



Universidad de Valladolid



**ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES**

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

ESCUELA DE INGENIERIAS INDUSTRIALES

Grado en Ingeniería Mecánica

**Vehículo multifuncional de apoyo a pruebas
de carga en ingeniería.**

Autor:

Fonseca Porras, Fernando

Tutores:

Lorenzana Ibán, Antolín

Magdaleno González, Álvaro

**Departamento C.A, I.T, M.M.C y
Teoría de Estructuras.**

Valladolid, junio de 2023.

Resumen

El proyecto desarrolla un vehículo auxiliar para pruebas de carga en estructuras. Diseñado con 4 ruedas motrices, proporciona capacidad de carga, dirección controlada, estabilidad y maniobrabilidad. Un controlador ESP32, con placas de hoverboards reprogramadas en modo USART3, asegura un control preciso. La comunicación, a través del protocolo ESP-NOW, garantiza conexión fiable entre el vehículo y el transmisor remoto, el cual opera en modos de control remoto y seguimiento de líneas.

El transmisor independiente, dispone de una pantalla OLED que muestra información en tiempo real, joystick para el control y potenciómetro para ajustar la velocidad. Todos estos componentes están protegidos por una carcasa impresa en 3D.

Este proyecto fusiona ingeniería mecánica, electrónica y programación, creando una plataforma versátil, eficiente y sostenible. Se ha enfocado en la sostenibilidad y economía, utilizando materiales reciclados y promoviendo eficiencia energética, evidenciando un compromiso con el medio ambiente y la reducción de costes.

Palabras clave:

Vehículo auxiliar, protocolo de comunicación, ingeniería inversa, versatilidad, sostenibilidad.

Summary

The project develops an auxiliary vehicle for load testing on structures. Designed with 4-wheel drive, it provides load capacity, controlled direction, stability, and maneuverability. An ESP32 controller, with reprogrammed hoverboard plates in USART3 mode, ensures precise control. Communication, via the ESP-NOW protocol, guarantees a reliable connection between the vehicle and the remote transmitter, which operates in remote control and line-following modes.

The independent transmitter has an OLED screen that displays real-time information, a joystick for control, and a potentiometer to adjust the speed. All of these components are protected by a 3D printed case.

This project merges mechanical engineering, electronics, and programming, creating a versatile, efficient, and sustainable platform. It has focused on sustainability and economy, using recycled materials and promoting energy efficiency, demonstrating a commitment to the environment and cost reduction.

Keywords:

Auxiliary vehicle, communication protocol, reverse engineering, versatility, sustainability.

INDICE

Resumen	2
Summary	2
Indice de Figuras	6
1 Introducción y objetivos	8
1.1 Antecedentes y motivación.....	9
1.2 Objetivos.....	10
2 Requerimientos técnicos	12
2.1 Requerimientos cinemáticos.....	12
2.1.1 Movilidad omnidireccional	12
2.1.2 Rango de velocidades	12
2.1.3 Radio de giro	12
2.1.4 Estabilidad y control	13
2.1.5 Capacidad de carga y distribución de pesos	13
2.1.6 Control preciso.....	13
2.1.7 Suspensión	13
2.2 Requerimientos de la estructura mecánica	13
2.2.1 Capacidad de carga	14
2.2.2 Dimensiones y peso del vehículo.....	14
2.2.3 Resistencia y durabilidad	14
2.3 Requerimientos eléctricos y electrónicos	14
2.3.1 Alimentación eléctrica	14
2.3.2 Comunicación entre las placas base y el ESP32.....	14
2.3.3 Sensores.....	15
2.3.4 Interfaz del controlador	15
2.4 Requerimientos de software y programación	15
2.4.1 Lenguaje de programación	16
2.4.2 Algoritmos de control	16
2.4.3 Protocolo de comunicación	16
2.4.4 Programación autónoma	17
3 Prototipado preliminar	18
3.1 Creación de un prototipo sigue líneas con piezas de Lego	18
3.2 Pruebas con diversos drivers de motores:.....	19

3.3	Evaluación de diferentes sensores IR.....	19
3.4	Estudio del PID para seguimiento de líneas:.....	20
4	Alternativas de diseño	22
4.1	Evaluación de opciones de tracción	22
4.1.1	Configuración con 2 ruedas motrices y 2 ruedas locas	22
4.1.2	Configuración con 4 ruedas motrices.....	23
4.1.3	Configuración con 4 ruedas motrices aplicando motricidad solo a 2 de ellas	23
4.2	Componentes comerciales	24
4.3	Componentes reciclados	26
4.4	Baterías de Li-Ion.....	27
4.4.1	Prestaciones.....	27
4.4.2	Contratiempo.....	27
4.4.3	Estudio y análisis del problema	29
5	Prototipado del vehículo	32
5.1	Parte mecánica.....	33
5.1.1	Bastidor estructural:.....	33
5.1.2	Listado de componentes procedentes del hoverboard	36
5.1.3	Secuencia de montaje	38
5.2	Parte electrónica	44
5.2.1	Necesidad de flasheado de la placa del hoverboard.....	44
5.2.2	Electrónica auxiliar necesaria	47
5.2.3	Otros componentes	49
5.3	Parte de software	50
5.3.1	Programación para control remoto.....	51
5.3.2	Programación para seguimiento de líneas	52
6	Transmisor	55
6.1	Componentes y circuitos.....	55
6.1.1	Placa base del transmisor	55
6.1.2	Botones y controles	56
6.1.3	Circuito de comunicación	59
6.2	Programación del transmisor	60
6.2.1	Configuración de la comunicación	61
6.2.2	Lógica de control del transmisor	62

6.3 Pruebas y ajustes.....	63
6.3.1 Pruebas de funcionamiento	63
6.3.2 Ajustes y mejoras.....	64
6.4 Diseño y ergonomía	65
6.4.1 Prototipado en protoboard	65
6.4.2 Impresión 3D de la carcasa.....	66
6.4.3 Portabilidad del transmisor	68
6.4.4 Integración final.....	70
7 Conclusiones.....	72
7.1 Resultados	72
7.2 Líneas de mejora	75
7.2.1 Mejora del código.....	75
7.2.2 Gestión de las baterías recicladas	76
7.2.3 Reforzamiento de la estructura mecánica	76
7.2.4 Otros aspectos de mejora	76
7.3 Consideraciones adicionales	77
7.3.1 Estimación de horas.....	78
7.3.2 Estimación de costes	79
Referencias.....	81
Anexos.....	83

Índice de Figuras

Figura 1. Hoverboard.[4].....	9
Figura 2: Prototipo sigue líneas con piezas de LEGO	18
Figura 3. Driver L298N elegido para el prototipo con LEGO[10]	19
Figura 4. Sensores QRT-8RC utilizados en el primer intento del prototipo LEGO[12]	19
Figura 5. Sensores IR MH-Sensor Series, utilizados en el prototipo LEGO y final[13].....	20
Figura 6. Lógica PID (Proportional, Integral, Derivative) estudiada y empleada en el prototipo[14]	20
Figura 7. Representación de la lógica PID empleada en el prototipo.[15]	21
Figura 8. Prototipo de LEGO siguiendo la línea negra sobre superficie gris.....	21
Figura 9. Rueda "loca"[16]	22
Figura 10. Rueda con motor brushless integrado [17]	23
Figura 11. Boceto electrónico propuesto para la realización del prototipo final con elementos comprados	25
Figura 12. Prototipo final explotando debido a un fallo en una de las baterías.	28
Figura 13. Prototipo final tras el incidente por la explosión de una de las baterías.	29
Figura 14. Representación gráfica del interior de una batería de Li-ION donde se puede apreciar la formación de Dendritas.[21].....	30
Figura 15. Imagen ampliada donde se puede apreciar la formación de dendritas dentro de una batería de Li-ION [22].....	30
Figura 16. Construcción del primer prototipo final.	32
Figura 17. Primer prototipo final, en esta fase el control direccional funcionaba, la función de seguimiento de líneas estaba en proceso.	33
Figura 18. Representación en CATIA V5 del prototipo final.	34
Figura 19. Representación del perfil "FASTEN" de 60x60mm.	34
Figura 20. Representación del perfil "FASTEN" de 60x30mm.	35
Figura 21. Representación en CATIA V5 del prototipo final.	36
Figura 22. Placas madre o "mother boards" extraídas de los hoverboard.	37
Figura 23. Ruedas con motor extraídas de los HoverBoards.....	37
Figura 24. Baterías extraídas de los Hoverboard, así como los "host" metálicos para los bujes de los motores.	38
Figura 25. Montaje del primer prototipo final.....	39
Figura 26. Ensamblaje entre 2 perfiles "Fasten" mediante unión roscada con perno.....	40
Figura 27. Ensamblaje final de los perfiles "Fasten" formando un marco.	40
Figura 28. Unión del tablero de carroceros con el marco de aluminio, mediante unión roscada.	41
Figura 29. Montaje de las ruedas en el marco de aluminio, utilizando el alojamiento impreso en 3D así como el propio host procedente del hoverboard.....	41
Figura 30. Colocación de la electrónica dentro de la plataforma. Anclada al tablero de carroceros.....	42
Figura 31. Situar la carcasa 3D diseñada para alojar el ESP32 así como los sensores IR	42
Figura 32. Cierre de la tapa superior con el segundo tablero de carroceros.....	43
Figura 33. Colocación de la tapa protectora de la caja que aloja el ESP32 y los sensores.....	43

Figura 34. Esquema "general" de las placas madre de los hoverboards.....	45
Figura 35. Captura de pantalla del programa "STM32 ST-LINK Utility".	45
Figura 36. Captura de pantalla del programa "Visual Studio Code"[24] en el entorno "PlatformIO"..	46
Figura 37. Captura de pantalla donde se aprecia la instalación de los drivers "Zadig".....	46
Figura 38. Funcionamiento de las ruedas motorizadas de los hoverboard, controladas por un Arduino NANO.	47
Figura 39. Boceto de componentes empleados para la configuración y comunicación del proyecto, mediante el modo USART3.	48
Figura 40. Boceto de componentes empleados para la configuración y comunicación del proyecto, mediante el modo USART2.	48
Figura 41. Diseño en CATIA V5 de una "cama" verde, para asentar el buje de la rueda..	50
Figura 42. Disposición de piezas que se introducirán en la plataforma. El programa fileteador es el Ultimaker Cura[26].	50
Figura 43. Correcto funcionamiento de la dirección del prototipo, con un joystick a distancia.	51
Figura 44. Captura de video donde se aprecia la señal que transmite el mando.	52
Figura 45. Calibración de los sensores IR.....	53
Figura 46. Correcta comunicación entre el transmisor y receptor, durante la función de seguimiento de líneas.	54
Figura 47. Montaje preliminar del transmisor.....	55
Figura 48. Joystick analógico, empleado en la primera prueba de transmisor.	57
Figura 49. Botones digitales del transmisor.	57
Figura 50. Primera prueba de funcionamiento de la pantalla con su debida comunicación con el receptor.....	58
Figura 51. Primera prueba de funcionamiento de la pantalla con su debida comunicación con el receptor.....	59
Figura 52. Representación de la comunicación ESP-NOW.	60
Figura 53. Captura de pantalla de la programación simultánea de transmisor y receptor. ...	61
Figura 54. Segunda prueba del transmisor, esta vez se utilizó una protoboard para testar diferentes configuraciones.	65
Figura 55. Diseño en CATIA V5 de la carcasa del transmisor.....	66
Figura 56. Diseño del transmisor en CATIA V5. Otra vista de la creación de la carcasa para el mando.	67
Figura 57. Montaje de los componentes electrónicos del transmisor en la carcasa diseñada e impresa en 3D.	68
Figura 58. Transmisor una vez la carga de su batería está completa.....	69
Figura 59. Transmisor durante el proceso de carga de batería.....	69
Figura 60. Vista del montaje del mando con sus componentes.....	70
Figura 61. Ensamblaje final del transmisor.....	71
Figura 62. Captura de vídeo donde se aprecia el funcionamiento del prototipo transportando a una persona.	73
Figura 63. Prueba donde se está sometiendo al prototipo a una carga realizada con pesos.	74
Figura 64. Prueba de carga estática del prototipo final con una persona encima.....	75

1 Introducción y objetivos

El proyecto pretende desarrollar un vehículo con alta capacidad de carga capaz de realizar funciones específicas, como el seguimiento de líneas y el poder controlar de forma precisa. Este vehículo combina elementos de distintas tecnologías, como los AGVs (Automatic Guided Vehicles) de las fábricas, los hoverboards[1], los ESP32[2] y Arduino[3], así como los vehículos de control remoto y los patinetes eléctricos. El resultado es un prototipo versátil y funcional que combina la diversión de un vehículo con la capacidad de realizar tareas automatizadas.

El proyecto lo ha hecho un estudiante de ingeniería mecánica con amplios conocimientos y experiencia en ingeniería y desarrollo de prototipos. A lo largo del proceso, se han abordado diversas áreas, desde el diseño mecánico y la selección de componentes electrónicos, hasta la programación y la integración de sistemas.

El vehículo se ha diseñado con una combinación de elementos estructurales y eléctricos, lo que ha permitido obtener una estructura resistente y estanca, protegiendo los componentes internos de posibles daños ambientales.

A través de este proyecto, se busca demostrar la integración de diferentes tecnologías y habilidades en la creación de un vehículo versátil y funcional. Los resultados obtenidos reflejan el éxito en la construcción de un prototipo que cumple con los objetivos planteados, superando las expectativas iniciales.

En las siguientes secciones, se detallarán los aspectos clave del diseño, la construcción y la programación del vehículo, así como los resultados obtenidos y las posibles líneas de mejora. A su vez, se abordarán consideraciones adicionales, como aspectos éticos, de seguridad y medioambientales, que han surgido a lo largo del proyecto.

En resumen, el proyecto del vehículo combina la diversión de los tradicionales para realizar tareas automatizadas. Su diseño, construcción y programación reflejan un enfoque integral y multidisciplinario, los resultados obtenidos demuestran el éxito en la consecución de los objetivos planteados.



Figura 1. Hoverboard.[4]

1.1 Antecedentes y motivación

En este apartado, se presentan los antecedentes y la motivación que impulsaron el desarrollo del proyecto. Se destacan a continuación diferentes elementos relevantes que sirven como base y referencia para comprender el contexto en el que se enmarca este proyecto.

Vehículos de control remoto: Los vehículos de control remoto, como coches, aviones y drones, han sido una fuente de entretenimiento y diversión para personas de todas las edades. Estos dispositivos permiten controlar el movimiento y las acciones del vehículo a distancia, a través de un controlador remoto. La experiencia adquirida en el manejo y control de estos vehículos ha sido aplicada en el desarrollo del vehículo objeto de este trabajo aprovechando las técnicas de control y la familiaridad con los dispositivos de control remoto existentes.

Además de su aspecto lúdico, el desarrollo de estas tecnologías ha permitido su integración en la sociedad a varios niveles, como pueden ser los vehículos de movilidad unipersonal o los AGVs industriales. Respecto a los primeros, los patinetes eléctricos se han convertido en una alternativa popular de transporte personal en muchas ciudades. Estos dispositivos, impulsados por motores eléctricos y controlados mediante sistemas electrónicos, permiten desplazarse de manera eficiente y sostenible. El estudio de los patinetes eléctricos ha proporcionado valiosos conocimientos sobre la integración de componentes eléctricos y electrónicos en vehículos de pequeña escala, así como sobre la gestión de la energía y la interacción con el usuario.

Respecto a los AGVs (Automatic Guided Vehicles) o vehículos guiados automáticamente son ampliamente utilizados en la industria para el transporte de materiales y productos en entornos fabriles. Estos vehículos autónomos han demostrado ser eficientes y efectivos en la optimización de procesos y la reducción de costes de mano de obra. El estudio de estos sistemas automatizados ha brindado inspiración para el desarrollo del vehículo, buscando adaptar los principios de control y navegación a un vehículo a escala reducida.

Además de su aspecto lúdico, el desarrollo de estas tecnologías ha permitido su integración en la sociedad a varios niveles, como pueden ser los vehículos de movilidad unipersonal o los

AGVs industriales. Respecto a los primeros, los hoverboards, también conocidos como patinetas eléctricas de auto equilibrio, se han vuelto populares como medios de transporte personal. Estos dispositivos cuentan con sistemas de control y estabilización que permiten mantener el equilibrio de manera autónoma. La utilización de los componentes de los hoverboards, como motores y placas base, en el prototipo del vehículo se basa en su disponibilidad y versatilidad, ya que proporcionan una solución compacta, y eficiente para el movimiento del vehículo.

Otro componente fundamental para el desarrollo del proyecto, son los módulos ESP32. Son un microcontrolador de bajo consumo de energía y alto rendimiento que ha ganado popularidad en el ámbito de la robótica y desarrollo de aplicaciones. Este microcontrolador ofrece una amplia variedad de funcionalidades y conectividad, lo que lo convierte en una opción atractiva para proyectos de IoT y robótica. Por otro lado, Arduino es una plataforma de desarrollo open-source ampliamente utilizada en proyectos de electrónica, permitiendo una programación sencilla y accesible. La combinación de estas plataformas, con el uso del ESP32 y la compatibilidad con el entorno de desarrollo de Arduino, brinda una gran flexibilidad y facilidad de programación en el proyecto del vehículo.

Al considerar estos antecedentes, se evidencia la necesidad de explorar soluciones que combinen la tecnología de los AGVs, los componentes de los hoverboards y las plataformas de desarrollo como el ESP32 y Arduino. El objetivo principal de este proyecto es diseñar y construir un vehículo con capacidad de seguimiento de líneas, que incorpore estos elementos y aproveche su versatilidad para lograr un funcionamiento eficiente y preciso.

En resumen, los antecedentes mencionados, como los AGVs en fábricas, los hoverboards y la tecnología de microcontroladores como el ESP32 y Arduino, han servido de inspiración y referencia para el desarrollo del proyecto. La combinación de estos elementos proporciona una base sólida y prometedora para alcanzar los objetivos propuestos en términos de funcionalidad, versatilidad y coste.

1. 2 Objetivos

El objetivo de este proyecto es elaborar una plataforma motorizada multipropósito capaz de moverse en un rango de velocidades de consigna y con una capacidad de carga notable. Su función principal será auxiliar para pruebas de carga en estructuras estáticas y dinámicas.

Para lograr este objetivo principal, se plantean los siguientes objetivos secundarios:

- **Economía:** Se busca desarrollar la plataforma de manera económica, aprovechando materiales reciclados en su construcción y maximizando el uso de recursos disponibles. Esto permitirá reducir costos y hacer más accesible la implementación de la plataforma en diferentes aplicaciones.
- **Sostenibilidad medioambiental:** Se prioriza el uso de materiales reciclados en la construcción de la plataforma, con el objetivo de reducir el impacto ambiental y fomentar la reutilización de recursos. Además, se explorarán opciones de eficiencia energética para minimizar el consumo y promover un funcionamiento respetuoso con el medio ambiente.

- **Configurabilidad:** Se busca diseñar la plataforma de manera que sea fácilmente adaptable y configurable para diferentes propósitos y necesidades. Se considerará la incorporación de elementos modulares o interfaces estandarizadas que permitan modificar rápidamente su configuración y adaptarla a distintas tareas o entornos de trabajo.
- **Autonomía:** Se pretende dotar a la plataforma de la capacidad de movimiento autónomo mediante la definición y ejecución de consignas establecidas. Esto permitirá que la plataforma pueda desplazarse de forma autónoma y llevar a cabo tareas específicas sin la intervención directa del operador.
- **Simplicidad:** Se buscará alcanzar la simplicidad mediante la minimización del número de componentes mecánicos. Esta decisión se basa no solo en consideraciones económicas, sino también en la intención de reducir las posibilidades de fallo.

Con estos objetivos claros, se espera desarrollar una plataforma motorizada versátil, eficiente y sostenible, capaz de cumplir con los requisitos de carga y movilidad necesarios para el apoyo en pruebas de carga en diversas estructuras.

Las pruebas de carga que se realizarán con la plataforma motorizada multipropósito abarcarán diferentes escenarios y aplicaciones. Algunas de estas pruebas incluirán la capacidad de cargar con masas en puntos específicos de una estructura para evaluar su resistencia y comportamiento bajo cargas estáticas. Estas pruebas permitirán obtener datos precisos sobre la capacidad de carga de la estructura y verificar su integridad.

