

**UNIVERSIDAD POLITÈCNICA SALESIANA  
SEDE QUITO**

**CARRERA:  
INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:  
INGENIEROS ELECTRÓNICOS**

**TEMA:  
DESARROLLO DE UN ROBOT MÓVIL AUTÓNOMO, PARA EL  
TRANSPORTE Y REPARTO DE PAQUETERÍA LIVIANA EN LAAR  
COURIER**

**AUTORES:  
CHRISTIAN ENRIQUE FLORES ALDÁS  
JHONNY MACGYVER ROMERO SALTOS**

**TUTOR:  
JOSÉ ALCIDES RUMIPAMBA LÓPEZ**

**Quito, marzo del 2019**

## CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Nosotros Christian Enrique Flores Aldás, con documento de identificación N° 172002693-7 y Jhonny Macgyver Romero Saltos, con documento de identificación N° 172183989-0, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de titulación intitulado: “DESARROLLO DE UN ROBOT MÓVIL AUTÓNOMO, PARA EL TRANSPORTE Y REPARTO DE PAQUETERÍA LIVIANA EN LAAR COURIER”, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de Ingenieros Electrónicos, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribimos este documento en el momento que hacemos entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.



---

Christian Enrique Flores Aldás  
C.I: 1720026937



---

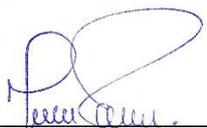
Jhonny Macgyver Romero Saltos  
C.I.: 1721839890

Quito, marzo del 2019.

## **DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR**

Yo declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el Trabajo de Titulación, “DESARROLLO DE UN ROBOT MÓVIL AUTÓNOMO, PARA EL TRANSPORTE Y REPARTO DE PAQUETERÍA LIVIANA EN LAAR COURIER”, realizado por Christian Enrique Flores Aldás y Jhonny Macgyver Romero Saltos, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana para ser considerado como trabajo final de titulación.

Quito, marzo del 2019.



---

José Alcides Rumipamba López

CI: 1803854353

## **DEDICATORIA**

Dedico este Trabajo de Titulación a Dios por darme la fuerza y la fe a lo largo de mi vida y por haberme permitido llegar hasta este momento. En especial, a mis padres, quienes son la principal motivación de mi vida y quienes siempre me han brindado su apoyo, confianza y creyeron en mi capacidad a lo largo de toda la trayectoria de mi carrera y durante el desarrollo de este proyecto de titulación. A mi hermana, quien ha sido mi confidente y siempre estuvo pendiente de esta etapa de estudio, animándome a seguir adelante y aconsejándome en los buenos y malos momentos. A mi tío que siempre me vio como un ejemplo de constancia en todo este período de mi vida. Espero servir como motivación a mis primas que recién empiezan su vida universitaria.

*Jhonny*

## **AGRADECIMIENTO**

Agradecemos a la Universidad Politécnica Salesiana por brindarnos una educación profesional con valores salesianos durante toda nuestra etapa académica y poder ser representantes en varios concursos realizados por robótica. A todos los profesores que estuvieron a lo largo de nuestra carrera, por compartir su conocimiento y experiencia que nos han preparado para desenvolvemos en el mundo laboral. Un agradecimiento especial a nuestros padres quienes con su esfuerzo nos han permitido culminar esta etapa de nuestra vida y realizarnos como profesionales. A nuestro tutor, el Ingeniero José Rumipamba, MSc. por confiar en nosotros y ser la guía en el desarrollo de este proyecto de titulación para lograr culminar de la mejor manera.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR.....	i
DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR .....	ii
DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTO .....	iv
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	v
ÍNDICE DE FIGURAS.....	viii
ÍNDICE DE TABLAS .....	x
RESUMEN.....	xi
ABSTRACT .....	xii
INTRODUCCIÓN.....	1
<b>CAPÍTULO 1</b> .....	2
<b>ANTECEDENTES</b> .....	2
1.1. Planteamiento del problema.....	2
1.2. Justificación .....	2
1.3. Objetivos.....	3
1.3.1. Objetivo General.....	3
1.3.2. Objetivos específicos .....	3
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	4
<b>FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA</b> .....	4
2.1. Robot móvil .....	4
2.1.1. Robot móvil con ruedas.....	4
2.2. Robot repartidor .....	4
2.2.1. Robot repartidor seguidor de línea.....	5
2.2.2. Robot repartidor guiado por cámara .....	5
2.3. Movimiento Cinemático del robot móvil .....	6
2.3.1. Movimiento diferencial .....	6

2.3.2.	Modelo cinemático del robot móvil tipo Uniciclo .....	6
2.4.	Sensores del robot móvil para el transporte y reparto de paquetería liviana ...	8
2.4.1.	Sensor de proximidad y/o distancia .....	8
2.4.2.	Sensor de imagen .....	8
2.5.	Motor Brushless .....	8
2.6.	Open CV (Open Source Computer Vision) .....	9
2.7.	LattePanda .....	10
<b>CAPÍTULO 3 .....</b>		<b>12</b>
<b>DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL ROBOT .....</b>		<b>12</b>
3.1.	Diagrama de etapas del proceso de transporte del robot móvil .....	12
3.2.	Diagrama estructural general de un robot móvil.....	12
3.3.	Diseño del hardware .....	13
3.4.	Estructura Mecánica .....	13
3.4.1.	Diseño de la estructura mecánica.....	13
3.4.2.	Diseño de los acoples Motor-Chasis.....	17
3.5.	Sistema Electrónico .....	18
3.5.1.	Diseño de la tarjeta auxiliar de entradas y salidas I/O .....	19
3.5.2.	Diseño de la tarjeta AAP (alimentación, acondicionamiento y potencia)..	20
3.5.3.	Sistema sensorial.....	23
3.5.4.	Sensores de línea.....	23
3.5.5.	Sensores de distancia .....	24
3.5.6.	Sensor de imagen .....	25
3.6.	Diagrama esquemático de conexión.....	25
3.7.	Implementación del hardware del robot .....	26
3.8.	Desarrollo del software.....	28
3.8.1.	Algoritmo HMI.....	28
3.8.2.	Algoritmo Detección de color .....	31

3.8.3.	Algoritmo Seguidor de Línea .....	33
3.8.4.	Algoritmo Selectivo .....	35
<b>CAPÍTULO 4</b> .....		<b>38</b>
<b>ANÁLISIS Y PRUEBAS</b> .....		<b>38</b>
4.1.	Pruebas de distancia de sensado con los sensores ultrasónicos .....	38
4.2.	Pruebas de los sensores Óptico reflexivo (Módulo TCRT5000).....	39
4.3.	Prueba de la selección de la ruta óptima.....	40
4.4.	Pruebas de velocidad del robot móvil .....	43
4.5.	Pruebas de seguimiento de ruta del robot.....	45
CONCLUSIONES .....		49
RECOMENDACIONES .....		51
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		52
ANEXO		

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Robot repartidor de Panasonic.....	5
Figura 2.2 Estructura Uniciclo. ....	6
Figura 2.3 Localización del robot sobre el plano cartesiano.....	7
Figura 2.4 Motor Brushless.....	9
Figura 2.5 Diagrama de Pines LattePanda .....	11
Figura 3.1 Diagrama de etapas. ....	12
Figura 3.2 Diagrama estructural general del robot móvil. ....	13
Figura 3.3 Diseño general del robot.....	14
Figura 3.4 Acoples de la pantalla táctil.....	15
Figura 3.5 Implementación general del robot. ....	16
Figura 3.6 Impresiones de los sujetadores. ....	17
Figura 3.7 Diseño de los acoples del motor al chasis. ....	17
Figura 3.8 Acoples del motor al chasis. ....	18
Figura 3.9 Arquitectura del sistema.....	19
Figura 3.10 Diseño de la interfaz de entradas y salidas de la tarjeta LattePanda. ....	19
Figura 3.11 Construcción de la tarjeta auxiliar de entradas y salidas.....	20
Figura 3.12 Diseño de la tarjeta AAP .....	21
Figura 3.13 Construcción de la tarjeta auxiliar de potencia. ....	22
Figura 3.14 Diseño de la tarjeta electrónica de nivel de carga de la batería .....	23
Figura 3.15 Sensores de línea.....	24
Figura 3.16 Sensores de ultrasonido.....	24
Figura 3.17 Cámara web.....	25
Figura 3.18 Diagrama esquemático de conexión.....	26
Figura 3.19 Implementación final del hardware del robot.....	27
Figura 3.20 Interfaz gráfica.....	29
Figura 3.21 Diagrama de flujo del algoritmo HMI.....	30
Figura 3.22 Diagrama de flujo del algoritmo para la detección de color.....	32
Figura 3.23 Diagrama de flujo del algoritmo Seguidor Línea. ....	34
Figura 3.24 Mapa de rutas y destinos del área de operaciones. ....	36
Figura 3.25 Diagrama de flujo del algoritmo selectivo. ....	37
Figura 4.1 Interfaz grafica.....	43
Figura 4.2 Seguimiento de la ruta de partida a Cuenca. ....	46

Figura 4.3 Grafica comparativa del seguimiento de las rutas. ....48

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1	Tabla de comportamiento de los sensores infrarrojos. ....	33
Tabla 4.1	Tabla de comportamiento de los sensores ultrasónicos. ....	38
Tabla 4.2	Tabla de resultados de los sensores óptico reflectivo. ....	39
Tabla 4.5	Tabla de resultados de la medición de la velocidad del robot .....	44
Tabla 4.6	Tabla de resultados del tiempo, distancia según el destino y retorno. ....	45
Tabla 4.7	Tabla de resultados del seguimiento de la ruta del robo. ....	46
Tabla 4.8	Tabla de resultados obtenidos del seguimiento de la ruta del robot. ....	47

## RESUMEN

Con una gran incursión de la robótica en el área de repartición para agilizar el tiempo de distribución y transporte de paquetes que conlleva un desgaste económico, el texto aquí presentado, se enfocó en el diseño e implementación de un robot autónomo que sea capaz de auto posicionarse y transportar paquetería liviana, a diferentes puntos de destino dentro del área de operaciones de la Empresa LaarCourier.

En base a estudios se estableció las características principales de los robots repartidores que podrían ser agregadas, Se decidió incorporar un módulo seguidor de línea, detector de obstáculos, una cámara web y una interfaz gráfica hombre-máquina (HMI), partiendo del diseño y desarrollo de una estructura mecánica previamente dimensionada para que la electrónica utilizada, sea funcional en su entorno.

Como dispositivo controlador se utilizó una tarjeta de programación llamada LattePanda, en el cual se desarrolló los algoritmos de detección de color y seguidor de línea y detector de obstáculos, además el robot posee una locomoción unicycle con movimiento diferencial que le permite un desplazamiento estable. Todos los datos del proceso se lograron visualizar en una pantalla Touch integrada al robot.

Mediante las pruebas de campo usando una réplica a escala del área de operaciones de LaarCourier se logró que el robot cumpla con los objetivos específicos, además se pudo verificar la viabilidad del presente trabajo.

## **ABSTRACT**

With a large incursion of robotics in the area of distribution to speed up the time of distribution and transport of packages that leads to economic wear and tear, the text presented here focused on the design and implementation of an autonomous robot that is capable of self-positioning and transport light parcels to different destinations within the operations area of LaarCourier.

Based on studies, the main characteristics of the distribution robots that could be added were established. It was decided to incorporate a line follower module, obstacle detector, a web camera and a man-machine graphic interface (HMI), based on the design and development of a mechanical structure previously dimensioned for the electronics used, that is functional in its environment.

As a controlling device, a programming card called LattePanda was used, in which the algorithms of color detection and line follower and obstacle evader were developed, in addition the robot has a unicycle locomotion with differential movement that allows a stable displacement. All the process data were visualized on a Touch screen integrated to the robot.

By means of the field tests using a scale replica of the LaarCourier operations area, the robot was able to meet the specific objectives, and the feasibility of this work could be verified.

## INTRODUCCIÓN

En el centro de operaciones de LAARCOURIER, se prioriza reducir al mínimo los procesos necesarios para que los clientes envíen y reciban sus paquetes. Para ayudar con este propósito se desarrolló un prototipo que es capaz de transportar paquetes livianos en un entorno controlado y preestablecido.

El desarrollo del prototipo está basado en la logística de operaciones del Courier, que indica que existen dos jornadas que duran alrededor de cuatro horas en la mañana y en la tarde. En dichas jornadas llegan camiones cargados con paquetes de todas las provincias del país. Estos paquetes son sectorizados según la ciudad a la que pertenecen, y son transportados en los camiones correspondientes para su repartición.

En el Capítulo 1, se detalla el planteamiento del problema, la justificación, y los objetivos propuestos para el desarrollo de este trabajo de titulación.

Capítulo 2: en este capítulo se define los conceptos de robot móvil guiado por sensores infrarrojos y por cámara, que pueden ser capaz de auto posicionarse en un entorno determinado. Además, se explica el marco teórico del movimiento diferencial de un robot móvil y el algoritmo de visión artificial OpenCV (Open Source Computer Vision Library).

Capítulo 3: en este capítulo se detalla el proceso de diseño y construcción del robot móvil, así como también el diagrama de bloques del proyecto y los diagramas de flujo de la programación.

Capítulo 4: este capítulo detalla cada una de las pruebas realizadas durante y al final del desarrollo del proyecto. Además de las modificaciones necesarios para el correcto funcionamiento del robot móvil.

# **CAPÍTULO 1**

## **ANTECEDENTES**

### **1.1. Planteamiento del problema**

La Empresa LaarCourier la cual se encuentra ubicada en el Comité del Pueblo, Quito-Ecuador, ofrece al cliente el servicio de Courier, que consiste en cubrir las necesidades de recepción y entrega puerta a puerta de documentos y de paquetes de un tamaño y/o peso limitado a un determinado costo y que pueden ser distribuidos a nivel nacional e internacional según lo requiera el cliente.

Este servicio reúne un conjunto de actividades que empiezan con la recepción, clasificación, despacho, transporte y termina con la entrega de los envíos.

Dentro del centro de operaciones de LaarCourier, las actividades de transporte de la paquetería y reparto a los diferentes puntos de despacho se realiza de forma manual, que se traduce en un gasto económico por el personal necesario que se encarga de trasladar los paquetes desde los camiones hasta su ubicación y viceversa, disminuyendo la eficiencia en actividades que un robot móvil repartidor puede realizar, ahorrando tiempo que el personal puede utilizar en otra actividad.

### **1.2. Justificación**

Hoy en día los robots se están utilizando cada vez más en procesos industriales y residenciales. En el área de entrega de paquetería, lo que se busca es reducir al mínimo el periodo en que los clientes reciben sus paquetes o documentos, para lo cual se propone diseñar e implementar un robot móvil que ayude a reducir el coste operativo que implican los procesos de recepción, entrega y transporte de cada paquete.

El desarrollo de este prototipo propone la construcción de un robot móvil autónomo que sea capaz de transportar varios paquetes livianos que no excedan los 50 kg de peso en conjunto, con lo cual se pretende agilizar los procesos que caracterizan a los Courier como son; la velocidad, seguridad, personalización y seguimiento que realizan a cada

envío, centrándonos en el transporte de los paquetes livianos o documentos dentro del área de operaciones.

### **1.3. Objetivos**

#### **1.3.1. Objetivo General**

Desarrollar un robot móvil autónomo con auto posicionamiento para el transporte y reparto de paquetería liviana en el área de operaciones de LaarCourier.

#### **1.3.2. Objetivos específicos**

- Caracterizar el proceso de almacenamiento dentro del área de operaciones de la empresa LaarCourier para encontrar las variables a ser controladas en el guiado del robot móvil.
- Diseñar el prototipo eléctrico - mecánico del robot para que sea funcional, estético y pueda cubrir las necesidades del usuario.
- Programar un algoritmo para encontrar la ruta óptima hacia el destino del paquete dentro del área de operaciones.
- Desarrollar un algoritmo que permita seguir una línea y detectar puntos de parada para guiar el robot por la ruta óptima dentro del área de operaciones.
- Desarrollar una interfaz gráfica HMI para el monitoreo de las actividades en el robot asistente.
- Implementar el prototipo diseñado y realizar las pruebas para verificar su funcionamiento, en el área de operaciones de LaarCourier.

