

CARRERA DE ELECTRÓNICA

“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN ROBOT SEGUIDOR DE LÍNEA VELOCISTA, CON CONTROL DE PARÁMETROS Y VISUALIZACIÓN INTERACTIVA MEDIANTE UNA PANTALLA OLED.”

**Trabajo de Integración Curricular previo a la obtención del Título de
Tecnólogo Superior en Electrónica**

Autor: Espinosa Lascano Nelson Leonardo

Tutor: ING. Cordero Diego

Marzo, 2025

SANGOLQUI – ECUADO

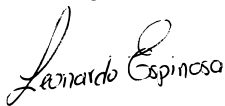
Autor: Nelson Leonardo Espinosa Lascano	Título a obtener: Electrónica Matriz: Sangolquí -Ecuador Correo electrónico: nelson.espinosa@ister.edu.ec
	
Dirigido por: Ing. Diego Armando Cordero Chango	Matriz: Sangolquí -Ecuador Correo electrónico: diego.cordero@ister.edu.ec
	

TODOS LOS DERECHOS RESERVADOS.

Queda prohibida, salvo excepción prevista en la Ley, cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública y transformación de esta obra para fines comerciales, sin contar con autorización de los titulares de propiedad intelectual. La infracción de los derechos mencionados puede ser constitutiva de delito contra la propiedad intelectual. Se permite la libre difusión de este texto con fines académicos investigativos por cualquier medio, con la debida notificación a los autores.

©2024 Tecnológico Universitario Rumiñahui

SANGOLQUÍ – ECUADOR



Nelson Leonardo Espinosa Lascano

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN ROBOT SEGUIDOR DE LÍNEA VELOCISTA, CON CONTROL DE PARÁMETROS Y VISUALIZACIÓN INTERACTIVA MEDIANTE UNA PANTALLA OLED.

APROBACIÓN DEL TUTOR/A

En mi calidad de Tutor/a del Trabajo de Titulación, presentado por **Nelson Leonardo Espinosa Lascano** con CC: 1720499837 para optar por el Título de Tecnólogo/a Superior en Electrónica; cuyo título es: **Diseño e implementación de un robot seguidor de línea velocista, con control de parámetros y visualización interactiva mediante una pantalla oled**, se considera que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación pública y evaluación por parte del tribunal examinador que fuere designado.

Sangolquí, a los 22 días del mes de marzo de 2025



Firmado electrónicamente por:
**DIEGO ARMANDO
CORDERO CHANGO**

Ing. Diego Armando Cordero Chango

DOCENTE-TUTOR

C.I. 1721486882

CARTA DE CESIÓN DE DERECHOS DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

CT-ANX-2025-ISTER-2-2.2

Sangolquí, 24 de marzo del 2025

MSc. Elizabeth Ordoñez
DIRECTORA DE DOCENCIA

MSc. Mónica Loachamín
COORDINADORA DE TITULACIÓN

**INSTITUTO SUPERIOR TECNOLÓGICO RUMIÑAHUI CON CONDICIÓN DE
UNIVERSITARIO**

Presente

Por medio de la presente, yo, Nelson Leonardo Espinosa Lascano declaro y acepto en forma expresa lo siguiente: Ser autor del trabajo de titulación denominado **Diseño e implementación de un robot seguidor de línea velocista, con control de parámetros y visualización mediante una pantalla oled**, de la Tecnología Superior en Electrónica; y a su vez manifiesto mi voluntad de ceder al Instituto Superior Tecnológico Rumiñahui con condición de Universitario los derechos de reproducción, distribución y publicación de dicho trabajo de titulación, en cualquier formato y medio, con fines académicos y de investigación.

Esta cesión se otorga de manera no exclusiva y por un periodo indeterminado. Sin embargo, conservo los derechos morales sobre mi obra.

En fe de lo cual, firmo la presente.

Atentamente,



Nelson Leonardo Espinosa Lascano
C.I.: 1720499837

FORMULARIO PARA ENTREGA DE PROYECTOS EN BIBLIOTECA INSTITUTO SUPERIOR TECNOLÓGICO RUMIÑAHUI CON CONDICIÓN DE UNIVERSITARIO

CT-ANX-2025-ISTER-3

CARRERA: TECNOLOGÍA EN ELECTRÓNICA

AUTOR:

NELSON LEONARDO ESPINOSA LASCANO

TUTOR:

ING. DIEGO ARMANDO CORDERO CHANGO

CONTACTO ESTUDIANTE: 0962738787

CORREO ELECTRÓNICO: leydoswow@gmail.com

TEMA:

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN ROBOT SEGUIDOR DE LÍNEA VELOCISTA,
CON CONTROL DE PARÁMETROS Y VISUALIZACIÓN INTERACTIVA MEDIANTE
UNA PANTALLA OLED

OPCIÓN DE TITULACIÓN:

UNIDAD DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

RESUMEN EN ESPAÑOL:

El proyecto tiene como objetivo el desarrollo de un robot seguidor de línea velocista, optimizado mediante un sistema de control PID, para mejorar la educación técnica en robótica y electrónica en el Instituto Tecnológico Rumiñahui (ISTER). El robot integrará una estructura impresa en 3D, una regleta de 16 sensores para la detección precisa de la trayectoria y una pantalla OLED que permitirá la visualización interactiva de los parámetros de control en tiempo real.

El sistema de control será programado utilizando la plataforma Arduino, garantizando flexibilidad en su implementación. Durante el desarrollo, se llevarán a cabo pruebas y ajustes iterativos con el objetivo de mejorar el rendimiento del robot ante variaciones en la trayectoria.

Este proyecto, dirigido a los estudiantes del ISTER, busca fortalecer sus competencias en áreas clave como control de sistemas, programación de microcontroladores y diseño de hardware. La implementación práctica de un robot autónomo servirá como una herramienta educativa para integrar teoría y práctica, permitiendo a los estudiantes experimentar con algoritmos de control y optimización de sistemas.

A través del diseño, fabricación y evaluación del robot, se logrará una mejor comprensión de los principios de robótica y control, contribuyendo a la innovación en los laboratorios de electrónica del instituto. El uso de esta tecnología fomentará el trabajo colaborativo y fortalecerá las habilidades analíticas y de resolución de problemas, preparando a los estudiantes para enfrentar desafíos en el campo de la robótica y la automatización.

MATRIZ SANGOLQUÍ: Av. Atahualpa 1701 y 8 de Febrero

Telf: 0960052734 / 023524576 / 022331628

    www.ister.edu.ec / info@ister.edu.ec

PALABRAS CLAVE:

Robot, PID, OLED, parámetros.

ABSTRACT:

The project aims to develop a sprinting line-following robot, optimized using a PID control system, to enhance technical education in robotics and electronics at the Rumiñahui Technological Institute (ISTER). The robot will integrate a 3D-printed structure, a 16-sensor array for precise trajectory detection, and an OLED display that will allow interactive visualization of control parameters in real time. The control system will be programmed using the Arduino platform, ensuring flexibility in its implementation. During development, iterative testing and adjustments will be carried out to improve the robot's performance in the face of trajectory variations. This project, aimed at ISTER students, seeks to strengthen their skills in key areas such as system control, microcontroller programming, and hardware design. The practical implementation of an autonomous robot will serve as an educational tool to integrate theory and practice, allowing students to experiment with control algorithms and system optimization. Through the design, manufacturing, and evaluation of the robot, a better understanding of robotics and control principles will be achieved, contributing to innovation in the institute's electronics laboratories. The use of this technology will foster collaborative work and strengthen analytical and problem-solving skills, preparing students to face challenges in the field of robotics and automation.

PALABRAS CLAVE:

Robot, PID, OLED, parameters.



Firma del Estudiante (AUTOR)

Nelson Leonardo Espinosa Lascano

C.I.: 172049983-7

MATRIZ SANGOLQUÍ: Av. Atahualpa 1701 y 8 de Febrero

Telf: 0960052734 / 023524576 / 022331628

    **www.ister.edu.ec / info@ister.edu.ec**

SOLICITUD DE PUBLICACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

CT-ANX-2025-ISTER-4

Sangolquí, 24 de marzo del 2025

Sres.-

INSTITUTO SUPERIOR TECNOLÓGICO RUMIÑAHUI CON CONDICIÓN DE UNIVERSITARIO

Presente

Yo Nelson Leonardo Espinosa Lascano, con C.I.: 1720499837 alumno de la Carrera ELECTRÓNICA, cedo al INSTITUTO SUPERIOR TECNOLÓGICO RUMIÑAHUI CON CONDICIÓN DE UNIVERSITARIO, los derechos de publicaciones del presente trabajo de Titulación en el Repositorio Institucional para hacer uso de todos los contenidos con fines estrictamente académico o de investigación.

Atentamente,



Firma del Estudiante

Nelson Leonardo Espinosa Lascano

C.I.: 1720499837

MATRIZ SANGOLQUÍ: Av. Atahualpa 1701 y 8 de Febrero

Telf: 0960052734 / 023524576 / 022331628

    www.ister.edu.ec / info@ister.edu.ec

DEDICATORIA

A mis dos amores, Francis y Diana, cuyo amor y apoyo incondicional fueron mi mayor inspiración para alcanzar este logro; a mi hermano Gabo, por su guía y conocimiento, que iluminaron mi camino en los momentos más desafiantes; y al Ing. Diego Cordero, cuya pasión y motivación impulsaron este proyecto. A todos ustedes, con gratitud infinita.

Leonardo Espinosa.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a todos los docentes y compañeros de estudio que formaron parte de este camino, brindándome su apoyo y conocimientos. Un reconocimiento especial al Club de Robótica Open Source, cuyo entusiasmo y creatividad nos permitieron lograr en poco tiempo lo que muchos considerarían imposible en años. Sus ideas, a veces alocadas, fueron el motor de grandes aprendizajes y desafíos superados

Leonardo Espinosa.

RESUMEN EJECUTIVO

El proyecto tiene como objetivo el desarrollo de un robot seguidor de línea velocista, optimizado mediante un sistema de control PID, para mejorar la educación técnica en robótica y electrónica en el Instituto Tecnológico Rumiñahui (ISTER). El robot integrará una estructura impresa en 3D, una regleta de 16 sensores para la detección precisa de la trayectoria y una pantalla OLED que permitirá la visualización interactiva de los parámetros de control en tiempo real.

El sistema de control será programado utilizando la plataforma Arduino, garantizando flexibilidad en su implementación. Durante el desarrollo, se llevarán a cabo pruebas y ajustes iterativos con el objetivo de mejorar el rendimiento del robot ante variaciones en la trayectoria.

Este proyecto, dirigido a los estudiantes del ISTER, busca fortalecer sus competencias en áreas clave como control de sistemas, programación de microcontroladores y diseño de hardware. La implementación práctica de un robot autónomo servirá como una herramienta educativa para integrar teoría y práctica, permitiendo a los estudiantes experimentar con algoritmos de control y optimización de sistemas.

A través del diseño, fabricación y evaluación del robot, se logrará una mejor comprensión de los principios de robótica y control, contribuyendo a la innovación en los laboratorios de electrónica del instituto. El uso de esta tecnología fomentará el trabajo colaborativo y fortalecerá las habilidades analíticas y de resolución de problemas, preparando a los estudiantes para enfrentar desafíos en el campo de la robótica y la automatización.

PALABRAS CLAVE

Robot, PID, OLED, parámetros.



Ing. Diego Armando Cordero Chango

TUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

ABSTRACT

The project aims to develop a sprinting line-following robot, optimized using a PID control system, to enhance technical education in robotics and electronics at the Rumiñahui Technological Institute (ISTER). The robot will integrate a 3D-printed structure, a 16-sensor array for precise trajectory detection, and an OLED display that will allow interactive visualization of control parameters in real time. The control system will be programmed using the Arduino platform, ensuring flexibility in its implementation. During development, iterative testing and adjustments will be carried out to improve the robot's performance in the face of trajectory variations. This project, aimed at ISTER students, seeks to strengthen their skills in key areas such as system control, microcontroller programming, and hardware design. The practical implementation of an autonomous robot will serve as an educational tool to integrate theory and practice, allowing students to experiment with control algorithms and system optimization. Through the design, manufacturing, and evaluation of the robot, a better understanding of robotics and control principles will be achieved, contributing to innovation in the institute's electronics laboratories. The use of this technology will foster collaborative work and strengthen analytical and problem-solving skills, preparing students to face challenges in the field of robotics and automation.

KEYWORDS

Robot, PID, OLED, parameters.

ÍNDICE GENERAL

TODOS LOS DERECHOS RESERVADOS.	iii
APROBACIÓN DEL TUTOR/A	iv
DEDICATORIA	ix
AGRADECIMIENTO	x
RESUMEN EJECUTIVO	xi
PALABRAS CLAVE	xi
1.....	xi
ABSTRACT.....	xii
2.....	xii
KEYWORDS.....	xii
3. INTRODUCCIÓN	1
1. CAPÍTULO I	2
1.1. Planteamiento del problema.....	2
1.2. Preguntas de directrices	2
1.3. Objetivo General	3
1.4. Objetivos Especifico	3
1.5. Justificación	3
1.6. Alcance	4
2. CAPÍTULO II	5
2.1. Fundamento teórico relacionado al trabajo de integración curricular	5
2.1.1. Robots Móviles	5
2.1.2. Robots Seguidor de línea	5
2.1.3. Funcionamiento.....	6
2.1.4. Tipos de robots seguidore de línea.....	7
2.1.4.1 Seguidor de línea Turing.....	7
2.1.4.2 Seguidor de línea velocista	8
2.1.4.3 Seguidor de línea Weasel.....	8
2.1.5. Tipos de robots de competencia.....	9
2.1.6. Arquitectura	9
2.1.6.1 Estructura o Chasis	10
2.1.6.2 Microcontroladores	10
2.1.6.3 Motores	11
2.1.6.4 Controlador de motor (puente H o drivers).....	11

2.1.6.5 Sensores reflectivos	12
2.1.6.6 Ruedas.....	12
2.1.6.7 Alimentación (Batería).....	13
2.1.7. Control PID.....	13
2.1.8. Elementos de Visualización.....	14
2.1.8.1 Pantalla Oled.....	14
3. CAPÍTULO III.....	15
3.1. El método científico.....	15
3.1.1. Tipos de investigación	15
3.1.1.1 Diseño	15
3.1.1.2 Implementación.....	16
3.1.1.3 Evaluación.....	18
4. CAPÍTULO IV.....	20
4.1. Diseño de la propuesta	20
4.1.1. Estructura 3D	20
4.1.2. Esquema electrónico	20
4.1.2.1 Alimentación.....	21
4.1.2.2 Sensor.....	21
4.1.2.3 Control	22
4.1.2.4 Visualización.....	22
4.2. Implementación.....	23
4.2.1. Impresión 3D	23
4.2.2. Diseño PCB.....	24
4.2.3. Ensamblaje del seguidor de línea velocista.	25
4.2.4. Programación	27
4.4.4.1 Control motores	28
4.4.4.2 Sensores Multiplexados	29
4.4.4.3 PID.....	32
4.4.4.4 Integración Pantalla oled.....	33
4.3. Pruebas.....	35
4.3.1. PWM motores	35
4.3.2. Lectura de Sensores	36
4.3.3. Interfaz pantalla oled.....	37
4.3.4. Desempeño en pista.	39
4.4. Resultados	42

4.4.1.	PWM Motores.....	42
4.4.2.	Lectura de Sensores	42
4.4.3.	Interfaz Pantalla OLED.....	43
4.4.4.	Interfaz Pantalla OLED.....	43
4.4.5.	Desempeño en Pista 1	43
4.4.6.	Desempeño en Pista 2	43
5.	CAPITULO V	44
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	44
5.1	Conclusiones	44
5.2	Recomendaciones	45
7.		45
8.		45
5.3	Referencias.....	46
ANEXOS		48

Índice de Tablas

Tabla 1 Técnicas e instrumentos de recolección de datos Diseño. Fuente: Propia.....	16
Tabla 2 Técnicas e instrumentos de recolección de datos Implementación. Fuente: Propia. .	18
Tabla 3 Técnicas e instrumentos de recolección de datos Evaluación. Fuente: Propia.....	19
Tabla 4 Desempeño PWM. Fuente: Propia.....	36
Tabla 5 Fondo y Línea. Fuente Propia.....	36
Tabla 6 Prueba pista 1 en curvas. Fuente: Propia.	40
Tabla 7 Prueba pista 1 en rectas. Fuente: Propia.	40
Tabla 8 Respuesta del freno pista 1. Fuente: Propia.....	40
Tabla 9 Freno en rectas pista 1. Fuente: Propia.	40
Tabla 10 Prueba pista 2 en curvas. Fuente: Propia.	41
Tabla 11 Prueba pista 2 en rectas. Fuente: Propia.	41
Tabla 12 Respuesta del freno pista 2. Fuente: Propia.....	42
Tabla 13 Freno en rectas pista 2. Fuente: Propia.	42