La plataforma podrá trasladar una masa controlada y seguir una trayectoria predefinida a una velocidad dada. Esto permitirá simular situaciones dinámicas en las que se requiera el movimiento de cargas en entornos específicos, como la realización de pruebas de resistencia y fatiga en estructuras sometidas a movimientos o vibraciones.

Otra aplicación de la plataforma será el traslado de equipos instrumentales pesados, como dispositivos de medición o herramientas de trabajo, que requieran movilidad y resistencia. Estos equipos podrán transportarse de manera eficiente y segura, considerando consideraciones ergonomía y facilitando las tareas de los operadores en entornos laborales exigentes.

Las pruebas de carga que se harán con la plataforma motorizada abarcarán escenarios estáticos y dinámicos, permitiendo evaluar la resistencia y el comportamiento de las estructuras bajo diferentes condiciones de carga. Además, se ofrecerá la capacidad de trasladar equipos instrumentales pesados, atendiendo a exigencias ergonómicas en entornos laborales. Con estos enfoques, se busca proporcionar una solución versátil y eficaz para el apoyo en pruebas de carga en diferentes contextos y aplicaciones.

2 Requerimientos técnicos

En este apartado, se detallan los requerimientos técnicos necesarios para el desarrollo del vehículo. Estos requerimientos abarcan aspectos cinemáticos, estructurales, eléctricos, electrónicos y de software, y son fundamentales para garantizar el funcionamiento adecuado y el cumplimiento de los objetivos del proyecto.

2.1 Requerimientos cinemáticos

Los requerimientos cinemáticos se centran en la capacidad de movimiento omnidireccional, el rango de velocidades, el radio de giro, la estabilidad y el control preciso. Estos aspectos son cruciales para garantizar que el vehículo pueda moverse de manera eficiente y segura en diferentes entornos y situaciones.

Las prestaciones cinemáticas vienen determinadas por las capacidades de los componentes que se detallarán en apartados siguientes.

2.1.1 Movilidad omnidireccional

Establece la capacidad del vehículo para desplazarse en cualquier dirección, ya sea hacia adelante, hacia atrás, girar sobre su propio eje, o moverse lateralmente. Esto puede lograrse mediante la incorporación de ruedas multidireccionales o mediante la combinación adecuada de tracción y dirección.

La maniobrabilidad total se conseguirá con cuatro ruedas motorizadas. Aunque no pueden cambiar la dirección del eje con respecto al chasis, al poderse accionar de forma independiente logran orientar al vehículo variando la velocidad de unas con respecto a otras.

2.1.2 Rango de velocidades

Se debe establecer el rango de velocidades de consigna que el vehículo debe alcanzar. Estos valores pueden especificarse en velocidad lineal máxima hacia adelante y hacia atrás y también en velocidad angular para los giros.

Deberá desplazarse de forma controlada en un rango de velocidades dentro de las actividades de la locomoción humana. Como referencia, se anda en promedio a unos 5 km/h y una carrera rápida de un velocista podría rondar los 30 km/h.

2.1.3 Radio de giro

Debe poder determinarse un radio mínimo de giro que el vehículo podrá alcanzar. Esto es especialmente relevante si se requiere que el vehículo pueda maniobrar en espacios reducidos o realizar giros cerrados. Tras lo indicado en el apartado 2.1.1, el sistema de dirección es tal que el vehículo puede girar sobre sí mismo.

2.1.4 Estabilidad y control

Se establecerán requisitos relacionados con la estabilidad y el control del vehículo durante los movimientos. Se buscará garantizar la capacidad del vehículo para mantener una trayectoria recta, evitando oscilaciones excesivas y asegurando la estabilidad durante cambios de dirección o aceleraciones. Para lograr esto, se estudiará la posibilidad de introducir un sistema de frenado que contribuya a controlar la velocidad y detener el vehículo de manera segura. Se considerarán diferentes opciones de sistemas de frenado que se ajusten a los requisitos del proyecto y que permitan un control preciso y confiable del vehículo en diferentes situaciones. La implementación de un sistema de frenado adecuado contribuirá a mejorar la estabilidad y el control del vehículo, proporcionando una experiencia de conducción más segura y confiable.

2.1.5 Capacidad de carga y distribución de pesos

Es necesario especificar la capacidad de carga máxima que el vehículo debe ser capaz de transportar, así como determinar la distribución adecuada de pesos para mantener la estabilidad y el equilibrio durante los desplazamientos.

2.1.6 Control preciso

Establecer la precisión requerida en el control de los movimientos del vehículo. Esto puede incluir realizar movimientos suaves y precisos según las órdenes del operador o las consignas establecidas en el modo autónomo.

2.1.7 Suspensión

El vehículo estará equipado con 4 ruedas, lo cual proporcionará simplicidad en el diseño y estabilidad en su funcionamiento. Para pruebas de carga dinámica, se ha decidido prescindir de un sistema de suspensión, con el objetivo de evitar añadir grados de libertad adicionales a la estructura. En lugar de ello, las ruedas se conectarán al chasis de manera rígida. Aunque esta configuración puede ocasionar una pérdida de tracción en terrenos accidentados, en la práctica, el chasis deformable del vehículo permitirá adaptarse a pequeñas irregularidades del terreno, especialmente cuando esté cargado. Además, se consideró la opción de ampliar las ruedas de los hoverboard mediante la incorporación de neumáticos con cámara, que se ajusten a las medidas correspondientes, para brindar una mayor absorción de impactos y actuando como un pseudo sistema de amortiguación.

Estos requerimientos cinemáticos son fundamentales para asegurar un desempeño adecuado del vehículo y garantizar su capacidad de movimiento según los propósitos y aplicaciones previstos.

2.2 Requerimientos de la estructura mecánica

Por otro lado, los requerimientos de la estructura mecánica se refieren a la capacidad de carga, las dimensiones y el peso del vehículo, el sistema de suspensión, la resistencia y dura-

bilidad, así como la incorporación de un sistema de frenado cuando sea necesario. Estos aspectos son clave para garantizar que la estructura del vehículo pueda soportar las cargas dinámicas y mantener la estabilidad durante su funcionamiento.

2.2.1 Capacidad de carga

Establecer el peso máximo que la plataforma debe soportar. Inicialmente consideramos una carga aproximada de 100 kg

2.2.2 Dimensiones y peso del vehículo

Se debe definir las dimensiones y el peso total del vehículo, teniendo en cuenta los materiales reciclados utilizados en su construcción. Además, se ha asegurado que el diseño sea compatible con las ruedas disponibles de los hoverboard, garantizando una integración adecuada.

2.2.3 Resistencia y durabilidad

Se establecerán los estándares de resistencia y durabilidad que la plataforma deberá cumplir, considerando las cargas dinámicas que se simularán. En particular, se pondrá énfasis en el régimen elástico de trabajo del bastidor bajo las cargas más exigentes. Esto significa que se diseñará la plataforma de manera que pueda soportar y responder de manera elástica a las cargas aplicadas, evitando deformaciones plásticas que podrían comprometer su integridad estructural. Los materiales utilizados y el diseño del bastidor se seleccionarán cuidadosamente para garantizar que cumplan con estos requisitos de resistencia y durabilidad, proporcionando una plataforma robusta y confiable para las pruebas de carga. Además, se realizarán pruebas y análisis de resistencia para validar y verificar el cumplimiento de estos estándares.

2.3 Requerimientos eléctricos y electrónicos

En cuanto a los requerimientos eléctricos y electrónicos, se establecen las necesidades de alimentación eléctrica, la comunicación entre los componentes, las especificaciones de los sensores utilizados y los requisitos de la interfaz del controlador. Estos requerimientos son esenciales para asegurar el suministro de energía adecuado, la correcta interacción entre los elementos electrónicos y la comunicación efectiva entre los distintos componentes del sistema.

2.3.1 Alimentación eléctrica

Especificar la tensión y capacidad de la batería necesaria para alimentar tanto las placas base de los hoverboards como el ESP32 y los sensores adicionales, así como la alimentación necesaria para el transmisor.

2.3.2 Comunicación entre las placas base y el ESP32

En cuanto a la comunicación entre las placas base y el ESP32, se ha utilizado la conexión mediante los pines de transmisión (TX) y recepción (RX). Estos pines permiten la transferencia de

datos de manera bidireccional entre los componentes, facilitando la comunicación y el intercambio de información necesaria para el funcionamiento del vehículo. Además, se han establecido los protocolos adecuados para garantizar una comunicación estable y confiable entre las placas base y el ESP32. Estos protocolos aseguran la integridad de los datos transmitidos y permiten una coordinación eficiente entre los diferentes componentes del sistema. La elección de esta conexión y protocolos de comunicación ha sido determinante para lograr una comunicación fluida y efectiva, garantizando el correcto funcionamiento del vehículo en todas sus funciones y operaciones.

2.3.3 Sensores

En cuanto a los sensores utilizados en el proyecto, se han empleado los sensores infrarrojos de la serie MH-Sensor. Estos sensores cuentan con especificaciones técnicas relevantes, como su rango de detección y precisión. El rango de detección de los sensores MH-Sensor permite captar objetos dentro de una distancia hasta 6 cm, lo cual es crucial para el correcto funcionamiento del sistema de seguimiento de líneas. Por otro lado, la precisión de estos sensores garantiza una lectura confiable y precisa de las señales infrarrojas emitidas por la línea a seguir. Esto asegura una detección precisa de la trayectoria y una respuesta adecuada del vehículo. En resumen, los sensores MH-Sensor utilizados en el proyecto ofrecen un rendimiento óptimo en términos de rango de detección y precisión, lo cual es fundamental para el correcto funcionamiento del sistema de seguimiento de líneas.

2.3.4 Interfaz del controlador

Además de la pantalla, el joystick y el potenciómetro, la interfaz del controlador del vehículo también cuenta con botones adicionales que permiten activar determinadas funciones específicas. Estos botones están diseñados para proporcionar al operador un mayor control y versatilidad en el manejo del vehículo.

Por otro lado, la comunicación entre el controlador y la plataforma del vehículo se establece a través del protocolo ESP-NOW[5]. Este protocolo de comunicación inalámbrica de bajo consumo permite una conexión segura y confiable entre el controlador y la plataforma, garantizando una transmisión de datos eficiente y estable.

En resumen, la interfaz del controlador del vehículo incluye una pantalla OLED, un joystick, un potenciómetro y botones adicionales para activar funciones específicas. La comunicación entre el controlador y la plataforma se realiza mediante el protocolo ESP-NOW, asegurando una transmisión de datos confiable y eficiente.

2.4 Requerimientos de software y programación

Finalmente, los requerimientos de software y programación abarcan el lenguaje de programación utilizado, los algoritmos de control implementados, el protocolo de comunicación utilizado y la capacidad de programación autónoma del vehículo. Estos aspectos son cruciales

para el funcionamiento del vehículo, ya que determinan cómo se controlan los movimientos, cómo se procesan los datos y cómo se ejecutan las funciones autónomas.

2.4.1 Lenguaje de programación

Para la programación del ESP32 y las placas base de los hoverboards, se utilizó el lenguaje de programación C++. C++ es un lenguaje de programación ampliamente utilizado y conocido por su eficiencia, flexibilidad y capacidad de programación de bajo nivel.

La elección de C++ se basó en su capacidad para interactuar directamente con los componentes de hardware y acceder a las funcionalidades específicas necesarias para el control y la comunicación de los dispositivos. Además, C++ ofrece una amplia gama de bibliotecas y herramientas que facilitan el desarrollo de aplicaciones embebidas y sistemas de control en tiempo real.

Con el lenguaje de programación C++, se pudo aprovechar al máximo el rendimiento y la capacidad de los componentes del ESP32 y las placas base de los hoverboards, permitiendo una programación eficiente y precisa para el funcionamiento del vehículo.

2.4.2 Algoritmos de control

En el modo de seguimiento de líneas, se implementó un algoritmo de control proporcional integral derivativo (PID) para ajustar la dirección del vehículo en función de la detección de la línea en el suelo por parte de los sensores infrarrojos (IR). El algoritmo PID permitió realizar correcciones precisas en tiempo real para mantener al vehículo en la trayectoria deseada y asegurar un seguimiento suave y preciso de la línea.

En el modo teleoperado, se implementaron algoritmos de control más simples que respondían directamente a las entradas del joystick. Estos algoritmos permitieron controlar la velocidad y la dirección del vehículo de manera intuitiva y en tiempo real, brindando una experiencia de conducción cómoda y fluida para el operador.

Ambos algoritmos, el PID en el modo de seguimiento de líneas y los algoritmos de control del modo teleoperado, se implementaron en el código del ESP32 utilizando el lenguaje de programación C++. Estos algoritmos garantizaron un control efectivo y preciso del vehículo en los diferentes modos de operación, optimizando su desempeño y facilitando su manejo.

En los anejos se adjunta el código fuente utilizado para implementar los algoritmos de control, incluyendo el PID en el modo de seguimiento de líneas y los algoritmos de control del modo teleoperado. Este código fuente está escrito en lenguaje de programación C++ y proporciona una referencia completa para comprender y modificar el funcionamiento del proyecto.

2.4.3 Protocolo de comunicación

Para la transmisión de datos entre los distintos componentes del vehículo, se ha utilizado el protocolo de comunicación ESP-NOW. Este protocolo proporciona una conexión inalámbrica

fiable y de baja latencia entre el controlador ESP32 y las placas base de los hoverboards. Permite la transmisión eficiente de datos, como comandos de control, información de sensores y otros datos relevantes para el funcionamiento del vehículo. La elección de este protocolo se basó en su capacidad para garantizar una comunicación robusta y en tiempo real, lo que es fundamental para un control preciso y estable del vehículo en todas las situaciones. El protocolo ESP-NOW ha demostrado ser eficaz en entornos de radiocontrol, ofreciendo una conectividad confiable y de alto rendimiento para el proyecto.

2.4.4 Programación autónoma

Se ha incorporado la capacidad de movimiento autónomo en el vehículo, lo que permite ejecutar consignas establecidas sin la intervención directa del operador. Para lograr esto, se han implementado algoritmos y decisiones de programación específicas. En particular, se ha utilizado el algoritmo de control PID (Proporcional, Integral y Derivativo) para el modo de seguimiento de líneas, lo que permite al vehículo mantenerse en una trayectoria específica. Además, se han realizado ajustes en los parámetros del PID para optimizar el rendimiento del vehículo en diferentes condiciones de pista.

Para la programación autónoma, se han utilizado técnicas de procesamiento de señales y toma de decisiones basadas en la información proporcionada por los sensores, como los sensores de línea IR. Estos sensores detectan la posición de la línea en el suelo y permiten al vehículo ajustar su dirección para seguir la línea de manera precisa.

En resumen, mediante la implementación de algoritmos de control como el PID y técnicas de procesamiento de señales, se ha logrado que el vehículo sea capaz de realizar movimientos autónomos y ejecutar las consignas establecidas de manera precisa y eficiente.

Los requerimientos técnicos son la base fundamental para el diseño y desarrollo de la plataforma multifunción. Estos requerimientos aseguran que el vehículo cumpla con los criterios de rendimiento, funcionalidad y seguridad, y proporcionan las directrices necesarias para su implementación exitosa.

3 Prototipado preliminar

En este apartado, se describe el proceso de estudio y prototipado preliminar llevado a cabo antes de comenzar la construcción del prototipo final, mediante piezas de LEGO[6] como podemos ver en la figura 2. Se detallan las actividades realizadas y los aprendizajes obtenidos durante esta etapa inicial de exploración y prueba de conceptos. A continuación, se destacan los aspectos clave de este proceso:



Figura 2: Prototipo sigue líneas con piezas de LEGO

3.1 Creación de un prototipo sigue líneas con piezas de Lego

Se construyó un prototipo preliminar utilizando piezas de Lego para simular el movimiento y las funcionalidades básicas del vehículo. Se diseñó un cochecito con 3 ruedas, utilizando motores de corriente continua y un chasis construido con piezas de Lego. Se incorporaron sensores infrarrojos (IR) para detectar las líneas y se utilizaron drivers de motores compatibles con el sistema de Lego. Esto permitió experimentar con diferentes configuraciones, analizar el comportamiento del vehículo y evaluar la viabilidad del seguimiento de líneas en un entorno controlado.

3.2 Pruebas con diversos drivers de motores:

Se realizaron investigaciones para identificar los drivers de motores más comunes y adecuados para el proyecto. Se probaron diferentes opciones, como el L293D[7], L298N[8] y TB6612FNG[9], evaluando sus características, facilidad de uso y compatibilidad con los motores y el sistema de control. La figura 3 muestra uno de estos drivers, el L298N. Tras analizar los resultados, se decidió usar el driver L298N por su capacidad para controlar dos motores de corriente continua y su amplia disponibilidad en el mercado. Entre los aspectos evaluados, se consideraron factores como la corriente máxima, la capacidad de control de velocidad y dirección, y la facilidad de integración con el sistema general del vehículo.

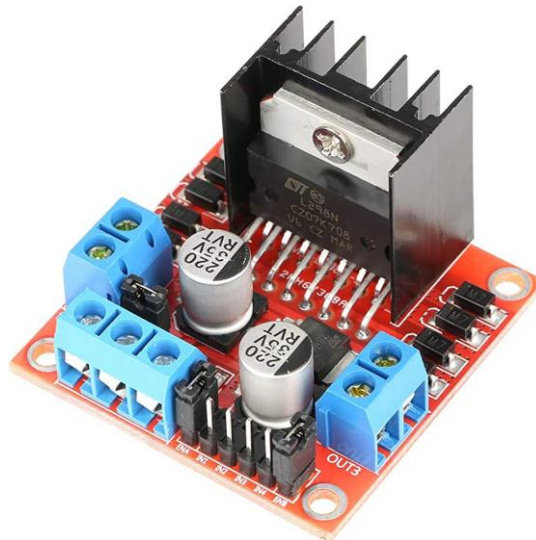


Figura 3. Driver L298N elegido para el prototipo con LEGO[10]

3.3 Evaluación de diferentes sensores IR

Se realizó una investigación exhaustiva sobre los sensores infrarrojos (IR) disponibles en el mercado para su uso en el seguimiento de líneas. Se consideraron opciones como el QTR-8RC[11] y los sensores de la serie MH. Tras evaluar sus características, se decidió usar sensores de la serie MH por su mayor precisión y capacidad de detección de líneas en varias superficies. Además, se tuvo en cuenta que el QTR-8RC, el cual podemos ver en la figura 4, requería estar muy cerca del suelo para obtener una detección óptima, lo cual no era práctico para el diseño del vehículo. Los sensores MH, figura 5, se adaptaron mejor a las necesidades del proyecto, proporcionando resultados confiables incluso a alturas de montaje más convencionales.



Figura 4. Sensores QTR-8RC utilizados en el primer intento del prototipo LEGO[12]



Figura 5. Sensores IR MH-Sensor Series, utilizados en el prototipo LEGO y prototipo final[13]

3.4 Estudio del PID para seguimiento de líneas:

Se dedicó tiempo al estudio y comprensión del controlador PID (Proporcional, Integral, Derivativo) en el contexto del seguimiento de líneas. Podemos observar un diagrama de la lógica PID en la figura 6. Se investigaron los conceptos y las fórmulas matemáticas detrás del control PID, así como su aplicación en el seguimiento de líneas. Se ajustaron las variables del controlador PID, como el coeficiente proporcional (K_p), el coeficiente integral (K_i) y el coeficiente derivativo (K_d), para obtener un seguimiento preciso y suave de las líneas. Mediante experimentación y análisis, se logró ajustar adecuadamente los parámetros del control PID para optimizar el rendimiento del vehículo en el seguimiento de líneas. Podemos ver un ejemplo de cómo afecta el control PID en la figura 7.