## **CAPÍTULO 2**

### **FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA**

#### **2.1. Robot móvil**

Es una estructura electromecánica que puede desplazarse de forma autónoma, capaz de moverse en distintos terrenos y tiene infinidad de aplicaciones. El desplazamiento puede darse mediante el uso de patas, ruedas, hélices y entre otros tipos de locomoción existentes, dependiendo del entorno donde se deba mover (Ortigoza, Sánchez, Sotelo, & Vilchis, 2017).

Los robots móviles cuentan con sensores que ayudan a auto posicionarse, generalmente desde un punto de origen hasta un punto de llegada. El tipo de control utilizado es un lazo cerrado, lo cual ayuda a que el robot monitoree siempre su posición relativa. El robot podría además desplazarse evitando obstáculos y situaciones que puedan comprometerlos (Sotelo, Sánchez, & Ortigoza, 2017).

##### **2.1.1. Robot móvil con ruedas**

El robot móvil con ruedas es la respuesta eficiente y simple de conseguir la movilidad en comparación a otro tipo de locomoción, permitiendo conseguir velocidades relativamente altas, en superficies duras y sin obstáculos, por esta razón esta clase de robots son muy utilizados en aplicaciones que conllevan el transporte de objetos (Aldaz & Rubén, 2017).

#### **2.2. Robot repartidor**

Hoy en día ya se están comenzando a crear pequeños vehículos eléctricos y autónomos que a futuro serán una gran apuesta para las empresas de mensajería y los envíos a domicilio. Este tipo de robots de servicio en pruebas iniciales ya han recorrido cerca de 8000 mil kilómetros con alrededor de 400.000 personas y no tuvieron “ni un solo accidente”, con estos pequeños aparatos lo que se busca es reducir el coste de envío de paquetes en forma drástica (Álvarez, 2017).

Los vehículos utilizados para la entrega de paquetería circulan de forma autónoma a una velocidad máxima de 6 km/h guiados por GPS y conexión a datos, con lo cual pueden ser monitoreados en todo momento. La limitante de estos robots repartidores es que pueden operar a un radio máximo de 3.5 kilómetros con una capacidad de 10 kilogramos por envío (Álvarez, 2017).

En la Figura 2.1 se observa el prototipo del robot repartidor de Panasonic presentado en el CES 2018 (Consumer Electronics Show).

Figura 2.1 Robot repartidor de Panasonic



Robot repartidor de Robotic Solutions for the Warehouse de Panasonic (González, 2018).

### **2.2.1. Robot repartidor seguidor de línea**

Una aplicación muy específica de los robots seguidores de línea para una empresa es el transporte de materiales siguiendo una ruta o línea predeterminada, generalmente esta línea es de color negro, aunque puede variar según el sensor que se utilice (García M. , 2016).

### **2.2.2. Robot repartidor guiado por cámara**

Entre las funciones de la visión computacional o a través de sensores de imagen (cámaras), es dar seguridad, verificando el estado del sistema en general. Otra parte importante en la industria es dar mayor flexibilidad, permitiendo la adaptación del sistema cuando haya cambios y aumentar la tolerancia a errores de posicionamiento, pero sin perder la eficiencia del trabajo buscando abaratar los costos, y disminuyendo los riesgos para las personas (García M. , 2016).

### 2.3. Movimiento Cinemático del robot móvil

Según menciona (Calandín, s.f.), en el diseño de robots móviles existen varios modelos cinemáticos establecidos para las plataformas móviles sobre ruedas, que pueden ser diferencial, sincronizada, triciclo y de coche. Para nuestro fin se eligió un movimiento diferencial.

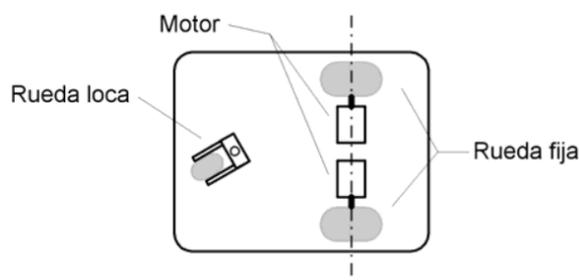
#### 2.3.1. Movimiento diferencial

Es un sistema de navegación de fácil construcción, en este caso consta básicamente de dos pares de ruedas: dos ruedas de tracción que tiene acoplado dos motores DC y una rueda tipo castor de estabilización que mantiene el equilibrio del vehículo. La traslación y rotación del vehículo se realiza mediante el cambio de la velocidad independiente de cada una de las ruedas de tracción. Este modelo permite radios de giro del rango del tamaño del vehículo. Una desventaja que tiene este modelo es que los motores deben tener características idénticas para que el control sea simple esto quiere decir que la velocidad debe ser controlada dinámicamente, es decir, debe existir un sistema de control que permita monitorizar y cambiar la velocidad del motor mientras el robot avanza (Valencia, Montoya, & Hernando, 2009).

#### 2.3.2. Modelo cinemático del robot móvil tipo Uniciclo

La estructura del robot de tres ruedas también conocido como uniciclo que se puede observar en la Figura 2.2, posee dos ruedas fijas con un motor cada una para realizar giros diferenciales y una rueda loca que facilita el movimiento del robot en cualquier dirección.

Figura 2.2 Estructura Uniciclo



Estructura uniciclo, sistema de tracción en un mismo eje (Bambino, 2008).

Según (Valencia, Montoya, & Hernando, 2009) las ecuaciones cinemáticas de velocidad del punto medio del eje entre las ruedas de tracción, referidas a un sistema de referencia tradicional son:

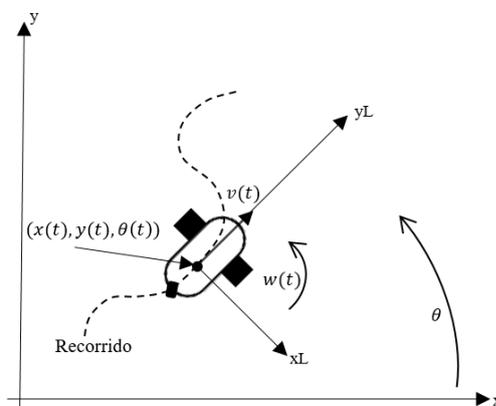
$$\dot{x} = v(t)\cos(\theta(t)) \quad \text{Ec. (2. 1)}$$

$$\dot{y} = v(t)\text{sen}(\theta(t)) \quad \text{Ec. (2. 2)}$$

$$\dot{\theta}(t) = w(t) \quad \text{Ec. (2. 3)}$$

La posición y orientación del robot móvil se obtiene integrando las velocidades de éste en un periodo de tiempo  $\Delta t$  como se muestra en la Figura 2.3 (Valencia, Montoya, & Hernando, 2009).

Figura 2.3 Localización del robot sobre el plano cartesiano



Localización del robot sobre el plano cartesiano según (Valencia, Montoya, & Hernando, 2009).

Elaborado por: Cristian Flores y Jhonny Romero.

$$x(t) = x(t_0) + \int_{\Delta t} v(t) \cos(\theta(t)) dt \quad \text{Ec. (2. 4)}$$

$$y(t) = y(t_0) + \int_{\Delta t} v(t) \text{sen}(\theta(t)) dt \quad \text{Ec. (2. 5)}$$

$$\theta(t) = \theta(t_0) + \int_{\Delta t} w(t) dt \quad \text{Ec. (2. 6)}$$

## **2.4. Sensores del robot móvil para el transporte y reparto de paquetería liviana**

En un robot móvil autónomo para el transporte y reparto de paquetería se tienen diferentes tipos de sensores, como: el sensor de proximidad y el sensor de imagen, que ayudan a determinar la ubicación del robot e identificar obstáculos que existan en el entorno en donde el robot se está desplazando.

### **2.4.1. Sensor de proximidad y/o distancia**

La presencia de objetos en la trayectoria del robot dentro de un área de operaciones es accidentada, por esta razón se usa sensores de proximidad en este tipo de robots.

Específicamente los sensores ultrasónicos son capaces de detectar objetos emitiendo y recibiendo ondas acústicas que chocan con el objeto. Una vez enviada la onda comienza un contador de tiempo referido a distancia y de acuerdo con los parámetros elegidos de respuesta manda una señal eléctrica ya sea digital o analógica (Becerra & Amurrio, 2018).

### **2.4.2. Sensor de imagen**

Todas las cámaras convencionales cuentan con un sensor el cual tiene la función de conducir la luz (la imagen exterior) hacia el sensor de imagen, proyectando la luz con lo cual se dibuja una imagen que representa lo que la cámara ve. En otras palabras, el sensor de imagen transforma la luz en imagen (Vialfa, 2011).

El sensor de imágenes está compuesto por dos elementos superpuestos: el primero está compuesto por células fotosensibles, el segundo es el dispositivo de transferencia de carga. Para restituir el color, cada célula fotosensible posee 3 filtros: un rojo, un azul y un verde. Cada filtro sólo es receptivo a un color (Vialfa, 2011).

## **2.5. Motor Brushless**

El motor eléctrico de corriente directa sin escobillas es también llamado motor Brushless. Este tipo motor está compuesto de un rotor situado en la parte externa y un estator en la parte interna como se puede observar en la Figura 2.4, aunque pueden

cambiar sus posiciones. En el rotor se ubican los imanes permanentes y en el estator se encuentran las bobinas (Bueno, 2013).

La principal característica del motor Brushless es la conmutación electrónica y no mecánica, ya que no posee escobillas, básicamente el movimiento del rotor se produce observando la posición del rotor continuamente, a través de sensores (Bueno, 2013).

Según describe (Quadruino, s.f.), debido a la ausencia de escobillas en este tipo de motores eléctricos, se logra un alto rendimiento y una alta potencia, alrededor de los 10 A a 11V, lo que conlleva a un alto consumo. Por esta razón se recomienda el uso de baterías recargables de Lypo, debido a que estas pueden brindar suficiente potencia.

Figura 2.4 Motor Brushless



Vista interna de un motor Brushless (Amicci, 2016).

## **2.6. Open CV (Open Source Computer Vision)**

Es una librería de software open-source de visión artificial, esta librería provee una infraestructura para aplicaciones relacionadas con visión artificial. Fue desarrollada por Intel la cual desde su primera versión ha sido utilizada en infinidad de aplicaciones ya que esta librería puede ser usada libremente para propósitos comerciales y de investigación. De igual forma se puede utilizar en diferentes plataformas como; GNU/Linux, Mac OS y Windows. OpenCV incluye varias bibliotecas compartidas o fijas es decir es un conjunto de varios módulos (Open CV Docs, s.f.).

La librería contiene cerca de 2500 algoritmos, que ayudan a identificar objetos, caras, clasificar acciones humanas en video, hacer tracking de movimiento de objetos, extraer modelos 3D, encontrar imágenes similares, reconocer escenarios, etc. Se utiliza para aplicaciones como la detección de intrusos en sistemas cerrados de televisión, monitoreo, ayuda a navegación de robots, identificar productos, e infinidad de aplicaciones (Gracia, 2013).

En el campo de procesamiento digital de imágenes, las librerías que integran el OpenCV, contiene funciones de identificación de personas, rostros fijos y en movimiento, reconocimiento de imágenes médicas, seguridad, interfaces de usuario, reconstrucción 3D, robótica, etc. (Viera, 2017).

## **2.7. LattePanda**

La tarjeta de desarrollo LattePanda es una placa que es capaz de ejecutar Windows 10 e implementa una tarjeta Arduino en el mismo hardware, adicionando un coprocesador. El procesador principal es un chipset Intel Atom acompañado de 4GB de RAM y 64GB de almacenamiento SSD, además cuenta con diferentes puertos como WiFi, Bluetooth 4.0, salida HDMI, Ethernet, USB 3.0, Jack de 3,5 milímetros, salida para una pantalla táctil y puerto para tarjeta SD. Esta tarjeta fue desarrollada por la empresa china DFRobot (Puerto, 2016).

En cuanto a la compatibilidad con Arduino, la placa cuenta con un coprocesador ATmega32u4, con 20 conectores GPIO (controlables en tiempo de ejecución) para conectar directamente sensores y actuadores, como se puede Observar en la Figura 2.5 (Puerto, 2016).



## CAPÍTULO 3

### DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL ROBOT

#### 3.1. Diagrama de etapas del proceso de transporte del robot móvil

Para automatizar el robot móvil es importante conocer a través de un diagrama de etapas, el proceso completo que se debe realizar para transportar el paquete de un sitio a otro.

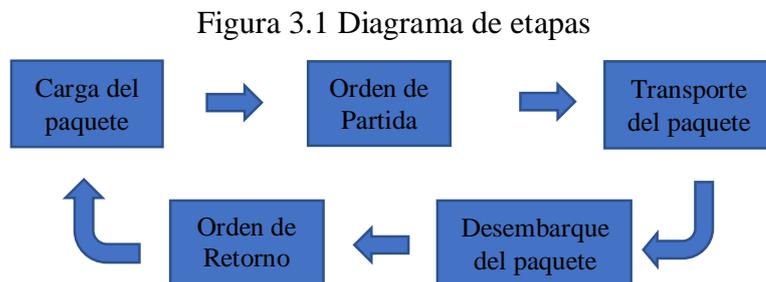


Diagrama de etapas del proceso de transporte y reparto del robot móvil. Elaborado por: Cristian Flores y Jhonny Romero

#### 3.2. Diagrama estructural general de un robot móvil

Para realizar el diseño y construcción del robot móvil, se presenta el diagrama estructural del robot el cual muestra las partes principales que lo componen.

El hardware lo componen la estructura mecánica, que está enfocada en el diseño de la forma y tamaño de robot móvil y su implementación y el sistema electrónico en el que se detalla el diseño y fabricación de las PCBs (Printed Circuit Boards) utilizadas.

El software describe los 4 algoritmos utilizados para la automatización del robot móvil, el primero es el algoritmo HMI, que se encarga de crear un ambiente virtual amigable entre el operador y el robot para seleccionar ciudades destino y visualizar la posición del robot, segundo es el algoritmo Detección de color que se encarga de reconocer el color verde y rojo en el área de trabajo y así guiar al robot hacia su destino por medio del reconocimiento de colores, tercero el algoritmo Seguidor de línea, para

guiar el robot por una línea negra colocada en el piso y el cuarto algoritmo es el Selectivo para detectar puntos de giro y parada que debe realizar el robot.

Figura 3.2 Diagrama estructural general del robot móvil

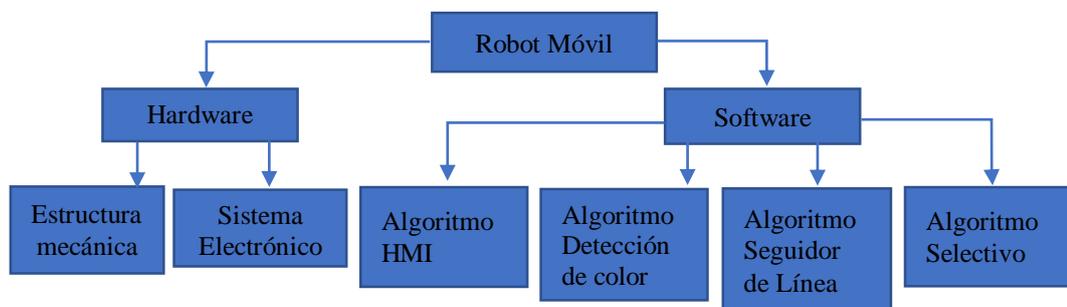


Diagrama general de la estructura del robot móvil. Elaborado por: Cristian Flores y Jhonny Romero

### 3.3. Diseño del hardware

El hardware del robot móvil lo componen la estructura mecánica y el sistema electrónico, ambos determinan el tamaño, la forma y el funcionamiento del robot y el desarrollo de los circuitos y placas electrónicas, de acuerdo a las necesidades de operación.

