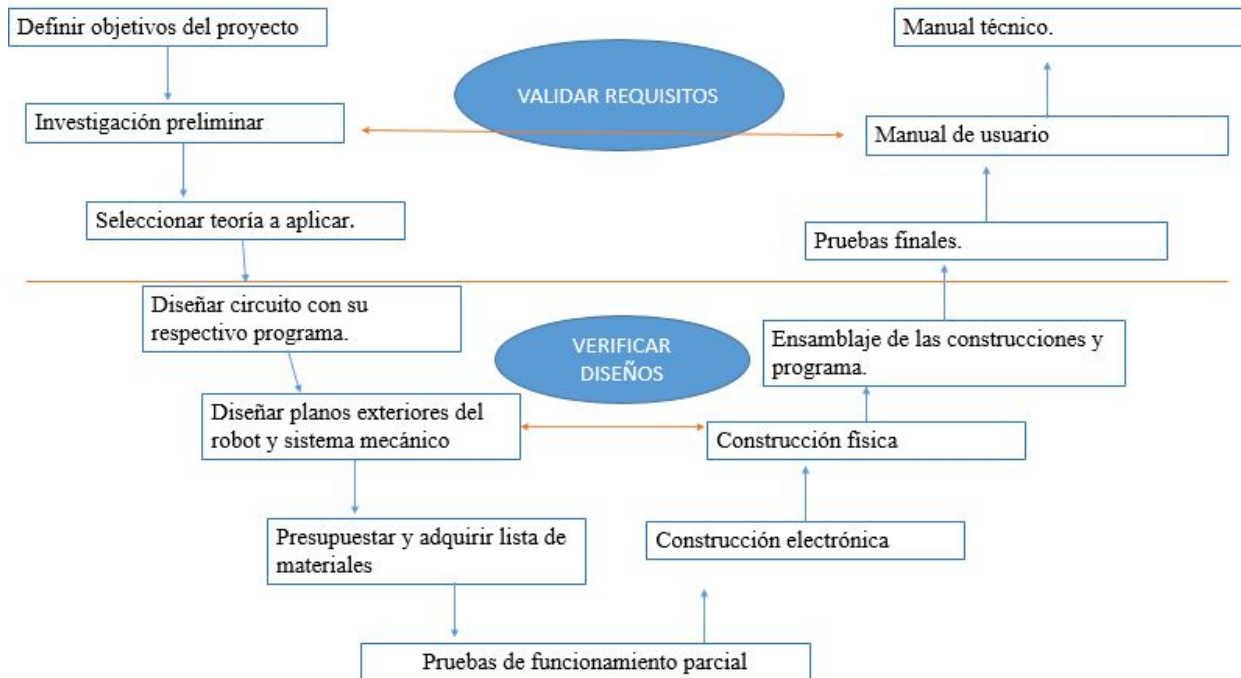


Figura 16. Modelo V implementado en el Robot.

El método en V se utilizó con el fin de ahorrar tiempo y dinero, ya que cada etapa se evalúa de manera eficiente, corroborando que su funcionamiento es el indicado para así poder proseguir a la siguiente etapa.

### 3.2 Criterios de diseño

Se tuvo en cuenta los requerimientos del cliente (Apéndice B.) y robots fabricados para tareas domésticas o para niños como lo son los robots Sanbot y diseños de personajes inspirados en animaciones y juguetes. Estos tipos de robot que tienen un uso comercial enfocado a las personas que no son expertas en robótica, sino que necesitan ayuda con alguna tarea o simplemente de compañía. En el caso de éste proyecto se buscó una alternativa de colaboración a los trabajadores de la recepción del centro pediátrico Harker, una solución para aquellas personas que no conocen las instalaciones, y una forma innovadora de llamar la atención de niños y adultos.

Los bordes del robot son redondeados con el fin de evitar accidentes, y se evitó incluir plataformas donde un niño pueda subirse.

En la sección delantera se incluyó la emulación de una cara para hacer el robot más amigable (Figura 17). El robot real y el prototipo se planearon con materiales diferentes en su exterior, pues la empresa solicita Corian® para el real, y por cuestiones de modelado y economía, en el prototipo se usa plástico PLA. Dicho plástico es menos transparente y homogéneo en su estructura interna comparándolo con el polímero Corian®,



*Figura 17. Vista isométrica de la cabeza*

### **3.2.1 Requisitos y especificaciones del cliente.**

A Continuación se comparan las especificaciones que el gerente comercial de Harker requiere tanto en el robot real como en el prototipo.

Tabla 2. *Requisitos y especificaciones*

Especificaciones	Prototipo del Robot	Diseño Robot Real
Altura	55 cm	150cm
Colores	Sin especificar	Colores institucionales (azul, magenta, amarillo y blanco)
Forma	Humanoide	Humanoide
Material	Sin especificar	Corian ®
Estética	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Que sea atractivo para los niños y llame su atención.</li> <li>• No se observe ningún cable en el exterior.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Que sea atractivo para los niños y llame su atención.</li> <li>• No se observe ningún cable en el exterior.</li> </ul>
Funcionamiento	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Que se pueda exponer en cualquier feria o evento al que el consultorio participe, usando un control para darle las respectivas indicaciones.</li> <li>• El robot debe funcionar en el consultorio sin necesidad de un agente externo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Que se pueda exponer en cualquier feria o evento al que el consultorio participe, usando un control para darle las respectivas indicaciones.</li> <li>• El robot debe funcionar en el consultorio sin necesidad de un agente externo.</li> </ul>
Batería	Sin especificar	Duración de funcionamiento sea mínimo 5h
Accesorios	Sin especificar	Pantalla Táctil
Seguridad	No debe hacer daño a los pacientes, ni a las instalaciones.	No debe hacer daño a los pacientes, ni a las instalaciones.

### 3.2.2 Requerimientos de función.

El robot debe tener dos formas de funcionamiento, una de ellas es la manual y la otra automático.

- Modo manual: cuando el centro pediátrico desee utilizarlo en una área diferente a la sede principal (FOSCAL internacional), es decir cuando se realicen campañas o brigadas de salud, donde las rutas no se conocen previamente.
- Modo automático: se establecieron seis rutas que el robot deberá realizar, estas rutas son implementadas en el centro pediátrico Harker ubicado en la FOSCAL internacional. Las rutas más importantes son hacia preconsulta, o consultorio 0 y hacia el consultorio número siete.
- Velar por la integridad de todos los presentes en el consultorio, deteniéndose al detectar una persona u objeto en su camino a una distancia prudente para evitar choques.

### **3.2.3 Requerimientos estructurales.**

- El diseño del robot debe ser de fácil acceso, para que el mantenimiento del mismo sea sencillo de realizar.
- El diseño debe tener una geometría para que sea seguro y confiable.
- El diseño de tener una geometría adecuada de tal manera que su limpieza sea fácil.

### **3.3. Descripción de etapas y tareas**

Para la realización del proyecto se dividió en las siguientes etapas:

*Definición de los objetivos del proyecto:* Inicialmente se tuvo una charla con el doctor Harker donde se acordaron ciertos requisitos que se debían cumplir con la implementación del robot en el consultorio, tales como la forma de controlarlo, dimensiones, entre otros.

*Investigación preliminar:* Se realiza una investigación con el fin de analizar los avances que se han desarrollado en campos similares y de ellos identificar cuáles teorías son aplicables al robot a diseñar.

*Selección de teoría a aplicar:* Una vez finalizada la investigación se definió lo que se desea implementar en el proyecto y las teorías que se aplicarían. En el caso del robot se implementó un sistema diferencial, es decir se tienen dos motores para la orientación y una o dos “ruedas locas” para darle estabilidad.

*Diseño de planos exteriores del robot y sistema mecánico:* El diseño de la parte física se realizó en SolidWorks con las medidas establecidas y con la ubicación de todos los elementos a utilizar, con el fin de tener una idea de su tamaño y dimensiones.

*Diseño de circuitos:* Diseñar la parte de potencia y control de desplazamiento, orientación y seguridad para los motores, esto se realizó con ayuda del hardware y software de Arduino.

*Presupuesto de materiales:* Se realizó una búsqueda detallada de los instrumentos con el fin de cumplir con los objetivos estipulados. Para la obtención de los materiales se contó con el apoyo de Tecnoparque Bucaramanga; quien aporta los materiales necesarios para la realización del mismo.

*Construcción electrónica:* Para la construcción electrónica se construyó el circuito previamente diseñado en una placa de cobre.

*Construcción física:* El exterior del prototipo de robot se realizó en plástico PLA, y se imprimió en Tecnoparque Bucaramanga con ayuda de impresoras 3D ultimaker.

*Ensamble:* Acoplar cada una de las construcciones anteriores y los materiales en una sola pieza, junto con la implementación del programa. a su vez se realizaron las pruebas necesarias dentro y fuera del Centro Pediátrico Harker para corroborar el funcionamiento del sistema.

#### 4. Desarrollo

Partiendo de los criterios de diseño señalados en el capítulo anterior, se darán a conocer los resultados obtenidos, con sus correspondientes análisis.

Tabla 3. *Resultados*

Resultado	Indicador	Objetivo Relacionado	Porcentaje de Desarrollo
Diseño en SolidWorks del robot visiblemente estético con una altura de 150cm, utilizando Corian® junto con todos los elementos que lo integran.	Cálculos para la selección de actuadores, apoyados en Solidworks	Diseñar la estructura del robot que cumpla con los requerimientos de la empresa	100%

Tabla 3. (Continuación Resultados)

<b>Resultado</b>	<b>Indicador</b>	<b>Objetivo Relacionado</b>	<b>Porcentaje de Desarrollo</b>
Diseño y construcción del prototipo a escala en PLA con ayuda de impresoras 3D.	Diseñar el prototipo en SolidWorks y construirlo en PLA	Diseñar y construir el prototipo del robot a escala que será implementado en el centro pediátrico Harker.	100%
Por medio de un control se selecciona el modo de operación, ya sea el automático seleccionando las rutas deseada o el manual indicando hacia donde se dirija el Robot.	Software y Hardware	Implementar dos modos de operación para el desplazamiento: manual y automático.	100%
El diseño gustó a la vista de los niños y padres de familia que frecuentan el centro pediátrico Harker, además el robot se detiene tan pronto detecta una persona/ objeto frente a él, haciéndolo seguro.	Software y Hardware.	Realizar el diseño externo del robot agradable, llamativo y seguro para la población infantil	100%

#### **4.1. Diseño y Construcción.**

Inicialmente se menciona la relación que se tuvo con Tecnoparque nodo Bucaramanga, el cual se constituyó en un apoyo importante para el desarrollo del proyecto y puede servir para que otros proyectos hagan uso de este recurso.