Índice de Figuras

Figura 1 Seguidor de línea. Fuente: Propia.....	5
Figura 2 Pista de seguidor de línea. Fuente: Propia.....	6
Figura 3 Seguidor de línea. Fuente: Propia.....	6
Figura 4 Robot seguidor de línea Turing. Fuente: ElectronicaStore. (2018).....	7
Figura 5 Robot racer. Fuente: thanhson (2025)	8
Figura 6 Robot Weasel Fuente: SCHAEFER (2016)	8
Figura 7 Diseño 3d estructura. Fuente: Propia.....	10
Figura 8 Microcontrolador ATMEGA 328. Fuente: Electroestore (2025).	10
Figura 9 Motorreductor de metal micro. Fuente: Pololu (2020.).....	11
Figura 10 Módulo de regleta de 16 sensores QRE1113 reflectivos multiplexados. Fuente: Electroestore (2025).	12
Figura 11 Par de llantas JS2042 silicona y aluminio seguidor de línea. Fuente: Electroestore (2025).	13
Figura 12 Batería lipo attu 2s 7.6v 300mah. Fuente: Electroestore (2025).	13
Figura 13 Diagrama de bloques del embebido Fuente: Propia.	14
Figura 14 Pantall Oled 0.9" I2C. Fuente: Propia	14
Figura 15 Diseño 3d estructura. Fuente: Propia.....	20
Figura 16 Alimentación. Fuente: Propia.	21
Figura 17 Regleta 16 sensores. Fuente: Propia.....	21
Figura 18 Conexión entre el Arduino Nano y el driver TB6612. Fuente:Propia.....	22
Figura 19 Conexión pantalla OLED, pulsadores en pull-up, LED indicador. Fuente: Propia	23
Figura 20 Chasis y soportes de micromotores impresos en 3D. Fuente: Propia.....	23
Figura 21 PCB seguidor de línea. Fuente: Propia.....	24
Figura 22 Vista 3d componentes. Fuente: Propia.	24
Figura 23Componentes del Seguidor de línea. Fuente: Propia.....	25
Figura 24 Micromotores Pololu, rines y gomas. Fuente: Propia.	25
Figura 25 brackets y motores chasis. Fuente: Propia.....	26
Figura 26 Soportes regleta 16 sensores. Fuente: Propia.	26
Figura 27 Regleta 16 sensores. Fuente: Propia.	26
Figura 28 PCB en el chasis. Fuente: Propia.....	27
Figura 29 Seguidor armado. Fuente: Propia	27
Figura 30 Declaración de variables. Fuente: Propia.	28
Figura 31 Configuración de frecuencia PWM. Fuente: TM-Robotic3D(2021).	28
Figura 32 Control de dirección y velocidad de los motores.Fuente: TM-Robotic3D(2021)...	29
Figura 33 Tabla de verdad. Fuente: Ja-bots (2025).	29

Figura 34 Inicialización básica de un sistema de sensores multiplexados. Fuente: TM-Robotic3D(2021).	30
Figura 35 Lectura y procesamiento de datos de los sensores multiplexados. Fuente: TM-Robotic3D(2021)..	31
Figura 36 Lectura y procesamiento optimizado. Fuente: TM-Robotic3D(2021).	31
Figura 37 Lectura (fondos y línea), promedio. Fuente: TM-Robotic3D(2021).	32
Figura 38 Posición. Fuente: TM-Robotic3D(2021).	32
Figura 39 Control PID. Fuente: TM-Robotic3D(2021).	33
Figura 40 Inicialización de la pantalla OLED. Fuente: Propia.	33
Figura 41 Definición de parámetros. Fuente: Propia.	33
Figura 42 Verificación de inicialización. Fuente: Propia.	34
Figura 43 Actualización de la pantalla. Fuente: Propia.	34
Figura 44 Manejo de botones. Fuente: Propia.	35
Figura 45 Logo del Instituto Rumiñahui. Fuente: Propia.	37
Figura 46 KP seleccionada. Fuente: Propia.	37
Figura 47 KD seleccionada. Fuente: Propia.	38
Figura 48 KI seleccionada. Fuente: Propia.	38
Figura 49 Vel seleccionada. Fuente: Propia.	39
Figura 50 Pista 1 línea negra. Fuente: Propia.	39
Figura 51 Pista 2, línea negra. Fuente: Propia.	41

Lista de anexos

Anexo 1 Planos estructura seguidor de línea velocista.....	48
Anexo 2 Esquemático seguidor de línea velocista.....	48
Anexo 3 PINOUT Arduino nano.	49
Anexo 4 PINOUT driver TB6612fng.	49
Anexo 5 PINOUT Regleta IM 16 sensores.....	49
Anexo 6 PINOUT Pantalla Oled 0.9"	50
Anexo 7 Presupuesto.....	50
Anexo 8 Cronograma de Actividades	1

INTRODUCCIÓN

La educación técnica en robótica y electrónica requiere una integración efectiva entre la teoría y la práctica. Sin embargo, la falta de herramientas adecuadas limita el desarrollo de habilidades esenciales en control de sistemas, programación de microcontroladores y diseño de hardware. Para abordar esta problemática, se propone el desarrollo de un robot seguidor de línea velocista con control PID y visualización en pantalla OLED, permitiendo la optimización de parámetros y el análisis del rendimiento en tiempo real.

Este proyecto está dirigido a los estudiantes del Instituto Tecnológico Rumiñahui (ISTER), con el objetivo de fortalecer sus conocimientos en robótica y automatización mediante la experimentación con algoritmos de control y técnicas de optimización. A través del diseño, implementación y evaluación del robot, los estudiantes desarrollarán competencias clave en integración de hardware y software, mejorando su capacidad para aplicar conceptos teóricos en situaciones prácticas.

El desarrollo del robot se estructurará en varias etapas, que incluyen el análisis de sistemas de seguimiento de línea, el diseño de la estructura mecánica y electrónica, la fabricación y ensamblaje de los componentes, así como la programación y pruebas del sistema de control. Al finalizar, se evaluará el desempeño del robot en distintas condiciones, permitiendo ajustes y mejoras para optimizar su funcionamiento. Con ello, el proyecto contribuirá a la formación técnica y a la innovación en los laboratorios de electrónica del ISTER.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Planteamiento del problema

En el ámbito de la educación técnica en robótica y electrónica, se observa una brecha significativa entre los conocimientos teóricos impartidos y las habilidades prácticas necesarias para el desarrollo de proyectos reales. Esta desconexión dificulta que los estudiantes logren aplicar los conocimientos adquiridos debido, principalmente, a la falta de acceso a herramientas y tecnologías avanzadas.

A nivel nacional, este desafío se refleja en las limitaciones de las instituciones de educación técnica para ofrecer experiencias de aprendizaje que permitan la integración de teoría y práctica en un entorno controlado. En el Instituto Tecnológico Rumiñahui, esta situación se manifiesta en la carencia de un robot seguidor de línea velocista con control de parámetros y visualización interactiva a través de una pantalla OLED. Aunque no se trate de una tecnología utilizada directamente en sectores industriales, la implementación de proyectos educativos como este facilita el desarrollo de competencias esenciales en áreas como el control de sistemas, la programación de microcontroladores y el diseño de hardware.

La falta de estos recursos limita las posibilidades de los estudiantes para experimentar y aprender de manera práctica, afectando su capacidad de aplicar lo aprendido en situaciones reales. La introducción de un robot seguidor de línea velocista con control de parámetros y visualización interactiva sería una solución efectiva para cerrar esta brecha, proporcionando una herramienta educativa moderna que fortalecería el aprendizaje práctico y mejoraría las competencias técnicas necesarias para la formación académica en electrónica y robótica.

1.2. Preguntas de directrices

- ¿Cuál es el objetivo principal de este proyecto y cómo contribuye a la educación técnica en robótica y electrónica?
- ¿Cuáles son las limitaciones del proyecto, y cómo se manejarán en el desarrollo y las pruebas del robot?
- ¿De qué manera el proyecto promoverá la colaboración entre estudiantes y fomentará la resolución de problemas?

1.3. Objetivo General

Desarrollar un robot seguidor de línea velocista mediante la implementación de un sistema de control PID, con visualización interactiva en una pantalla OLED, para optimizar los parámetros de control y mejorar el rendimiento en el seguimiento de la trayectoria.

1.4. Objetivos Especifico

OBJ 1: Identificar los principios teóricos de los robots autónomos móviles, mediante un análisis de sensores, algoritmos de control, para comprender cómo estos componentes permiten la autonomía en entornos dinámicos.

OBJ 2: Diseñar el esquema electrónico y la estructura mecánica del robot seguidor de línea velocista para garantizar su funcionalidad.

OBJ 3: Programar el control PID utilizando una regleta de 16 sensores y una pantalla OLED, con el fin de optimizar la precisión en el seguimiento de la línea y permitir la visualización de parámetros en tiempo real.

OBJ 4: Evaluar el desempeño del robot en diferentes pistas de prueba para analizar su estabilidad, velocidad y capacidad de adaptación a distintos trazados.

1.5. Justificación

La educación técnica en robótica y electrónica requiere equilibrar la teoría con la práctica, pero la falta de herramientas adecuadas limita el desarrollo de habilidades esenciales. Esto afecta la aplicación de conocimientos en proyectos reales y dificulta la formación en áreas clave como control de sistemas, programación de microcontroladores y diseño de hardware.

La implementación de un robot seguidor de línea velocista con control de parámetros y visualización interactiva mejorará la enseñanza práctica en el Instituto Tecnológico Rumiñahui. Su uso en laboratorios permitirá la experimentación con técnicas de control y optimización de algoritmos, promoviendo un aprendizaje dinámico y aplicado.

Este proyecto fomentará la innovación y el trabajo colaborativo, fortaleciendo el pensamiento analítico y la resolución de problemas. La capacidad de ajustar parámetros en tiempo real y visualizar el desempeño del robot facilitará la comprensión de los principios de control, programación y robótica. Además, mejorará la formación en electrónica, proporcionando una base técnica más sólida para el desarrollo de proyectos avanzados.

1.6. Alcance

El presente proyecto tiene como objetivo el desarrollo de un robot seguidor de línea velocista, optimizado mediante un sistema de control PID. Para su construcción, se implementará un diseño estructural impreso en 3D, garantizando estabilidad y ligereza. Se utilizará una regleta de 16 sensores para la detección precisa de la trayectoria y una pantalla OLED que permitirá la visualización interactiva de los parámetros de control en tiempo real.

El sistema de control será programado en un entorno de código abierto, como **Arduino**, asegurando flexibilidad en la implementación del algoritmo de seguimiento de línea. Se llevarán a cabo pruebas y ajustes iterativos para optimizar la respuesta del robot ante variaciones en la trayectoria, mejorando su desempeño.

Las limitaciones del proyecto incluyen el uso exclusivo de control PID, sin la integración de algoritmos más avanzados. Además, el diseño del robot está optimizado para entornos controlados, sin adaptaciones para superficies irregulares o condiciones variables. Por último, la pantalla OLED se limitará a la visualización de parámetros esenciales del sistema, sin funciones avanzadas de análisis de datos o conectividad remota.

CAPÍTULO II

MARCO DE REFERENCIAS

3.1. Fundamento teórico relacionado al trabajo de integración curricular

3.1.1. Robots Móviles

Los robots móviles son dispositivos capaces de moverse en entornos más amplios que su propio tamaño, integrando diversos componentes que permiten su desplazamiento, control y navegación. Estos robots, que pueden operar en medios terrestres, aéreos o acuáticos, están diseñados para no permanecer estáticos, su propósito principal es moverse continuamente mientras ejecutan tareas específicas (CILADI, 2023). En particular, los robots autónomos destacan por su capacidad de operar de forma independiente, recolectando información de su entorno a través de sensores para tomar decisiones sin intervención humana. Además, estos robots requieren una fuente de energía propia, generalmente en forma de baterías, lo que limita su autonomía (Antonio & Edison, 2016).

Los robots móviles se clasifican en dos tipos: aquellos que siguen rutas predefinidas y los que tienen libertad de movimiento. Los primeros operan dentro de trayectorias establecidas, mientras que los segundos pueden desplazarse sin restricciones en diferentes entornos (Aguilera et al., 2007).

3.1.2. Robots Seguidor de línea

Los robots seguidores de línea están diseñados para desplazarse siguiendo un camino marcado en el suelo. Para que el robot pueda detectar la trayectoria correctamente, la línea debe contrastar con el fondo, como una línea negra sobre un suelo blanco o viceversa.



Figura 1 Seguidor de línea. Fuente: Propia.

Los robots seguidores de línea son dispositivos móviles diseñados para detectar y seguir una trayectoria definida en el suelo. Para un desempeño óptimo, la línea debe contrastar claramente con el fondo, como en el caso de una superficie blanca con una línea negra o una superficie negra con una línea blanca, tal como se muestra en la imagen 2. Este contraste es esencial para que el robot pueda identificar y seguir su recorrido con precisión (Carrillo, 2017).



Figura 2 Pista de seguidor de línea. Fuente: Propia.

3.1.3. Funcionamiento

Los seguidores de línea utilizan sensores ópticos para detectar su posición y seguir la trayectoria marcada en el suelo. Estos sensores permiten que el dispositivo se ubique correctamente y mantenga el curso a lo largo del recorrido. Para asegurar un movimiento estable, se emplean algoritmos de control que ajustan continuamente la dirección y velocidad, optimizando el rendimiento y permitiendo completar el recorrido en el menor tiempo posible.

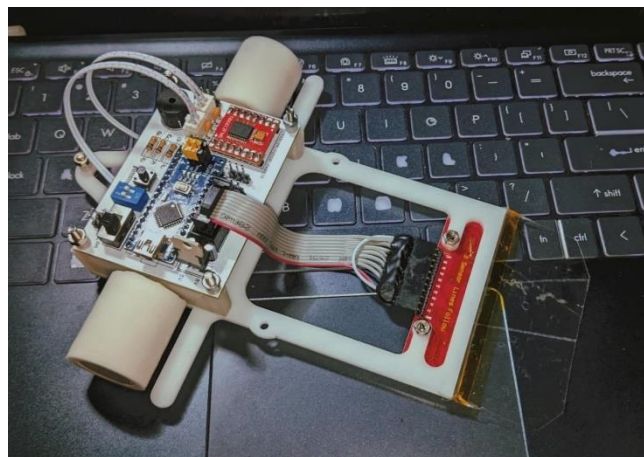


Figura 3 Seguidor de línea. Fuente: Propia.

El funcionamiento de estos dispositivos requiere un microcontrolador o circuitos integrados que, junto con los sensores ópticos, permiten un seguimiento preciso de la línea. El sistema es capaz de reconocer el color de la trayectoria programada y ajustar su movimiento en consecuencia, garantizando que se mantenga en el camino adecuado (Carrillo, 2017).

3.1.4. Tipos de robots seguidores de línea

Existen diversos tipos y modelos de robots, cada uno diseñado con características específicas según su propósito y área de aplicación. Estos dispositivos son creados para cumplir con distintos objetivos, que van desde la investigación y el desarrollo en competencias estudiantiles hasta su implementación en la industria. Entre los distintos modelos, destacan los seguidores de línea Turing, los velocistas y los industriales, como el robot Weasel, que se utilizan en diversos contextos y con fines particulares (Abrajan, 2020).

2.1.4.1 Seguidor de línea Turing

Este robot está compuesto por todos los elementos necesarios para su ensamblaje, lo que lo convierte en una herramienta ideal para estudiantes y docentes enfocados en el aprendizaje de robótica. Incorpora motores con reducción, una barra de sensores, ruedas Pololu, batería, un chasis PCB personalizado, un puente H Dual y un Arduino Nano, permitiéndole desempeñar diversas funciones. En la figura 4 se presenta un ejemplo de este tipo de seguidor (ElectronicaStore, 2018).



Figura 4 Robot seguidor de línea Turing. Fuente: ElectronicaStore. (2018).

2.1.4.2 Seguidor de línea velocista

El robot velocista se caracteriza por el uso de motores de alta velocidad y ruedas diseñadas para ofrecer un buen agarre al suelo, lo que le permite alcanzar mayores velocidades. Las ruedas son importantes en el robot, al ser un seguidor de línea, debe mantener un control preciso, especialmente al superar los 2 metros por segundo, garantizando un agarre adecuado en cada curva. Además, el chasis debe fabricarse con material PCB o impreso en 3D, lo que lo hace ligero y capaz de soportar su propio peso, asegurando así la velocidad deseada. En la figura 5 se ilustra este tipo de robot (Tdrobotica, 2014).

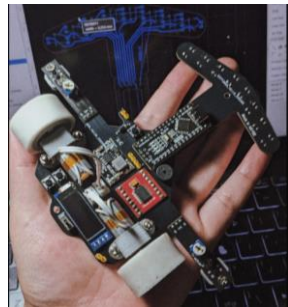


Figura 5 Robot racer. Fuente: thanhson (2025)

2.1.4.3 Seguidor de línea Weasel

El robot WEASEL está concebido para tareas industriales, especialmente para trasladar mercancías entre distintas zonas, como desde el área de producción hasta las bodegas de almacenamiento. Este dispositivo no necesita sensores costosos ni sistemas de control complicados. Se desplaza sobre un carril óptico, el cual se puede instalar de manera rápida y sencilla, permitiendo adaptaciones en la ruta según sea necesario. El WEASEL es capaz de alcanzar velocidades de hasta 1 metro por segundo, incluso en trayectos con inclinaciones de hasta un 20%. Su diseño versátil y eficiente asegura el transporte seguro de diferentes productos, como contenedores, cajas o artículos colgados, en áreas de producción. En la figura 6 se ilustra este robot en funcionamiento (SCHAEFER, 2016).