### 3.4. Estructura Mecánica

La estructura mecánica depende del área donde va a funcionar, por lo tanto, se tomó en cuenta que el robot móvil debe presentar características de resistencia a golpes y debe tener el tamaño adecuado para que se traslade por la zona de operaciones de LaarCourier.

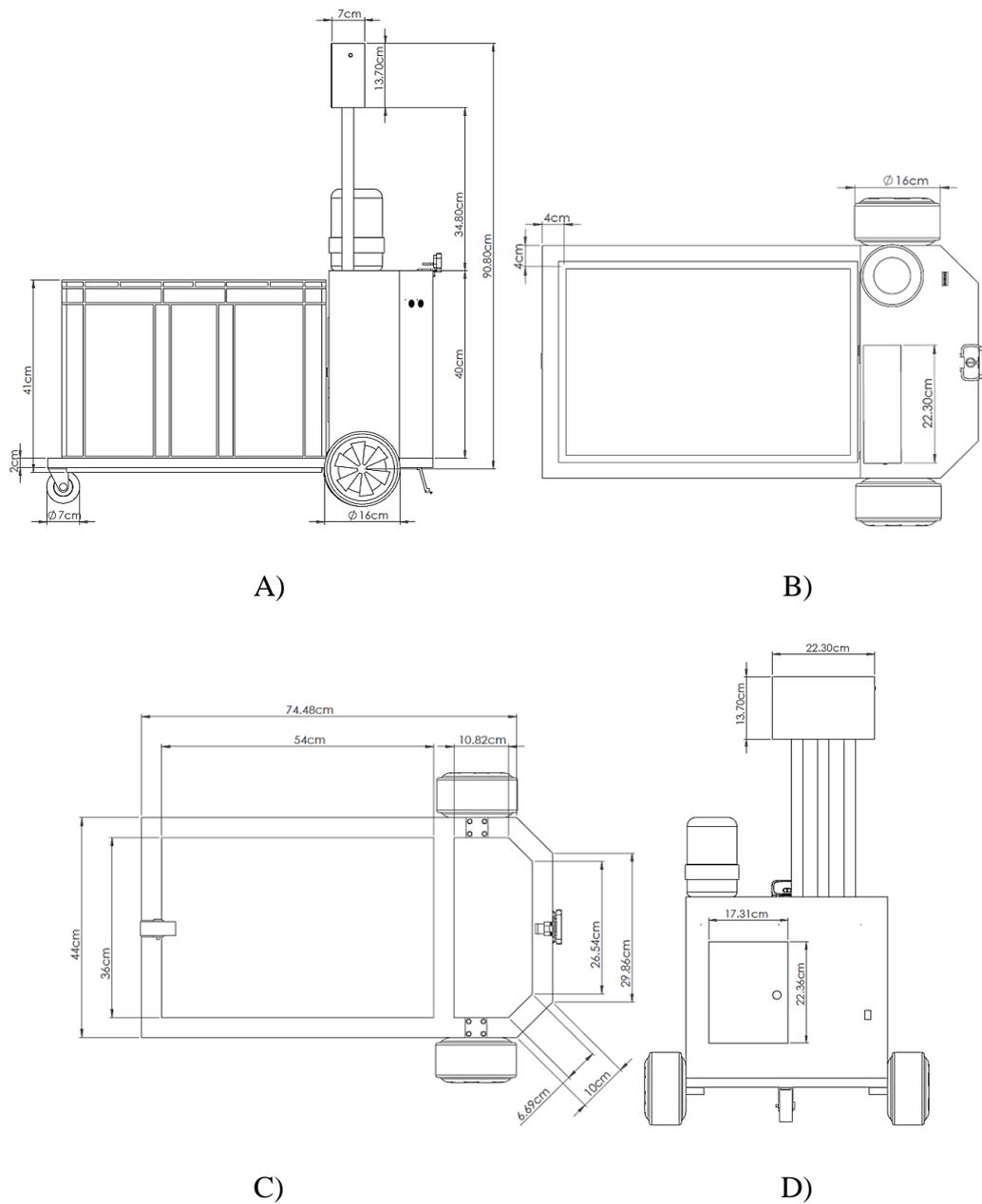
#### 3.4.1. Diseño de la estructura mecánica

Para el diseño del chasis y carcasa se tomó en cuenta el tamaño y ubicación de los elementos electrónicos y mecánicos, además del tamaño de la canasta que se utiliza para colocar los paquetes. Se escogió el tipo de locomoción con ruedas y con estructura unicycle de tipo diferencial, porque es la mejor opción para aplicaciones de transporte

de objetos en espacios planos donde se requiere velocidad maniobrabilidad en los giros.

De esta manera se estableció el tamaño y la forma del chasis con las dimensiones mostradas en la Figura 3.3, que se obtuvo con el software SolidWorks.

Figura 3.3 Diseño general del robot

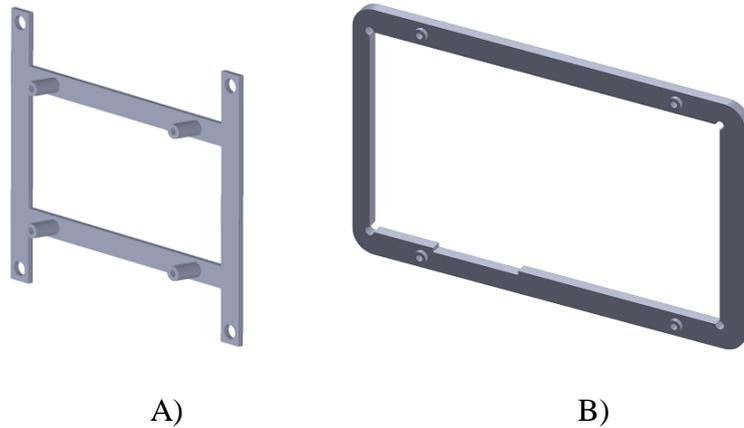


A) Vista lateral izquierda, B) Vista superior, C) Vista inferior, D) Vista posterior sin cajón. Elaborado por: Cristian Flores y Jhonny Romero

Para la pantalla táctil y LattePanda se buscó un gabinete de plástico ABS de 150x100x35mm lo suficientemente grande para que la pantalla táctil de 7 pulgadas entre en este, y a partir de ahí se empezó a diseñar los acoples para sujetar la tarjeta de LattePanda y la pantalla al gabinete de plástico. El diseño de los acoples fue realizado en el software SolidWorks como se puede observar en la Figura 3.4.

Los acoples fueron fabricados usando una impresora 3D y los cortes en el gabinete se realizaron a laser.

Figura 3.4 Acoples de la pantalla táctil



A) Diseño del marco para sujetar la tarjeta LattePanda al gabinete, B) Diseño del marco para sujetar la pantalla táctil al gabinete. Elaborado por: Cristian Flores y Jhonny Romero

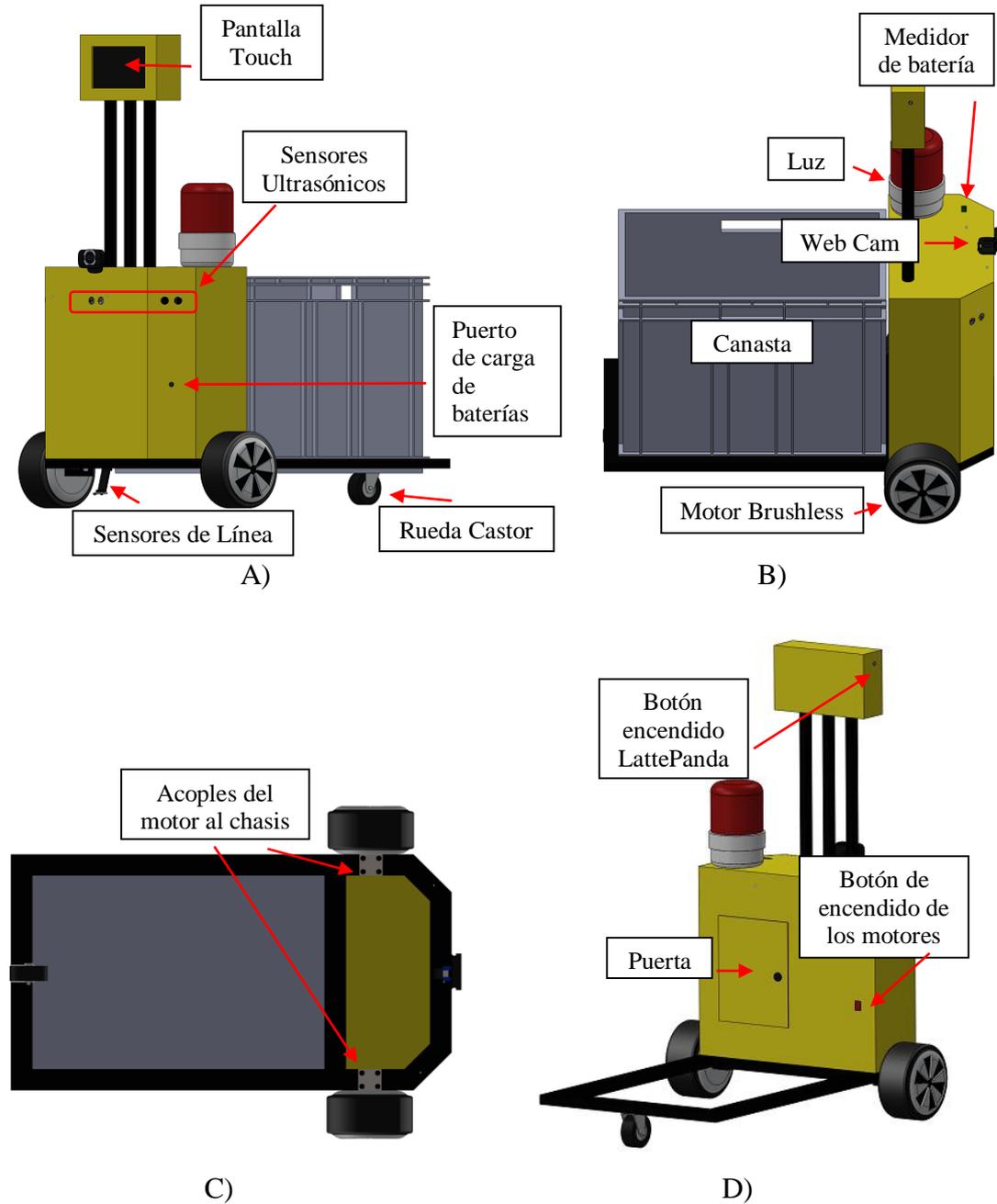
Para la construcción del chasis se determinó que los perfiles sean tubos rectangulares de acero negro, debido a que el acero negro ofrece una gran resistencia a los golpes y es fácil de soldar a diferencia del aluminio, además es fácil de obtener.

El acabado de la soldadura no deja una superficie totalmente lisa, debido a la formación de escoria, por lo que el chasis fue totalmente amolado y pintado para obtener un acabado de forma profesional.

Para la construcción de la carcasa se decidió utilizar acrílico, con el fin de reducir peso en el robot, los cortes se realizaron a laser.

La Figura 3.5 detalla la forma y la distribución de los elementos del robot móvil.

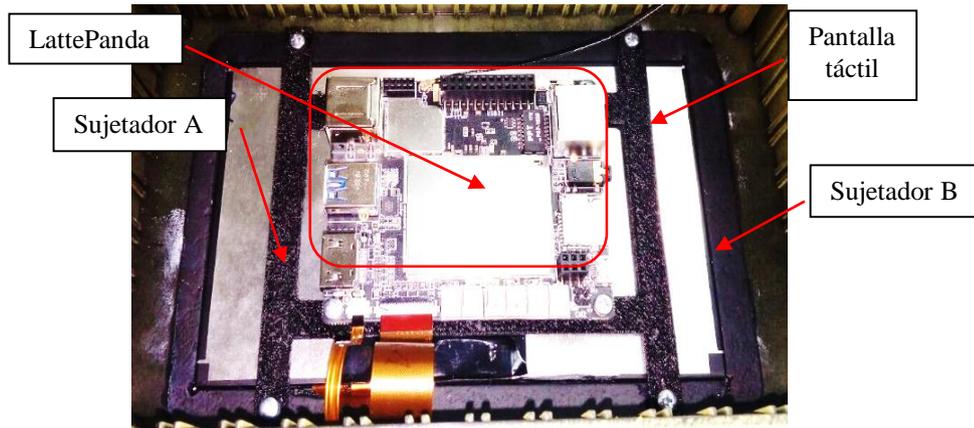
Figura 3.5 Implementación general del robot



A) Vista isométrica frontal derecha, B) Vista lateral izquierda, C) Vista inferior, D) Vista isométrica posterior izquierda. Elaborado por: Cristian Flores y Jhonny Romero

En la Figura 3.6, se observa la tarjeta LattePanda y la pantalla táctil acoplados al gabinete usando los sujetadores (Figura 3.4) creados con una impresora 3D.

Figura 3.6 Impresiones de los sujetadores



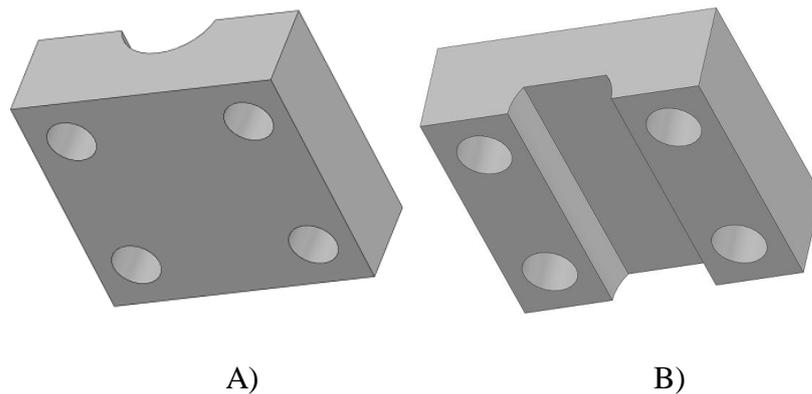
Instalación del sujetador de LattePanda y el sujetador de la pantalla táctil dentro del gabinete.

Elaborado por: Cristian Flores y Jhonny Romero

### 3.4.2. Diseño de los acoples Motor-Chasis

El diseño de los acoples del motor al chasis se basó en la forma del eje del motor Brushless, que tiene un lado plano y otro de media circunferencia, teniendo en cuenta también las dimensiones del perfil del chasis. Los acoples se pueden observar en la Figura 3.7, de igual manera el diseño de la pieza fue realizado en el software SolidWorks.

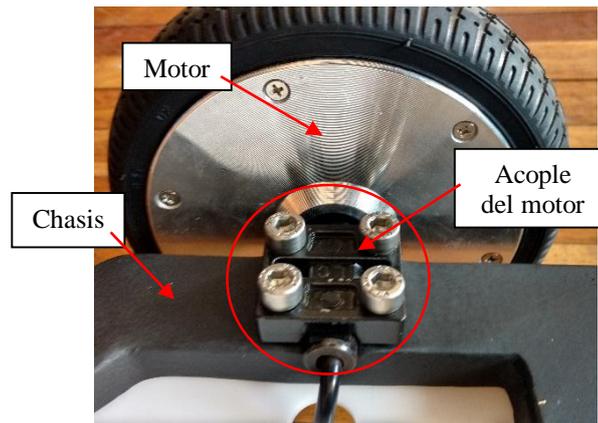
Figura 3.7 Diseño de los acoples del motor al chasis



A) Vista isométrica inferior del acople inferior del motor al chasis. B) Vista isométrica inferior del acople superior del motor al chasis. Elaborado por: Cristian Flores y Jhonny Romero

Para aprovechar los dos acoples superiores que vienen en la Hoverboard, de donde se obtuvo los motores, se decidió fabricar en tungsteno únicamente los dos acoples inferiores y así reducir costos. Los acoples fueron fabricados usando una fresadora, luego soldados al chasis y amolados, como se puede observar en la Figura 3.8.