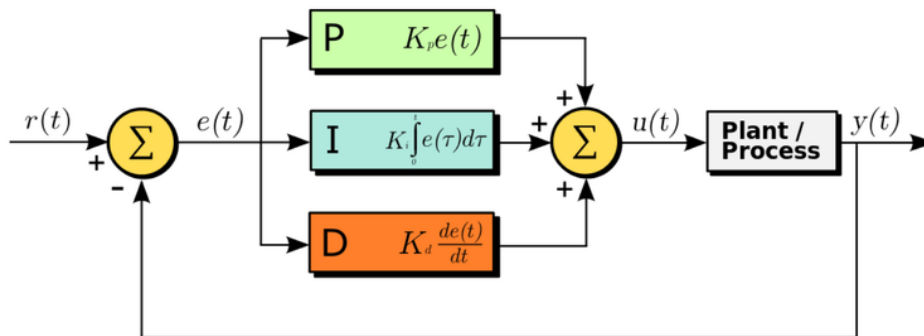


Figura 6. Lógica PID (Proportional, Integral, Derivative) estudiada y empleada en el prototipo[14]

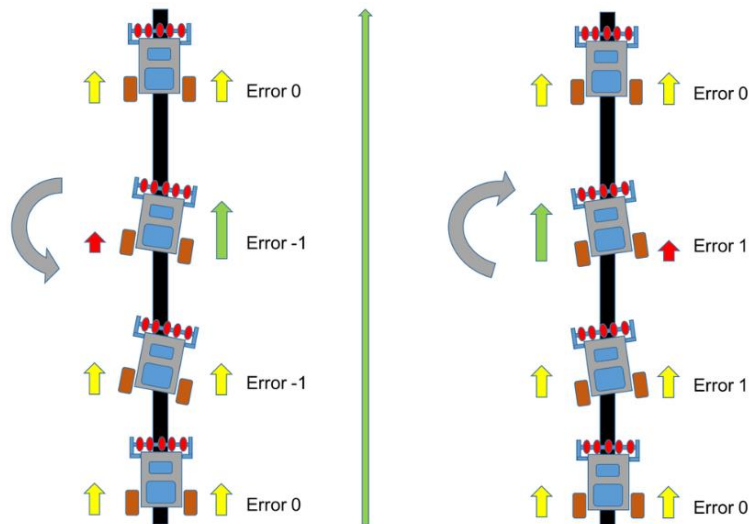


Figura 7. Representación de la lógica PID empleada en el prototipo.[15]

Con este estudio y prototipado preliminar, se adquirieron conocimientos valiosos sobre las opciones y tecnologías involucradas en el diseño del prototipo final. Estas pruebas y experimentos iniciales permitieron tomar decisiones fundamentadas y diseñar el prototipo final eficazmente. El aprendizaje sobre el control PID para el seguimiento de líneas fue especialmente relevante, ya que proporcionó una base sólida para el desarrollo posterior del sistema de seguimiento de líneas del vehículo.

El estudio y prototipado preliminar demostró ser una etapa esencial para comprender los desafíos y las posibilidades del proyecto, y sentó las bases para el éxito del prototipo final de la plataforma móvil. Los aprendizajes obtenidos durante esta etapa proporcionaron una base sólida para tomar decisiones informadas y optimizar el diseño y la funcionalidad del vehículo.

Podemos apreciar el resultado de esta fase preliminar en la figura 8.

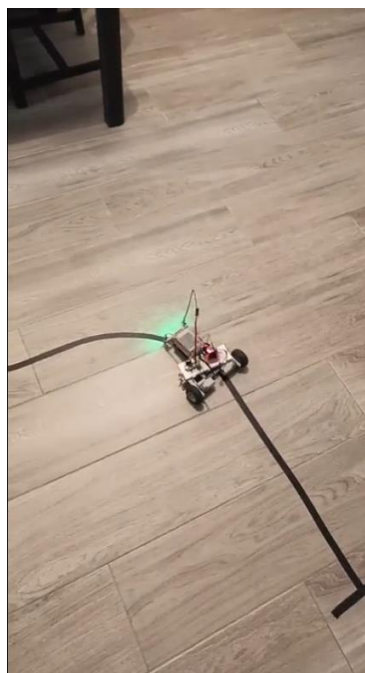


Figura 8. Prototipo de LEGO siguiendo la línea negra sobre superficie gris.

4 Alternativas de diseño

4.1 Evaluación de opciones de tracción

Se consideraron diferentes opciones para la configuración de tracción del vehículo. Una de las alternativas evaluadas fue la configuración con 2 ruedas motrices y 2 ruedas locas, otra con las 4 ruedas motrices, y por último, 2 ruedas motrices pudiendo serlo las 4.

4.1.1 Configuración con 2 ruedas motrices y 2 ruedas locas



Figura 9. Rueda "loca"[16]

Esta alternativa representada en la figura 9 implica utilizar dos ruedas motrices y dos ruedas locas. Las ruedas motrices son responsables de proporcionar el impulso y el control de dirección, mientras que las ruedas locas permiten la estabilidad y la capacidad de giro del vehículo.

- Pros:
 - Mayor simplicidad en el diseño y construcción.
 - Menor consumo de energía debido al menor número de motores utilizados.
 - Mayor agilidad y capacidad de giro en espacios reducidos debido a las ruedas locas.
- Contras:
 - Posible pérdida de tracción en superficies resbaladizas o irregulares debido a la falta de tracción en las ruedas locas.
 - Menor capacidad de tracción y superación de obstáculos en comparación con la configuración de 4 ruedas motrices.
 - Limitaciones en terrenos accidentados donde las ruedas locas pueden tener dificultades para mantener la estabilidad.

4.1.2 Configuración con 4 ruedas motrices



Figura 10. Rueda con motor brushless integrado [17]

Esta alternativa involucra el uso de 4 ruedas motrices, similares a la que podemos ver en la figura 10, donde cada rueda tiene su propio motor. Esto proporciona una tracción uniforme en todas las ruedas y mayor capacidad de tracción y control del vehículo.

- Pros:
 - Mayor tracción y capacidad de superar obstáculos en comparación con la configuración de 2 ruedas motrices y 2 ruedas locas.
 - Mayor estabilidad y control del vehículo en terrenos irregulares.
 - Posibilidad de ajustar el torque y velocidad de cada rueda individualmente para mejorar el rendimiento y la maniobrabilidad.
- Contras:
 - Mayor complejidad en el diseño y construcción debido al mayor número de motores y componentes involucrados.
 - Mayor consumo de energía por el uso de motores adicionales.
 - Posible aumento en el costo del proyecto debido a la necesidad de más motores y controladores.

4.1.3 Configuración con 4 ruedas motrices aplicando motricidad solo a 2 de ellas

Esta alternativa implica utilizar 4 ruedas motrices, pero aplicar motricidad solo a 2 de ellas. Esto significa que solo 2 de las ruedas estarán impulsadas por motores, mientras que las otras 2 ruedas serán ruedas libres que permiten la estabilidad y la capacidad de giro del vehículo.

- Solo se descartó esta opción de usar 4 ruedas motrices aplicando motricidad a 2 de ellas por una limitación en cuanto a la amortiguación de la plataforma. Se

identificó que, si una de las 4 ruedas quedaba en el aire y, coincidentemente, era una de las ruedas motrices, se generaba una pérdida de control sobre la plataforma móvil. Esta situación comprometía la estabilidad y el desempeño general del vehículo, por lo que se decidió descartar esta configuración en favor de opciones que ofrecieran una mayor estabilidad y control en diversas condiciones de terreno.

Tras evaluar cuidadosamente las alternativas mencionadas, se ha tomado la decisión de implementar la configuración con 4 ruedas motrices en el diseño del vehículo. Esta elección se basa en los siguientes factores:

- Tracción y capacidad de superación de obstáculos: La configuración de 4 ruedas motrices proporciona una mayor tracción y capacidad para superar obstáculos en comparación con la configuración de 2 ruedas motrices y 2 ruedas locas. Esto es especialmente relevante considerando la capacidad de carga notable del vehículo y su función de portar un Shaker aps113[18] para la simulación de cargas dinámicas en estructuras.
- Estabilidad y control: La configuración de 4 ruedas motrices brinda una mayor estabilidad y control del vehículo, especialmente en terrenos irregulares. Las 4 ruedas impulsadas permiten distribuir de manera más uniforme la tracción y el esfuerzo entre las ruedas, lo que contribuye a un mejor control y maniobrabilidad en diferentes condiciones de terreno.
- Ajuste y rendimiento personalizado: La configuración de 4 ruedas motrices permite ajustar el torque y la velocidad de cada rueda de forma individual. Esto permite adaptar el rendimiento del vehículo a las necesidades específicas de carga, terreno y maniobrabilidad, mejorando aún más su eficiencia y capacidad de respuesta.

Aunque esta opción tiene mayor complejidad en el diseño y construcción y un mayor consumo de energía por el uso de motores adicionales, los beneficios en cuanto a tracción, estabilidad y control son fundamentales para cumplir con los requerimientos del proyecto. La elección de la configuración de 4 ruedas motrices garantizará un desempeño óptimo del vehículo en la simulación de cargas dinámicas y en su capacidad de movimiento en distintos entornos.

4.2 Componentes comerciales

Se exploran opciones de adquisición de componentes comerciales en lugar de utilizar los componentes reciclados del hoverboard. A continuación, se presentan las alternativas consideradas, así como un boceto propuesto, como se muestra en la figura 11.

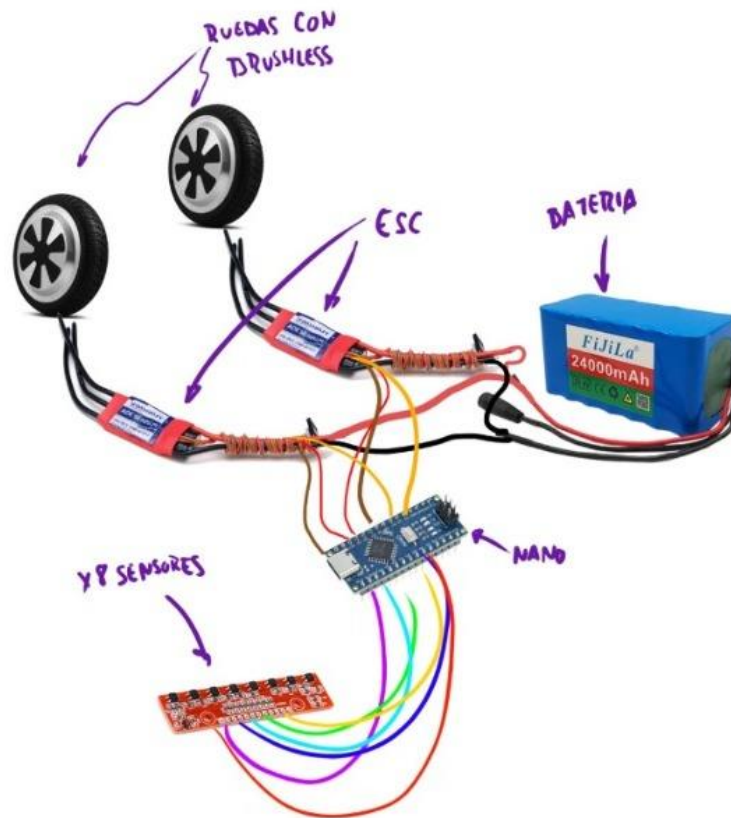


Figura 11. Boceto electrónico propuesto para la realización del prototipo final con elementos comprados

- Controladores de motor comerciales: En lugar de utilizar las placas base de los hoverboards, se evaluaron controladores de motor comerciales disponibles en el mercado. Estos controladores ofrecen características específicas para el control y la potencia de los motores, proporcionando una solución robusta y confiable. Al utilizar controladores comerciales, se puede aprovechar su facilidad de integración y disponibilidad de soporte técnico.
- Microcontroladores alternativos: En lugar del ESP32 utilizado en el proyecto, se consideraron otros microcontroladores comerciales que también ofrecen capacidades de comunicación y conectividad. Algunas alternativas populares incluyen Arduino, Raspberry Pi[19] y STM32[20]. Estos microcontroladores proporcionan una amplia gama de funciones y pueden adaptarse a los requisitos específicos del proyecto.
- Sensores y actuadores comerciales: Además de los sensores IR utilizados, se exploraron alternativas comerciales para otros tipos de sensores y actuadores necesarios para el proyecto. Por ejemplo, se pueden considerar sensores de ultrasonido, sensores de proximidad o actuadores lineales disponibles en el mercado, que ofrecen características y precisión específicas para satisfacer las necesidades del proyecto.

Pros y contras de utilizar componentes comerciales:

- Pros:
 - Mayor disponibilidad y variedad de opciones en el mercado.
 - Facilidad de integración y compatibilidad con otros sistemas.
 - Soporte técnico y documentación accesible.

- Posibilidad de aprovechar características específicas y mejoras tecnológicas de los componentes comerciales.
- Contras:
 - Costo adicional debido a la adquisición de componentes comerciales.
 - Posible necesidad de ajustes o adaptaciones en el diseño para la integración de componentes comerciales.
 - Menor grado de personalización en comparación con la reutilización de componentes reciclados.

En última instancia, la elección entre utilizar componentes reciclados o componentes comerciales dependerá de los recursos disponibles, los requerimientos específicos del proyecto y las limitaciones de tiempo y presupuesto. Se recomienda evaluar cuidadosamente las ventajas y desventajas de cada opción para tomar la decisión más adecuada en función de las necesidades del proyecto.

4.3 Componentes reciclados

Se detallan los componentes obtenidos de los hoverboards y las baterías recicladas utilizadas en el proyecto. A continuación, se presenta la descripción de dichos componentes:

- Placas base de los hoverboards:
 - Descripción: Se han utilizado las placas base, extraídas de los hoverboards como parte central del sistema de control del vehículo. Estas placas base, una vez hackeadas y flasheadas, permiten controlar los motores originales de los hoverboards y establecer la comunicación con otros componentes.
 - Funcionalidad: Las placas base controlan los motores de tracción y dirección del vehículo, y a su vez, se comunican con el microcontrolador ESP32 a través de la conexión TX/RX. Esta comunicación permite la transmisión de instrucciones y datos entre los diferentes componentes del sistema.
- Baterías recicladas de los hoverboards:
 - Descripción: Se han aprovechado las baterías recicladas de los hoverboards como fuente de alimentación para el sistema. Estas baterías, una vez extraídas y evaluadas en términos de capacidad y estado, se han integrado en el diseño del vehículo para proporcionar la energía necesaria para su funcionamiento.
 - Funcionalidad: Las baterías recicladas suministran la energía eléctrica requerida por los componentes electrónicos y los motores del vehículo. Al utilizar baterías recicladas, se promueve el aprovechamiento de recursos y la sostenibilidad medioambiental del proyecto.

Al utilizar los componentes reciclados de los hoverboards, se logra aprovechar su funcionalidad original y reducir el desperdicio de materiales. Estos componentes reciclados son una alternativa viable y sostenible en la construcción del vehículo, permitiendo maximizar el uso de recursos disponibles y reducir el impacto ambiental asociado con la producción de nuevos componentes.

Es importante mencionar que se han realizado pruebas y evaluaciones exhaustivas para garantizar el correcto funcionamiento y la seguridad de los componentes reciclados antes de su integración en el proyecto. Esto asegura que los componentes reciclados cumplan con los requerimientos de rendimiento y confiabilidad necesarios para el funcionamiento del vehículo.

4.4 Baterías de Li-Ion

En el desarrollo del vehículo, se ha prestado especial atención a la utilización de componentes reciclados, entre los cuales se incluyen las baterías de Li-Ion. Estas baterías provenientes de dispositivos electrónicos en desuso han sido evaluadas y seleccionadas cuidadosamente para garantizar su idoneidad y rendimiento en el proyecto.

Las baterías de Li-Ion son ampliamente utilizadas en diversos dispositivos electrónicos debido a su alta densidad de energía, larga vida útil y capacidad de carga rápida. Al aprovechar estas baterías recicladas, se contribuye a la sostenibilidad medioambiental al evitar la generación de residuos adicionales.

4.4.1 Prestaciones

Las baterías de Li-Ion seleccionadas para el proyecto se han evaluado en términos de su capacidad, voltaje nominal y corriente de descarga. Estas prestaciones son de vital importancia para garantizar un suministro de energía adecuado y estable durante el funcionamiento del vehículo.

Además, se ha llevado a cabo un proceso de prueba y verificación para asegurar la integridad y seguridad de las baterías. Esto incluye comprobar su capacidad de carga, rendimiento en distintos escenarios de uso y su respuesta ante situaciones de sobrecarga o descarga excesiva.

La elección y evaluación de las baterías de Li-Ion ha sido fundamental para asegurar un rendimiento óptimo y seguro del vehículo, permitiendo un funcionamiento prolongado y eficiente en diversas aplicaciones.

4.4.2 Contratiempo

Lamentablemente, durante el desarrollo del proyecto, se experimentó un problema inesperado relacionado con una de las baterías de Li-Ion utilizadas en el vehículo. A pesar de las comprobaciones previas, se descubrió que el origen del problema fue una dendrita o deformación en la estructura de la batería, lo que provocó un cortocircuito y la explosión del prototipo, como se muestra en la figura 11, así como el destrozo provocado por dicha explosión en la figura 12.



Figura 12. Prototipo final explotando debido a un fallo en una de las baterías.

Pese a los esfuerzos por garantizar la seguridad y el correcto funcionamiento de las baterías, este incidente infortunado resalta la importancia de realizar pruebas y evaluaciones rigurosas en todos los componentes, especialmente aquellos de alto voltaje y energía. En las verificaciones previas no se detectó una deformación interna en la batería y generó un riesgo significativo, también mostrado en la figura 13.

Este contratiempo resultó en la necesidad de reconstruir el prototipo desde cero. Se tomaron medidas adicionales para reevaluar y mejorar el proceso de selección y verificación de las baterías, implementando un protocolo más estricto de inspección visual y pruebas de integridad estructural. Además, se reforzaron las precauciones de seguridad y se implementaron medidas adicionales para prevenir cortocircuitos y mitigar cualquier riesgo asociado.



Figura 13. Prototipo final tras el incidente por la explosión de una de las baterías.

Es importante destacar que la seguridad es una prioridad absoluta en cualquier proyecto y, ante cualquier incidente, se deben tomar las medidas necesarias para identificar y corregir las fallas. A pesar de este contratiempo, se ha aprendido de la experiencia y se ha redoblado el compromiso de garantizar la seguridad en el desarrollo del prototipo del vehículo.

4.4.3 Estudio y análisis del problema

Una batería de ion de litio (Li-Ion) es recargable que usa iones de litio para almacenar y liberar energía. El funcionamiento de una batería de Li-Ion se basa en la transferencia de iones de litio entre un ánodo y un cátodo a través de un electrolito. Cuando la batería está descargada, los iones de litio se encuentran en el ánodo. Durante la carga, los iones de litio se desplazan hacia el cátodo a través del electrolito, y durante la descarga, los iones de litio regresan al ánodo, liberando energía eléctrica.

Una dendrita es una estructura de crecimiento anormal que puede formarse en las baterías de Li-Ion. Se trata de una fina y ramificada proyección metálica que se desarrolla en el ánodo y puede atravesar el separador hacia el cátodo, provocando un cortocircuito. Las dendritas se forman debido a una serie de factores, incluyendo la deposición desigual de iones de litio durante la carga y descarga de la batería, podemos ver un esquema de lo descrito en la figura 14, y una fotografía ampliada en la figura 15.

