



# **UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**

## **FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS**

### **CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

#### **“APLICACIÓN DE UN ROBOT DE CARGA AUTÓNOMO EN UN PROCESO LOGÍSTICO EN LA EMPRESA DIPAG”**

**PROPUESTA TECNOLÓGICA PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO INDUSTRIAL**

#### **AUTORES:**

**Ormaza Enriquez Jorge Luis  
Quilumba Tipan Bryan Alexander**

#### **TUTOR:**

**Ing. MSc. Ángel Guillermo Hidalgo Oñate**

**Latacunga, Agosto 2024**



## DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Ormaza Enriquez Jorge Luis, con cédula de ciudadanía No. 1754063764, Quilumba Tipan Bryan Alexander, con cédula de ciudadanía No. 1751350719 declaramos ser los autores de la presente **PROPUESTA TECNOLÓGICA: “APLICACIÓN DE UN ROBOT DE CARGA AUTÓNOMO EN UN PROCESO LOGÍSTICO EN LA EMPRESA DIPAG”**, siendo el Ing. Ángel Guillermo Hidalgo Oñate MSc., Tutor del presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad.

Latacunga, agosto del 2024

Jorge Luis Ormaza Enriquez  
C.C: 1754063764

Quilumba Tipan Bryan Alexander  
C.C: 1751350719



## AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

En calidad de Tutor del Proyecto de Investigación sobre el título:

**“APLICACIÓN DE UN ROBOT DE CARGA AUTÓNOMO EN UN PROCESO LOGÍSTICO EN LA EMPRESA DIPAG”**, de Ormaza Enriquez Jorge Luis y Quilumba Tipan Bryan Alexander, de la carrera de Ingeniería Industrial, considero que dicho Informe Investigativo es merecedor del aval de aprobación al cumplir las normas técnicas, traducción y formatos previstos, así como también ha incorporado las observaciones y recomendaciones propuestas en la pre-defensa.

Latacunga, agosto del 2024

---

Ing. Ángel Guillermo Hidalgo Oñate MSc.  
CC: 0503257404  
**TUTOR**



## AVAL DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de Tribunal de Lectores, aprueban el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi, y por la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas; por cuanto, los postulantes: Ormaza Enriquez Jorge Luis, Quilumba Tipan Bryan Alexander, con el título de Proyecto de Investigación: **“APLICACIÓN DE UN ROBOT DE CARGA AUTÓNOMO EN UN PROCESO LOGÍSTICO EN LA EMPRESA DIPAG”** han considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de sustentación del trabajo de titulación.

Por lo antes expuesto, se autoriza grabar los archivos correspondientes en un CD, según la normativa institucional.

Latacunga, agosto del 2024


Para constancia firman:



Ing. Edison Patricio Salazar Cueva MSc.  
CC: 0501843171  
LECTOR 1 (PRESIDENTE)



Ing. Diego Paúl Monga Sánchez  
CC: 0503569964  
LECTOR 2 (MIEMBRO)



Dr. Jonathan Ruiz Carrillo  
CC: 0703323824  
LECTOR 3 (MIEMBRO)



### Certificado de la empresa

Latacunga, agosto del 2024

Ing. Diego Paul Guaita Guaita

Gerente propietario de DIPAG

Presente.-

A petición verbal de las partes interesadas, certifico que los señores: Ormaza Enríquez Jorge Luis con cédula de identidad No. 1754063764 ,Quilumba Tipan Bryan Alexander con cédula de identidad No. 1751350719, estudiantes de la Carrera de Ingeniería Industrial de la Universidad Técnica de Cotopaxi, han desarrollado el proyecto tecnológico **“APLICACIÓN DE UN ROBOT DE CARGA AUTÓNOMO EN UN PROCESO LOGÍSTICO EN LA EMPRESA DIPAG”**.

Es cuanto puedo certificar en honor a la verdad, se expide el presente para que los interesados puedan hacer uso para los fines que crean convenientes.

Atentamente,

Gerente propietario de DIPAG

Ing. Diego Paul Guaita Guaita

C.I: 0502735467



## **DEDICATORIA**

*Este trabajo está dedicado con todo mi amor y gratitud a mis padres, Aníbal Ormaza y Margarita Enríquez. Gracias por su apoyo incondicional, por sus sacrificios y por ser mis guías en cada paso de mi vida. Ustedes me enseñaron el valor del esfuerzo, la perseverancia, y, sobre todo, el poder de creer en uno mismo. Cada logro que he alcanzado es un reflejo del amor y la dedicación que me han brindado.*

*A mis hermanos, Pablo Ormaza y Marlon Ormaza, quienes han sido mis compañeros de vida, mis amigos y mi mayor apoyo. Su amor y aliento han sido fundamentales para seguir adelante en los momentos más difíciles. Este triunfo también es suyo, porque han estado a mi lado en cada momento de este viaje.*

**Jorge O.**

## **DEDICATORIA**

*El presente trabajo se lo dedico a mis padres, Segundo Quilumba y Sandra Tipan, muchas gracias por todo, por su amor, por su apoyo, por su paciencia, por sus consejos y por siempre haber estado para mí. Por enseñarme a nunca rendirme y ser perseverante para alcanzar mis metas, Su sacrificio ha sido fundamental para que pueda continuar con mis estudios. Ustedes han sido y serán mi más grande inspiración. Todos y cada uno de mis logros van dedicados para ustedes, papito chulo y mamita chula.*

*A mis dos hermanas Gabriela y Johanna, que poco a poco van creciendo y convirtiéndose en unas mujeres brillantes, nunca olviden que tienen un hermano mayor que las ama con todo su corazón.*

*A mis dos abuelitas Blanca Rodríguez y Carmela Laguate a mi abuelito Francisco Quilumba, quienes han formado parte importante de mi vida desde la niñez, por su apoyo, consejos y valores que siempre me han inculcado.*

*Con mucho cariño.*

**Bryan Q.**

## **AGRADECIMIENTO**

*Primero y, ante todo, deseo expresar mi más profundo agradecimiento a Dios y a la Virgencita del Quinche. Su guía y protección han sido faros que iluminaron mi camino en este arduo pero gratificante proceso. Sin su constante compañía, este logro no hubiera sido posible. A mi amada familia, quienes han sido el pilar de mi vida.*

*Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a mi compañero de tesis y de carrera, Bryan Quilumba. Tu colaboración, amistad y compromiso han sido esenciales para la culminación exitosa de este proyecto. Hemos compartido largas jornadas de trabajo, desafíos y aprendizajes, y juntos hemos superado cada obstáculo.*

*Finalmente, un agradecimiento muy especial al Ingeniero Ángel Hidalgo, nuestro tutor de tesis. Su guía, consejos y apoyo durante las diferentes fases de este proyecto fueron invaluable. Su experiencia y dedicación no solo nos ayudaron a cumplir con los objetivos planteados, sino que también nos inspiraron a buscar la excelencia en todo lo que hacemos. Gracias por creer en nosotros y por compartir su conocimiento con tanta generosidad.*

**Jorge O.**

## **AGRADECIMIENTO**

*Primero quiero agradecer a Dios y a mi virgencita del Cisne por siempre haberme brindado sus bendiciones todos estos años, por cuidarme y agradecerles por la salud brindada para lograr culminar esta etapa de mi vida de la mejor manera.*

*A mi familia, que han sido un pilar fundamental para lograr todo lo que me propongo, por siempre creer en mí, por su cariño y amor incondicional que me brindan, alentándome incluso en momentos difíciles.*

*Expreso mi más profundo agradecimiento a mi compañero de tesis, Jorge Ormaza (Lotso) por su maravillosa amistad conmigo en todos estos años y por su apoyo para cumplir este objetivo.*

*Y, por último, a mi tutor, el Ing. Ángel Hidalgo, por su gran labor como docente, gracias por su compromiso y guía en este tiempo.*

*Muchas gracias, de todo corazón, a todos ustedes.*

**Bryan Q.**

# UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

## FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA Y APLICADAS

**TITULO:** “APLICACIÓN DE UN ROBOT DE CARGA AUTÓNOMO EN UN PROCESO LOGÍSTICO EN LA EMPRESA DIPAG”

**Autores:**

Ormaza Enriquez Jorge Luis

Quilumba Tipan Bryan Alexander

### RESUMEN

La presente propuesta tecnológica se enfoca en la aplicación de un robot de carga autónomo (AGV) en el proceso logístico de transporte de maquinaria en la empresa DIPAG, en base al contexto de la creciente automatización industrial. Este estudio se centró en la aplicación de un robot de carga autónomo diseñado con componentes avanzados que le permiten navegar de manera autónoma y manejar cargas de 1 kg hasta 18 kg. La metodología empleada en la investigación incluye una revisión bibliográfica y la utilización de una metodología Waterfall para la implementación del prototipo. El robot consta de dos partes, la primera la estructura metálica realizada en acero negro de 1.1 mm de espesor, dos garruchas empernadas en la parte delantera del robot y dos ruedas traseras encargadas de generar movimiento del robot, la segunda parte está enfocada en la circuitería en donde se utilizó una ESP32 de 38 pines para el procesamiento de datos, un módulo driver IRF3205 para operar los motores, tres sensores infrarrojos TCRT 5000 para controlar la navegación, un sensor ultrasónico para detectar obstáculos, un módulo de radiofrecuencia para controlar el encendido y el apagado, un buzzer para generar una señal de alerta y, en cuanto al código, se desarrolló en Arduinoblocks. Los resultados obtenidos transportando soldadoras con un peso total de 18 kg, el (AGV) se demoró un tiempo de 38.33 min, tiempo que el trabajador se encargaba de ensamblar cortadoras de césped en las que se demoró 5 min por cada cortadora, ensamblando 7 cortadoras de césped. Esto demuestra que la aplicación del (AGV) permite a los trabajadores liberarse de tareas repetitivas y realizar actividades que beneficien a la empresa.

**Palabras clave:** programación, aplicación, robot, autónomo, automatización, waterfall, prototipo.

# TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI

## ENGINEERING AND APPLIED SCIENCES FACULTY

**TITLE:** “APPLICATION OF AN AUTONOMOUS CHARGING ROBOT IN A LOGISTIC PROCESS IN THE COMPANY DIPAG”

**Authors:**

Ormaza Enriquez Jorge Luis

Quilumba Tipan Bryan Alexander

### ABSTRACT

This technological proposal focuses on the application of an autonomous loading robot (AGV) in the logistics process of machinery transport in the DIPAG company, based on the context of growing industrial automation. This study focused on the application of an autonomous loading robot designed with advanced components that allow it to navigate autonomously and handle loads from 1 kg to 18 kg. The methodology used in this research includes a bibliographic review and the use of a Waterfall methodology for the implementation of the prototype. The robot consists of two parts, the first is the metal structure made of black steel 1.1 mm thick, two bolted hooks on the front of the robot and two rear wheels responsible for generating robot movement, the second part is focused in a circuitry ESP32 of 38-pin that was used for data processing, a driver IRF3205 module to operate the engines, three TCRT 5000 infrared sensors to control navigation, an ultrasonic sensor to detect obstacles, a radio frequency module to control switching on and off, a buzzer to generate an alert signal. In other hand, the code was developed in Arduinoblocks. The results obtained transporting welders with a total weight of 18 kg, the (AGV) took a time of 38.33 min, time that the worker was responsible for building lawn mowers in which it took 5 min for each mower, assembling 7 lawn mowers. This shows that the application of the AGV allows workers to get rid of repetitive tasks and perform activities that benefit the company.

**Keywords:** Programming, application, robot, autonomous, automation, waterfall methodology, prototype.

### *AVAL DE TRADUCCIÓN*

Yo, Evelyn Valeria Pico Pachacama en la calidad de Docente del centro del Idioma Inglés Charlotte English School sede Latacunga, con CI: 185068970-2 y número de registro de la SENESCYT: 1010-2023-2634401.

- En formal legal **CERTIFICO** haber revisado y aprobado la traducción al idioma Inglés del resumen al trabajo de investigación con el título: “**APLICACIÓN DE UN ROBOT DE CARGA AUTÓNOMO EN UN PROCESO LOGÍSTICO EN LA EMPRESA DIPAG**” de **Ormaza Enriquez Jorge Luis y Quilumba Tipan Bryan Alexander** egresados de la carrera de Ingeniería Industrial pertenecientes a la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas.

En todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad y autorizo a los peticionarios hacer uso del presente aval para los fines académicos legales.

Latacunga, 19 de agosto de 2024

Atentamente,

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Valenticio', is written over a horizontal line.

Lda. Evelyn Valeria Pico Pachacama

CC: 185068970-2

## ÍNDICE

DECLARACIÓN DE AUTORÍA .....	i
AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO.....	ii
AVAL DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN .....	iii
AVAL DE LA EMPRESA .....	iv
DEDICATORIA .....	v
AGRADECIMIENTO .....	vii
RESUMEN .....	ix
ABSTRACT .....	x
AVAL DE TRADUCCIÓN.....	xi
1. INFORMACIÓN GENERAL .....	xii
2. INTRODUCCIÓN.....	1
2.1. EL PROBLEMA.....	1
2.1.1. Planteamiento del problema .....	1
2.1.2. Formulación del problema.....	2
2.2. BENEFICIARIOS .....	2
2.3. JUSTIFICACIÓN.....	2
2.4. HIPÓTESIS .....	3
2.5. OBJETIVOS .....	3
2.5.1. Objetivo general.....	3
2.5.2. Objetivos específicos .....	3
2.5.2. Tareas por objetivo.....	3
3. MARCO TEÓRICO .....	5
3.1. ANTECEDENTES .....	5

3.1.1. Desarrollo de un robot móvil autónomo, para el transporte y reparto de paquetería liviana en LAAR COURIER.....	5
3.1.2. AGV para el movimiento de materiales entre estaciones de trabajo.....	5
3.1.3. Diseño y construcción de un robot móvil a escala para el transporte de llantas vehículos en la compañía zona franca industrial COLMOTORES S.A.S.....	6
3.2. CONCEPTOS TEÓRICOS .....	6
3.2.1. Normativa legal.....	6
3.2.1.1. Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).....	7
3.2.1.2. Plan Nacional de Desarrollo (PND) para el nuevo Ecuador 2024-2025 .....	7
3.2.1.3. Plan Estratégico de Desarrollo Institucional UTC 2021-2025 (PEDI).....	7
3.2.2. Automatic Guided Vehicle (AGV) - Vehículos de guiado autónomo .....	8
3.2.2.1. Carretilla elevadora (AGV) .....	8
3.2.2.2. Piggyback (AGV) .....	9
3.2.2.3. Towing Tractors (AGVs)_ Tractores de remolque .....	10
3.2.2.4. AGV de montaje .....	10
3.2.2.5. AGV de servicio pesado .....	11
3.2.2.6. Mini-AGV .....	12
3.2.2.7. AGV seguidor de línea.....	12
3.2.3. Aspectos tecnológicos de robots (AGVs) .....	12
3.2.3.1. Sistemas de guía utilizados en (AGVs) .....	13
3.2.3.2. Sensores utilizados en (AGVs).....	14
3.2.4. Componentes mecánicos móviles de los (AGVs) .....	15
3.2.4.1. Ruedas .....	15
3.2.4.2. Motores.....	15
3.2.5. Aplicaciones de los vehículos autónomos (AGVs).....	16

3.2.5.1. Toma/colocación sobre cinta transportadora. ....	16
3.2.5.2. Preparación de pedidos. ....	17
3.2.5.3. Almacenamiento masivo. ....	18
3.2.5.4. Estantería por acumulación para palés ....	18
3.2.5.5. Estantería dinámica - estante de almacenamiento gravitacional ....	19
3.2.6. Baterías utilizadas en (AGVs).....	19
3.2.6.1. Baterías de GEL y Absorbent Glass Mat (AGM).....	19
3.2.6.2. Batería de Litio.....	20
3.2.6.3. Batería LiPo.....	20
3.2.7. Módulos de control que utilizan los (AGVs) .....	21
3.2.7.1 Módulo ESP32.....	21
3.2.7.2. Arduino Nano .....	21
3.2.8. Software computaciones .....	22
3.2.8.1. SolidWorks .....	22
3.2.8.2. ArduinoBlocks.....	22
3.2.8.3. Autodesk Inventor.....	23
3.2.8.4. Proteus .....	23
3.2.9. Procesos logísticos de transporte .....	24
3.2.8.1. Logística Directa e Inversa.....	24
3.2.8.2. Logística interna .....	24
3.2.8.3. Tipos de Transporte Utilizados.....	25
3.2.8.4. Componentes de los procesos logísticos de transporte.....	25
3.2.10. Mapa de procesos.....	25
3.2.10.1. Procesos Estratégicos .....	26
3.2.10.2. Procesos clave.....	26

3.2.10.3. Tareas que generan valor agregado.....	27
3.2.10.4. Procesos de Apoyo.....	27
3.2.11. Diagrama de flujo.....	27
3.2.11.1. Herramienta Bizagi.....	28
4. MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS.....	29
4.1. METODOLOGÍA.....	29
4.1.1. Tipos de investigación.....	29
4.1.2. Métodos de investigación.....	29
4.1.3. Técnicas e instrumentos de investigación.....	29
4.1.4. Diseño de investigación.....	31
4.1.4.1. Selección de la muestra.....	31
4.1.5. Metodología Waterfall.....	31
4.1.4.1. Requerimientos de la propuesta.....	32
4.1.4.2. Diseño.....	33
4.1.4.3. Implementación.....	33
4.1.4.4. Verificación o prueba.....	33
5. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	34
5.1. OBJETIVO 1: Realizar un estudio sobre los diferentes tipos de robots autónomos (AGV), aplicados al proceso de transporte de materiales.....	34
5.1.1. Actividad 1. Estudio de los diferentes tipos de robots autónomos (AGVs) que existen en la actualidad.....	34
5.1.1.1. AGV de plataforma plana y unidades de carga automatizadas.....	34
5.1.1.2. Transpaletas automatizados.....	35
5.1.1.3. Carretillas elevadoras (AGV).....	35
5.1.1.4. (AGV) Apilador.....	35

5.1.1.5. (AGV) seguidor de línea.....	35
5.1.2. Actividad 2. Aplicaciones de los (AGVs).....	36
5.1.3 Actividad 3. Selección de un proceso logístico .....	36
5.1.4. Actividad 4. Detallar el proceso logístico en el que se aplicó un robot de carga autónoma (AGV) .....	39
5.1.4.1. Layout de la empresa del área de bodega .....	40
5.2. OBJETIVO 2. Implementar un robot de carga autónoma (AGV) que cumpla con los requerimientos de aplicación de un proceso logístico de transporte de materiales .....	42
5.2.1. Actividad 1. Descripción de requerimientos, capacidades técnicas y medidas de seguridad necesarias para el proceso logístico.....	42
5.2.2. Actividad 2. Selección del AGV.....	44
5.2.3. Actividad 3. Etapas del proceso de transporte del robot autónomo .....	44
5.2.4. Actividad 4. Diagrama estructural de un robot autónomo (AGV).....	45
5.2.5. Actividad 5. Selección del sensor de proximidad ultrasónico .....	46
5.2.6. Actividad 6. Selección de actuadores y elementos visuales. ....	48
5.2.6.1. Selección de módulo de radiofrecuencia.....	48
5.2.6.2. Selección de motores DC .....	49
5.2.6.3. Selección del ESP32.....	51
5.2.6.4. Selección de Driver para motores DC .....	53
5.2.6.5. Selección de sensores seguidores de línea.....	54
5.2.6.6. Selección de batería. ....	56
5.2.7. Actividad 7. Diseño 3D de una carcasa adaptada al proceso logístico .....	57
5.2.8. Actividad 8. Diseño de bocines para acople de motor-estructura.....	61
5.2.9. Actividad 9. Diseño del sistema electrónico.....	62
5.2.9.1. Placa de circuito impreso (PCB) para los sensores de línea.....	62

5.2.9.2. Placa de circuito impreso (PCB) para el sistema de encendido y apagado (ON/OFF)	63
5.2.9.3. Placa de circuito impreso (PCB) para el ESP32	64
5.2.10. Actividad 10. Diseño del sistema sensorial	65
5.2.10.1. Sistema de Sensores de línea	65
5.2.10.2. Sensor de distancia	66
5.2.11. Actividad 11. Ensamble final del AGV	66
5.2.12. Actividad 12. Desarrollo del software y programación de algoritmos que utilizará el AGV.	67
5.2.12.1. Desarrollo del software	67
5.2.12.2. Algoritmo seguidor de línea	68
5.2.12.3. Algoritmo detector de objetos	70
5.2.12.4. Algoritmo Señal de alerta	71
5.2.12.5. Algoritmo ON/OFF	72
5.3. OBJETIVO 3. Evaluar el funcionamiento del robot de carga autónomo (AGV) dentro de un proceso logístico de transporte de materiales	73
5.3.1. Actividad 1. Documentación de las pruebas realizadas durante el desarrollo del (AGV)	73
5.3.1.1. Prueba de recolección de datos de los sensores seguidores de línea en distintos entornos	73
5.3.1.2. Prueba de detección de obstáculos y señal de alerta	78
5.3.1.3. Prueba de (AGV) ensamblado siguiendo una ruta elaborada en el laboratorio de robótica	79
5.3.1.4. Prueba de AGV siguiendo una ruta trazada en suelo industrial	80
5.3.1.5. Prueba de tiempo de funcionamiento	80
5.3.2. Actividad 2. Validación de todas las funcionalidades del (AGV) en un entorno logístico	81

5.3.3. Actividad 3. Valoración del potencial impacto del (AGV) en actividades dentro de un proceso logístico.....	85
6. PRESUPUESTO Y ANÁLISIS DE IMPACTOS .....	89
6.1. Presupuesto .....	89
6.1.1. Costos Directos .....	89
6.1.2. Costos Indirectos .....	90
6.1.3. Presupuesto Total .....	90
6.1.4. Costos de mantenimiento .....	91
6.1.4. Análisis del retorno de la inversión (ROI) - Return On Investment .....	91
6.2. Análisis de impactos .....	92
6.2.1. Impacto técnico .....	93
6.2.1.1. Comparativa técnica de la propuesta con una propuesta comercial .....	93
6.1.2. Impacto social .....	94
6.1.3. Análisis económico .....	94
6.1.4. Impacto tecnológico .....	94
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	94
7.1. CONCLUSIONES.....	94
7.2. RECOMENDACIONES .....	95
8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	96

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Beneficiarios directos e indirectos .....	2
Tabla 2.2. Lista de tareas a realizar por objetivo .....	4
Tabla 3.1. Concordancia de los objetivos ODS, PND y PEDI UTC .....	8
Tabla 3.2. Tipos de sistemas guía utilizados en AGVs .....	13
Tabla 3.3. Simbología de la herramienta Bizagi.....	28
Tabla 4.1. Descripción de la simbología del diagrama de flujo.....	30
Tabla 5.1. Requerimientos, capacidades técnicas y medidas de seguridad .....	43
Tabla 5.2. Comparación de características de AGVs.....	44
Tabla 5.3. Comparación de los sensores ultrasónicos, [44], [45], [46].....	46
Tabla 5.4. Matriz de priorización de características .....	47
Tabla 5.5. Comparación de módulos de radio frecuencia [47].....	48
Tabla 5.6. Matriz de priorización de las características de los módulos de radio frecuencia .....	49
Tabla 5.7. Características del motor reductor [48] .....	50
Tabla 5.8. Matriz de priorización de las características de los motores DC .....	50
Tabla 5.9. Comparación del ESP32 [49] .....	51
Tabla 5.10. Matriz de priorización de las características de los ESP32 .....	52
Tabla 5.11. Comparación de Driver para motores DC [50].....	53
Tabla 5.12. Matriz de priorización de las características de los drivers .....	54
Tabla 5.13. Selección de sensores seguidores de línea [51], [52].....	55
Tabla 5.14. Matriz de priorización de características de los sensores seguidores de línea.....	55
Tabla 5.15. Características de las baterías [53], [54].....	56
Tabla 5.16. Matriz de priorización de características de las baterías.....	57
Tabla 5.17. Condiciones del algoritmo seguidor de línea.....	68

Tabla 5.18. Recolección de los datos de los sensores infrarrojos de línea expuestos a luz artificial ..	74
Tabla 5.19. Recolección de los datos de los sensores infrarrojos de línea expuestos a luz solar ..	75
Tabla 5.20. Recolección de los datos de los sensores infrarrojos de línea expuestos a luz solar en una hoja de papel. ....	76
Tabla 5.21. Datos recolectados de los sensores expuestos a luz artificial dentro de casa .....	77
Tabla 5.22. Recolección de los datos de los sensores infrarrojos de línea expuestos a luz solar con línea trazada con cinta aislante blanca.....	78
Tabla 5.23. Resultados obtenidos de las pruebas.....	83
Tabla 5.24. Ficha técnica elaborada con los resultados obtenidos de la validación de funcionalidades.....	84
Tabla 5.25. Comparación de tiempos obtenidos durante el recorrido del (AGV) .....	86
Tabla 5.26. Pruebas realizadas con su respectiva medición de tiempo ruta N°1 .....	86
Tabla 5.27. Comparativa entre el tiempo de robot y el trabajador .....	87
Tabla 5.28. Pruebas realizadas con su respectiva medición de tiempo, Ruta N°2 .....	87
Tabla 5.29. Comparativa entre el tiempo del trabajador y robot .....	87
Tabla 6. 1 Análisis de costos directos de los materiales .....	89
Tabla 6.2. Costos de ingeniería.....	90
Tabla 6.3. Tabla de los costos indirectos .....	90
Tabla 6.4. Presupuesto total sumando gastos directos y gastos indirectos .....	91
Tabla 6.5. Costos de mantenimiento del robot autónomo .....	91
Tabla 6.6. Comparación de propuestas.....	93

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3.1. Diseño de una carretilla elevador AGV con pallet [8] .....	9
Figura 3.2. Piggyback (AGV) con altura de referencia [8] .....	9
Figura 3.3. Towing Tractors (AGVs) [8] .....	10
Figura 3.4. AGV de montaje con carga accesible [9] .....	11
Figura 3.5. AGV de servicio pesado [9] .....	11
Figura 3.6. Mini-AGV transportando carga [9] .....	12
Figura 3.7. Sensor basado en visión con cámara [12] .....	14
Figura 3.8. Componentes de motores DC [15] .....	16
Figura 3.9. a) Toma en cinta transportadora, b) Colocación en cinta transportadora [17] .....	17
Figura 3.10. a) Preparación de pedido, b) AGV transportando el pedido transportado, c) Trabajadores en espera del pedido [17] .....	17
Figura 3.11. AGV apilando palés [17] .....	18
Figura 3.12. Estanterías para almacenar palés [17] .....	18
Figura 3.13. AGV almacenando carga en estantería dinámica - estante de almacenamiento gravitacional [17] .....	19
Figura 3.14. Modulo ESP32 [22] .....	21
Figura 3.15. Arduino Nano [23] .....	21
Figura 3.16. SolidWorks [24] .....	22
Figura 3.17. ArduinoBlocks [25] .....	22
Figura 3.18. Programa Autodesk Inventor [26] .....	23
Figura 3.19. Programa Proteus utilizada para el diseño de PCBs [27] .....	23
Figura 3.20. Estructura de un Mapa de procesos [30] .....	26
Figura 4.1. Diagrama metodología Waterfall [33] .....	32
Figura 5.1. Mapa de procesos de la empresa DIPAG .....	37

Figura 5.2. Vista superior del Layout de la de bodega de la Importadora .....	38
Figura 5.3. Ubicación DIPAG – GOOGLE MAPS .....	39
Figura 5.4. Vista isométrica superior y modelo en 3D del Layout de la empresa del área de bodega .	40
Figura 5.5. Diagrama de flujo de las etapas del proceso de la Importadora DIPAG .....	40
Figura 5.6. Etapas del proceso del transporte autónomo .....	45
Figura 5.7. Diagrama estructural de un robot autónomo AGV .....	46
Figura 5.8. Vista lateral izquierda de la carcasa del AGV .....	58
Figura 5.9. Vista Superior de la carcasa del AGV .....	58
Figura 5.10. Vista inferior de la carcasa del AGV .....	59
Figura 5.11. Vista frontal de la carcasa del AGV .....	59
Figura 5.12. a) Vista frontal, b) Vista isométrica frontal izquierda, c) Vista inferior .....	60
Figura 5.13. a) Vista isométrica frontal del bocín, b) Vista isométrica posterior del bocín .....	61
Figura 5.14. Diseño de bocines para acople de motor-estructura, fabricados y ensamblados .....	61
Figura 5.15. Arquitectura del sistema electrónico del AGV .....	62
Figura 5.16. a) Diseño en 2D de la (PCB) de los sensores seguidores de línea, b) Diseño en 3D de la (PCB) de los sensores seguidores de línea .....	63
Figura 5.17. Placa PCB del encendido y apagado .....	63
Figura 5.18. Diseño 2D de la placa PCB del ESP32 .....	64
Figura 5.19. Diseño 3D de la PCB del ESP32.....	64
Figura 5.20. Placa PCB con los sensores infrarrojos de línea .....	65
Figura 5.21. Sensor ultrasónico acoplado.....	66
Figura 5.22. Hardware terminado y ensamblado del AGV .....	67
Figura 5.23. Diagrama de flujo del proceso seguidor de línea del robot.....	69
Figura 5.24. Diagrama de flujo del algoritmo de detección de obstáculos .....	70

Figura 5.25. Diagrama de flujo del algoritmo de señal de alerta.....	71
Figura 5.26. Diagrama de flujo del algoritmo de encendido y apagado ON/OFF .....	72
Figura 5.27. Recolección de datos del programa de Arduino blocks .....	74
Figura 5.28. AGV deteniéndose ante un obstáculo en su ruta .....	79
Figura 5.29. AGV probado en una ruta realizada en el laboratorio de robótica .....	79
Figura 5.30. AGV siguiendo una ruta trazada en suelo industrial .....	80
Figura 5.31. Preparación del entorno trazando una ruta.....	81
Figura 5.32. AGV deteniéndose al detectar un obstáculo.....	82
Figura 5.33. AGV transportando 18kg por una ruta trazada.....	82
Figura 5.34. Vista superior del Layout de la bodega de la importadora DIPAG con las dos rutas trazadas .....	85

## 1. INFORMACIÓN GENERAL

**Tema del proyecto:** Aplicación de un robot de carga autónomo en un proceso logístico en la empresa DIPAG.

**Modalidad de Titulación:** Propuesta tecnológica.

**Carrera:** Ingeniería Industrial

**Trabajo de titulación vinculado al proyecto:** Innovación Tecnológica

**Equipo del trabajo de titulación:**

Docente tutor: Ing. Ángel Guillermo Hidalgo Oñate MSc.