##### *Proceso de vinculación con Tecnoparque nodo Bucaramanga*

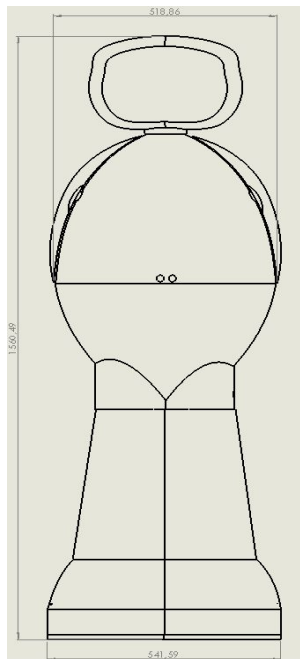
En primer lugar es necesario dirigirse a Tecnoparque, ubicado en la Cra 23#39-38 en Bucaramanga y solicitar comunicarse con la secretaria encargada de los proyectos, pues es ella la persona encargada de indicar la hora y la fecha de la cita para presentar el proyecto ante el comité de proyectos de Tecnoparque, además de proporcionar los documentos y diapositivas a diligenciar para que el proceso se lleve a cabo de manera correcta. El día anterior a la cita se deben enviar los documentos mencionados. Posteriormente después de la sustentación del proyecto frente al comité se debe esperar respuesta por parte de éstos, y una vez que esta sea positiva se debe firmar el acta de inicio del proyecto y fijar el cronograma, entre otros documentos con un gestor asignado dependiendo de la rama de investigación a la cual pertenezca. Tecnoparque cuenta con material electrónico, químico, herramienta, maquinaria, y talento humano de calidad para llevar a cabo todo tipo de proyectos emprendedores para todo aquel que esté interesado en formar empresa. Finalmente cuando el proyecto se considere terminado se realiza el acta de finalización que incluye una serie de documentos explicando la manera en la que se realizó el proyecto y como Tecnoparque participó en el proceso, además de

una lista de materiales utilizados y un video tanto de los talentos (personas emprendedoras dueñas del proyecto) como del proyecto y su funcionamiento y alcance. Esta entidad no solicita derechos de autor como tal del proyecto, en lugar de esto, el proyecto debe tener notoriamente el logo de Tecnoparque Sena, y los talentos responsables de utilizar los recursos deben asistir a ciertos eventos de emprendimiento beneficiosos para su carrera o su labor.

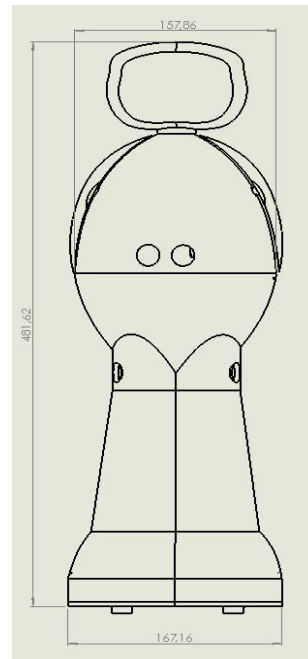
#### **4.1.1 Diseño estructural del Robot.**

En cada proceso de diseño y construcción se implementó el Modelo V mencionado anteriormente. A Continuación se dará a conocer el resultado final del proyecto, analizando el desempeño presente en el mismo partiendo de los requisitos exigidos por el cliente.

El diseño del robot real y del prototipo se realizó en Solidworks 2016 para ello se tuvo en cuenta la implementación de un robot diferencial. La variación que presentaría el robot real con respecto al prototipo es el tamaño, pues el robot real se plantea con una altura de 150 cm y el prototipo de 55 cm (Figuras 18 y 19).



*Figura 18.* Vista frontal robot real.



*Figura 19.* Vista real del robot prototipo.

A continuación se darán a conocer las partes más importantes que componen el robot. En la figura 20 se puede observar la ubicación simétrica de cada uno de los elementos en la base, donde se adaptaron dos motores (1) con sus respectivas ruedas (2) y encoders (3), además tiene dos ruedas locas (4) que funcionan como apoyo y dan estabilidad al robot. A diferencia del prototipo el robot real no se le adaptara el encoder ya que se cotizó un motor con encoder incluido (Apéndice G). Los motores están ajustados por dos agarraderas (5) ya que con estos se evitan que el motor genere un momento al tener contacto la rueda con el piso o cualquier superficie.

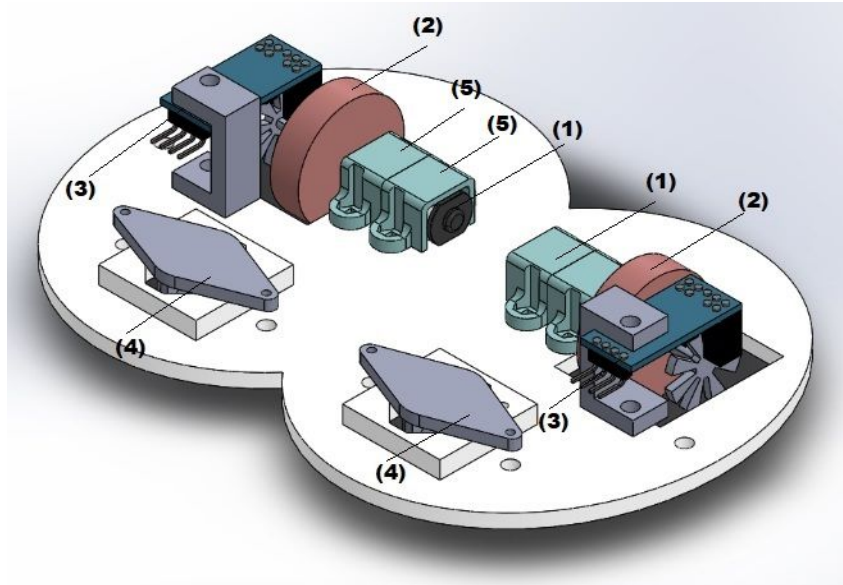


Figura 20. Vista isométrica de la base con respectiva ubicación de los elementos.

El diseño del sistema para el sensado de la velocidad se puede observar en la Figura 21, consta de un soporte (1) el cual nos permite ajustar adecuadamente el módulo sensor de velocidad de herradura LM393 (2) para que las interrupciones en el haz de luz se hagan efectivas sin ningún tipo de ruido. Las interrupciones se dan debido al encoder (3) con ranuras que dan o impiden el paso de luz, el encoder diseñado cuenta con ocho ranuras tomándose como ocho señal en alto y ocho señales en bajo.

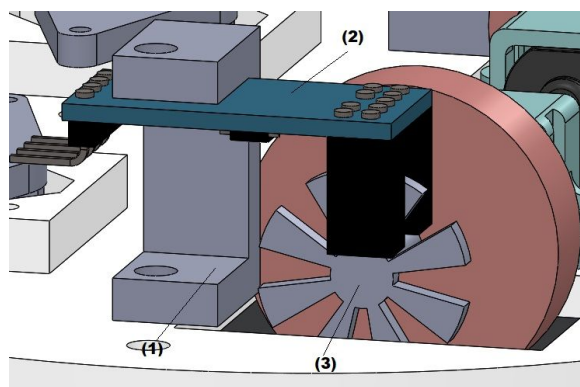
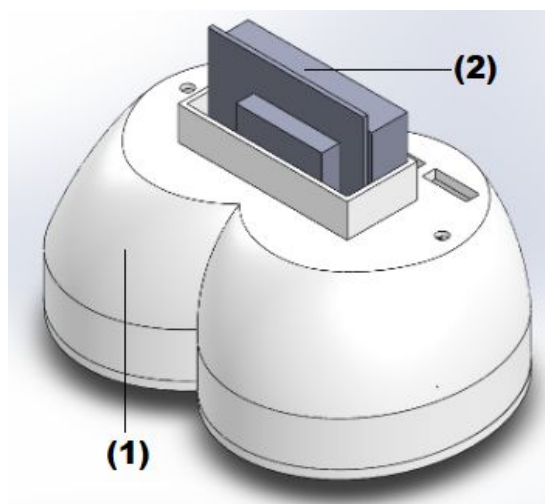


Figura 21. Sistema para el sensado de velocidad.

Un aspecto importante en el diseño es la estabilidad del robot, por ello el centro de inercia debe estar cercano al suelo. Para ello se ubica los componentes más pesados en la parte inferior del robot, es decir, en los pies (1), como se puede observar en la Figura 22, donde se ubican tres baterías (2). una batería lipo de 7.4 Volts, y dos baterías de 3.7 volts unidas en serie para que el voltaje de un total de 7.4 volts. Ambos arreglos de baterías se conectan en paralelo para aumentar el amperaje total del circuito. Este arreglo de baterías es fácilmente recargable por medio de un cargador especial, el cual debe conectarse a un conector ubicado en la parte posterior de la cabeza del robot, abriendo la tapa y siguiendo las instrucciones de carga.

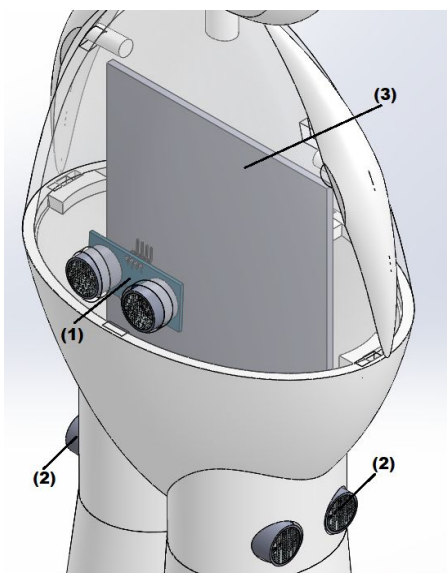


*Figura 22. Vista Isométrica de los pies y Baterías*

Para la seguridad de los usuarios se instalaron tres sensores ultrasónicos HC-SR04 (Figura 23), encargados de medir distancias. Cada uno de ellos tiene una función diferente: el sensor frontal (1) es el encargado de evitar que el robot colisione con los usuarios o algún objeto que se tome como obstáculo, pues si la distancia del robot con este es menor a 40 cm, el robot se detendrá hasta que nada se interponga en el trayecto de la ruta y posteriormente podrá seguirla.