Figura 6 Robot Weasel Fuente: SCHAEFER (2016)

3.1.5. Tipos de robots de competencia

En las competencias de robótica y mecatrónica, los robots seguidores de línea son uno de los modelos más comunes, pero existen diversos tipos de robots utilizados en diferentes disciplinas, cada uno con aplicaciones específicas. A continuación, se presentan algunos de los tipos más destacados:

- Drones.
- Seguidor de línea.
- Sumo.
- Robot de Batalla.
- Humanoides.
- Robots insecto y trepadores.
- Micromouse.
- Monkey.
- Soccer.

Estos robots se diseñan con diferentes características y funciones, según los requisitos de cada competencia.

3.1.6. Arquitectura

Los robots seguidores de línea se componen de elementos clave como el chasis, sensores, microcontrolador, motores, ruedas y componentes electrónicos. Estos dispositivos se diseñan para ser ligeros, compactos y de bajo consumo energético, con el objetivo de optimizar su rendimiento. La arquitectura del robot puede variar según las especificaciones de la aplicación, el tipo de algoritmo empleado y los elementos seleccionados para su construcción, lo que les permite adaptarse a diferentes necesidades y mejorar su eficiencia en diversas tareas (Carrillo. 2017).

2.1.6.1 Estructura o Chasis

El chasis constituye la estructura principal de un robot seguidor de línea, y su diseño puede adaptarse en forma, material y color según las necesidades de cada aplicación. Este componente sirve como base para montar y conectar los diversos elementos del robot, facilitando su movimiento a lo largo de la ruta. Los chasis pueden ser modulares, móviles o elaborados con materiales como madera o acero, lo cual impacta el desempeño general del prototipo. Es crucial que la estructura sea lo suficientemente estable, permitiendo al robot mantener el equilibrio y realizar giros de manera eficiente (Ortiz, 2016).

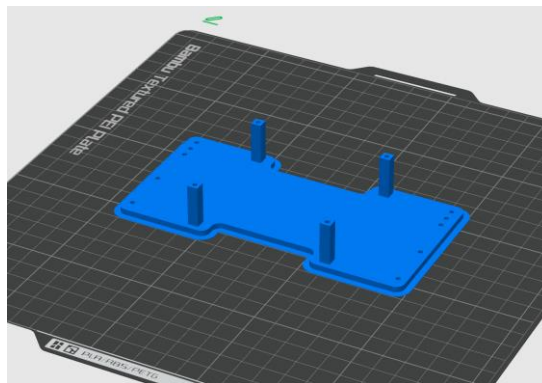


Figura 7 Diseño 3d estructura. Fuente: Propia

2.1.6.2 Microcontroladores

Un microcontrolador (MCU) es un circuito integrado compacto que funciona como una computadora en un solo chip. Su propósito es gestionar tareas específicas dentro de un sistema embebido sin depender de un sistema operativo complejo.

Estos dispositivos incluyen un procesador central, memoria RAM y memoria EEPROM, lo que les permite almacenar y ejecutar programas personalizados, incluso cuando no están conectados a una fuente de energía (*¿Qué es un microcontrolador?*, 2024).



Figura 8 Microcontrolador ATMEGA 328. Fuente: Electroestore (2025).

2.1.6.3 Motores

Los actuadores representan la etapa final del sistema de control, encargados de transformar las señales del controlador en movimiento. Para este propósito, se utilizan diversos tipos de motores, los cuales pueden diferir en tamaño, velocidad y la inclusión de una caja reductora. En el diseño de estos robots, se prioriza la selección de motores compactos para aprovechar mejor el espacio y reducir el peso, si una estructura liviana mejora su rendimiento, especialmente en curvas, donde un exceso de masa dificulta maniobras rápidas y precisas. Además, estos motores desempeñan un papel clave en garantizar la movilidad y alcanzar la velocidad requerida para completar un recorrido dentro de un tiempo específico. (Ocampo,2017) emplearon dos motores Pololu con una velocidad de 6000 RPM y un torque de 0.5 kg.cm, logrando así optimizar el desplazamiento del robot.



Figura 9 Motorreductor de metal micro. Fuente: Pololu (2020.)

2.1.6.4 Controlador de motor (puente H o drivers)

El robot necesita un circuito que regule y suministre la energía adecuada a los motores, función que desempeñan los drivers. Estos dispositivos procesan las señales de control enviadas por el microcontrolador y las amplifican, generando una salida de mayor potencia para operar los motores de manera eficiente (Carrillo et al., 2017). Además, incorporan mecanismos de protección contra inversión de polaridad, baja tensión, sobre corriente y sobrecalentamiento, lo que los hace una solución efectiva para alimentar motores pequeños y de baja potencia (Tapiero, 2019).

2.1.6.5 Sensores reflectivos

Los sensores reflectivos permiten a un robot seguidor de línea detectar la ruta que debe seguir, la cual puede estar trazada en el suelo con segmentos rectos, curvos o una combinación de ambos (Caiza, 2021). Un ejemplo de este tipo de sensores es el QRE1113, un dispositivo de montaje superficial (SMD) que incorpora un LED emisor de luz infrarroja y un fototransistor NPN como receptor. Su principio de operación consiste en la emisión de un haz infrarrojo que, al impactar sobre una superficie, se refleja y es captado por el receptor. Además, este receptor incluye un filtro que reduce interferencias provocadas por la luz ambiente, mejorando la precisión en la detección de la trayectoria.



Figura 10 Módulo de regleta de 16 sensores QRE1113 reflectivos multiplexados. Fuente: Electrocestore (2025).

2.1.6.6 Ruedas

Las ruedas son elementos mecánicos circulares formados por una llanta de goma y un neumático de aluminio. A través del funcionamiento de motores eléctricos, generan el movimiento y la tracción necesarios sobre la superficie. Según Ortiz (2016), al seleccionar las ruedas es importante tener en cuenta diferentes aspectos: las ruedas pequeñas brindan una velocidad inicial rápida, mientras que las de mayor tamaño aseguran una velocidad final más alta. Las ruedas anchas ofrecen mayor agarre en las curvas, mientras que las estrechas presentan menos superficie de contacto, lo que permite alcanzar mayores velocidades.



Figura 11 Par de llantas JS2042 silicona y aluminio seguidor de línea. Fuente: Electroestore (2025).

2.1.6.7 Alimentación (Batería)

La batería suministra la energía necesaria para el funcionamiento del sistema y sus circuitos. Las de tipo LiPo destacan por su alta eficiencia, ofreciendo una excelente relación entre capacidad de descarga, tamaño compacto y peso ligero, lo que las hace ideales para aplicaciones en robótica (Abrajan, 2020).



Figura 12 Batería lipo attu 2s 7.6v 300mah. Fuente: Electroestore (2025).

3.1.7. Control PID

Los controladores PID son los más utilizados en la industria debido a su diseño simple y su estabilidad en diversas condiciones de operación. Son ideales cuando no se dispone de un conocimiento completo del proceso (Braulio, 2022). Su función es minimizar el error entre la señal de referencia (**set point**) y la salida del sistema, ajustando la respuesta mediante tres parámetros:

- **Proporcional (P):** regula la respuesta en función del error actual.
- **Integral (I):** corrige errores acumulados a lo largo del tiempo.
- **Derivativo (D):** reacciona a la velocidad de cambio del error.

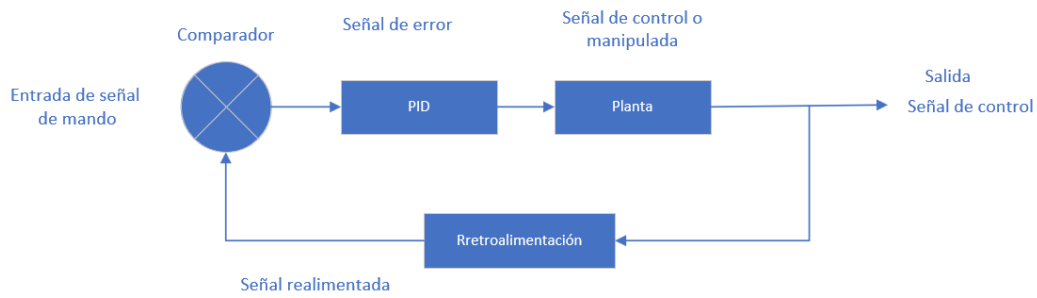


Figura 13 Diagrama de bloques del embebido Fuente: Propia.

3.1.8. Elementos de Visualización

Dispositivos diseñados para mostrar información a través de representaciones gráficas, textuales o simbólicas, procesando señales electrónicas para convertirlas en imágenes o datos legibles. Es un componente esencial en sistemas que requieren interacción humana o retroalimentación visual (Sanchis, 2008).

2.1.8.1 Pantalla Oled

Una pantalla OLED (Diodo Orgánico Emisor de Luz) es un tipo de pantalla que utiliza materiales orgánicos para emitir luz en cada píxel de forma independiente, eliminando la necesidad de retroiluminación externa (López,2020).

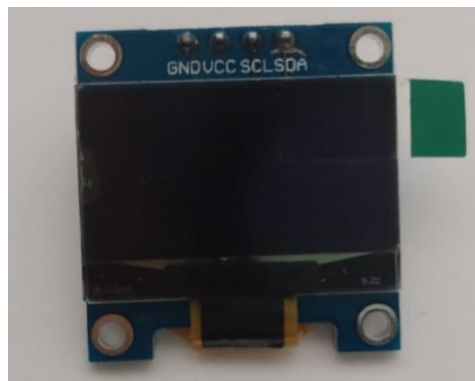


Figura 14 Pantall Oled 0.9" I2C. Fuente: Propia

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

4.1. El método científico

4.1.1. Tipos de investigación

3.1.1.1 Diseño

En la primera etapa del diseño, se realizó un estudio exploratorio sobre robots seguidores de línea para comprender su funcionamiento, aplicaciones y evolución. Se identificaron componentes esenciales como sensores, algoritmos de control y sistemas de propulsión, analizando sus ventajas y limitaciones. Se empleó un enfoque lógico-deductivo, formulando hipótesis basadas en conocimientos previos sobre control de trayectoria. A partir de la revisión de distintos modelos, se establecieron fundamentos clave que guiaron el desarrollo del robot, optimizando su desempeño.

Para la recolección de información, se utilizaron fichas técnicas que detallaban especificaciones de robots seguidores de línea. Estos documentos permitieron comparar características y analizar tendencias tecnológicas. El tratamiento de la información se enfocó en una presentación organizada de los hallazgos, facilitando una síntesis clara de los elementos más relevantes. Esta etapa proporcionó una base sólida para el desarrollo del robot, asegurando una integración eficiente de hardware y software.

En la segunda etapa, se desarrolló el diseño de la estructura 3D del robot seguidor de línea, utilizando un estudio descriptivo para definir sus características mecánicas y funcionales. Se analizaron materiales, dimensiones y configuraciones estructurales que optimizaron su rendimiento y estabilidad. El método de investigación cualitativo permitió evaluar diferentes opciones de diseño con base en criterios como resistencia, peso y facilidad de fabricación.

Para la recolección de información, se emplearon fichas técnicas que detallaban especificaciones de materiales y componentes estructurales. El tratamiento de la información se enfocó en la presentación organizada del diseño, asegurando una representación clara y precisa de la estructura final del robot.

En la tercera etapa, se llevó a cabo el diseño del esquema electrónico del robot seguidor de línea mediante un estudio descriptivo. Se definieron los componentes electrónicos esenciales, sus conexiones y la distribución del circuito para garantizar un funcionamiento eficiente. El método de investigación cualitativo permitió evaluar distintas configuraciones y seleccionar la más adecuada en términos de integración, consumo energético y compatibilidad con el sistema de control.

Para la recolección de información, se utilizaron fichas técnicas que detallaban las especificaciones de los componentes electrónicos. El tratamiento de la información se centró en la presentación organizada del esquema, facilitando su interpretación y aplicación en el desarrollo del robot.

Fase de diseño	Análisis sobre robots seguidores de línea.	Observación	Fichas técnicas.
	Diseño de la estructura 3D.		Fichas técnicas.
	Diseño de esquema electrónico		Fichas técnicas.

Tabla 1 Técnicas e instrumentos de recolección de datos Diseño. Fuente: Propia.

3.1.1.2 Implementación

En la primera etapa de la fase de implementación, se llevó a cabo la impresión de la estructura 3D del robot seguidor de línea mediante un estudio exploratorio. Se experimentó con diferentes parámetros de impresión, materiales y configuraciones para obtener una estructura óptima en términos de resistencia y precisión. El método de investigación basado en la experimentación científica permitió evaluar el impacto de variables como temperatura, velocidad de impresión y tipo de filamento.

Para la recolección de información, se utilizó un diario de campo donde se registraron observaciones y ajustes realizados durante el proceso. El tratamiento de la información se enfocó en la presentación organizada de los resultados, facilitando el análisis de mejoras en la estructura impresa.

En la segunda etapa de la fase de implementación, se realizó el desarrollo del PCB (Circuito Impreso) del robot seguidor de línea mediante un estudio exploratorio. Se experimentó con diferentes diseños de circuitos, disposición de componentes y técnicas de fabricación para obtener un PCB funcional y eficiente. El método de investigación basado en la experimentación

científica permitió analizar cómo las variaciones en el diseño del circuito afectaron el rendimiento del robot, optimizando la disposición de los elementos electrónicos.

Para la recolección de información, se utilizó un diario de campo en el que se registraron los avances y los ajustes realizados durante el desarrollo del PCB. El tratamiento de la información se centró en la presentación organizada de los hallazgos, facilitando la comprensión de las decisiones de diseño y su impacto en el funcionamiento del robot.

En la tercera etapa de la fase de implementación, se ejecutó el montaje de los elementos electrónicos del robot seguidor de línea mediante un estudio descriptivo. Se describió detalladamente el proceso de conexión de los componentes, como sensores, actuadores y la placa base, para garantizar su integración adecuada en el sistema. El método de investigación cualitativo permitió observar y analizar cómo las interacciones entre los componentes afectaron el rendimiento general del robot.

Para la recolección de información, se emplearon fichas técnicas que contenían las especificaciones y diagramas de los elementos electrónicos. El tratamiento de la información se enfocó en la presentación organizada de los pasos y resultados del montaje, facilitando su comprensión y posterior análisis.

En la cuarta etapa de la fase de implementación, se completó el ensamblaje del robot seguidor de línea velocista mediante un estudio descriptivo. Se detalló el proceso de integración de la estructura mecánica, los componentes electrónicos y el sistema de control para asegurar que todos los elementos funcionaran de manera conjunta y eficiente. El método de investigación basado en la experimentación científica permitió realizar pruebas y ajustes para evaluar el rendimiento del robot en diferentes condiciones de operación.

Para la recolección de información, se utilizaron registros anecdóticos en los que se anotaron las experiencias, dificultades y ajustes realizados durante el ensamblaje. El tratamiento de la información se centró en la presentación clara y organizada de los resultados, facilitando la comprensión de los avances y ajustes necesarios en el proceso de ensamblaje.

En la quinta etapa de la fase de implementación, se completó la programación de movimientos, reacciones y visualización del robot seguidor de línea velocista mediante un estudio explicativo. Se desarrollaron algoritmos que controlaron el movimiento del robot, sus

respuestas ante obstáculos y la visualización de parámetros en la pantalla. El método de investigación hipotético-deductivo permitió formular hipótesis sobre el comportamiento esperado y luego validarlas mediante pruebas prácticas.

Para la recolección de información, se utilizó una lista de chequeo que aseguró que cada aspecto de la programación funcionara correctamente, desde los movimientos hasta la visualización de datos. El tratamiento de la información se centró en presentar los resultados obtenidos de manera estructurada, permitiendo analizar la efectividad de la programación y realizar ajustes si fue necesario.

Fase de implementación	Impresión estructura 3D	Observación	Lista de chequeo.
	Desarrollar PCB.		Diario de campo.
	Montaje de elementos electrónicos		Registro anecdótico.
	Ensamblaje del seguidor de línea velocista		Lista de chequeo.
	Programación de movimientos, reacciones y visualización pantalla oled.		Lista de chequeo.

Tabla 2 Técnicas e instrumentos de recolección de datos Implementación. Fuente: Propia.

3.1.1.3 Evaluación

En la primera etapa de pruebas, se realizó la prueba de programación de movimientos de los motores del robot seguidor de línea velocista mediante un estudio exploratorio. Se evaluaron diferentes algoritmos de control para verificar el desempeño de los motores en diversas condiciones de movimiento. El método de investigación cualitativo permitió observar y analizar las respuestas del robot ante diferentes comandos y ajustar los parámetros de control para mejorar el rendimiento.

Para la recolección de información, se utilizó una guía de observación que permitió registrar las reacciones del robot durante las pruebas de movimiento. El tratamiento de la información se enfocó en la presentación de los resultados, facilitando el análisis de la efectividad de la programación y cualquier ajuste necesario.