- N.º de cédula: 0503257404
- Teléfono: 0998536700
- Correo electrónico: [angel.hidalgo@utc.edu.ec](mailto:angel.hidalgo@utc.edu.ec)

Estudiante investigador 1: Ormaza Enríquez Jorge Luis

- N.º de cedula: 1754063764
- Teléfono: 0967628919
- Correo electrónico: [jorge.ormaza3764@utc.edu.ec](mailto:jorge.ormaza3764@utc.edu.ec)

Estudiante investigador 2: Quilumba Tipan Bryan Alexander

- N.º de cédula: 1751350719
- Teléfono: 0980110914
- Correo electrónico: [bryan.quilumba0719@utc.edu.ec](mailto:bryan.quilumba0719@utc.edu.ec)

**Área de conocimiento:** 07 Ingeniería, Industria y Construcción

**Línea de investigación:** Tecnología industrial, gestión de la producción, riesgos y seguridad laboral.

**Sublíneas de investigación de la carrera:** Investigación de operaciones y de tecnología.

## **2. INTRODUCCIÓN**

### **2.1. EL PROBLEMA**

#### **2.1.1. Planteamiento del problema**

En la actualidad el transporte de materiales es una de las prioridades más importantes de las empresas, sin embargo, muchas veces el transporte de materiales se lo realiza de manera tradicional en la cual se requiere la intervención del ser humano o de diferentes equipos como montacargas eléctricos, esta forma de transporte tradicional enfrenta una serie de desafíos entre los cuales destacan el transporte de material por pasillos reducidos o difíciles de maniobrar, incapacidad de adaptabilidad y errores operativos. En este tipo de desafíos si no se da una solución óptima puede ocasionar retrasos en la producción, pérdida de tiempo y recursos generando un impacto negativo en la empresa.

Esta problemática se encuentra presente en la empresa DIPAG que se especializa en la importación de maquinaria industrial o agrícola. La empresa presenta una deficiencia en la gestión del transporte de materiales dentro del área de bodega, lugar donde se almacena toda la maquinaria, ya que actualmente el proceso de transporte depende mucho del personal de la empresa.

Además, presenta una demora en el registro de ingreso o salida de una maquinaria, ocasionada debido a que el personal encargado del registro se encuentra realizando la tarea de transporte de la maquinaria a diferentes áreas, esta demora en el registro puede resultar en confusiones que afectarían a la empresa nivel operativo, generando pérdidas económicas.

Asimismo, se ha identificado visualmente las tareas de transporte dentro de la empresa, las mismas que se realizan de forma repetitiva y con demasiado personal de la empresa, observándose casos de fatiga en los trabajadores ocasionados por el esfuerzo físico realizado. Esto afecta negativamente el desempeño de los trabajadores y aumenta la probabilidad de errores. Estos problemas repercuten negativamente a la empresa porque los trabajadores están destinando el tiempo a transportar materiales y no a tareas que tengan mayor valor dentro de la empresa.

### 2.1.2. Formulación del problema

¿La aplicación de un robot de carga autónomo (AGV) en la empresa DIPAG permitirá a los trabajadores dedicar más tiempo en tareas que tengan mayor valor agregado en la empresa?

## 2.2. BENEFICIARIOS

Tabla 2.1. Beneficiarios directos e indirectos

<b>Beneficiarios</b>	<b>Detalle</b>
Directos	Con esta propuesta tecnológica los beneficiarios directos serán los trabajadores de la empresa DIPAG.
Indirectos	Los beneficiarios de manera indirecta son los estudiantes de la Universidad Técnica de Cotopaxi, en el campo de Ingeniería Industrial que puedan aprovechar los resultados de la investigación realizada para ayudar a su formación.

## 2.3. JUSTIFICACIÓN

El transporte de materiales es esencial en las empresas, ya que pueden impactar de manera directa la eficiencia operativa, es de suma importancia contar con un sistema de transporte eficaz que permita a la empresa ser competitiva en el mercado.

La propuesta de aplicación de un robot de carga autónomo en la empresa DIPAG tiene como finalidad la aplicación de las tecnologías emergentes como él (AGV) en el proceso de transporte de materiales dentro de la bodega de la empresa.

Por otro lado, el poner en marcha este proyecto ayudará a evidenciar el poco conocimiento que se tiene acerca de los robots (AGVs) y los beneficios que ofrecen en el transporte de materiales dentro de la empresa, recalcando que su aplicación ayudará a evitar que demasiados trabajadores estén inmersos en la actividad de transporte materiales, y así pudiendo ocupar dicho tiempo en el desarrollo de alguna otra actividad que beneficie a la entidad, por eso se hace énfasis que esta propuesta es viable dentro de la innovación tecnológica o industrial.

Además, la propuesta se llevará a cabo mediante la metodología Waterfall, la misma que permitirá gestionar el proyecto de manera secuencial, ayudando a identificar los requerimientos necesarios del (AGV), el diseño que tendrá, los componentes a utilizar y finalmente la etapa de pruebas en donde se busca documentar los resultados obtenidos.

## **2.4. HIPÓTESIS**

La propuesta de aplicación de un robot de carga autónomo (AGV) en el proceso logístico de transporte de materiales ayudará a los trabajadores a destinar más tiempo a tareas que aporten un valor agregado a la empresa DIPAG.

## **2.5. OBJETIVOS**

### **2.5.1. Objetivo general**

Aplicar un robot de carga autónomo en un proceso logístico dentro de la empresa DIPAG para destinar más tiempo efectivo de los trabajadores a tareas que aporten mayor valor agregado.

### **2.5.2. Objetivos específicos**

- Realizar un estudio sobre los diferentes tipos de robots autónomos (AGVs), aplicados en procesos logísticos.
- Implementar un robot de carga autónomo (AGV) que cumpla con los requerimientos de aplicación en el proceso logístico de transporte de materiales.
- Evaluar el funcionamiento del robot de carga autónomo (AGV) dentro de un proceso logístico de transporte de materiales.

### **2.5.2. Tareas por objetivo**

Siguiendo la estructura detallada en apartado 2.5. OBJETIVOS se ha desarrollado con meticulosidad la Tabla 2.2. Este documento es esencial, ya que presenta de manera detallada y organizada el conjunto de tareas específicas que están destinadas a facilitar el logro efectivo de cada uno de los objetivos planeados. Esta serie de actividades es fundamental para orientar el proceso hacia resultados exitosos, asegurando así una metodología clara y eficiente

Tabla 2.2. Lista de tareas a realizar por objetivo

Objetivos específicos	Actividades (Tareas)	Resultados esperados	Técnicas, medios e instrumentos
<p>Realizar un estudio sobre los diferentes tipos de robots autónomos (AGV), aplicados en procesos logísticos.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Identificación de los diferentes tipos de robots autónomos AGV.</li> <li>• Estudio sobre aplicaciones de los AGVs.</li> <li>• Selección de un proceso logístico en la empresa DIPAG.</li> <li>• Descripción de un proceso logístico en el que se aplicó un robot de carga autónomo (AGV).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Conocimientos de los diferentes tipos de robots (AGV).</li> <li>• Descripción del proceso donde se va a aplicar el robot.</li> <li>• Requerimientos técnicos para el diseño del robot.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Investigación bibliográfica.</li> <li>• Diagrama del proceso</li> </ul>
<p>Implementar un robot de carga autónomo (AGV) que cumpla con los requerimientos de aplicación en el proceso logístico de transporte de materiales.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Descripción de requerimientos, capacidades técnicas y medidas de seguridad necesarias para el proceso logístico.</li> <li>• Selección de un AGV de acuerdo a los requisitos.</li> <li>• Realización del diagrama de etapas del proceso de transporte del robot autónomo.</li> <li>• Realización de diagramas estructurales de un robot autónomo (AGV).</li> <li>• Selección del sensor de proximidad del AGV.</li> <li>• Selección de actuadores y elementos visuales.</li> <li>• Diseño 3D de una carcasa adaptada al proceso logístico.</li> <li>• Diseño de bocines para acople de motor-estructura.</li> <li>• Diseño del sistema electrónico.</li> <li>• Diseño del sistema sensorial.</li> <li>• Ensamblaje final del prototipo AGV.</li> <li>• Desarrollo del software y programación de algoritmos que utilizara el AGV.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Selección de AGV más adecuado para aplicar en el proceso.</li> <li>• Diseños mecánicos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Software SolidWorks 2022.</li> <li>• Software de programación (Arduino ID).</li> <li>• Programa proteus</li> <li>• Software Inventor</li> </ul>
<p>Evaluar el funcionamiento del robot de carga autónomo (AGV) dentro de un proceso logístico de transporte de materiales.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Documentación de las pruebas realizadas durante el desarrollo del AGV.</li> <li>• Validación de todas las funcionalidades del AGV en un entorno logístico.</li> <li>• Valoración del potencial impacto del AGV en actividades dentro de un proceso logístico.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verificación del funcionamiento del robot autónomo en el proceso seleccionado.</li> </ul>	<p>Tablas de registro de datos.</p>

### **3. MARCO TEÓRICO**

#### **3.1. ANTECEDENTES**

A continuación, se describe trabajos anteriores relacionados con la aplicación de robots autónomos en procesos logísticos.

##### **3.1.1. Desarrollo de un robot móvil autónomo, para el transporte y reparto de paquetería liviana en LAAR COURIER.**

###### **Descripción.**

Flores y Romero realizaron un trabajo de investigación “Desarrollo de un robot autónomo, para el transporte y reparto de paquetería liviana en Laar Courier” en el año 2019 en la que se presenta el desarrollo de un prototipo de un robot autónomo que sea capaz de transportar varios paquetes livianos que no excedan los 50 kg en conjunto agilizaría el transporte de paquetes livianos o documentos dentro del área de operaciones y como esta implementación ayudaría a reducir el coste operativo que implica el proceso [1].

Los dispositivos empleados en el desarrollo del robot móvil autónomo, para el transporte y reparto de paquetería fueron sensores ultrasónicos, sensores óptico reflexivo (módulo TCRT 5000), sensor de imagen, Tarjeta de alimentación, acondicionamiento y potencia (AAPP), tarjeta de entradas y salidas I/O, motores brushless, estructura metálica, batería 48 V.

Los resultados obtenidos cumplen su función correctamente, el cual tiene como objetivo el transporte continuo de paquetería liviana (50 kg), reduciendo así el esfuerzo del personal que realiza la actividad de transportar la paquetería de un lugar a otro.

##### **3.1.2. AGV para el movimiento de materiales entre estaciones de trabajo**

Gonzalo Soto realizó una investigación la cual tiene como finalidad la aplicación de un (AGV) para movimiento de material entre estaciones de trabajo en el año 2023, en donde se hace énfasis en la problemática de una empresa manufacturera de piezas para automóviles, este problema se caracteriza por la utilización de montacargas eléctricos operados por personal de la empresa causando daños al material y el riesgo en la seguridad de los trabajadores, en donde al implementar un (AGV) permitiría automatizar las líneas de producción y así tener un beneficio en temas de

seguridad, entregas a tiempo y cumplir el programa de producción. Para completar con éxito el estudio se lo realizó con un (AGV) de navegación inercial comercial.[2].

Finalmente, los resultados obtenidos con la implementación de 3 robots (AGV) llevo a la eliminación del uso de carritos de renta y menores tiempos de traslado de materiales obteniendo un beneficio para la empresa en la reducción de 6 a 4 operadores, reduciendo los costos por accidentes, incremento de eficiencia y la reducción de 32 segundos en retrasos derivados de la logística interna.

### **3.1.3. Diseño y construcción de un robot móvil a escala para el transporte de llantas vehículos en la compañía zona franca industrial COLMOTORES S.A.S.**

Flores, López y Sanches realizaron llevaron a cabo una investigación que tenía como finalidad el diseño y construcción de un robot móvil automatizado para el transporte de llantas ensambladas en la compañía COLMOTORES S.A.S. el proyecto se lo llevo a cabo en cuatro etapas, la primera, se basó en la problemática de la empresa, la etapa dos se basó en la selección de materiales y diseño del prototipo, la etapa tres en la construcción del prototipo y finalmente la última etapa se basó en el desarrollo de las pruebas. Estas etapas servirán como referencia para construir el prototipo y trazar la mejor ruta para transportar de manera autónoma las llantas hacia su lugar de destino [3].

Los dispositivos empleados para el desarrollo del robot móvil para transportar llantas de vehículos fueron rueda omnidireccional, MDF y madera, motorreductor, sensor ultrasónico, sensor seguidor de línea, módulo driver L298N, batería sellada 12 V, celdas de carga.

Por último, los resultados son el diseño mecánico del robot permitió una flexibilidad de movimiento por sus dimensiones en espacios reducidos, el algoritmo del seguidor permite que tenga un buen rendimiento al seguir la trayectoria de la línea teniendo en cuenta que la mayoría de las veces termina la trayectoria sin salirse.

## **3.2. CONCEPTOS TEÓRICOS**

### **3.2.1. Normativa legal**

A continuación, se realiza un análisis de los objetivos de tres diferentes normativas relacionadas a la innovación y tecnología. Las normativas analizadas fueron los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), el Plan Nacional de Desarrollo (PND) de Ecuador y el Plan Estratégico de

Desarrollo Institucional (PEDI) de la UTC; el análisis de estos planes asegura que las políticas y estrategias estén bien alineadas para abordar problemáticas y contribuir a un desarrollo sostenible.

### **3.2.1.1. Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)**

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) fueron establecidos por las Naciones Unidas en 2015 como un llamado universal para poner fin a la pobreza, proteger el planeta y asegurar de que todas las personas disfruten de paz y prosperidad para el 2030 [4]. A continuación, se presenta el objetivo de los ODS relacionado con la innovación y tecnología.

El objetivo de los ODS relacionado con la innovación y tecnología es el número 9: Industria, innovación e infraestructura. Este objetivo busca “construir infraestructuras resilientes, promover la industrialización inclusiva y sostenible, y fomentar la innovación”.

### **3.2.1.2. Plan Nacional de Desarrollo (PND) para el nuevo Ecuador 2024-2025**

El Plan Nacional de Desarrollo para el nuevo Ecuador 2024-2025 tiene como objetivo mejorar la calidad de vida de los ciudadanos y fortalecer la economía del país. El plan se basa en la participación ciudadana y tiene como objetivo involucrar a los ciudadanos en la toma de decisiones y la planificación de asuntos públicos del gobierno. El Plan Nacional de Desarrollo 2024-2025 se compone de cuatro ejes y nueve objetivos que se enfocan en la seguridad integral, el crecimiento económico, la infraestructura, la energía y el medio ambiente, así como en la construcción de un Estado eficiente, transparente y enfocado en el bienestar social [5].

### **3.2.1.3. Plan Estratégico de Desarrollo Institucional UTC 2021-2025 (PEDI)**

El PEDI de la Universidad Técnica de Cotopaxi es un documento que establece la visión, misión, objetivos estratégicos, líneas de acción y metas a largo plazo de la institución para guiar su desarrollo y crecimiento de manera sostenible y planificada. Este plan abarca un período de tiempo específico, en este caso del 2021 al 2025, y se enfoca en establecer las pautas y acciones que la universidad llevará a cabo para alcanzar sus metas institucionales y mejorar la calidad educativa, la investigación, la conexión con la sociedad y la gestión administrativa [6].

A continuación, en la Tabla 3.1, se presenta las concordancias existentes entre los objetivos de la ODS, PND y PEDI UTC.

Tabla 3.1. Concordancia de los objetivos ODS, PND y PEDI UTC

<b>Normativa</b>	<b>Objetivos</b>
ODS	Industria, Innovación e Infraestructura.
PND	Desarrollo de Infraestructuras Sostenibles y Resilientes.
	Promoción de la Innovación y la Modernización Tecnológica.
	Industrialización Inclusiva y Sostenible.
PEDI	Promover y fortalecer la investigación científica para alcanzar perfiles profesionales con capacidades y habilidades que le permitan producir conocimientos.
	Estimular la participación de docentes y estudiantes en actividades de investigación, desarrollo tecnológico e innovación.

Como se presenta en la Tabla 3.1, los objetivos ODS, PND y PEDI UTC tienen una relación con la tecnología e innovación, lo que hace que la aplicación de robots autónomos en procesos logísticos se relacione con las normativas anteriormente mencionadas.

Como siguiente punto de la investigación, se presentan conceptos sobre los tipos de (AGV), los sistemas de navegación que utilizan, las aplicaciones, los actuadores y sensores que utilizan.

### **3.2.2. Automatic Guided Vehicle (AGV) - Vehículos de guiado autónomo**

Un (AGV) es un robot móvil controlado por computadora, utilizado para el transporte de material. Pueden actuar de forma independiente, siguiendo rutas predeterminadas y evitando obstáculos. Para el transporte de objetos y materias primas, son ampliamente utilizados en aplicaciones industriales, y su diseño y construcción se adaptan a tareas específicas según el entorno de trabajo. También son de utilidad en la gestión del tráfico, la ubicación de los puntos de recolección, entrega, esto dependiendo de los requisitos del vehículo para el diseño de (AGVs) [7].

Los (AGVs) tienen múltiples estructuras mecánicas y métodos de navegación. Se pueden dividir en varias categorías según sus estructuras mecánicas. Algunas de esas estructuras son: AGV de carga unitaria, transpaleta automatizado y (AGV) removedor. A continuación, se presentan las descripciones de los diferentes tipos de (AGVs) [8].

#### **3.2.2.1. Carretilla elevadora (AGV)**

Las carretillas elevadoras (AGV) son vehículos que presentan una amplia gama de usos. En la Figura 3.1 se presenta el diseño de una carretilla elevadora, la misma que cuenta con un diseño

similar a un montacargas con un pallet que le permite elevar cargas. Las operaciones logísticas que puede realizar este (AGV) varían entre las más sencillas, como los transportes sencillos entre dos lugares sin muchas ramificaciones, pero también muy complejas debido a que los vehículos se pueden usar como independientes o controlados por un operador (AGV). También pueden trabajar en red con muchos otros (AGV) [8].

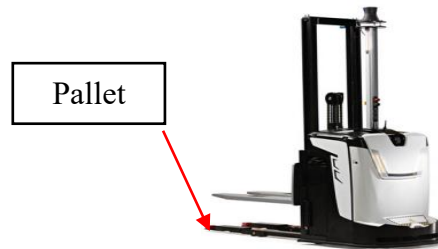


Figura 3.1. Diseño de una carretilla elevador AGV con pallet [8]

### 3.2.2.2. Piggyback (AGV)

Los robots Piggyback son vehículos que pueden transportar cargas convencionales como paletas, contenedores y contenedores esqueletos. Sin embargo, a diferencia de la categoría anteriormente mencionada, los (AGVs) a cuestas requieren una cierta altura para recoger el equipo de carga del suelo, generalmente más de 60 cm, que luego debe mantenerse como la altura de transferencia estándar en toda la instalación, dejando de lado los equipos diseñados para ajustar la altura de transferencia que son móviles o estacionarios, como se puede observar en la Figura 3.2 [8].

La principal ventaja de estos vehículos es el manejo de la carga; el recogedor lateral de la carga permite llegar directamente al punto de transferencia de carga estacionario sin tener que hacer maniobras como las carretillas elevadoras, y recoger la carga mediante un transportador. Esto se puede hacer rápidamente y ocupar menos espacio [8].

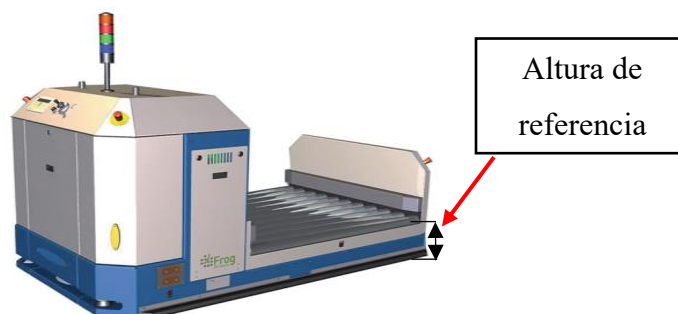


Figura 3.2. Piggyback (AGV) con altura de referencia [8]

### 3.2.2.3. Towing Tractors (AGVs)\_ Tractores de remolque

En la categoría de (AGVs) existen los tractores de remolque, de los cuales su principal característica es remolcar grandes cantidades de maquinaria, como se presenta en la Figura 3.3 [8].



Figura 3.3. Towing Tractors (AGVs) [8]

En este caso, también es común que los camiones de serie automatizados mantengan los dispositivos para el manejo manual (plataforma del conductor con volante y pedal del acelerador o joystick), lo que permite que el manejo manual sea posible durante un tiempo. El aspecto de seguridad de este tipo de (AGV) es menos preocupante: cuando un tren remolcador compuesto por un vehículo tractor y tres o cuatro remolques arranca, se crea una zona de peligro en todos los huecos que difícilmente puede ser controlada por sensores [8].

### 3.2.2.4. AGV de montaje

Los (AGVs) de montaje utilizados en las líneas de montaje varían según el objeto a montar, su tamaño y peso, lo que determina el vehículo que se usará. La precisión de posicionamiento requerida y las fuerzas que actúan sobre el objeto y el (AGV) durante el montaje afectan la estabilidad de inclinación. Los pasos de montaje también afectan el diseño del (AGV). Es fundamental asegurarse de que el objeto de montaje sea accesible como se presenta en la Figura 3.4.

Los trabajadores están constantemente en las inmediaciones de los vehículos, por lo que es esencial que puedan realizar su trabajo sin restricciones y estén protegidos contra lesiones. Esto a menudo afecta al uso de un escáner láser de seguridad, al ajuste de sus campos de protección y advertencia y a la protección lateral de escalones. El diseño de seguridad debe permitir que los trabajadores

puedan trabajar de forma segura y que el sistema de sensores no responda continuamente sin motivo [9].



Figura 3.4. AGV de montaje con carga accesible [9]

### 3.2.2.5. AGV de servicio pesado

Los (AGVs) de servicio pesado son vehículos utilizados en espacios interiores que transportan bobinas pesadas en la producción o transformación de papel, en la industria siderúrgica o en la industria automotriz, que pueden transportar piezas de máquinas grandes o contenedores pesados para grandes cantidades de sustancias sólidas o líquidas, como se presenta en la Figura 3.5. Estos vehículos requieren diseños y componentes de alta calidad en términos de accionamientos, suministro de energía y tecnología de seguridad para evitar accidentes con personas o cosas en cualquier circunstancia debido al peso extremo que transportan [9].



Figura 3.5. AGV de servicio pesado [9]

### 3.2.2.6. Mini-AGV

Esta categoría mini incluye (AGVs) económicos y pequeños que pueden transportar contenedores o cajas de tamaño similar con pesos de hasta 25 kilogramos. Como se muestra en la Figura 3.6, se utilizan diseños inteligentes y nuevos componentes como la electricidad, la electrónica y la tecnología de sensores para mantener los precios bajos [9].

El uso de sensores cuyo nivel de rendimiento esté por debajo del nivel requerido, que se considera aceptable siempre y cuando los vehículos y su carga no sean demasiado pesados ni se muevan demasiado rápido, reduce el riesgo de lesiones graves en caso de colisión con una persona [9].



Figura 3.6. Mini-AGV transportando carga [9]

### 3.2.2.7. AGV seguidor de línea

Son vehículos que utilizan un sensor de línea para seguir una ruta predeterminada en una fábrica o almacén. Estos vehículos están diseñados para transportar materiales de manera automatizada, lo que aumenta la eficiencia y reduce los costos de fabricación. Los seguidores de línea (AGV) tienen ruedas motorizadas y sensores de línea que les permiten seguir una ruta específica sin necesidad de un conductor humano [9].

### 3.2.3. Aspectos tecnológicos de robots (AGVs)

Los aspectos tecnológicos que se consideran en los (AGVs) son los diferentes componentes con los cuales cuenta el robot autónomo, los mismos que serían sistemas de guía, sensores utilizados, los elementos mecánicos móviles y su fuente de energía.

Las unidades de potencia, el tipo de batería, los sistemas de guía y los componentes de seguridad son algunas de las muchas partes que componen los (AGV), que determinan cómo funcionan correctamente. A continuación, se presentan los elementos más significativos [10].

### 3.2.3.1. Sistemas de guía utilizados en (AGVs)

El sistema de guía o navegación que utiliza un (AGV) es una parte tecnológica importante. Hay varias tecnologías que son más convenientes dependiendo de la operación. La navegación fija y abierta son las dos categorías principales. La navegación fija obliga al (AGV) a seguir un trayecto único, que puede ser un riel, una cinta u ondas inductivas. Sin embargo, la navegación abierta permite a los (AGV) moverse libremente, elegir la mejor ruta y superar obstáculos [10]. En la Tabla 3.2 se presentan diferentes sistemas de guía que utilizan los (AGVs).

Tabla 3.2. Tipos de sistemas guía utilizados en AGVs

Sistemas de guía utilizados en (AGVs)	
Tipo de sistemas de guía	Descripción
Guía óptica	Los vehículos que utilizan este sistema tienen un sensor fotoeléctrico que utiliza una cinta reflectante para identificar la dirección de la ruta marcada en el suelo. Aunque es una tecnología muy económica, puede ser difícil mantener las cintas y cambiar las rutas; el sistema no es demasiado confiable [10].
Guiado por láser	El sistema guiado por láser consiste en que los vehículos emiten rayos láser que son reflejados por reflectores en el lugar donde se mueven. Esto permite a los vehículos determinar su posición y dirección actuales. Luego, utilice un sistema computacional para continuar su traslado mediante una triangulación geométrica. Este sistema puede ser costoso, pero es una tecnología muy precisa que puede usarse para muchas cosas [10].
Guiado inercial	Una parte de un vehículo guiado automáticamente (AGV) es un sistema de guía inercial, que utiliza un microprocesador para controlar la trayectoria programada del vehículo; este sistema utiliza sensores de movimiento como acelerómetros y sensores de rotación giroscópicos para ayudar al robot a rotarse y seguir la ruta que ya ha establecido [10].
Guiado por cinta magnética	Un sistema de guiado por cinta reflexiva ayuda a los vehículos automatizados, como los (AGV), a seguir una ruta predeterminada. Consiste en colocar cintas reflexivas de diferentes colores en el suelo para que el robot siga el camino. El robot utiliza un sensor óptico para detectar las intensidades de luz reflejadas en el suelo y luego sigue el camino predeterminado. Este sistema ofrece una solución precisa y confiable para la gestión de vehículos en entornos controlados [10].
Guiado de línea	Para este sistema, el (AGV) seguirá una pista dispuesta en el área de operación que está precargada. Una cinta magnética o un cable se incrustan en el piso. El dispositivo puede seguir la pista para llegar al destino deseado después de que un sensor de trayectoria guía instalado en el robot detecte la cinta magnética o el cable [11].
Circuito de sensores	El circuito sensor responde a una entrada de entorno físico, el circuito sensor del robot seguidor de línea detecta segmentos de línea o caminos definidos en el piso de trabajo. Muchas aplicaciones incluyen la detección de objetos y trayectorias (detección de líneas mediante variación de color) [12].

### 3.2.3.2. Sensores utilizados en (AGVs)

#### 3.2.3.2.1. Sensor basado en visión

El sensor basado en visión puede usar una cámara para registrar las características a lo largo de la ruta, lo que permite al (AGV) reproducir lo grabado para navegar en el vehículo guiado. Debido a que el movimiento del robot seguidor de línea depende de la salida de la cámara, la cámara es un componente esencial del sensor. En caso de seguimiento de líneas, la resolución de la cámara no es un problema. Solo se utiliza una cámara que se coloca frente al robot en una posición inclinada hacia abajo para capturar la trayectoria de la línea en este caso [12]. Como se observa en la Figura 3.7, el robot seguidor de línea seguirá la pista captada por una cámara colocada delante de él.

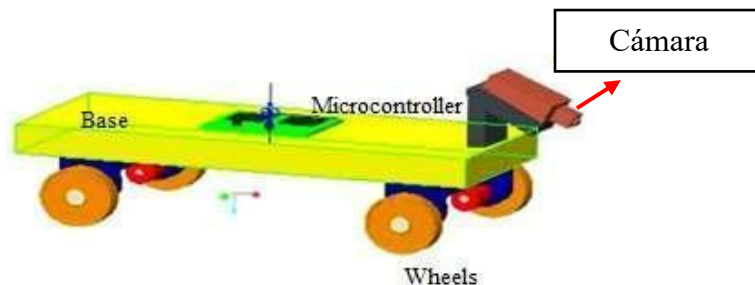


Figura 3.7. Sensor basado en visión con cámara [12]

#### 3.2.3.2.2. Sensor de proximidad

Un sensor de proximidad puede detectar obstáculos cercanos sin interactuar físicamente con ellos. El robot seguidor de línea utiliza este sensor como detector de obstáculos. El sensor de infrarrojos que detecta obstáculos se conoce como sensor de proximidad. Los sensores IR tienen dos diodos: uno envía rayos y otro recibe. La salida se emite si hay una barrera entre el transmisor de infrarrojos y el receptor de infrarrojos [12].

#### 3.2.3.2.3. Detección de obstáculos

Si un objeto se encuentra en la trayectoria de avance del rango predeterminado, los sensores de distancia ultrasónicos emiten señales. El robot se detendrá si detecta algo antes de comprobar si la obstrucción sigue siendo visible. Cuando el (AGV) se acerca a los estantes, los sensores deben desactivarse temporalmente por razones obvias [13].

### **3.2.4. Componentes mecánicos móviles de los (AGVs)**

Las categorías de vehículos descritas anteriormente son tan diversas como las soluciones técnicas utilizadas para permitir el paso de vehículos. El número, tipo y montaje de las ruedas, así como la tracción y la dirección, se derivan de un chasis y ruedas [14].

#### **3.2.4.1. Ruedas**

La mayoría de las ruedas de (AGV), especialmente la mayoría de los vehículos de interior, tienen bandas de rodadura de elastómero plástico. Son extremadamente resistentes al desgaste y dejan muy pocas marcas en la superficie del vehículo. Los automóviles exteriores utilizan ruedas de goma completas o neumáticos de camión comunes. Cuanto mayor sea la elasticidad de las ruedas para garantizar aspectos como el confort (que puede ser crucial para proteger los dispositivos electrónicos o la carga de a bordo) [14].

#### **3.2.4.2. Motores**

Los motores eléctricos son cruciales para los robots porque convierten la energía eléctrica en movimiento y ayudan a los robots a moverse. Los motores de corriente continua (DC) son los más comunes en los robots. Los sistemas de engranajes con motores de corriente continua se utilizan para aumentar la fuerza y reducir la velocidad [14].

Los robots necesitan una variedad de motores, incluidos servomotores, motores de corriente continua DC y micromotores. En este proyecto se utilizaron micromotores con cajas de engranajes que reducen la velocidad y aumentan el torque. Estos motores son beneficiosos para el robot porque son livianos y compactos y no ocupan demasiado espacio. A continuación, se presentan diferentes tipos de motores utilizados en los (AGVs).

##### *3.2.4.2.1. Motores de corriente continua (DC)*

En la Figura 3.8 se presentan los componentes de un motor: los motores eléctricos DC. Estos motores se pueden encontrar en muchos dispositivos y funcionan de forma continua cuando se les aplica un voltaje de corriente directa.

El motor de corriente continua, también conocido como motor DC, es una máquina que convierte la energía eléctrica en mecánica, generando un movimiento rotatorio. En ciertas variantes, ejerce tracción sobre un riel. Estos motores se llaman motores lineales [15].



Figura 3.8. Componentes de motores DC [15]

#### 3.2.4.2.2. Motores de inducción

Los motores de inducción, también conocidos como asíncronos, son un tipo de motor de corriente alterna en el que la corriente eléctrica del rotor es inducida por el campo magnético de la bobina del estator. Como resultado, un motor de inducción no requiere una conmutación mecánica aparte de su excitación o para toda la energía transferida del estator al rotor, como lo hacen los motores de corriente continua y los motores grandes síncronos [15].