Los sensores ubicados en los laterales del robot (2), tienen la función de detectar la pared cercana correspondiente pues por medio de ellas es guiada la ruta.

La ubicación de la tarjeta electrónica (3) se realizó en la parte central del robot con el fin que el cableado sea más ordenado, además, es el lugar con mayor espacio del robot, siendo la PCB y los cables quienes requieren una mayor área del robot. Las dimensiones de la PCB es de 9 x 10,6 cm, y en esta área se encuentra un puerto USB(4) que permite cargar y modificar el programa fácilmente sin necesidad de abrir el robot, un interruptor (5) de encendido y apagado, un sensor infrarrojo (6) que se conecta con la aplicación celular para recibir la orden de la ruta o direcciones que deberá seguir y tres led indicando los movimientos que está realizando (Figura 24)



*Figura 23.* Vista isométrica de la estructura central superior del robot, ubicación de los sensores y PCB.

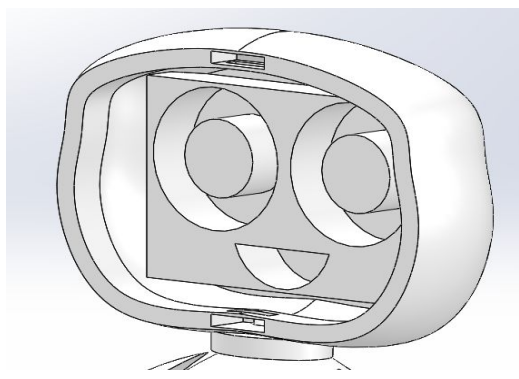


*Figura 24.* sensor infrarrojo , USB, led y Switch

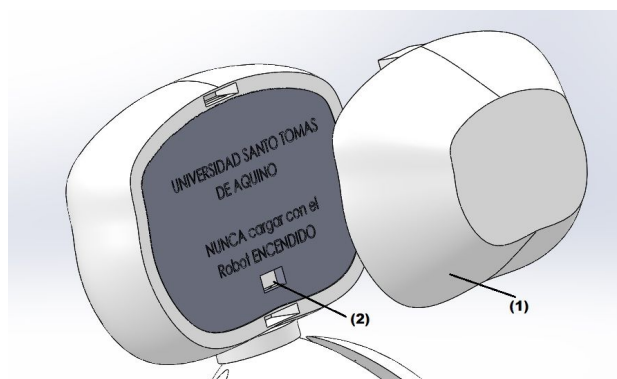
Por último se tiene la cabeza del robot, cuenta con aberturas internas para la emulación de una cara común de muchos juguetes: dos ojos y una boca pequeña, las cuales son visibles por medio de cinta flexible de led azul (Figura 25). Para lograr este efecto se debió hacer una devastación del material (Figura 26), para reflejar el paso de la luz realizando la forma deseada. En la parte posterior de la cabeza se encuentra el puerto de carga (Figura 27), al cual se accede removiendo la tapa (1). Allí también se encuentra el puerto de carga (2). En la parte superior del puerto de carga se encuentra un aviso indicando la forma correcta de cargar el robot para así evitar daños de funcionamiento y cortocircuitos.



*Figura 25.* Cabeza del robot.



*Figura 26.* Interior de la cabeza.



*Figura 27.* Puerto de carga del robot.

### 4.1.2 Diseño del circuito.

El diseño del circuito se realizó en Proteus 8. Se utilizaron dos arduinos debido al rendimiento de estos, pues los sensores ultrasónicos requieren mayor capacidad de procesamiento que los demás componentes del circuito, y por este motivo fue necesario aislarlos y ocupar el procesador de un nuevo arduino nano. La distribución de pines para cada arduino se puede ver en las tablas 4-2 y 4-3 respectivamente.

En la Figura 28 se puede observar todas las conexiones al arduino nano #2 (1) se conectaron únicamente tres sensores ultrasónicos (2) y se le envía la señal luego de analizarla por un pin analógico A0. Los arduinos y la mayoría de los instrumentos utilizados funcionan a 5V y se cuentan con baterías de 7,6v por lo tanto se debió implementar un circuito de potencia que permita regular el voltaje entregado por las baterías (Figura 30).

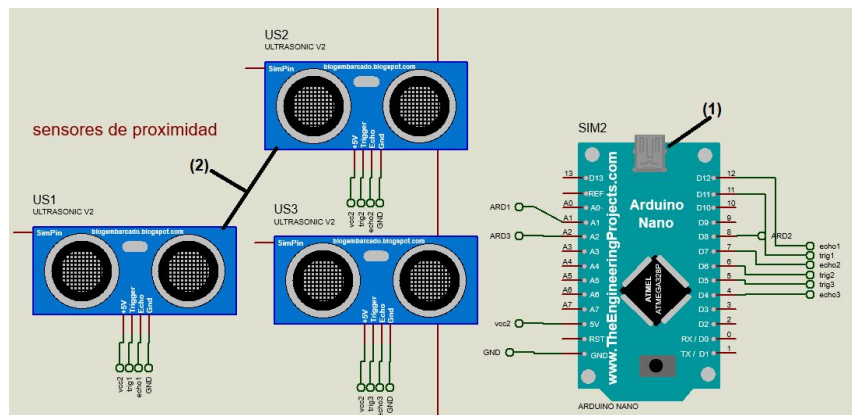


Figura 28. Conexión al arduino nano #2.

En el arduino nano #1 (Figura 29) al que se conecta un integrado L298 (3) que controla dos motores (2) permitiéndoles variar no solo la dirección sino también la velocidad. Para variar la

dirección se hizo mediante señales infrarrojas generadas por un sensor IR (4) al dar la orden con la aplicación de celular, de igual manera se instalaron tres leds indicadores de la dirección del robot.

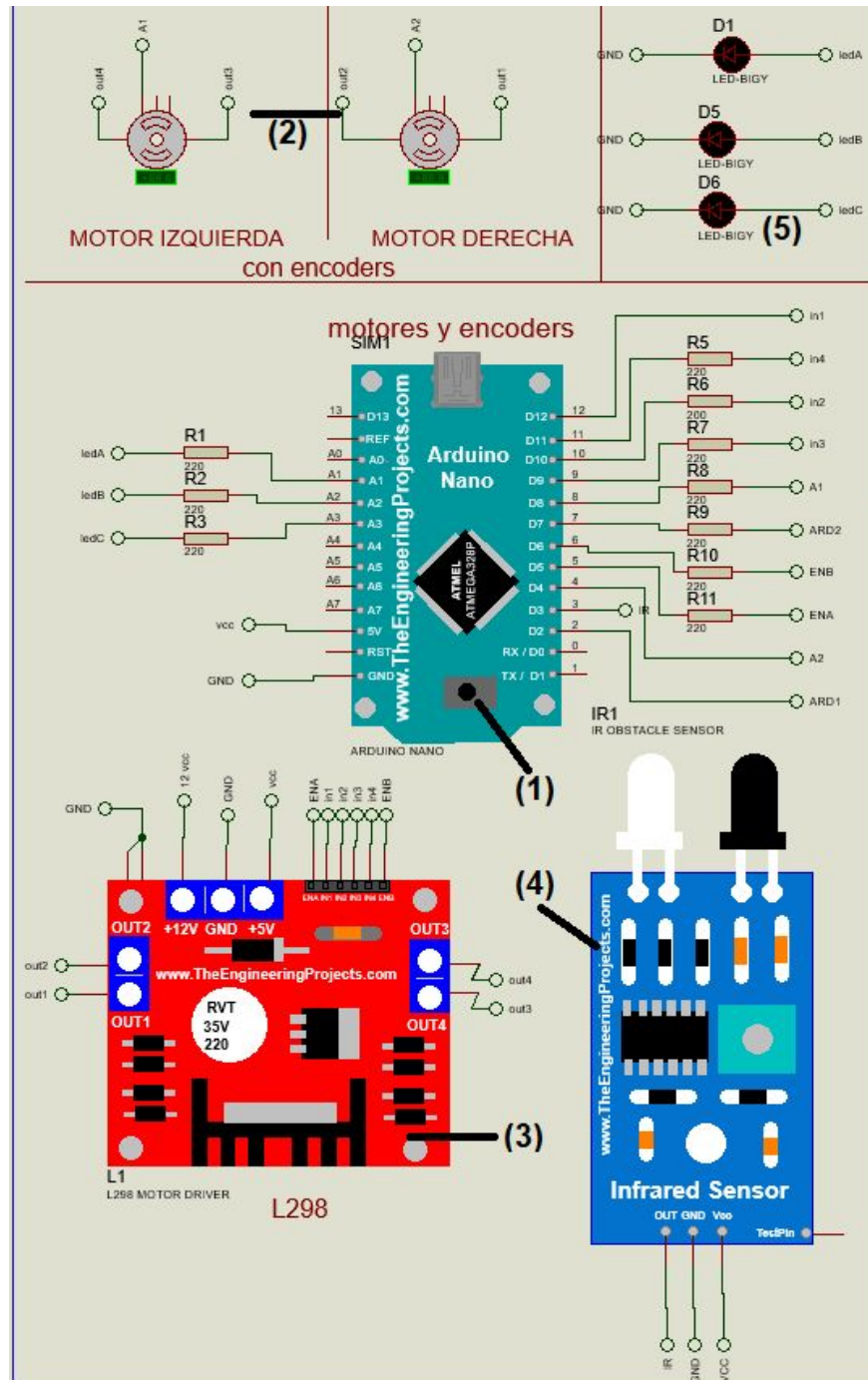


Figura 29. Conexiones al arduino nano #1.