En la segunda etapa de pruebas, se llevó a cabo la integración y evaluación de la pantalla OLED en el robot seguidor de línea velocista mediante un estudio aplicado. Se probó la correcta

integración de la pantalla con el sistema de control, verificando que los parámetros del robot se visualizaran correctamente y que la interfaz fuera clara y funcional. El método de investigación basado en la experimentación científica permitió realizar ajustes en la visualización de datos y evaluar su efectividad en la optimización del rendimiento del robot.

Para la recolección de información, se utilizó una guía de observación que registró las interacciones de la pantalla con el sistema y el comportamiento del robot. El tratamiento de la información se centró en la presentación clara de los resultados obtenidos, permitiendo evaluar la efectividad de la integración y realizar mejoras en la visualización de los datos.

En la tercera etapa de pruebas, se desarrolló la demostración del seguimiento de línea del robot seguidor de línea velocista mediante un estudio explicativo. Se evaluó la capacidad del robot para seguir una trayectoria predeterminada, verificando la precisión del algoritmo de control PID y la respuesta a cambios en la línea. El método de investigación deductivo permitió formular hipótesis sobre el comportamiento del robot y probarlas a través de pruebas controladas, observando cómo ajustaba sus movimientos según las variaciones en la trayectoria.

Para la recolección de información, se utilizó una lista de chequeo que permitió verificar cada aspecto del seguimiento de la línea, como la velocidad, precisión y adaptación a la ruta. El tratamiento de la información se centró en la presentación organizada de los resultados obtenidos, permitiendo evaluar el rendimiento del robot y realizar ajustes para mejorar su desempeño.

Fase de evaluación	Prueba de programación de movimientos de motores.	Observación	Guía de observación.
	Integración y Evaluación de la Pantalla OLED		Guía de observación.
	Demostración del Seguimiento de Línea.		Lista de chequeo.

Tabla 3 Técnicas e instrumentos de recolección de datos Evaluación. Fuente: Propia

CAPÍTULO IV

DESARROLLO DEL PROYECTO TÉCNICO

5.1. Diseño de la propuesta

5.1.1. Estructura 3D

El diseño de la estructura del robot se inspiró en modelos de competencia nacional y japonesa, tomando como referencia las normativas de la competencia Robot&Science, específicamente en el punto uno, apartado 1.1, donde se establece que la base no debe exceder los 22.5 cm de ancho y 25 cm de largo, sin restricciones en la altura. Para su modelado, se empleó Fusion 360, donde se desarrollaron los planos técnicos y la representación tridimensional del prototipo, los cuales se presentan en la Figura 15.

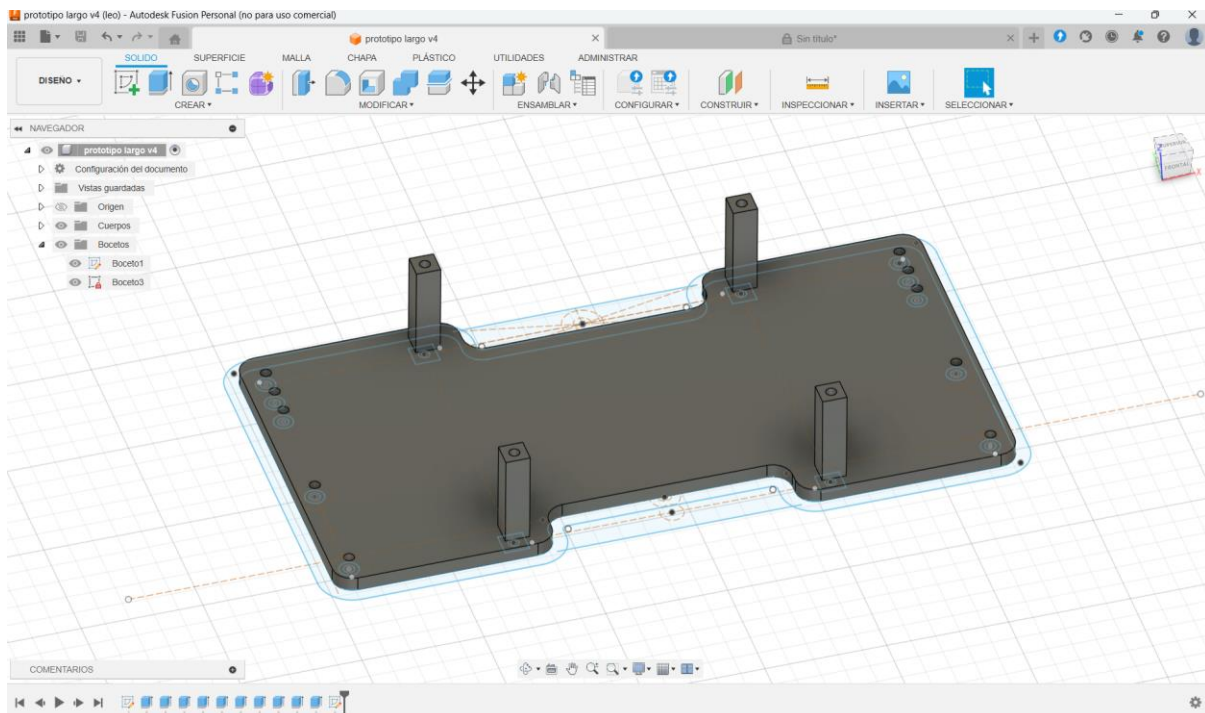


Figura 15 Diseño 3d estructura. Fuente: Propia

5.1.2. Esquema electrónico

Se desarrolló un esquema electrónico que incorpora los elementos clave para el control y funcionamiento del robot. El diseño, realizado en Proteus, se estructuró en tres secciones: alimentación, sensor, control y visualización. Cada una de ellas establece la conexión entre el microcontrolador, actuadores y la fuente de energía, asegurando una distribución óptima de señales y potencia.

4.1.2.1 Alimentación

La sección de alimentación quedó conformada por un switch de tres pines, un diodo rectificador 1N4007 para protección contra contracorrientes, un regulador de voltaje LM7805 y un capacitor electrolítico de 220 μ F en paralelo con los pines 2 y 3 como filtro, lo que se representa en la Figura 16.

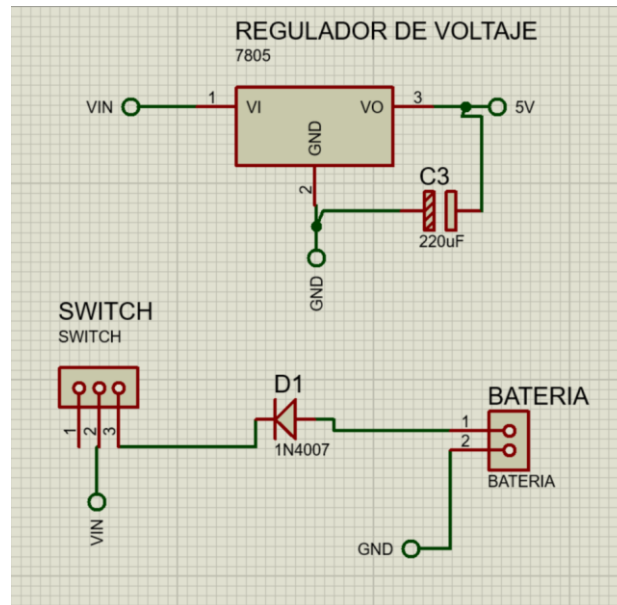


Figura 16 Alimentación. Fuente: Propia.

4.1.2.2 Sensor

La Figura 17 muestra la conexión de los sensores en el esquema electrónico. Las entradas analógicas A0, A1, A2, A3 y A7 del microcontrolador están conectadas a los pines SL0, SL1, SL2, SL3 y OM de la regleta de 16 sensores. Además, el pin 7 de la regleta, correspondiente a su alimentación, y el pin 6, encargado de activar los LEDs, están conectados directamente a la línea de 5V.

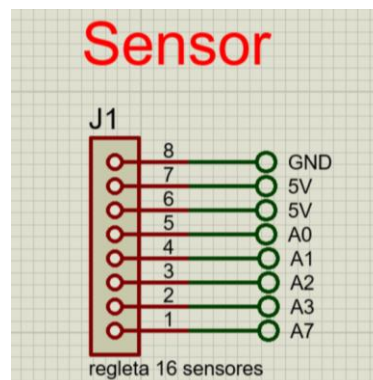


Figura 17 Regleta 16 sensores. Fuente: Propia

4.1.2.3 Control

Se optó por el microcontrolador ATmega328P, integrado en la placa Arduino Nano, para gestionar el funcionamiento del robot. El control de los motores se realiza mediante el driver TB6612. La distribución de pines fue cuidadosamente seleccionada, considerando las frecuencias que el Arduino Nano maneja en los pines 3 y 11. Estos pines, al ser parte de un mismo temporizador, generan una señal PWM más estable, lo que mejora la precisión en el control de los motores. Además, dichas frecuencias pueden ser modificadas mediante código según los requerimientos del sistema.

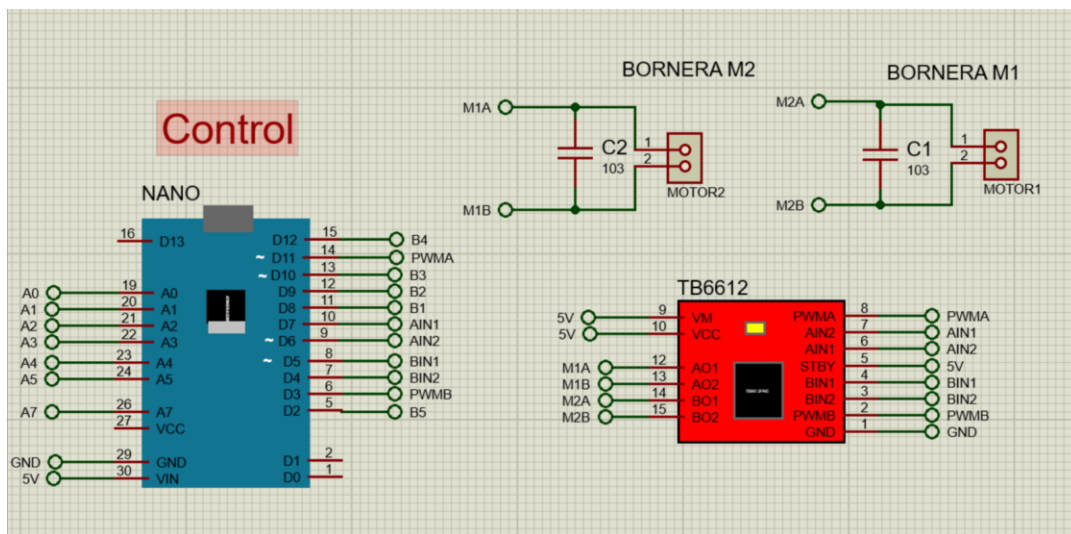


Figura 18 Conexión entre el Arduino Nano y el driver TB6612. Fuente:Propia

4.1.2.4 Visualización

Se utiliza una pantalla OLED de 0.9" con protocolo de comunicación I2C. Los pines A5 y A4 fueron asignados para las señales SDA y SCL, respectivamente, de acuerdo con las especificaciones del fabricante. Además, se incluye un LED indicador de funcionamiento. Para la interacción con la pantalla, se conectan cinco pulsadores con configuración de pull-up, asignados a los pines D2 (calibración), D8 (arranque), D9 (up), D10 (down) y D12 (selección). Los tres últimos pulsadores permiten la navegación y ajuste de parámetros en la pantalla.

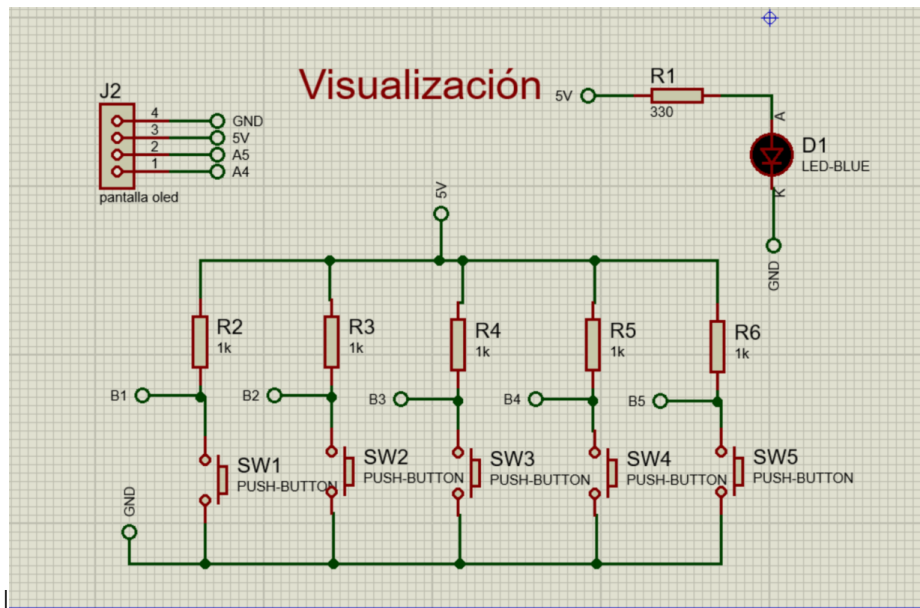


Figura 19 Conexión pantalla OLED, pulsadores en pull-up, LED indicador. Fuente: Propia

5.2. Implementación

5.2.1. Impresión 3D

La implementación del chasis se realizó mediante impresión 3D utilizando PLA. Las dimensiones y características específicas del diseño se indicaron en el Anexo 1, donde se detallaron todas las medidas necesarias para asegurar un ajuste preciso de los componentes del robot.

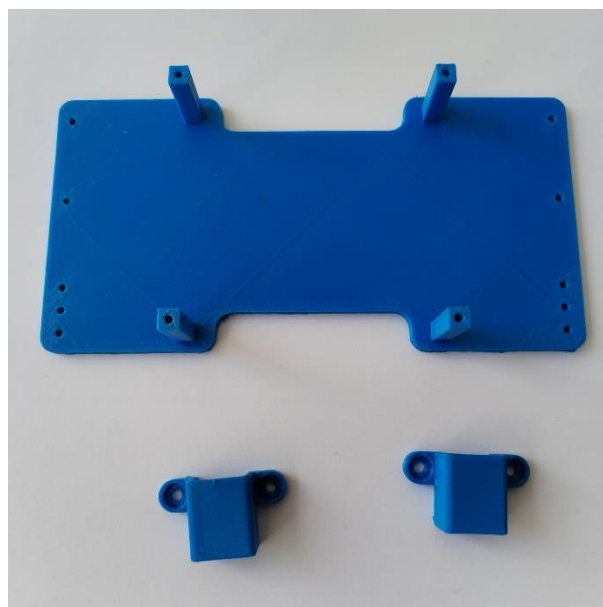


Figura 20 Chasis y soportes de micromotores impresos en 3D. Fuente: Propia.

5.2.2. Diseño PCB

El diseño del PCB se realizó en Proteus, siguiendo el esquema electrónico previamente desarrollado. Este proceso permitió crear la distribución de los componentes y las conexiones necesarias para garantizar un funcionamiento adecuado del sistema.