Figura 3.8 Acoples del motor al chasis



Acople superior e inferior del motor soldados al chasis. Elaborado por: Cristian Flores y Jhonny Romero

### 3.5. Sistema Electrónico

El robot repartidor está constituido de diferentes sistemas electrónicos, los cuales se dividen en: interfaz de usuario (pantalla táctil de 7''), sistema de control (LattePanda), sistema sensorial (cámara de video, sensores de proximidad e infrarrojos), sistema de alimentación (batería), sistema de aviso visual (medidor de estado de batería y luz advertencia), drivers de potencia para motores (controlador de motores Brushless, Hall motor), conversores de voltaje (convertidor DC-DC LM2596 y convertidor Buck Boost), y las placas de circuito impreso (tarjeta auxiliar de entradas y salidas I/O y tarjeta AAP (alimentación, acondicionamiento y potencia)).

El sistema electrónico se implementó de acuerdo a la arquitectura mostrada en la Figura 3.9.

Figura 3.9 Arquitectura del sistema

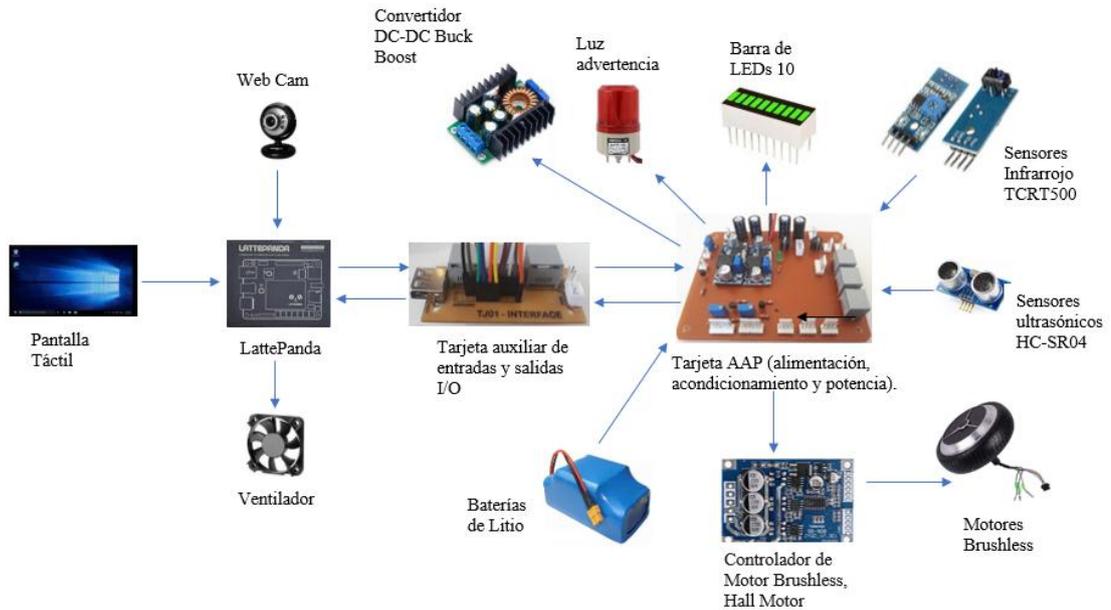
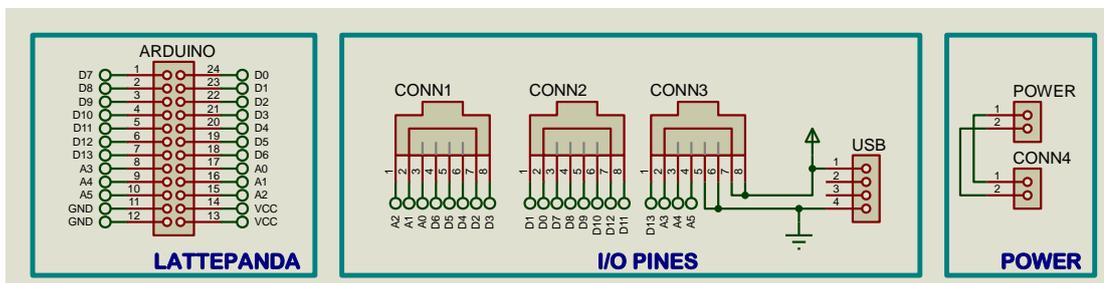


Diagrama electrónico completo del robot móvil autónomo para el transporte y reparto. Elaborado por: Cristian Flores y Jhonny Romero

### 3.5.1. Diseño de la tarjeta auxiliar de entradas y salidas I/O

Para poder conectar las entradas y salidas disponibles en la tarjeta electrónica el LattePanda se realizó una tarjeta auxiliar de interfaz la cual va a servir para la interconexión de las entradas y salidas del Arduino Leonardo a las tarjetas de control y acondicionamiento.

Figura 3.10 Diseño de la interfaz de entradas y salidas de la tarjeta LattePanda



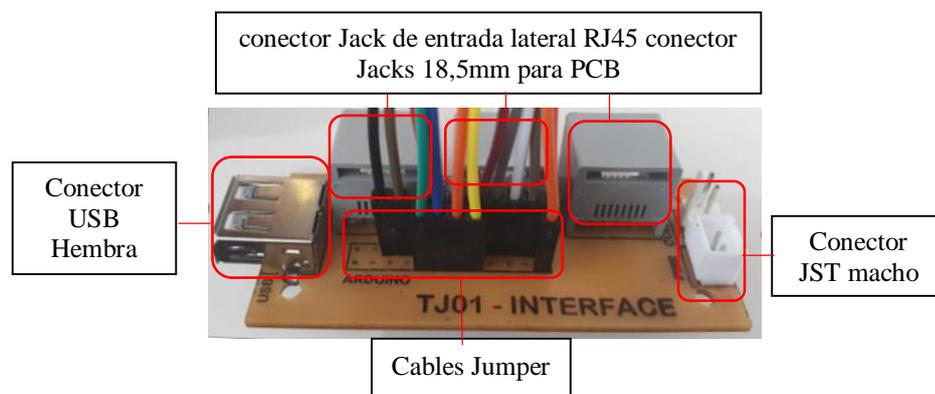
Diseño de la interfaz de entradas y salidas. Elaborado por: Cristian Flores y Jhonny Romero

Se usó conectores hembra RJ45 los cuales ayudan a organizar los diferentes pines que van direccionados para los sensores, motores, etc. Se prefirió este tipo de conectores

por su facilidad de uso, la gran variedad que existe en el mercado y la facilidad de construir los patch Cord con cable de UTP.

Además, se colocó un conector USB el cual va a ayudar a transferir la energía de las baterías a la alimentación del Latte Panda y el HMI, los cuales son alimentados por un convertidor CC, a 5vdc. En la Figura 3.11 se puede apreciar la tarjeta implementada y la distribución de los conectores Patch Cord, RJ45 y USB.

Figura 3.11 Construcción de la tarjeta auxiliar de entradas y salidas

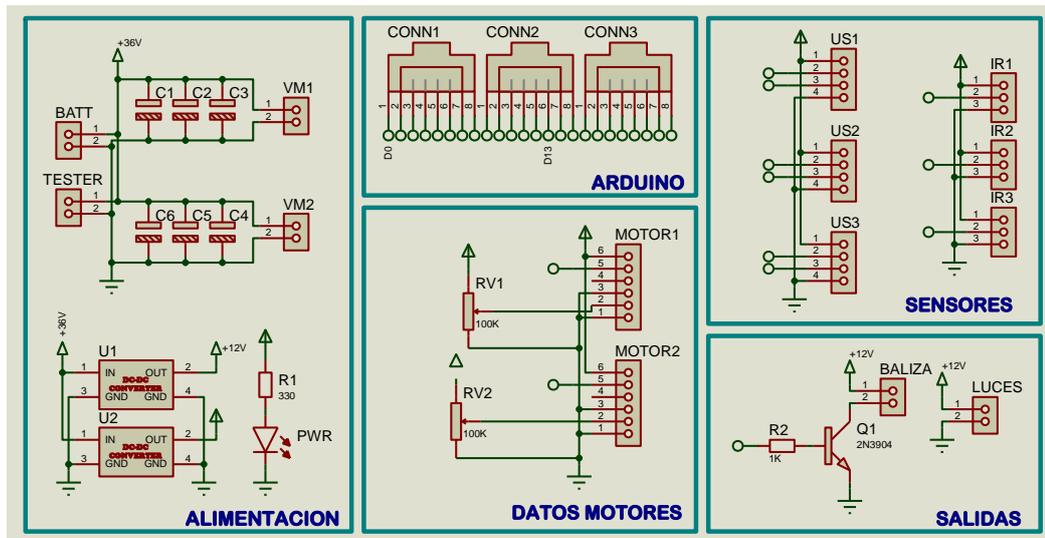


Construcción de la tarjeta auxiliar de entradas y salidas. Elaborado por: Cristian Flores y Jhonny Romero

### 3.5.2. Diseño de la tarjeta AAP (alimentación, acondicionamiento y potencia)

En la interfaz de entrada y salida se realizaron todas las conexiones correspondientes al Arduino Leonardo, las cuales fueron conectadas a las tarjetas de control y acondicionamiento, por medio de conectores RJ45 hembra y cables patch Cord de 2 metros. Para asegurarse que se van a disponer de todas las entradas y salidas del Arduino Leonardo se colocaron pines de conexión en todos los puertos del arduino que viene incorporado a la tarjeta Latte Panda. A continuación, se detalla el diseño de las placas para la interfaz entre LattePanda y la tarjeta AAP, en la Figura 3.12.

Figura 3.12 Diseño de la tarjeta AAP



Diseño y simulación de la tarjeta AAP (alimentación, acondicionamiento y potencia) en Proteus.

Elaborado por: Cristian Flores y Jhonny Romero

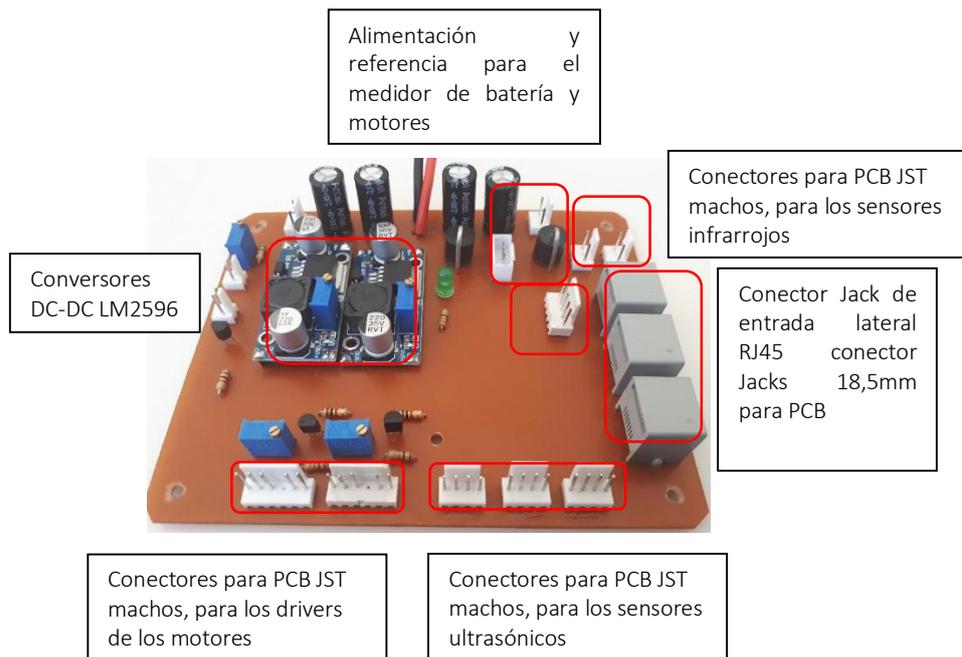
Como se puede observar en las figuras que anteceden, se ha dividido por bloques y separado los datos de la alimentación, todos los datos se van a transmitir por medio de cables patch Cord los cuales son muy fáciles de conseguir y garantizan una buena transmisión de información.

Para la alimentación se utilizó filtros y convertidores DC-DC para separar la alimentación que va direccionada a los motores y sensor y la alimentación direccionada a la tarjeta de control LattePanda y la pantalla Touch.

Para la implementación de la tarjeta AAP se tomó en cuenta las diferentes necesidades para separar los circuitos de control y fuerza. Para esto, se usó dos convertidores DC-DC LM2596, los cuales reducen la señal DC obtenida de la batería de 36 voltios a 5 voltios, además, separa los diferentes niveles de tensión para los motores (36 voltios) y la parte de control (5 voltios) (Latte Panda y HMI).

También se dispuso la conexión para los conectores hembra RJ45 que van conectados a la tarjeta auxiliar de entradas y salidas por medio de un patch Cord. La baliza también va a ser conectada a esta tarjeta AAP la cual va a ser controlada por un sencillo transistor cuando se requiera, así también se dispone de luces indicadoras, que van a servir como luces piloto del funcionamiento del robot, tal como se muestra en la Figura 3.13.

Figura 3.13 Construcción de la tarjeta auxiliar de potencia



Construcción de la tarjeta auxiliar de potencia. Elaborado por: Cristian Flores y Jhonny Romero

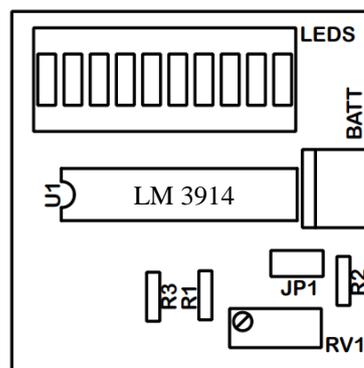
Adicional se incluyó una tarjeta para la conexión de un indicador en tiempo real del nivel de batería, el cual va a ser una simple comparación entre un nivel de batería seteado previamente al 100% de batería con el nivel que vaya siendo monitoreado por una de las entradas analógicas del Arduino incluido en el Latte Panda.

- Carga completa: 36 Vdc
- Descarga: 32 Vdc

El circuito integrado LM3914 ayuda a medir un nivel de tensión analógica que puede ser comparada con una referencia de tensión ya preestablecida, el circuito integrado es capaz de controlar una barra de led o varios leds (hasta 10), habilitando su pin 9.

Cuando el circuito está funcionando en modo barra tiene un consumo de corriente de 20 mA, en este caso la variación de cada led se da cada 0,4 voltios.

Figura 3.14 Diseño de la tarjeta electrónica de nivel de carga de la batería



Diseño de la tarjeta electrónica indicadora de nivel de carga de la batería. Elaborado por: Cristian Flores y Jhonny Romero

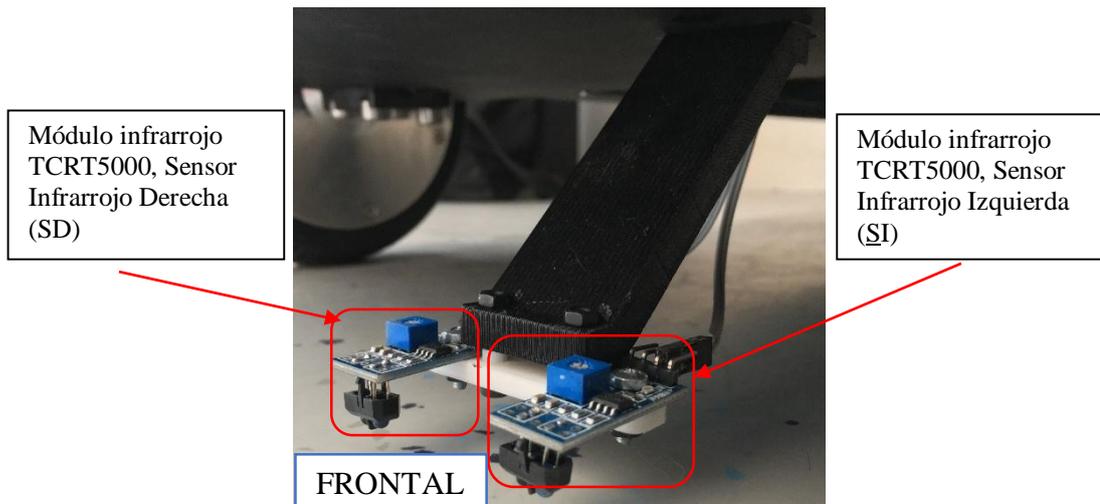
### 3.5.3. Sistema sensorial

Los sensores utilizados permiten la interacción del robot con el medio en donde se desenvuelve para guiarlo y ofrecer seguridad en el desplazamiento. El robot está compuesto de: sensores ultrasónicos, infrarrojos y una cámara web (sensor de imagen).