#### 3.2.4.2.3. Motor brushless

Los motores eléctricos sin escobillas funcionan con imanes permanentes en el rotor y bobinas en el estator para generar un campo magnético que gira el motor. Los motores sin escobillas son más duraderos y eficientes porque no tienen componentes móviles que produzcan fricción o calor. Además, los motores sin escobillas son ideales para aplicaciones de alta precisión como drones, robots y herramientas eléctricas porque se pueden controlar electrónicamente [16].

### 3.2.5. Aplicaciones de los vehículos autónomos (AGVs)

Las carretillas autónomas o robots móviles se utilizan en una variedad de aplicaciones en la industria, la logística y la distribución, desde el transporte de mercancías entre diferentes lugares hasta el almacenamiento vertical, y ayudan a aumentar la productividad y ahorrar costos [17].

#### 3.2.5.1. Toma/colocación sobre cinta transportadora.

Las carretillas (AGV) se encargan de la logística en varios puntos estratégicos de esta aplicación, donde las mercancías son transportadas mediante cintas transportadoras entre diferentes puestos

del proceso de producción, como se muestra en la Figura 3.9; esto mejora la seguridad y permite una mejor trazabilidad de los productos [17].

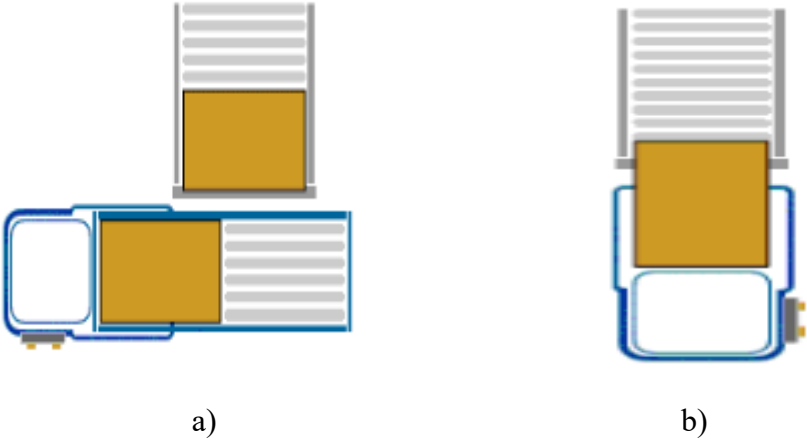


Figura 3.9. a) Toma en cinta transportadora, b) Colocación en cinta transportadora [17]

**3.2.5.2. Preparación de pedidos.**

Los robots pueden transportar las mercancías a un nuevo punto de recolección y transportar los pedidos preparados a las cadenas de montaje, áreas de embalaje o puntos de expedición. Los (AGV) que se integran en los procesos de preparación de pedidos permiten a los trabajadores reubicarse en tareas de alto valor agregado, como se muestra en la Figura 3.10.

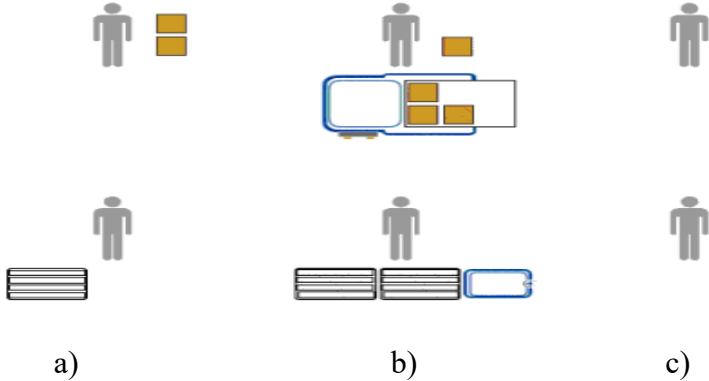


Figura 3.10. a) Preparación de pedido, b) AGV transportando el pedido transportado, c) Trabajadores en espera del pedido [17]

### 3.2.5.3. Almacenamiento masivo

Las zonas de expedición utilizan el almacenamiento masivo para el almacenamiento intermedio en la producción o para la recepción de mercancías [17]. Los palés se almacenan en el suelo y se pueden apilar unos sobre otros, como se observa en la Figura 3.11.

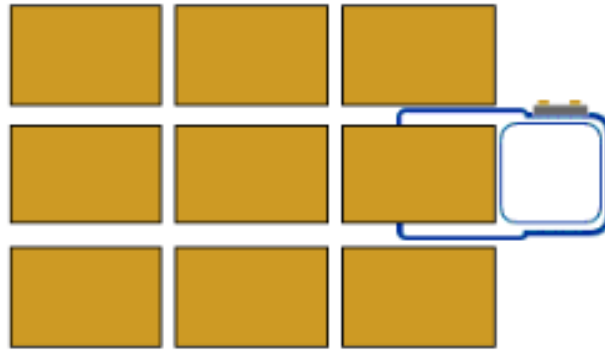


Figura 3.11. AGV apilando palés [17]

### 3.2.5.4. Estantería por acumulación para palés

En áreas de almacenamiento limitado, el uso de estanterías es ideal para almacenar muchos palés, como se presenta en la Figura 3.12. El uso de (AGV) mejora la eficacia logística, mejora las condiciones de seguridad y reduce las roturas [17].

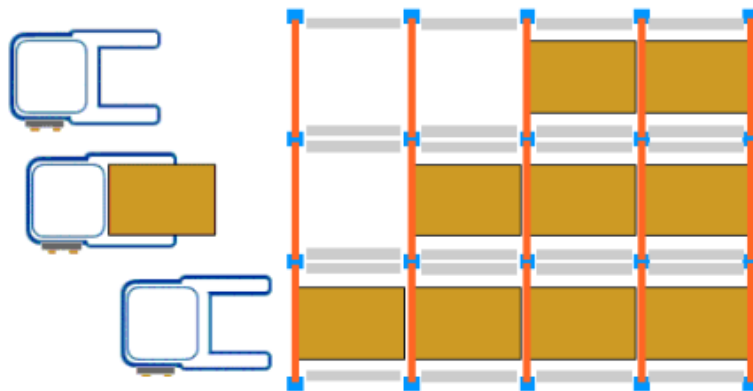


Figura 3.12. Estanterías para almacenar palés [17]

### 3.2.5.5. Estantería dinámica - estante de almacenamiento gravitacional

Las estanterías dinámicas conectadas a los equipos (AGV) son esenciales para operaciones logísticas altamente eficientes [17]. Los (AGV) pueden administrar el almacenamiento intermedio en las áreas de producción o de expedición, como se presenta en la Figura 3.13.

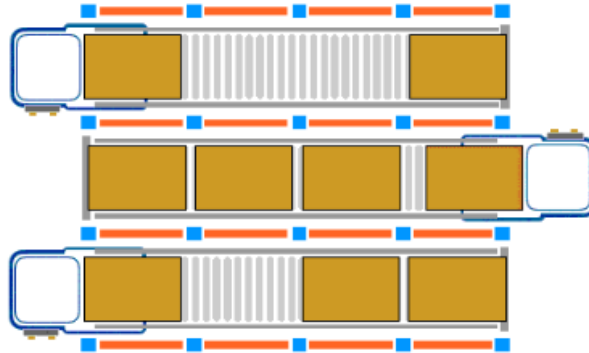


Figura 3.13. AGV almacenando carga en estantería dinámica - estante de almacenamiento gravitacional [17]

### 3.2.6. Baterías utilizadas en (AGVs)

Las baterías eléctricas están disponibles en una variedad de tecnologías. Cada tipo no está vinculado a un vehículo; en cambio, depende del proyecto y del presupuesto del vehículo [18].

#### 3.2.6.1. Baterías de GEL y Absorbent Glass Mat (AGM)

##### 3.2.6.1.1. Batería de GEL

Una batería de GEL es un tipo de batería sellada de plomo-ácido que usa un electrolito de gel en lugar de un líquido. Agregar sílice al ácido sulfúrico crea el electrolito en gel, que es una sustancia espesa y viscosa que se inmoviliza dentro de la carcasa de la batería [18].

##### 3.2.6.1.2. Batería de fibra de vidrio absorbente (AGM)

Las baterías de fibra de vidrio absorbente o película de vidrio absorbente. El electrolito de una batería (AGM) está retenido por completo en una fibra de vidrio. Las baterías (AGM) no tienen problemas de inclinación y son a prueba de fugas [19].

Son las baterías más comúnmente usadas en los (AGVs). Aunque son diferentes, las baterías de GEL y AGM tienen bastantes características ventajosas que comparten:

- Están completamente selladas y de forma que nunca habrá derrame de ácido.
- Las emisiones de gases son mínimas o nulas durante la recarga.
- Se pueden recargar en zonas con poca ventilación.
- No necesitan mantenimiento.
- Son muy robustas y pueden resistir un transporte no delicado.

### **3.2.6.2. Batería de Litio**

Las baterías de iones de litio, también conocidas como baterías Li-ion, son dispositivos de celdas de energía que están destinados a almacenar energía eléctrica [20].

Son cada vez más comunes en (AGV) porque permiten la carga inductiva inalámbrica. Además, existen otros beneficios en comparación con las baterías de GEL o AMG:

- Mayor número de ciclos de recarga que permiten alargar la vida útil de la batería.
- Mayor profundidad de descarga. Para mantener el mayor número de ciclos de vida en cualquier batería se recomienda no descargarlas completamente. Las baterías de litio permiten mantenerse en buen estado con una profundidad de descarga del 80 %.
- Mayor eficiencia de batería. En baterías de litio la eficiencia puede llegar al 95 %, lo que supone una carga más rápida.
- Mayor densidad eléctrica. En baterías del mismo tamaño, las de litio otorgan más capacidad que las de GEL.

### **3.2.6.3. Batería LiPo**

Las baterías LiPo se pueden encontrar en una amplia gama de dispositivos electrónicos y son recargables. Se componen de celdas de polímero de litio, electrolito líquido y separador, y su alta densidad de energía los hace útiles para aplicaciones que requieren una alta tasa de descarga, como drones y vehículos eléctricos. La batería LiPo tiene un voltaje nominal de 3.7 V/celda, pero se puede aumentar con una conexión en serie. También utilizados en dispositivos portátiles, dado que pueden ser peligrosos si no se manejan correctamente, su manejo requiere precaución. Si las baterías se sobrecargan, se descargan demasiado o se dañan, pueden inflamarse o explotar [21].

### 3.2.7. Módulos de control que utilizan los (AGVs)

Los módulos de control son componentes claves para el funcionamiento de los (AGVs). Estos se encargan de gestionar y coordinar las diferentes funciones del robot que permiten la operación autónoma y segura, en algunos aspectos como navegación y comunicación. A continuación, se describen los módulos utilizados en los (AGVs).

#### 3.2.7.1 Módulo ESP32

El módulo ESP32 es una solución integrada y certificada wifi/Bluetooth que incluye radio inalámbrica y un procesador con interfaces para conectar múltiples periféricos. En realidad, el procesador tiene dos núcleos de procesamiento cuyas frecuencias operativas pueden ajustarse entre 80 MHz y 240 MHz [22]. A continuación, en la Figura 3.14 se presenta un módulo ESP32.



Figura 3.14. Modulo ESP32 [22]

#### 3.2.7.2. Arduino Nano

En la Figura 3.15 se presenta un Arduino nano, el cual es una placa de versión compacta y económica de la familia de Arduino; esta está diseñada para proyectos que requieran un tamaño reducido contando con características similares del Arduino uno. Incluye pines de entrada y salida digital y analógica y puertos de entrada y salida para conectar sensores, actuadores y otros dispositivos. La comunicación con la computadora se la realiza mediante un puerto USB [23].

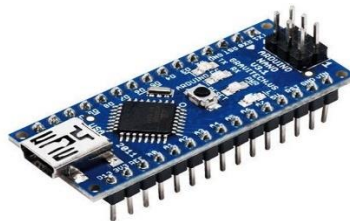


Figura 3.15. Arduino Nano [23]

### 3.2.8. Software computacionales

Los softwares computacionales son programas o aplicaciones utilizadas para realizar tareas de manera más sencilla y eficiente en dispositivos informáticos como computadoras. Algunos ejemplos incluyen hojas de cálculo, bases de datos, navegadores web y lenguajes de programación. A continuación, se describen algunos softwares de computación utilizados para el desarrollo de los robots autónomos.

#### 3.2.8.1. SolidWorks

Es un software de diseño CAD utilizado para crear modelos en 3D de piezas y ensamblajes, permitiendo realizar simulaciones de movimiento, diseños de moldes, creación de dibujos técnicos y mucho más gracias a su variedad de herramientas intuitivas [24]. En la Figura 3.16 se presenta el logotipo del programa SolidWorks.



Figura 3.16. SolidWorks [24]

#### 3.2.8.2. ArduinoBlocks

ArduinoBlocks es una plataforma que permite la programación visual de placas Arduino y ESP32 sin líneas de código. Esta plataforma se basa en Blockly, una interfaz gráfica de programación similar a Scratch que conecta bloques de funciones para facilitar la creación de programas. ArduinoBlocks es una herramienta de aprendizaje y desarrollo que facilita la programación para principiantes o personas que prefieren una interfaz visual. El proceso de realización de proyectos es simple y accesible, lo que lo convierte en una opción atractiva para los maestros de programación y electrónica [25]. El logotipo del programa Arduinoblocks se presenta a continuación en la Figura 3.17.



Figura 3.17. ArduinoBlocks [25]

### 3.2.8.3. Autodesk Inventor

Autodesk ha creado un software de diseño asistido por computadora (CAD) llamado Autodesk Inventor. El uso principal de este programa es la creación de modelos 3D de piezas y ensamblajes mecánicos, así como la realización de simulaciones y análisis de estos últimos [26]. En la Figura 3.18 se puede observar el logotipo del programa Autodesk Inventor.

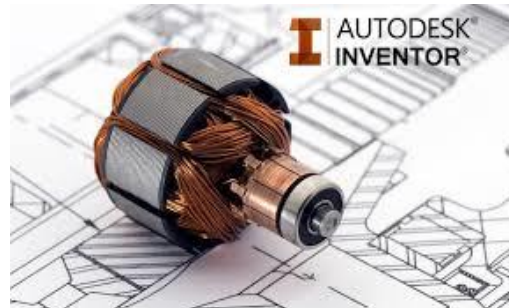


Figura 3.18. Programa Autodesk Inventor [26]

### 3.2.8.4. Proteus

Labcenter Electronics creó Proteus, un software de simulación y diseño electrónico. Se utiliza principalmente para crear y probar circuitos electrónicos en un entorno virtual, lo que permite a los ingenieros diseñar y verificar circuitos antes de que se construyan básicamente. Proteus ofrece herramientas para simular microcontroladores, diseñar esquemas y diseñar placas de circuito impreso. Su capacidad para simular el comportamiento de componentes electrónicos en tiempo real facilita el desarrollo y la prueba de proyectos electrónicos, lo que lo hace muy popular en el campo de la electrónica educativa y profesional [27]. En la Figura 3.19 se puede identificar el logotipo del programa Proteus.

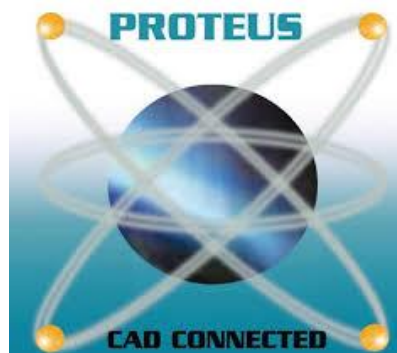


Figura 3.19. Programa Proteus utilizada para el diseño de PCBs [27]

### **3.2.9. Procesos logísticos de transporte**

Los procesos logísticos de transporte son vitales para el rendimiento operativo de cualquier negocio que esté en la gestión de materiales o productos. Los procesos no solo representan la entrega física de mercancías desde el punto de origen al punto de destino, sino una serie de funciones de soporte que aseguran la entrega en los términos deseados en términos de cantidad, calidad y tiempo [28].

#### **3.2.8.1. Logística Directa e Inversa**

##### **I. Logística Directa**

La logística directa, o logística de retorno, también se conoce como logística de avance y es el movimiento de productos desde el proveedor hasta el consumidor final [28]. Incluye los siguientes movimientos:

- De proveedor a fabricante: Movimiento de materias primas a instalaciones manufactureras.
- De fabricante a centro de distribución: Movimiento de productos terminados desde plantas manufactureras hasta centros de distribución.
- Desde Almacenes a Tiendas Minoristas: Mover productos desde almacenes a tiendas minoristas.

##### **II. Logística Inmersa**

La logística inversa es el proceso de trasladar cosas del consumidor de vuelta al fabricante o a un lugar central para su reparación, reciclaje, reutilización o eliminación. Es una de las principales áreas de la sostenibilidad y la economía circular, ya que permite la reutilización y el reciclaje de materiales con un impacto reducido en el medio ambiente [28].

#### **3.2.8.2. Logística interna**

La intralogística se refiere a todo el conjunto de procesos relacionados con el transporte interno, almacenamiento y preparación de productos en una organización. Cubre desde la recepción de materias primas hasta la expedición de productos finales. El objetivo básico de la intralogística es organizar un flujo ininterrumpido de materiales para respaldar la producción, junto con la reducción de costos [29].

### **3.2.8.3. Tipos de Transporte Utilizados**

Las empresas utilizan diferentes modalidades de transporte, es decir, terrestre, marítimo, aéreo y ferroviario, según la necesidad específica de la cadena de suministro. El transporte terrestre, particularmente camiones y vehículos ligeros, es predominante para distancias cortas e intermedias, mientras que el transporte marítimo y aéreo se realiza para los envíos internacionales en términos de capacidad y tiempo, respectivamente [29].

### **3.2.8.4. Componentes de los procesos logísticos de transporte**

Los principales componentes de las operaciones de transporte logístico son:

- **Planificación de transporte:** Incluye la determinación de las rutas y modos de transporte eficientes para minimizar el tiempo y el costo de entrega.
- **Gestión de inventarios:** Asegura la disponibilidad oportuna de productos en el lugar deseado para prevenir el exceso de inventario y la escasez de inventario.
- **Control y monitoreo:** Utiliza tecnologías y herramientas, como el software de gestión de transporte y el GPS, en la monitorización del proceso de las entregas y en la programación del tiempo de entrega en la logística de servicio.
- **Almacenamiento:** Construir una instalación de almacenamiento de productos para la entrega posterior, a su vez, también desempeña un papel activo en el impacto del rendimiento de la logística.
- **Distribución:** Es el servicio de envío definitivo de la mercancía al cliente, de lo que se debe tener en cuenta, por ejemplo, el tiempo y el grado del servicio.

### **3.2.10. Mapa de procesos**

Un mapa de procesos es una representación gráfica de los procesos de una organización y sus interrelaciones y es un artefacto muy utilizado para la comprensión y gestión de las operaciones. Como se muestra en la Figura 3.20, se detalla la estructura que posee un mapa de procesos [30].



Figura 3.20. Estructura de un Mapa de procesos [30]

A continuación, se presentan conceptos sobre los diferentes tipos de procesos que tiene un mapa de procesos:

### 3.2.10.1. Procesos Estratégicos

Los procesos estratégicos son aquellos que establecen los objetivos a largo plazo de una organización y proporcionan la dirección. Involucran la planificación y la toma de decisiones que afectan a toda la organización. Los procesos estratégicos son llevados a cabo por la alta dirección y juegan un papel vital en la toma de decisiones estratégicas y en la gestión del riesgo. El rendimiento de esos procesos refleja la capacidad de la organización para responder a los cambios en el entorno y sostener una ventaja competitiva. Estar en línea con la misión y visión de la empresa es también un papel de liderazgo esperado para lograr el éxito organizacional [30].

### 3.2.10.2. Procesos clave

Los procesos clave son los que crean valor directamente para el cliente; son importantes para entregar un servicio o producto. Los procesos clave se preocupan directamente por la eficiencia y la calidad para la satisfacción del cliente y la rentabilidad del negocio; también la identificación y la mejora de los cuellos de botella de los procesos pueden llevar a mejoras dramáticas en el rendimiento [30].

### **3.2.10.3. Tareas que generan valor agregado**

Las tareas que añaden valor son aquellas actividades que desempeñan un papel crucial en la creación de productos o servicios. Estas actividades son de valor de la organización para que su impacto sea el mayor posible; su objetivo es mejorar la calidad, reducir costos y, lo más importante, incrementar la satisfacción del cliente. Por otro lado, la eliminación de tareas que no aportan valor es indispensable para lograr una eficiencia operativa [30].

### **3.2.10.4. Procesos de Apoyo**

Los procesos de apoyo son los que ayudan y respaldan los procesos clave. Para que estos últimos funcionen al máximo de su capacidad, algunas de las actividades que vienen bajo este paraguas son la gestión de recursos humanos, el mantenimiento y la administración, que, aunque no crean valor, son muy importantes para que el proceso de la organización siga su curso sin problemas [30].

### **3.2.11. Diagrama de flujo**

El diagrama de flujo o flujograma es un gráfico utilizado para explicar un proceso o flujo de trabajo. Las tareas se describen con el uso de símbolos universales que representan varias operaciones o decisiones, y se conectan mediante flechas que muestran el paso del proceso. Es una de las herramientas más efectivas al diseñar, documentar y analizar procesos en un campo diverso que incluye ingeniería, programación y gestión, entre otros [31].

A continuación, se presentan algunos símbolos básicos:








- Rectángulo: Representa un proceso, actividad o tarea.
- Rombo: Indica una decisión o punto de ramificación en el flujo. Generalmente contiene una pregunta.
- Círculo: Representa el inicio o fin del proceso. Contiene las palabras inicio o fin.
- Flecha: Muestra la dirección y el flujo del proceso. Conecta los diferentes símbolos.

### 3.2.11.1. Herramienta Bizagi

Bizagi es una plataforma de software de administración de procesos comerciales que permite a las organizaciones modelar, automatizar y mejorar sus procesos. Las organizaciones pueden diseñar diagramas de procesos interactivos utilizando la notación BPMN (Business Process Modeling Notation), de modo que los procesos sean fácilmente documentados y entendidos [32].

En la Tabla 3.3 se muestran los símbolos que tiene la herramienta Bizagi para realizar diagramas de flujo.

Tabla 3.3. Simbología de la herramienta Bizagi

Nombre	Símbolo	Descripción
Inicio del proceso		Indica dónde se inicia un proceso.
Fin del proceso		Indica que el proceso finaliza.
Tarea, actividad o proceso		Indica la tarea que se realiza
Subproceso		Permiten dividir un proceso en unidades más pequeñas y manejables, lo que ayuda a simplificar la representación y comprensión de flujos complejos.
Compuerta exclusiva		Indica una decisión o punto de ramificación en el flujo. Generalmente contiene una pregunta.
Evento de temporización		Este tipo de evento puede ser utilizado dentro de un flujo secuencial para indicar un tiempo de espera entre actividades.
Línea de secuencia de flujo		Representan la secuencia de objetos de flujo, compuertas y los eventos.

## **4. MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS**

### **4.1. METODOLOGÍA**

#### **4.1.1. Tipos de investigación**

En lo referente al tipo de investigación utilizado en la presente propuesta tecnológica, se consideró la investigación bibliográfica, así obteniendo información de diferentes fuentes digitales, tales como artículos científicos o investigaciones relacionadas con el tema en específico. En base a ello se aplicó una investigación exploratoria, la cual está enfocada en analizar una situación o problema específico relacionado al uso de robots de carga autónomos (AGV) en el proceso de transporte de materiales.

Por otra parte, se utiliza la investigación descriptiva, la cual permitirá analizar el funcionamiento del prototipo de robot (AGV) al transportar materiales de un lugar a otro, consiguiendo así resultados confiables con respecto a su funcionamiento.

#### **4.1.2. Métodos de investigación**

Las metodologías a utilizar fueron el deductivo y el analítico, las cuales permitieron obtener información y resultados de manera sistemática y organizada, así logrando comprender de mejor manera el problema planteado.

El método deductivo está enfocado en la automatización del transporte de materiales mediante el desarrollo de un prototipo de un robot (AGV) seguidor de línea. Este sistema es específico en términos de la cantidad de sensores, actuadores y algoritmos adecuados para seguir una línea trazada en el suelo de manera autónoma. Destacando que la programación es crucial para establecer la comunicación entre el robot y el entorno donde se vaya a aplicar, el lenguaje de programación utilizado fue ArduinoBlocs para el procesamiento de datos de los sensores y los algoritmos de control. Por otro lado, el método analítico se lo utilizo como apoyo para la investigación que se está realizando, partiendo de un análisis previo sobre los robots de carga autónomos (AGV).

#### **4.1.3. Técnicas e instrumentos de investigación**

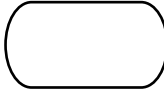

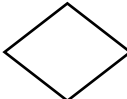

En lo referente a las técnicas de investigación, se plantea la observación directa, la simulación y la medición; con esto se prevé obtener información y conocimiento sobre el prototipo de robot AGV.

La observación directa es aplicada ya que el investigador se encuentra en contacto con el objeto a estudiar, obteniendo así una descripción detallada del funcionamiento del robot en términos de precisión y tiempo, en donde se plantea como instrumento de investigación una ficha técnica de datos cuantitativos en donde se registrarán los detalles del funcionamiento del robot, tiempos de operación y problemas observados.

Por otro lado, la técnica de simulación está dividida en tres etapas: mecánica, eléctrica y programación, en las cuales se evalúa el funcionamiento del robot. En la etapa mecánica, se utiliza el software de modelado SolidWorks, en donde se diseña y simula la estructura mecánica del robot, determinando las dimensiones y características de los componentes como el chasis, ruedas y los sensores a utilizar. En la parte electrónica, se llevó a cabo en placas de circuito impreso (PCBs), las cuales permitieron la conexión entre los diferentes componentes electrónicos del robot. Para el desarrollo de estas dos primeras etapas se plantea la recolección de información mediante tablas de datos, en donde se registrarán dos variables que son la distancia y el tiempo. En donde se analizará el tiempo de recorrido del robot a las distancias requeridas para la investigación.

En la etapa de programación del robot, se utilizó el software de ArduinoBlocks en donde se desarrolló la programación de control necesaria para los motores y los sensores utilizando diagramas de flujo, los cuales representarán de manera gráfica los diferentes algoritmos utilizados en el robot (AGV). A continuación, en la Tabla 4.1 se presenta la simbología utilizada en función de los algoritmos utilizados en la programación del robot.

Tabla 4.1. Descripción de la simbología del diagrama de flujo

<b>Descripción</b>	<b>Simbología</b>
Inicio/Fin	
Operación/Actividad	
Decisión	
Recorrido/flujo	

Finalmente, la técnica de medición se la dividió en distancia y tiempo. En la parte de medición de distancia, se evaluará la capacidad del robot para transportar objetos a diferentes distancias con respecto al tiempo se realizan mediciones sobre el tiempo total requerido para completar un ciclo de trabajo, el cual consiste en el tiempo que recorre el robot una distancia predeterminada.

#### **4.1.4. Diseño de investigación**

El diseño de investigación tiene como propósito el brindar un plan para responder a los objetivos de investigación, en la cual existen dos clasificaciones las cuales son la investigación experimental y no experimental.

La investigación realizada para este estudio será no experimental ya que se tiene como objetivo el observar y analizar el impacto del robot dentro de la empresa.

##### **4.1.4.1. Selección de la muestra**

Para seleccionar la muestra, se debe tener en cuenta que existen dos tipos de muestras: las probabilísticas y no probabilísticas.

En este caso se seleccionó un muestreo no probabilístico, debido a que permite la selección de los elementos a estudiar en base al criterio del investigador. Dentro del muestreo no probabilístico se incluyen las muestras por conveniencias, por juicios y por cuotas.

Para este estudio se utilizó el muestreo por conveniencia, ya que permite seleccionar de manera práctica y accesible las áreas y empleados que proporcionarán datos sobre la aplicación del robot.

##### **4.1.5. Metodología Waterfall**

La metodología Waterfall o metodología en cascada es un método con un enfoque lineal para la gestión de proyectos. Se basa en el desarrollo secuencial de fases que fluyen como una cascada, dividiendo el proyecto en distintas fases, en la cual cada nueva fase solo comienza cuando se ha completado la fase anterior. La planificación y el tener un objetivo final establecido es fundamental en esta metodología en cascada, debido a que si existe un error en una de las fases esta retrasará a las demás y en consecuencia el proyecto que se esté realizando se retrasará [33].

Para alcanzar los objetivos propuestos al inicio, se aplicó la metodología Waterfall, la cual proporciona una estructura sólida y secuencial para el desarrollo de un prototipo de un AGV y su aplicación en un proceso logístico.

En la Figura 4.1 se presentan las etapas de la metodología Waterfall en donde se considerarán específicamente las cuatro primeras fases de esta metodología.

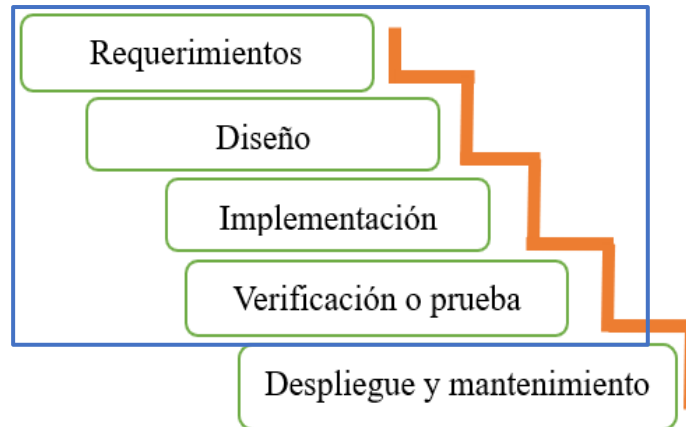


Figura 4.1. Diagrama metodología Waterfall [33]

#### 4.1.4.1. Requerimientos de la propuesta

La fase inicial o fase de requerimientos se realiza una revisión bibliográfica exhaustiva en diferentes sitios webs, esto con el objetivo de alcanzar un conocimiento sólido sobre los diferentes tipos de robots (AGVs), adicional a lo anterior mencionado se seleccionara el proceso logístico en donde se va a aplicar el robot autónomo mediante la creación de un mapa de proceso de la empresa el cual se lo detallara con un diagrama de flujo, como siguiente punto se obtendrán los requerimientos funcionales que tendrá el robot como la capacidad de navegación, la misma que se realizará mediante la integración de sensores que ayuden a seguir una ruta trazada en el suelo, el siguiente punto a definir es la capacidad de detección de obstáculos y la generación de una señal de alerta sonora esto con la finalidad de detener el robot y generar la alerta cuando detecte un obstáculo, adicional se busca la integración del encendido y apagado de forma remota mediante el uso de un módulo de radiofrecuencia, para finalizar con la fase de requerimientos se busca especificar la capacidad de carga que transportará el robot basándose en la capacidad de los motores y ruedas a utilizar.

#### **4.1.4.2. Diseño**

La fase de diseño se la realizará en dos etapas, como primera instancia es el diseño de hardware en el cual se especificará la selección de los componentes físicos del robot como los sensores, motores, baterías y módulos basándose su elección en una matriz de priorización en la cual se priorizara una o varias características que permitan al robot su funcionamiento adecuado, en la siguiente etapa se detallará el diseño del software, el mismo que se realizará mediante la ayuda de diferentes programas computacionales como SolidWorks en el cual se realizará el diseño 3D de la estructura mecánica del robot, adicional se realizarán diagramas de flujo los cuales permitirán realizar en ArduinoBlocks el desarrollo de los diferentes algoritmos que tendrá el robot, finalmente en Proteus se diseñara el circuito eléctrico del robot en el cual se utilizarán placas de circuito impreso (PCBs).