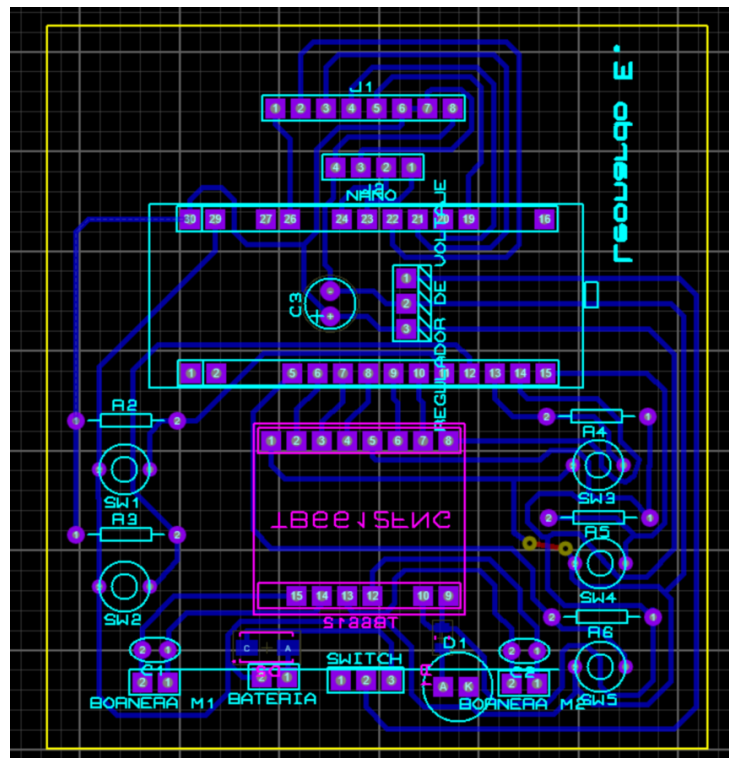


Figura 21 PCB seguidor de línea. Fuente: Propia

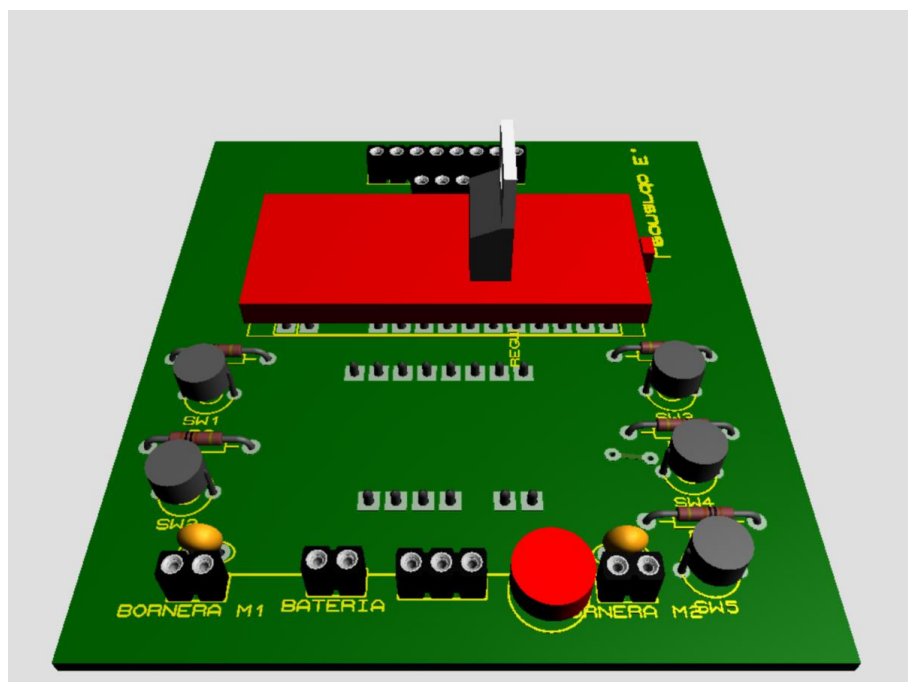


Figura 22 Vista 3d componentes. Fuente: Propia.

5.2.3. Ensamblaje del seguidor de línea velocista.

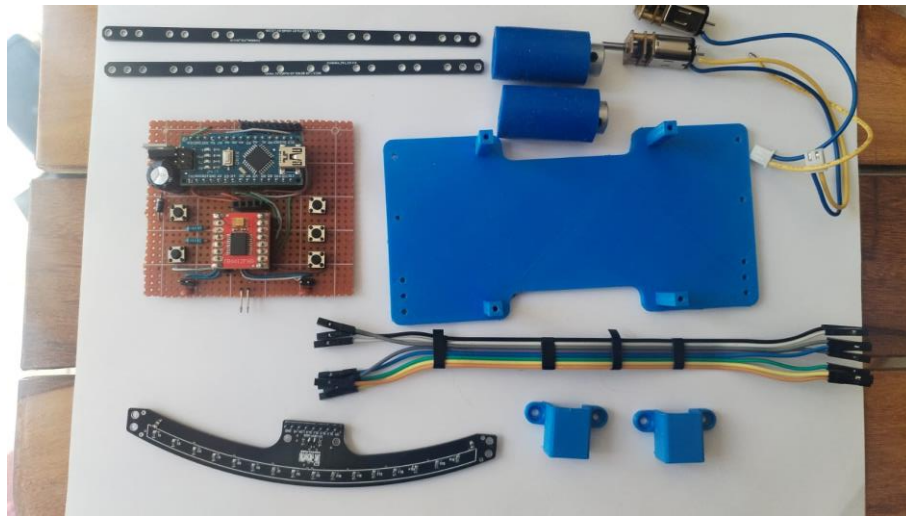


Figura 23 Componentes del Seguidor de línea. Fuente: Propia

- Integración de los rines y llantas de goma para los micromotores, tal como se muestra en la Figura 22.



Figura 24 Micromotores Pololu, rines y gomas. Fuente: Propia.

- Se procedió al armado del robot, comenzando con el chasis, los micromotores, los brackets, el soporte para la regleta, la regleta de 16 sensores, los jumpers hembra-hembra de 8 pines, y la placa PCB.

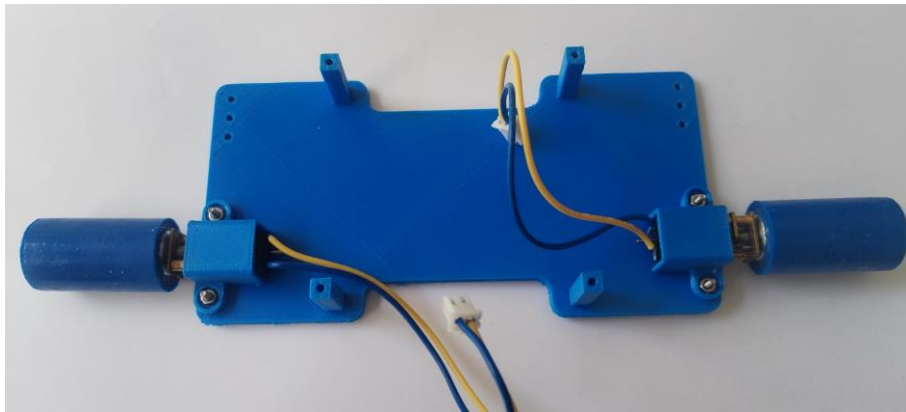


Figura 25 brackets y motores chasis. Fuente: Propia

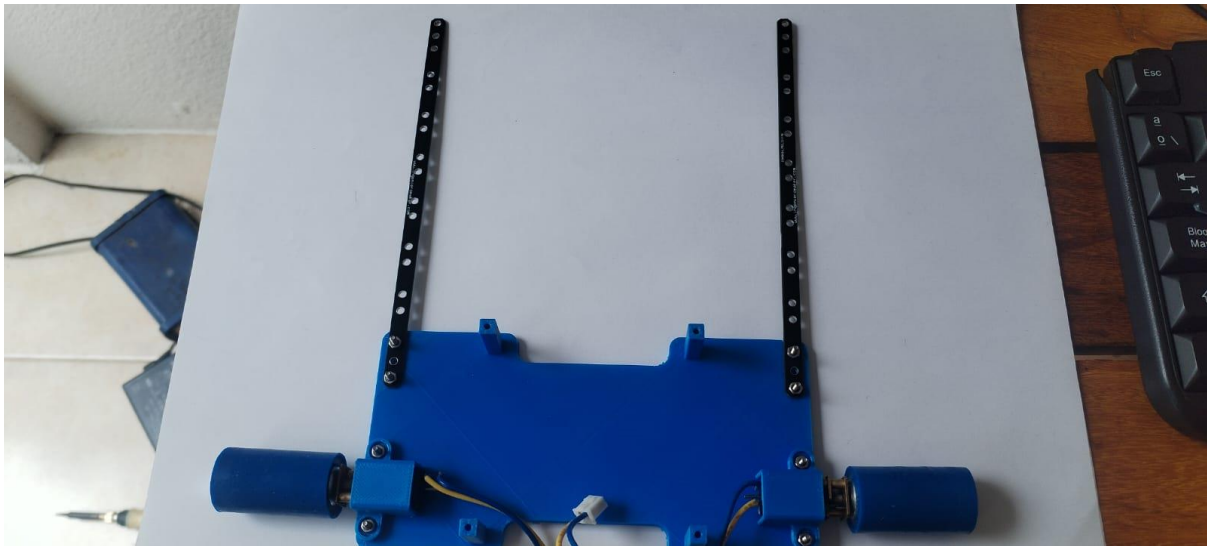


Figura 26 Soportes regleta 16 sensores. Fuente: Propia.



Figura 27 Regleta 16 sensores. Fuente: Propia.

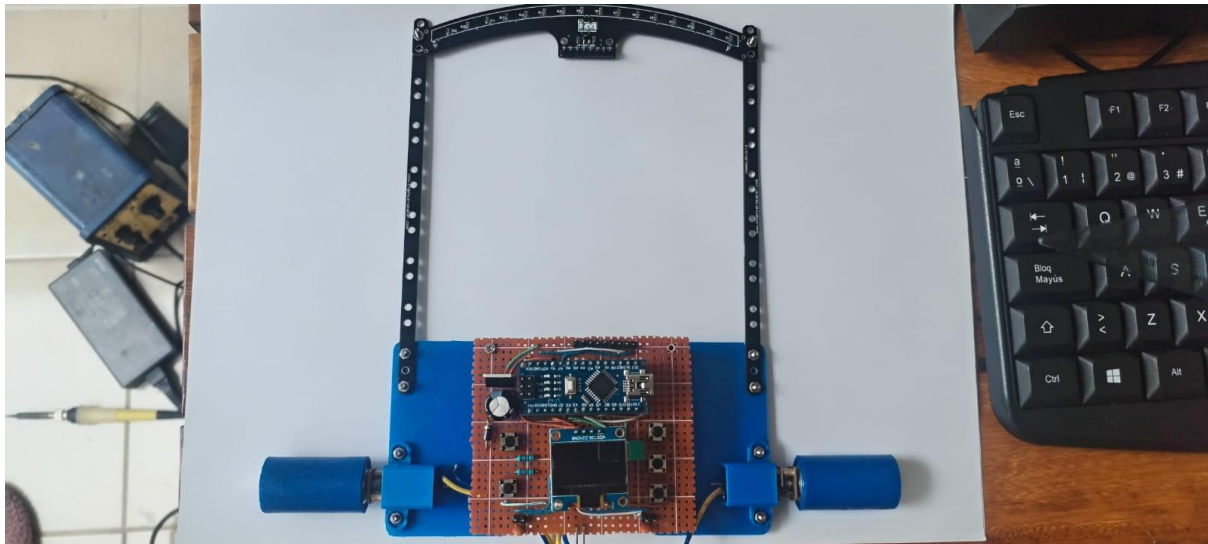


Figura 28 PCB en el chasis. Fuente: Propia.

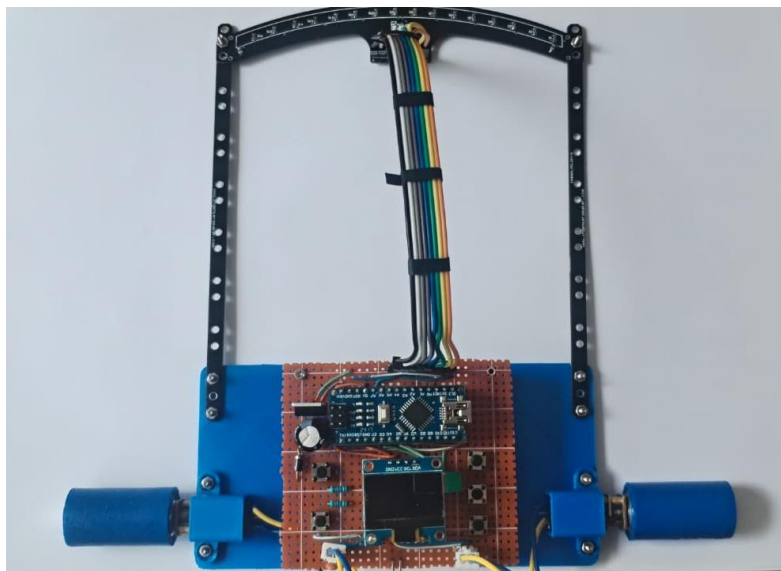


Figura 29 Seguidor armado. Fuente: Propia

5.2.4. Programación

La programación se dividió en cinco etapas y se desarrolló en Arduino IDE. Se implementó el control de motores para garantizar un desplazamiento preciso, se aplicó la multiplexión para optimizar la adquisición de datos, se realizaron la lectura y el procesamiento de la información proveniente de la regleta de 16 sensores, se desarrolló el algoritmo PID para mejorar la estabilidad en el seguimiento de la trayectoria y se integró la pantalla OLED para la visualización de parámetros en tiempo real.

4.4.4.1 Control motores

En la etapa de control de motores, se diseñó un programa para gestionar el giro y la asignación de los motores izquierdo y derecho. Se definieron pines específicos para el control de dirección y modulación por ancho de pulso (PWM), permitiendo regular la velocidad y el sentido de giro.

```
1  #define pwmi 3 //PWM LEFT MOTOR
2  #define izq1 5 //LEFT1 MOTOR
3  #define izq2 4 //LEFT2 MOTOR
4  #define pwmd 11 //PWM RIGHT MOTOR
5  #define der1 6 //RIGHT1 MOTOR
6  #define der2 7 //RIGHT2 MOTOR
7
```

Figura 30 Declaración de variables. Fuente: Propia.

Se ajustó la frecuencia de PWM mediante la configuración de registros para optimizar el desempeño del sistema.

```
void setup() {
//TCCR2B = TCCR2B & B11111000 | B00000001;
//set timer 2 divisor to 1 for PWM frequency of 31372.55 Hz

//TCCR2B = TCCR2B & B11111000 | B00000010;
//set timer 2 divisor to 8 for PWM frequency of 3921.16 Hz

TCCR2B = TCCR2B & B11111000 | B00000011;
//set timer 2 divisor to 32 for PWM frequency of 980.39 Hz

//TCCR2B = TCCR2B & B11111000 | B00000100;
//set timer 2 divisor to 64 for PWM frequency of 490.20 Hz (The DEFAULT)

//TCCR2B = TCCR2B & B11111000 | B00000101;
//set timer 2 divisor to 128 for PWM frequency of 245.10 Hz

//TCCR2B = TCCR2B & B11111000 | B00000110;
//set timer 2 divisor to 256 for PWM frequency of 122.55 Hz

//TCCR2B = TCCR2B & B11111000 | B00000111;
//set timer 2 divisor to 1024 for PWM frequency of 30.64 Hz
}
```

Figura 31 Configuración de frecuencia PWM. Fuente: [TM-Robotic3D](#)(2021).

Se implementó una función que activó las señales de control, asegurando que cada motor respondiera correctamente según los valores asignados.

```
void loop() {
  motores(20,0); // motores(izq,der)
}

void motores(int izq, int der){//0 hasta 255    0 hasta -255
  ////////////motor LEFT "IZQUIERDO" ////////////
  if(izq>=0){
    digitalWrite(izq1,HIGH);
    digitalWrite(izq2,LOW);
  }
  else{
    digitalWrite(izq1,LOW);
    digitalWrite(izq2,HIGH);
    izq=izq*(-1);
  }
  analogWrite(pwmi,izq);

  ////////////motor RIGHT "DERECHO" ////////////
  if(der>=0){
    digitalWrite(der1,HIGH);
    digitalWrite(der2,LOW);
  }
  else{
    digitalWrite(der1,LOW);
    digitalWrite(der2,HIGH);
    der=der*(-1);
  }
  analogWrite(pwmd,der);
}
```

Figura 32 Control de dirección y velocidad de los motores.Fuente: [TM-Robotic3D\(2021\)](#).

4.4.4.2 Sensores Multiplexados

La regleta de 16 sensores está conectada a un circuito multiplexor 74HC4067. Según la tabla de verdad del datasheet del 74HC4067, se puede determinar cómo seleccionar cada sensor de forma individual. Usando esta información, se desarrolló el siguiente código para leer los valores de cada sensor de manera eficiente:

TRUTH TABLE

S0	S1	S2	S3	E	SELECTED CHANNEL
X	X	X	X	1	None
0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	1
0	1	0	0	0	2
1	1	0	0	0	3
0	0	1	0	0	4
1	0	1	0	0	5
0	1	1	0	0	6
1	1	1	0	0	7
0	0	0	1	0	8
1	0	0	1	0	9
0	1	0	1	0	10
1	1	0	1	0	11
0	0	1	1	0	12
1	0	1	1	0	13
0	1	1	1	0	14
1	1	1	1	0	15

H= High Level
L= Low Level
X= Don't Care

Figura 33 Tabla de verdad. Fuente: Ja-bots (2025).

Se configuró los pines y realizó la inicialización para un sistema de sensores multiplexados, control de LEDs y un botón. Los pines s0, s1, s2 y s3 (14, 15, 16 y 17) se asignaron como salidas para manejar el multiplexor 74HC4067, lo que permitió seleccionar uno de los 16 sensores. El pin A7 se utilizó como entrada analógica para leer los valores de los sensores.

Se definió el pin 13 como un LED indicador, que se encendió al iniciar el programa, y el pin 2 como otro LED adicional, probablemente usado más adelante. El pin 9 se configuró como entrada para el botón, con el objetivo de activar o modificar el comportamiento del sistema.