### 3.5.4. Sensores de línea

Para detectar una franja color negro en el piso que va a indicar el camino alrededor de todas las estaciones de descarga, se usaron dos módulos seguidores de línea TCRT5000 colocados en una placa impresa en 3D, a 1 cm del suelo, ya que estos tienen una distancia de reflexión de 1-25mm, más distancia que los sensores infrarrojos tradicionales. Cada sensor tiene una salida digital que van conectadas por medio de un cable tipo bus de datos hacia la tarjeta AAP. Se puede observar la ubicación de los módulos y la placa en la Figura 3.15

Figura 3.15 Sensores de línea

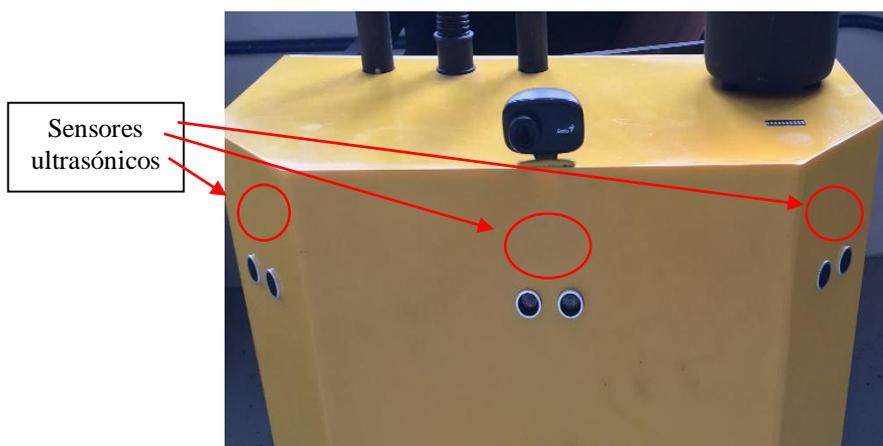


Ubicación de los dos módulos de sensores de línea. Elaborado por: Cristian Flores y Jhonny Romero

### 3.5.5. Sensores de distancia

El robot repartidor necesita un sistema sensorial que lo ayude a evitar obstáculos, para este fin se utilizaron sensores ultrasónicos HC-SR04, los cuales son capaces de detectar objetos a una distancia de 2 a 450 cm. El sensor funciona por señales de ultrasonido y su señal de salida es de forma analógica, y tienen un muy bajo consumo de corriente y una precisión muy alta ya que solo envía un pulso y mide el tiempo de retorno.

Figura 3.16 Sensores de ultrasonido



Ubicación de los tres sensores de Ultrasonido HC-SR04. Elaborado por: Cristian Flores y Jhonny Romero

Los sensores ultrasónicos ayudan a identificar la presencia de un objeto que obstruya el camino del robot, una vez que el sensor ultrasónico detecte un objeto o personas a una distancia preestablecida mediante programación, se detiene hasta que el objeto sea retirado, precautelando la integridad de los objetos o personas en el entorno en donde se está moviendo el robot.

### **3.5.6. Sensor de imagen**

En el robot repartidor se necesita contar con la mayor precisión posible para los movimientos que va a realizar para lo cual se incluyó un sensor de imagen, en este caso una cámara web Genius Facecam 321 de 8 mega pixeles. Con esta cámara se va a detectar los inicios de las curvas y las marcas en el piso que van a indicar la llegada a las estaciones de descarga.

Figura 3.17 Cámara web



Ubicación de la cámara web Genius 8 MP. Elaborado por: Cristian Flores y Jhonny Romero

### **3.6. Diagrama esquemático de conexión**

En el diagrama de la Figura 3.18 se presenta las conexiones realizadas entre el LattePanda, la tarjeta auxiliar de entradas y salidas, la tarjeta AAP, los drivers de los motores, y demás periféricos instalados en el sistema.

Figura 3.18 Diagrama esquemático de conexión

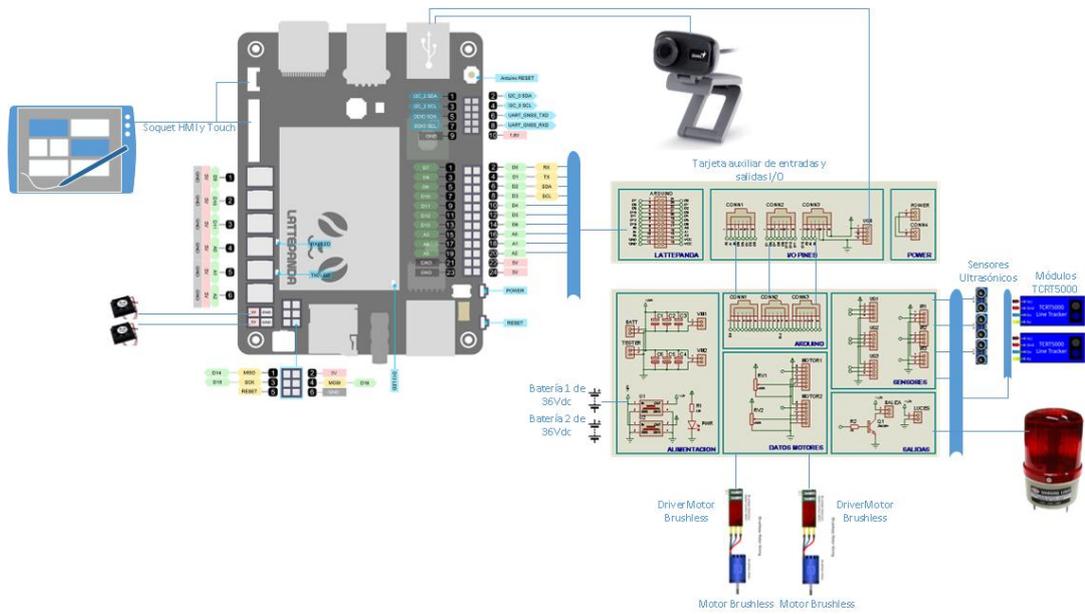


Diagrama esquemático de conexión electrónica del robot. Elaborado por: Cristian Flores y Jhonny Romero

### 3.7. Implementación del hardware del robot

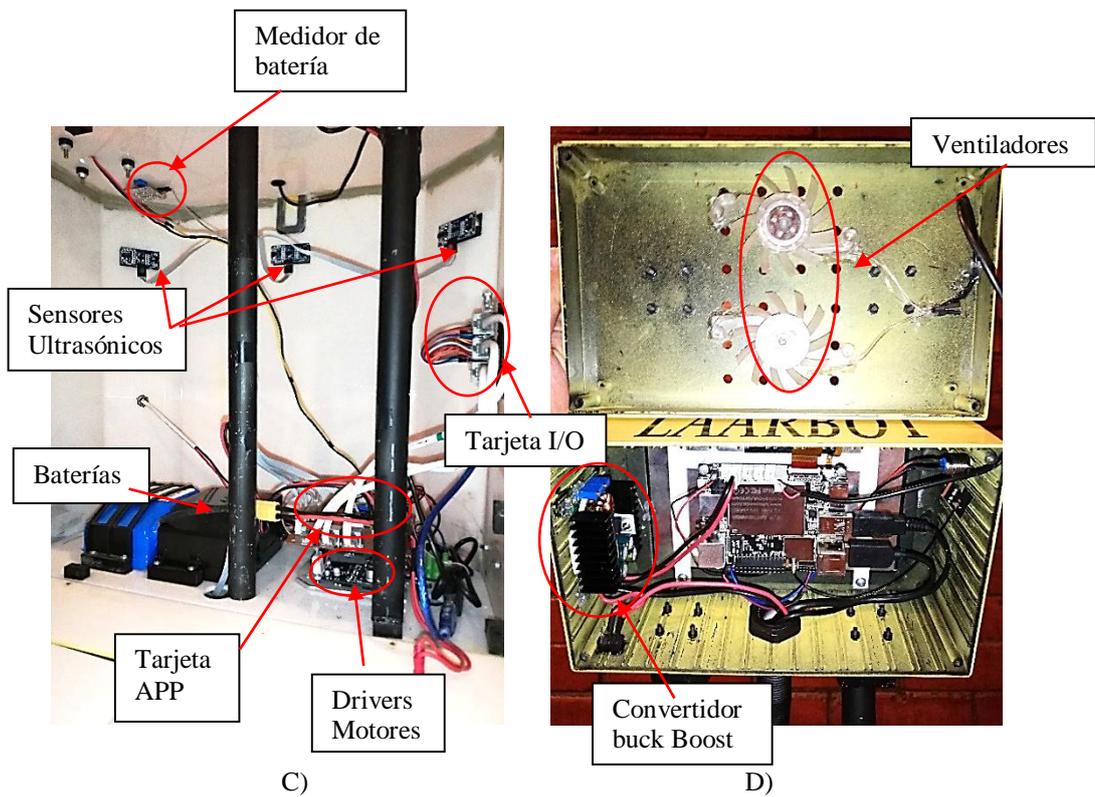
La Figura 3.19 muestra el hardware final del robot móvil. En las imágenes A y B se observa la estructura mecánica terminada, en base el diseño presentado en la Figura 3.3. con los elementos electrónicos que se detalló en la Figura 3.5. En las imágenes C y D se detalla la ubicación del sistema electrónico mostrado en la Figura 3.9.

Figura 3.19 Implementación final del hardware del robot



A)

B)



C)

D)

Estructura mecánica: A) Vista isométrica frontal derecha, B) Vista posterior, Sistema electrónico: C) Vista de los elementos electrónicos ubicados dentro del chasis, D) Vista de los elementos electrónicos ubicados dentro del gabinete. Elaborado por: Cristian Flores y Jhonny Romero

### **3.8. Desarrollo del software**

Esta sección describe el desarrollo del software del proyecto mediante los diagramas de flujo de los cuatro algoritmos utilizados para el proceso de autonomía del robot móvil. Dichos algoritmos permitieron procesar la información de los sensores e interactuar con el entorno.

Para dotarle de autonomía al robot se desarrollaron cuatro algoritmos, el primero para controlar la pantalla HMI (Algoritmo HMI), el segundo para detectar marcas de colores en la ruta trazada (Algoritmo Detección de color), el tercero para identificar y seguir una línea negra en el piso (Algoritmo Seguidor de Línea) y el cuarto para detectar giros y paradas (Algoritmo Selectivo).

Los algoritmos fueron escritos en Arduino y NetBeans IDE, ya que la tarjeta de desarrollo LattePanda cuenta con entradas y salidas de Arduino embebidas. Para este caso las salidas se utilizaron en el control de los motores y la luz piloto, y las entradas en los diferentes sensores.

#### **3.8.1. Algoritmo HMI**

El escritorio de LattePanda presenta un programa llamado LAARBOT dentro del cual se desarrollaron tres secciones a las que se les denominó: Destino, Trayectoria y Mensaje como se puede observar en la Figura 3.20. La sección “Destino” se utilizó para mostrar botones con nombres de ciudades a las que se va a enviar el paquete y botones para autorizar el envío y retorno del robot móvil. La sección “Trayectoria” se utilizó para mostrar el mapa del área de trabajo e ir marcando los puntos de cruce, giros y paradas que el robot va pasando mientras llega al destino y regresa al punto de inicio. Por último, la sección “Mensaje” se utilizó para visualizar textualmente el nombre de la ciudad destino del botón presionado.

Para enviar al robot con el paquete se utilizó un botón “Partir” para que el robot empiece a moverse luego de seleccionar el destino. Para que el robot regrese al punto de carga luego de haber llegado a su destino se utilizó un botón “Retorno”. Estos botones están como seguridad para evitar que el robot empiece a moverse sin la

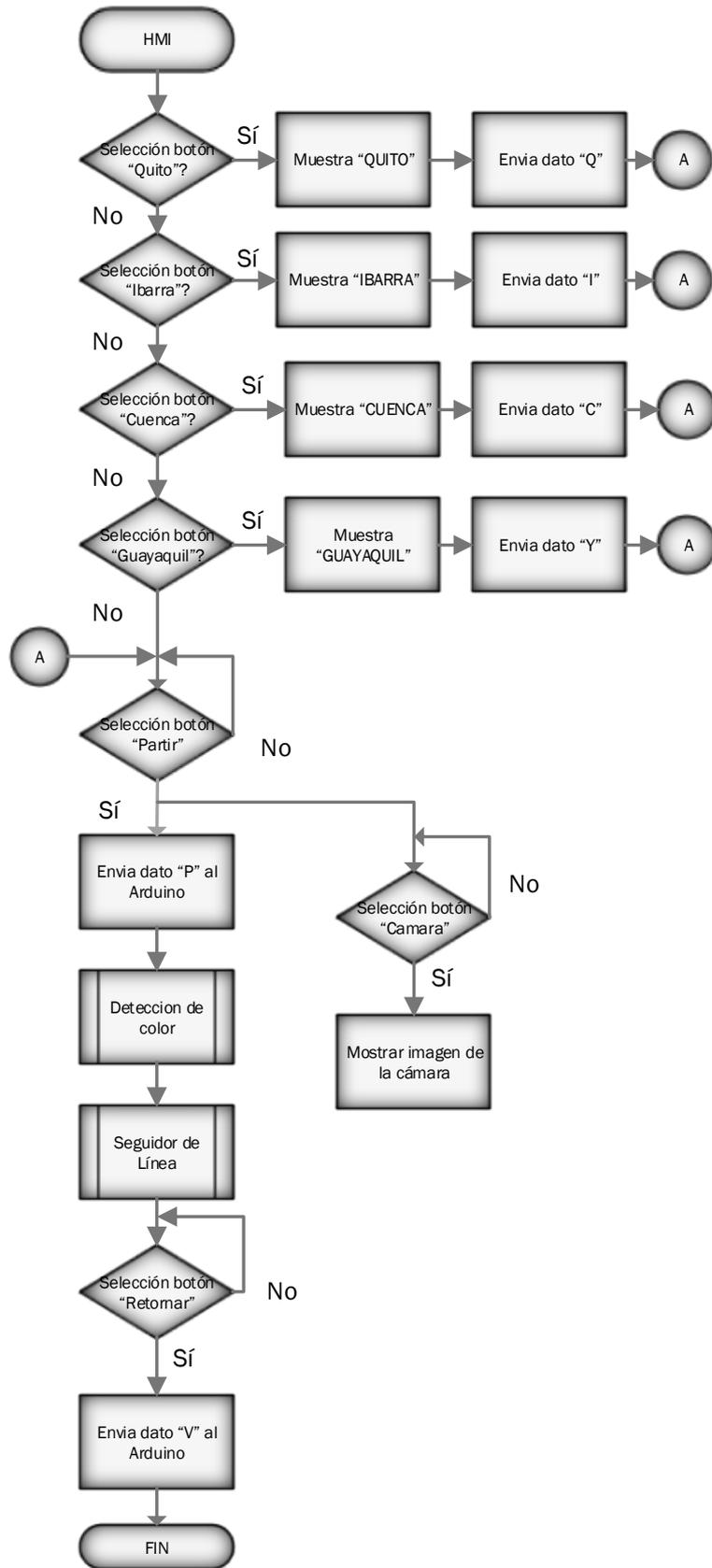
respectiva autorización proporcionada por el operador. La figura 3.21 muestra el diagrama de flujo del algoritmo HMI.