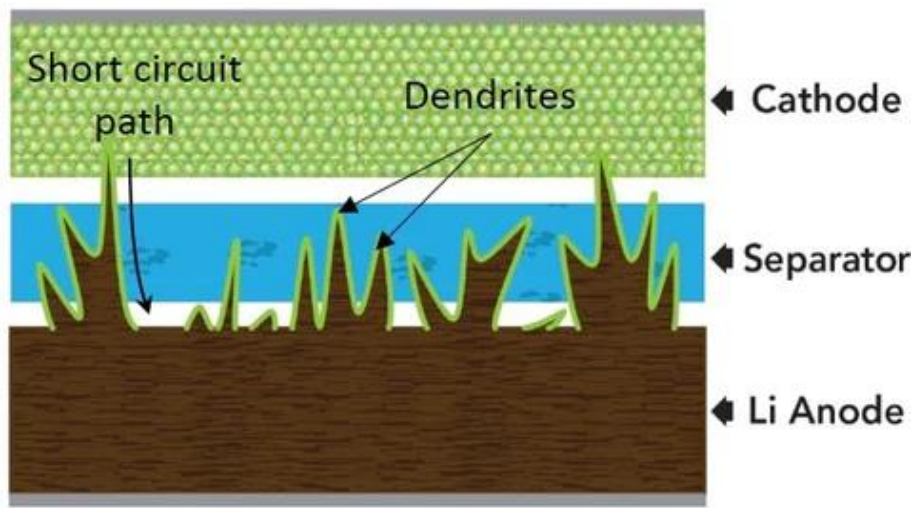


Figura 14. Representación gráfica del interior de una batería de Li-ION donde se puede apreciar la formación de Dendritas.[21]

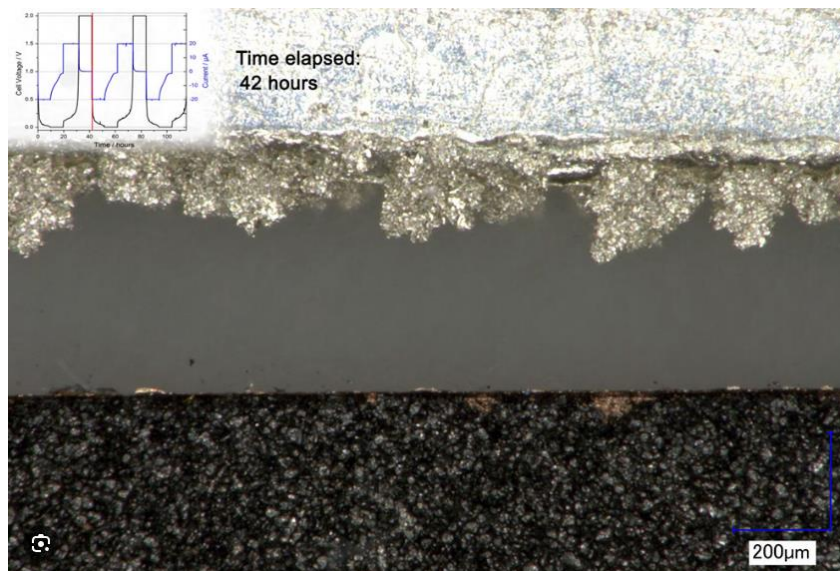


Figura 15. Imagen ampliada donde se puede apreciar la formación de dendritas dentro de una batería de Li-ION [22]

El proceso de formación de dendritas puede ser causado por varias razones, como la desigualdad en la distribución de iones de litio, la presencia de impurezas o defectos en el ánodo, y condiciones de carga o descarga inapropiadas. A medida que se acumulan los iones de litio en el ánodo, pueden crearse ramificaciones metálicas que se extienden hacia el cátodo. Si estas dendritas alcanzan el cátodo, se produce un cortocircuito interno en la batería, lo que puede llevar a un aumento de la temperatura y, en casos extremos, a una reacción química violenta o una explosión.

La formación de dendritas en las baterías de Li-Ion es un desafío técnico importante, y se están llevando a cabo investigaciones y desarrollos para mitigar este problema. Se están explorando diferentes enfoques, como el uso de recubrimientos protectores en el ánodo, la mejora de la uniformidad de la distribución de iones de litio y el desarrollo de algoritmos de

carga y descarga más precisos. Estas soluciones buscan prevenir la formación de dendritas y garantizar un funcionamiento seguro y confiable de las baterías de Li-Ion.

En mi proyecto, la formación de una dendrita en la batería de Li-Ion puede ser resultado de una combinación de factores, incluyendo impurezas o defectos en la batería y condiciones de carga o descarga inapropiadas. Este incidente resalta la importancia de una selección cuidadosa de las baterías, así como la implementación de medidas de seguridad adicionales para prevenir cortocircuitos y asegurar un funcionamiento confiable.

5 Prototipado del vehículo

En este apartado, se aborda el proceso de prototipado del vehículo. El prototipado es una etapa esencial en el desarrollo del proyecto, ya que permite materializar las ideas y conceptos teóricos en un modelo físico funcional, parte del proceso está reflejado en la figura 16. Durante esta fase, se realizan pruebas, ajustes y refinamientos para garantizar el cumplimiento de los requerimientos técnicos y la viabilidad del diseño.

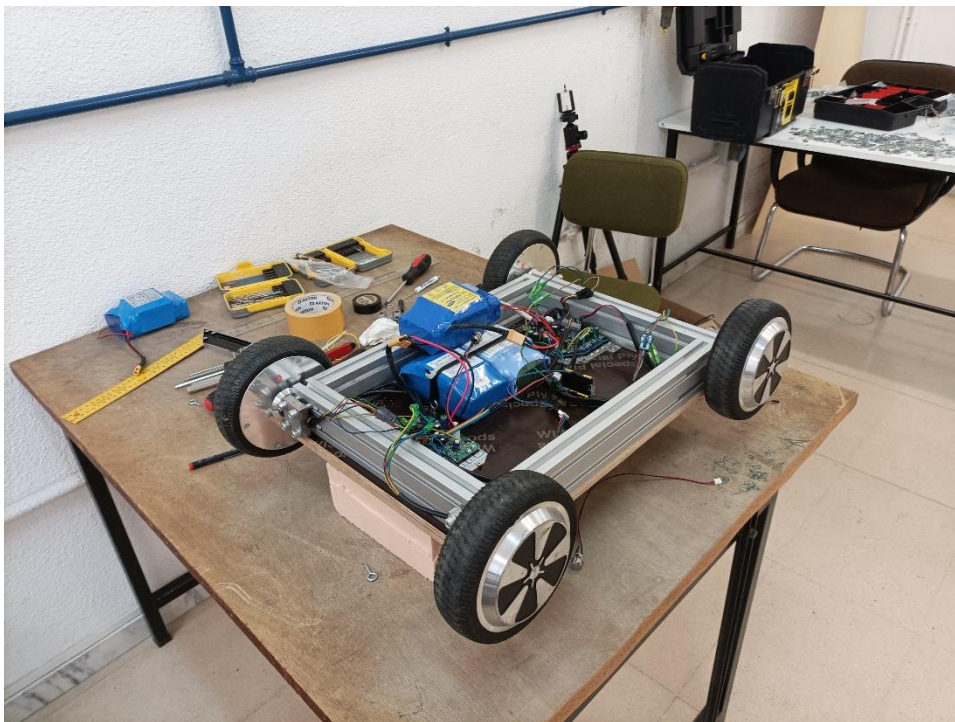


Figura 16. Construcción del primer prototipo final.

El objetivo del prototipado es validar y optimizar las soluciones propuestas, tanto a nivel mecánico como electrónico y de software. Se busca obtener un prototipo que se acerque lo más posible a la versión final del vehículo, permitiendo evaluar su rendimiento, detectar posibles mejoras y realizar ajustes necesarios antes de su implementación definitiva.

El proceso de prototipado implica la fabricación y ensamblaje de los componentes mecánicos, la integración de los elementos electrónicos y la programación de los sistemas de control. A través de pruebas rigurosas y mediciones, se evalúa el funcionamiento del prototipo en diferentes escenarios y se recopilan datos para su posterior análisis.

Durante esta fase, también se exploran alternativas y se toman decisiones fundamentales que impactarán en el diseño final del vehículo. El prototipado permite realizar ajustes y mejoras iterativas, lo que contribuye a la evolución y perfeccionamiento del proyecto en su conjunto.

En resumen, el apartado de prototipado es una etapa crucial en el desarrollo del vehículo. A través del diseño y fabricación de un prototipo funcional, se busca validar y optimizar las soluciones propuestas, evaluando su rendimiento y ajustando los aspectos necesarios antes de avanzar hacia la fase de implementación definitiva.

5.1 Parte mecánica

En este apartado, se aborda la parte mecánica del proyecto, que juega un papel fundamental en el diseño y funcionamiento del vehículo. Se describen los componentes mecánicos utilizados, como las ruedas, chasis, sistema de suspensión y otros elementos relevantes. Además, se exploran las consideraciones de diseño y las decisiones tomadas para asegurar la resistencia, durabilidad y eficiencia del sistema. La parte mecánica del proyecto es clave para garantizar un desempeño óptimo y seguro del vehículo. A continuación, se detallan los aspectos más relevantes relacionados con el diseño y la implementación de la parte mecánica del proyecto.

5.1.1 Bastidor estructural:

El bastidor estructural del vehículo se construyó con una combinación de perfiles de aluminio y tablero de carroceros como vemos en la figura 17. Esta elección se basó en diferentes consideraciones relacionadas con la funcionalidad y resistencia del bastidor.



Figura 17. Primer prototipo final, en esta fase el control direccional funcionaba, la función de seguimiento de líneas estaba en proceso.

Se puede apreciar las uniones de los perfiles "FASTEN", la disposición de la electrónica en su interior y la unión con las ruedas motorizadas con sus piezas de la estructura del hoverboard, en la figura 18

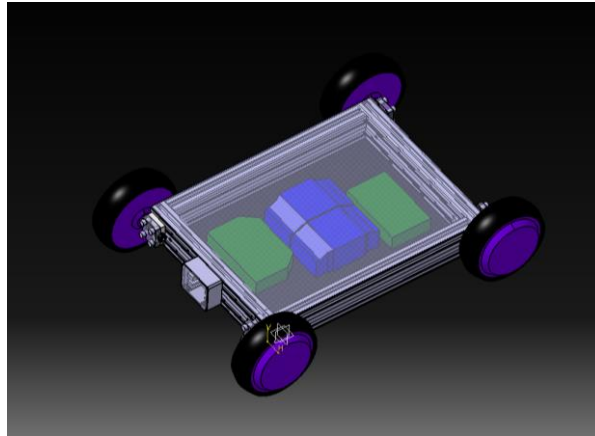


Figura 18. Representación en CATIA V5 del prototipo final.

La elección de los perfiles de aluminio se hizo teniendo en cuenta la facilidad comercial para encontrar opciones que se adaptaran a la geometría de sujeción de los motores de los hoverboards utilizados. Los perfiles de aluminio ofrecen una excelente relación entre resistencia y peso, lo que es crucial para garantizar la estabilidad y la durabilidad del vehículo. Además, permiten un ensamblaje preciso y seguro de los componentes, facilitando la construcción del bastidor.

Por otro lado, se optó por utilizar tablero de carrocería para proporcionar rigidez y resistencia ante golpes además de la posibilidad que ofrecen de anclar sobre ellos diversos componentes. El tablero de carrocería es conocido por ser un material duradero y resistente, capaz de soportar cargas significativas. Esto resulta especialmente importante en el caso del vehículo, ya que se espera que pueda transportar una carga notable. El tablero de carrocería proporciona la estabilidad necesaria para mantener la integridad estructural del vehículo durante su funcionamiento. En la elección de los perfiles de aluminio para el bastidor estructural, se consideraron diferentes opciones, entre ellas los perfiles de 60x60 (figura 19) y 60x30 (figura 20). Ambos perfiles ofrecían características favorables en términos de resistencia y versatilidad para la construcción del bastidor.

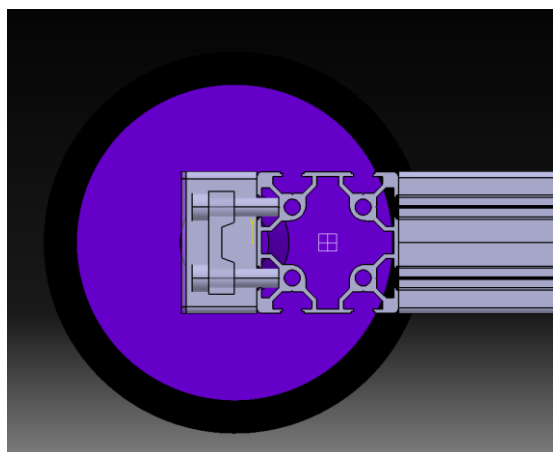


Figura 19. Representación del perfil "FASTEN" de 60x60mm.

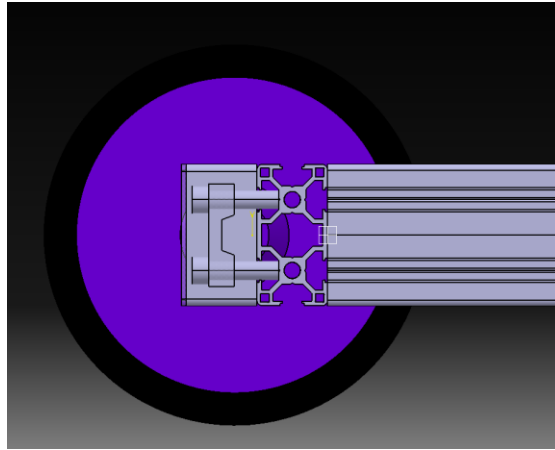


Figura 20. Representación del perfil "FASTEN" de 60x30mm.

Después de analizar las necesidades específicas del proyecto, se tomó la decisión de utilizar el perfil de 60x30 para el bastidor. Esta elección se basó en varios factores, incluyendo la geometría de sujeción de los motores de los hoverboards y las dimensiones generales del vehículo.

El perfil de 60x30 proporciona una buena combinación de rigidez y peso, lo que es fundamental para mantener la estabilidad y maniobrabilidad del vehículo. Además, este perfil permite una mayor flexibilidad en el diseño y montaje del bastidor, permitiendo ajustes y modificaciones según sea necesario.

En resumen, la elección del perfil de aluminio de 60x30 para el bastidor estructural del vehículo se basó en su capacidad para cumplir con los requisitos de resistencia, estabilidad y flexibilidad del diseño. Esta opción proporciona una solución eficiente y sólida para la construcción del bastidor de la plataforma multifunción.

Además de la evaluación de las opciones de perfiles de aluminio, se creó una maqueta en CAD para asegurar que la elección del perfil de 60x30 era correcta y cumplía con todos los requisitos del diseño. Esta maqueta permitió simular y controlar todas las medidas del bastidor estructural antes de proceder con la construcción física del prototipo.

La maqueta en CAD mostrada en la figura 21, proporcionó una representación virtual del diseño del bastidor, lo que permitió realizar pruebas de ajuste y verificar la compatibilidad con los demás componentes del vehículo. Además, gracias a la precisión del modelado en CAD, se pudo evaluar la resistencia estructural y realizar modificaciones según fuera necesario.

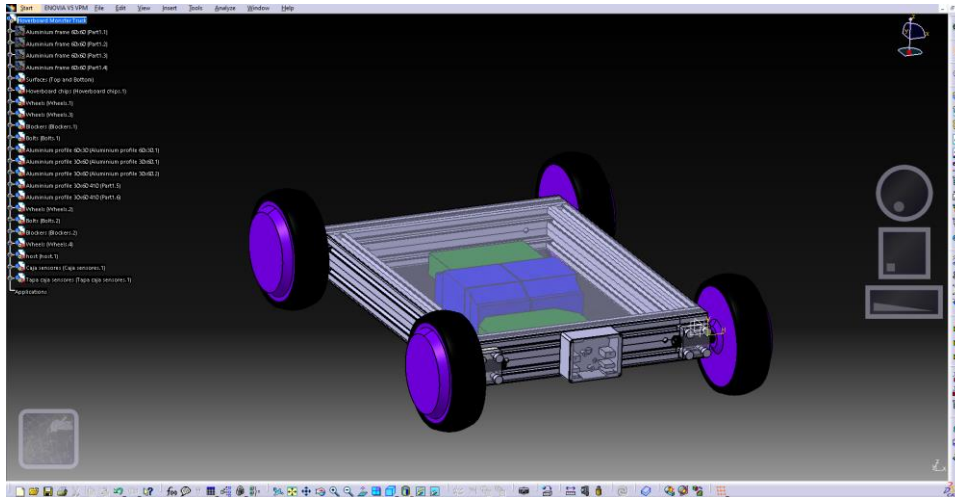


Figura 21. Representación en CATIA V5 del prototipo final.

Esta etapa de modelado en CAD fue fundamental para garantizar la exactitud de las dimensiones y la correcta integración de los perfiles de aluminio en el bastidor. Permitted visualizar el diseño en un entorno digital y realizar modificaciones con facilidad para lograr la configuración óptima.

En resumen, se utilizó una maqueta en CAD como herramienta de verificación y control para asegurar que la elección del perfil de aluminio de 60x30 era adecuada y cumplía con todas las especificaciones requeridas. Esta etapa de modelado en CAD garantizó una construcción precisa y una sólida base para el prototipo del vehículo.

5.1.2 Listado de componentes procedentes del hoverboard

En el prototipo del vehículo se utilizaron diversos componentes obtenidos de los hoverboards reciclados. Estos componentes incluyen:

- Placas base: Se extrajeron las placas base de los hoverboards, mostradas en la figura 22, las cuales fueron hackeadas a posteriori para eliminar las protecciones de fábrica y flasheadas para permitir un funcionamiento personalizado. Estas placas base controlan los motores originales de los hoverboards y se comunican con otros elementos electrónicos. Señalar que cada placa base requiere de un hackeo ligeramente diferente.

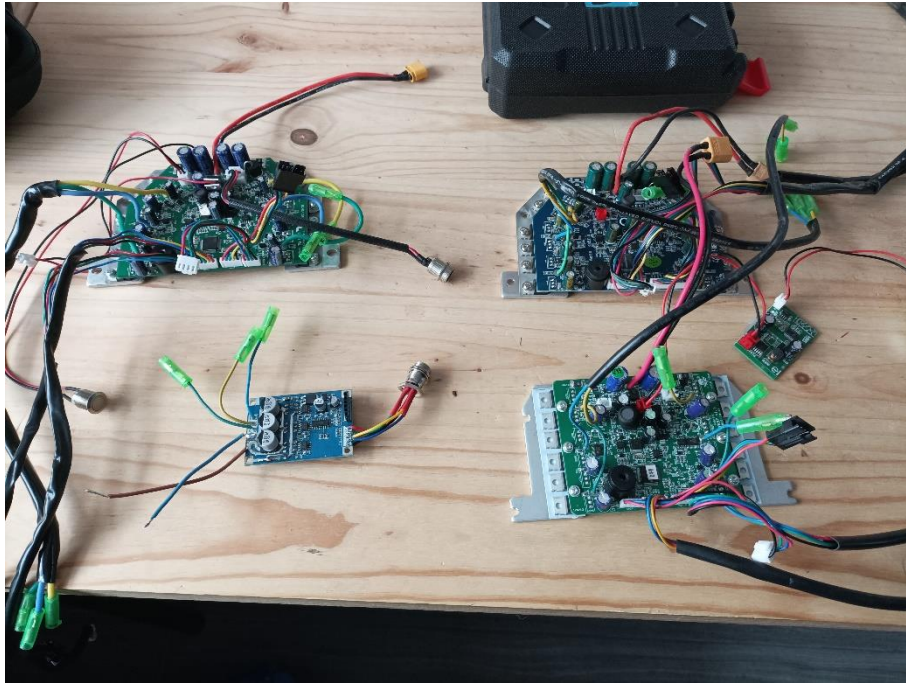


Figura 22. Placas madre o "mother boards" extraídas de los hoverboard.

- Motores originales: Los motores originales de los hoverboards, figura 23, fueron reutilizados en el prototipo del vehículo. Estos motores proporcionan la potencia y el movimiento necesario para impulsar las ruedas y permitir la movilidad del vehículo.



Figura 23. Ruedas con motor extraídas de los HoverBoards.

- Baterías de Li-Ion: Se utilizaron las baterías de litio-ion extraídas de los hoverboards para proporcionar la alimentación eléctrica necesaria al sistema. Estas baterías recicladas, figura 24, ofrecen una fuente de energía portátil y recargable para el funcionamiento del vehículo.



Figura 24. Baterías extraídas de los Hoverboard, así como los "host" metálicos para los bujes de los motores.

- Placas de control y sensores: Además de las placas base hackeadas, se emplearon otros componentes electrónicos, como el ESP32, para la comunicación y el control del vehículo. También se incorporaron sensores IR para el seguimiento de líneas y otros sensores necesarios para obtener información del entorno.

Cada uno de estos componentes obtenidos de los hoverboards reciclados fue seleccionado y adaptado para su integración en el prototipo del vehículo. Se tuvieron en cuenta las especificaciones técnicas y la compatibilidad con el sistema general del vehículo, asegurando así un funcionamiento adecuado y eficiente.

Es importante destacar que el uso de componentes reciclados no solo contribuye a la sostenibilidad y al cuidado del medio ambiente, sino que también ofrece una alternativa económica para el desarrollo del prototipo. El aprovechamiento de los componentes de los hoverboards reciclados permite reducir los costos y utilizar recursos existentes de manera eficiente.

5.1.3 Secuencia de montaje

Se describe el orden y la secuencia en la que se ensamblaron los componentes mecánicos, desde la estructura del bastidor hasta la integración de las ruedas, ejes y otros elementos necesarios para completar la parte mecánica del prototipo. La figura 25 describe parte del proceso.



Figura 25. Montaje del primer prototipo final.