#### **4.1.4.3. Implementación**

La fase de implementación se realizará mediante la construcción del robot y la integración de los diferentes componentes del hardware, como la construcción de la estructura mecánica del robot realizada mediante corte láser de una plancha laminada en frío de acero negro de 1.1 mm para posteriormente darle la forma al robot teniendo en cuenta el diseño realizado en 3D, la instalación de sensores, motores y conexiones eléctricas. La ubicación de cada uno de los componentes se las realizará teniendo en consideración el diseño del hardware del robot. Para la integración del software al robot se subirán los diferentes algoritmos mediante una conexión USB entre la computadora y el robot.

#### **4.1.4.4. Verificación o prueba**

La etapa de verificación y pruebas, se evaluará los resultados obtenidos con el robot (AGV) aplicado en el proceso logístico de transporte de materiales. Se pondrá a prueba las diferentes funcionalidades del robot, como son la capacidad de carga, la detección de obstáculos y la capacidad de navegación, como resultado se busca tomar el tiempo de recorrido del robot con carga y sin carga, para el sensor de obstáculos se medirá la capacidad de detección de obstáculos a diferentes distancias, finalmente pudiendo validar su funcionalidad dentro del entorno donde se vaya a aplicar.

## **5. ANÁLISIS DE RESULTADOS**

### **5.1. OBJETIVO 1: Realizar un estudio sobre los diferentes tipos de robots autónomos (AGV), aplicados al proceso de transporte de materiales.**

Para el cumplimiento del primer objetivo se realizó una investigación bibliográfica en diferentes documentos, tomando en cuenta libros y artículos científicos referentes a los diferentes tipos de (AGVs), así como sus diferentes aplicaciones dentro de las industrias.

Basándose en lo anterior se seleccionó y se detalló el proceso logístico en el cual se aplicará el prototipo de robot autónomo (AGV). Esta actividad es crucial para poder entender el proceso en el cual estará implicado el robot dentro de la empresa DIPAG.

#### **5.1.1. Actividad 1. Estudio de los diferentes tipos de robots autónomos (AGVs) que existen en la actualidad**

Para el cumplimiento de esta actividad se realizó una investigación en diferentes documentos sobre los diferentes tipos de robots autónomos (AGVs) que existen en la actualidad, en donde se tomaron en cuenta artículos científicos, investigaciones realizadas anteriormente y fuentes certificadas con el fin de obtener un conocimiento amplio sobre los diferentes tipos de robots (AGV). Generalmente, los (AGVs) son vehículos guiados autónomamente, por lo que no es necesario que alguien lo esté operando, debido a que este tipo de robots están programados y controlados mediante computadora. Estos se componen por diferentes sistemas de navegación y se clasifican por el tipo de trabajo que realiza, dependiendo de su estructura, capacidad de carga/arrastre, componentes electrónicos, entre otros factores. A continuación, se presentan los diferentes tipos de robots autónomos (AGVs).

##### **5.1.1.1. AGV de plataforma plana y unidades de carga automatizadas**

Los (AGVs) de plataforma plana y las unidades de carga automatizadas son tipos comunes de vehículos de guiado automático destinados a transportar cargas pesadas a almacenes y fábricas. Con su diseño, las cargas se pueden transportar y mover a lo largo de rutas específicas, lo que simplifica las operaciones y optimiza el flujo de materiales. Las empresas pueden aumentar la productividad, reducir la necesidad de mano de obra y minimizar los errores humanos al automatizar el transporte [34].

#### **5.1.1.2. Transpaletas automatizados**

Los transpaletas (AGV) utilizan tecnología avanzada y sistemas de navegación precisos para manipular y mover palés de manera eficiente. Los trabajadores pueden concentrarse en tareas de mayor valor añadido cuando realizan tareas repetitivas de forma autónoma. Los centros logísticos y las fábricas tienen muchos movimientos de palés, por lo que son ideales para estas áreas. Para sujetar y transportar palés de manera segura están equipados con horquillas o pinzas especializadas [34].

#### **5.1.1.3. Carretillas elevadoras (AGV)**

Los sistemas de montacargas (AGV) son vehículos autónomos que pueden levantar, mover y apilar cargas pesadas sin la necesidad de intervención humana. Se utilizan en almacenes y centros de distribución para optimizar el flujo de materiales y el uso del espacio, moviendo bienes empacados de manera eficiente. Para maniobrar con precisión, utilizan tecnología avanzada como navegación láser o tecnología guiada por visión [34].

#### **5.1.1.4. (AGV) Apilador**

Con una capacidad de carga de 2.000 kg y una elevación máxima de 5.4 metros, el (AGV) apilador puede mover cargas paletizadas en altura. La base mecánica utilizada determina la carga máxima y la altura requerida, se pueden agregar implementos como rodillos en lugar de palés, horquillas dobles o triples para transportar varios palés al mismo tiempo, horquillas curvas para bobinas y horquillas ajustables para palés de dimensiones diferentes al euro palé [35].

#### **5.1.1.5. (AGV) seguidor de línea**

Un (AGV) es un tipo de robot móvil que está diseñado para seguir una ruta predeterminada en el suelo. Este tipo de robot puede detectar y seguir una línea negra sobre una superficie clara con alto contraste de color. Estos robots son comunes en aplicaciones industriales para transportar materiales a almacenes y fábricas [36].

### **5.1.2. Actividad 2. Aplicaciones de los (AGVs)**

Los vehículos guiados automáticamente (AGV) son sistemas robóticos móviles que se utilizan en una variedad de entornos comerciales e industriales [37]. Aquí hay algunas de las aplicaciones principales de (AGV):

- Sector industrial: Transporte de mercancías en entornos industriales, aumentando la eficiencia y la productividad al automatizar el transporte dentro de las plantas de fabricación.
- Salud: El transporte de suministros médicos en el sector hospitalario, Los (AGV) pueden mover equipos médicos, medicamentos y muestras de laboratorio dentro de los hospitales. Los residuos del hospital se recolectan y transportan de manera segura y eficiente a través de la gestión de residuos.
- Bibliotecas: La automatización del proceso de ubicación y recolección de libros es importante para las bibliotecas. Los (AGV) son capaces de realizar tareas complejas y repetitivas, como caracterizar, categorizar, referenciar y ubicar libros en sistemas de almacenamiento automatizados.
- La logística y el almacenamiento: Manejo de inventarios, Los AGV pueden transportar artículos dentro de grandes almacenes, lo que reduce la necesidad de montacargas y mejora la precisión del inventario. La carga y descarga de camiones acelera las operaciones logísticas al automatizar el proceso de carga y descarga.
- Industria automotriz: Las líneas de producción transportan piezas pesadas y componentes automotrices entre varios departamentos de la planta. Montaje de vehículos: ayudan en el ensamblaje de vehículos moviendo partes de una estación a otra.

### **5.1.3 Actividad 3. Selección de un proceso logístico**

Para poder seleccionar el proceso logístico dentro de la empresa, en la Figura 5.1 se presenta un mapa de procesos que detallan los procesos estratégicos, clave y de apoyo. En el cual se selecciona el proceso donde se aplicará el robot.



## MAPA DE PROCESOS DE LA EMPRESA DIPAG

### GOBERNANTES

### 1. PROCESO GERENCIAL

- 1.1. Planificación y gestión Estratégica.
- 1.2. Investigación y desarrollo de productos
- 1.3. Gestión de calidad y mejoramiento continuo
- 1.4. Gestión de presupuesto y recursos

### SUSTANTIVOS

### 2. PROCESOS OPERATIVOS DE VALOR

2.1. Gestión de comercialización e investigación del mercado

2.2. Investigación y desarrollo

2.3 Logística y distribución.

### ADJETIVOS

### 3. PROCESOS DE APOYO

3.1. Gestión financiera y administrativa

3.2. Gestión de mantenimiento

3.3. Gestión de Seguridad y Salud Laboral

3.4. Gestión de adquisición de materia prima y suministros

3.5. Gestión de talento humano

3.6. Gestión de auditoría interna

3.7. Gestión de transporte

3.8. Gestión de control de calidad

3.9. Gestión Documental

Figura 5.1. Mapa de procesos de la empresa DIPAG

En base a lo anterior, el mapa de procesos sirve para poder visualizar y entender los diferentes procesos con los que cuenta la empresa, y seleccionar el proceso en el que se aplicó el robot autónomo. La importadora de maquinaria DIPAG es una empresa en la que se pueden encontrar varios procesos, pero el proceso logístico que se escogió se encuentra dentro de los procesos operativos agregadores de valor en los que se seleccionó la logística y distribución. Este tipo de proceso en el que se aplicó el robot autónomo ocurre en el área de bodega.

El proceso de logística interna se genera en la bodega de la empresa, debido a que dentro del área se almacenan y se transportan maquinaria industrial y agrícola de un punto a otro, haciendo que maquinarias entren y salgan de la bodega, por lo que la aplicación del robot autónomo en el proceso logístico interno de importadora es el adecuado para que pueda transportar maquinaria de un punto a otro mediante una ruta trazada. A continuación, se presenta en la Figura 5.2 vista superior del área de bodega de la empresa DIPAG.

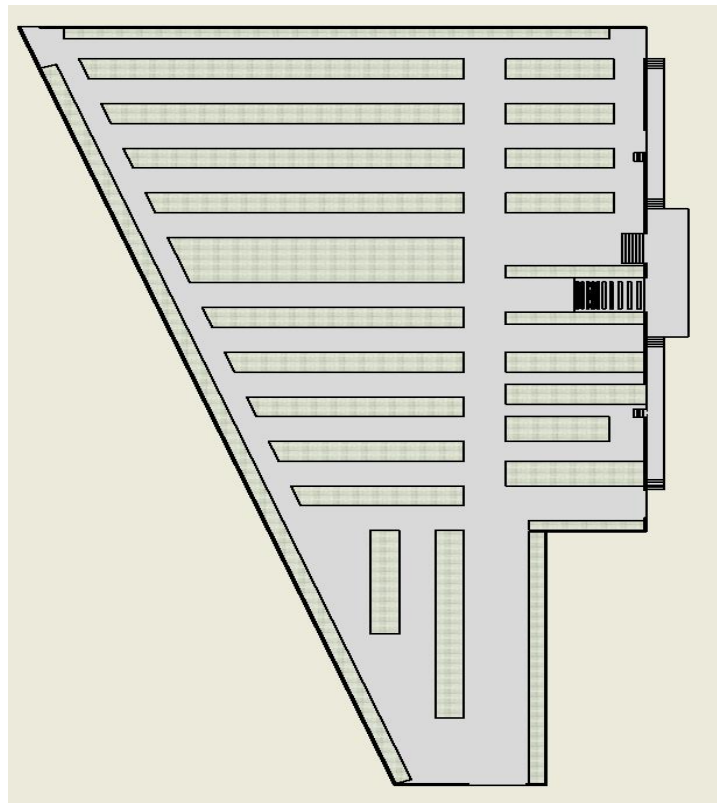


Figura 5.2. Vista superior del Layout de la de bodega de la Importadora

#### 5.1.4. Actividad 4. Detallar el proceso logístico en el que se aplicó un robot de carga autónoma (AGV)

Para el cumplimiento de esta actividad se realizó un estudio detallado sobre el proceso logístico de transporte interno de materiales en la importadora DIPAG en la cual se identificó el área en la cual se puede aplicar el robot AGV. El área que se seleccionó fue el área de bodega, debido a que se identificaron las dificultades o retos que enfrentan los trabajadores en el transporte interno de materiales en la importadora, como la falta de vehículos motorizados o autónomos. Se hace hincapié en la necesidad de invertir en equipos especializados, como el robot de carga autónomo, para optimizar la eficiencia y reducir los tiempos y costos del proceso logístico interno.

#### I. Datos en la empresa

- Razón social: “Dipag Sociedad Civil”
- Actividad principal: Distribuidor de maquinarias industriales y agrícolas
- Gerente general: Ing. Guita Guaita Diego Paul
- Ciudad: Latacunga
- Dirección: Av. Miguel Iturralde, Latacunga
- Telefono:0983382917
- Correo electrónico:dipag\_contabilidad@hotmail.com

En la Figura 5.3 se presenta la ubicación de la empresa DIPAG desde Google maps

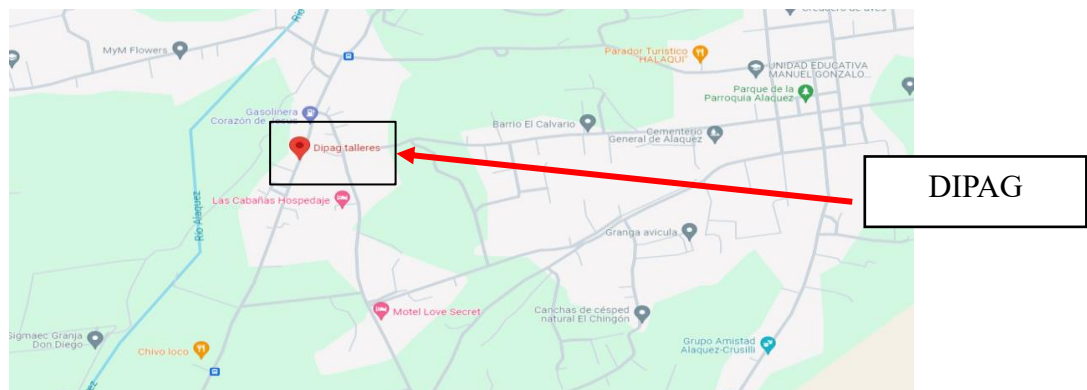


Figura 5.3. Ubicación DIPAG – GOOGLE MAPS

### 5.1.4.1. Layout de la empresa del área de bodega

En la Figura 5.4 se muestra un layout de la empresa DIPAG, específicamente del área de bodega, el lugar donde se va a aplicar el robot AGV.

En esta área de bodega se identificarán las diferentes rutas que pueda tener el robot de carga autónomo, las mismas que facilitarán su funcionamiento dentro de la empresa.

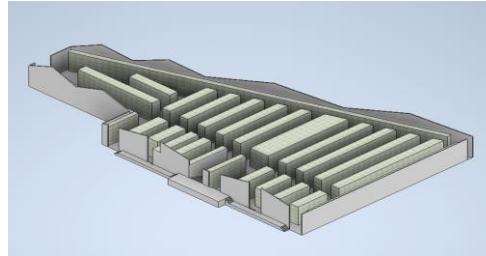


Figura 5.4. Vista isométrica superior y modelo en 3D del Layout de la empresa del área de bodega

Para poder comprender de mejor manera el proceso de transporte de mercancías internas en una importadora, se presenta a continuación en la Figura 5.5, un diagrama de etapas en el cual se da a conocer el proceso completo que se realiza dentro de la importadora para poder transportar mercancías de un lugar a otro.

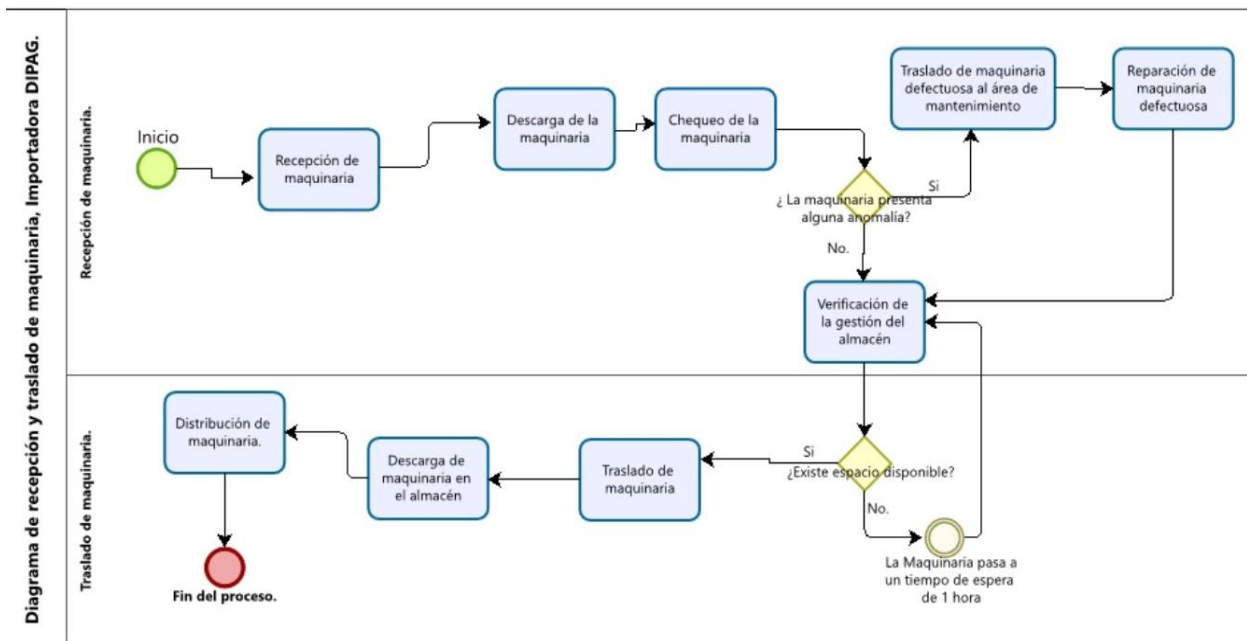


Figura 5.5. Diagrama de flujo de las etapas del proceso de la Importadora DIPAG

**I. Recepción de maquinaria:** El proceso comienza con la llegada de la maquinaria a la instalación y su recepción por parte del personal especializado en esta tarea. Es importante que el personal esté capacitado para inspeccionar visualmente el estado de la maquinaria para detectar cualquier daño o desviación con respecto a las especificaciones del pedido, esto para evitar mayor tiempo en su traslado.

**II. Descarga de la maquinaria:** Un grupo de trabajadores debe descargar la maquinaria después de recibirla.

**III. Chequeo de maquinaria:** Después de descargar las maquinarias, el equipo de trabajadores inspecciona todas. Este proceso consiste en la verificación de las funcionalidades de la maquinaria para asegurar de que los productos importados sean de alta calidad. También se realizan revisiones visuales de los productos importados y se realiza una inspección de calidad utilizando una muestra al azar.

Sin embargo, si la maquinaria inspeccionada presenta alguna anomalía o defecto, se traslada al área de mantenimiento en dónde se procede su reparación.

**IV. Verificar la gestión del almacén:** Después de que las áreas anteriores hayan completado sus tareas correspondientes, se verifican las condiciones del almacén de la importadora para asegurarse de que no haya ninguna anomalía. Esto implica verificar que haya espacio disponible para el almacenamiento de maquinaria y asegurarse de que los productos que se almacenen estén en condiciones adecuadas.

**V. Traslado de maquinaria:** Después de verificar la gestión del almacén para determinar si existe un espacio disponible para colocar la maquinaria, comienza el proceso de traslado. La importadora transporta la maquinaria de forma manual con un grupo de trabajadores que la coloca en el lugar asignado.

**VI. Descarga de la maquinaria en el almacén:** La maquinaria se descarga en el lugar o espacio que se haya asignado o disponible una vez que llega al área de almacenamiento.

**VII. Distribución de la maquinaria:** La maquinaria se distribuye en los lugares designados una vez que se descarga. La importadora tiene un sistema de distribución eficiente y funcional que permite que los productos se encuentren en el lugar que se les asignó, lo que hace que sea más fácil localizarlos y transportarlos en el momento de una compra.

Las etapas descritas anteriormente se las utiliza comúnmente en la importadora DIPAG ubicada en Latacunga. En esta se pudo observar que el proceso de transporte se lo realiza de forma manual, provocando que los trabajadores que realizan estas actividades resulten con dolores musculares y lesiones. En base a lo descrito con la aplicación del prototipo de robot de carga autónomo, se busca brindar una solución óptima en el proceso de transporte de mercancías dentro de la importadora, logrando así evitar que los trabajadores sufran algún tipo de lesión o accidente y ocupar ese tiempo en realizar alguna otra actividad productiva dentro de la empresa.

## **5.2. OBJETIVO 2. Implementar un robot de carga autónoma (AGV) que cumpla con los requerimientos de aplicación de un proceso logístico de transporte de materiales**

Para la ejecución del segundo objetivo de la investigación se desarrolló una serie de actividades que permitieron el desarrollo correcto del robot (AGV). Estas etapas consistieron en la descripción de requerimientos que debe tener el robot, la selección del (AGV) adecuado que cumpla con dichos requerimientos, las etapas que debe recorrer el robot, las funciones que debe tener y los componentes utilizados.

Adicional a lo anterior se utilizó el programa SolidWorks, en el cual se diseñó los componentes principales del robot, como la estructura mecánica del robot, el sistema electrónico se lo llevo a cabo en el programa Proteus, finalmente para la programación se lo realizó en el programa ArduinoBlocks.

### **5.2.1. Actividad 1. Descripción de requerimientos, capacidades técnicas y medidas de seguridad necesarias para el proceso logístico**

El objetivo es describir los requerimientos operativos que se tendrán en cuenta para la implementación de un robot autónomo en la distribuidora de maquinaria. Para implementar un robot autónomo en la distribuidora de maquinaria, es fundamental realizar una evaluación exhaustiva de la efectividad y seguridad de la operación del robot. Los requerimientos operativos que debe tener el robot se presentan a continuación en la Tabla 5.1.

Tabla 5.1. Requerimientos, capacidades técnicas y medidas de seguridad

Requerimiento	Descripción	Capacidades técnicas necesarias
Capacidad de carga	El robot debe transportar maquinaria y materiales con pesos entre 10 y 18 kg.	Capacidad de carga máxima de 18 kg de diferentes tamaños y formas de mercancía
Navegación	Debe navegar con seguridad en un entorno industrial altamente concurrido, usando un sistema de seguimiento de línea.	Sensores de seguimiento de línea TCRT5000 sensores infrarrojos, capacidad de seguir rutas predefinidas.
Capacidad de respuesta	Responder en tiempo real a cambios en el entorno, como la detección de obstáculos.	Sensor de ultrasonido para detección de obstáculos.
Facilidad de uso	Interfaz fácil de usar que permita al personal operar el robot sin dificultad.	Manuales y guías de usuario accesibles.

**I. Capacidad de carga:** El robot debe ser capaz de transportar maquinaria y materiales con pesos y dimensiones específicas necesarias para su distribución. En el caso de la distribuidora, los materiales o maquinaria tienen un peso entre 10 y 18 kg; el (AGV) debe ser capaz de transportar estos pesos dentro de las áreas de la importadora.

**II. Navegación:** El almacén de la importadora cuenta con varias rutas. El robot debe ser capaz de navegar con seguridad en un entorno industrial altamente concurrido como en este caso el almacén de la importadora. La navegación del robot que favorece y es aplicable es el seguidor de línea debido a que se puede dirigir del punto A al punto B sin problemas y sin perderse o desviarse de su trayectoria.

**III. Capacidad de respuesta:** El robot debe ser capaz de responder en tiempo real a cualquier cambio en su entorno operativo. Como es el caso de detectar obstáculos cuando navega por su ruta, el (AGV) dentro de la importadora va a tener la facilidad de responder mediante algunas programaciones que se los aplicarán durante la fase del diseño, los cuales permitirán su versatilidad.

**IV. Facilidad de uso:** La interfaz del usuario del robot debe ser fácil de usar y permitir que el personal de la distribuidora pueda operar el robot sin dificultad.

### 5.2.2. Actividad 2. Selección del AGV

A continuación, en la Tabla 5.2, se presentan las características de distintos (AGVs) que se utilizan para transporte de materiales internos dentro de bodegas con el fin de comparar qué (AGV) es el adecuado para el proceso logístico seleccionado.

Tabla 5.2. Comparación de características de AGVs

Característica	Carretillas elevadoras AGV	Apilador AGV	AGV seguidor de línea
Función principal	Levantar, mover y apilar cargas pesadas [38].	Mover cargas paletizadas en altura [38].	Seguir una ruta predeterminada para transportar materiales [37].
Método de navegación	Navegación láser o guiada por visión	Navegación láser o guiada por visión	Seguir líneas en el suelo
Capacidad de carga	Hasta 15.000 kilos [39].	2.000 kilos [39].	Hasta 15.000 kilos [39].
Altura de elevación	Hasta 12m [40].	Hasta 5.4 m	Hasta 120 mm para vehículos con plataforma
Precisión de maniobra	Alta	Alta	Alta
Flexibilidad	Alta adaptabilidad a diferentes tareas y entornos.	Moderada, adaptable con implementos específicos	Alta, ideal para rutas fijas y repetitivas.
Aplicaciones comunes	Almacenes, centros de distribución, manejo de materiales.	Almacenes con necesidades de manejo de cargas en altura.	Industrias, fábricas, rutas fijas en almacenes
Velocidad	Hasta 2.5 m/s [41].	Hasta 2.5 m/s	0.7 - 1.5 m/s
Costo	\$70.000 - \$150.000 [42].	\$50.000 - \$120.000 [43]	\$50.000 - \$85.000

Posterior al análisis del proceso de la importadora y comparar las características de cada robot, se llegó a la conclusión de que el (AGV) seguidor de línea es el más adecuado para cumplir con los requisitos necesarios en el almacén de la importadora de maquinaria. Este tipo de (AGV) que se desarrollará será un prototipo, con el cual se busca cumplir con los requerimientos del proceso logístico; este prototipo utilizará sensores para seguir una línea en el suelo, lo que lo hace ideal para moverse a través de las secciones de la bodega que se dividen por diferentes tipos de maquinarias.

Además, su capacidad para circular sin problemas a través de grandes distancias entre secciones facilita el transporte de maquinaria.

### 5.2.3. Actividad 3. Etapas del proceso de transporte del robot autónomo

Para poder aplicar un robot (AGV) móvil es importante conocer el proceso completo que este debe realizar para transportar una mercancía de un sitio a otro. La mejor manera de conocer estas etapas es a través de un diagrama de etapas, el cual se presenta a continuación en la Figura 5.6.

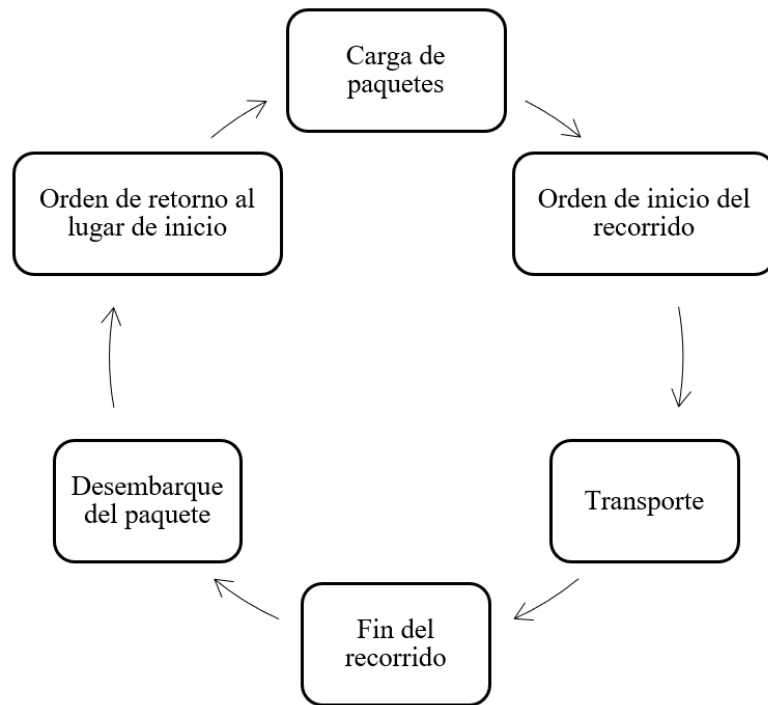


Figura 5.6. Etapas del proceso del transporte autónomo

#### 5.2.4. Actividad 4. Diagrama estructural de un robot autónomo (AGV)

Para diseñar y construir el robot de carga autónomo se debe tener en cuenta un diagrama estructural del robot en el cual se muestran las partes principales que lo componen.

El hardware está compuesto por la estructura mecánica en donde se toma en cuenta el diseño, forma y tamaño del robot autónomo.

En el software se describe los cuatro algoritmos utilizados en la automatización del robot de carga, el primer algoritmo es el seguidor de línea, que se encarga de guiar al robot por una línea negra colocada en el piso, segundo algoritmo detector de obstáculos que se encarga de reconocer objetos en la trayectoria del robot a una distancia de 15 cm, el tercer algoritmo es la señal de alerta del robot al detectar un obstáculo, finalmente, el algoritmo ON/OFF, el cual se encarga del encendido y apagado del robot mediante un control a distancia. En la Figura 5.7 se presenta el diagrama estructural utilizado para el robot autónomo.

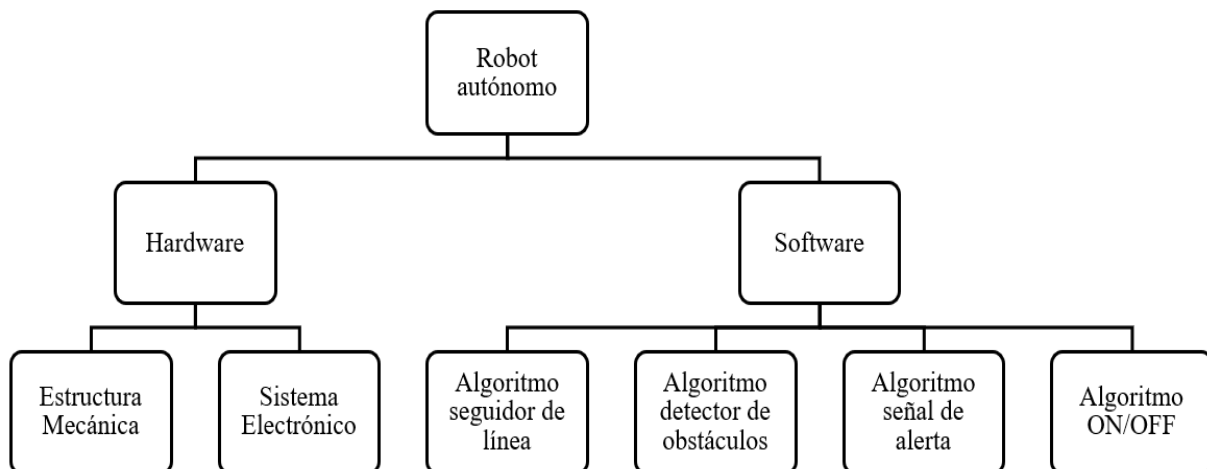





Figura 5.7. Diagrama estructural de un robot autónomo AGV

### 5.2.5. Actividad 5. Selección del sensor de proximidad ultrasónico

Al seleccionar el sensor de proximidad ultrasónico es crucial considerar los criterios de mayores costos y distancia, ya que estos tienen un impacto directo en el rendimiento y eficiencia del sistema de detección de obstáculos. Se ponen en consideración cuatro sensores de proximidad nombrados en la Tabla 5.3 de los cuales se especifican sus características.