El circuito de potencia (Figura 30) cuenta con una batería 7,6v (1) quien alimenta el arduino nano#1 y todos los componentes que se conectan a él, el arduino nano#2 lo alimentan dos baterías en serie que suman 7,6 volts (2) luego de reducir el voltaje, por ende, para encender y apagar el robot se colocó un *switch* (3), quien interrumpe el paso de corriente por los dos circuitos, además se hizo uso de un regulador de voltaje LM7805 (4) permitiendo convertir voltajes entre 5v - 12v a 5 volt.

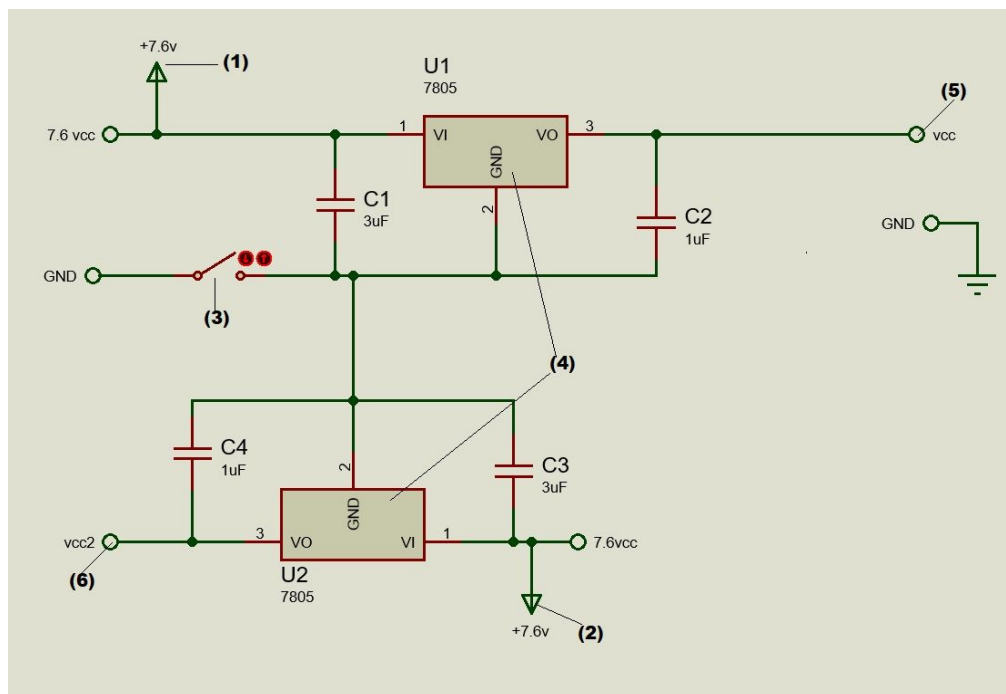


Figura 30. Etapa de Potencia.

Tabla 4. *Distribución puertos arduino nano (#1)*

ARDUINO NANO (#1)		
PIN	TIPO	ACTUADORES
D0		Tx
D1		Rx
D2	Entrada	Señal ARD1
D3	Entrada	Sensor IR
D4	Entrada	Encoder Derecha
D5	Salida	L298 ENA
D6	Salida	L298 ENB
D7	Entrada	Señal ARD2
D8	Entrada	Encoder Izquierda
D9	Salida	L298 IN3
D10	Salida	L298 IN2
D11	Salida	L298 IN4
D12	Salida	L298 IN1
D13		-
A5	Entrada	Señal ARD3
A1	Salida	LED
A2	Salida	LED
A3	Salida	LED

Tabla 5. *Distribución puertos arduino nano (#2)*

ARDUINO NANO (#2)		
PIN	TIPO	ACTUADORES
D0		Tx
D1		Rx
D2		-
D3		-
D4	Entrada	Echo 3
D5	Entrada	Trigger 3
D6	Entrada	Trigger 2
D7	Entrada	Echo 2
D8	Salida	Señal ARD2
D9		-
D10		-
D11	Entrada	Trigger 1
D12	Entrada	Echo 1
D13		-
A0		
A1	Salida	Señal ARD1
A2	Salida	Señal ARD3
A3		-

El diseño del circuito para construir la tarjeta se realizó en Eagle (Figura 31), se ordenaron los caminos de cobre y los componentes de tal manera que las borneras están ubicadas a los bordes de la tarjeta electrónica. El ancho de las pistas es de 4 mm para las señales y de 5 mm para GND, evitando el trazado de pistas con ángulos rectos.

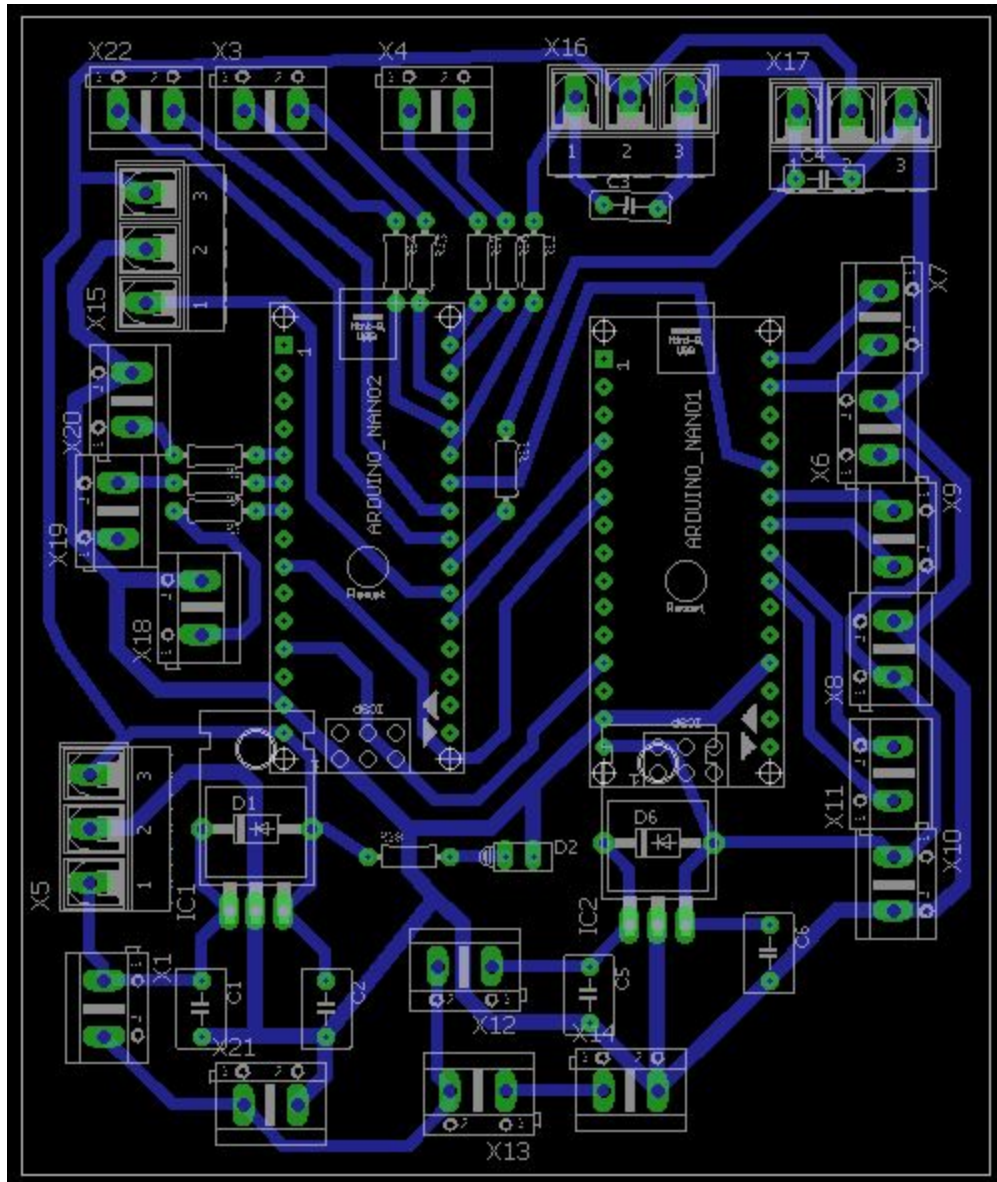


Figura 31. Tarjeta diseñada en Eagle.

Dentro de las actividades realizadas como la parte de evaluación en esta primera fase, están las relacionadas a los temas del marco teórico, que abarca los conceptos que se utilizan en el proyecto. Además se investigó sobre los posibles equipos y diseño que se deberían hacer, con el objetivo de generar ideas que pudiéramos utilizar en la fase de desarrollo básico, con base en las actividades de análisis y de síntesis realizados previamente. Dentro de esta fase, también se integra la concepción de las conexiones en un esquemas de diagrama de bloques.

En la siguiente figura (Figura 32) podemos observar el diagrama de bloque realizado, tomando en cuenta las conexiones, según los requerimientos y especificaciones que se necesitan.