El montaje de los componentes mecánicos se realizó siguiendo una secuencia ordenada que permitió la construcción adecuada del prototipo del vehículo. A continuación, se detalla la secuencia de montaje:

- Corte de perfiles de aluminio: En primer lugar, se cortaron los perfiles de aluminio según las dimensiones requeridas para la estructura del bastidor. Se utilizó una sierra o herramienta similar para obtener los segmentos de perfil necesarios.
- Roscado de una parte interior: Se realizó un roscado en una parte interior de los perfiles de aluminio. Este roscado permitió la fijación y sujeción adecuada de los elementos del bastidor, proporcionando estabilidad y resistencia.
- Montaje del marco: Luego, se procedió a ensamblar los perfiles de aluminio para formar el marco del vehículo. Se unieron los perfiles en ángulos adecuados y se utilizaron elementos de sujeción, como tornillos y tuercas, para garantizar una unión segura y estable.
- Colocación del primer tablero: A continuación, se colocó uno de los dos tableros que cerrarían el "sándwich" del bastidor. Este tablero se fijó al marco mediante la utilización de cuatro tornillos con tuercas en T. Se realizaron taladros previos en el tablero y se alinearon con los agujeros correspondientes en los perfiles de aluminio.
- Realización de agujeros para el paso de cables: Posteriormente, se realizaron agujeros en los perfiles de aluminio para permitir el paso de cables necesarios para la conexión de los componentes electrónicos y la alimentación eléctrica. Estos agujeros se ubicaron estratégicamente en puntos clave del bastidor para facilitar la organización y el enrutamiento de los cables.

Esta secuencia de montaje garantizó la correcta construcción de la parte mecánica del prototipo del vehículo. Siguiendo estos pasos, se logró una estructura sólida y estable que brindó el soporte necesario para la integración de los demás componentes del vehículo.

A continuación se describe el ensamblaje de la plataforma multifunción mediante imágenes de la maqueta en Catia.

- Inicialmente posicionamos dos de los cuatro perfiles "fasten" a 90 grados. Para la unión se introduce un perno, así pues, uno de los perfiles tendrá previamente una rosca mecanizada previamente, y el otro perfil un taladro que permita el paso del vástago del perno, pero no la cabeza. Podemos ver la disposición de los perfiles en la figura 26.

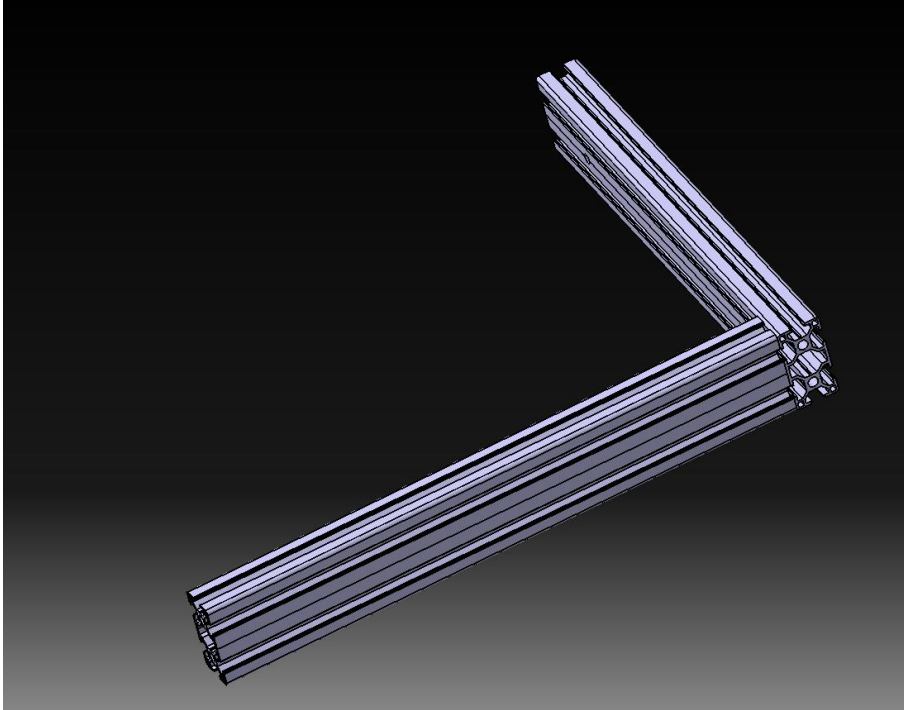


Figura 26. Ensamblaje entre 2 perfiles "Fasten" mediante unión roscada con perno.

- Realizamos el proceso anterior con los dos perfiles restantes y repitiendo el proceso mediante la unión roscada y los pernos, montamos un marco como vemos en la figura 27. Una vez montado dicho marco, podemos realizar los agujeros por los que posteriormente pasaremos cables.

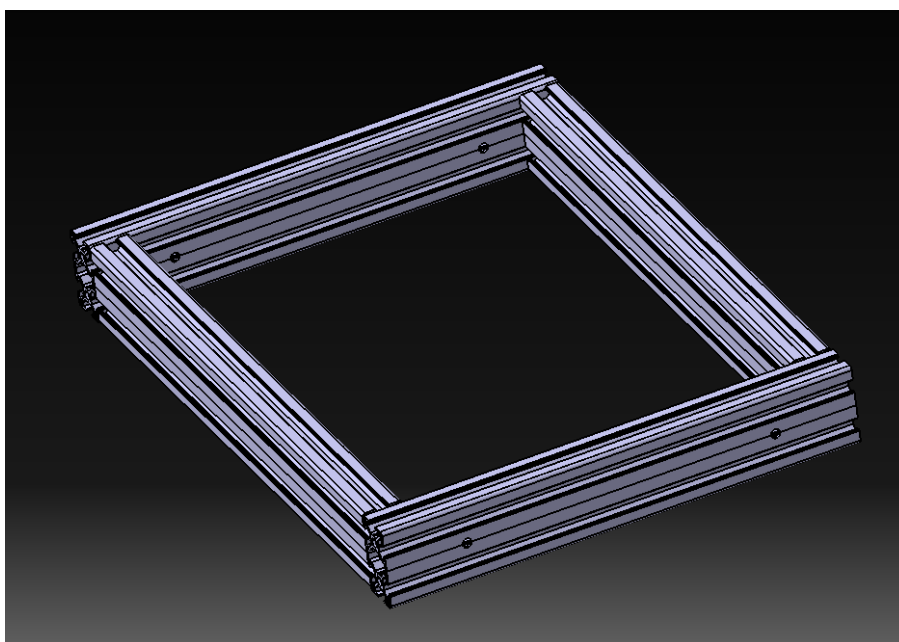


Figura 27. Ensamblaje final de los perfiles "Fasten" formando un marco.

- Una vez realizados los taladros oportunos, se hacen los agujeros con avellanado en el tablero de carrocería para, con pernos y tuercas en T, unir dicho tablero con el marco de aluminio como se aprecia en la figura 28.

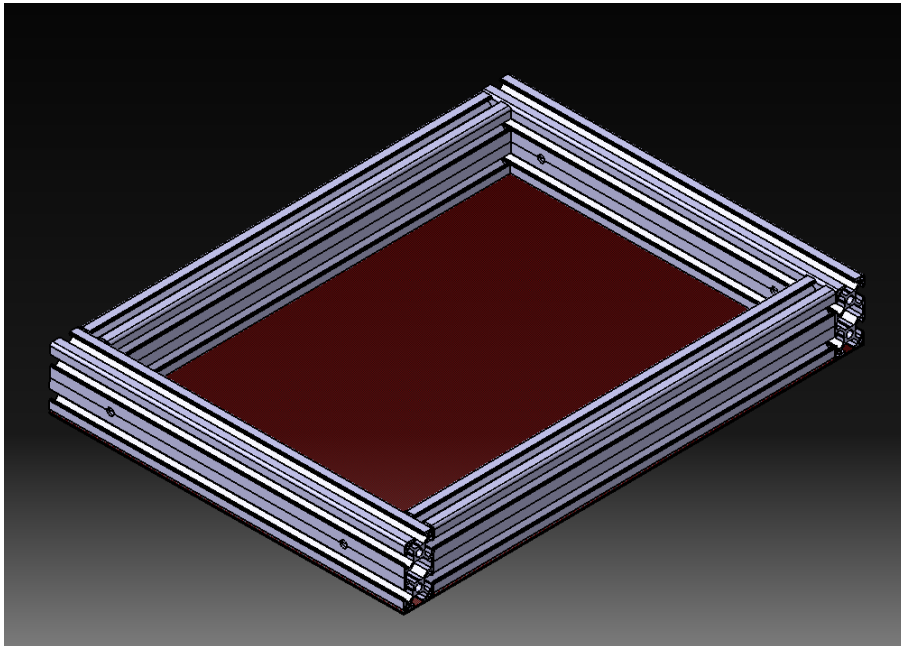


Figura 28. Unión del tablero de carrocería con el marco de aluminio, mediante unión roscada.

- Elevamos el tablero con los perfiles de aluminio sobre alguna superficie robusta para poder colocar las ruedas. Como podemos ver en la figura 29, para la colocación de las ruedas empleamos los propios pernos que iban montados en el hoverboard.

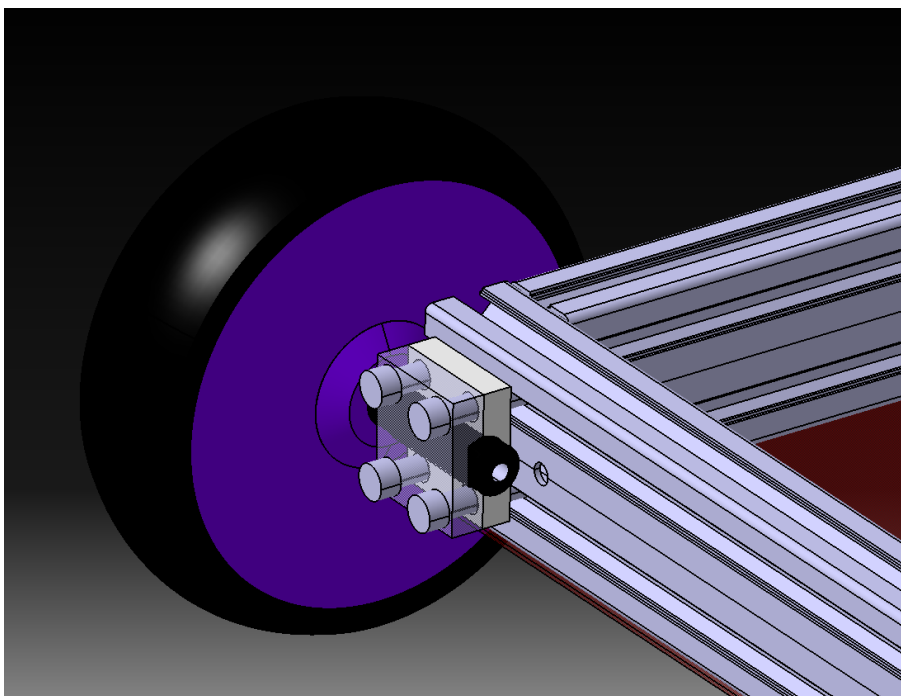


Figura 29. Montaje de las ruedas en el marco de aluminio, utilizando el alojamiento impreso en 3D así como el propio host procedente del hoverboard.

- En la figura 30 vemos la colocación de la electrónica que encierra el marco de aluminio. Dentro se anclan al tablero de carroceros las placas madre de los hoverboard así como sus correspondientes baterías. Se cortan y empalman los cables necesarios para su paso por los agujeros asignados.

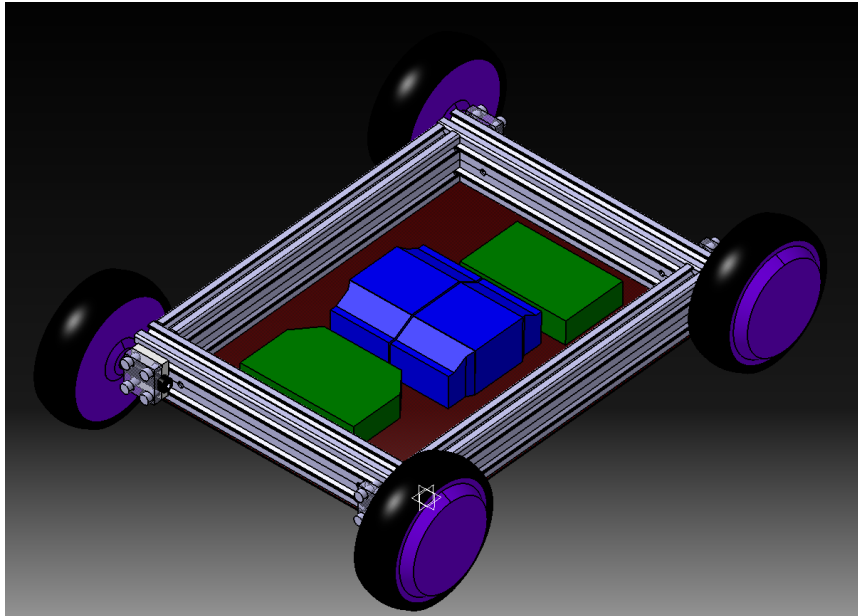


Figura 30. Colocación de la electrónica dentro de la plataforma. Anclada al tablero de carroceros.

- Se pasan los cables de alimentación procedentes de una de las placas de hoverboard, así como los cables TX/RX de cada una de ellas por el taladro frontal, y se procede a la colocación de la caja impresa en 3D como podemos observar en la figura 31.

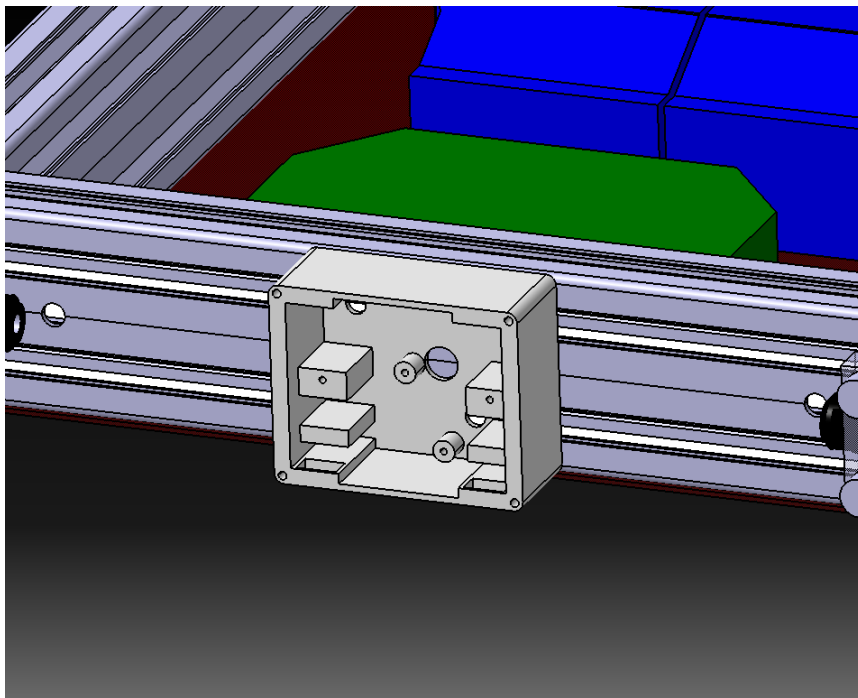


Figura 31. Situar la carcasa 3D diseñada para alojar el ESP32 así como los sensores IR

- Una vez pasados todos los cables, y como se aprecia en la figura 32, cerramos el marco de perfiles de aluminio con la segunda tabla de carrocería, de la misma forma que hicimos con la primera.

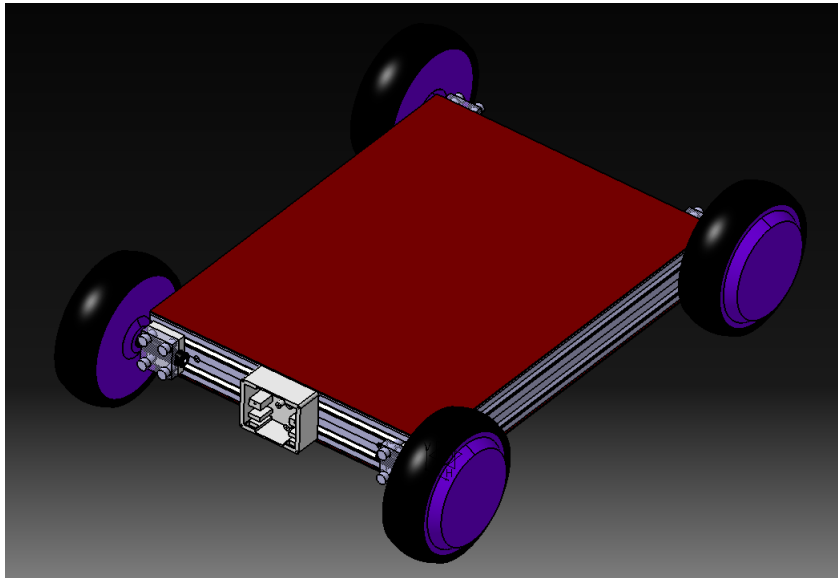


Figura 32. Cierre de la tapa superior con el segundo tablero de carrocería.

- Por último, colocamos la electrónica correspondiente en la caja impresa en 3D (ESP32 y sensores IR), y cerramos con su tapa, como vemos en la figura 33.

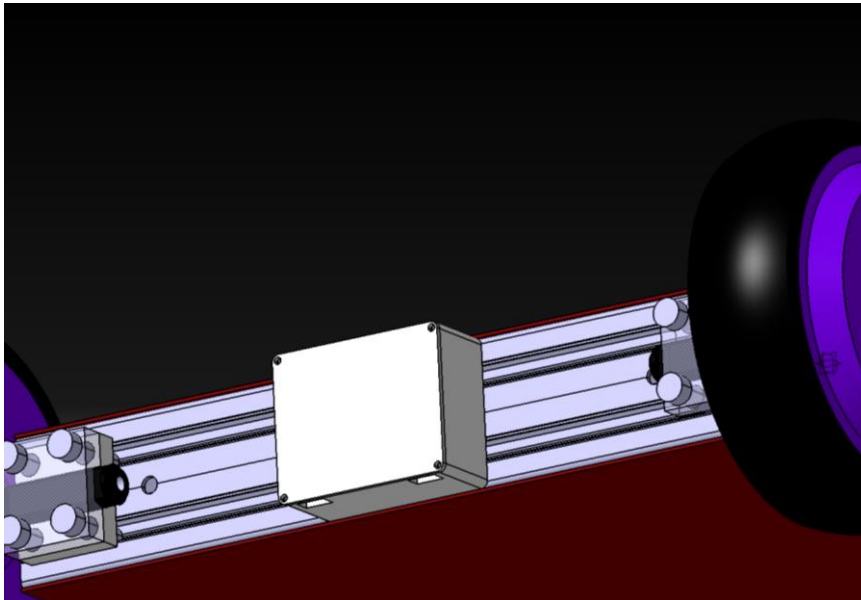


Figura 33. Colocación de la tapa protectora de la caja que aloja el ESP32 y los sensores.

5.2 Parte electrónica

La parte electrónica es una de las componentes fundamentales en el desarrollo del proyecto, abarcando los elementos y sistemas que permiten el control, la comunicación y la alimentación de la plataforma. En este apartado se detallan los componentes electrónicos utilizados, su función y su interacción para lograr un funcionamiento eficiente y preciso.

La parte electrónica del proyecto incluye una variedad de elementos clave, como controladores, sensores, sistemas de comunicación y fuentes de alimentación. Cada uno de estos componentes juega un papel crucial en el rendimiento y las capacidades del proyecto.

A lo largo de esta sección se describirán en detalle los controladores utilizados, los sensores incorporados, los sistemas de comunicación implementados y las fuentes de alimentación empleadas. Además, se analizará la interacción entre estos componentes y cómo contribuyen al funcionamiento global del proyecto.

El diseño y la integración adecuada de la parte electrónica son elementos clave para asegurar la precisión, la estabilidad y la eficiencia del proyecto. A través de un enfoque cuidadoso en la selección y la implementación de los componentes electrónicos, se logra un control efectivo y un rendimiento óptimo en todas las operaciones del proyecto.

5.2.1 Necesidad de flasheado de la placa del hoverboard

Se explica la necesidad de flashear y modificar las placas base de los hoverboards originales para adaptarlas a los requerimientos del proyecto, como el uso de USART2 y la eliminación de las protecciones de fábrica.