Tabla 5.3. Comparación de los sensores ultrasónicos, [44], [45], [46]

Característica	HC-SR04	MaxBotix MB1240	Parallax PING	URM37 V5.0
Figura referencial				
Frecuencia de operación	40 kHz	42 kHz	40 kHz	42 kHz
Rango de detección	2 cm - 400 cm	20 cm - 765 cm	2 cm - 300 cm	5 cm - 500 cm
Precisión	±3 mm	±1 cm	±1 cm	±0.2 cm
Ángulo de detección	15°	20°	15°	20°
Voltaje de operación	5 V	2.5 V - 5.5 V	5 V	5 V
Corriente de operación	15 mA	3 mA	30 mA	20 mA
Interfaz	Trigger y Echo	Serial, Analog, Pulse Width	Single I/O	UART, PWM
Temperatura de operación	-15 °C a 70 °C	-40 °C a 65 °C	0 °C a 70 °C	-10 °C a 70 °C
Dimensiones	45 mm x 20 mm x 15 mm	22 mm x 22 mm x 22 mm	22 mm x 46 mm	45 mm x 20 mm x 15 mm
Costo estimado	\$6 - \$8	\$100 - \$150	\$25 - \$35	\$30 - \$50
Aplicaciones típicas	Robots, Medición de distancia	Robots, Medición de distancia	Robots, Medición de distancia	Robots, Medición de distancia

Al tener las características de cada sensor como siguiente paso, se realiza una matriz de priorización para así determinar qué característica principal debe poseer el sensor de proximidad ultrasónico para implementarlo en el prototipo del robot (AGV), a continuación, en la presente matriz, se muestra las calificaciones de 0 y 1, siendo 0 una característica secundaria y 1 la característica principal que debe poseer el sensor ultrasónico. La matriz de priorización se presenta a continuación en la Tabla 5.4.

Tabla 5.4. Matriz de priorización de características

<b>¿Cuál es la característica principal en un sensor ultrasónico?</b>	Frecuencia de operación	Rango de detección	Precisión	Ángulo de detección	Voltaje de operación	Corriente de operación	Interfaz	Dimensiones	Costo	Total	Orden
Frecuencia de operación		0	0	0	0	0	0	0	0	0	<b>0</b>
Rango de detección	1		1	1	0	0	0	1	1	5	<b>1</b>
Precisión	1	1		0	0	0	0	1	0	3	<b>3</b>
Ángulo de detección	0	0	0		0	0	0	1	1	2	<b>4</b>
Voltaje de operación	1	0	0	0		0	0	1	1	3	<b>3</b>
Corriente de operación	0	0	0	0	0		0	0	1	1	<b>5</b>
Interfaz	1	1	0	0	0	0		0	1	3	<b>3</b>
Dimensiones	1	1	0	1	0	0	0		1	4	<b>2</b>
Costo	1	1	1	0	0	0	0	0		3	<b>3</b>

Al analizar la matriz de priorización, se presenta que la característica principal que debe poseer el sensor de proximidad ultrasónico es el rango de detección de objetos. se puede concluir que la mejor opción basándonos en el resultado de la matriz es el sensor de proximidad ultrasónico HC-SR04, debido a su precio y su rango de detección ofrece un equilibrio adecuado para el prototipo que se va a realizar.

### 5.2.6. Actividad 6. Selección de actuadores y elementos visuales.



La primera etapa en el diseño del prototipo es determinar los dispositivos que se van a utilizar. Esta selección de dispositivos debe ser muy cautelosa para asegurar el funcionamiento y rendimiento óptimo del robot (AGV).

#### 5.2.6.1. Selección de módulo de radiofrecuencia

Para realizar el accionamiento del prototipo de robot (AGV), el factor principal a considerar es el evitar que el trabajador no tenga que manejar manualmente el robot; en este contexto es crucial elegir la mejor opción tecnológica para garantizar el accionamiento eficiente y confiable.

Se consideran dos opciones para el módulo de radiofrecuencia. En la Tabla 5.5 se muestra una comparación entre módulos de radiofrecuencia.

Tabla 5.5. Comparación de módulos de radio frecuencia [47]

Parámetros.	Módulo RF 4 canales	Módulo control relé RF 1 canal.
Figura referencial		
Voltajes de operación del control remoto	12 V DC (pila 12V)	10-14 V DC
Corriente de trabajo del control remoto	10 mA	10 mA
Modo de modulación del control remoto	ASK	ASK
Distancia de transmisión del control remoto.	50 a 100 m en campo abierto	100 metros, campo abierto
Voltaje de operación del receptor RF	5 V DC	12 V DC
Salidas del receptor RF	4	1
Antena del receptor RF	Alambre de cobre de 25 a 32 cm	No cuenta
Costo.	USD 6.50	USD 19.00

Contando con las características de cada módulo de radiofrecuencia, se realiza una matriz de priorización para determinar la característica principal que debe poseer el módulo de radiofrecuencia para implementarlo en el prototipo del (AGV). En la Tabla 5.1 se presentan las calificaciones de 0 y 1, siendo 0 una característica secundaria y 1 una característica principal que debe contar el módulo de radiofrecuencia.

Tabla 5.6. Matriz de priorización de las características de los módulos de radio frecuencia

¿Cuál es la característica principal en un módulo de radiofrecuencia?	Voltajes de operación control remoto.	Corriente de trabajo del control remoto	Modo de modulación del control remoto	Distancia de transmisión del control remoto.	Voltaje de operación del receptor RF	Salidas del receptor RF.	Antena del receptor RF	Costo	Total	Orden
Voltajes de operación del control remoto.		0	0	0	0	0	0	0	0	0
Corriente de trabajo del control remoto	0		0	0	0	0	0	0	0	0
Modo de modulación del control remoto.	0	0		0	0	0	0	0	0	0
Distancia de transmisión del control remoto.	1	1	1		1	1	0	1	6	1
Voltaje de operación del receptor RF	1	1	1	0		1	0	1	5	2
Salidas del receptor RF.	0	0	0	0	0		0	0	0	0
Antena del receptor RF	0	0	0	0	0	0		0	0	0
Costo	1	1	1	1	0	0	0		4	3

Al analizar la matriz de priorización, se presenta que las características principales que debe poseer el módulo de radiofrecuencia son la distancia de transmisión del control remoto, el voltaje de operación del receptor RF y el costo, concluyendo que la mejor opción basándose en los resultados es el módulo RF de cuatro canales, el cual es una opción óptima para aplicarlo en el prototipo de robot autónomo.

#### 5.2.6.2. Selección de motores DC

Para seleccionar los motores a utilizar, se debe tomar en cuenta las especificaciones del motor y cuál es el más óptimo para el proyecto. En la Tabla 5.7 se presentan las características de los dos motores a considerar para el prototipo.

Tabla 5.7. Características del motor reductor [48]

Parámetros	Motor con caja reductora JGA25-370 DC	Motor Pololu 12 V con caja reductora
Figura referencial		
Tipo de motor	Motor de corriente continua con reductor	Motor de engranajes con caja de cambios
Voltaje de operación	12 V	12 V
RPM	620 RPM	1000 RPM (aproximado)
Peso	83.9 g	100 g (aproximado)
Calidad	Variada	Verificada y documentada
Costo	\$16.45	\$39.99 (aproximado)
Control de velocidad	Controlador simple o PWM	Controlador simple o PWM
Aplicaciones	Drones, vehículos RC, robótica	Proyectos de robótica y automatización

Contando con las características de los motores, se realiza una matriz de priorización para determinar la característica principal que debe poseer el motor para poder implementarlo en el prototipo del (AGV). En la Tabla 5.8 se presentan las calificaciones de 0 y 1, siendo 0 una característica secundaria y 1 una característica principal que debe contar el motor

Tabla 5.8. Matriz de priorización de las características de los motores DC

¿Cuál es la característica principal en un motor?	Tipo de motor	Voltaje de operación	RPM	Peso	Calidad	Costo	Control de velocidad	Aplicaciones	Total	Orden
Tipo de motor	0	0	0	0	1	1	0	1	3	3
Voltaje de operación	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RPM	1	1	0	1	1	1	0	0	5	1
Peso	0	0	1	0	1	1	0	0	3	3
Calidad	1	1	0	0	0	1	0	1	4	2
Costo	1	1	1	1	0	0	0	1	5	1
Control de velocidad	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Aplicaciones	1	1	1	1	0	0	0	0	4	2




Al analizar la Tabla 5.8 se identifican las principales características que debe tener el motor que se incorporará al prototipo del robot autónomo. En primer lugar, es fundamental que el motor tenga un alto número de revoluciones por minuto, dado que el robot está diseñado para transportar cargas, lo que requiere motores con gran potencia. En segundo lugar, el costo del motor debe estar dentro del presupuesto asignado. También se consideran la calidad del motor y las aplicaciones en las que estos motores son más comúnmente utilizados.

En conclusión, la mejor opción es el motor Pololu de 12V con caja reductora, ya que ofrece una calidad comprobada y un mayor número de revoluciones por minuto. Aunque su costo es ligeramente superior al de otros motores, las características mencionadas son determinantes para la selección de este motor.

### 5.2.6.3. Selección del ESP32

La selección del módulo ESP32 se la debe realizar con mucho cuidado, debido a que este será el que controlará todas las funciones del robot de carga autónomo. En la Tabla 5.9 se presenta tres diferentes ESP32 con sus principales características.

Tabla 5.9. Comparación del ESP32 [49]

Característica	ESP32 WROOM	ESP32 WROVER	ESP32-S2
Figura referencial			
Velocidad de CPU	Hasta 240 MHz	Hasta 240 MHz	Hasta 240 MHz
Memoria flash	4 MB	4 MB / 8 MB	4 MB
Memoria RAM	520 KB SRAM	520 KB SRAM + 8 MB PSRAM	320 KB SRAM
WiFi	802.11 b/g/n	802.11 b/g/n	802.11 b/g/n
Bluetooth	v4.2 BR/EDR y BLE	v4.2 BR/EDR y BLE	No
GPIOs	38	34	34
Interfaz	SPI, I2C, UART, ADC, DAC, PWM, I2S	SPI, I2C, UART, ADC, DAC, PWM, I2S	SPI, I2C, UART, ADC, DAC, PWM, I2S
Temperatura de operación	-40°C a 125°C	-40°C a 125°C	-40°C a 125°C
Dimensiones	25.5 mm x 18 mm	31.4 mm x 18 mm	25.5 mm x 18 mm
Costo	\$12	\$6	\$7

Contando con las características de los ESP32, se realiza una matriz de priorización para determinar la característica principal que debe poseer el ESP32 motor para poder implementarlo en el prototipo del (AGV). En la Tabla 5.10 se presentan las calificaciones de la matriz de priorización.

Tabla 5.10. Matriz de priorización de las características de los ESP32

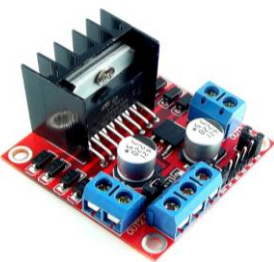

¿Cuál es la característica principal en ESP32?	Velocidad de CPU	Memoria flash	Memoria RAM	WiFi	Bluetooth	GPIOs	Interfaz	Temperatura de	Dimensiones	Costo	Total	Orden
Velocidad del CPU	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Memoria Flash	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Memoria RAM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
WiFi	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bluetooth	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
GPIOs	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2	2
Interfaz	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Temperatura de operación	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Dimensiones	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	3
Costo	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	10	1

Al revisar la Tabla 5.10, se destacan tres características clave que debe tener el módulo ESP32: primero, su costo debe estar dentro del presupuesto; segundo, el número de pines; y tercero, el tamaño del módulo. Tras analizar estas características, se concluye que la mejor opción es el ESP32 WROOM, ya que es más económico que los demás. El costo fue el factor decisivo, ya que todos los módulos ESP32 ofrecen las mismas funciones, pero a medida que aumenta el número de pines, también aumentan el tamaño y el precio del módulo.

#### 5.2.6.4. Selección de Driver para motores DC

Al realizar un prototipo (AGV) es crucial considerar la velocidad y dirección de los motores de corriente continua. Para el control de estos motores los drivers poseen tecnología avanzada que proporciona un control suave y preciso de la velocidad y dirección de los motores. Se ponen en consideración dos drivers para motores en la Tabla 5.11, de los cuales se especifican sus características.

Tabla 5.11. Comparación de Driver para motores DC [50]

Parámetros.	Drive puente H l298N 2A.	Drive IRF 3205.
Figura referencial.		
N° Canales.	2	4
N° motores DC	Soporta 2 motores DC	Soporta 4 motores DC
Voltaje lógico	5 V	3V -36 V
Consumo de corriente	0 a 36 mA	10 A
Peso	30 g	53 g
Costo	USD 7.00	USD 15.36

Al analizar las características más importantes de los drivers comparados en la Tabla 5.11, se busca obtener una opción ideal para controlar el movimiento de los motores. Con base en lo mencionado, se realiza una matriz de priorización para determinar la característica principal que debe poseer el Driver para poder implementarlo en el prototipo del (AGV). En la Tabla 5.12 se presentan las calificaciones de la matriz de priorización.

Tabla 5.12. Matriz de priorización de las características de los drivers


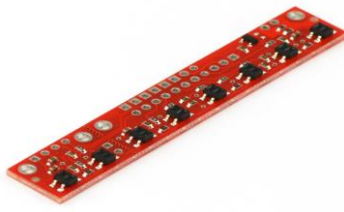
¿Cuál es la característica principal en un driver?	Nº Canales	Nº motores DC	Voltaje lógico	Consumo de corriente	Peso	Costo	Total	Orden
Nº Canales	1	0	0	1	0	2	2	
Nº motores DC	0	1	1	1	1	4	1	
Voltaje lógico	0	0	0	0	0	0	0	
Consumo de corriente	0	0	1	0	0	0	0	
Peso	0	0	0	0	0	0	0	
Costo	1	1	0	0	0	2	2	

Al revisar la Tabla 5.12 se destacan tres características fundamentales que debe tener el controlador para motores DC: primero, la cantidad de motores que se pueden conectar; segundo, el costo del controlador; y tercero, el número de canales de conexión disponibles. Tras evaluar estas características, se concluye que la mejor opción es el Driver IRF 3205, ya que ofrece un mayor número de canales y una mayor capacidad para conectar motores. La capacidad para soportar más motores fue el factor decisivo, ya que, aunque todos los controladores cumplen con la función de controlar el movimiento de los motores, no todos pueden manejar hasta cuatro motores.

#### 5.2.6.5. Selección de sensores seguidores de línea

La característica principal de este prototipo de robot AGV es la navegación basada en el seguimiento de una ruta trazada en el piso; en este caso se utilizará una línea de color negro. En base a las características de movimiento que debe tener el robot, se ponen en consideración dos sensores infrarrojos seguidores de línea. Estos sensores tienen las características presentadas en la Tabla 5.13.

Tabla 5.13. Selección de sensores seguidores de línea [51], [52]

Parámetro	Sensor TCRT5000	Sensor QTR-8 (Arreglo de 8 sensores)
Figura referencial		
Tipo de Salidas	Digital	Digital
Alimentación	3.3 V – 5 V	5 V
Rango	0-10 cm (óptimo a 3-6 mm)	3 mm (óptimo)
Consumo de Corriente	20 mA (aproximado)	100 mA - 160 mA
Temperatura de Funcionamiento	-25 °C a 85 °C	-20 °C a 70 °C
Costo	\$2.60	\$8.20 (para el arreglo de 8 sensores)

Al analizar las características más importantes de los sensores presentados, como siguiente paso, se busca obtener la opción ideal para controlar la navegación del robot.

Con base en lo mencionado en la Tabla 5.14, se presenta una matriz de priorización para determinar la característica principal que deben poseer los sensores para ser implementados en el robot autónomo.

Tabla 5.14. Matriz de priorización de características de los sensores seguidores de línea

¿Cuál es la característica principal de los sensores?	Tipo de Salidas	Alimentación	Rango	Consumo de Corriente	Temperatura de Funcionamiento	Costo	Total	Orden
Tipo de Salidas	0	0	0	0	0	0	0	0
Alimentación	0	0	0	0	0	0	0	0
Rango	1	1	0	1	1	1	5	1
Consumo de Corriente	0	0	0	0	0	0	0	0
Temperatura de Funcionamiento	0	0	0	0	0	0	0	0
Costo	1	1	1	0	1	0	4	2

Al revisar la Tabla 5.14 se destacan dos características esenciales que deben tener los sensores seguidores de línea, en primer lugar, el rango de detección de la línea, y, en segundo lugar, el costo de los sensores. Tras evaluar estas características, se concluye que el sensor TCRT5000 es la mejor opción, ya que ofrece un rango de detección superior. Esto permite que el sensor no necesite estar cerca del suelo para leer la línea, sino que puede colocarse a una mayor distancia del suelo y aun así realizar la detección de manera efectiva.

### 5.2.6.6. Selección de batería.

El seleccionar una batería óptima que pueda abastecer el funcionamiento del robot es crucial para el proyecto. En base a lo descrito en la Tabla 5.15, se presenta las características principales de tres baterías, las cuales son consideradas para abastecer de energía al robot.

Tabla 5.15. Características de las baterías [53], [54]

Parámetro	Batería LiPo 3 celdas (11.1 V, 2200 mAh)	Batería LiPo 3S 850 mAh	Batería LiPo 3S 5000 mAh
Figura referencial			
Capacidad máxima	2200 mAh	850 mAh	5000 mAh
Descarga constante	25C (55 A)	25C (21.25 A)	30C (150 A)
Peso del paquete	200 g (aproximado)	100 g (aproximado)	500 g (aproximado)
Carga del enchufe	1C (2.2 A)	1C (0.85 A)	1C (5 A)
Costo	\$39.99	\$10 - \$15	\$30 - \$50

Contando con las características de las baterías, se realiza una matriz de priorización para determinar la característica principal que debe poseer el motor para poder implementarlo en el prototipo del (AGV). En la Tabla 5.16 se presentan las calificaciones de 0 y 1, siendo 0 una característica secundaria y 1 una característica principal que debe contar el motor.

Tabla 5.16. Matriz de priorización de características de las baterías

¿Cuál es la característica principal en una batería?	Capacidad máxima	Descarga constante	Peso del paquete	Carga del enchufe	Costo	Total	Orden
Capacidad máxima		0	1	1	1	3	1
Descarga constante	1		1	0	0	2	2
Peso del paquete	0	0		0	0	0	0
Carga del enchufe	0	0	0		0	0	0
Costo	1	0	0	0		1	3

Al analizar la Tabla 5.16 se identifican tres características esenciales que deben tener las baterías: en primer lugar, la capacidad máxima de carga; en segundo lugar, la tasa de descarga constante; y, en tercer lugar, el costo. Después de evaluar estos aspectos, se concluye que la batería LiPo de 3 celdas (11.1 V, 2200 mAh) es la opción más adecuada, ya que ofrece una capacidad de carga superior en comparación con las demás. Esto permite que los motores funcionen por más tiempo sin enfrentar problemas como el agotamiento rápido de la batería.

### 5.2.7. Actividad 7. Diseño 3D de una carcasa adaptada al proceso logístico

Para el diseño de la carcasa del robot de carga autónoma se tomó en cuenta el tamaño y ubicación de los elementos electrónicos y mecánicos, así como el tamaño de la canasta que se utilizaría para colocar paquetes/cajas. Se escogió un tipo de locomoción con ruedas y una estructura compacta y de baja altura, porque es una de las mejores opciones para transportar objetos en lugares planos y capacidad de maniobrar.

Con lo anterior mencionado, se estableció el tamaño y la forma del chasis con las dimensiones mostradas a continuación como el diseño mecánico (AGV). Se presenta la vista lateral izquierda, vista superior, vista inferior, vista frontal, que se obtuvo con el software SolidWorks, más adelante se presentan las diferentes vistas del robot autónomo.

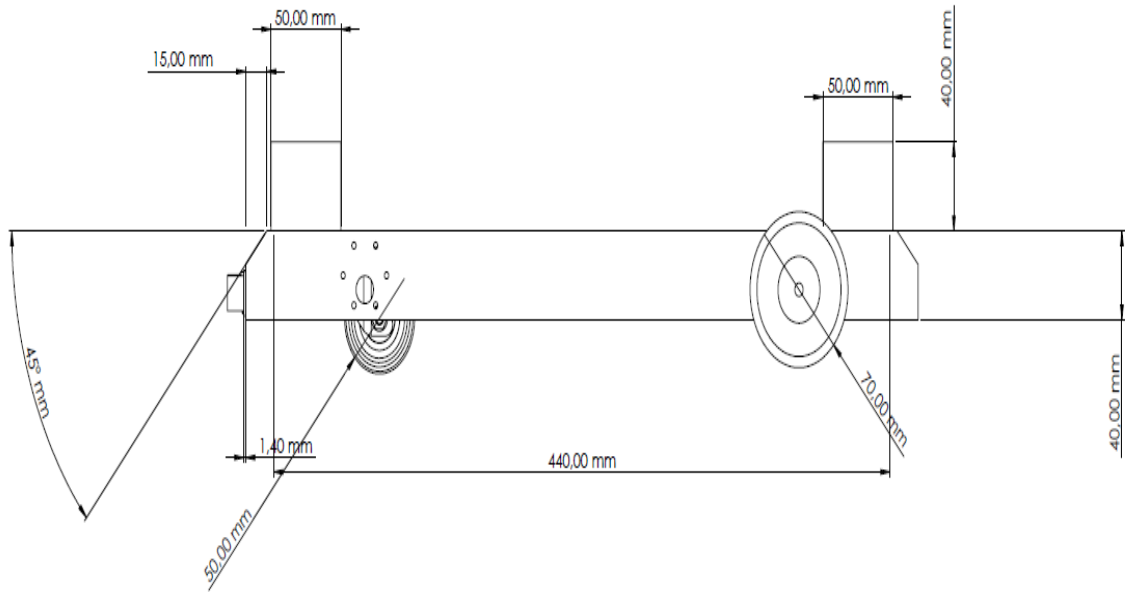


Figura 5.8. Vista lateral izquierda de la carcasa del AGV



Figura 5.9. Vista Superior de la carcasa del AGV

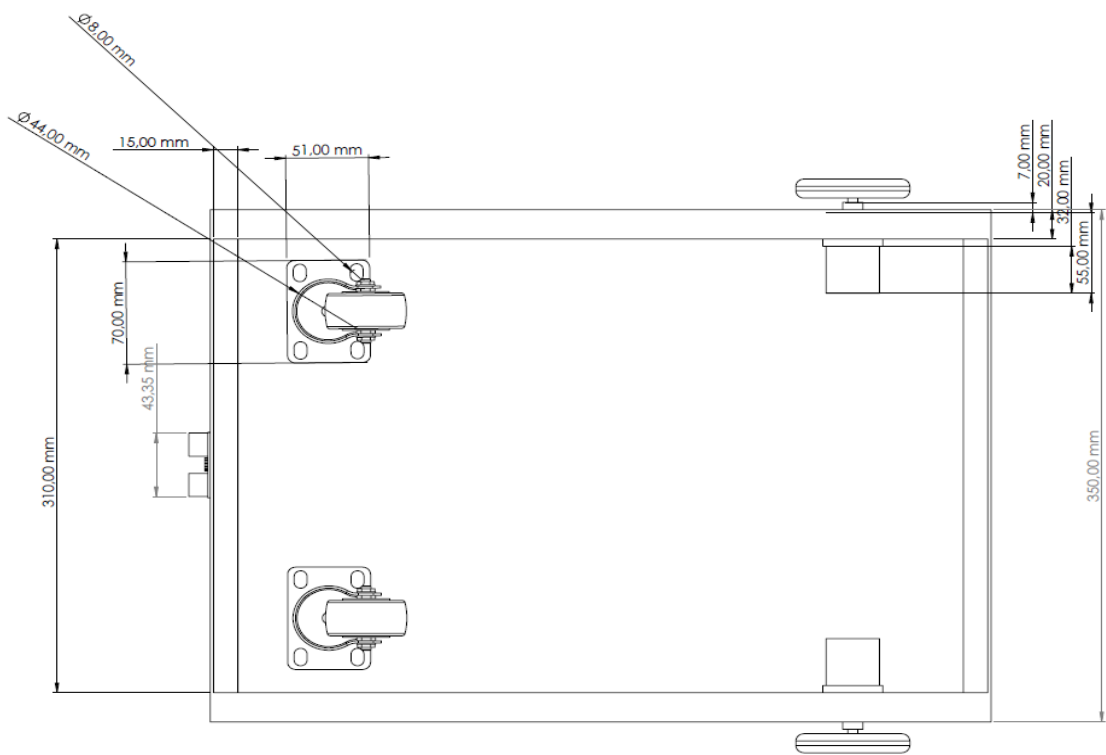


Figura 5.10. Vista inferior de la carcasa del AGV

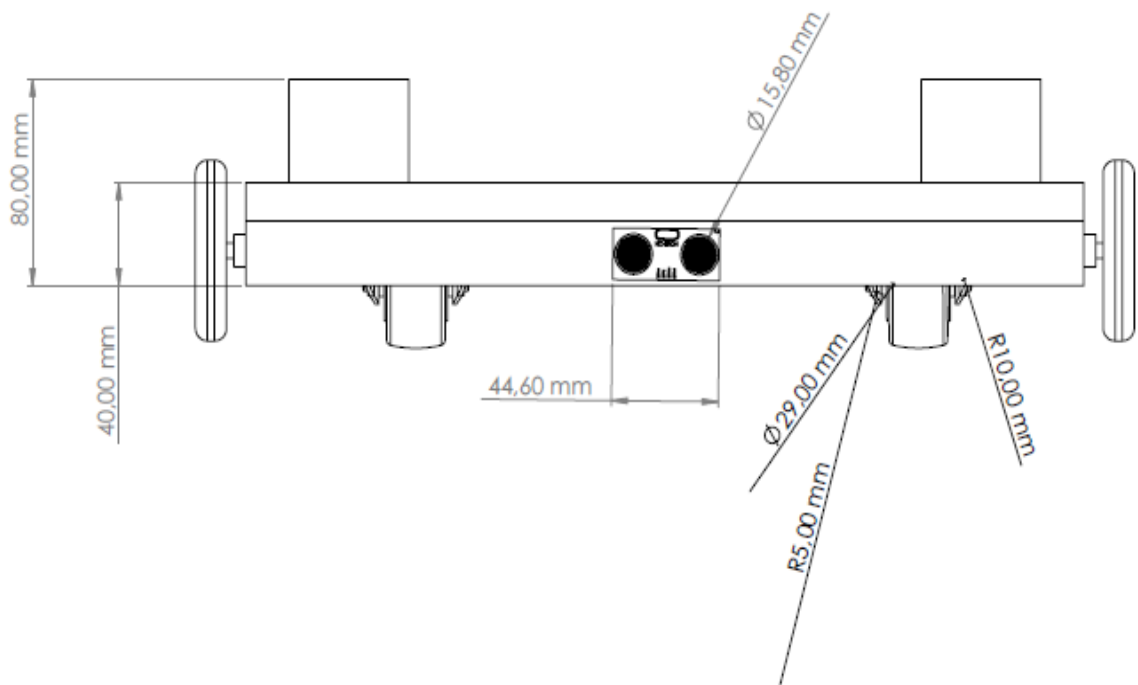


Figura 5.11. Vista frontal de la carcasa del AGV

Para la construcción de la carcasa se utiliza una plancha laminada en frío de acero negro de 1.1 mm de espesor. Con el propósito de que la estructura no se deforme al colocar peso sobre el robot, este procedimiento de corte fue realizado mediante corte láser. Este diseño compacto permitiría al robot navegar sin ningún problema dentro de la empresa, adicional se colocaron dos garruchas en la parte delantera del robot con el propósito de mejorar la movilidad del robot al momento de realizar maniobras complicadas, en la parte superior se colocó topes de seguridad que evitaran que el material transportado pueda caerse debido al movimiento del robot, en la

Figura 5.12, se puede observar a) vista frontal, b) vista isométrica frontal izquierda y c) vista inferior con sus diferentes componentes.

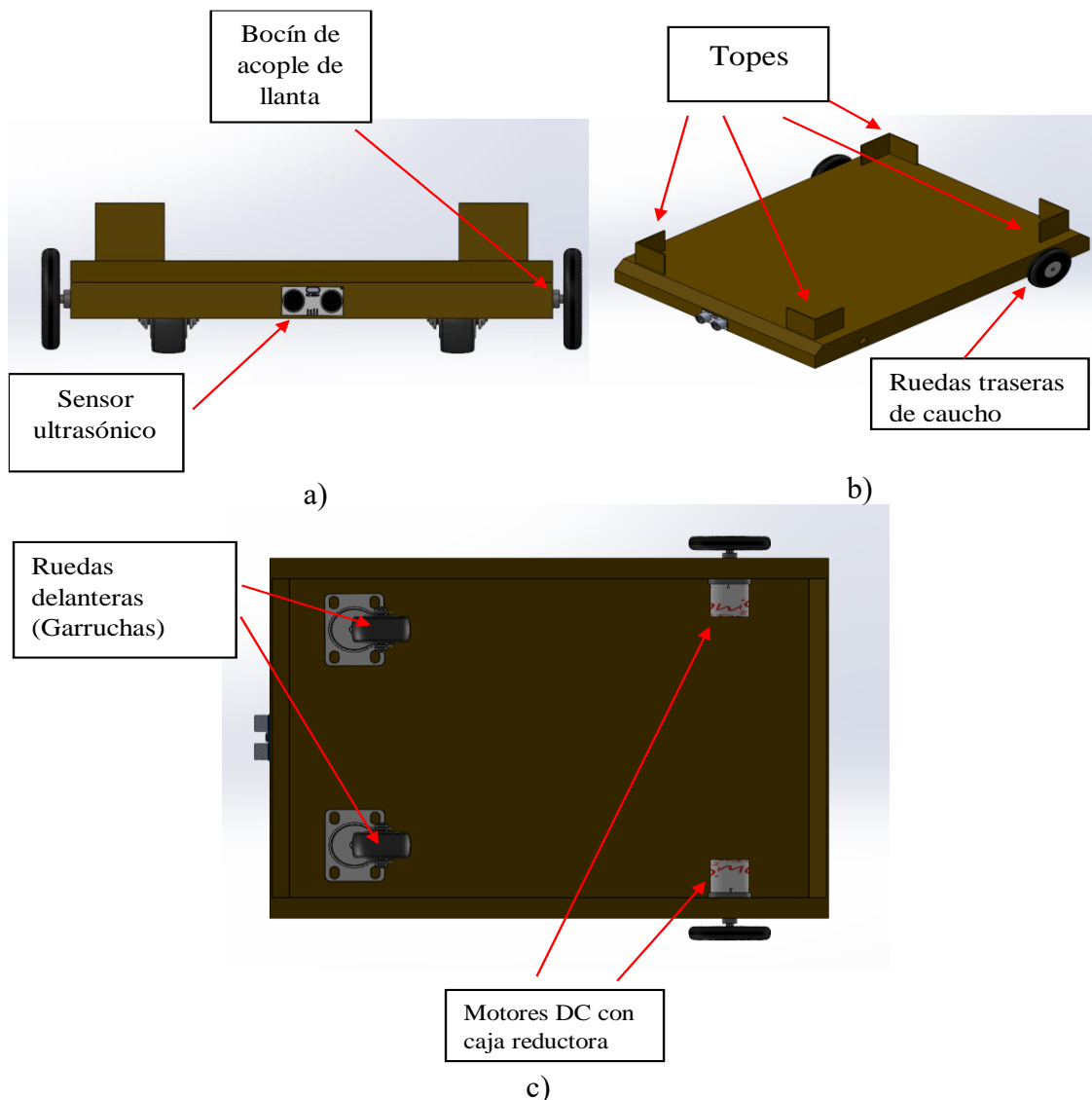


Figura 5.12. a) Vista frontal, b) Vista isométrica frontal izquierda, c) Vista inferior

### 5.2.8. Actividad 8. Diseño de bocines para acople de motor-estructura

El diseño de los bocines para acoplar el motor con la estructura se basó en la forma del eje del motor DC de 12 V con caja reductora, el cual tiene un lado plano y otro de media circunferencia, de la misma manera que la estructura del robot autónomo, el diseño del bocín fue realizado en el software SolidWorks.