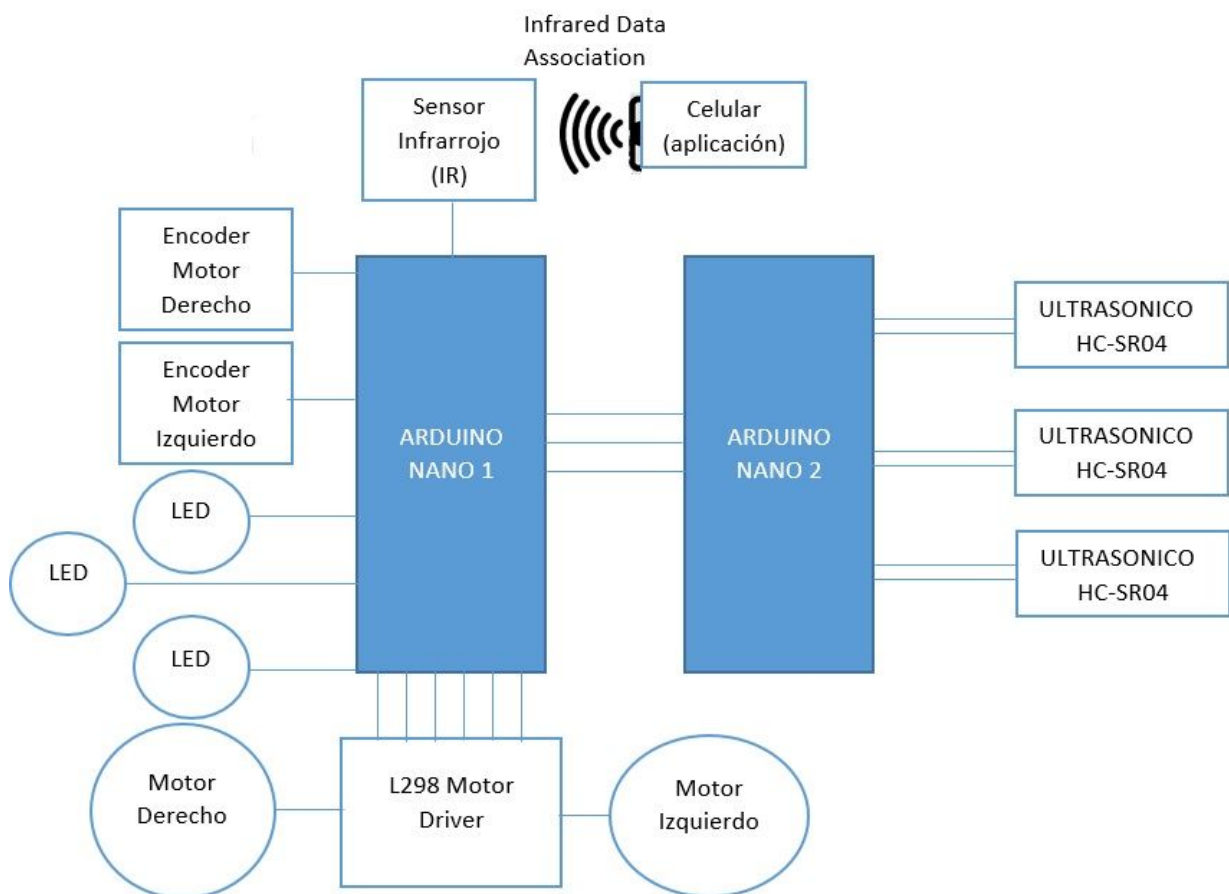


Figura 32. Diagrama de bloques del circuito.

### 4.1.3 Interfaz del usuario.

Para el manejo del robot en sus dos modos de funcionamiento, se utilizó la aplicación para celular TV Remote para ASUS, por ello no fue necesario agregar en el código una línea donde se restrinja el funcionamiento de uno de los dos modos, pues en la aplicación solo se muestra uno de los dos según requiera el usuario.

En el modo manual (Figura 33) el Robot se desplaza hacia adelante (1), derecha(2), izquierda(3), atrás(4), y parar(5), también se realiza el cambio de modo(6).

En modo automático(Figura 34) se elige la ruta deseada para que el robot la siga, siendo el número 1 la ruta de preconsulta, seguidamente desde el tres al siete depende del número de consultorio a que se desea desplazar, del mismo modo que en el manual se cambia de modo.



Figura 33. Selección Manual.

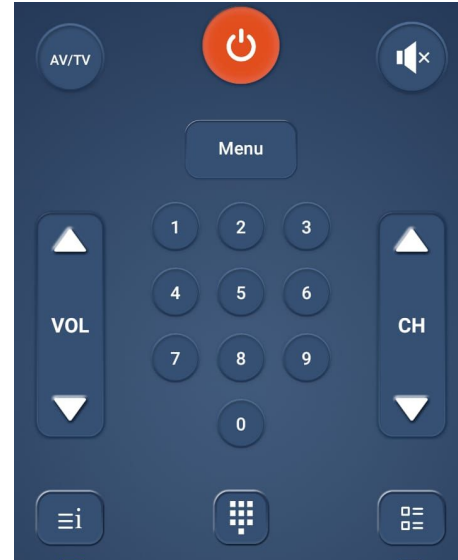


Figura 34. Selección Automático

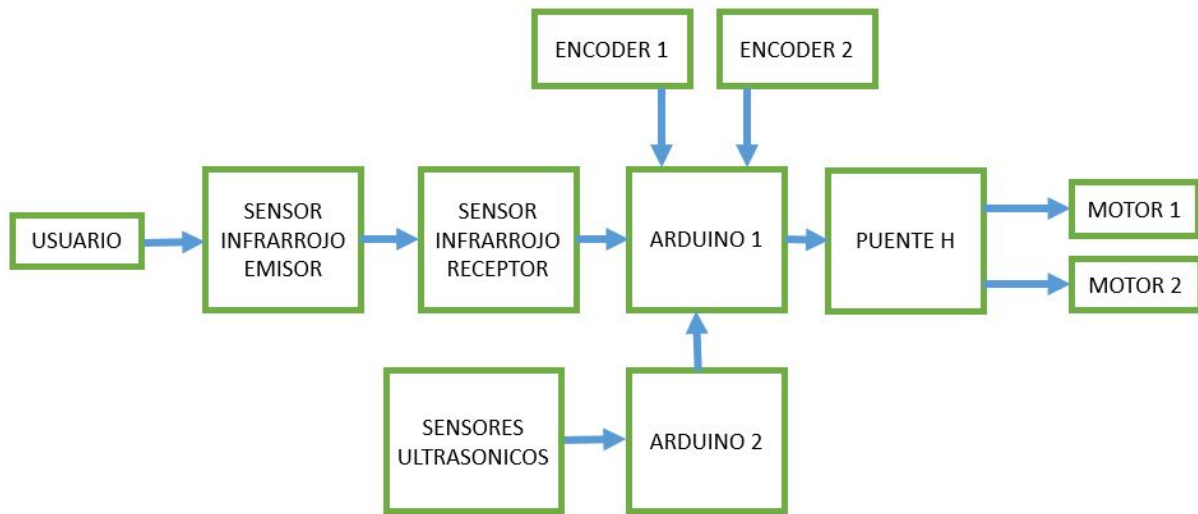
#### 4.1.4 Software.

En esta sección se especificará la programación el cual está compuestas de dos partes, una de ellas son las rutas y la otra son la adquisición de las señales de los sensores, por ende, se darán a conocer las seis rutas acordadas con el director ejecutivo de Harker., Cabe resaltar que el robot toma la pared como guía, partiendo de una posición inicial lo que significa que el recorrido finaliza en la misma posición. En la Figura 35 se presenta la ruta de Preconsulta a manera de ejemplo, las demás rutas se pueden observar en el Apéndice H. Para una mejor comprensión del sistema se tiene el diagrama de la Figura 36.

##### **Tecla 1: Preconsulta**

1. Avanza 0.9 m
2. Gira 70° izquierda
3. Avanza 3.5 m
4. Gira 70° Izquierda
5. Avanza 0.8 m
6. Gira 90° izquierda
7. Gira 90° izquierda
8. Avanza 0.8 m
9. Gira 70° Derecha.
10. Avanza 3.5 m
11. Gira 70° Derecha
12. Avanza 0.9 m
13. Gira izquierda 180°

*Figura 35. Preconsulta.*



*Figura 36.* Diagrama de todos los sistemas.

En el siguiente diagrama de flujo (DDF) (Figura 37) se muestran las actividades principales para la realización del algoritmo, dándose a conocer los procedimientos básicos para el análisis del programa, es decir procedimiento que aparecen en el programa principal (void loop). El recuadro verde son las instrucciones utilizadas en modo manual y el recuadro rojo son las instrucciones para el modo automático, en el Apéndice I se pueden ver los demás diagramas de flujo de las diferentes Rutas y el código de Arduino.

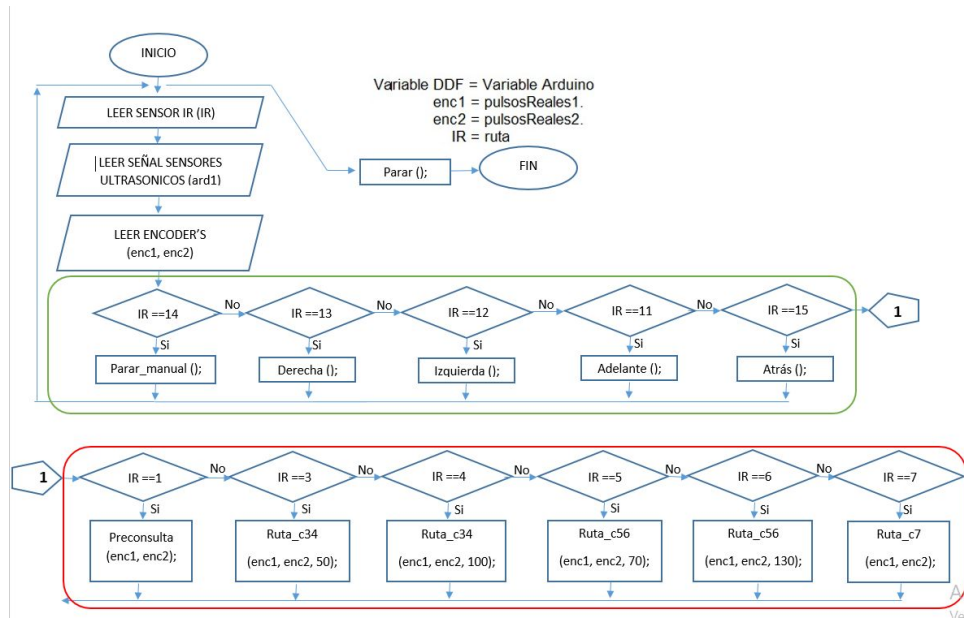


Figura 37. Diagrama de flujo Main Arduino 1(void loop).

A Continuación se dará a conocer los diagramas de flujo para la lectura de los encoder (Figura 38), además la lectura de los ultrasónicos los cuales se realizaron en funciones, para hacer más ordenado el programa y así poder hacer seguimiento más efectivo del Modelo V pues cada una de las funciones se toman como un bloque en el cual es más fácil identificar errores .