Figura 3.20 Interfaz gráfica



Destino Cuenca seleccionado. Elaborado por: Cristian Flores y Jhonny Romero

Figura 3.21 Diagrama de flujo del algoritmo HMI



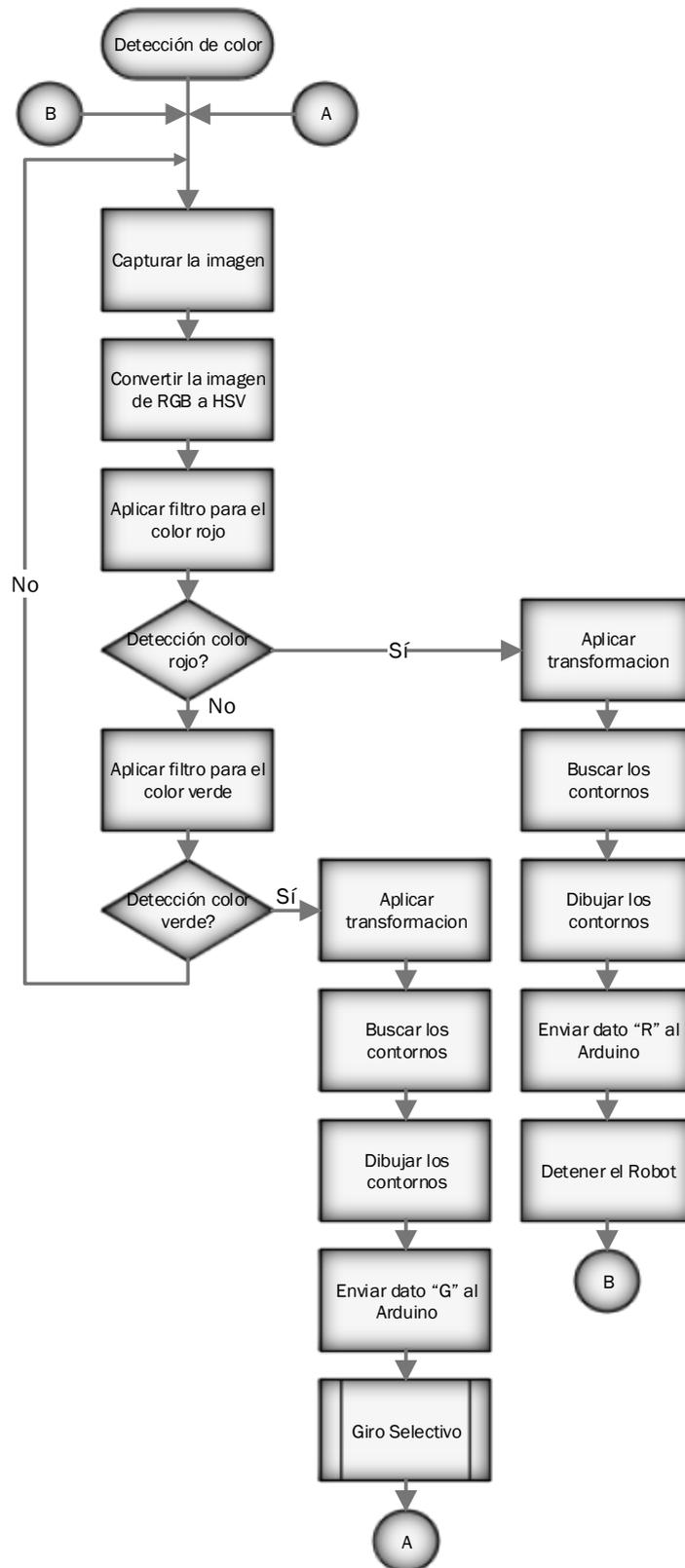
Lógica funcional de la configuración de destino. Elaborado por: Cristian Flores y Jhonny Romero

### **3.8.2. Algoritmo Detección de color**

El algoritmo Detección de color se utilizó para el reconocimiento de los colores rojo y verde, a través del procesamiento de imágenes como se especifica en el diagrama de flujo de la Figura 3.22.

El algoritmo inicia con la captura de la imagen a través de la cámara. Esta imagen tiene el modelo de color habitual de la fotografía que es el modelo RGB, la imagen se convierte de RGB (Rojo, Verde, Azul) a HSB (Matiz, Saturación, Brillo) para reconocer en una escala más grande de colores, las marcas de color rojo y verde colocadas sobre el piso. A continuación, a la imagen (HSB) se le aplica operaciones morfológicas, para obtener una imagen sencilla (sin ruidos, etc.) para detectar la región de interés del color y dibujar su contorno para visualizar en la pantalla. Finalmente, cuando se detecta el color rojo o verde LattePanda envía al dato “R” o “G” respetivamente al Arduino. El dato “R” se envía para detener el robot en una estación de descarga y el dato “G” para llamar al Algoritmo Selectivo que realiza los giros y avances cuando se aproxima una esquina o cruces de la línea negra.

Figura 3.22 Diagrama de flujo del algoritmo para la detección de color



Lógica funcional del proceso de reconocimiento del color verde y rojo en la imagen. Elaborado por: Cristian Flores y Jhonny Romero

### 3.8.3. Algoritmo Seguidor de Línea

Se utilizaron tres tipos de sensores para seguir la trayectoria marcada con una línea negra, sensores ultrasónicos, sensor de color y sensores infrarrojos. Los sensores ultrasónicos se utilizaron para detectar objetos que se interpongan en el desplazamiento del robot. Se utilizó una cámara web como sensor de color para reconocer marcas rojas y verdes pintadas en el piso. Por último, se utilizaron sensores infrarrojos para detectar una línea de color negro en el piso.

Para avanzar con el robot los sensores ultrasónicos deben notificar al sistema que no hay obstáculos en la trayectoria a seguir. Luego, la cámara web debe notificar que no hay marcas de color rojo o verdes en el camino. Si las condiciones mencionadas anteriormente se cumplen se toman en cuenta los datos de los sensores infrarrojos.

Se utilizaron dos sensores infrarrojos a cada lado de la línea y se los nombró como “sensor izquierdo” (SI) y “sensor derecho” (SD), ver Figura 3.15. Si los sensores infrarrojos detectan línea negra arrojan un valor de cero lógico y si no detectan línea negra el valor es uno lógico. Para realizar las acciones de avance, giro hacia la derecha y giro hacia la izquierda se utilizaron las condiciones mostradas en la siguiente Tabla 3.1.

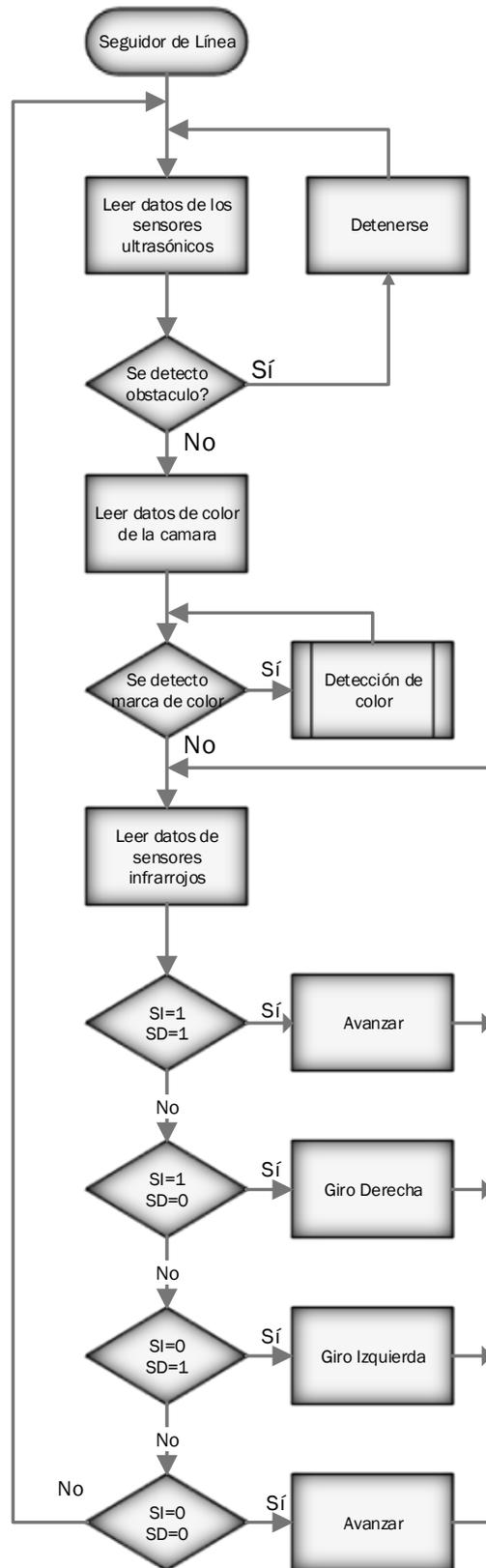
Tabla 3.1 Tabla de comportamiento de los sensores infrarrojos

<b>SI</b>	<b>SD</b>	<b>ACCION</b>
1	1	Avance
1	0	Giro hacia la izquierda
0	1	Giro hacia la derecha
0	0	Avance

Tabla del comportamiento de los sensores según la acción a realizarse. Elaborado por: Cristian Flores y Jhonny Romero

En la Figura 3.23 se muestra un diagrama de flujo completo del proceso seguidor de línea del robot móvil repartidor.

Figura 3.23 Diagrama de flujo del algoritmo Seguidor Línea



Lógica funcional del proceso seguidor de línea del robot móvil. Elaborado por: Cristian Flores y Jhonny Romero

### 3.8.4. Algoritmo Selectivo

Al tener rutas predeterminadas para moverse dentro del área de operaciones como se puede observar en la Figura 3.24, el algoritmo selectivo realiza una búsqueda de trayectoria utilizando una matriz, ver ecuación 3.1. En dicha matriz se han representado las trayectorias en filas y los puntos de giro o avance en columnas. Se han programado 4 trayectorias posibles por lo que la matriz sólo presenta cuatro filas: fila uno Quito, fila dos Guayaquil, fila tres Ibarra y fila 4 Cuenca. En cambio, las columnas dependen del número de giros y avances que se deban hacer para alcanzar el destino dependiendo del punto de almacenamiento de acuerdo a la ciudad de destino.

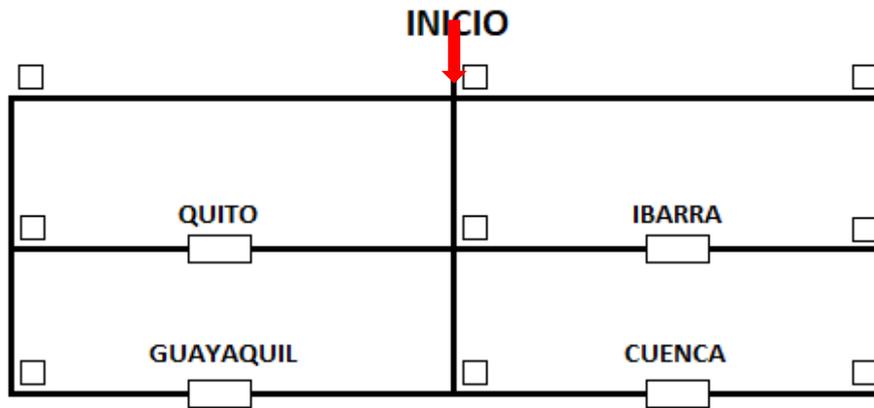
Cada vez que se detecta el color verde se realiza una acción determinada dependiendo de los números “1”, “2” o “0” que contenga la fila de la matriz. Es decir, si el robot detecta la primera marca de color verde en la trayectoria hacia el punto de almacenamiento de la ciudad de Quito realiza una acción dependiendo del valor numérico que se encuentre en la primera columna, si se detecta la segunda marca de color verde se realiza la acción que muestra el valor numérico de la columna 2, y así sucesivamente. Con el valor numérico “1” el robot gira hacia la izquierda, con “0” el robot gira a la derecha y con “2” el robot sigue avanzando.

$$\text{Rutas} = \begin{bmatrix} 2 & 1 & 1 & 1 & 0 & & & \\ 2 & 0 & 0 & 0 & 1 & & & \\ 2 & 2 & 1 & 1 & 2 & 1 & 0 & \\ 2 & 2 & 0 & 0 & 2 & 0 & 1 & \end{bmatrix} \quad \text{Ec. (3.1)}$$

$$\text{Rutas} = [a_{\text{destino giro}}] \quad \text{Ec. (3.2)}$$

En la Figura 3.25, se puede observar el diagrama de flujo completo del algoritmo Selectivo del robot móvil repartidor.

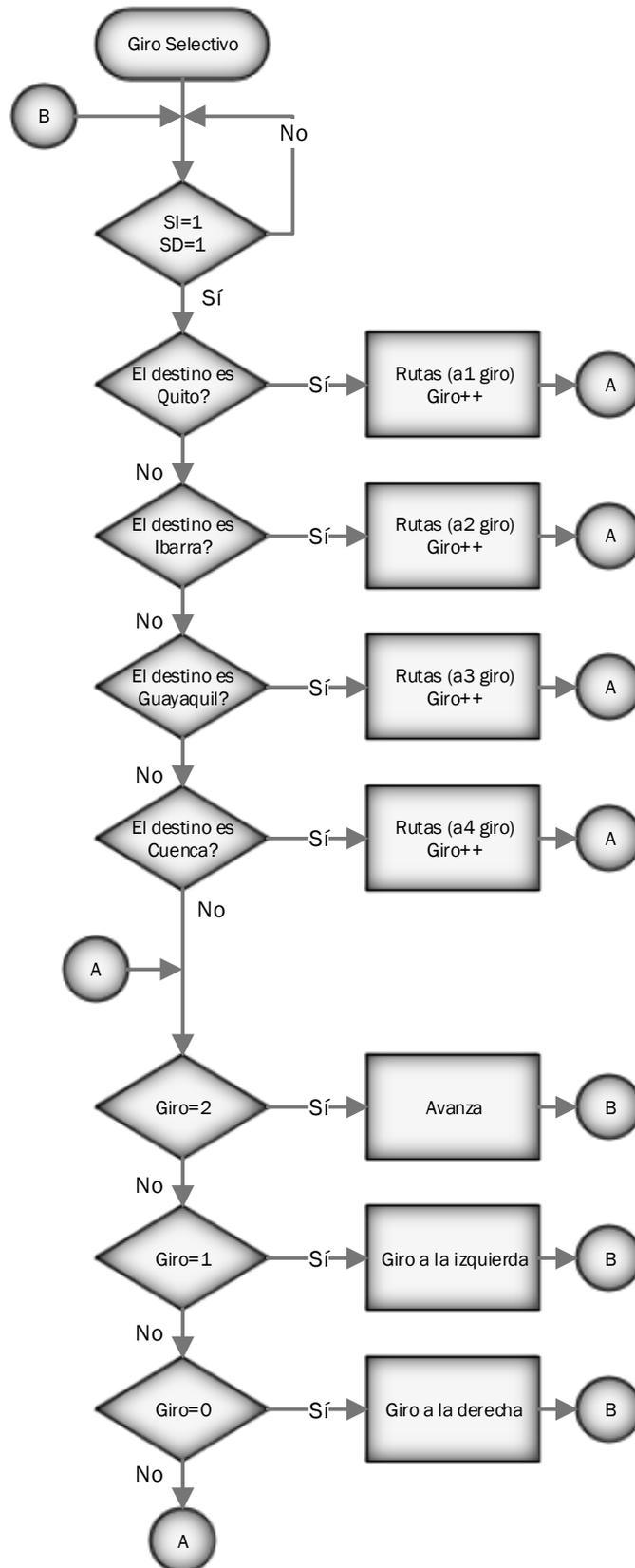
Figura 3.24 Mapa de rutas y destinos del área de operaciones



Mapa del área de trabajo. Elaborado por: Cristian Flores y Jhonny Romero

El diagrama de flujo del algoritmo de giro selectivo se puede observar en la Figura 3.25.