El diseño de los bocines se puede observar en la Figura 5.13, en donde a) Vista isométrica frontal del bocín y b) Vista isométrica posterior del bocín.

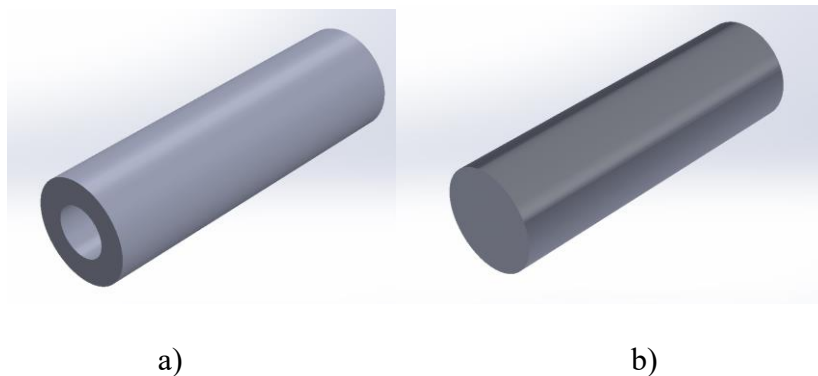


Figura 5.13. a) Vista isométrica frontal del bocín, b) Vista isométrica posterior del bocín

El material que se decidió utilizar es un eje de acero de transmisión; en el mecanizado de los dos bocines fue la barra de acero redonda. Los bocines fueron fabricados en un torno en el cual se inició con un proceso de desbastado hasta obtener el diámetro requerido; posteriormente se realizó el taladrado de la pieza; terminado la operación en el torno, se realizó una perforación en el bocín para poder acoplar a los motores y las llantas con prisioneros. Ver Figura 5.14 en el cual se presenta el diseño de bocines para acople de motor-estructura.

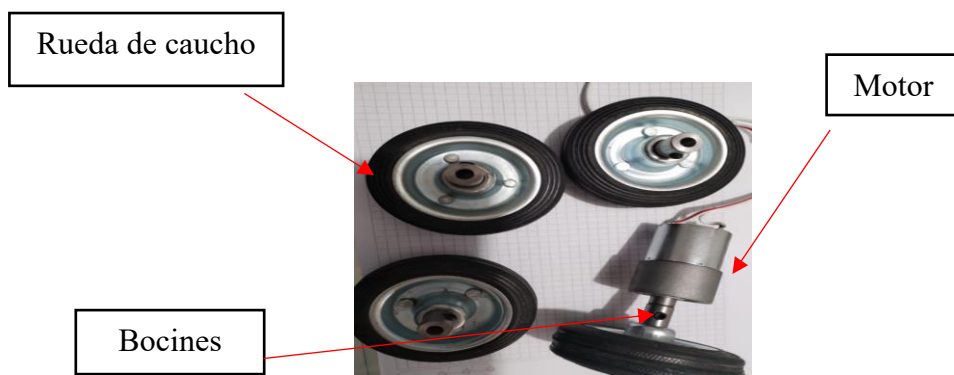


Figura 5.14. Diseño de bocines para acople de motor-estructura, fabricados y ensamblados

### 5.2.9. Actividad 9. Diseño del sistema electrónico

Para realizar el sistema eléctrico del robot autónomo se utilizó la herramienta PROTEUS, en donde se desarrolló el circuito esquemático, permitiendo desarrollar las diferentes conexiones eléctricas. Basándose en la arquitectura electrónica que se presenta en la Figura 5.15.

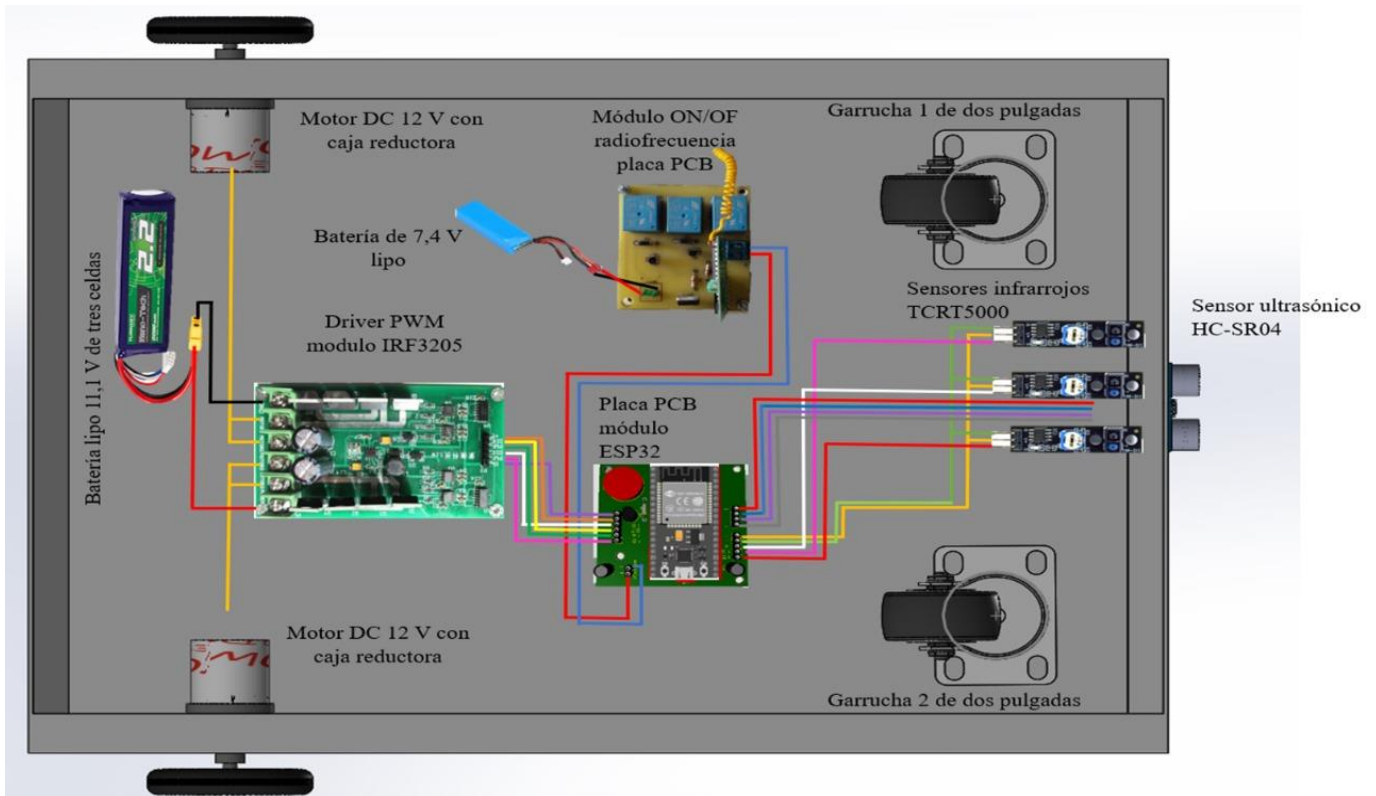


Figura 5.15. Arquitectura del sistema electrónico del AGV

En base a lo anterior se diseñarán unas placas de circuito impreso (PCB), para los sensores de línea, ON/OFF y el ESP32. Estas placas permitirán realizar las conexiones físicas de los diferentes componentes que se van a utilizar.

#### 5.2.9.1. Placa de circuito impreso (PCB) para los sensores de línea

El diseño del circuito esquemático para la placa de los sensores de línea está basado para colocar tres sensores TCRT5000 en la placa, los cuales funcionan a 5 V y tendrán la tarea de enviar datos a la ESP32 acerca del color que detecten (Blanco o negro). El diseño de la placa PCB se presenta a continuación en la Figura 5.2.

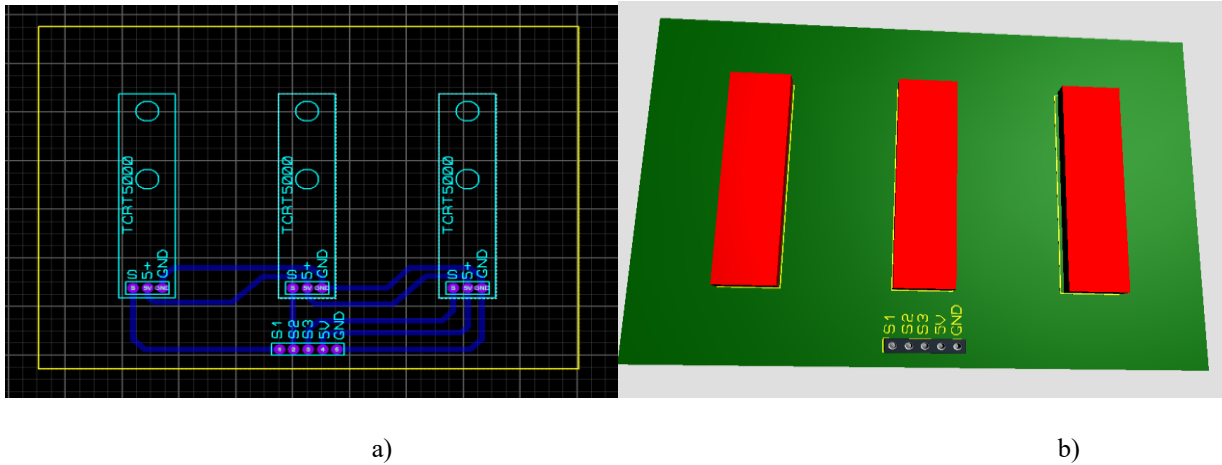


Figura 5.16. a) Diseño en 2D de la (PCB) de los sensores seguidores de línea, b) Diseño en 3D de la (PCB) de los sensores seguidores de línea

### 5.2.9.2. Placa de circuito impreso (PCB) para el sistema de encendido y apagado (ON/OFF)

En la Figura 5.17 se presenta el diseño de la placa PCB para el encendido y apagado, en la cual estará integrado el módulo receptor de radiofrecuencia que funciona a 5V, tres relés de los cuales dos serán utilizados para abrir el paso de energía y el otro relé se utilizó para cerrar el paso de energía, adicional la placa estará alimentada por una batería lipo de 7.4 V, la cual será enviada a la placa del ESP32.

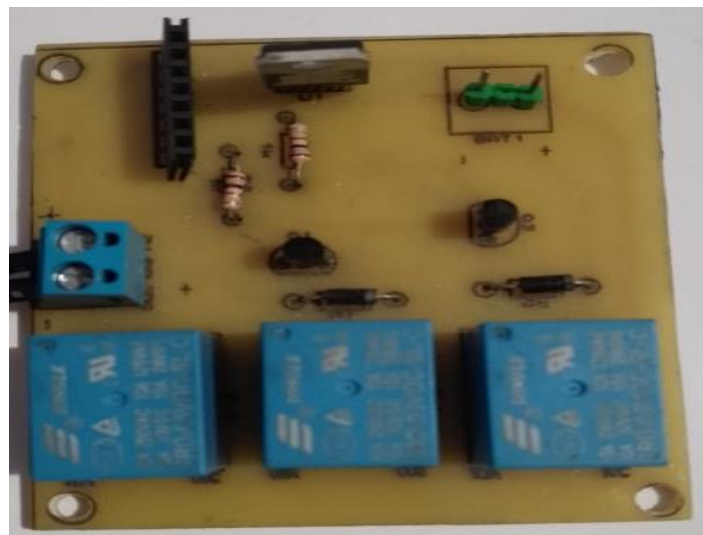


Figura 5.17. Placa PCB del encendido y apagado

### 5.2.9.3. Placa de circuito impreso (PCB) para el ESP32

La placa diseñada para el ESP32 de 38 pines recibirá la energía enviada por la placa (ON/OFF), la cual pasará por un regulador de voltaje que convertirá los 7 V a 5 V que es el voltaje que trabaja la ESP32, adicional tendrá la tarea de recibir la señal de los sensores TCRT5000, el sensor de distancia y controlar el driver IRF 3205. El diseño de la placa PCB se presenta en la Figura 5.18.

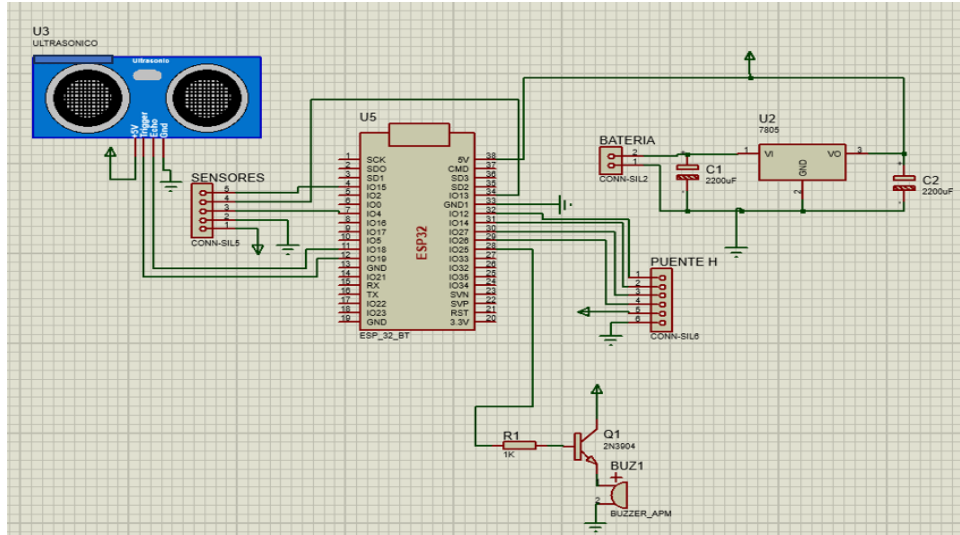


Figura 5.18. Diseño 2D de la placa PCB del ESP32

Adicional al diseño del circuito esquemático, en la Figura 5.19 se presenta la PCB para el ESP32 en formato 3D con sus respectivos elementos integrados.

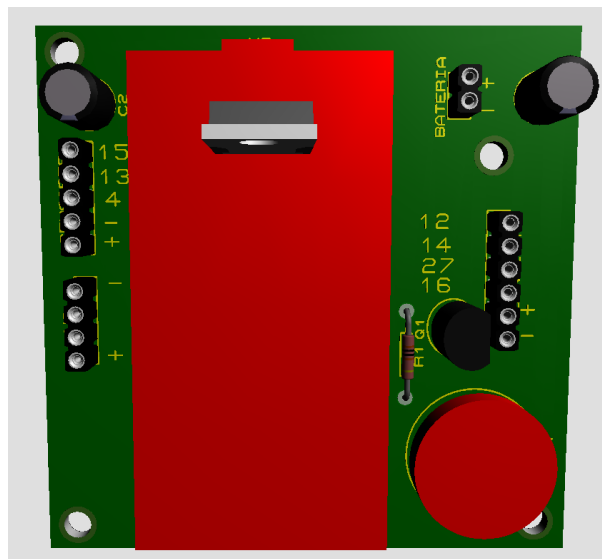


Figura 5.19. Diseño 3D de la PCB del ESP32

### 5.2.10. Actividad 10. Diseño del sistema sensorial

El diseño del sistema sensorial está basado en que los sensores utilizados permitan al (AGV) operar de manera autónoma en entornos industriales, permitiéndole guiarse y desplazarse de manera segura. El robot de carga autónoma está compuesto de sensores de línea y un sensor ultrasónico que le permite detectar un objeto que se encuentre desde 2 cm hasta 4 m y detenerse, evitando así una colisión con el objeto que se encuentra en su ruta. A continuación, se presentan los sistemas sensoriales que posee el (AGV).

#### 5.2.10.1. Sistema de Sensores de línea

Los módulos seguidores de línea TCRT5000 colocados por debajo de la carcasa del robot son de vital importancia para poder detectar una franja de color negro en el piso, la misma que indicará el camino que deberá seguir el robot de carga autónomo dentro de un entorno logístico. Se utilizaron este tipo de sensores, ya que estos poseen una distancia de reflexión de 1-25 mm; esta es una distancia mayor que los sensores de línea tradicionales. Cada sensor tiene una salida digital que va conectada hacia el ESP32/WROOM. Se puede observar la ubicación de los módulos en la Figura 5.20.

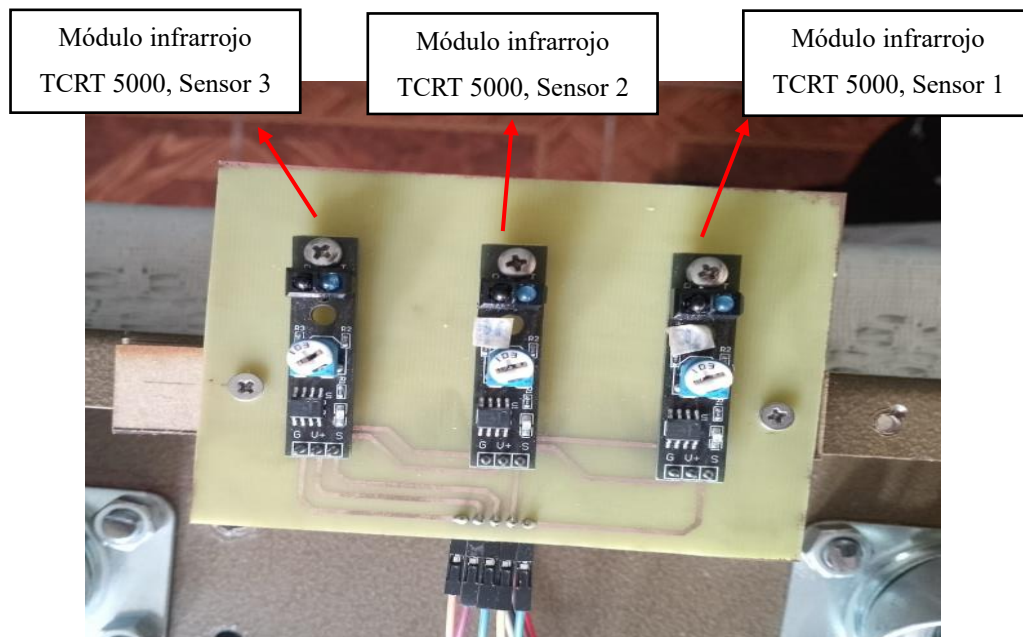


Figura 5.20. Placa PCB con los sensores infrarrojos de línea

### 5.2.10.2. Sensor de distancia

El robot autónomo (AGV) requiere de un sistema sensorial que le permita evitar chocarse con obstáculos; con este fin se utilizó un sensor digital de proximidad ultrasónico HC-SR04, el cual es capaz de detectar objetos a una distancia de 2 cm a 4 metros. Este sensor funciona utilizando el principio de emitir ondas sonoras a una frecuencia superior al rango de audición humana y midiendo el tiempo que tarda el eco en regresar al sensor, emitiendo así una señal de detección. El funcionamiento del sensor no se ve afectado por la luz solar. A continuación, se presenta en la Figura 5.21 el sensor ultrasónico acoplado en el robot autónomo.

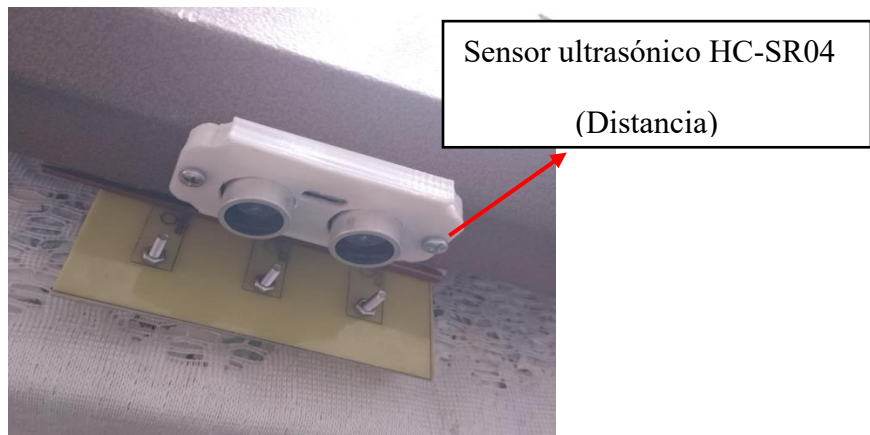


Figura 5.21. Sensor ultrasónico acoplado

Este sensor ultrasónico permitirá identificar la presencia de objetos o personas que obstruyan el camino del robot. Al detectar el sensor un objeto o persona a una distancia preestablecida mediante programación, el robot se detendrá hasta que el objeto sea retirado, así pudiendo precautelar la integridad de los objetos o personas que se encuentren dentro del entorno donde se está movilizandando el robot.

### 5.2.11. Actividad 11. Ensamble final del AGV

En la Figura 5.22 se presenta el ensamble final del hardware del robot autónomo, observándose la estructura mecánica terminada, basándose en el diseño que se presenta en la

Figura 5.12, presentándose también los elementos electrónicos mencionados anteriormente, teniendo en cuenta la ubicación presentada en la Figura 5.15.

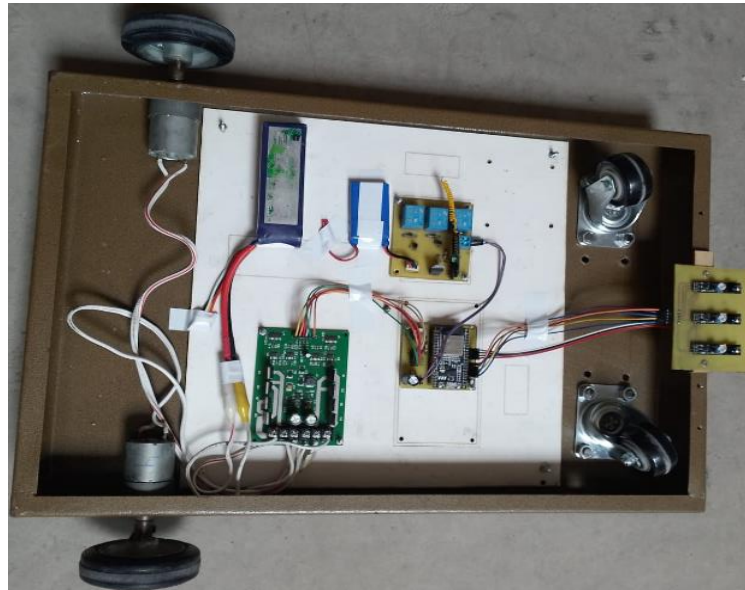


Figura 5.22. Hardware terminado y ensamblado del AGV

## **5.2.12. Actividad 12. Desarrollo del software y programación de algoritmos que utilizará el AGV.**

### **5.2.12.1. Desarrollo del software**

A continuación, se describe el desarrollo del software que se utilizó en el proyecto; esta etapa se la presentará mediante diagramas de flujo de los algoritmos utilizados en el proceso de automatización del robot. Estos algoritmos permitirán que la información enviada por los sensores sea procesada, permitiendo que el robot pueda interactuar con el entorno.

Para que el robot pueda ser autónomo, se desarrolló cuatro algoritmos, el primero para rastrear la línea negra colocada en el piso y con eso poder movilizarse (algoritmo seguidor de línea), el segundo para poder detectar objetos en el camino (algoritmo detector de obstáculos), el tercero para activar la señal de alerta (algoritmo señal de alerta), y el cuarto para poder encender y apagar remotamente el robot (algoritmo ON/OFF).

### 5.2.12.2. Algoritmo seguidor de línea

Para que el robot autónomo (AGV) pueda seguir la trayectoria marcada con una línea negra, se utilizó dos tipos de sensores: sensores de línea (infrarrojos) y un sensor de proximidad ultrasónico. Los sensores de línea (infrarrojos) se utilizan para poder detectar la línea de color negro que se encuentra en el piso. El sensor de proximidad se utiliza para que pueda detectar objetos que se encuentren obstaculizando el camino e interrumpan el desplazamiento del robot.

El desplazamiento del robot depende en gran medida del sensor de proximidad que se utilizó, ya que este debe notificar al sistema que no se encuentran objetos que obstaculicen la trayectoria a seguir. Si esta condición se cumple, se ponen en funcionamiento los datos proporcionados por los sensores de línea (infrarrojos).

Se utilizaron tres sensores infrarrojos en la parte delantera del robot, los cuales se nombraron S1 (sensor 1), S2 (sensor 2) y S3 (sensor 3). En donde si los sensores detectan el color blanco, arrojan un valor de cero lógico y si detectan la línea negra, el valor es de uno lógico. Para que se puedan ejecutar las acciones de avance, giro hacia la derecha, giro hacia la izquierda y poder detenerse, se utilizaron las condiciones mostradas en la Tabla 5.17.

Tabla 5.17. Condiciones del algoritmo seguidor de línea

S1	S2	S3	ACCIÓN
0	1	0	Adelante
0	1	1	Derecha
1	1	0	Izquierda
1	1	1	Paro

En la Figura 5.23 se presenta el diagrama de flujo del proceso seguidor de línea del robot. En el cual se detallan las condiciones que debe realizar el robot.

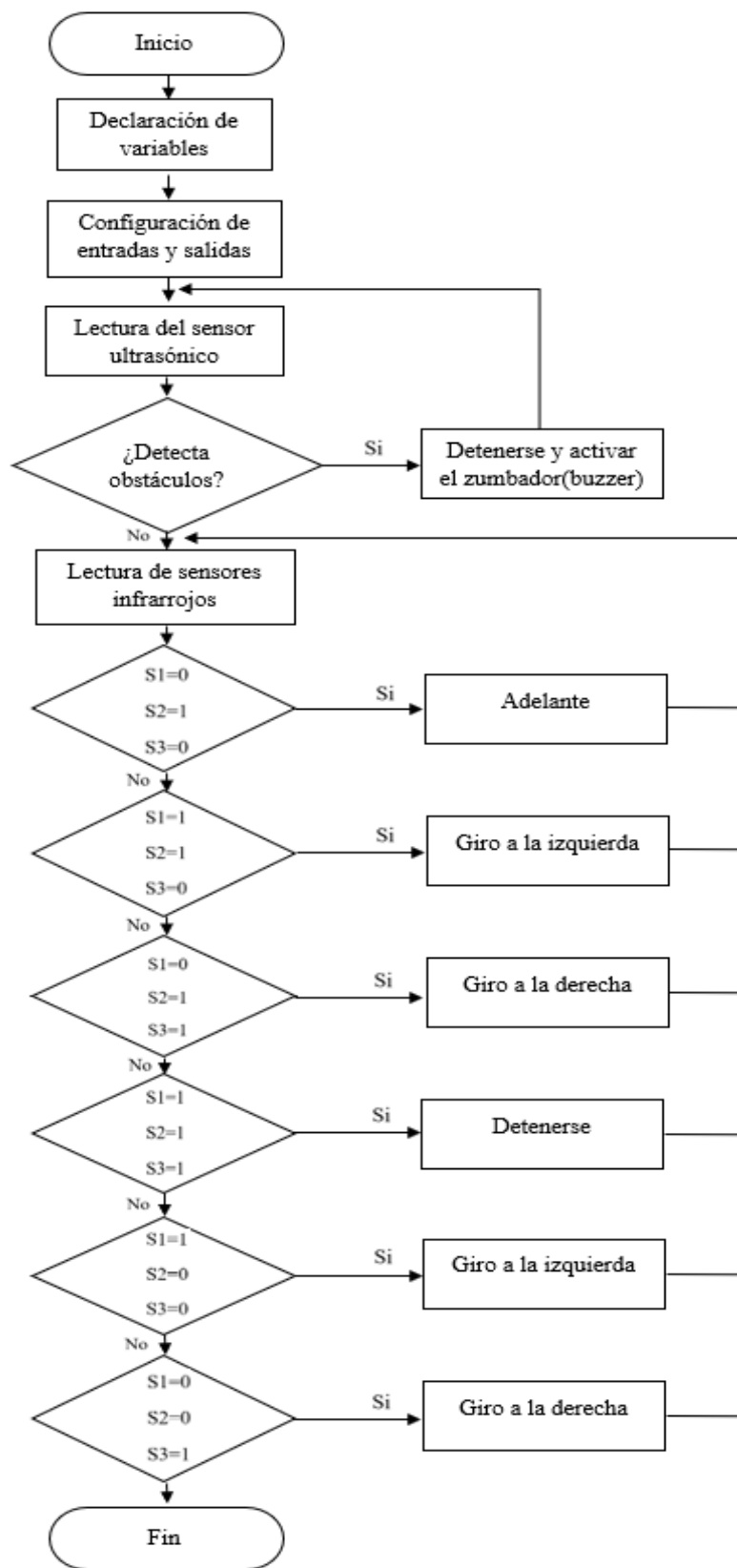


Figura 5.23. Diagrama de flujo del proceso seguidor de línea del robot

### 5.2.12.3. Algoritmo detector de objetos

El algoritmo detector de objetos se utilizó para detectar objetos sin la necesidad de tener contacto con ellos. El algoritmo inicia con la detección del objeto a través de ondas sonoras que impactan sobre el objeto; las ondas sonoras son detectadas a través del sensor ultrasónico, el cual emite una señal de detección. Al detectar esta señal el robot se detendrá y no avanzará hasta que el objeto sea retirado.

A continuación, en la Figura 5.24 se presenta el diagrama de flujo del proceso de detección de objetos.