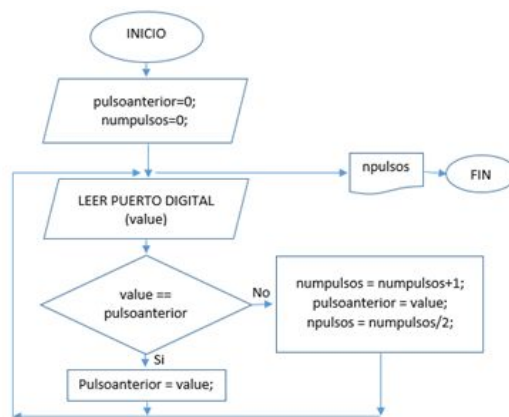


Figura 38. Diagrama de flujo de un encoder.

Se tienen tres ultrasónicos, conectados al arduino nano #2 de donde se envía un alto o un bajo al Arduino nano #1 dependiendo si detecta pared a 35 cm (alto , 1) o no la detecta (bajo , 0), por tanto en el Arduino #1 se hace el siguiente procedimiento: Primero se construyó la tabla de la verdad con el fin de probar el diagrama de flujo del algoritmo; para ello se tiene en cuenta lo siguiente: el ultrasónico 1 está ubicado en la parte frontal del robot, el segundo ultrasónico está ubicado a la izquierda del robot y el tercer ultrasónico está ubicado a la derecha del robot.

Tabla 6. *Tabla de la verdad para los ultrasónicos*

Ultrasónico 1	Ultrasónico 2	Ultrasónico 3	Salida
0	0	0	Izquierda/Derecha
0	0	1	Izquierda
0	1	0	Derecha
0	1	1	Parar
1	0	0	Parar
1	0	1	Parar
1	1	0	Parar
1	1	1	Parar

En el diagrama de flujo de los sensores ultrasónicos (Figura 39.) se agregó una bandera con el fin de saber cuál era el último movimiento realizado y dependiendo de eso el robot toma la decisión de la dirección que debe tomar , esta función en el Arduino nano #1 se llama `adelante_ultrasonico` y es utilizada cuando el robot se está desplazando por la pared, en el caso en que no hay pared él se desplaza por medio de una función llamada `adelante_pulsos` con la cual se hace un control con el fin de que el robot se desplace en línea recta hasta que vuelva a detectar

la pared, esto es empleado en su mayoría donde se encuentran las puertas pues en ocasiones éstas permanecen abiertas.

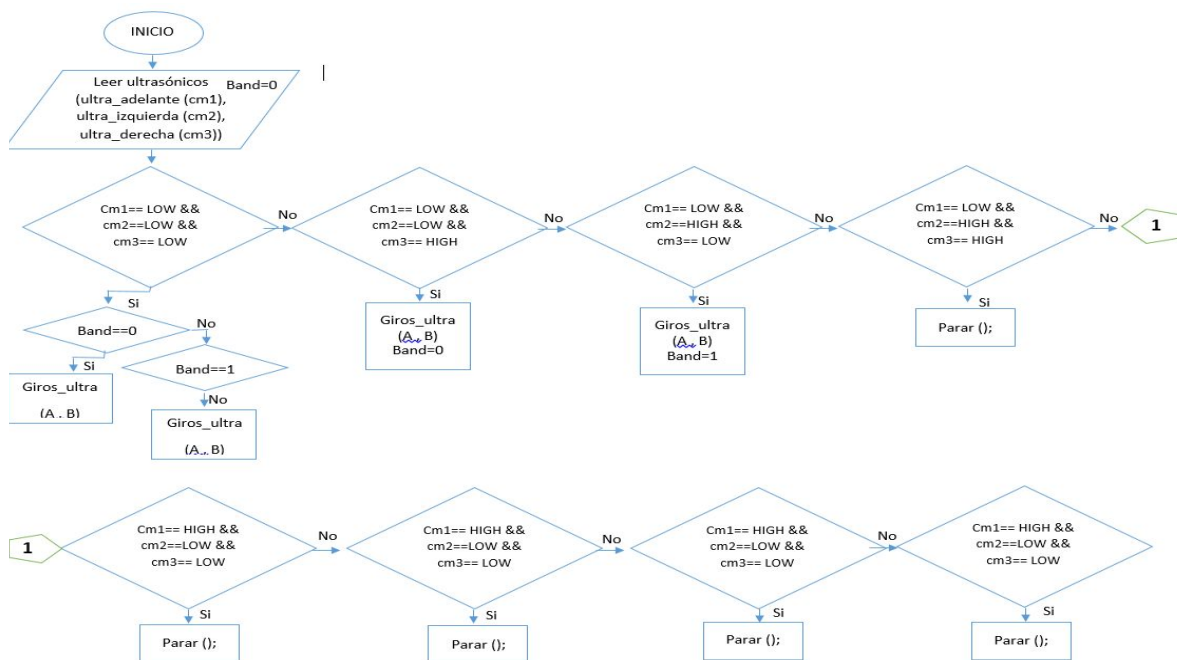


Figura 39. Diagrama de flujo lectura de los ultrasónicos

#### 4.1.5 Selección de la batería.

El centro pediátrico Harker requiere que el robot funcione durante cinco horas partiendo de este requisito se realizan los siguientes cálculos teniendo en cuenta los resultados tomados de los datasheet de cada uno de los elementos mencionados.

Tabla 7. Datos de cada uno de los elementos del circuito

	Voltaje (V)	Corriente (mA)	Potencia (W)
Arduino nano 1	5	40	0.2
Arduino nano 2	5	40	0.2
Motor pololu	6	30	0.18
Motor pololu	6	30	0.18
L298	5	24	0.144

Tabla 7. (Continuación)

	Voltaje (V)	Corriente (mA)	Potencia (W)
Ultrasónico 1	5	15	0.09
Ultrasónico 2	5	15	0.09
Ultrasónico 3	5	15	0.09
Encoder 1	5	50	0.3
Encoder 2	5	50	0.3
Sensor IR	5	5	0.025
		314 mA	1.799

De acuerdo a las especificaciones dadas por el fabricante de cada uno de los elementos empleados, se tiene que todo el circuito consume 314 mA la batería utilizada es LiPo de 1500 mAh , y se requiere una potencia de 1.799 watts, a continuación se muestra el cálculo realizado para calcular la cantidad de horas de funcionamiento aceptable del robot.

Teniendo en cuenta los valores de la batería: 7,4 volts y 1500 mAh, se calcula la potencia.

$$P_{bateria} = V \times I \quad (1)$$

$$P_{bateria} = 7,4 V \times 1,5A$$

$$P_{bateria} = 11,1 \text{ Watts. } h$$

Por lo tanto la potencia suministrada por la batería es de 11,1 Ah

Para la calcular la duración de la batería en horas se tiene que:

$$Duración = \frac{P_{Bateria}}{P_{Requerida}} \quad (2)$$

Por lo tanto:

$$Duración = \frac{11,1 \text{ Watts.h}}{1,799 \text{ Watts}}$$

$$Duración = \frac{11,1 \text{ Watts.h}}{1,799 \text{ Watts}}$$

$$Duración = 6,17 \text{ h}$$

Teóricamente se tiene que la batería de LiPo dura 6,17 horas en funcionamiento.

En pruebas físicas del robot se midió que en la batería principal (aquella que alimenta motores, controladores, y sensores de velocidad) hay un consumo de 0,21 A con carga completa; lo que quiere decir que teniendo en cuenta estos datos se puede calcular la duración aproximada de la batería principal de la siguiente manera:

Partiendo de los cálculos anteriores para la potencia suministrada por la batería la cual es de 11,1 Watts y del consumo real del circuito se tiene que:

$$P_{\text{bateria}} = V * I \quad (5)$$

$$P_{\text{requerida}} = 7,4 \text{ V} * 0,21 \text{ A} = 1,554 \text{ watts}$$

Para hallar el tiempo se obtiene la relación  $P_{\text{bateria}} / P_{\text{requerida}}$  para cancelar ambas potencias y sólo quede el valor de horas de duración:

$$\frac{P_{\text{bateria}}}{P_{\text{requerida}}} = 7,1428 \text{ horas}$$

Finalmente teniendo las proporciones se obtiene que la batería principal tiene una duración de 7 horas y 8 minutos.

#### 4.1.6 Selección del actuador.

Para la selección de los motores, se tuvieron en cuenta sus dimensiones, tamaño y potencia. Cada una de estas especificaciones varían dependiendo del robot, es decir en cuanto al prototipo se requirió que los motores existieran en Tecnoparque y en cuanto al robot financiado por el Centro Pediátrico se requiere comprar a proveedores que puedan suministrar garantía.

*Robot prototipo:* Se establecieron dos motores, debido a que es necesario que el robot no solo vaya de adelante hacia atrás sino también es muy importante que gire. El motor seleccionado para el peso del robot es un motor de corriente continua Pololu con un reductor (1000:1) (Figura 39), las especificaciones con el reductor incluido se pueden ver en la tabla 4-6, para el diseño del robot se utilizan las especificaciones de 6v máximo ya que es el rango con el que manejamos las salidas del L298 mediante control de PWM. Este motor fue escogido no solo porque tiene el torque necesario sino porque también tiene las dimensiones perfectas para poder ubicarse en la base del robot (10 x 12 x 29.5 mm).



Figura 40. Motor Pololu (1000:1). Autor: Pololu.

Tabla 8. *Especificaciones generales motor Pololu*

Voltage		No-load performance		Stall extrapolation
12v	35 RPM	60 mA	10 kg.cm	0.75A
6v	18 RPM	30 mA	5 kg.cm	0.38A

El torque de los motores está dado por la siguiente ecuación sin tener en cuenta la fuerza de rozamiento:

$$\tau = \frac{F \times r}{n} \quad (3).$$

Donde:

$\tau$  : Torque requerido para cada uno de los motores en Nm.

$F$  : Fuerza que tiene que mover el motor.

$r$  : Radio de la rueda.

$n$  : Número de motores (para el robot son dos motores).