Figura 3.25 Diagrama de flujo del algoritmo selectivo



Lógica funcional del algoritmo selectivo. Elaborado por: Cristian Flores y Jhonny Romero

## CAPÍTULO 4

### ANÁLISIS Y PRUEBAS

#### 4.1. Pruebas de distancia de censado con los sensores ultrasónicos

Los sensores ultrasónicos son dispositivos muy importantes que brindan seguridad al robot, debido a que, permiten que el robot no choque con objetos que se crucen durante el desplazamiento. Por lo tanto se realizaron estas pruebas para establecer la distancia mínima a la que se debe sentir un objeto para que el robot alcance a detenerse.

En la Tabla 4.1, se muestra los resultados obtenidos de la medición de la distancia del obstáculo al robot.

Tabla 4.1 Tabla de comportamiento de los sensores ultrasónicos

#Prueba	Distancia de detección [cm]	¿Se detiene el robot?	Observación
1	20	NO	El robot golpea con el objeto
2	40	NO	El robot golpea con el objeto
3	60	NO	El robot golpea con el objeto
4	80	NO	El robot golpea con el objeto
5	100	SI	
6	120	SI	
7	140	SI	
8	160	SI	
9	180	SI	
10	200	SI	

Tabla de resultados obtenidos al realizar mediciones de los sensores ultrasónicos a una distancia de 30cm. Elaborado por: Cristian Flores y Jhonny Romero

Durante las pruebas se observó que existe una distancia pequeña entre el robot y el obstáculo al establecer la distancia de detención entre 20cm a 80cm, debido al efecto de inercia de los motores, el robot no frena instantáneamente, sino que tiene un pequeño avance antes de detenerse completamente, lo que provoca que a veces el robot golpee con el obstáculo. Por esta razón, se decidió establecer 100cm como la distancia de detención mínima más adecuada, debido a que el avance que tienen las ruedas al

momento de empezar a detenerse a una distancia de 100cm no provoca que el obstáculo golpee contra al robot.

#### 4.2. Pruebas de los sensores Óptico reflexivo (Módulo TCRT5000)

La correcta calibración de la sensibilidad de detección de color negro en los sensores óptico-reflexivos garantiza que puedan ser utilizados para seguir la línea negra o una ruta predeterminada. En estas pruebas se pudo calibrar la sensibilidad de los sensores por medio de un potenciómetro incorporado en cada uno de los módulos, a una altura que pueda detectar la línea negra sin golpear con el piso.

En la Tabla 4.2 donde: IRI = Infrarrojo izquierdo e IRD = Infrarrojo derecho, se muestran los resultados obtenidos de la detección de la línea negra sobre la superficie a una distancia de 1.5cm del suelo. Los valores de IRI e IRD son cero cuando los sensores están sobre una superficie blanca y/o diferente de negro y los valores de IRI e IRD son uno cuando los sensores están sobre una superficie negra.

A los sensores se nombraron MI = Módulo TCRT500 Izquierdo y el MD = Módulo TCRT500 Derecho, los cuales según el uno lógico (“1”) y cero lógico (“0”), se encienden y envían un dato al Arduino embebido en la LattePanda.

Tabla 4.2 Tabla de resultados de los sensores óptico reflectivo

# Prueba	IRI	IRD	MI	MD	Altura del sensor sobre suelo [cm]
1	0	0	OFF	OFF	3
2	0	0	OFF	OFF	2.75
3	0	0	OFF	OFF	2.5
4	0	0	OFF	OFF	2.25
5	0	1	OFF	ON	2
6	1	0	ON	OFF	1.75
7	1	1	ON	ON	1.5
8	1	1	ON	ON	1.25
9	1	1	ON	ON	1.20
10	1	1	ON	ON	1.10

Tabla de resultados obtenidos al realizar mediciones de los módulos seguidores de línea TCR5000 a una distancia de 1.5cm del suelo sobre el color negro. Elaborado por: Cristian Flores y Jhonny Romero

En la Tabla 4.2 se puede observar que entre más cerca este el sensor TCR5000 de la línea a detectar es mejor su fiabilidad, pero en entornos con desniveles en el suelo que puede generar daños en el mismo. Por lo tanto, se tomó la distancia de 1.5 cm en la cual se tiene una buena detección para el efecto práctico, y así evitar también daños en los sensores del robot.

### 4.3. Prueba de la selección de la ruta óptima

Las rutas están predefinidas es decir no varían, como se puede observar en la Figura 3.20, por lo que el resultado de la elección de la mejor ruta va a ser siempre la misma. Por lo tanto, las pruebas de la selección de la ruta óptima se basaron en la corrección de giros en las rutas programadas, priorizando la distancia más corta y que el robot sea capaz de llegar de forma autónoma al destino correcto.

La Tabla 4.3 muestra los resultados obtenidos del ajuste del ángulo de inclinación de la cámara web. En esta tabla se presentan 5 pruebas por ciudad siendo estas pruebas las más relevantes y a partir de las cuales se calibró la cámara.

Tabla 4.3 Tabla de resultados de la interfaz gráfica, HMI

# Prueba	Destino	¿Llego a su destino?	Inclinación de la cámara en Grados [°]	Justificación
1	Quito	NO	90	La cámara se encontraba apuntando muy arriba a 90° y la toma de decisión era muy rápida
2	Quito	NO	85	La cámara se encontraba apuntando muy arriba a 85° y la toma de decisión era muy rápida
3	Quito	NO	80	La cámara se encontraba apuntando muy arriba a 80° y la toma de decisión era muy rápida
4	Quito	NO	75	La cámara se encontraba apuntando muy arriba a

				75° y la toma de decisión era muy rápida
5	Quito	SI	70	Funciona Correctamente
1	Ibarra	NO	65	La cámara se encontraba a 65° y detectaba la marca muy tarde
2	Ibarra	NO	60	La cámara se encontraba a 60° y detectaba la marca muy tarde
3	Ibarra	NO	55	La cámara se encontraba a 55° y detectaba la marca muy tarde
4	Ibarra	NO	50	La cámara se encontraba a 50° y detectaba la marca muy tarde
5	Ibarra	NO	45	La cámara se encontraba a 45° y detectaba la marca muy tarde
1	Guayaquil	NO	40	La cámara se encontraba a 40° y detectaba la marca muy tarde
2	Guayaquil	SI	70	Funciona Correctamente
3	Guayaquil	SI	70	Funciona Correctamente
4	Guayaquil	SI	70	Funciona Correctamente
5	Guayaquil	SI	70	Funciona Correctamente
1	Cuenca	SI	70	Funciona Correctamente
2	Cuenca	SI	70	Funciona Correctamente
3	Cuenca	SI	70	Funciona Correctamente
4	Cuenca	SI	70	Funciona Correctamente
5	Cuenca	SI	70	Funciona Correctamente

Tabla de resultados obtenidos al realizar el ajuste de inclinación de la cámara web. Elaborado por:

Cristian Flores y Jhonny Romero

Debido a que la cámara web se decidió colocar en un lugar alto y central como se puede revisar en el apartado 3.5.6. el único ajuste se realizó moviendo de arriba hacia abajo la cámara para buscar un ángulo adecuado, con el fin de no enfocar todo el espacio donde se moviliza, sino que se logre visualizar correctamente el color en el piso para que la tarjeta LattePanda procese correctamente.

Luego de las pruebas realizadas se determinó que el ángulo de inclinación correcto de la cámara debe ser de aproximadamente 70°. Este ángulo fue el que se usó en las pruebas de la selección de la ruta óptima (Tabla 4.4.).

Debido a que las 10 pruebas realizadas por cada ciudad destino siempre fueron correctas, la Tabla 4.4 muestra el resumen de cada ciudad con los parámetros que se evaluaron, en la cual se puede observar que se tiene un funcionamiento correcto de la elección de las rutas.

Tabla 4.4 Tabla de resultados de la ruta óptima

<b># de pruebas</b>	<b>Ciudad</b>	<b>¿Llego a su destino?</b>	<b>¿Regreso a su origen?</b>
10	Quito	SI	SI
10	Ibarra	SI	SI
10	Guayaquil	SI	SI
10	Cuenca	SI	SI

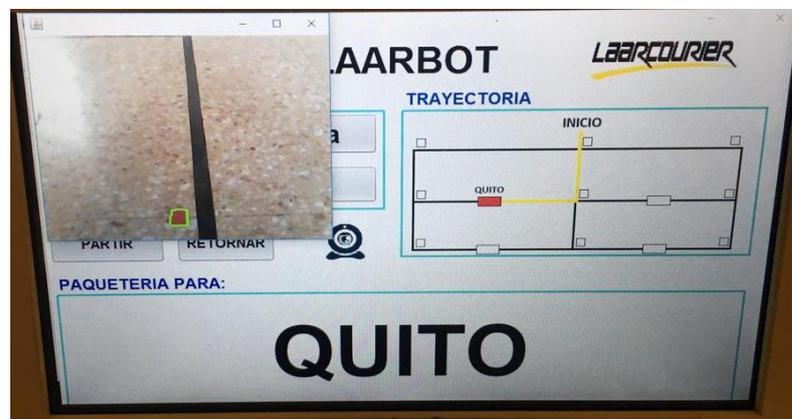
Tabla de resultados obtenidos de las pruebas de selección de la ruta óptima. Elaborado por: Cristian Flores y Jhonny Romero

Luego de realizar las pruebas anteriores, la correcta inclinación de la cámara web garantiza que el robot logre detectar los colores sobre el piso, como se puede observar en la Figura 4.1 y en consecuencia recorra la ruta correcta realizando la repartición.

Figura 4.1 Interfaz gráfica



A)



B)

Visualización a través de la cámara web en la interfaz gráfica de: A) Detección de color verde sobre el piso B) Detección del color rojo sobre el piso. Elaborado por: Cristian Flores y Jhonny Romero

#### 4.4. Pruebas de velocidad del robot móvil

La correcta calibración de la velocidad de los motores permite que la tarjeta LattePanda tenga el tiempo necesario de procesamiento de la imagen, de manera que se transmita correctamente el dato del color verde y color rojo.

Se realizaron pruebas para medir el tiempo que tarda el robot en repartir un paquete en una trayectoria determinada, y luego, se midió el tiempo que tarda una persona en el mismo trayecto. La velocidad de la persona como la del robot se midió utilizando una

aplicación de velocímetro en un teléfono móvil que se lo transportó en la mano de la persona y sobre el robot.

La calibración de la velocidad se efectuó ajustando el valor de voltaje con el potenciómetro incorporado en cada driver del motor Brushless. El potenciómetro varía el voltaje del controlador del motor en el rango de 0 a 5 voltios. En 5 voltios se tenía una velocidad de 8 Km/h.

La Tabla 4.5 muestra la velocidad promedio de 10 pruebas realizadas a diferente voltaje en los drives del motor con carga de 50kg a la ida (peso máximo de paquetería liviana) y 20kg (peso del robot) sin carga al regreso.

Tabla 4.5 Tabla de resultados de la medición de la velocidad del robot

# Pruebas	Voltaje del drive [V]	Carga 50 kg	Velocidad Promedio del robot [m/s]	Velocidad Promedio de la persona[m/s]
10	1	Con carga	0.6	0.3
10	1	Sin carga	0.8	0.6
10	2	Con carga	0.8	0.3
10	2	Sin carga	1	0.6
10	3	Con carga	1	0.3
10	3	Sin carga	1	0.6
10	4	Con carga	2	0.3
10	4	Sin carga	2	0.6
10	5	Con carga	2	0.3
10	5	Sin carga	2	0.6

Tabla de resultados obtenidos al realizar mediciones de la velocidad del robot y la velocidad de una persona con diferente peso de carga. Elaborado por: Cristian Flores y Jhonny Romero

La Tabla 4.6 muestra el tiempo promedio de 10 pruebas realizadas medido del robot y de la persona en recorrer una distancia fija establecida para cada destino según el mapa del área de operaciones de LaarCourier de la Figura 4.2.

Tabla 4.6 Tabla de resultados del tiempo, distancia según el destino y retorno

# Pruebas	Con carga (Ida) / Sin carga (Regreso)	Ciudad	Distancia [m]	Tiempo Promedio del robot [s]	Tiempo Promedio de la persona [s]
10	Ida	Quito	6.8	21	26
10	Regreso	Quito	9.2	28	20
10	Ida	Ibarra	6.8	21	26
10	Regreso	Ibarra	9.2	28	20
10	Ida	Cuenca	9.6	26	31
10	Regreso	Cuenca	12.4	38	28
10	Ida	Guayaquil	9.6	26	31
10	Regreso	Guayaquil	12.4	28	28

Tabla de resultados del tiempo, distancia según el destino y retorno seleccionado. Elaborado por:

Cristian Flores y Jhonny Romero

Luego de analizar estos parámetros antes mencionados y basándonos en los resultados de la Tabla 4.6, se determinó el valor de 2 voltios en el controlador de cada motor como el más adecuado porque esta velocidad proporciona el tiempo adecuado para el procesamiento de imágenes. Es así que se determinó una velocidad entre 0.8 m/s y 1 m/s, además, porque es una velocidad determinada en las normas de seguridad para circular dentro del galpón de trabajo de LAARCOURIER.

El tiempo de ida del robot hasta llegar a su destino es similar al tiempo que se demora la persona en el mismo trayecto. De igual forma el retorno tanto del robot como de la persona son iguales.

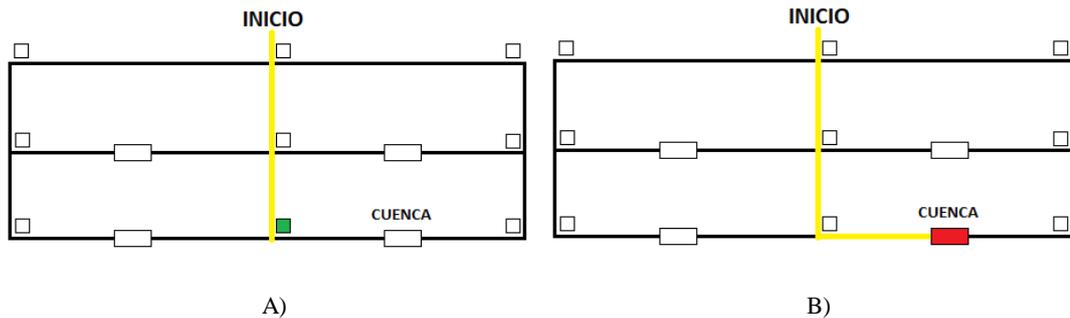
A partir de esto se puede determinar que en lugares pequeños vamos a tener unos tiempos similares, pero con la diferencia de que el robot va a tener una velocidad constante en un tiempo de trabajo mucho mayor que el de una persona.

#### 4.5. Pruebas de seguimiento de ruta del robot

El seguimiento visual del recorrido en la pantalla del robot sirvió de ayuda en el desarrollo para ver en tiempo real qué puntos ha alcanzado y por lo tanto conocer la

ubicación del robot. Además, en el mapa de la interfaz gráfica se pudo corroborar el procesamiento de imágenes al observar las marcas de color verde que se colocaron en puntos estratégicos de giro y color rojo en las estaciones de destino, salida y llegada. Un ejemplo de visualización se puede observar en la Figura 4.2.