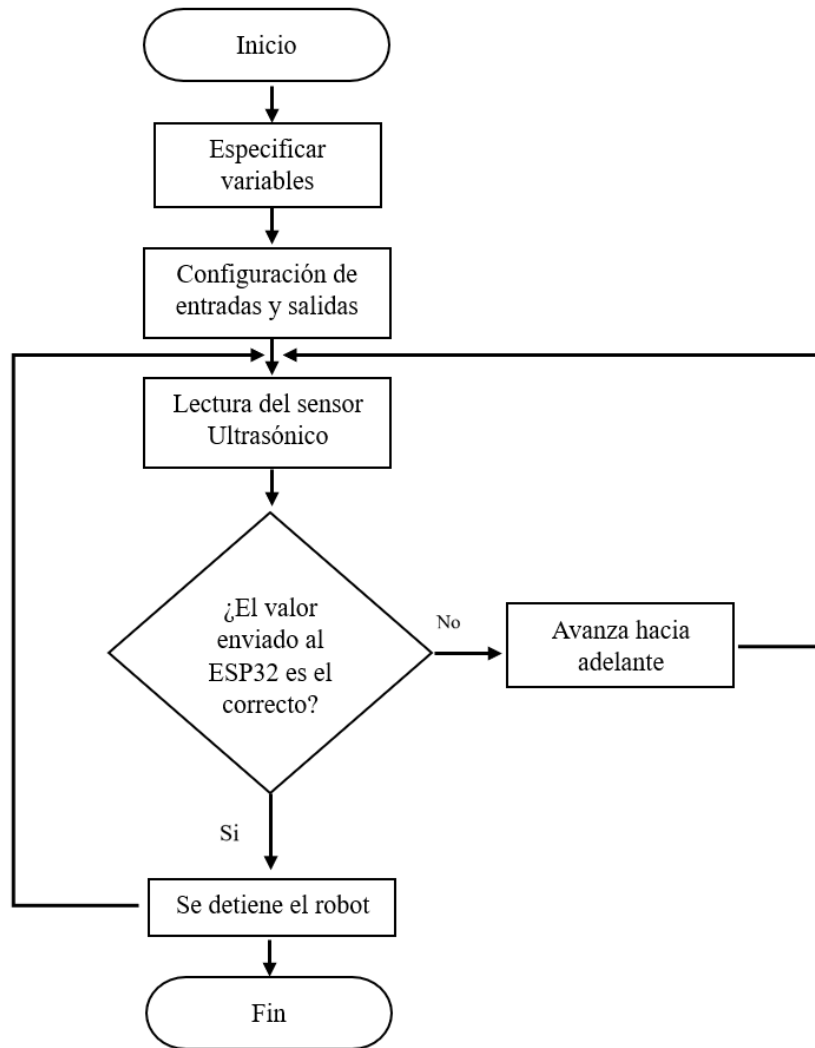


Figura 5.24. Diagrama de flujo del algoritmo de detección de obstáculos

#### 5.2.12.4. Algoritmo Señal de alerta

En el algoritmo utilizado para la señal de alerta está involucrado el sensor ultrasónico de proximidad, el cual al detectar un objeto en el camino del robot seguidor de línea producirá una alarma acústica que permitirá que los trabajadores puedan movilizarse para retirar el objeto que está obstaculizando al robot. A continuación, se presenta en la Figura 5.25 un diagrama de flujo presentado el proceso de activación del buzzer.

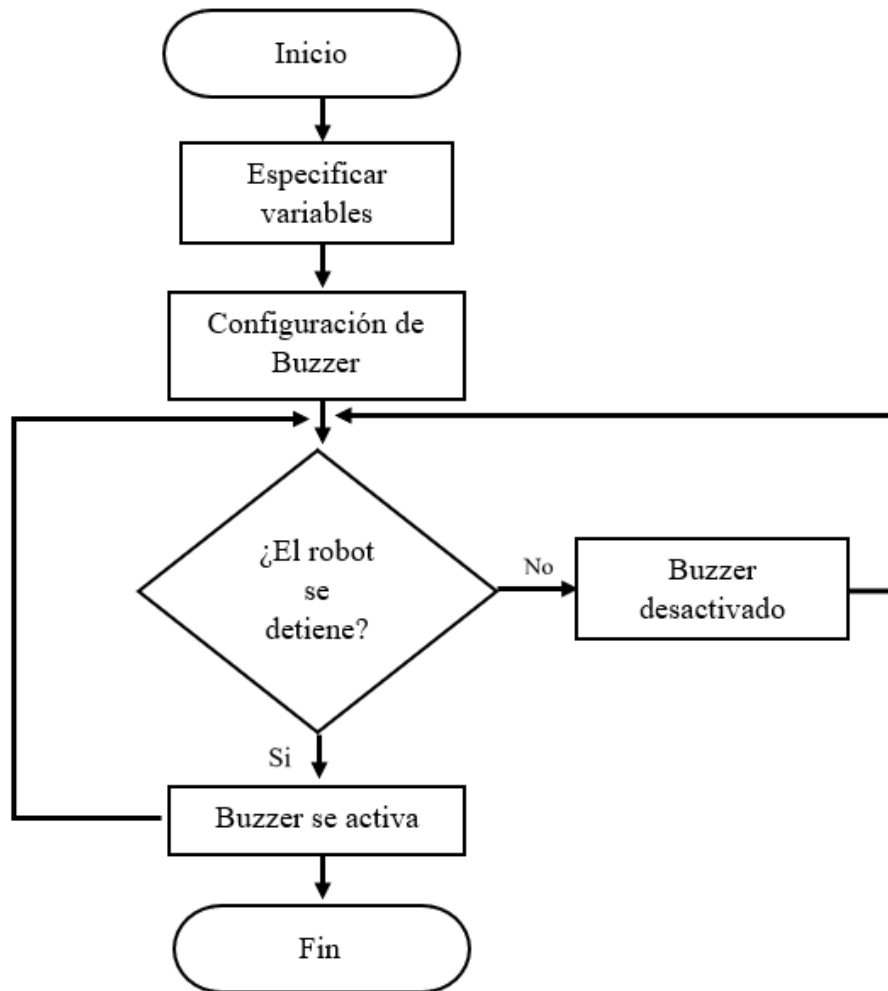


Figura 5.25. Diagrama de flujo del algoritmo de señal de alerta

### 5.2.12.5. Algoritmo ON/OFF

El algoritmo utilizado para controlar el encendido y apagado del robot se basa en un módulo de radiofrecuencia el cual envía señales de radio de manera remota mediante un control por relés.

A continuación, en la Figura 5.26 se presenta un diagrama de flujo que detalla el algoritmo ON/OFF.

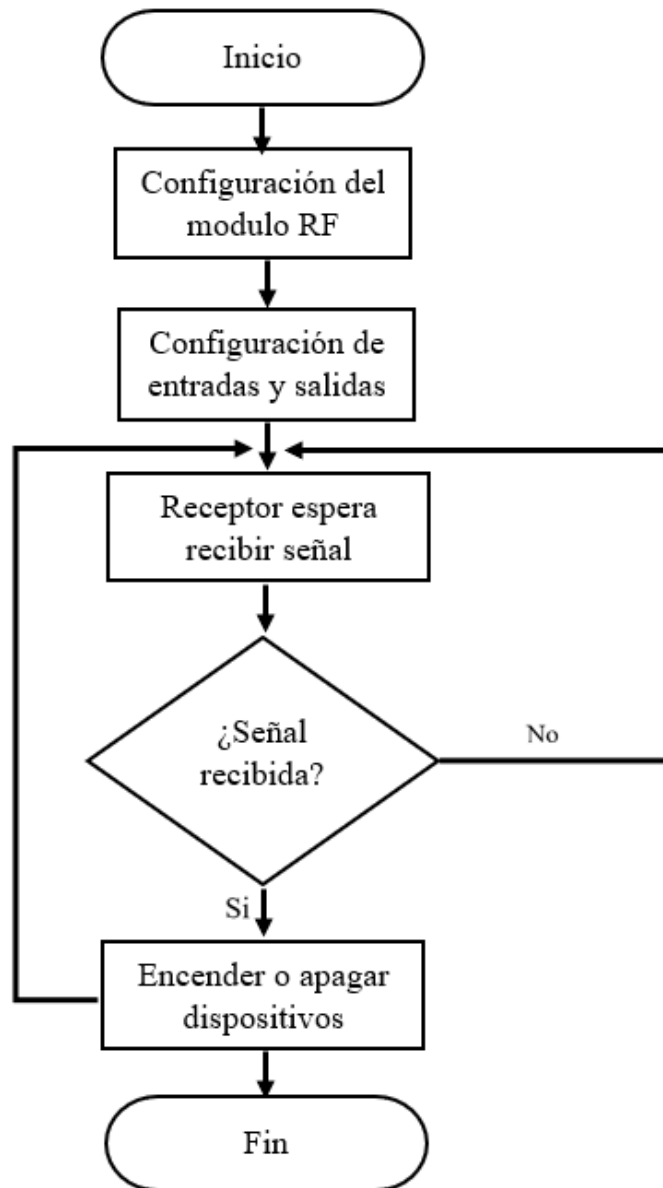


Figura 5.26. Diagrama de flujo del algoritmo de encendido y apagado ON/OFF

### **5.3. OBJETIVO 3. Evaluar el funcionamiento del robot de carga autónomo (AGV) dentro de un proceso logístico de transporte de materiales**

Para cumplir con este objetivo se realizaron varias pruebas de funcionamiento, en las cuales su principal objetivo fue determinar la funcionalidad del robot autónomo en diferentes ambientes.

#### **5.3.1. Actividad 1. Documentación de las pruebas realizadas durante el desarrollo del (AGV)**

Durante el desarrollo del vehículo guiado autónomo se realizaron varias pruebas para evaluar el funcionamiento y asegurar que cumpliera con los requisitos establecidos.

A continuación, se presenta la documentación de los resultados de las pruebas que se realizaron durante el desarrollo del AGV.

##### **5.3.1.1. Prueba de recolección de datos de los sensores seguidores de línea en distintos entornos**

**I. Objetivo:** Recolectar datos de los sensores infrarrojos de línea probados con la iluminación de distintos entornos, para elegir un valor numérico que englobe los distintos entornos y así puedan los sensores detectar la línea con distintas iluminaciones en diferentes entornos.

**II. Metodología:** Se utilizaron tres sensores infrarrojos seguidores de línea; estos van a detectar una línea que se trazó en los distintos entornos con iluminación. A cada sensor se le asignó un color entre blanco y negro que va a detectar y con ayuda del programa Arduino Blocks arrojará un valor numérico. Este valor variará dependiendo del color y la iluminación a la que se los exponga. Algunos entornos e iluminaciones que se los expuso fueron: noche con luz artificial dentro de casa, luz solar, luz solar con hoja de papel, cinta aislante de color blanco y negro dentro de casa, luz solar con cinta aislante blanco y negro.

##### **III. Resultados:**

**Noche, luz artificial dentro de casa:** Los sensores infrarrojos de línea alineados y conectados en sus respectivos pines del ESP32, se expusieron a la luz artificial dentro de casa y con ayuda de Arduino Blocks se recolecto diferentes valores que se presentan en la siguiente Figura 5.27, adicional se presenta la recolección de datos de los sensores en la Tabla 5.18.

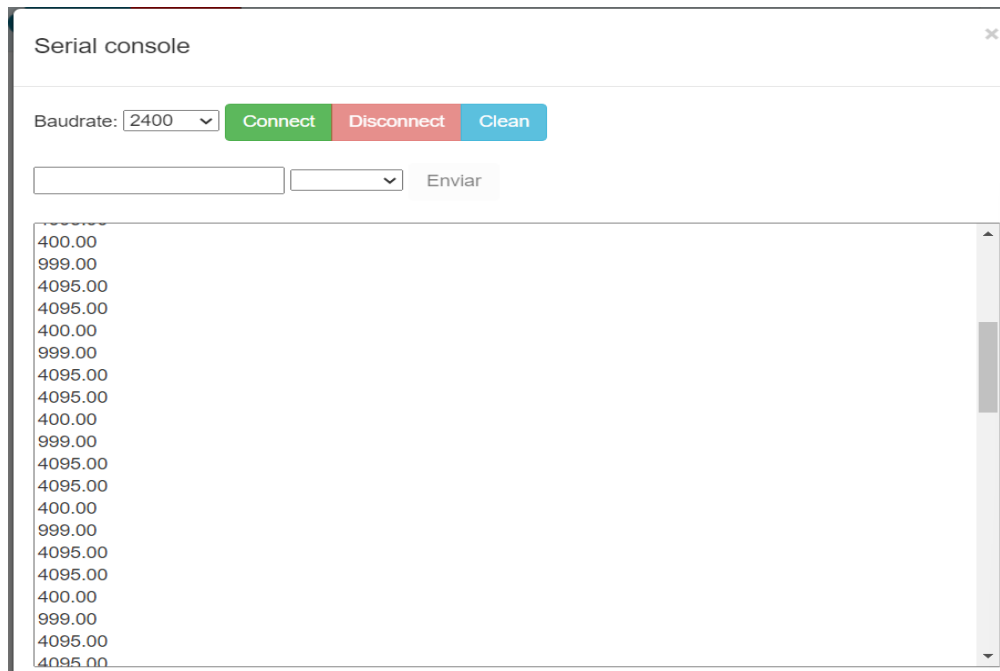


Figura 5.27. Recolección de datos del programa de Arduino blocks

Tabla 5.18. Recolección de los datos de los sensores infrarrojos de línea expuestos a luz artificial

Datos de los sensores infrarrojos de línea					
Noche luz artificial dentro de casa					
Sensor izquierdo PIN 15		Sensor centro PIN 4		Sensor derecho PIN 13	
Colores		Colores		Colores	
Blanco	Negro	Blanco	Negro	Blanco	Negro
405	4095	304	4095	397	4095
405	4095	400	4095	398	4095
404	4095	400	4095	402	4095
402	4095	401	4095	400	4095
403	4095	402	4095	400	4095
402	4095	403	4095	400	4095
402	4095	403	4095	400	4095
400	4095	408	4095	400	4095
406	4095	406	4095	400	4095
403	4095	406	4095	401	4095
401	4095	405	4095	400	4095
406	4095	414	4095	400	4095
404	4095	407	4095	400	4095
406	4095	406	4095	400	4095
411	4095	417	4095	400	4095
413	4095	417	4095	401	4095

En base a los resultados obtenidos se pudo concluir que los valores de salida decimal del conversor A-D del ESP32 empleando los sensores infrarrojos TCRT5000 para el color negro oscilan desde 4000 en adelante, el cual fue detectado por el sensor central.

**Luz solar:** En esta prueba los tres sensores de línea van a detectar el color blanco en distintos entornos debido a que son los encargados de encarrilar el robot a través de una ruta. Estos sensores se expusieron a la luz solar para que, detecten el color asignado en la línea trazada. Los valores que se recolectaron del programa Arduino Blocks se presentan en la siguiente Tabla 5.19.

Tabla 5.19. Recolección de los datos de los sensores infrarrojos de línea expuestos a luz solar

Datos de los sensores infrarrojos de línea		
Luz solar		
Sensor izquierdo	Sensor central	Sensor derecho
379	383	381
381	384	379
379	381	380
371	383	368
381	383	381
383	383	387
383	384	427
381	383	381
381	383	382
382	382	381
383	384	383
386	385	382
378	383	382
383	384	383
381	382	379
384	384	380
383	384	383
386	385	382
378	383	382
384	384	380

**Luz solar en una hoja de papel:** Los sensores infrarrojos se alinearon de la misma forma que el anterior entorno, pero esta vez los sensores no tuvieron que detectar el color de cinta aislante negra porque en la Tabla 5.18 se visualizó que los valores de la salida decimal del conversor A-D del ESP32 fueron de 4000 en adelante, por lo que quedó definido el valor para cinta aislante negra, por

lo que para esta prueba los tres sensores tuvieron que detectar la línea blanca para obtener los valores de salida decimal del conversor A-D del ESP32. Los valores que se recolectaron se muestran en la Tabla 5.20.

Tabla 5.20. Recolección de los datos de los sensores infrarrojos de línea expuestos a luz solar en una hoja de papel.

Datos de los sensores infrarrojos de línea		
Luz solar en una hoja blanca		
Sensor izquierdo	Sensor central	Sensor derecho
387	389	385
388	388	385
387	389	384
387	389	386
390	391	386
387	389	389
400	392	385
386	380	385
368	390	386
386	388	384
387	392	387
387	387	386
386	389	387
387	387	386
386	388	385
384	390	386
387	389	386
390	391	386
387	389	389
400	392	385

**Cinta aislante blanca dentro de casa:** Los tres sensores detectaron los colores asignados, esta vez trazados con cinta aislante blanca dentro de casa; los valores recolectados son los que se presentan en la Tabla 5.21.

Tabla 5.21. Datos recolectados de los sensores expuestos a luz artificial dentro de casa

Datos de los sensores infrarrojos de línea		
Cinta aislante blanca dentro de casa		
Sensor izquierdo	Sensor central	Sensor derecho
406	384	397
405	388	398
405	391	400
405	391	397
405	391	400
406	398	401
403	395	402
422	394	409
405	398	403
403	399	403
401	395	403
403	400	407
403	400	403
403	399	406
404	400	401
402	400	402
403	399	405
403	400	403
403	399	406
404	400	401

**Luz solar con cinta aislante:** Se trazo una línea solo con cinta aislante blanca expuesta a la luz solar, los tres sensores tuvieron que detectar el color asignado, los valores que se recolectaron se presentan en la siguiente Tabla 5.22.

Tabla 5.22. Recolección de los datos de los sensores infrarrojos de línea expuestos a luz solar con línea trazada con cinta aislante blanca

Datos de los sensores infrarrojos de línea		
Luz solar con cinta aislante blanca		
Sensor izquierdo	Sensor central	Sensor derecho
386	385	384
387	387	396
389	386	385
389	384	387
386	385	386
389	384	389
387	387	388
388	384	389
387	385	388
389	388	387
387	385	384
387	385	387
388	385	389
389	386	389
387	386	387
387	386	387
387	385	386
386	384	388

Los valores de salida decimal del conversor A-D del ESP32 empleando los sensores infrarrojos TCRT 5000 oscilan entre 300 hasta 400 en el color blanco, mientras que el valor que arroja para el color negro va desde 4000 en adelante. Estos valores son fundamentales, ya que ayudan a la configuración de los sensores y que puedan detectar la línea en cualquier entorno.

### 5.3.1.2. Prueba de detección de obstáculos y señal de alerta

**I. Objetivo:** Evaluar la capacidad de reacción que tiene el (AGV) para detectar obstáculos, detenerse y emitir una señal de alerta.

**II. Metodología:** Se colocaron obstáculos en la ruta del (AGV), para escuchar si emite la señal de alerta en forma sonora en el momento que detecta un objeto obstáculo en su ruta.

**III. Resultados:** El (AGV) detectó los obstáculos en un rango de 2 cm hasta los 30 cm de distancia, deteniéndose y emitiendo una señal de alerta en forma sonora hasta que se retire el objeto que está

dentro de su ruta. En la Figura 5.28 se presenta al robot deteniéndose al detectar obstáculos en la ruta.



Figura 5.28. AGV deteniéndose ante un obstáculo en su ruta

### 5.3.1.3. Prueba de (AGV) ensamblado siguiendo una ruta elaborada en el laboratorio de robótica

**I. Objetivo:** Comprobar el funcionamiento del (AGV) al seguir una ruta elaborada en el laboratorio de robótica.

**II. Metodología:** Se realiza una ruta en la que se pondrá a prueba el funcionamiento de los diferentes tipos de sensores que posee el (AGV), para visualizar si es capaz de seguir la línea sin desviarse y detenerse y emitir una señal de alerta.

**III. Resultados:** El (AGV) en ningún momento se desvió de la ruta que se trazó en el laboratorio de robótica, mientras que el sensor detector de obstáculos ultrasónico detectó los objetos que se encontraban en la ruta, haciendo que el (AGV) se detuviera y emitiera una señal de alerta. A continuación, en la Figura 5.29 se presenta la prueba realizada en el laboratorio de robótica.



Figura 5.29. AGV probado en una ruta realizada en el laboratorio de robótica

#### 5.3.1.4. Prueba de AGV siguiendo una ruta trazada en suelo industrial

**I. Objetivo:** Verificar la eficacia del funcionamiento del (AGV) siguiendo una ruta trazada en un entorno industrial.

**II. Metodología:** Se traza una ruta con una línea continua en un entorno industrial que seguirá el (AGV). Colocando obstáculos en la ruta del robot autónomo, para visualizar si se detiene en el rango establecido y emitiendo su señal sonora.

**III. Resultados:** El (AGV) mantuvo una desviación de 1.5 cm de línea, lo que indica un nivel bueno de precisión en una ruta trazada en suelo industrial, mientras que el sensor detector de obstáculos ultrasónico detectó los obstáculos en un rango de 2 cm a 30 cm los cuales se los estableció haciendo que el robot se detuviera y emitiera la señal sonora hasta que se retire el obstáculo que se encuentra en su ruta. Las pruebas realizadas en el entorno industrial se presentan en la Figura 5.30.



Figura 5.30. AGV siguiendo una ruta trazada en suelo industrial

#### 5.3.1.5. Prueba de tiempo de funcionamiento

**I. Objetivo:** Determinar el tiempo de funcionamiento del (AGV) con las baterías totalmente cargadas.

**II. Metodología:** Las baterías lipo de 11 V y 7 V se cargaron por completo y se las puso en funcionamiento continuo al (AGV) hasta que se agotara su carga.

**III. Resultados:** El AGV funciono de manera autónoma durante tres horas, siguiendo rutas trazadas, realizando ciclos de carga, transporte y descarga con una carga completa. La batería demostró ser adecuada para las aplicaciones necesarias.

### 5.3.2. Actividad 2. Validación de todas las funcionalidades del (AGV) en un entorno logístico

Una vez ensamblado el (AGV), se procedió a validar todas sus funcionalidades dentro de un entorno logístico; el entorno logístico en el que se lo validó es la bodega de una importadora de maquinaria llamada DIPAG; a continuación, se presenta cómo se desarrolló la validación de las funcionalidades de (AGV) dentro de la bodega:

**I. Objetivo de la actividad:** Validar en un entorno logístico de la empresa DIPAG todas las funcionalidades del vehículo guiado automáticamente (AGV), asegurando que cumpla con los requisitos establecidos para su operación eficiente y segura.

#### II. Metodología:

##### Preparación del entorno:

- Se trazaron rutas por donde se transportan los diferentes tipos de maquinaria, incluyendo áreas de carga y descarga de maquinaria como se presenta en la Figura 5.31.
- Se configuraron los sensores del AGV (infrarrojos seguidores de línea y ultrasónicos) para que puedan seguir las rutas trazadas sin inconvenientes.



Figura 5.31. Preparación del entorno trazando una ruta

##### III. Fases de validación:

- **Fase 1: Detección de obstáculos y señal de alerta:** En la ruta trazada del (AGV) se colocaron varios obstáculos. El (AGV) registró las distancias a las que detectó los obstáculos, deteniéndose y emitiendo una señal de alerta de forma sonora. Como se presenta a continuación en la Figura 5.32.



Figura 5.32. AGV deteniéndose al detectar un obstáculo

- **Fase 2: Seguimiento de línea:** Se examina la capacidad del (AGV) para seguir las rutas en forma de línea que se trazaron en el suelo. Se analizó la reducción del (AGV) en relación con la línea y su reacción ante curvas.
- **Fase 3: Carga y descarga:** Se realizaron pruebas de carga y descarga de materiales, la primera consistió en que el (AGV) siguiera la ruta sin carga, la segunda se aumentó su peso a 9 kg, se siguió aumentando el peso de manera progresiva hasta llegar a los 18 kg. Como se presenta en la Figura 5.33.

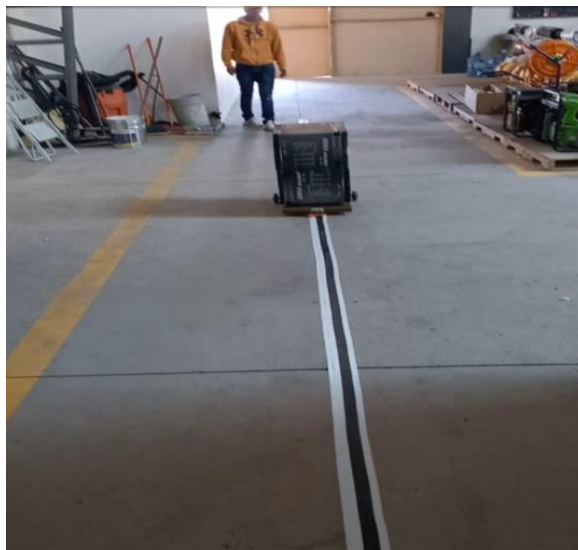


Figura 5.33. AGV transportando 18kg por una ruta trazada

- **Fase 4: Duración de la batería:** Se evaluó la duración de las baterías del (AGV) en condiciones de operación continua, registrando el tiempo hasta que la batería se agotó.

#### IV. Resultados obtenidos

En la Tabla 5.23 se presentan los resultados obtenidos de las diferentes pruebas realizadas con el robot de carga autónomo; estas pruebas detallan el funcionamiento del robot en el proceso de transporte de materiales dentro de la empresa.

Tabla 5.23. Resultados obtenidos de las pruebas

Funcionalidad	Resultado	Observaciones
Detección de obstáculos y señal de alerta.	El (AGV) detectó obstáculos en un rango de 2 cm hasta 30 cm con una tasa de éxito del 99%. Cada vez que detecto obstáculos emitió la señal de alerta.	En el 1% de los casos, se requirió acomodar de una forma adecuada el obstáculo para que el sensor ultrasónico lo detecte y se detenga para que emita la señal de alerta.
Seguimiento de línea	La velocidad del (AGV) varía dependiendo si la ruta es recta o tiene algunas curvas, esto influenciando en la desviación promedio de 1.5 cm de la línea, con un tiempo de respuesta adecuado en curvas.	Se observó mayor desviación en curvas cerradas en el momento que se aumenta la velocidad de reacción, haciendo que la desviación de línea aumente.
Carga y descarga	El tiempo que se demora en trazar la primera ruta sin carga es de 1:10 minutos mientras que con una carga de 9 kg se demoró en recorrer 1:20 minutos y con 18 kg se demoró 1:31 minutos, mientras que para la segunda ruta los tiempos fueron de 1:40 minutos cargando 9 kg y de 1:55 minutos cargando 18kg.	Eficiencia adecuada en la manipulación de cargas.
Autonomía de la batería	Autonomía de 3 horas en operación continua.	La duración de la batería varía dependiendo de la carga que manipule el (AGV).


#### V. Análisis de datos

Se descubrieron áreas de mejora, particularmente en el manejo de curvas cerradas, sin embargo, los datos recopilados durante la validación demostraron que el (AGV) es efectivo en la detección de obstáculos y el seguimiento de línea. La carga y la descarga fueron efectivas, lo que indica que el diseño y la aplicación del (AGV) son adecuados para el ambiente logístico.

Según la validación realizada, el (AGV) creado cumple con los requisitos fundamentales para su aplicación en procesos logísticos. Aunque es necesario abordar las áreas de mejora identificadas para garantizar un despliegue exitoso, este vehículo posee la capacidad de funcionar de manera autónoma y eficiente. El (AGV) estará preparado adecuadamente para su uso en el ambiente operativo de DIPAG.

A continuación, una vez que se probó las funcionalidades del (AGV) se realizó una ficha técnica con las especificaciones que se obtuvieron de la validación de las funciones que se presenta en la siguiente Tabla 5.24.

Tabla 5.24. Ficha técnica elaborada con los resultados obtenidos de la validación de funcionalidades

Ficha Técnica	
Nombre: Robot AGV seguidor de línea	
Descripción: Vehículo de guiado automático, diseñado para el transporte de materiales sin la necesidad de un operador, el equipo puede moverse a través de rutas específicas mediante sensores infrarrojos.	
Especificaciones técnicas	
Especificaciones	
Dimensiones del robot:	510 x 350 x 75 mm
Peso del robot:	1.79 Kg
Velocidad:	0.4 m/s
Tiempo de operación:	3 horas, uso continuo
Capacidad de carga diseñada:	10 - 15 Kg
Capacidad de carga obtenida:	18 kg
Ángulo de giro:	45 - 90 °
Material de fabricación:	Acero negro de 1,1 mm
Ancho de la línea a seguir:	3.6 cm
Sensor Ultrasónico	
Capacidad de detección de obstáculos	3 - 30 cm
Precisión:	± 0.3 cm
Angulo de detección	30 °
Sensores Infrarrojos TCRT5000	
Separación de sensores:	1.8 cm
Altura de colocación:	1 cm
Tiempo de respuesta:	10 μs
Módulo de radiofrecuencia	
Distancia del módulo de radiofrecuencia:	Máximo 30 metros en línea de visión directa y 20 metros sin línea de visión directa.
Temperatura de operación:	-40° - 85°C

### 5.3.3. Actividad 3. Valoración del potencial impacto del (AGV) en actividades dentro de un proceso logístico

Para realizar la actividad tres sobre la valoración del potencial impacto de los vehículos guiados autónomos (AGV) en actividades dentro de un proceso logístico, el proceso logístico utilizado fue el movimiento de maquinarias dentro de la bodega de la importadora DIPAG. En la Figura 5.34 se presenta el layout de la bodega de la importadora en donde se trazaron dos rutas utilizadas para el transporte de soldadoras de 9 kg; estas rutas son las más utilizadas para cargar y descargar maquinaria.

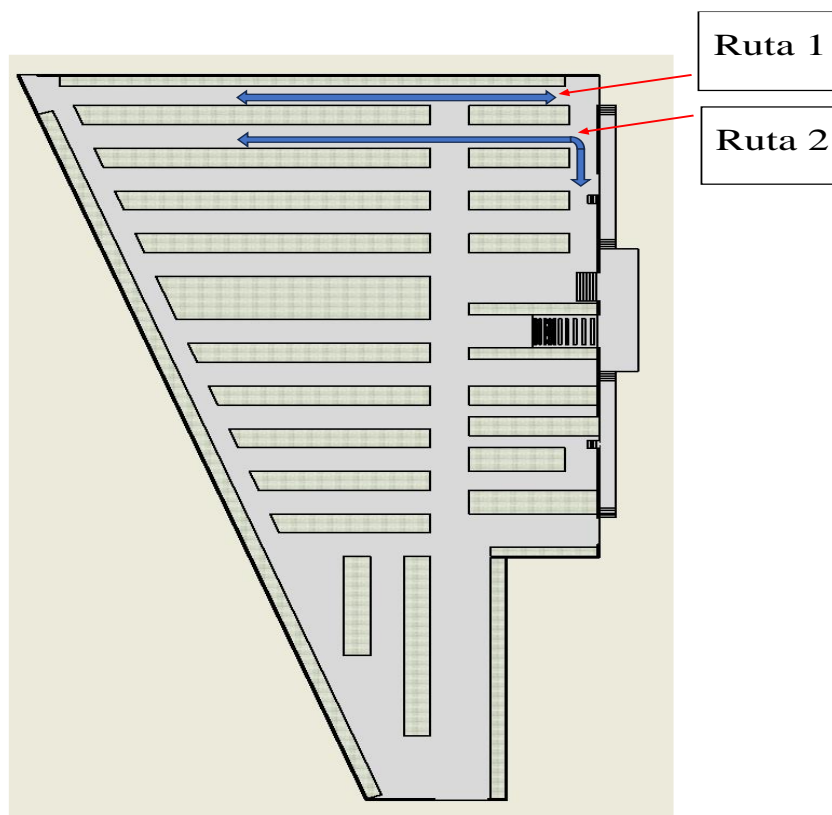


Figura 5.34. Vista superior del Layout de la bodega de la importadora DIPAG con las dos rutas trazadas

A continuación, se presenta un análisis detallado basado en los datos proporcionados de la aplicación del (AGV) en el proceso logístico de transporte de materiales; en este caso se recolectó los datos sobre el tiempo de recorrido del robot en dos rutas a diferente distancia y con diferente peso. En la

Tabla 5.25 se presenta los datos recolectados con el robot de carga autónomo.