Por tanto, se tiene:

$$F = m \cdot a$$

$$a = \frac{V_{\text{elocidad final}} - V_{\text{elocidad inicial}}}{T_{\text{tiempo final}} - T_{\text{tiempo inicial}}}$$

$$a = \frac{0.5m/s - 0m/s}{0.05s - 0s}$$

$$a = 10 \text{ m} / s^2$$

$$\tau = \frac{(1.5kg)(10m/s^2)(0.015m)}{2}$$

$$\tau = 0.1125 \text{ N.m}$$

$$\tau = 1.145 \text{ kg.cm (cada motor)}$$

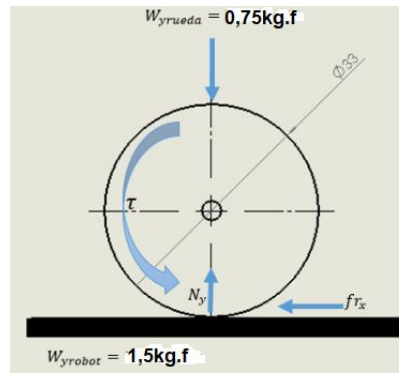


Figura 41. Diagrama de cuerpo libre en una rueda.

*Robot Harker:* Al igual que el prototipo, los motores del robot financiado por el consultorio Harker se seleccionaron debido a su torque. Para el cálculo del torque de los motores del robot se realiza con el mismo análisis hecho para el robot prototipo. Se debe tener en cuenta que el peso del robot es de 784.8 Nm ese peso se divide en dos motores para lo tanto (Figura 42),

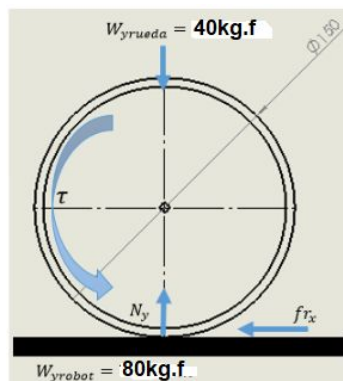


Figura 42. Diagrama de cuerpo libre de una rueda robot Harker.

$$\tau = \frac{(80 \text{ kg})(5\text{m/s}^2)(0.06\text{m})}{2}$$

$$\tau = 12 \text{ N.m}$$

$$\tau = 1.2236 \text{ kg.m (cada motor)}$$

El torque que requiere un motor para el robot financiado por el centro pediátrico Harker es de 2,28 kgf m, este valor de torque es utilizado en la página de Maxon Group [21] donde cuenta con un filtro que clasifica automáticamente el reductor que tiene el torque de salida cercano al calculado y recomienda el motor que se ajusta al reductor. En el Apéndice G se observa el motor cotizado de 12v con reductor de velocidad.

## 4.2 Pruebas

En primer lugar se realizaron pruebas de equilibrio del robot, donde después de numerosos intentos con contrapesos de diferentes valores se determinó que el adecuado fuese de 1 kg. Después fué necesario corregir la base del motor, pues debido a las llantas desiguales éste no avanzaba en línea recta hacia adelante, además se detectó una irregularidad en uno de los motores y ambos fueron reemplazados por un par diferente existente en Tecnoparque, cuya velocidad fue notablemente menor a los anteriores. Las llantas fueron reemplazadas de igual manera, logrando una mejor estabilidad y su desplazamiento en línea recta. Una vez realizados dichos cambios la estabilidad del robot mejoró y debido a esto se modificó el valor del contrapeso a 0.1 kg. Finalmente las pruebas totales de funcionamiento se realizaron en su entorno real para corroborar medidas de cada trayectoria dentro del Centro Pediátrico Harker, donde funciona sobresalientemente en la etapa inicial de cada ruta. Video en dropbox. Ref [22].

Para corroborar cada una de las rutas se ajustó cada una en su entorno real aumentando o disminuyendo los pulsos comparados por el arduino respecto al encoder. Esto se midió visitando el consultorio pediátrico Harker en repetidas ocasiones en las jornadas estipuladas por los directivos. En el desarrollo de esta actividad muchos de los usuarios tanto niños como adultos se acercaron a preguntar por el robot e incluso interactuar con él bajo supervisión. También se realizaron pruebas de velocidad, para ello el robot recorría una distancia conocida, en este caso la distancia es de un metro y se tomó registro del tiempo en que tardaba en hacer este recorrido, con ello se calcula la velocidad nominal del motor. A continuación se puede observar el registro.

Tabla 9. *Tiempos obtenidos para un metro de recorrido.*

PRUEBA	TIEMPO(s)
1	18,28
2	18,39
3	20,80
4	19,82
5	17,56
6	17,84
7	19,16
8	17,90
9	18,74
10	18,15

Teniendo en cuenta los valores anteriormente mostrados se calculó un promedio del tiempo que tomaba al robot recorrer 1 metro, y se realizó la operación correspondiente para hallar la velocidad experimental:

$$Promedio\ de\ datos = \frac{\sum_{i=1}^{10} tiempo}{10}$$

$$Velocidad\ lineal = \frac{1\ metro}{Promedio\ de\ datos}$$

$$Promedio\ datos = \frac{186,64}{10} = 18,664$$

$$Velocidad\ lineal = \frac{1}{18,664} = 0,0536\ m/s$$

Luego se calculó la velocidad de diseño (teórica) de acuerdo a los datos obtenidos del fabricante donde la velocidad angular del motor es de 18 rpm.

La velocidad angular se da en rad/s por lo tanto:

$$\omega = \frac{18rpm \times 2 \times \pi}{60\ seg}$$

$$\omega = 1,885\ rad/s$$

Para calcular velocidad lineal teórica se tiene que :

$$v = \omega \times r$$

Donde:

$v$  = velocidad lineal

$\omega$  = velocidad angular

$r$  = radio de la rueda

Por tanto:

$$v = 1,885\ rad/s \times 0.033m$$

$$v = 0,0622 \text{ m/s}$$

La velocidad lineal teórica es de 0.0622m/s.

Partiendo de los resultados obtenidos, se calculan las pérdidas del motor.

$$\% \text{ Pérdidas} = 100 - \left( \frac{\text{Velocidad Real}}{\text{Velocidad Diseño}} \times 100 \right)$$

$$\% \text{ Pérdidas} = 100 - \frac{0,0536 \text{ m/s}}{0,0622 \text{ m/s}} \times 100$$

$$\% \text{ Pérdidas} = 13,826\%$$

El porcentaje de pérdidas del motor es de 13,826 % las cuales se pueden ver reflejadas a causa de la fricción del piso, voltaje y amperaje que recibe el motor, la eficiencia de la transmisión, reductor (engranajes), entre otros.

### 4.3 Resultados

- El diseño de la estructura del robot cumple totalmente con los requerimientos de la empresa, tanto en proporciones, colores, y formas.
- El prototipo es fiel con el robot real.
- Debido a la geometría del lugar, los sensores ultrasónicos tienden a arrojar una medida equivocada en algunos puntos, pues la onda no puede rebotar correctamente.
- El robot fue de total gusto en la empresa, su diseño le gustó a niños y adultos, usuarios y administrativos. Ver el Formato de Evaluación de la empresa Apéndice J.

- En la siguiente tabla se puede observar los tiempos que emplea el robot para hacer cada una de las rutas establecidas anteriormente.

Tabla 10. *Tiempos obtenidos en cada ruta*

RUTAS	TIEMPO DEL RECORRIDO (promedio)
Preconsulta(9.6m)	3,5 min
Consultorio 3(19.8m)	7,4 min
Consultorio 4 (22.6m)	8,24 min
Consultorio 5(34.6m)	12,7 min
Consultorio 6(37m)	13,55 min
Consultorio 7(43 m)	15,69 min

- El requerimiento más importante es la seguridad de los usuarios y demás personas que puedan estar presentes cuando el robot esté funcionando; Para llevar a cabo el cumplimiento de éste desde un principio se plantearon diseños redondeados, evitando puntas, bordes, y plataformas donde un niño pueda subirse, dando como resultado el diseño final mostrado en las Figuras 42, 43, 44, y 45. De igual manera, el mando remoto del robot se implementó con el fin que no pueda ser manipulado por los niños de alguna manera sino por una persona autorizada para esta tarea.
- La velocidad experimental del robot es de 0.0536 m/s, mientras que la velocidad teórica es de 0.062 m/s. Hay una pérdida por factores internos y externos de 13,826 %.



*Figura 43.* Robot terminado, vista frontal.



*Figura 44.* Robot terminado, vista de perfil izquierdo.



*Figura 45.* Robot terminado, vista posterior.



*Figura 46.* Robot terminado, vista de perfil derecho.

## 5. Conclusiones y Trabajos Futuros

### 5.1 Conclusiones

5.1.1 Diseño de la estructura del Robot que cumpla con los requerimientos de la empresa.

- De acuerdo con los datos del material (Corian®) SolidWorks generó el peso de la estructura, centro de masa y momentos de inercia, con los cuales se realizaron cálculos para determinar el motorreductor a utilizar en el robot siendo seleccionado un reductor planetario GP 52 B 4-30 Nm (ver Apéndice G) y un motor brushless de 100W. El presupuesto de éste modelo se encuentra en el Apéndice K.

5.1.2 Diseñar y construir el prototipo del robot a escala que será implementado en el Centro Pediátrico Harker.

- De acuerdo con los datos del material (ABS) SolidWork generó el peso de la estructura, centro de masa y momentos de inercia, con los cuales se realizaron cálculos para determinar el motorreductor a utilizar en el prototipo siendo seleccionado un motor Pololu (1000:1) con un torque de 10 kg.cm a 12V. El presupuesto de este modelo se encuentra en el Apéndice L.
- El diseño final del prototipo está a escala de 1:3, quiere decir que el robot final tendrá 150 cm de altura aproximadamente. El tamaño del robot real se definió por los directivos de Harker, mientras que el tamaño del prototipo fué dado a partir de las proporciones de los

materiales disponibles, como motores y el campo de acción de la impresora 3D proporcionada por Tecnoparque.