En la función setup(), se inició la comunicación serie a 115200 baudios para facilitar la depuración. Luego, se configuraron los pines correspondientes y, finalmente, se encendió el LED indicador para señalar que el sistema comenzó a funcionar.

```
1  #define s0      14
2  #define s1      15
3  #define s2      16
4  #define s3      17
5  #define AI      A7 // Analógico (A4 en Arduino)
6  #define LED_ON  13 // LED indicador
7  #define LED      2 // LED adicional
8  #define BOTON    9 // Botón
9  int sensores[16];
10 int umbral = 750;
11
12 //COLOR DE LÍNEA //////////
13 int linea=1;
14 //////////////////////////////////////
15
16
17 void setup() {
18   Serial.begin(115200);
19   pinMode(s0,OUTPUT);
20   pinMode(s1,OUTPUT);
21   pinMode(s2,OUTPUT);
22   pinMode(s3,OUTPUT);
23   pinMode(LED,OUTPUT);
24   pinMode(LED_ON,OUTPUT);
25   pinMode(BOTON,INPUT);
26   digitalWrite(LED_ON,1);
27 }
```

Figura 34 Inicialización básica de un sistema de sensores multiplexados. Fuente: [TM-Robotic3D\(2021\)](#).

En la función loop(), se ejecutó el proceso de multiplexión para leer los valores de los 16 sensores. Se comenzó configurando las señales de control de los pines s0, s1, s2 y s3 para seleccionar cada sensor de forma secuencial. Al asignar las señales correspondientes a cada sensor, se leyó el valor analógico de cada uno con analogRead(AI), y se almacenó en el arreglo sensores.

El valor de cada sensor se evaluó en función de un umbral definido. Dependiendo del valor de linea, se ajustó el valor de cada sensor a 0 o 1. Si linea es igual a 0, los valores menores al

umbral se asignaron a 0, mientras que los valores mayores a 0. Si linea es igual a 1, se invirtió la condición, asignando 1 a los valores bajos y 0 a los valores altos.

Finalmente, los valores de los sensores se imprimieron en el monitor serie, permitiendo observar el estado de cada uno de ellos. Este ciclo de lectura y evaluación se repitió continuamente, facilitando el monitoreo y ajuste dinámico del comportamiento del sistema.

```
void loop() {
digitalWrite(s0,0);digitalWrite(s1,0);digitalWrite(s2,0);digitalWrite(s3,0);sensores[0]=analogRead(AI);
digitalWrite(s0,1);digitalWrite(s1,0);digitalWrite(s2,0);digitalWrite(s3,0);sensores[1]=analogRead(AI);
digitalWrite(s0,0);digitalWrite(s1,1);digitalWrite(s2,0);digitalWrite(s3,0);sensores[2]=analogRead(AI);
digitalWrite(s0,1);digitalWrite(s1,1);digitalWrite(s2,0);digitalWrite(s3,0);sensores[3]=analogRead(AI);
digitalWrite(s0,0);digitalWrite(s1,0);digitalWrite(s2,1);digitalWrite(s3,0);sensores[4]=analogRead(AI);
digitalWrite(s0,1);digitalWrite(s1,0);digitalWrite(s2,1);digitalWrite(s3,0);sensores[5]=analogRead(AI);
digitalWrite(s0,0);digitalWrite(s1,1);digitalWrite(s2,1);digitalWrite(s3,0);sensores[6]=analogRead(AI);
digitalWrite(s0,1);digitalWrite(s1,1);digitalWrite(s2,1);digitalWrite(s3,0);sensores[7]=analogRead(AI);
digitalWrite(s0,0);digitalWrite(s1,0);digitalWrite(s2,0);digitalWrite(s3,1);sensores[8]=analogRead(AI);
digitalWrite(s0,1);digitalWrite(s1,0);digitalWrite(s2,0);digitalWrite(s3,1);sensores[9]=analogRead(AI);
digitalWrite(s0,0);digitalWrite(s1,1);digitalWrite(s2,0);digitalWrite(s3,1);sensores[10]=analogRead(AI);
digitalWrite(s0,1);digitalWrite(s1,1);digitalWrite(s2,0);digitalWrite(s3,1);sensores[11]=analogRead(AI);
digitalWrite(s0,0);digitalWrite(s1,0);digitalWrite(s2,1);digitalWrite(s3,1);sensores[12]=analogRead(AI);
digitalWrite(s0,1);digitalWrite(s1,0);digitalWrite(s2,1);digitalWrite(s3,1);sensores[13]=analogRead(AI);
digitalWrite(s0,0);digitalWrite(s1,1);digitalWrite(s2,1);digitalWrite(s3,1);sensores[14]=analogRead(AI);
digitalWrite(s0,1);digitalWrite(s1,1);digitalWrite(s2,1);digitalWrite(s3,1);sensores[15]=analogRead(AI);
for(int i=0;i<16;i++){
digitalWrite(s0,i&0x01);
digitalWrite(s1,i&0x02);
digitalWrite(s2,i&0x04);
digitalWrite(s3,i&0x08);
sensores[i]=analogRead(AI);
////condicion para cambio de linea/////
if(linea==0){if(sensores[i]<=umbral){sensores[i]=0;}else{sensores[i]=1;}}
if(linea==1){if(sensores[i]<=umbral){sensores[i]=1;}else{sensores[i]=0;}}
Serial.print(sensores[i]);
Serial.print("\t");
}
Serial.println(" ");
}
```

Figura 35 Lectura y procesamiento de datos de los sensores multiplexados. Fuente: [TM-Robotic3D\(2021\)](#)..

Se optimizó la lectura de los 16 sensores mediante un ciclo for y multiplexión de las señales de control. Se compararon los valores de cada sensor con su umbral respectivo, y dependiendo del valor de linea, se asignó 0 o 1 al arreglo digital. Si linea era 0, los valores por debajo del umbral se asignaron a 0, y si era 1, a 1. Esto simplificó el proceso de lectura y evaluación sin necesidad de líneas de código innecesarias.

```
for(int i=0;i<16;i++){
digitalWrite(s0,i&0x01);
digitalWrite(s1,i&0x02);
digitalWrite(s2,i&0x04);
digitalWrite(s3,i&0x08);
sensores[i]=analogRead(AI);
if(linea==0){if(sensores[i]<=umbral[i]){digital[i]=0;}else{digital[i]=1;}}
if(linea==1){if(sensores[i]<=umbral[i]){digital[i]=1;}else{digital[i]=0;}}
//Serial.print(digital[i]);
//Serial.print("\t");
}
```

Figura 36 Lectura y procesamiento optimizado. Fuente: [TM-Robotic3D\(2021\)](#).

4.4.4.3 PID

Antes de aplicar el control PID, se obtuvieron los datos necesarios de los sensores. Primero, las funciones fondos() y lineas() leyeron las condiciones del fondo y la línea. Luego, se calculó el umbral con la función promedio(), lo que permitió determinar cuándo un sensor estaba sobre la línea. Finalmente, la función lectura() calculó qué sensores estaban sobre la línea, realizó una suma ponderada y determinó la posición.

```
153 void fondos(){
154     for(int i=0;i<16;i++){
155         digitalWrite(s0,i&0x01);
156         digitalWrite(s1,i&0x02);
157         digitalWrite(s2,i&0x04);
158         digitalWrite(s3,i&0x08);
159         lectura_fondo[i]=analogRead(AI);
160         //Serial.print(lectura_fondo[i]);
161         //Serial.print("\t");
162     }
163     //Serial.println(" ");
164 }
165
166 void lineas(){
167     for(int i=0;i<16;i++){
168         digitalWrite(s0,i&0x01);
169         digitalWrite(s1,i&0x02);
170         digitalWrite(s2,i&0x04);
171         digitalWrite(s3,i&0x08);
172         lectura_linea[i]=analogRead(AI);
173         //Serial.print(lectura_linea[i]);
174         //Serial.print("\t");
175     }
176     //Serial.println(" ");
177 }
178
179 void promedio(){
180     for(int i=0;i<16;i++){
181         umbral[i]=(lectura_fondo[i]+lectura_linea[i])/2;
182         //Serial.print(umbral[i]);
183         //Serial.print("\t");
184     }
185     //Serial.println(" ");
186 }
```

Figura 37 Lectura (fondos y línea), promedio. Fuente: [TM-Robotic3D\(2021\)](#)

```
for(int i=0;i<16;i++){
    digitalWrite(s0,i&0x01);
    digitalWrite(s1,i&0x02);
    digitalWrite(s2,i&0x04);
    digitalWrite(s3,i&0x08);
    sensores[i]=analogRead(AI);
    if(linea==0){if(sensores[i]<=umbral[i]){digital[i]=0;}else{digital[i]=1;}}
    if(linea==1){if(sensores[i]<=umbral[i]){digital[i]=1;}else{digital[i]=0;}}
    //Serial.print(digital[i]);
    //Serial.print("\t");
}
//Serial.println(" ");
if(barra==0){sumap=(1500*digital[0]+1400*digital[1]+1300*digital[2]+1200*digital[3]+1100*digital[4]+1000*digital[5]+900*digital[6]+800*digital[7]+700*digital[8]+600*digital[9]+500*digital[10]+400*digital[11]+300*digital[12]+200*digital[13]+100*digital[14]+0*digital[15]);}
if(barra==1){sumap=(1500*digital[15]+1400*digital[14]+1300*digital[13]+1200*digital[12]+1100*digital[11]+1000*digital[10]+900*digital[9]+800*digital[8]+700*digital[7]+600*digital[6]+500*digital[5]+400*digital[4]+300*digital[3]+200*digital[2]+100*digital[1]+0*digital[0]);}
suma=(sumap/sumap);
pos=(suma/suma);
if(poslast<=100 && pos==-1){
    pos=0;
}
if(poslast>=1400 && pos==-1){
    pos=1500;
}
poslast=pos;
return pos;
}
```

Figura 38 Posición. Fuente: [TM-Robotic3D\(2021\)](#)

Con los datos obtenidos, se aplicó el control PID, como se detalla en la figura 39.

```

240 void PID(){
241     proporcional=pos-setpoint;
242     derivativo=proporcional-last_prop;
243     integral=error1+error2+error3+error4+error5+error6;
244     last_prop=proporcional;
245     error6=error5;
246     error5=error4;
247     error4=error3;
248     error3=error2;
249     error2=error1;
250     error1=proporcional;
251     int diferencial=(proporcional*KP) + (derivativo*KD) + (integral*KI);
252     if(diferencial > vel) diferencial=vel;
253     else if(diferencial < -vel) diferencial=-vel;
254     (diferencial < 0)?
255     motores(vel, vel+diferencial):motores(vel-diferencial, vel);
256 }

```

Figura 39 Control PID. Fuente: [TM-Robotic3D\(2021\)](#)

4.4.4.4 Integración Pantalla oled

La pantalla OLED se integró utilizando la librería Adafruit_SSD1306 para mostrar información sobre los parámetros del controlador PID y su valor actual.

- Librerías: Se incluye la librería Wire.h para la comunicación I2C y la librería Adafruit_SSD1306.h para controlar la pantalla OLED.

```

1  #include <Wire.h>
2  #include <Adafruit_GFX.h>
3  #include <Adafruit_SSD1306.h>

```

Figura 40 Inicialización de la pantalla OLED. Fuente: Propia.

- Definición de parámetros:

El tamaño de la pantalla es de 128x64 píxeles.

La dirección del I2C de la pantalla es 0x3C.

```

5  // OLED Display
6  #define SCREEN_WIDTH 128 // OLED display width, in pixels
7  #define SCREEN_HEIGHT 64 // OLED display height, in pixels
8  #define SCREEN_ADDRESS 0x3C
9  Adafruit_SSD1306 display(SCREEN_WIDTH, SCREEN_HEIGHT, &Wire, -1);

```

Figura 41 Definición de parámetros. Fuente: Propia.

- Verificación de inicialización:

En el setup(), se inicializa la pantalla OLED y se muestra un mensaje de bienvenida.

```

if (!display.begin(SSD1306_SWITCHCAPVCC, SCREEN_ADDRESS)) {
    Serial.println(F("Error al inicializar la pantalla OLED"));
    for (;;);
}
display.clearDisplay();
display.setTextSize(1);
display.setTextColor(SSD1306_WHITE);
display.setCursor(0, 0);
display.println(F("Pantalla Inicializada"));
display.display();
delay(2000);

```

Figura 42 Verificación de inicialización. Fuente: Propia.

- Actualización de la pantalla OLED:

En la función actualizarPantalla(), los valores de los parámetros PID y la velocidad son mostrados en la pantalla OLED. Se utiliza una lógica condicional para destacar el parámetro seleccionado con un tamaño de texto más grande.

```

314 void actualizarPantalla() {
315     display.clearDisplay();
316
317     display.setCursor(0, 0);
318     display.setTextSize(1);
319     display.println(F("Parametros PID:"));
320
321     // Mostrar KP
322     display.setCursor(0, 16);
323     display.setTextSize(parametroSeleccionado == 0 ? 2 : 1);
324     display.print(F("KP: "));
325     display.print(KP, 2);
326
327     // Mostrar KD
328     display.setCursor(0, 32);
329     display.setTextSize(parametroSeleccionado == 1 ? 2 : 1);
330     display.print(F("KD: "));
331     display.print(KD, 2);
332
333     // Mostrar velocidad
334     display.setCursor(0, 48);
335     display.setTextSize(parametroSeleccionado == 2 ? 2 : 1);
336     display.print(F("Vel: "));
337     display.print(velocidad);
338
339     display.display();
340 }

```

Figura 43 Actualización de la pantalla. Fuente: Propia

- Interfaz de usuario (Botones):

Se utilizan tres botones para controlar la interfaz:

Botón UP (BTN_UP): Incrementa el parámetro seleccionado (KP, KD o velocidad).

Botón DOWN (BTN_DOWN): Decrementa el parámetro seleccionado (KP, KD o velocidad).

Botón SELECT (BTN_SELECT): Cambia el parámetro seleccionado entre KP, KD y velocidad.

```
void manejarBotones() {
    static bool botonUpPresionado = false;
    static bool botonDownPresionado = false;
    static bool botonSelectPresionado = false;
    // Leer estado de los botones
    bool upState = digitalRead(BTN_UP) == LOW;
    bool downState = digitalRead(BTN_DOWN) == LOW;
    bool selectState = digitalRead(BTN_SELECT) == LOW;
    // Botón UP
    if (upState && !botonUpPresionado) {
        botonUpPresionado = true;
        if (parametroSeleccionado == 0) KP += 0.01;
        if (parametroSeleccionado == 1) KD += 0.01;
        if (parametroSeleccionado == 2) velocidad += 5;
    }
    if (!upState) botonUpPresionado = false;
    // Botón DOWN
    if (downState && !botonDownPresionado) {
        botonDownPresionado = true;
        if (parametroSeleccionado == 0) KP -= 0.01;
        if (parametroSeleccionado == 1) KD -= 0.01;
        if (parametroSeleccionado == 2) velocidad -= 5;
    }
    if (!downState) botonDownPresionado = false;
    // Botón SELECT
    if (selectState && !botonSelectPresionado) {
        botonSelectPresionado = true;
        parametroSeleccionado = (parametroSeleccionado + 1) % 3; // Alternar entre 0, 1, y 2
    }
    if (!selectState) botonSelectPresionado = false;

    // Limitar valores para evitar errores
    if (KP < 0) KP = 0;
    if (KD < 0) KD = 0;
    if (velocidad < 0) velocidad = 0;
}
```

Figura 44 Manejo de botones. Fuente: Propia.

5.3. Pruebas

5.3.1. PWM motores

Para determinar la mejor frecuencia, se probaron los distintos códigos presentados en la Figura 31, obteniendo la siguiente tabla:

Codigo	Desempeño positivo	Desempeño regular	Desempeño negativo
TCCR2B = TCCR2B & B11111000 B00000001; set timer 2 divisor to 1 for PWM frequency of 31372.55 Hz			X
CCR2B = TCCR2B & B11111000 B00000010; set timer 2 divisor to 8 for PWM frequency of 3921.16 Hz			X
TCCR2B = TCCR2B & B11111000 B00000011; set timer 2 divisor to 32 for PWM frequency of 980.39 Hz	X		
TCCR2B = TCCR2B & B11111000 B00000100; set timer 2 divisor to 64 for PWM frequency of 490.20 Hz (The DEFAULT)		X	
TCCR2B = TCCR2B & B11111000 B00000101; set timer 2 divisor to 128 for PWM frequency of 245.10 Hz		X	
TCCR2B = TCCR2B & B11111000 B00000110; set timer 2 divisor to 256 for PWM frequency of 122.55 Hz		X	
TCCR2B = TCCR2B & B11111000 B00000111; set timer 2 divisor to 1024 for PWM frequency of 30.64 Hz		X	

Tabla 4 Desempeño PWM. Fuente: Propia

5.3.2. Lectura de Sensores

Se modificaron los parámetros en el código para identificar los datos recibidos, estableciendo el fondo como 0 y la línea como 1.

int linea	Fondo	Línea
1	1	0
0	0	1

Tabla 5 Fondo y Línea. Fuente Propia.

5.3.3. Interfaz pantalla oled.

Pantalla de inicio con el logo del instituto Rumiñahui.