Tabla 5.25. Comparación de tiempos obtenidos durante el recorrido del (AGV)

Rutas	Distancia (metros)	Pruebas	Carga transportada	Tiempo (minutos)	Tiempo por ciclo (minutos)
N°1	27 m	Prueba 1	1 soldadora (9 kg)	1:20 (80 segundos)	2:40
		Prueba 2	2 soldadoras (18 kg)	1:31 (91 segundos)	3:02
N°2	30 m	Prueba 1	1 soldadora (9 kg)	1:40 (100 segundos)	3:20
		Prueba 2	2 soldadoras (18 kg)	1:55 (115 segundos)	3:50

En base a los resultados de las dos rutas trazadas, se obtuvo el tiempo que tarda el robot en transportar una soldadora de 9 kg en ambas rutas. Existe un aumento de tiempo de 11 segundos, mientras que al transportar dos soldadoras con un peso de 18 kg en ambas rutas existe un aumento de tiempo de 15 segundos, este aumento del tiempo entre rutas debido a la carga extra que transporta el (AGV) y la distancia que recorre el mismo.

A continuación, se presentan las pruebas realizadas con dos embarques de soldadoras que llegaron a la importadora; cada embarque que llegó contiene 20 soldadoras, pesando 9 kg cada una. Cada embarque de soldadoras se trasladó por las rutas trazadas, midiendo el tiempo de ida y vuelta del robot, trasladando dos soldadoras con un peso total de 18 kg por las diferentes rutas.

### I. Pruebas realizadas en la ruta N° 1

Al realizar diez pruebas en la primera ruta con un peso de 18 kg se observó que el tiempo en el que el robot realizó el ciclo de recorrido es igual en todas las pruebas, en Tabla 5.26 se presenta el tiempo total del robot al recorrer la primera ruta.

Tabla 5.26. Pruebas realizadas con su respectiva medición de tiempo ruta N°1

N° de pruebas	Distancia (m)	Peso (kg)	Tiempo de ida y vuelta (min:seg)
10	27	18	30:33

Adicional, se tomó el tiempo que se demora un trabajador en ensamblar una cortadora de césped el cual fue de cinco minutos, el cual se comparará con el tiempo del robot en realizar las 10 pruebas de transporte de las dos soldadoras de 18 kg. En la Tabla 5.27 se presenta una comparativa entre el tiempo en la que el robot realiza el transporte de las soldadoras y el tiempo que el trabajador se demora en ensamblar una cortadora.

Tabla 5.27. Comparativa entre el tiempo de robot y el trabajador

<b>Tiempo del robot en realizar la operación (min:seg)</b>	<b>Tiempo del trabajador en ensamblar una cortadora (min)</b>	<b>Cantidad de cortadoras que podría ensamblar el trabajador</b>	<b>Tiempo restante (seg)</b>
30:33	5	6	33

Concluyendo que en el tiempo que en el tiempo que el (AGV) se demora en transportar las soldadoras, el trabajador puede ensamblar 6 cortadoras de césped.

## II. Pruebas realizadas en la ruta N° 2

En la siguiente Tabla 5.28 se presenta el resultado de las diez pruebas realizadas en donde se pudo observar que el tiempo de transporte del (AGV) es igual en todas las pruebas, en la Tabla 5.28 se presenta el tiempo total del robot al recorrer la segunda ruta.

Tabla 5.28. Pruebas realizadas con su respectiva medición de tiempo, Ruta N°2

<b>N° de pruebas</b>	<b>Distancia (m)</b>	<b>Peso (kg)</b>	<b>Tiempo de ida y vuelta (min:seg)</b>
10	30	18	38:33

En base a los resultados En la Tabla 5.29 obtenidos se realizó una comparativa entre el tiempo del robot y el tiempo en la que un trabajador ensambla una cortadora de césped el cual es de cinco minutos.

Tabla 5.29. Comparativa entre el tiempo del trabajador y robot

<b>Tiempo del robot en realizar la operación (min:seg)</b>	<b>Tiempo del trabajador en ensamblar una cortadora (min)</b>	<b>Cantidad de cortadoras que podría ensamblar en trabajador</b>	<b>Tiempo restante (min:seg)</b>
38:33	5	7	3:33

Concluyendo que en el tiempo que el (AGV) se demora en transportar las soldadoras, el trabajador puede ensamblar 7 cortadoras de césped, una cortadora de césped más que la anterior prueba; esto debido a la distancia, adicional teniendo un tiempo restante de 3 minutos con 33 segundos el cual se puede destinar al ensamblaje de otra cortadora de césped.

### **III. Optimización de recursos**

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos, la implementación de (AGV) permite que los trabajadores en los puntos A y B se dediquen a otras tareas mientras (AGV) realiza el transporte.

- Trabajador en Punto A: Puede concentrarse en tareas como hacer facturas o enviar correos electrónicos, lo que aumenta la productividad general de la empresa.
- Trabajador en Punto B: Se encarga de tareas como acomodar o entregar las soldadoras, lo que mejora la eficiencia operativa.

### **IV. Seguridad y ergonomía**

#### **Seguridad:**

- Los (AGVs), equipados con sensores de seguridad como ultrasónicos o infrarrojos, reducen riesgos de accidentes en el entorno laboral.
- Eliminación de tareas peligrosas de transporte manual para los trabajadores.

#### **Ergonomía:**

- Disminución de la carga física para los trabajadores, mejorando su bienestar y reduciendo el riesgo de lesiones laborales.
- El (AGV) al encargarse de tareas repetitivas, disminuye la incidencia de lesiones por movimientos repetitivos.
- Reduce el estrés mental derivado de las tareas repetitivas, ayudando a los trabajadores a enfocarse en tareas más estratégicas.

### **V. Eficiencia y optimización de recursos**

- Eficiencia: El uso del robot (AGV) permite maximizar la utilización de equipos y mano de obra para evitar tiempos muertos y asegurar que todos los recursos estén empleados productivamente.

- Optimización de recursos: La capacidad de los trabajadores para realizar otras tareas mientras el (AGV) transporta las soldadoras contribuye a una mayor productividad y mejor uso del tiempo.

## 6. PRESUPUESTO Y ANÁLISIS DE IMPACTOS

### 6.1. Presupuesto

A continuación, se describe el análisis económico/financiero del prototipo de AGV seguidor de línea, para lo cual se presenta los gastos para la construcción del prototipo de la propuesta.

#### 6.1.1. Costos Directos

El análisis de costos directos toma en cuenta los gastos por materiales, los mismos que se detallan a continuación en la Tabla 6. 1.

Tabla 6. 1 Análisis de costos directos de los materiales

<b>Costo de elementos (materia prima directa)</b>			
<b>Elemento</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo Individual (\$)</b>	<b>Costo total (\$)</b>
Esp32 de 38 pines	1	12.00	12.00
Regulador de voltaje 5 V	2	1.00	2.00
Sensores infrarrojos TCRT5000	3	2.60	7.80
Sensor ultrasónico hc-sr04	1	8.00	8.00
Buzzer(zumbador)	1	1.00	1.00
Conector USB	1	1.00	1.00
Ruedas de goma núcleo de acero 80 mm	2	5.26	10.52
Garruchas de 2 pulgadas	2	2.50	5.00
Módulo de radiofrecuencia	1	6.50	6.50
Motorreductor pololu 12 v	2	39.99	79.98
Driver IRF3205	1	15.36	15.36
Cables tipo lagarto	2	0.75	1.50
Acero negro 1,1 mm (510 x 350)	1	10.00	10.00
Cable flexible SPT 2X18 AWG 50V	1	0.60	0.60
Cables Jumper (hembra-hembra)	16	0.10	1.60
Placas PCB con circuitos	3	20.00	60.00
Batería lipo 3 cell 11.1 V	1	39.99	39.99
Batería Lipo 7.4 V	1	19.50	19.50
Tornillos M4 con tuerca	8	0.10	0.80
Perno hexagonal	6	0.15	0.90
<b>Total</b>			<b>\$ 284.06</b>

Adicional, en la Tabla 6.2 se presentan los valores de los costos de ingeniería a detalle realizados para la fabricación de robot autónomo.

Tabla 6.2. Costos de ingeniería

<b>Costos de ingeniería</b>			
<b>Parámetro</b>	<b>Hora</b>	<b>Costo (\$)</b>	<b>Costo Total (\$)</b>
Mano de obra directa	50	2.88	144.00
Diseño en SolidWorks	20	7.50	150.00
Programación del robot en Arduinoblocks	30	6.00	180.00
<b>TOTAL</b>			<b>\$474.00</b>

Culminado el análisis de resultados de los costos directos, se procede a realizar un análisis de los costos indirectos que intervinieron para la realización del prototipo del robot (AGV) seguidor de línea.

### 6.1.2. Costos Indirectos

Para el análisis de costos indirectos, se detallarán los valores independientes como los gastos en mano de obra, maquinaria y transporte utilizado, mismos que se detallan a continuación en la Tabla 6.3.

Tabla 6.3. Tabla de los costos indirectos

<b>Materia prima indirecta</b>	
<b>Descripción</b>	<b>Valor (\$)</b>
Corte y prensado de acero	8.00
Pintura con compresor	3.50
Transporte	10.00
Internet	20.00
<b>Total</b>	<b>\$ 41.50</b>

### 6.1.3. Presupuesto Total

Se describen los estimados de inversión para la buena culminación de todo un proceso de planeación a un estado económico de la propuesta, sumando los gastos directos y los gastos indirectos, con los cuales se calculará el costo total que se presenta a continuación en la Tabla 6.4.

Tabla 6.4. Presupuesto total sumando gastos directos y gastos indirectos

Descripción	Subtotal
<b>Costos Directos</b>	
Tabla 6.1	284.06
Tabla 6.2	474.00
<b>Costos indirectos</b>	
Tabla 6.3	41.50
<b>COSTO TOTAL</b>	<b>\$ 799.56</b>

#### 6.1.4. Costos de mantenimiento

El costo de mantenimiento del prototipo de robot (AGV) puede variar en función de diversos factores, como el tipo de mantenimiento requerido y su complejidad. En la Tabla 6.5 se presenta una estimación general de los costos de mantenimiento para el robot.

Tabla 6.5. Costos de mantenimiento del robot autónomo

<b>Descripción</b>	<b>Valor (\$)</b>
Revisión e inspección periódica	15
Limpieza y ajuste	20
Reemplazo de componentes desgastados (dependiendo del componente)	20
Mantenimiento preventivo (software y capacitación del personal)	30
Mantenimiento correctivo (reparación de averías, servicio técnico especializado)	40
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 120</b>

En caso de que el personal fuese a realizar el mantenimiento del robot, es indispensable revisar el manual de usuario presentado en el ANEXO IV, en el cual se detalla cómo realizar el mantenimiento de los diferentes componentes del robot.

#### 6.1.4. Análisis del retorno de la inversión (ROI) - Return On Investment

El presente proyecto se enfoca en la aplicación de un robot de carga autónomo dentro del proceso logístico de la empresa DIPAG, con el objetivo de que los trabajadores destinen más tiempo efectivo a realizar tareas que aporten mayor valor dentro de la empresa.

En base a lo anterior, la adquisición de nuevas tecnologías involucra una inversión significativa. Es imprescindible realizar un análisis detallado del retorno sobre la inversión (ROI). Este análisis

permitirá determinar la viabilidad económica del proyecto, evaluando los beneficios financieros en relación con los costos incurridos. A través del cálculo del ROI, se busca identificar el impacto económico directo del robot de carga autónomo dentro de la empresa.

Para determinar el impacto económico del robot, se estima que la empresa ha destinado una gran cantidad de dinero en horas extras de trabajo, esto debido a que los trabajadores se encuentran realizando las tareas de transporte de materiales y descuidan tareas enfocadas al beneficio de la empresa como el diseño y producción de maquinaria

El cálculo del retorno de la inversión se realizó mediante la ecuación (6.1) que se muestra a continuación:

$$ROI = \frac{\text{Ganancia} - \text{Inversión}}{\text{Inversión}} \cdot 100 \quad (6.1)$$

Para este caso en específico; se estima que el robot puede generar una ganancia de \$1000 anuales, mismo que fue estimado por la empresa debido a que destina ese dinero al pago de horas extras de los trabajadores, provocado por destinar el tiempo del trabajador al transportar maquinaria. La inversión es el costo del prototipo del (AGV). Identificados los datos se reemplazaron en la ecuación (6.1) y se realiza el cálculo como se indica a continuación.

$$ROI = \frac{1000 - 799.56}{799.56} \cdot 100$$

$$ROI = 0.25$$

$$ROI = 25\%$$

En base a los resultados obtenidos se puede decir que el resultado de la inversión es del 25%, en donde el retorno de la inversión es positivo, significando que el proyecto es rentable.

## 6.2. Análisis de impactos

El proyecto de aplicación de un robot de carga autónomo dentro de una empresa es muy prometedor. A pesar de que muchos de sus componentes para su construcción no se encuentren disponibles en tiendas electrónicas de la ciudad de Latacunga, los mismo se han obtenido en otras localidades a precios asequibles.

Con este prototipo se espera que funcione como una herramienta valiosa para impulsar la interacción con las nuevas tecnologías emergentes. Además. Se espera que este robot (AGV) seguidor de línea inspire la creación de nuevos proyectos que permitan el mejoramiento del robot, el cual puede ser utilizado en investigaciones industriales como educativos.

### 6.2.1. Impacto técnico

La aplicación de un robot de carga autónomo (AGV) para el transporte de materiales hasta un peso de 18 Kg dentro de la empresa DIPAG ha demostrado ser sumamente beneficioso. Entre las ventajas destacan la destinación de tiempo efectivo de los trabajadores a realizar tareas que aporten un valor agregado dentro de la empresa, evitando así que los trabajadores tengan una carga laboral elevada.

A continuación, en la Tabla 6.6 se presenta una comparativa de las diferentes características que posee el prototipo de (AGV) seguidor de línea construido y un (AGV) seguidor de línea comercial.

Tabla 6.6. Comparación de propuestas

<b>Propuesta de (AGV) seguidor de línea</b>	<b>(AGV) Seguidor de Línea comercial</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Firmware libre y disponible.</li> <li>• Módulos removibles.</li> <li>• Tecnología libre, en software y hardware.</li> <li>• Posibilidad de modificar el diseño electrónico.</li> <li>• Lenguaje de programación libre.</li> <li>• Interfaz de desarrollo programable libre</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Firmware no libre y no disponible.</li> <li>• Módulos no removibles.</li> <li>• Tecnología pagada, no modificable.</li> <li>• No modificable.</li> <li>• Lenguaje de programación propio con seguridad.</li> <li>• Interfaz de desarrollo exclusivo del desarrollador.</li> </ul>

#### 6.2.1.1. Comparativa técnica de la propuesta con una propuesta comercial

La propuesta de esta investigación presenta una comparativa de los dos objetos propuestos como la tecnología libre en software y hardware, las cuales, con criterios presentados se detalla de forma óptima una oferta entre el modelo de la propuesta y su contraparte comercial.

### **6.1.2. Impacto social**

Con aplicación del robot (AGV) seguidor de línea para el transporte de materiales dentro de la empresa DIPAG, el impacto social que genera recaería en los trabajadores ya que estos tendrían menos sobrecarga de trabajo y realizarían tareas más estratégicas dentro de la empresa.

### **6.1.3. Análisis económico**

El ayudar a que los trabajadores destinen más tiempo efectivo a realizar tareas que aporten mayor valor dentro de la empresa, permitirá traer beneficios económicos a la empresa DIPAG, permitiendo que los trabajadores no se retrasen en labores de producción, así generando ganancias para la empresa.

### **6.1.4. Impacto tecnológico**

La propuesta del robot (AGV) seguidor de línea requiere una combinación entre hardware y software de buena calidad y que sea accesible, esto con el fin de garantizar su funcionamiento óptimo. La disponibilidad existente de piezas y componentes necesarios para construir el hardware, lo hizo accesible para construir el hardware. Por otro lado, el software se basará en programas como ArduinoBlocks, el cual permitirá desarrollar la programación del robot.

Además, el uso de este programa en el desarrollo del software hace que el proyecto sea compatible con los sistemas actuales y futuros en el ámbito de la robótica, haciendo que este proyecto sea atractivo e innovador.

## **7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **7.1. CONCLUSIONES**

- La aplicación de un robot de carga autónomo (AGV), en el proceso de transporte de materiales en la empresa DIPAG representa una solución innovadora y eficiente para optimizar el transporte de materiales. Mediante la implementación de esta tecnología, se logra reducir la dependencia del trabajo manual, minimizar errores operativos y mejorar la eficiencia general de los procesos de transporte.
- Al realizar el análisis en base a los fundamentos teóricos de los diferentes tipos de (AGVs) permitió identificar las características esenciales de estos robots y su aplicación en entornos

logísticos. Se seleccionó un proceso logístico específico en la empresa DIPAG que resultó ser adecuado para la aplicación del (AGV), cumpliendo así con los requerimientos técnicos necesarios para el diseño del robot.

- Mediante la creación de matrices de priorización, se seleccionaron los diferentes componentes para la construcción del diseño mecánico y el sistema sensorial del robot. Posteriormente, se desarrolló el software necesario para el funcionamiento del robot, asegurándose que el robot cumpla con los requerimientos técnicos, de seguridad y funcionales necesarios para su aplicación en el proceso logístico de transporte de materiales en la empresa DIPAG.
- Por otro lado, al realizar pruebas continuas para verificar la funcionalidad del robot autónomo en base a dos rutas de transporte trazadas dentro del área de bodega de la empresa se obtuvo como resultados en la primera ruta al transportar un peso de 9 Kg el tiempo de recorrido fue de 2 minutos con 40 segundos entre ida y vuelta, con un peso de 18 Kg el tiempo de recorrido fue de 3 minutos con 2 segundos, y para la ruta dos con un peso de 9 Kg el tiempo de recorrido fue de 3 minutos con 20 segundos, con el peso de 18 Kg el tiempo fue de 3 minutos con 50 segundos, optimizando el tiempo de los trabajadores y reduciendo la mano de obra manual que se utiliza al transportar maquinaria, enfocándose en realizar otras actividades en beneficio de la empresa DIPAG.

## **7.2. RECOMENDACIONES**

- Investigar sobre nuevas tendencias en sensores que permitan mejorar la capacidad de navegación y seguridad del (AGV), de manera que se logre mejorar su eficiencia dentro de un proceso logístico.
- Implementar un sistema de comunicación, mediante el monitoreo en tiempo real. Esto puede incluir la recopilación de datos como distancia recorrida, tiempo de movimiento del robot entre rutas y número de veces que se detuvo por obstáculos que se encontraron en la ruta, con base a los datos realizar un análisis para identificar áreas de mejora.
- Considerar que el área en donde va a operar el robot tenga una ruta trazada en el suelo y una iluminación adecuada para el buen funcionamiento del robot autónomo.

- Investigar y evaluar otras tecnologías de automatización que puedan complementar el uso de los (AGVs). Esto podría incluir el uso de inteligencia artificial que mejore la precisión y seguridad del robot en entornos logísticos complejos.

## 8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] C. E. Flores Aldás y J. M. Romero Saltos, “Desarrollo de un robot móvil autónomo, para el transporte y reparto de paquetería liviana en Laar Courier.”, bachelorThesis, 2019. Consultado: el 27 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/17151>
- [2] G. Acosta Soto, “AGV para movimiento de material entre estaciones de trabajo”, mar. 2023, Consultado: el 8 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.tec.mx/handle/11285/650694>
- [3] A. F. Sánchez Hernández, O. D. Florez Sandoval, y J. D. López Lozano, “Diseño y Construcción de un Robot Móvil a Escala para Transporte de Llantas Vehiculares en la Compañía Zona Franca Industrial COLMOTORES SAS”, jul. 2022, Consultado: el 8 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: <http://repository.unipiloto.edu.co/handle/20.500.12277/11792>
- [4] M. Moran, “Infraestructura”, Desarrollo Sostenible. Consultado: el 20 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/infrastructure/>
- [5] “Plan Nacional de Desarrollo 2024-2025. – Ministerio de Economía y Finanzas”. Consultado: el 10 de junio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.finanzas.gob.ec/plan-nacional-de-desarrollo-2024-2025/>
- [6] “Revista UTC”. Consultado: el 27 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: <http://www.utc.edu.ec/INVESTIGACION/Sistema-de-Investigacion/plan-estrategica>
- [7] A. J. Moshayedi, J. Li, y L. Liao, “AGV (automated guided vehicle) robot: Mission and obstacles in design and performance”, J. Simul., 2019.

- [8] G. Ullrich y T. Albrecht, *Automated Guided Vehicle Systems: A Guide - With Practical Applications - About The Technology - For Planning*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, 2023. doi: 10.1007/978-3-658-35387-2.
- [9] G. Ullrich, *Automated Guided Vehicle Systems: A Primer with Practical Applications*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2015. doi: 10.1007/978-3-662-44814-4.
- [10] C. Franco Leyva, “Estudio de implantación de AGVs en la fábrica X”, Bachelor thesis, Universitat Politècnica de Catalunya, 2020. Consultado: el 26 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/330177>
- [11] S. Moreno y N. Munoz Ceballos, “Vehículos de guiado autónomo (AGV) en aplicaciones industriales: una revisión”, *Rev. Politécnica*, vol. 15, pp. 117–137, jun. 2019, doi: 10.33571/rpolitec.v15n28a11.
- [12] S. Kumar Das, “Design and Methodology of Automated Guided Vehicle-A Review”, *IOSR J. Mech. Civ. Eng.*, vol. 03, núm. 03, pp. 29–35, mar. 2016, doi: 10.9790/1684-15010030329-35.
- [13] A. M, K. P, A. kumar S, y N. N, “Design and Development of Automated Guided Vehicle with Line Follower Concept using IR”, en 2023 Fifth International Conference on Electrical, Computer and Communication Technologies (ICECCT), feb. 2023, pp. 1–11. doi: 10.1109/ICECCT56650.2023.10179618.
- [14] C. O. Abrajan Arias, “Diseño y construcción de un robot seguidor de línea evasor de obstáculos empleando Arduino Nano.”, ene. 2020, Consultado: el 31 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: <http://dspace.istvidanueva.edu.ec/handle/123456789/96>
- [15] D. Y. Jaimes y F. Fajardo, “Caracterización de motores DC de imán permanente mediante un sistema motor-generador”, *Rev. Bras. Ensino Física*, vol. 44, p. e20220199, ago. 2022, doi: 10.1590/1806-9126-RBEF-2022-0199.

- [16] J. E. Salcedo, “Caracterización de un motor Brushless comparado con motor DC sin carga”, #ashtag, vol. 1, núm. 18, pp. 54–68, jul. 2021, doi: 10.52143/2346139X.928.
- [17] “Aplicaciones principales de los vehículos AGV autoguiados | Drupal”. Consultado: el 20 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.aprolis.com/es/aplicaciones-vehiculos-agv-autoguiados>
- [18] “¿Qué es una batería de GEL?”, Rolls Battery Technical Support. Consultado: el 26 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://support.rollsbattery.com/es/support/solutions/articles/260768--qu%C3%A9-es-una-bater%C3%ADa-de-gel->
- [19] “¿Batería de gel o AGM? He aquí las diferencias”. Consultado: el 26 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://batteryworld.varta-automotive.com/es-es/bateria-de-gel-o-agm-he-aqui-las-diferencias>
- [20] “Baterías de ion litio: ¿qué son?” Consultado: el 26 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://blog.toyota-forklifts.es/que-son-las-baterias-de-litio>
- [21] FabioLeon, “Baterías LiPo, características y cuidados!”, DynamoElectronics. Consultado: el 26 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.dynamoelectronics.com/baterias-lipo-caracteristicas-y-cuidados/>
- [22] “Cómo seleccionar y usar el módulo ESP32 con Wi-Fi/Bluetooth adecuado para una aplicación de IoT industrial”, DigiKey. Consultado: el 27 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.digikey.com/es/articles/how-to-select-and-use-the-right-esp32-wi-fi-bluetooth-module>
- [23] “Arduino Nano: Todo lo que necesitas saber - El Cajon de Ardu”. Consultado: el 31 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.elcajondeardu.com/arduino-nano-todo-lo-que-necesitas-saber/>

- [24] “SOLIDWORKS - Qué es y para qué sirve”, SolidBI. Consultado: el 27 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://solid-bi.es/solidworks/>
- [25] “¿Qué es Arduino Blocks? | Librería CATEDU”. Consultado: el 27 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://libros.catedu.es/books/arduino-con-arduinoblocks/page/que-es-arduino-blocks>
- [26] S. Perdomo, “Autodesk Inventor: qué es, funciones y aplicaciones | Especialízate”, Deusto. Consultado: el 27 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.deustoformacion.com/blog/disenio-arquitectonico/que-es-para-que-sirve-autodesk-inventor-disenio-producto>
- [27] “¿Qué es proteus?” Consultado: el 31 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.hubor-proteus.com/proteus-pcb/proteus-pcb/2-proteus.html>
- [28] S. E. Haro Guanga, E. W. Lascano Mora, L. R. Paladines Zurita, y M. A. Vera Villamar, “Análisis de los procesos logísticos en el modelo de gestión de las distribuidoras de Guayaquil, con el uso de modelos matemáticos”, Ser. Científica Univ. Las Cienc. Informáticas, vol. 15, núm. 12, pp. 121–136, 2022.
- [29] O. Pinheiro De Lima, S. Breval Santiago, C. M. Rodríguez Taboada, y N. Follmann, “Una nueva definición de la logística interna y forma de evaluar la misma”, Ingeniare Rev. Chil. Ing., vol. 25, núm. 2, pp. 264–276, jun. 2017, doi: 10.4067/S0718-33052017000200264.
- [30] R. Castellnou, “Identificar y elaborar el mapa por procesos de la empresa”. Consultado: el 8 de agosto de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.captio.net/blog/identificar-y-elaborar-el-mapa-de-procesos-de-la-empresa>
- [31] “Diagrama de flujo - Qué es, tipos, simbología y ejemplos”. Consultado: el 9 de agosto de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://concepto.de/diagrama-de-flujo/>

- [32] “Bizagi, One Platform; Every Process. Guía de Uso Studio”. Consultado: el 9 de agosto de 2024. [En línea]. Disponible en: [https://help.bizagi.com/bpm-suite/es/index.html?get\\_started.htm](https://help.bizagi.com/bpm-suite/es/index.html?get_started.htm)
- [33] “Metodología Waterfall: la gestión de proyectos en cascada - IEP”. Consultado: el 31 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://iep.edu.es/metodologia-waterfall/>
- [34] “Tipos de Vehículos de Guiado Automático | Sistemas AGV - MasterMover”. Consultado: el 3 de junio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.mastermover.com/es-es/vehiculos-de-guiado-automatico-agv/tipos-de-agv>
- [35] “AGV, los vehículos industriales inteligentes”, Interempresas. Consultado: el 3 de junio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.interempresas.net/Logistica/Articulos/38400-AGV-los-vehiculos-industriales-inteligentes.html>
- [36] C. A. Vargas-Torres y J. Santiago-Paz, “Robot seguidor de línea basado en visión artificial con ROS y OpenCV”, *Rev. Apl. Ing.*, pp. 1–10, mar. 2019, doi: 10.35429/JEA.2019.18.6.1.10.
- [37] S. A. Madrigal Moreno y N. D. Muñoz Ceballos, “Vehículos de guiado autónomo (AGV) en aplicaciones industriales: una revisión”, *Rev. Politécnica*, vol. 15, núm. 28, pp. 117–137, jun. 2019, doi: 10.33571/rpolitec.v15n28a11.
- [38] S. Arilla, “Vehículos de guiado automático (AGV): usos y ventajas”, *SCM Logística Barcelona*. Consultado: el 29 de junio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.scmlogistica.es/vehiculos-de-guiado-automatico-agv-tipos-y-caracteristicas/>
- [39] “Vehículo Autoguiado AGV Neos II TRI ac | Vehículo Autoguiados AGV | OMG Industry”. Consultado: el 29 de junio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.omgindustry.com/es/carretillas-elevadoras-electricas/carretillas-elevadoras-tipos/agv-vehiculos-autoguiados/vehiculo-autoguiado-agv-neos-ii-tri/>
- [40] admin, “AGVs: Una revolución para tu almacén”, *DBK Proyectos*. Consultado: el 29 de junio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://dbkproyectos.es/agvs-espana/>

- [41] “AGVs – Vehículos de guiado automático”. Consultado: el 29 de junio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.kernium.com.ar/agvs-vehiculos-de-guiado-automatizado/>
- [42] “Carretillas elevadoras AGV | Carretillas elevadoras automatizadas | Jungheinrich”. Consultado: el 29 de junio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.logisnextamericas.com/en/jungheinrich/forklifts-pallet-trucks/agvs>
- [43] “Apilador AGV - Todos los fabricantes industriales”. Consultado: el 29 de junio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.directindustry.com/industrial-manufacturer/agv-stacker-truck-120610.html>
- [44] “Sonido | Ultrasonido : Módulo sensor de distancias HC-SR04”. Consultado: el 15 de agosto de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.eneka.com.uy/robotica/sensores/sonido/m%C3%B3dulo-sensor-de-distancias-hc-sr04-detail.html>
- [45] “Tutorial del sensor ultrasónico MB1240 con Arduino [con ejemplos de código] – MaxBotix”. Consultado: el 15 de agosto de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://maxbotix.com/blogs/basic-use/mb1240-ultrasonic-sensor-with-arduino-tutorial-with-code-examples>
- [46] “PING))) Sensor de distancia ultrasónico - Parallax”. Consultado: el 15 de agosto de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.parallax.com/product/ping-ultrasonic-distance-sensor/>
- [47] “Módulo RF 4 Canales 315MHz - Maker Creativo Store”. Consultado: el 15 de agosto de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.makercreativo.com/store/producto/modulo-rf-4-canales-315mhz/>
- [48] “Pololu - HP 12V Motor with 48 CPR Encoder for 25D mm Metal Gearmotors (No Gearbox)”. Consultado: el 15 de agosto de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.pololu.com/product/4840>

- [49] E. Fahad, “ESP32 WROOM 32D Pinout, Features, and specifications”, Electronic Clinic. Consultado: el 15 de agosto de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.electronicclinic.com/esp32-wroom-32d-pinout-features-and-specifications/>
- [50] “IRF3205 MOSFET. Datasheet. Equivalente. Reemplazo. Hoja de especificaciones. Principales características”. Consultado: el 15 de agosto de 2024. [En línea]. Disponible en: [https://alltransistors.com/es/mosfet/transistor.php?transistor=2363#google\\_vignette](https://alltransistors.com/es/mosfet/transistor.php?transistor=2363#google_vignette)
- [51] “Tcrt5000 Sensor infrarrojo reflectivo”. Consultado: el 15 de agosto de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://tecmikro.com/optoacopladores-optoaisladores/161-tcrt5000-sensor-infrarrojo-reflectivo.html>
- [52] “QTR-8A Reflectance Sensor Array”, AV Electronics. Consultado: el 15 de agosto de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://avelectronics.cc/producto/qtr-8a-reflectance-sensor-array/>
- [53] “Batería Lipo Turnigy 11.1V 2200mAh 3S 25C LiPo - MEGATRONICA”. Consultado: el 15 de agosto de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://megatronica.cc/producto/bateria-turnigy-2200mah-3s-25c-lipo-2/>
- [54] “BATERÍA LIPO GENS ACE 3S 11,1V 2200MAH 25C – Grupo Electrostore”. Consultado: el 15 de agosto de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://grupoelectrostore.com/shop/baterias/baterias-lipo/tattu-gens-ace/bateria-lipo-tattu-gens-ace-3s-111v-2200mah-25c/>