El proceso de flashear y modificar las placas base de los hoverboards originales para adaptarlas a los requerimientos del proyecto fue una tarea que requirió tiempo y esfuerzo. A continuación, se describe la secuencia de pasos seguidos para lograr el éxito en esta tarea:

- Estudio de la placa: En primer lugar, se realizó un estudio exhaustivo de la placa base para comprender su funcionamiento y determinar cómo se podía establecer una conexión con ella a través de un PC. Se identificaron los pines necesarios, como 3.3V, GND, SWCLK y SWDIO, para establecer la comunicación adecuada. El resultado de dicho estudio está reflejado en el esquema mostrado en la figura 34.

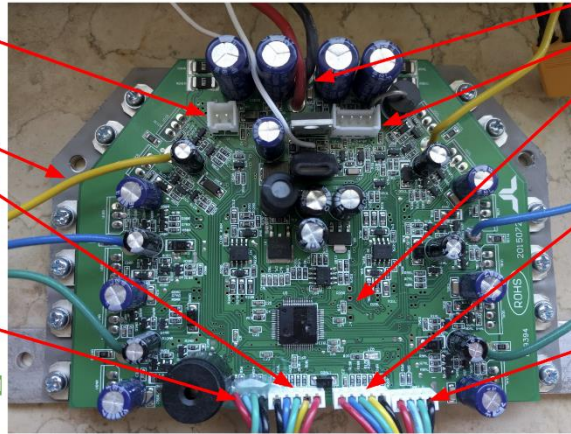
Connectors of the Mainboard

Power Button
- Latch circuit
- STM32 GPIO

Main Motor Wire

Left Hall Cable
GND
HALL A
HALL B
HALL C
5V 100mA max.

Left Sensor Board
15V 200mA max.
PA2 / TX / ADC1
PA3 / RX / ADC2 / PPM
GND



XT60 Main Power

Charging Connector

SWD Programming

3.3V 50mA max.
PA14 / SWCLK
GND
PA13 / SWDIO

Right Hall Cable

5V 100mA max.
HALL A
HALL B
HALL C
GND

Right Sensor Board

15V 200mA max.
PB10 / TX / SCL
PB11 / RX / SDA
GND

Figura 34. Esquema "general" de las placas madre de los hoverboards.

- Eliminación de la protección de fábrica: Uno de los desafíos principales fue eliminar la protección de fábrica de las placas base. Se realizaron múltiples intentos utilizando diferentes programas, hasta que finalmente se logró con éxito mediante el uso de STM32 ST-LINK Utility, figura 35. Este proceso permitió desbloquear la placa y brindar acceso completo a sus funcionalidades.

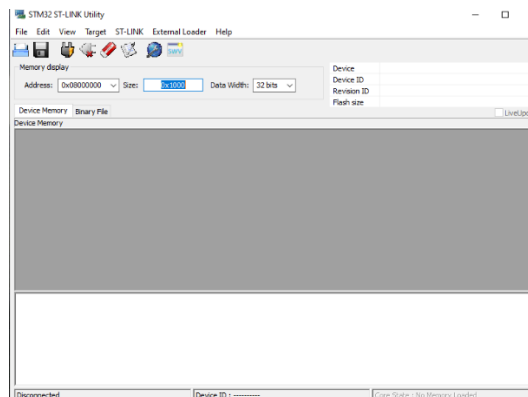


Figura 35. Captura de pantalla del programa "STM32 ST-LINK Utility".

- Programación del código compatible: Una vez eliminada la protección y la instalación de fábrica, se procedió a la programación del código necesario para el funcionamiento del hoverboard. Para ello, se utilizó una plataforma de desarrollo, y se instaló la extensión PlatformIO[23] (figura 36), que facilitó la escritura y el desarrollo del código compatible con el chip específico de la placa del hoverboard.

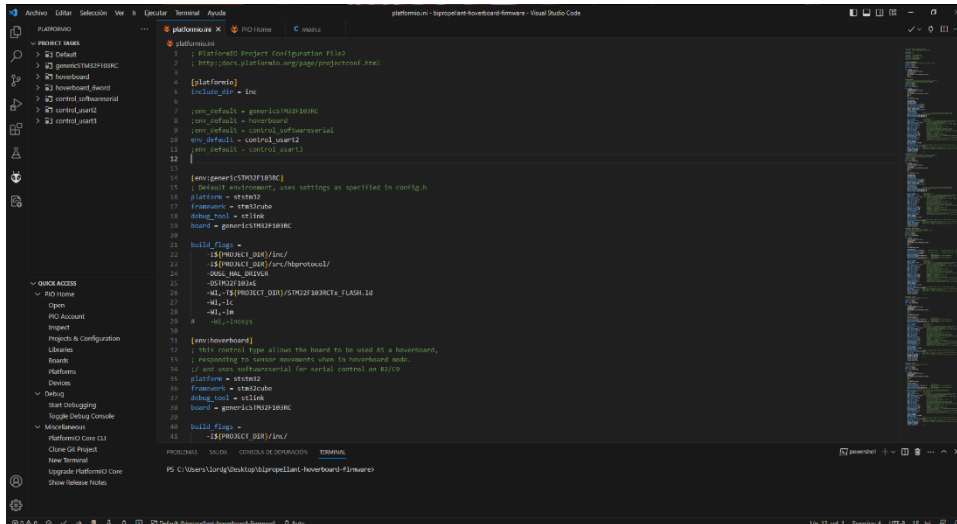


Figura 36. Captura de pantalla del programa "Visual Studio Code"[24] en el entorno "PlatformIO"..

- Instalación de los drivers: Por último, se instalaron los controladores o drivers correctos en el PC para establecer una conexión adecuada con la placa del hoverboard y permitir la subida del código al dispositivo. Esto garantizó una comunicación fluida y estable entre el PC y la placa, lo que facilitó el proceso de desarrollo y prueba del software. Finalmente, el driver que mejor funcionó fue Zadig 2.8[25], mostrado en la figura 37.

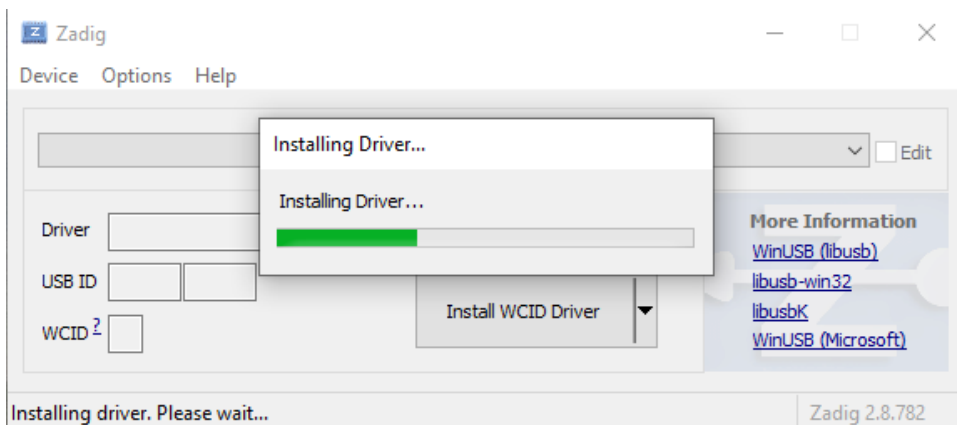


Figura 37. Captura de pantalla donde se aprecia la instalación de los drivers "Zadig".

Es importante destacar que este proceso de flashear y modificar las placas base no fue sin desafíos. Requirió horas de investigación, prueba y error, así como la búsqueda de soluciones adecuadas. Sin embargo, a través de la perseverancia y la determinación, se logró el éxito en la adaptación de las placas base de los hoverboards a los requerimientos del proyecto.

5.2.2 Electrónica auxiliar necesaria

Se detallan los componentes electrónicos auxiliares utilizados en el prototipo, como el ESP32 y otros elementos necesarios para el control y la comunicación del vehículo. Estos componentes son fundamentales para establecer la conexión con el joystick, sensores y otros dispositivos externos. En la siguiente figura se muestra el primer resultado exitoso del flasheo de una placa madre, siendo controlada por un Arduino Nano, figura 38.

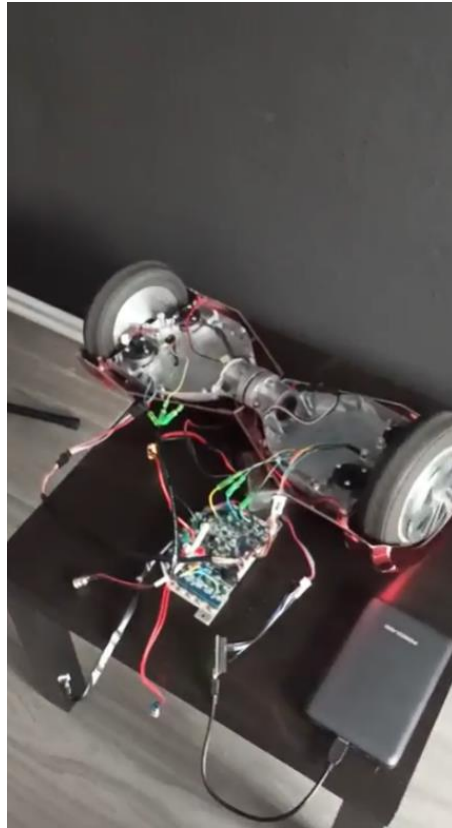


Figura 38. Funcionamiento de las ruedas motorizadas de los hoverboard, controladas por un Arduino NANO.

En el prototipo, se utilizaron componentes electrónicos auxiliares para el control y la comunicación del vehículo. Estos componentes son clave en la integración del sistema y permiten la conexión con el joystick, los sensores y otros dispositivos externos.

La elección del ESP32 como componente electrónico auxiliar permitió reducir considerablemente la cantidad de componentes necesarios en el prototipo. El ESP32, al ser una plataforma versátil y potente, integra varias funcionalidades en un solo dispositivo, lo que simplifica el diseño y la implementación del sistema.

Previamente al uso del ESP32, se habían realizado modificaciones en las placas de los hoverboards para adaptarlas a los requerimientos del proyecto. En un principio, se hackearon las placas en el modo USART3, pero por las diferencias de voltaje entre la conexión del Arduino (5V) y la del ESP32 (3.3V), hubo que volver a flashear las placas para configurarlas en modo USART2. Esta elección permitió una mejor compatibilidad y un correcto funcionamiento con el ESP32. En las siguientes imágenes (figuras 39 y 40) se muestran las diferentes combinaciones necesarias de componentes electrónicos en función de la diferente programación de placas.

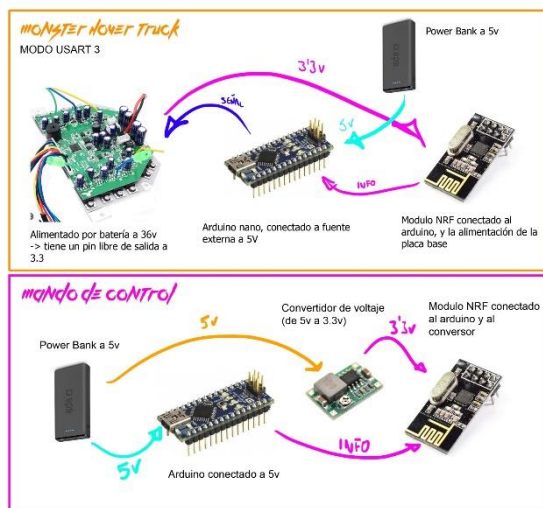


Figura 39. Boceto de componentes empleados para la configuración y comunicación del proyecto, mediante el modo USART3.

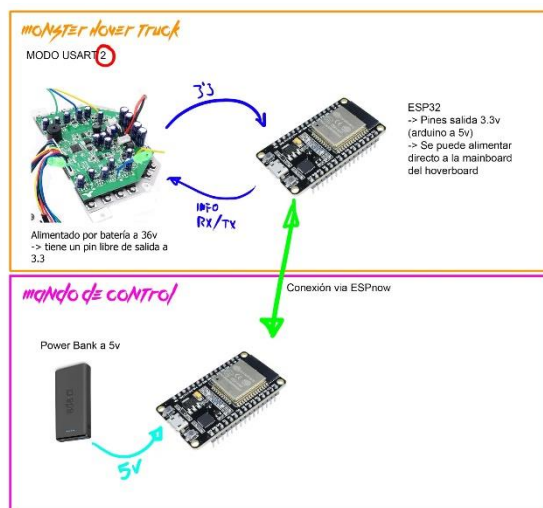


Figura 40. Boceto de componentes empleados para la configuración y comunicación del proyecto, mediante el modo USART2.

Además, se exploraron otras alternativas antes de decidirse por el ESP32. Se consideró el uso de un Arduino Nano o un Arduino MEGA, así como un módulo NRF para la conexión inalámbrica. Sin embargo, la elección del ESP32 resultó más favorable debido a su mayor capacidad de procesamiento, memoria y opciones de conectividad, lo que permitió implementar algoritmos más complejos y funciones adicionales en el prototipo del vehículo.

El ESP32 no solo proporcionó una solución más compacta y simplificada, sino que también ofreció una amplia gama de opciones de conectividad, como WiFi y Bluetooth, lo que facilitó la comunicación y la interacción con otros dispositivos externos.

En conclusión, la elección del ESP32 como componente electrónico auxiliar fue clave para reducir la complejidad del sistema y simplificar la integración de los componentes en el prototipo. Su mayor capacidad de procesamiento, memoria y opciones de conectividad permitieron un control preciso, una mayor flexibilidad en la implementación de funcionalidades adicionales y una mejor compatibilidad con los componentes existentes del hoverboard.

5.2.3 Otros componentes

Se mencionan los componentes adicionales utilizados en la parte electrónica del prototipo, como el cableado, la electricidad necesaria para alimentar los componentes, y el mando joystick utilizado como controlador remoto del vehículo.

En la parte electrónica del prototipo, se utilizaron varios componentes adicionales para asegurar el correcto funcionamiento y la conexión adecuada entre los diferentes elementos del sistema. Estos componentes desempeñan un papel crucial en la integridad y estabilidad de las conexiones eléctricas y en la facilidad de uso del prototipo.

El cableado fue un componente esencial en el montaje del prototipo. Se utilizaron diferentes tipos de cables, como cables de alimentación, cables de señal y cables de conexión entre los diferentes componentes. Se prestaron especial atención a la calidad y resistencia de los cables utilizados, garantizando una transmisión eficiente y confiable de la energía y las señales.

Además del cableado, se emplearon otros elementos para asegurar las conexiones eléctricas, como el estaño y el termofusible. El estaño se utilizó para soldar los cables a los pines y terminales correspondientes, asegurando conexiones sólidas y duraderas. El termofusible, por su parte, se utilizó para proteger las conexiones y evitar cortocircuitos, proporcionando una capa adicional de seguridad.

La cinta aislante desempeñó un papel crucial en la protección y aislamiento de las conexiones eléctricas. Se utilizó para cubrir y asegurar los puntos de soldadura, evitando cortocircuitos y garantizando un entorno eléctrico seguro y confiable.

Asimismo, el pegamento térmico se utilizó en ciertas áreas del prototipo para fijar y proteger componentes sensibles al calor, como los controladores de los motores. El pegamento térmico aseguró una correcta disipación del calor, evitando posibles daños por sobrecalentamiento y mejorando la vida útil de los componentes.

A mayores hubo una parte importante de diseño 3D e impresión 3D. Se usó tanto para diseñar un host donde se asentase la unión de los motores de los hoverboards con el perfil de aluminio, como para hacer una cubierta externa donde se pudiesen alojar los sensores IR y el ESP32 mostrados en las figuras 41 y 42.

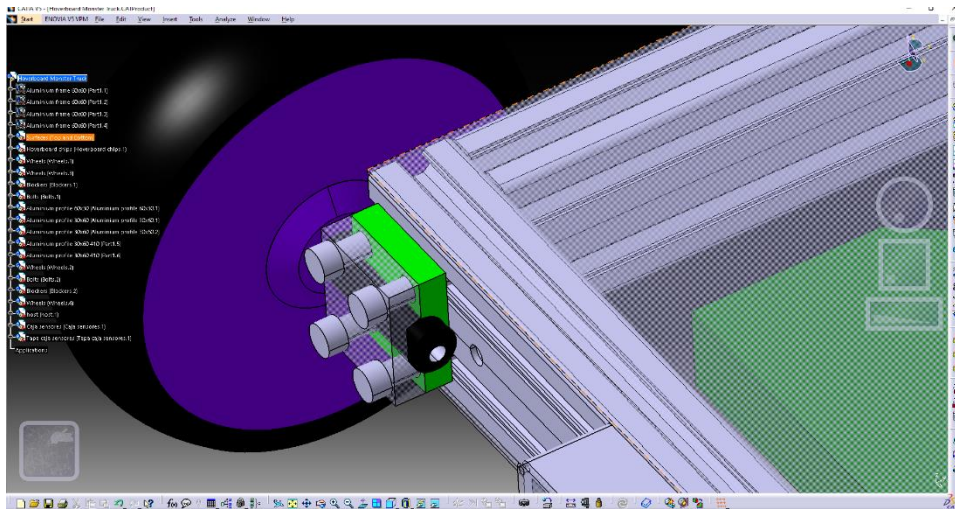


Figura 41. Diseño en CATIA V5 de una "cama" verde, para asentar el buje de la rueda..

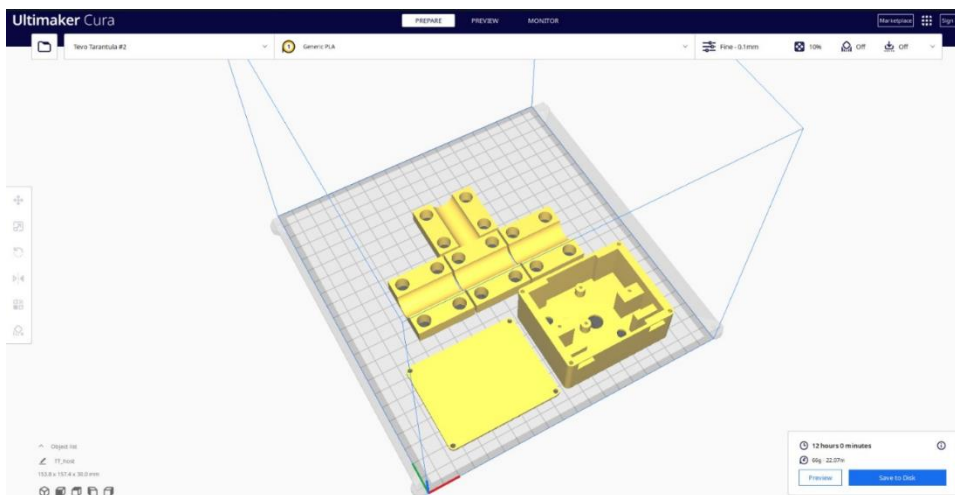


Figura 42. Disposición de piezas que se introducirán en la plataforma. El programa fileteador es el Ultimaker Cura[26].

En resumen, la selección y utilización de estos componentes adicionales, como el cableado, el estaño, el termofusible, la cinta aislante y el pegamento térmico, fue crucial para garantizar una conexión eléctrica segura, confiable y duradera en el prototipo del vehículo. Estos componentes desempeñaron un papel fundamental en la integridad y estabilidad del sistema, permitiendo un funcionamiento fluido y una fácil manipulación del prototipo.

5.3 Parte de software

En este apartado, se aborda la implementación y programación del software necesario para el funcionamiento del vehículo. Se describen los algoritmos, protocolos de comunicación y funcionalidades implementadas, como el seguimiento de líneas y el control remoto. Se analizan posibles mejoras y recomendaciones. El software es crucial para un funcionamiento fluido y seguro del vehículo, permitiendo una interacción eficaz con el usuario y diferentes modos de control.

5.3.1 Programación para control remoto

Se describe el desarrollo y la programación necesaria para permitir el control remoto del vehículo. Esto incluye la configuración del ESP32 para recibir y procesar las señales del mando joystick como se observa en la figura 43, así como la implementación de algoritmos de control para garantizar una respuesta adecuada a las órdenes del usuario.



Figura 43. Correcto funcionamiento de la dirección del prototipo, con un joystick a distancia.

En el desarrollo de la parte de software del prototipo del vehículo, se llevó a cabo una extensa programación para permitir el control remoto del vehículo. Para ello, se utilizó el entorno de desarrollo Arduino IDE junto con el lenguaje de programación C++ para la programación del ESP32, que actuó como el principal controlador del vehículo.