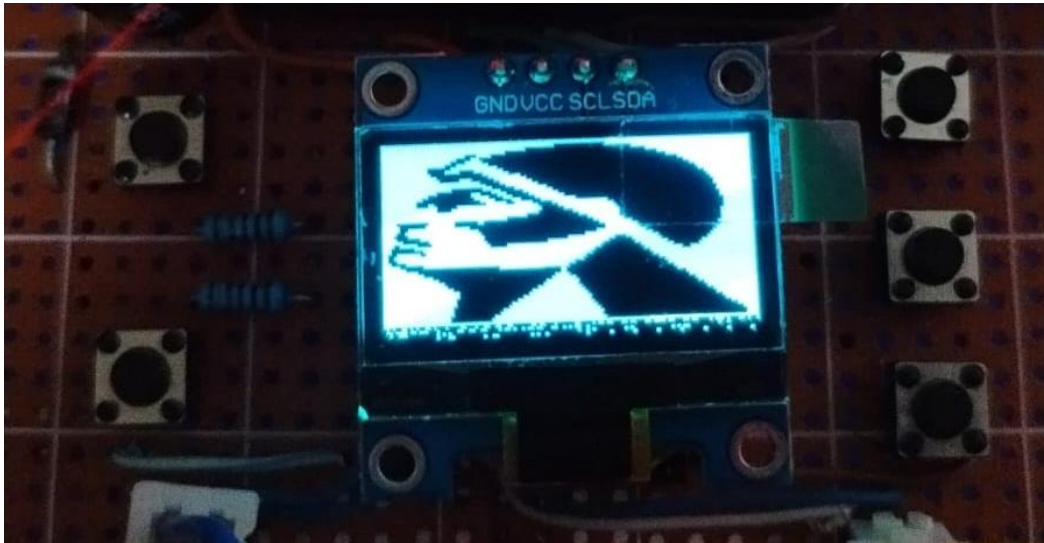


Figura 45 Logo del Instituto Rumiñahui. Fuente: Propia

Selección de constantes con los pulsadores UP, DOWN, SELECT.

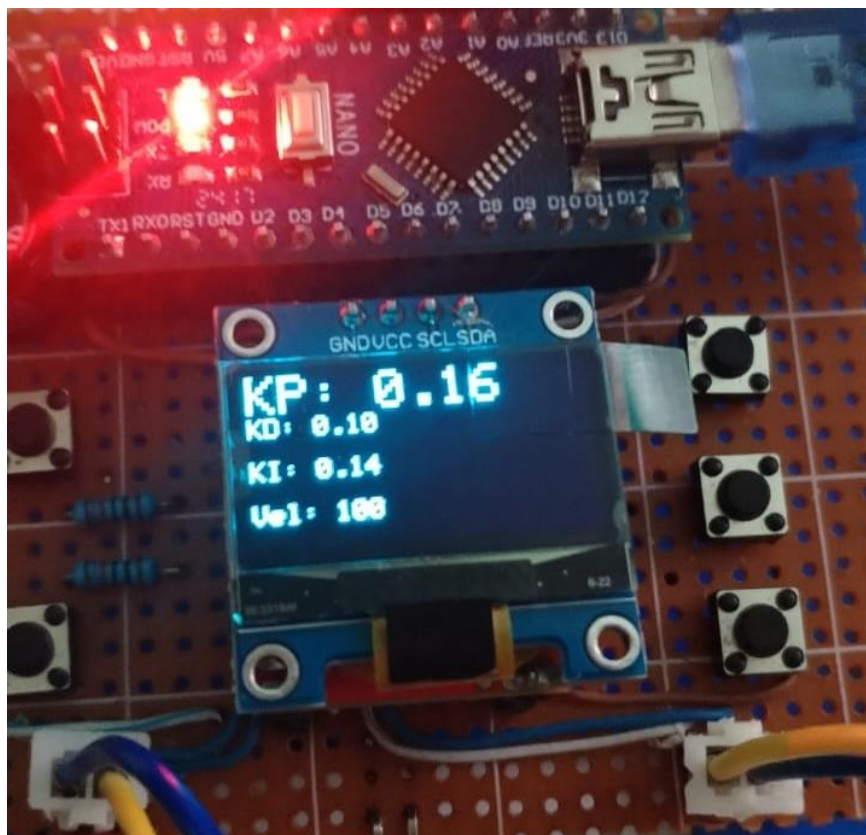


Figura 46 KP seleccionada. Fuente: Propia.

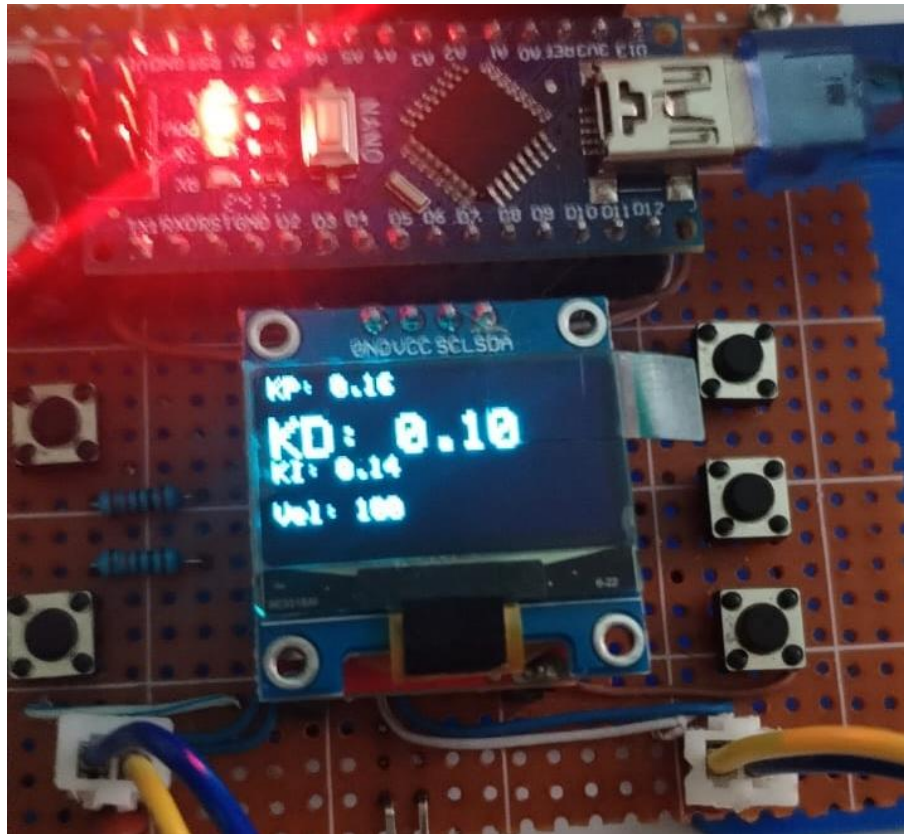


Figura 47 KD seleccionada. Fuente: Propia.

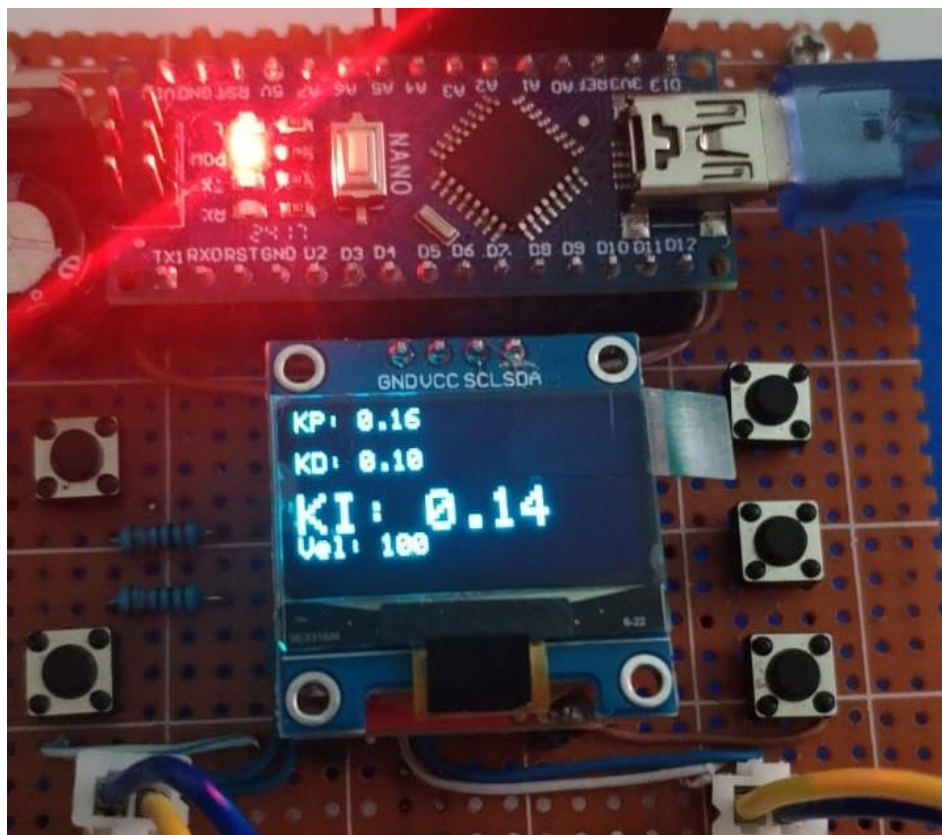


Figura 48 KI seleccionada. Fuente: Propia.

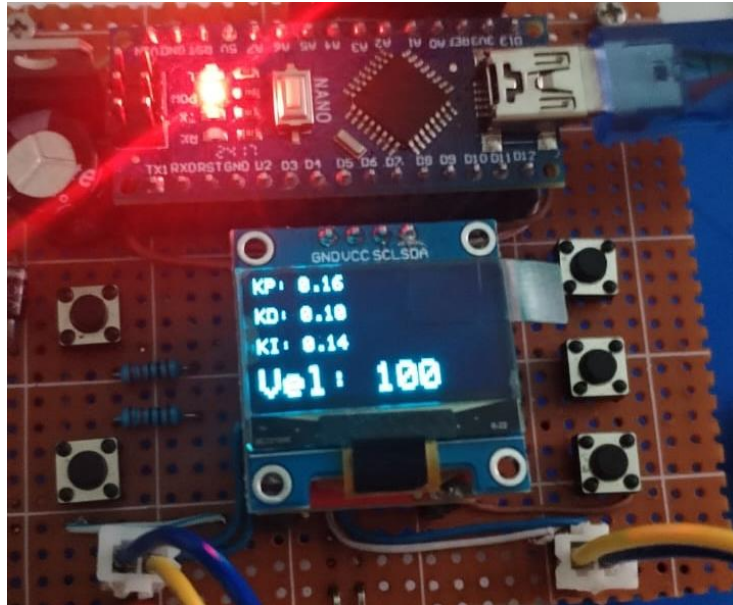


Figura 49 Vel seleccionada. Fuente: Propia

5.3.4. Desempeño en pista.

Se realizaron pruebas en dos tipos de pista con línea negra: una con varias curvas de un diámetro aproximado de 16 cm, y otra que tiene forma de cuadrado con esquinas curvas. En ambas pistas, se mantuvieron constantes los parámetros del control PID, variando únicamente la velocidad del robot. Las pruebas se realizaron a las siguientes velocidades: 80, 90, 100 y 200.



Figura 50 Pista 1 línea negra. Fuente: Propia.

Velocidad/curvas	Bueno	Regular	Deficiente
80	X		
90	X		
100	X		
200			X

Tabla 6 Prueba pista 1 en curvas. Fuente: Propia.

Velocidad/rectas	Bueno	Regular	Deficiente
80	X		
90	X		
100	X		
200		X	

Tabla 7 Prueba pista 1 en rectas. Fuente: Propia.

Freno/curvas	Bueno	Regular	Deficiente
80	X		
90	X		
100	X		
200			X

Tabla 8 Respuesta del freno pista 1. Fuente: Propia.

Freno/rectas	Bueno	Regular	Deficiente
80	X		
90	X		
100	X		
200			X

Tabla 9 Freno en rectas pista 1. Fuente: Propia.



Figura 51 Pista 2, línea negra. Fuente: Propia.

Velocidad/curvas	Bueno	Regular	Deficiente
80	X		
90	X		
100	X		
200			X

Tabla 10 Prueba pista 2 en curvas. Fuente: Propia.

Velocidad/rectas	Bueno	Regular	Deficiente
80	X		
90	X		
100	X		
200		X	

Tabla 11 Prueba pista 2 en rectas. Fuente: Propia.

Freno/curvas	Bueno	Regular	Deficiente
80	X		
90	X		
100	X		
200			X

Tabla 12 Respuesta del freno pista 2. Fuente: Propia

Freno/rectas	Bueno	Regular	Deficiente
80	X		
90	X		
100	X		
200			X

Tabla 13 Freno en rectas pista 2. Fuente: Propia.

5.4. Resultados

5.4.1. PWM Motores

Los resultados de las pruebas de distintas frecuencias de PWM (Tabla 4) indican que las frecuencias más altas, como 31372.55 Hz y 980.39 Hz, optimizan la respuesta de los motores, proporcionando un desempeño positivo. La frecuencia por defecto de 490.20 Hz también mostró un buen rendimiento. En contraste, frecuencias intermedias como 3921.16 Hz, 245.10 Hz y 122.55 Hz presentaron un desempeño regular, sin afectar significativamente el funcionamiento. Sin embargo, frecuencias bajas, como 30.64 Hz, resultaron en un desempeño negativo, evidenciando que a menor frecuencia, la respuesta del motor se ve comprometida.

5.4.2. Lectura de Sensores

La configuración de los sensores fue la siguiente:

- Fondo: 0
- Línea: 1

Las pruebas mostraron que el sistema identificó correctamente los valores de fondo y línea, funcionando de acuerdo a lo esperado en las pruebas realizadas.

5.4.3. Interfaz Pantalla OLED

La configuración de los sensores estableció el fondo como 0 y la línea como 1, permitiendo una correcta identificación de los valores en las pruebas realizadas (Tabla 5). Los resultados confirmaron que el sistema respondió de manera precisa a los cambios de contraste, detectando de forma adecuada la línea y el fondo según lo esperado.

5.4.4. Interfaz Pantalla OLED

La interfaz OLED mostró un funcionamiento adecuado, iniciando con la visualización del logo del Instituto Rumiñahui (Figura 45). Los pulsadores UP, DOWN y SELECT permitieron la correcta selección de las constantes del sistema, asegurando una visualización clara de KP (Figura 46), KD (Figura 47) y KI (Figura 48), así como una configuración precisa de la velocidad (Figura 49). Las pruebas confirmaron que la interfaz es efectiva para la visualización y modificación de los parámetros de control, facilitando su ajuste de manera intuitiva.

5.4.5. Desempeño en Pista 1

En las pruebas realizadas en la Pista 1 (Figura 50), el robot mostró un desempeño adecuado en curvas y rectas a velocidades de 80, 90 y 100, siguiendo correctamente la línea (Tablas 6 y 7). Sin embargo, a 200 de velocidad, el desempeño fue deficiente, ya que el robot no logró mantener la trayectoria en curvas ni en rectas. En cuanto al frenado, a velocidades de 80, 90 y 100, el sistema respondió de manera eficiente tanto en curvas como en rectas, mientras que a 200, el frenado fue deficiente, impidiendo una detención efectiva (Tablas 8 y 9). Estos resultados evidencian que el robot mantiene un buen desempeño dentro de un rango de velocidad moderado, pero su estabilidad y control disminuyen significativamente a velocidades más altas.

5.4.6. Desempeño en Pista 2

En las pruebas realizadas en la Pista 2 (Figura 51), el robot mostró un desempeño óptimo en curvas y rectas a velocidades de 80, 90 y 100, logrando seguir correctamente la línea en todas las pruebas (Tablas 10 y 11). Sin embargo, a 200 de velocidad, el desempeño fue deficiente, presentando dificultades similares a las observadas en la Pista 1. En cuanto al frenado, a velocidades de 80, 90 y 100, el sistema respondió de manera eficiente tanto en curvas como en rectas, mientras que a 200, el frenado fue deficiente, afectando la capacidad de detención del robot (Tablas 12 y 13). Estos resultados refuerzan la importancia de mantener un rango de velocidad moderado para garantizar estabilidad y control en el seguimiento de la trayectoria.

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

A lo largo del desarrollo de este proyecto, se han alcanzado los objetivos específicos establecidos, los cuales se enfocaron en optimizar el funcionamiento del robot seguidor de línea velocista mediante el análisis y mejora de los componentes técnicos y el desempeño del sistema en condiciones variables. En relación con los resultados obtenidos, se puede destacar lo siguiente:

Objetivo específico 1 (Identificar los principios teóricos de los robots autónomos móviles). Este objetivo fue alcanzado satisfactoriamente, ya que el análisis de los sensores y los algoritmos de control proporcionaron una comprensión profunda sobre cómo estos componentes interactúan para ofrecer autonomía en entornos dinámicos. Este conocimiento ha sido fundamental para optimizar el funcionamiento del robot, garantizando su capacidad de adaptarse y tomar decisiones autónomas en tiempo real.

Objetivo específico 2 (Diseñar el esquema electrónico y la estructura mecánica del robot seguidor de línea velocista). El diseño del esquema electrónico y la estructura mecánica fue exitoso y esencial para asegurar que el robot operara de manera eficiente. La integración de los diversos componentes permitió una respuesta adecuada a los comandos y mejoró la estabilidad del robot en la pista, lo que respalda la funcionalidad y fiabilidad del sistema.