Figura 4.2 Seguimiento de la ruta de partida a Cuenca



A) Seguimiento de paso del robot marcado con el color verde B) Seguimiento de parada del robot marcado con el color rojo. Elaborado por: Cristian Flores y Jhonny Romero

Tabla 4.7 Tabla de resultados del seguimiento de la ruta del robo

# Prueba	Destino	Detección de giros (verde)	Detección de stop (rojo)	Justificación
1	Ibarra	SI	SI	
2	Ibarra	SI	SI	
3	Ibarra	SI	SI	
4	Ibarra	NO	SI	El color verde tomo una tonalidad fuera del rango, por la luz ambiental
5	Ibarra	SI	SI	
1	Quito	SI	SI	
2	Quito	SI	SI	
3	Quito	SI	SI	
4	Quito	SI	SI	
5	Quito	SI	NO	El color rojo tomo una tonalidad fuera del rango, por la luz ambiental
1	Guayaquil	SI	SI	

2	Guayaquil	SI	SI	
3	Guayaquil	SI	SI	
4	Guayaquil	SI	SI	
5	Guayaquil	SI	SI	
1	Cuenca	SI	SI	
2	Cuenca	SI	SI	
3	Cuenca	SI	SI	
4	Cuenca	NO	SI	El color verde tomo una tonalidad fuera del rango, por la luz ambiental
5	Cuenca	SI	SI	

Tabla de resultados obtenidos del seguimiento según el color detectado. Elaborado por: Cristian Flores y Jhonny Romero

A continuación, en la Tabla 4.8 se muestra las pruebas que muestran los aciertos que el robot fue generando al enviarlo a su destino. Se puede evidenciar que en las primeras pruebas en cada una de las ciudades el robot no llegaba a su destino, pero según las calibraciones de los sensores y de la cámara (ver sección 4.3) de acuerdo con la luz ambiental se pudo ir corrigiendo los errores generados.

Tabla 4.8 Tabla de resultados obtenidos del seguimiento de la ruta del robot

# Prueba	Ciudad destino	Funcionamiento						
1	Quito	NO	Guayaquil	NO	Cuenca	SI	Ibarra	NO
2	Quito	NO	Guayaquil	SI	Cuenca	NO	Ibarra	SI
3	Quito	NO	Guayaquil	SI	Cuenca	SI	Ibarra	SI
4	Quito	SI	Guayaquil	NO	Cuenca	SI	Ibarra	SI
5	Quito	SI	Guayaquil	SI	Cuenca	SI	Ibarra	SI
6	Quito	SI	Guayaquil	SI	Cuenca	SI	Ibarra	SI
7	Quito	SI	Guayaquil	SI	Cuenca	SI	Ibarra	SI
8	Quito	SI	Guayaquil	SI	Cuenca	SI	Ibarra	SI
9	Quito	SI	Guayaquil	SI	Cuenca	SI	Ibarra	SI
10	Quito	SI	Guayaquil	SI	Cuenca	SI	Ibarra	SI

Tabla de resultados obtenidos del seguimiento de la ruta del robot. Elaborado por: Cristian Flores y Jhonny Romero

Para la Ciudad de Quito, se obtuvo los primeros dos aciertos después de tres pruebas realizadas, ya que la luz ambiental en algunas partes de la pista era demasiado luminosa, lo cual afectaba la detección del color rojo.

Para la ciudad de Guayaquil, en la segunda prueba se obtuvo buenos resultados ya que se calibró la cámara en el apartado 4.3 de acuerdo con el color rojo con la luz ambiental disponible en ese momento.

Para la ciudad de Ibarra, una vez ya obtenidas casi todas las rutas y los rangos óptimos para la detección de color se tuvo solo una falla en el primer intento ya que el robot no se detuvo en la parada sino centímetros más adelante, lo cual se corrigió colocando la marca Roja en una mejor posición.

Figura 4.3 Grafica comparativa del seguimiento de las rutas



Gráfica comparativa de del funcionamiento de la llegada al destino del robot. Elaborado por: Cristian Flores y Jhonny Romero

## CONCLUSIONES

- En el presente trabajo se desarrolló un prototipo de robot móvil autónomo, para el transporte y reparto de paquetería liviana el cual integra de manera modular al robot seguidor de línea. Además, incorpora una cámara web que procesa la imagen para tomar decisiones según el color y de esta manera poder desplazarse eficientemente en el área de operaciones y de modo seguro debido al sistema de sensores de obstáculos. Con este prototipo se mejoró el tiempo de transporte y repartición de paquetería y en consecuencia se automatizó la Empresa LaarCourier.
- Se pudo verificar que el control de velocidad proporcionado por los controladores de los motores Brushless de 500W, proporcionan una regulación analógica de la velocidad de los motores, la cual se realizó mediante un potenciómetro lineal, para mejorar dicho control se debería cambiar los drivers o integrar un control más preciso de los motores por ejemplo por medio de un control PWM.
- El robot móvil autónomo es capaz de transportar continuamente un peso que no supera los 50 kg, lo cual reduce el esfuerzo del personal que realiza esta actividad al poder realizar un trabajo continuo por aproximadamente 4 horas. Para realizar este objetivo el robot móvil cuenta con una canasta desmontable que es entregada en el destino.
- Al poder seleccionar el destino mediante la pantalla HMI, el robot es capaz de seleccionar su recorrido mediante el algoritmo selectivo que ya tiene almacenado previamente la ruta más corta para realizar la entrega en el menor tiempo posible. En este proceso el robot es capaz de detectar obstáculos que obstruyan su recorrido mediante el uso de sensores ultrasónicos para detenerse.
- Con el uso del sensor de color y el procesamiento de imágenes, el robot analiza en tiempo real su entorno para identificar paradas y giros en la ruta que está siguiendo. Con esto se logró tener múltiples opciones de rutas posibles de recorrido. Además, para asegurar el seguimiento de una ruta a este proceso se incluyen sensores infrarrojos que siguen una línea negra.

- Para validar y comprobar el diseño y funcionamiento del robot móvil autónomo, para el transporte y reparto de paquetería liviana en LaarCourier, fue sometido a pruebas en diferentes entornos de superficie plana y en entornos de diferente luz, que simulen un galpón. En las pruebas realizadas se observó el desplazamiento del prototipo, además del movimiento diferencial en el cual se pudo verificar que el robot puede desplazarse en 3 sentidos (Avance, Giro Izquierda, Giro derecha). Además, reconoció colores en ambientes iluminados con luz natural proveniente del sol o iluminación artificial, lo cual demuestra y determina una muy buena efectividad que posee el robot para el transporte y reparto de paquetería liviana, los resultados obtenidos se verifican en el capítulo 4.

## RECOMENDACIONES

- Al utilizar dos baterías se pudo comprobar que el tiempo de carga de estas se extiende casi al doble por lo cual para un trabajo futuro se recomienda utilizar una sola batería con la capacidad suficiente de soportar la tarjeta de desarrollo LattePanda, los motores Brushless, el HMI, etc.
- Se pudo comprobar que la tarjeta de desarrollo LattePanda trabaja con una corriente superior a los 4 AMP, por lo cual se recomienda utilizar un conversor regulable DC-DC de al menos 5 AMP, ya que el uso de ventiladores para reducir el calor en la tarjeta y la pantalla Touch conectada a la tarjeta de desarrollo exige una mayor demanda de corriente a las baterías del robot móvil autónomo.
- Para mejorar la aplicación al robot, debido al tamaño 86x60x89 cm y velocidad máxima recomendada 5km/h que posee, se recomienda utilizar en áreas de trabajo grandes que superen los 800m<sup>2</sup>
- Como mejora del robot móvil autónomo, para el transporte y reparto de paquetería liviana se recomienda cambiar la cámara web, por un sensor específicamente de color, con el fin de mejorar la detención de la variable para que los cambios de la luz en el área de trabajo no alteren el funcionamiento del robot.
- Como trabajo futuro se debería implementar un control de monitoreo remoto a través de un teléfono móvil, usando una aplicación para mejorar la supervisión de desplazamiento del robot.
- Una adición para el proyecto sería colocar una alarma sonora que actué al detectar un obstáculo en el camino del robot.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aldaz, L., & Rubén, O. (Agosto de 2017). *DESARROLLO DE UN PROTOTIPO DE ROBOT MÓVIL DE COMPETENCIA MULTI-CATEGORÍA*. Obtenido de file:///C:/Users/CHRISTIAN/Dropbox/Tesis%20Robot%20Repartidor/Libros/Aldaz%20Andrade,%20Luis%20Aníbal%20ST003183.pdf
- Álvarez, R. (22 de Marzo de 2017). *Xataka*. Obtenido de <https://www.xataka.com/robotica-e-ia/adios-al-repartidor-este-pequeno-robot-autonomo-es-el-nuevo-responsable-de-entregar-comida-a-domicilio>
- Amicci, J. (11 de Enero de 2016). *youtube*. Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=Xv4UIHgjna0>
- Bambino, I. (2008). *Una Introducción a los Robots Móviles*. Obtenido de Asociación Argentina de Control Automático AADECA: [http://www.aadeca.org/pdf/CP\\_monografias/monografia\\_robot\\_movil.pdf](http://www.aadeca.org/pdf/CP_monografias/monografia_robot_movil.pdf)
- Barrientos, A. (23 de Mayo de 2014). *Researchgate*. Obtenido de [https://www.researchgate.net/profile/Antonio\\_Barrientos2/publication/228889902\\_Nuevas\\_aplicaciones\\_de\\_la\\_robotica\\_Robots\\_de\\_servicio/links/0c96052855198b0438000000.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Antonio_Barrientos2/publication/228889902_Nuevas_aplicaciones_de_la_robotica_Robots_de_servicio/links/0c96052855198b0438000000.pdf)
- Becerra, E., & Amurrio, G. (10 de 10 de 2018). *Sensores ultrasónicos*. Obtenido de Monografias: <https://www.monografias.com/docs/Sensores-ultrasonicos-P3NCAXYMZ>
- Bueno, D. (Noviembre de 2013). *Motor eléctrico brushless: Funcionamiento y características*. Obtenido de mecanizadoelarenal: <https://1mecanizadoelarenal.files.wordpress.com/2013/11/motores-brushless.pdf>
- Calandín, L. (s.f.). *Modelado Cinemático y Control de Robots Móviles con Ruedas*. Obtenido de Universidad Poliécnica de Valencia: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/1840/tesisUPV2519.pdf>
- García, L. (s.f.). Obtenido de <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/1840/tesisUPV2519.pdf>

- García, M. (Julio de 2016). *ResearchGate*. Obtenido de file:///C:/Users/CHRISTIAN/Dropbox/Tesis%20Robot%20Repartidor/Reunion%201/Paper\_Robot%20Móvil%20Autónomo%20Seguidor%20de%20Línea%20con%20Raspberry%20Pi%20y%20Sistema%20de%20Vision%20Artificial.pdf
- González, J. (10 de Enero de 2018). *EN FOTOS: LO MEJOR DEL PRIMER DÍA EN CES 2018*. Obtenido de Enter: <http://www.enter.co/eventos/ces/2018/fotos-primer-dia-ces-2018/>
- Gracia, L. (9 de Octubre de 2013). *¿Qué es OpenCV?* Obtenido de Un poco de java: <https://unpocodejava.com/2013/10/09/que-es-opencv/>
- LattePanda Team. (28 de Julio de 2017). *Hardware Introduction*. Obtenido de Lattepanda: [http://docs.lattepanda.com/content/1st\\_edition/hardware\\_introduction](http://docs.lattepanda.com/content/1st_edition/hardware_introduction)
- Open CV Docs. (s.f.). *OPEN CV*. Recuperado el 06 de 09 de 2018, de <https://docs.opencv.org/2.4/modules/core/doc/intro.html>
- Ortigoza, R. S., Sánchez, J. R., Sotelo, V. R., & Vilchis, M. A. (12 de Diciembre de 2017). *UNA PANORÁMICA DE LOS ROBOTS MÓVILES*. Obtenido de Sistema de Información Científica Redalyc: <http://www.redalyc.org/html/784/78460301/>
- Puerto, K. (7 de Julio de 2016). *LattePanda es un PC con Windows 10 que cabe en la palma de la mano y nos deja jugar con Arduino*. Obtenido de xataka: <https://www.xataka.com/makers/lattepanda-es-un-pc-con-windows-10-que-cabe-en-la-palma-de-la-mano-y-nos-deja-jugar-con-arduino>
- Quadruino. (s.f.). *Motores Brushless*. Obtenido de Quadruino: <http://www.quadruino.com/guia-2/materiales-necesarios-1/motores-brushless>
- Sotelo, V. R., Sánchez, J. R., & Ortigoza, R. (12 de Diciembre de 2017). *Robots Móviles: Evolución y Estado del Arte*. Obtenido de Sistema de Información Científica Redalyc: <http://www.redalyc.org/pdf/4026/402640448003.pdf>
- Valencia, J., Montoya, A., & Hernando, L. (Mayo de 2009). *MODELO CINEMÁTICO DE UN ROBOT MÓVIL TIPO DIFERENCIAL Y NAVEGACIÓN A PARTIR DE LA ESTIMACIÓN ODOMÉTRICA*. Obtenido de Dialnet:

file:///C:/Users/CHRISTIAN/AppData/Local/Packages/Microsoft.MicrosoftE  
dge\_8wekyb3d8bbwe/TempState/Downloads/Dialnet-  
ModeloCinematicoDeUnRobotMovilTipoDiferencialYNave-  
4729008%20(3).pdf

Vialfa, C. (15 de Diciembre de 2011). *El sensor de imágenes* . Obtenido de CCM:  
<https://es.ccm.net/faq/7691-el-sensor-de-imagenes>

Viera, G. (Marzo de 2017). *Repositorio Institucional Pirhua*. Obtenido de  
[https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/2916/IME\\_218.pdf?sequence=1](https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/2916/IME_218.pdf?sequence=1)

## ANEXO

### Anexo1. Presupuesto final

Tabla 5.1 Tabla del presupuesto final del robot repartidor.

<b>Presupuesto Final</b>			
Materiales y Equipos Electrónicos			
<b>Cantidad</b>	<b>Descripcion</b>	<b>Precio Unitario</b>	<b>Precio Total</b>
1	lathepanda	246,87	246,87
1	baliza	27	27
6	ultrasonido	4,5	27
7	qrd1114	3,428571429	24
8	trc5000	1,5625	12,5
1	arduino nano	10	10
1	conversor 5A	13	13
1	extensor usb	10	10
2	conversor dc-dc	5,5	11
2	driver brushless	28	56
5	driver brushless	21,9	109,5
1	lathepanda adicional	223,5	223,5
1	bateria 48v extra	98	98
1	cargador baterias	33	33
1	baquelita con fresadora	35	35
1	tarjeta quemada con cobre	12,5	12,5
1	varios	35	35
	<b>TOTAL</b>		<b>983,87</b>
Estructura			
<b>Cantidad</b>	<b>Descripcion</b>	<b>Precio Unitario</b>	<b>Precio Total</b>
1	scooter	218	218
1	balde	21,7	21,7
1	tubo acero 4025	17,36	17,36
1	suelda	240	240
2	adaptador llantas	42,5	85
4	llantas	4,375	17,5
1	llanta redonda	7,5	7,5
1	Acrilico	63,4	63,4
1	corte laser (60 min)	30	30
1	formado acrilico	5	5
1	pintura para pruebas	15	15
1	tornillos	25	25
1	tubo redondo 1"	4	4
1	caja LattePanda	17,5	17,5
11	latas de pintura	2,99	32,89
	<b>TOTAL</b>		<b>799,85</b>
Puesta en Marcha			
<b>Cantidad</b>	<b>Descripcion</b>	<b>Precio Unitario</b>	<b>Precio Total</b>
67	Impresión y Diseño en 3D	5	335
200	Programacion	10	2000
	<b>TOTAL</b>		<b>2335</b>
<b>Inversion Total:</b>			<b>4118,72</b>

Tabla del presupuesto final de los gastos generados en la implementación del prototipo. Elaborado por: Jhonny Macgyver Romero Saltos y Christian Enrique Flores Aldás.