La configuración del ESP32 para recibir y procesar las señales del mando joystick fue un paso fundamental en la programación. Se estableció la comunicación entre el ESP32 y el mando joystick, definiendo los pines de entrada y salida necesarios para recibir y enviar las señales correspondientes. Además, se realizaron ajustes y calibraciones para garantizar una correcta interpretación de los movimientos y órdenes del joystick por parte del ESP32.

Tras establecer la comunicación con el mando joystick, se implementaron los algoritmos de control. Estos algoritmos permitieron traducir las órdenes recibidas del joystick en acciones

específicas del vehículo, como el movimiento hacia adelante, hacia atrás, giros y frenado, parte de estas pruebas se muestran en la figura 44. Se tuvieron en cuenta diferentes variables, como la velocidad, la aceleración y la dirección, para lograr una respuesta adecuada y precisa del vehículo a las órdenes del usuario.

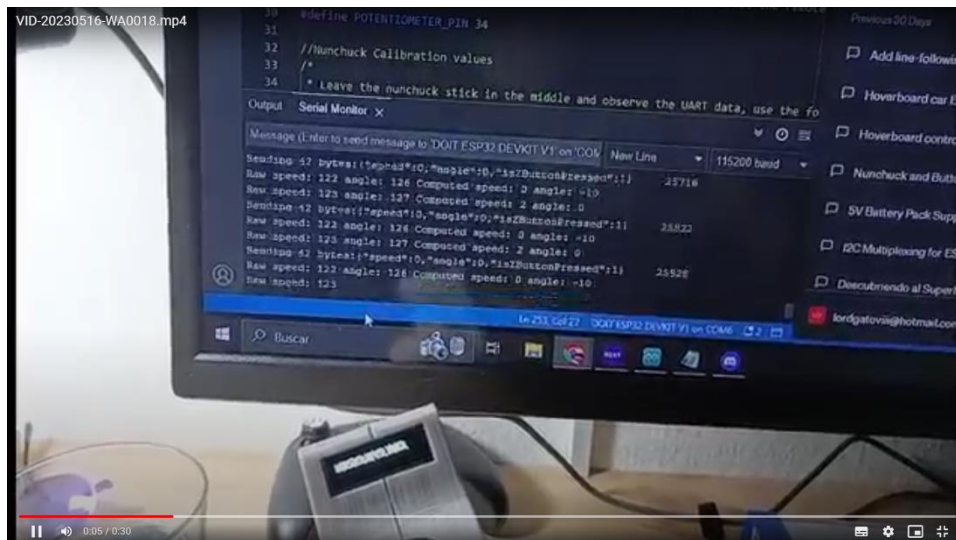


Figura 44. Captura de video donde se aprecia la señal que transmite el mando.

Es importante destacar que la programación del mando joystick se abordará en detalle en la sección 5.3. Sin embargo, se diseñó la programación del ESP32 teniendo en cuenta cómo funcionaría el transmisor, lo que permitió una integración fluida entre ambos componentes y una correcta sincronización de las señales de control.

Durante todo el proceso de programación, se realizaron pruebas exhaustivas para verificar el correcto funcionamiento del sistema y asegurar una experiencia de control remoto satisfactoria. Se hicieron ajustes y refinamientos en los algoritmos de control y en la configuración del ESP32, para lograr una respuesta suave, precisa y confiable del vehículo a las órdenes del usuario.

En resumen, la programación para el control remoto del vehículo involucró la configuración del ESP32, la comunicación con el mando joystick y la implementación de algoritmos de control. Esta programación se realizó en el entorno de desarrollo Arduino IDE utilizando el lenguaje de programación C++. El resultado fue un sistema de control remoto efectivo y preciso, que permitió manejar el vehículo de forma intuitiva y segura.

5.3.2 Programación para seguimiento de líneas

Se detalla el desarrollo y la programación necesaria para permitir el seguimiento de líneas por parte del vehículo. Esto implica la implementación de algoritmos de detección de líneas utilizando los sensores IR, así como su calibración (mostrada en la figura 45) en tanto como la programación para ajustar la velocidad y la dirección del vehículo en función de las lecturas de los sensores.



Figura 45. Calibración de los sensores IR

En el desarrollo del seguimiento de líneas del vehículo, se llevó a cabo un proceso exhaustivo de programación que permitió al vehículo detectar y seguir las líneas trazadas en el suelo. Para lograr esto, se implementaron algoritmos de detección de líneas utilizando los sensores IR y se programaron las acciones correspondientes para ajustar la velocidad y dirección del vehículo en función de las lecturas de los sensores.

La programación para el seguimiento de líneas se realizó en el entorno de desarrollo Arduino IDE, utilizando el lenguaje de programación C++. El primer paso consistió en configurar los sensores IR y establecer la comunicación con el ESP32. Se asignaron los pines de entrada y salida necesarios para la lectura de los sensores y se ajustaron los parámetros de sensibilidad y rango de detección para obtener resultados óptimos.

Una vez configurados los sensores IR, se procedió a implementar los algoritmos de detección de líneas. Estos algoritmos permitieron analizar las lecturas de los sensores y determinar la posición de la línea en relación con el vehículo. Se utilizaron técnicas como el umbral de detección, que consiste en establecer un valor límite para considerar que un sensor ha detectado la línea. También se implementaron métodos de filtrado y suavizado de las lecturas para reducir el ruido y obtener mediciones más precisas.

Una vez que se obtuvieron las lecturas de los sensores y se determinó la posición de la línea, se programaron las acciones correspondientes para ajustar la velocidad y dirección del vehículo. Se establecieron reglas y condiciones para controlar el comportamiento del vehículo en función de la posición de la línea. Por ejemplo, si la línea se encuentra en el centro del vehículo, se mantendrá una velocidad constante y recta. Si la línea se desvía hacia la derecha, el vehículo ajustará su dirección hacia la izquierda para volver a la línea, y viceversa. Parte de estas pruebas fueron grabadas en video, como se muestra en la figura 46.



Figura 46. Correcta comunicación entre el transmisor y receptor, durante la función de seguimiento de líneas.

Durante el proceso de programación para el seguimiento de líneas, se llevaron a cabo pruebas exhaustivas para verificar el correcto funcionamiento del sistema. Se realizaron ajustes en los algoritmos de detección y en las reglas de control para garantizar un seguimiento preciso y estable de las líneas. Además, se tuvo en cuenta la velocidad del vehículo y la capacidad de respuesta necesaria para realizar cambios de dirección y ajustes en tiempo real.

En resumen, la programación para el seguimiento de líneas del vehículo implicó la configuración de los sensores IR, la implementación de algoritmos de detección de líneas y la programación de las acciones correspondientes para ajustar la velocidad y dirección del vehículo. Esta programación se realizó en el entorno de desarrollo Arduino IDE utilizando el lenguaje de programación C++. El resultado fue un sistema de seguimiento de líneas eficiente y preciso, que permitió al vehículo mantenerse en el camino trazado con alta precisión y estabilidad.

6 Transmisor

En esta sección, se abordan los aspectos relacionados con los componentes, circuitos, programación, pruebas y ajustes realizados en el transmisor del sistema de control remoto. Se detallan las características técnicas de la placa base, los botones y controles utilizados, así como el circuito de comunicación implementado. Además, se describe la programación realizada para configurar la comunicación y la lógica de control del transmisor, y se mencionan las pruebas realizadas y los ajustes realizados para mejorar su funcionamiento. Por último, se describe el proceso de diseño y fabricación de la carcasa utilizando impresión 3D, así como la integración final de los componentes y los ajustes ergonómicos realizados.

6.1 Componentes y circuitos

Selección y descripción de los componentes utilizados en el proyecto, incluyendo placas controladoras, sensores y elementos electrónicos. Se detalla la conexión y funcionamiento de los circuitos involucrados, destacando la importancia de su correcta configuración y montaje. También se mencionan posibles mejoras en la selección de componentes para futuras iteraciones del proyecto.

6.1.1 Placa base del transmisor

La placa base utilizada en el transmisor es un ESP32, mostrado en la figura 47, un microcontrolador de alto rendimiento y amplias capacidades de conectividad. El ESP32 se eligió debido a su soporte nativo para el protocolo ESP-NOW, que permite una comunicación inalámbrica rápida y confiable con el receptor del vehículo.

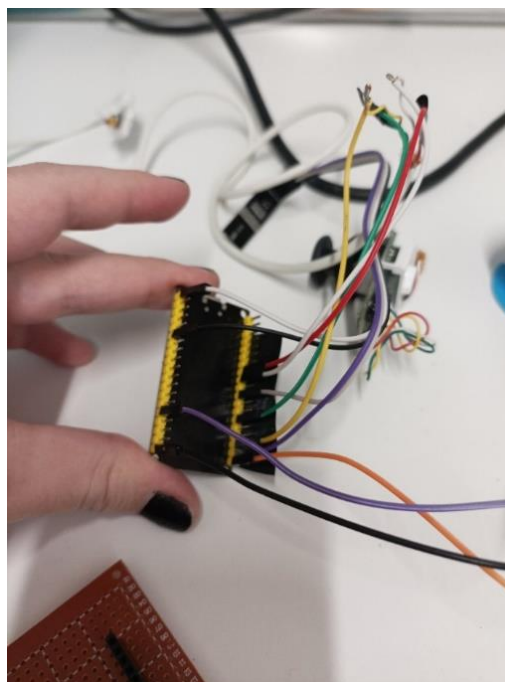


Figura 47. Montaje preliminar del transmisor.

El ESP32 cuenta con un procesador de doble núcleo, que proporciona potencia de procesamiento adicional para realizar las tareas de control y comunicación de manera eficiente. Además, tiene pines de entrada y salida, que permiten conectar diversos componentes y controles al transmisor.

La placa base del transmisor también incluye otros componentes electrónicos clave, como resistencias, capacitores y diodos, necesarios para el funcionamiento adecuado del ESP32 y otros circuitos asociados. Estos componentes ayudan a garantizar la estabilidad de la alimentación, la protección contra sobrecargas y otros aspectos importantes del sistema electrónico.

En cuanto a las conexiones, la placa base del transmisor cuenta con pines específicos para la conexión del mando joystick y otros controles, así como pines de comunicación para la conexión con el receptor del vehículo a través del protocolo ESP-NOW. Estas conexiones permiten la transmisión de comandos y señales desde el transmisor al vehículo para controlar su movimiento y otras funciones.

En resumen, la placa base del transmisor, basada en el ESP32, proporciona un sólido fundamento para la funcionalidad y comunicación del sistema de control remoto, ofreciendo una potencia de procesamiento adecuada y una conectividad confiable.

6.1.2 Botones y controles

Detalle de los botones, palancas y otros controles presentes en el transmisor, incluyendo su función y ubicación. Se describe cómo se han seleccionado y conectado estos componentes para proporcionar un control preciso y cómodo del vehículo.

El transmisor tiene muchos botones, palancas y otros controles que permiten un control preciso y cómodo del vehículo. Cada componente se ha seleccionado cuidadosamente para garantizar una funcionalidad óptima y una experiencia de usuario intuitiva. A continuación, se detallan los principales controles presentes en el transmisor:

- **Joystick:** El joystick es el elemento principal de control del vehículo. Permite controlar la dirección y la velocidad mediante movimientos en diferentes direcciones. El joystick utiliza la comunicación I2C para transmitir los datos de control al receptor del vehículo, lo que garantiza una transmisión rápida y confiable. Inicialmente se trazó un recorrido con un joystick analógico mostrado en la figura 48, pero tenía un mayor consumo electrónico y añadía una dificultad adicional para calibrarlo.

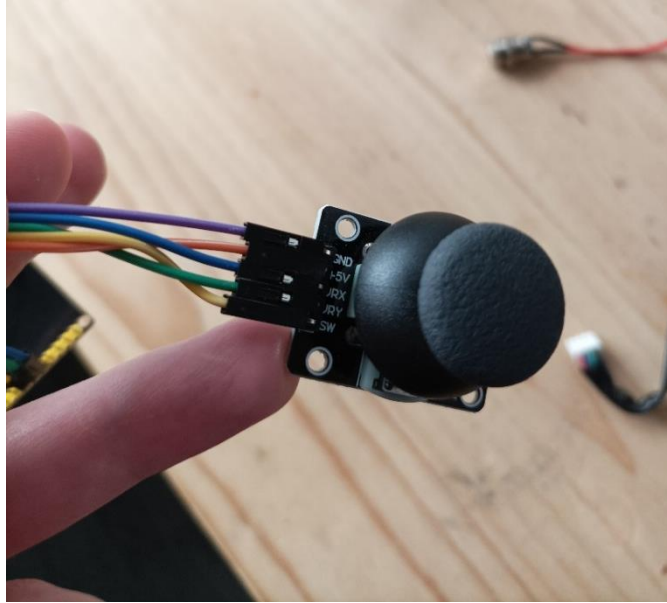


Figura 48. Joystick analógico, empleado en la primera prueba de transmisor.

- Botón de activación del joystick: Este botón está en una posición conveniente y permite activar o desactivar su uso para controlar el vehículo. Al presionar este botón, se establece la conexión y se habilita el control del vehículo a través del joystick.
- Botón de función de seguimiento de líneas: Este botón tiene la función de activar el modo de seguimiento de líneas del vehículo mientras se mantiene presionado. Al activar este modo, el vehículo seguirá automáticamente las líneas trazadas en el suelo mediante los sensores IR, permitiendo una navegación autónoma. Ambos botones se muestran en la figura 49.

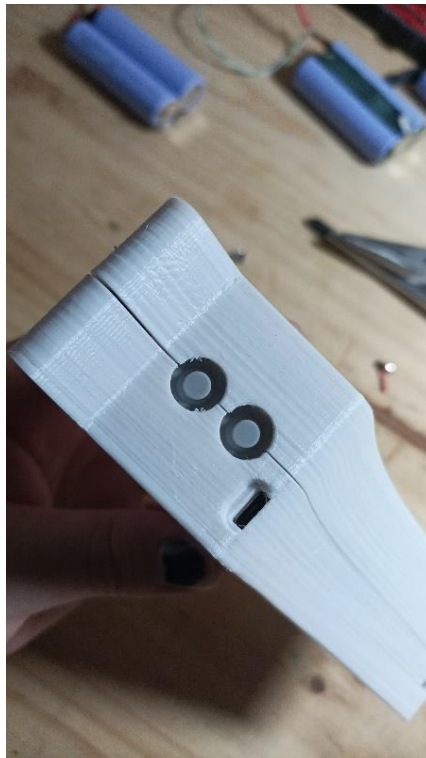


Figura 49. Botones digitales del transmisor.

- Potenciómetro de velocidad: El potenciómetro de velocidad permite ajustar la velocidad de consigna del vehículo. Al girar el potenciómetro, se selecciona la velocidad deseada, que se reflejará en la pantalla OLED del transmisor y se transmitirá al vehículo.
- Interruptor de encendido/apagado: El transmisor tiene un interruptor que permite encender y apagar el dispositivo de manera conveniente. Este interruptor proporciona una forma rápida y fácil de activar o desactivar el transmisor, asegurando un uso eficiente de la energía de las baterías y evitando un consumo innecesario cuando el dispositivo no está en uso. La inclusión de este interruptor en el diseño del transmisor brinda al usuario un control adicional sobre la operación del dispositivo y contribuye a una experiencia de uso más cómoda y eficiente. Al poder encender y apagar el transmisor según sea necesario, se maximiza la duración de las baterías y se evita el consumo innecesario de energía cuando no se está utilizando el vehículo.
- Pantalla OLED JMD 0.91: Esta pantalla OLED proporciona información en tiempo real sobre diversos parámetros del vehículo. Muestra la velocidad real del vehículo, la velocidad de consigna establecida, el voltaje de la batería del vehículo y el estado del modo de seguimiento de líneas (ON/OFF). Esta información permite al operador monitorear y ajustar los parámetros de control de manera precisa, en las figuras 50 y 51 podemos ver imágenes del proceso de programación de la pantalla.



Figura 50. Primera prueba de funcionamiento de la pantalla con su debida comunicación con el receptor.



Figura 51. Primera prueba de funcionamiento de la pantalla con su debida comunicación con el receptor.

La disposición y ubicación de estos controles en el transmisor se han diseñado cuidadosamente para facilitar un acceso cómodo y una operación intuitiva. Esto garantiza que el operador pueda controlar el vehículo de manera eficiente y sin esfuerzo, brindando una experiencia de control satisfactoria.

6.1.3 Circuito de comunicación

Descripción del circuito de comunicación utilizado para establecer la conexión entre el transmisor y el receptor del vehículo. Se mencionan los protocolos de comunicación utilizados, como Bluetooth, NRF24L01 u otros, así como los circuitos asociados y las configuraciones necesarias.

El circuito de comunicación es fundamental para establecer la conexión entre el transmisor y el receptor del vehículo. Este circuito permite la transmisión de comandos y datos entre ambos dispositivos, garantizando una comunicación efectiva y confiable. A continuación, se proporciona una descripción general del circuito de comunicación utilizado:

- **Protocolo de comunicación:** En este proyecto, se ha utilizado el protocolo de comunicación ESP-NOW. Este protocolo de comunicación es específico de los dispositivos ESP32 y permite una comunicación de baja latencia y alta velocidad entre el transmisor y el receptor (figura 52). La elección de este protocolo se debe a su confiabilidad y a la compatibilidad con los componentes utilizados en el proyecto.



Figura 52. Representación de la comunicación ESP-NOW.

- Componentes y circuitos asociados: Para establecer la comunicación mediante el protocolo ESP-NOW, se han utilizado los módulos ESP32 en ambos dispositivos: el transmisor y el receptor. Estos módulos son responsables de la transmisión y recepción de datos a través de conexiones inalámbricas.
- Configuraciones necesarias: Para que la comunicación sea exitosa, se deben realizar ciertas configuraciones en los módulos ESP32. Esto incluye la configuración de las direcciones MAC de los dispositivos, así como la configuración de los canales de comunicación. Estas configuraciones permiten la identificación correcta de los dispositivos y aseguran una transmisión precisa de los datos.

El uso del protocolo ESP-NOW y los módulos ESP32 brindan una solución eficiente y confiable para la comunicación entre el transmisor y el receptor del vehículo. La baja latencia y la alta velocidad de transmisión garantizan una respuesta rápida y en tiempo real a las acciones realizadas en el transmisor, lo que permite un control preciso y efectivo del vehículo.

6.2 Programación del transmisor

La programación del transmisor es esencial para garantizar un control adecuado del vehículo. En este apartado, se describen las diferentes configuraciones y ajustes realizados para establecer la comunicación entre el transmisor y el receptor del vehículo. A continuación, se detalla la programación específica utilizada, y se muestra una imagen de la programación en paralelo del receptor y transmisor (figura 53).

Figura 53. Captura de pantalla de la programación simultánea de transmisor y receptor.

6.2.1 Configuración de la comunicación

Descripción de la programación realizada para configurar la comunicación entre el transmisor y el receptor del vehículo. Se detallan las bibliotecas utilizadas, las funciones implementadas y los ajustes realizados para garantizar una comunicación estable y confiable.

Para configurar la comunicación entre el transmisor y el receptor, se han utilizado varias bibliotecas y se han implementado funciones específicas. A continuación, se mencionan las bibliotecas principales utilizadas:

- **Wire:** Esta biblioteca permite la comunicación mediante el protocolo I2C, que se utiliza para establecer la conexión con el joystick y la pantalla OLED. Esta biblioteca es esencial para la comunicación bidireccional de datos entre estos componentes y el transmisor.
- **esp now:** Esta biblioteca proporciona las funciones y los métodos necesarios para configurar y establecer la comunicación utilizando el protocolo ESP-NOW. Con esta biblioteca, se pueden enviar y recibir datos entre el transmisor y el receptor de manera confiable y eficiente.
- **WiFi:** Esta biblioteca se utiliza para configurar y establecer la conexión WiFi necesaria para la comunicación mediante el protocolo ESP-NOW. Proporciona las funciones necesarias para la configuración de canales, direcciones MAC y otras configuraciones relacionadas con la comunicación WiFi.
- **ArduinoJson:** Esta biblioteca se utiliza para la manipulación y el manejo de datos en formato JSON. Es útil para la serialización y deserialización de datos, lo que facilita el intercambio de información entre el transmisor y el receptor.
- **Adafruit_GFX y Adafruit_SSD1306:** Estas bibliotecas se utilizan para el control y la visualización de la pantalla OLED. Permiten mostrar la información relevante, como la velocidad real, la velocidad de consigna, el voltaje del vehículo y el estado del modo de seguimiento de líneas.