Objetivo específico 3 (Programar el control PID utilizando una regleta de 16 sensores y una pantalla OLED). La programación del sistema de control PID fue un paso crucial para la optimización del rendimiento del robot. La implementación de la regleta de 16 sensores y la pantalla OLED permitió ajustar los parámetros del sistema en tiempo real, mejorando la precisión en el seguimiento de la línea y facilitando la visualización interactiva de los datos relevantes.

Objetivo específico 4 (Evaluar el desempeño del robot en diferentes pistas de prueba). Este objetivo se cumplió al evaluar exhaustivamente el comportamiento del robot en distintas condiciones de pista. Los resultados mostraron una mejora significativa en la estabilidad, velocidad y capacidad de adaptación del robot, lo que demuestra que los ajustes realizados en el diseño y la programación del sistema contribuyeron a un desempeño superior.

5.2 Recomendaciones

Para proyectos futuros, sería beneficioso integrar funciones adicionales, como la detección de obstáculos o el control en múltiples líneas. Esto permitiría que el robot sea más versátil y capaz de adaptarse a escenarios más complejos, lo que ampliaría su campo de aplicaciones.

Para futuras versiones del robot, se recomienda explorar la implementación de comunicación inalámbrica, como Bluetooth o WiFi, para la transmisión de datos en tiempo real. Esto permitiría monitorizar y controlar el robot de manera remota, lo que añadiría flexibilidad y facilitaría su utilización en entornos más grandes.

Mejorar la interfaz de la pantalla OLED con elementos gráficos más detallados o implementar una aplicación complementaria para dispositivos móviles facilitaría la visualización y el ajuste de parámetros del robot en tiempo real.

Se recomienda explorar estrategias de ajuste automático de los parámetros del control PID, como la implementación de algoritmos de optimización basados en inteligencia artificial o técnicas de autoajuste en tiempo real, lo que permitiría mejorar la adaptabilidad del robot a diferentes condiciones de pista.

5.3 Referencias

ABRAJAN, Christian. Diseño y construcción de un robot seguidor de línea evasor de obstáculos empleando arduino nano [en línea] (Trabajo de titulación). (Tecnología) Instituto Superior Tecnológico Nueva Vida, Quito, Ecuador. 2020. pp. 4-22. Disponible en: http://dspace.istvidanueva.edu.ec/bitstream/123456789/96/3/43.1420-ABRAJAN-ARIAS-CRISTHIAN-SANTIAGO.pdf?fbclid=IwAR2dZR7jl_UL1_V7dMQyshaFOzpzIUw8kPx50xoDOu4iY-2VOhkSjyfq9Ew

AGUILERA, Martha; et al. "Diseño y Control de Robots Móviles". Instituto Tecnológico de Nuevo Laredo [en línea], (2007), México 88250, pp. 1-7. Disponible en: <https://bit.ly/2Qzj9I6%0Ahttp://www.mecamex.net/anterior/cong02/papers/art24.pdf>

Antonio, R. C. D., & Edison, T. T. L. (2016, 19 julio). Diseño e Implementación de dos Robots de Competencia (Seguidor de Línea Especialidad Velocista, Laberinto). Disponible en: <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/16546>

Braulio, B. D., Michael, J. C. J., Estrella, D. R. Ñ., Cazco, C. A. O., & Domínguez, J. E. S. (2022). Efectividad de Controladores PD, PI, PID en Seguidor de Línea Turbinado. Dialnet. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9042958>

Caiza Mullo, A. F., & Morales Ronquillo, A. A. (2021). Implementación de un robot seguidor de línea para la comparación de un controlador de lógica difusa y un controlador PID (Trabajo de titulación, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Mecánica). Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/14918>

CARRILLO, Mariano; et al. "Sistema de control y arquitectura de un robot seguidor de línea". Cultura Científica y Tecnológica [en línea], (2017), México D.F.(59), pp. 115-128. Disponible en: <http://erevistas.uacj.mx/ojs/index.php/culcyt/article/view/1570/1390>

CILADI. (2023). Robots: Fundamentos y aplicaciones (1ª ed.). Centro Iberoamericano de Desarrollo e Investigación. Disponible en: <https://ciladi.org/wp-content/uploads/Libro-Robots-VF3.pdf>

ElectronicaStore. Seguidor de Línea TURING: Perfecto para iniciar en el mundo de la robótica | ElectronicaStore [blog]. (2018). Disponible en: https://electronicastore.mx/producto/seguidor-de-linea-turing-perfecto-para-iniciar-en-el-mundo-de-la-robotica/?fbclid=IwAR0eqRppbPiclIw_-1r6ttgoxEFuHMKb-sCoUkDkF0pF9gZtMxzWv0k1hw

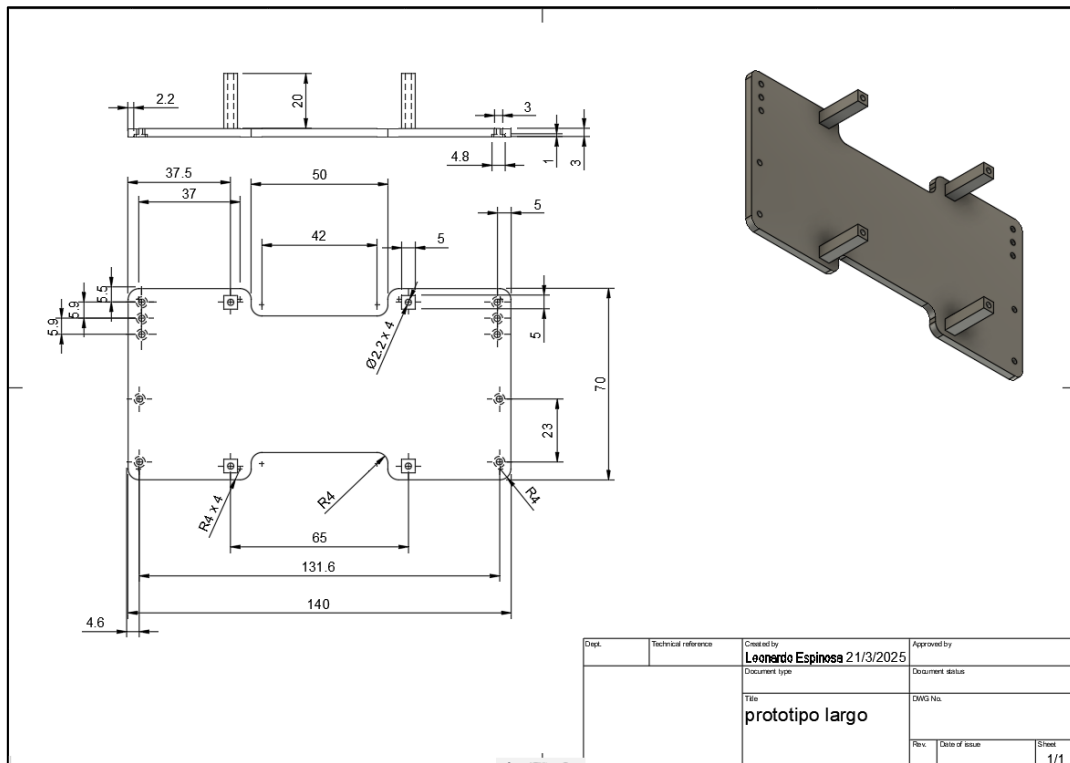
López, P. (2020, April 16). OLED: ¿Qué es y para qué sirve? Geeknetic. <https://www.geeknetic.es/OLED/que-es-y-para-que-sirve>

ORTIZ, David. Robótica para seguimiento de líneas [en línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería) Universidad Politécnica de Cataluña, Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Telecomunicaciones de Barcelona, Ingeniería Electrónica. Barcelona-España. (2016). pp. 22-70. Disponible en: https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/97322/PFC?fbclid=IwAR2QSUy-Sx0K_rrgqTBWo4gzssuXfHDSd8x7XLdNOZ3XkCKAZfjm0WySHpc

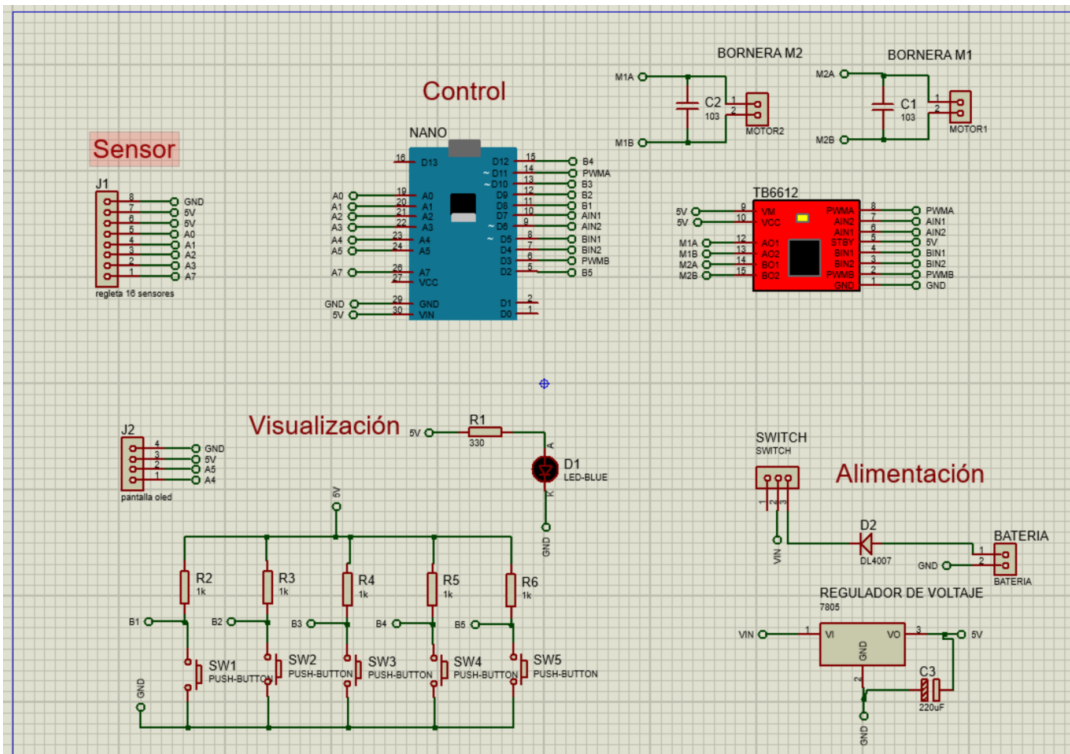
Sanchis, E., & Ejea, J. B. (2008, November 11). Dispositivos de visualización y modulación. Universidad de Valencia. https://www.uv.es/~esanchis/cef/pdf/Temas/B_T5.pdf

SCHAEFER, S. AGV WEASEL® en Intralogística | SSI Schaefer | SSI SCHAEFER [blog]. (2016). Disponible en: https://www.ssi-schaefer.com/es-br/productos/agv-weasel-371266?fbclid=IwAR2ijayEaSdLT-6wXbQJaA-qRhFL4IAGcUhC3NcrxzLDs_ATjPQg2SX52wo

ANEXOS

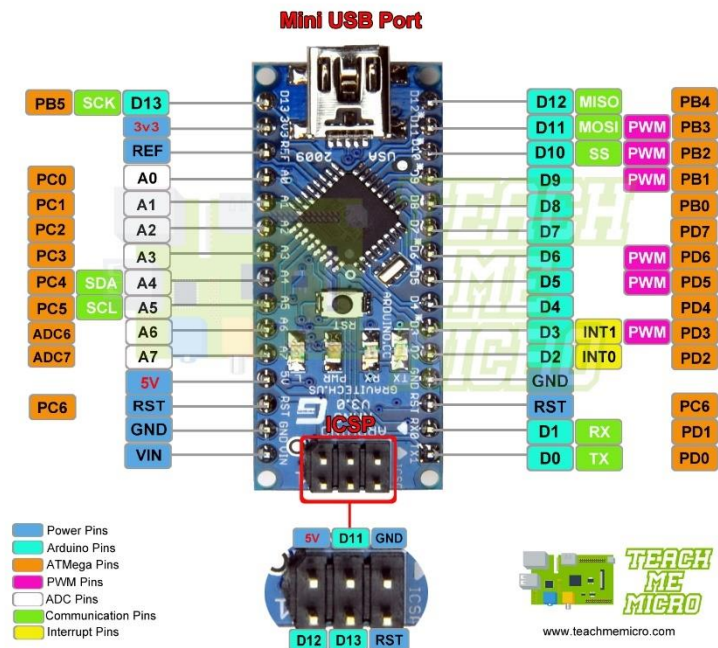


Anexo 1 Planos estructura seguidor de línea velocista.

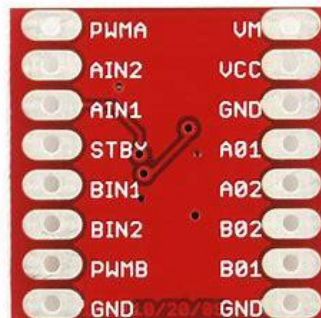


Anexo 2 Esquemático seguidor de línea velocista.

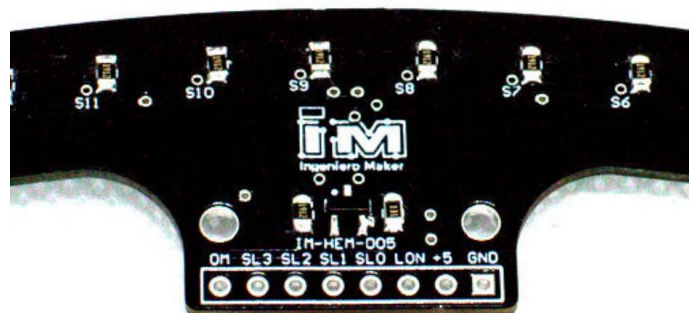
ARDUINO NANO PINOUT



Anexo 3 PINOUT Arduino nano.



Anexo 4 PINOUT driver TB6612fng.



Anexo 5 PINOUT Regleta IM 16 sensores.



Pin1: VCC
Pin2: GND
Pin3: SCL
Pin4: SDA

Anexo 6 PINOUT Pantalla Oled 0.9"

DETALLE DE INGRESOS					
N°	DESCRIPCIÓN	APORTE ECONÓMICO			
1	Nelson Leonardo Espinosa Lascano	300.00			
TOTAL DE INGRESOS ESTIMADOS					300.00
DETALLE DE EGRESOS					
RECURSO	TIPO DE RECURSO	TIPO DE UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO POR UNIDAD	COSTO TOTAL
HUMANO	Impresión 3D. Leonardo Espinosa	g	10	10.00	100.00
	pcb		5	10.00	50.00
ECONÓMICO / FINANCIERO					
	Variedad de tornillos		20	0.10	2.00
TECNOLÓGICO	arduino nano		1	19.99	19.99
	micro motorreductor pololu 1000:1 6v		2	30.00	60.00
	pulsador 2 pines		5	0.10	0.50
	resistencias 1/2 w 1kOHM		5	0.04	0.20
	capacitor ceramico		2	0.05	0.10
	capacitor electrolítico 220uf		1	0.12	0.12
	diodo rectificador 1N4007		1	0.05	0.05
	regulador de voltaje lm7805		1	0.50	0.50
	regleta de 16 sensores QRE 1113 IM		1	70.00	70.00
	ar de soportes regleta 16 sensores IM		1	12.00	12.00
	espadines rectos hembra		2	0.25	0.50
	espadines rectos macho		1	0.75	0.75
	interruptor dezlisable		1	0.25	0.25
	llantas j sumo		2	25.00	50.00
	driver		1	7.00	7.00
	jamper arduino hembra hembra		1	2.00	2.00
	pantalla oled 0.9"		1	10	10.00
TOTAL DE GASTOS ESTIMADOS					385.96

Anexo 7 Presupuesto.

N°	ACTIVIDADES	TIEMPOS																								
		2024										2025														
		OCTUBRE					NOVIEMBRE					DICIEMBRE					ENERO					FEBRERO				
		semana					semana					semana					semana					semana				
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
1	Elaboración de tema de investigación.																									
2	Planteamiento del Problema.																									
3	Objetivos.																									
4	Justificación.																									
5	Alcance del Proyecto.																									
6	Obtención bibliográfica.																									
7	Bibliografía.																									
8	Marco Teórico.																									
9	Formulación de diagrama de fases y etapas.																									
10	Cotización.																									
11	Presupuesto.																									
12	Presentación del plan de proyecto completado.																									
13	Análisis sobre robots velocistas.																									
14	Diseño esquemático.																									
15	Diseño estructura en 3D.																									
17	Impresión de la piezas 3D.																									
18	Diseño PCB																									
19	Montaje de elementos electrónicos.																									
20	Programación de la pantalla oled																									
21	Prueba de la programacion con las constantes																									
22	Programación PID																									
23	Demostración práctica																									
24	Redacción correspondiente al informe final del proyecto.																									
25	Revisión final de estructura, acabados del robot, funcionalidad de la programación																									
27	Defensa práctica del proyecto.																									

Anexo 8 Cronograma de Actividades