### 5.1.3 Implementar dos modos de operación para el desplazamiento: manual y automático.

- Debido al número de pines del Arduino Nano fué necesario implementar dos de estos pues los 13 pines digitales y 8 pines analógicos de un solo arduino no bastaron para todos los componentes del robot.
- La relación entre los pulsos del encoder y la distancia recorrida tomada de manera experimental, varía en función de la superficie y la posición inicial del encoder en el sensor, por esto es posible que existan variaciones en el desplazamiento medido y sea necesario reacomodar el robot en su posición inicial al momento de iniciar una nueva ruta. Además por su odometría es posible que este problema de posición se presente, pues el robot tiene cuatro puntos de contacto con el suelo, y si éste presenta irregularidades la llanta puede derrapar.
- La posición inicial y la trayectoria de las rutas del robot establecidas por los directivos del centro pediátrico Harker puede interferir con las actividades de los trabajadores de la recepción, además de obstaculizar el paso de personal y usuarios de la empresa, pues debe pasar a través de la recepción para llegar a los pasillos.
- Los sensores ultrasónicos HC-SR04 tienen un campo de acción amplio midiendo distancia horizontalmente, pero cuando el obstáculo se encuentra en un ángulo diferente a 90 grados de su visión o si el objeto es curvo, la medición varía notoriamente pues el

sonido no rebota de manera correcta y el sensor arroja datos erróneos sobre la distancia a la que se encuentra éste obstáculo y puede confundir el algoritmo de control del robot haciendo que éste no siga la ruta sin ayuda; es por este motivo que se recomienda usar sensores más especializados como los láser. un ejemplo de ellos es el LS1501, que no necesita reflector ni contacto con la superficie, pues emite una señal láser que mide distancias entre 0 y 300 cm.

5.1.4 Realizar el diseño externo del robot agradable, llamativo y seguro para la población infantil.

- Aunque el robot prototipo estuvo en prueba dos semanas se pudo evidenciar el agrado que este generó en los padres y niños que asistieron en esos días.
- En las pruebas realizadas se tuvo en cuenta la seguridad de los niños por tanto se estableció una distancia de parada para el robot de 35 cm, con ello se asegura que cuando el niño llegue al robot este ya esté quieto.
- Aunque el Robot prototipo cuenta con tres sensores ultrasónicos HC-SR04, se hizo evidente la falta de por lo menos dos sensores mas, ya que hay niños que gatean y el sensor frontal no logra detectarlos.

## 5.2 Trabajos Futuros

- Cambio de sensores ultrasónicos a sensores láser con el fin de mejorar la medición con obstáculos y la guía con las paredes.
- Reemplazar motores del prototipo por otros de mayor velocidad.

- Incluir una batería de mayor capacidad en lugar de dos pequeñas. Estas deben ser siempre de dos celdas o más para el correcto funcionamiento del circuito propuesto.
- Utilizar un material exterior en la cabeza que permita que pase la luz a través de él en mayor medida que el plástico PLA, pues de ésta manera será posible apreciar mejor las luces internas.
- Conectar el robot con la base de datos del Centro Pediátrico Harker. En esta ocasión no fue posible debido a que no se llegó a un acuerdo con la empresa encargada de manejar los cambios y mejoras de software del cliente.
- Insertar una pantalla táctil en la espalda del robot con la información de la cita, y una pantalla frontal donde los clientes puedan reagendar una nueva consulta.
- Colocar un sensor en la posición inicial del robot con el fin de que cada vez que finalice una ruta pueda calibrarse con respecto a dicho sensor, y no se presenten errores en la siguiente ruta
- Instalar un sistema para el monitoreo de la carga con el fin de indicar si falta cargar o no.
- Reemplazar el sensor IR por un módulo bluetooth o wifi, debido a que la señal del IR TSOP1838 solo admite señales que están frente a él.
- El Arduino nano tiene dos pines de interrupción (D2 y D3), y lo ideal para el programa es que se utilicen al menos 3 variables con interrupción o más (sensor infrarrojo o cualquiera que se utilice para la recepción de la señal, ambos encoder, y cada uno de los tres sensores de proximidad). Por este motivo se recomienda utilizar un hardware que tenga dichos puertos disponibles como interrupción para que el software lo tome como prioridad.

## Bibliografía

- [1]. J L. Torres Moreno, L, Lopez Martinez, “MANUAL DE PRACTICAS DE TECNOLOGIA DE LA FABRICACIÓN”, *editorial Universidad de Almería*, 2016, ISBN:978-84-16642-35-9 .
- [2]. L E. Solaque Guzmán, M A, Molina Villa, E L, Rodríguez Vásquez, “SEGUIMIENTO DE TRAYECTORIAS CON UN ROBOT”, 2014.
- [3]. L I. Gracia Calandin, “MODELADO CINEMÁTICO Y CONTROL DE ROBOTS MÓVILES CON RUEDAS”. *Universidad Politécnica de Valencia. Capítulo 4, pág. 96.* 2015.
- [4]. J G. Castañeda Marroquin, “ESTUDIO DE LAS MÁQUINAS ELÉCTRICAS PARA EL INGENIERO EN ELECTRÓNICA”, *Universidad Autónoma de Nuevo León. San Nicolás de los Garza N.L.* 1998.
- [5] Electromovilidad, “Movilidad eléctrica, transporte sostenible”. [En línea]. Disponible en <http://electromovilidad.net/tipos-de-motores-electricos/>, 2019.
- [6] J. Roldan Viloría, “MOTORES DE CORRIENTE CONTINUA, MOTORIZACIÓN DE MÁQUINAS Y VEHÍCULOS. CARACTERÍSTICAS, CÁLCULOS Y APLICACIONES”. *editorial Paraninfo.Madrid, España. 1 Edición*, 2014. ISBN: 978-84-283-9901-2
- [7] Keyence. “GUIA DE SENSORES PARA FÁBRICAS CLASIFICADOS POR PRINCIPIOS FUNDAMENTOS DEL SENSOR”, [En línea]. Disponible en <https://www.keyence.com.mx/ss/products/sensor/sensorbasics/ultrasonic/info/index.jsp>
- [8] R C. Guaman Choca, A E. Villalva Garcia, “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN CONTROLADOR INALÁMBRICO A TRAVÉS DE MICROPROCESADORES PARA EL

FUNCIONAMIENTO DE UN AUTOMÓVIL ELÉCTRICO A ESCALA, CONTROLADO DESDE UN COMPUTADOR. Quito, Feb 2013

[9]. N. Galeano Muñoz, J B. Quintero Cano, J M, Lezama López. “Enseñando el Funcionamiento de los Inversores Puente H: Análisis del Intercambio de Potencia entre Bobinas y Condensadores”. Medellín, Colombia. Versión final Ago. 11, 2015, Publicado Feb. 2016.

[10] Celera Motion, “Encoders ópticos versus encoders inductivos”. [En línea]. Disponible en <https://www.celeramotion.com/zettlex/es/asistencia/documentacion-tecnica/encoders-opticos-versus-encoders-inductivos/>

[11]. C. Frabetti, “Las leyes de la robótica”, El País. [En línea]. Disponible en [https://elpais.com/elpais/2017/08/24/ciencia/1503574908\\_187790.html](https://elpais.com/elpais/2017/08/24/ciencia/1503574908_187790.html)

[12]. A.M, “Leyes de la robótica que propone Europa”, ABC. [En línea]. Disponible en [https://www.abc.es/tecnologia/informatica/soluciones/abci-leyes-robotica-propone-europa-201701161941\\_noticia.html?ref=https%3A%2F%2Fwww.google.com%2F](https://www.abc.es/tecnologia/informatica/soluciones/abci-leyes-robotica-propone-europa-201701161941_noticia.html?ref=https%3A%2F%2Fwww.google.com%2F)

[13]. C, Ferrer Caballero, “Las seis leyes de la robótica de la Unión Europea”, [En línea]. Disponible en <https://blogthinkbig.com/las-6-leyes-de-la-robotica-de-la-union-europea>

[14]. I, Salinas Pérez, E, Yescas Mendoza, “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN ROBOT MÓVIL A CONTROL REMOTO”, vol.10 número 28 enero - Abr 2006.

[15]. J A, Velásquez, “Control supervisado para la asistencia a la conducción de un robot móvil teleoperado en ambientes interiores”. *Umbral Científico Dic* 2004, [En línea]. Disponible en : <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=30400502> ISSN 1692-3375.

- [16]. G, Buitrago, O L, Ramos Sandoval. Interfaz de control teleoperado para dos manipuladores industriales usando un marcador visual humano. *Revista Científica de Ingeniería Electrónica, Automática y Comunicaciones*, ISSN-e 0258-5944, Vol. 37, N°. 2, 2016, págs.28-38
- [17]. ROS robot, “QTrobot”. [En línea]. Disponible en <https://robots.ros.org/qtrobot/>>
- [18]. S. Hang, A. Yusi Zhang, L. Jingsong, H. Jie. “The shopping assistant Robot design based on ROS and deep learning”. *2016 2nd International Conference on Cloud Computing and Internet of Things (CCIOT)*, Dalian, 2016, pp. 173-176. [En línea]. Disponible en <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=7868328&isnumber=7868292>
- [19]. A. Belzunce, M. Li, H. Handroos, "Control system design of a teleoperated omnidirectional mobile robot using ROS," *2016 IEEE 11th Conference on Industrial Electronics and Applications (ICIEA)*, Hefei, 2016, pp. 1283-1287. [En línea]. Disponible en <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=7603782&isnumber=7603539>
- [20]. M. Rincón López, M. Romero, Almendro, “Fricción y desgaste de baldosas cerámicas de gres de monococción y de gres porcelanicon” Sep 2005 *Sociedad española de cerámica y vidrio*. [En línea]. Disponible en <http://digital.csic.es/bitstream/10261/4156/1/baldosas.pdf>
- [21] Maxon Group, 2020 Products & Shop, Switzerland. [En línea]. Disponible en [https://www.maxongroup.com/maxon/view/category/motor?etcc\\_cu=onsite&etcc\\_med\\_onsite=Product&etcc\\_cmp\\_onsite=EC+Program&etcc\\_plc=Overview-Page-Brushless-DC-Motors&etcc\\_var=%5bcom%5d%23en%23\\_d\\_&target=filter&filterCategory=ec](https://www.maxongroup.com/maxon/view/category/motor?etcc_cu=onsite&etcc_med_onsite=Product&etcc_cmp_onsite=EC+Program&etcc_plc=Overview-Page-Brushless-DC-Motors&etcc_var=%5bcom%5d%23en%23_d_&target=filter&filterCategory=ec)

[22] Video del prototipo:

[https://www.dropbox.com/s/2zpz3x1w97gibrp/20191212\\_103320\\_001%5B1%5D.mp4?dl=0](https://www.dropbox.com/s/2zpz3x1w97gibrp/20191212_103320_001%5B1%5D.mp4?dl=0)