La configuración de la comunicación incluye ajustes específicos para garantizar una comunicación estable y confiable. Entre estos ajustes, se encuentra la configuración del canal de comunicación mediante la constante WIFI_CHANNEL. Además, se definen las direcciones MAC del transmisor y el receptor utilizando los arreglos de bytes remoteMac y own mac, respectivamente. Estas configuraciones son cruciales para establecer una comunicación correcta y segura entre los dispositivos.

La programación del transmisor se realizó de manera exhaustiva, considerando los detalles necesarios para garantizar una comunicación estable y un control preciso del vehículo.

6.2.2 Lógica de control del transmisor

Descripción de la lógica de control implementada en el transmisor para interpretar los comandos del usuario y enviar las señales correspondientes al receptor del vehículo. Se mencionan los algoritmos y decisiones de programación que permiten una respuesta precisa y rápida del vehículo a las acciones del usuario.

La lógica de control implementada en el transmisor es esencial para interpretar los comandos del usuario y enviar las señales correspondientes al receptor del vehículo. Esta sección describe los algoritmos y las decisiones de programación que permiten una respuesta precisa y rápida del vehículo a las acciones del usuario. A continuación, se detalla la lógica de control implementada:

- **Interfaz de usuario:** El transmisor cuenta con diferentes elementos de interfaz de usuario, como el joystick, los botones y la pantalla OLED. Se han desarrollado algoritmos de programación para interpretar los movimientos del joystick y las acciones de los botones. Estos algoritmos convierten las señales de entrada del usuario en comandos comprensibles para el vehículo.
- **Ajuste de velocidad:** El transmisor permite al usuario ajustar la velocidad del vehículo utilizando un potenciómetro. La programación correspondiente mapea la posición del potenciómetro a un rango de velocidad adecuado para el vehículo. Esto garantiza un control preciso de la velocidad y permite al usuario adaptarla según las necesidades.
- **Comunicación con el receptor:** Una vez interpretados los comandos del usuario, el transmisor utiliza la comunicación establecida con el receptor para enviar las señales correspondientes. Esto implica el envío de datos y la implementación de protocolos de comunicación adecuados para asegurar la transmisión confiable y precisa de los comandos.
- **Sincronización y latencia mínima:** Para lograr una respuesta rápida y precisa del vehículo, se ha prestado especial atención a la sincronización entre el transmisor y el receptor. Los algoritmos de programación se han diseñado para minimizar la latencia y garantizar que los comandos del usuario se transmitan rápidamente al vehículo.
- **Algoritmos de control:** La lógica de control incluye algoritmos que ajustan la dirección y la velocidad del vehículo en función de los comandos del usuario. Estos algoritmos aseguran una respuesta suave y precisa del vehículo, permitiendo un control efectivo y una experiencia de usuario satisfactoria.

La lógica de control implementada en el transmisor se ha desarrollado cuidadosamente para garantizar una respuesta precisa y rápida del vehículo a las acciones del usuario. Los algoritmos y las decisiones de programación permiten una interpretación adecuada de los comandos del usuario y la transmisión confiable de las señales al receptor del vehículo.

6.3 Pruebas y ajustes

A continuación, se describen las pruebas realizadas en el proyecto para verificar el funcionamiento y rendimiento del vehículo. Se detallan los procedimientos de prueba y los resultados obtenidos, así como los ajustes realizados para mejorar el desempeño y la precisión del vehículo. Se resalta la importancia de las pruebas para validar el diseño y detectar posibles fallos o áreas de mejora. También se sugieren recomendaciones para futuras pruebas y ajustes que podrían llevarse a cabo en el proyecto.

6.3.1 Pruebas de funcionamiento

Detalle de las pruebas realizadas para verificar el funcionamiento del transmisor, en cuanto a comunicación con el vehículo y de precisión y confiabilidad en la transmisión de comandos. Se mencionan las pruebas de alcance, velocidad de respuesta y estabilidad de la conexión.

Se hicieron pruebas exhaustivas para verificar el funcionamiento del transmisor, en cuanto a comunicación con el vehículo, precisión y confiabilidad en la transmisión de comandos. Estas pruebas fueron fundamentales para asegurar un rendimiento óptimo y una experiencia de usuario satisfactoria. A continuación, se detallan las pruebas realizadas:

- Pruebas de comunicación: Se realizaron pruebas de alcance para evaluar la distancia máxima a la que el transmisor podía comunicarse de manera confiable con el receptor del vehículo. Se analizó la estabilidad de la conexión en diferentes entornos y se verificó que no hubiera interferencias externas que afectaran la comunicación.
- Pruebas de velocidad de respuesta: Se realizaron pruebas para medir la velocidad de respuesta del transmisor al enviar comandos al vehículo. Se evaluó el tiempo que tomaba para que el vehículo respondiera a los movimientos del joystick y a las acciones de los botones, asegurando una respuesta rápida y sin retrasos perceptibles.
- Pruebas de precisión: Se llevaron a cabo pruebas para evaluar la precisión en la transmisión de comandos al vehículo. Se verificó que los movimientos del joystick se tradujeran de manera precisa en movimientos correspondientes del vehículo, garantizando un control preciso y una conducción fluida.
- Pruebas de estabilidad de la conexión: Se realizaron pruebas para evaluar la estabilidad de la conexión entre el transmisor y el receptor del vehículo. Se verificó que la comunicación se mantuviera estable y confiable incluso en situaciones de interferencias o distancias variables.

Durante estas pruebas, se realizaron ajustes y optimizaciones en la programación del transmisor para mejorar su rendimiento y confiabilidad. Se realizaron modificaciones según los resultados obtenidos en las pruebas, asegurando que el transmisor cumpliera con los estándares de calidad y desempeño establecidos.

Las pruebas de funcionamiento fueron fundamentales para garantizar el correcto rendimiento del transmisor, en cuanto a comunicación con el vehículo, precisión y confiabilidad en la transmisión de comandos. Estas pruebas permitieron realizar ajustes y optimizaciones necesarias para lograr un transmisor confiable y de alto rendimiento.

6.3.2 Ajustes y mejoras

Descripción de los ajustes y mejoras realizados en el transmisor durante el proceso de desarrollo y pruebas. Se mencionan las modificaciones realizadas para mejorar la ergonomía, la respuesta del vehículo y otros aspectos relevantes del funcionamiento del transmisor.

Durante el proceso de desarrollo y pruebas del transmisor, se hicieron ajustes y mejoras para optimizar su funcionamiento y proporcionar una experiencia mejorada de usuario. Estos ajustes y mejoras se enfocaron en diferentes aspectos del transmisor, incluyendo la ergonomía, la respuesta del vehículo y otros aspectos relevantes. A continuación, se describen algunas de las modificaciones realizadas:

- **Mejoras en la ergonomía:** Se realizaron ajustes en el diseño y disposición de los controles del transmisor para mejorar la comodidad y facilidad de uso. Se tuvo en cuenta la retroalimentación de los usuarios y se realizaron modificaciones en la posición y el tamaño de los botones y palancas para asegurar un agarre cómodo y una manipulación intuitiva.
- **Ampliación de información en la pantalla:** Como mejora, se introdujeron elementos adicionales en la pantalla OLED del transmisor para proporcionar más información al usuario. Se añadieron indicadores visuales de velocidad real, velocidad de consigna, voltaje del vehículo y el estado del modo de seguimiento de líneas (ON/OFF). Esto permitió al usuario tener una visión más completa y precisa de los parámetros clave del vehículo durante su operación.
- **Ajustes en la respuesta del vehículo:** Durante las pruebas, se identificaron áreas de mejora en la respuesta del vehículo a los comandos del transmisor. Se realizaron ajustes en los algoritmos de control y en la programación para lograr una respuesta más precisa y suave del vehículo a las acciones del usuario. Esto se tradujo en una conducción más fluida y una experiencia de usuario más satisfactoria.
- **Optimización de la duración de la batería:** Se realizaron ajustes en la programación y en el consumo de energía del transmisor para optimizar la duración de la batería. Se implementaron técnicas de gestión de energía para reducir el consumo cuando el transmisor se encontraba en reposo o en condiciones de baja actividad, lo que prolongó la vida útil de la batería y permitió un uso más prolongado del transmisor.

Estos ajustes y mejoras contribuyeron a perfeccionar el funcionamiento del transmisor, brindando una experiencia de usuario más cómoda, intuitiva y eficiente. Se realizaron modificaciones específicas según los resultados de las pruebas y los comentarios de los usuarios, con el objetivo de garantizar un transmisor de alta calidad y rendimiento óptimo.

6.4 Diseño y ergonomía

En este apartado, se aborda el aspecto del diseño y la ergonomía de la plataforma multifuncional y de carga. Se analiza cómo se han considerado los principios de diseño para crear un producto estéticamente agradable, funcional y cómodo de utilizar. Además, se evalúa la ergonomía de la plataforma, es decir, cómo se ha tenido en cuenta la interacción entre el usuario y la plataforma para lograr una experiencia óptima. A lo largo de esta sección, se describen las decisiones de diseño tomadas, los materiales utilizados y los aspectos ergonómicos considerados, destacando la importancia de lograr un equilibrio entre funcionalidad, estética y comodidad en el proyecto.

6.4.1 Prototipado en protoboard

Descripción del proceso de prototipado inicial del transmisor utilizando una protoboard como se muestra en la figura 54, donde se unieron los componentes y se realizaron las primeras pruebas de funcionamiento de forma provisional.



Figura 54. Segunda prueba del transmisor, esta vez se utilizó una protoboard para testar diferentes configuraciones.

Durante la etapa inicial del desarrollo del transmisor, se llevó a cabo el prototipado en una protoboard. En esta fase, los componentes electrónicos del transmisor fueron unidos en la protoboard de manera provisional, permitiendo realizar las primeras pruebas de funcionamiento y validar el diseño.

Cabe destacar que en este prototipado inicial, el transmisor no contaba con una carcasa o estructura externa. El enfoque principal en esta etapa era comprobar el correcto ensamblaje

de los componentes y verificar la funcionalidad básica del transmisor. Se realizaron las conexiones necesarias, como soldaduras y cableado, para asegurar una conexión estable entre los componentes.

Durante esta fase de prototipado en la protoboard, se realizaron pruebas preliminares para evaluar la comunicación entre el transmisor y el receptor del vehículo, así como la respuesta de los controles y la transmisión de comandos. Se verificó que los componentes estuvieran correctamente conectados y funcionando de manera adecuada.

El prototipado en protoboard permitió realizar ajustes y modificaciones en el diseño del transmisor en función de los resultados de las pruebas. Se realizaron cambios en la disposición de los componentes y se realizaron ajustes en las conexiones según las necesidades identificadas durante esta fase inicial de desarrollo.

Es importante destacar que, posteriormente, una vez validado el funcionamiento y diseño del transmisor en la protoboard, se procedió a diseñar y fabricar una carcasa mediante impresión 3D para brindar una estructura externa más sólida y ergonómica al transmisor. Esto permitió mejorar la comodidad y facilidad de uso del transmisor, brindando una experiencia de usuario más satisfactoria.

El prototipado en protoboard fue una etapa fundamental en el proceso de desarrollo del transmisor, ya que permitió realizar pruebas y ajustes iniciales antes de avanzar hacia la etapa de fabricación de la carcasa y la versión final del transmisor.

6.4.2 Impresión 3D de la carcasa

Detalle del proceso de diseño y fabricación de la carcasa del transmisor utilizando la tecnología de impresión 3D. Se mencionan los materiales utilizados y los detalles de diseño para lograr una carcasa ergonómica y resistente, en la figura 55 y figura 56 se muestra el resultado en Catia de dicho diseño.

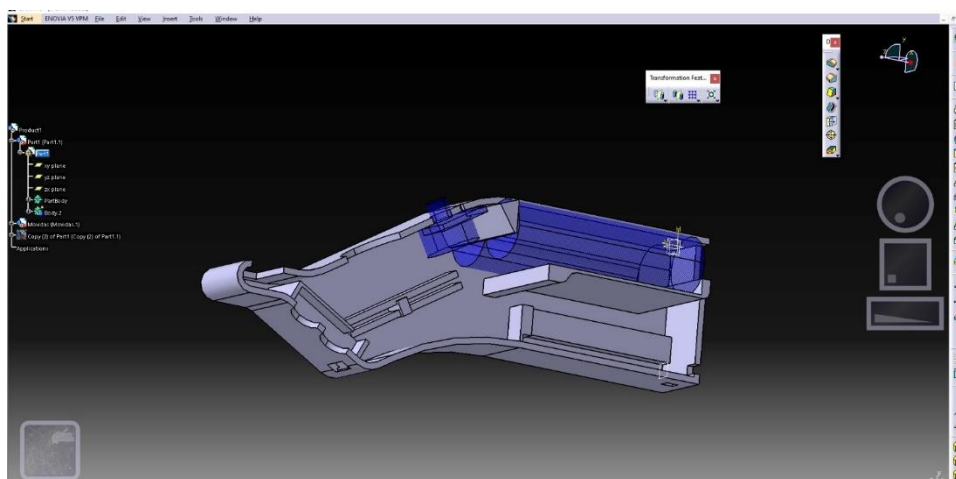


Figura 55. Diseño en CATIA V5 de la carcasa del transmisor.

El proceso de diseño y fabricación de la carcasa del transmisor se realizó utilizando la tecnología de impresión 3D. Para este fin, se utilizaron materiales resistentes y duraderos, como el

PLA (ácido poli láctico), que ofrece una combinación ideal de resistencia y facilidad de impresión.

El diseño de la carcasa se desarrolló cuidadosamente para garantizar una ergonomía óptima y una protección adecuada para los componentes electrónicos internos. Teniendo en cuenta mis habilidades y experiencia en diseño asistido por computadora (CAD), se realizaron iteraciones y ajustes en el diseño para lograr una carcasa funcional y estéticamente agradable.

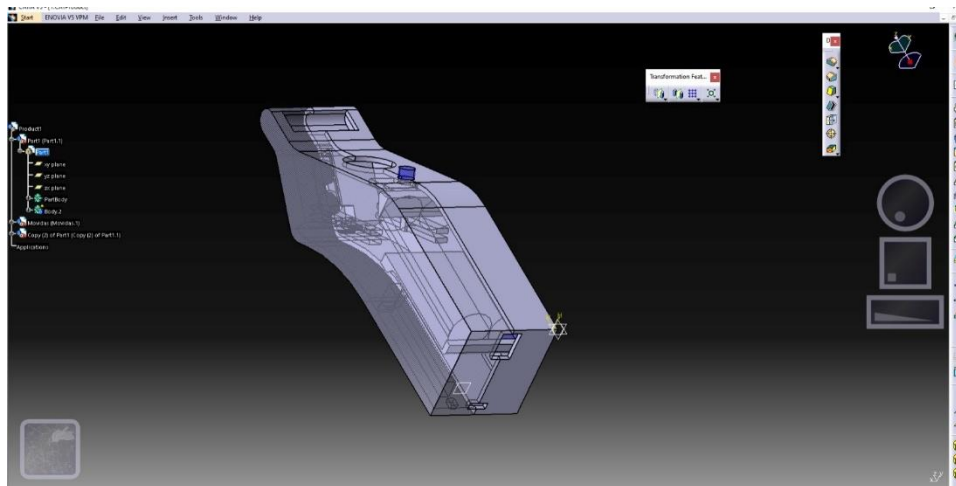


Figura 56. Diseño del transmisor en CATIA V5. Otra vista de la creación de la carcasa para el mando.

La carcasa del transmisor fue diseñada para ser resistente y estanca, protegiendo los componentes electrónicos del polvo, la humedad y otros factores ambientales adversos. Además, se tuvo en cuenta la accesibilidad a los componentes internos, como el ESP32, para permitir su re-flasheo o actualización en caso necesario. También se diseñaron ranuras y aberturas estratégicas para facilitar la carga de las baterías sin necesidad de desmontar la carcasa.

El proceso de impresión 3D permitió fabricar la carcasa de manera precisa y personalizada, asegurando un ajuste perfecto para los componentes internos del transmisor. La tecnología de impresión 3D brindó la flexibilidad necesaria para realizar modificaciones en el diseño según las necesidades específicas del proyecto.

Cabe mencionar que, gracias a mi experiencia en el manejo de software de diseño asistido por computadora, como CATIA, y mi conocimiento en impresión 3D, se logró un proceso fluido y eficiente. Esto permitió reducir al mínimo la necesidad de iteraciones en el diseño, logrando una versión final de la carcasa que cumple con los requisitos de resistencia, funcionalidad y estética.

En resumen, la impresión 3D de la carcasa del transmisor fue un paso crucial en el proceso de fabricación, brindando una solución robusta, estanca y ergonómica. El diseño cuidadosamente desarrollado, con ranuras y accesibilidad estratégica, garantiza la funcionalidad y facilidad de uso del transmisor, así como la protección adecuada de los componentes electrónicos en su interior.

6.4.3 Portabilidad del transmisor

La portabilidad del transmisor fue un aspecto importante a considerar en el proyecto, ya que se buscaba que fuera fácil de transportar y utilizar en diferentes entornos. Para lograr esto, se implementaron soluciones que permitieron su funcionamiento con baterías recicladas y se diseñó un sistema de carga eficiente, se muestra en la figura 57 el proceso de montaje.

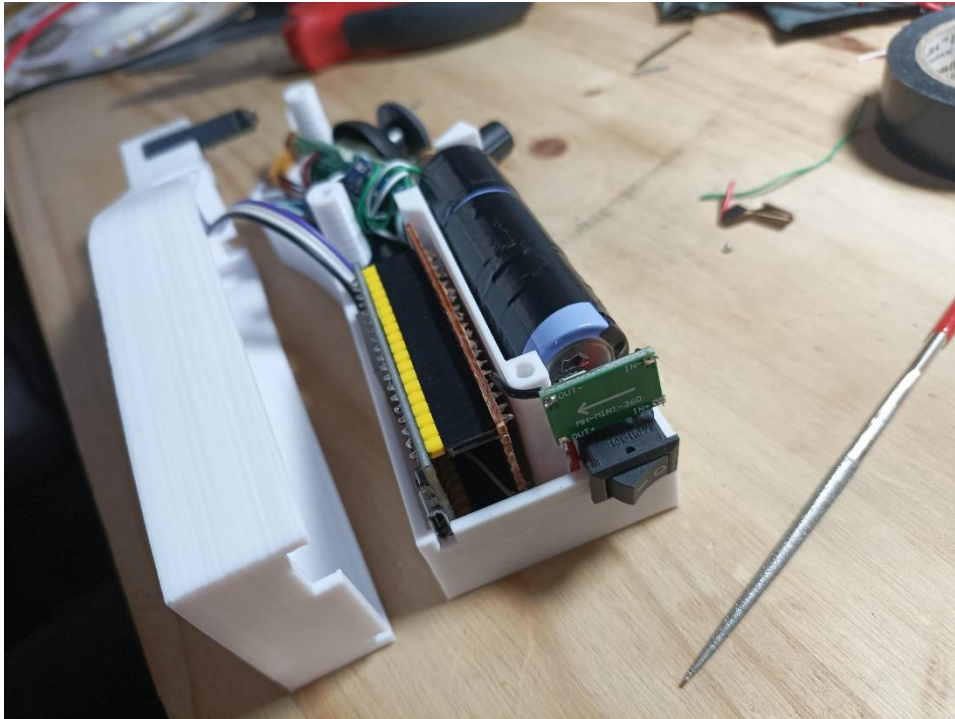


Figura 57. Montaje de los componentes electrónicos del transmisor en la carcasa diseñada e impresa en 3D.

Para proporcionar energía al transmisor de forma portátil, se utilizaron dos pilas recicladas del tipo 18650 provenientes de una batería de hoverboard dañada. Estas pilas se conectaron en serie para obtener el voltaje adecuado. Como la operación del transmisor requería un voltaje de 5V, se necesitó un rectificador de voltaje DSN MINI 360 para ajustar el voltaje de salida de las pilas.

Además, se incluyeron dos módulos de carga de baterías 18650 cuya luz podemos verla en las figuras 58 y 59. La razón de usar dos módulos de carga, permite cargar las pilas de forma simultánea y en paralelo. Esto aseguraba una carga equilibrada y segura de las baterías, evitando desequilibrios que pudieran afectar su rendimiento y durabilidad.



Figura 58. Transmisor una vez la carga de su batería está completa.

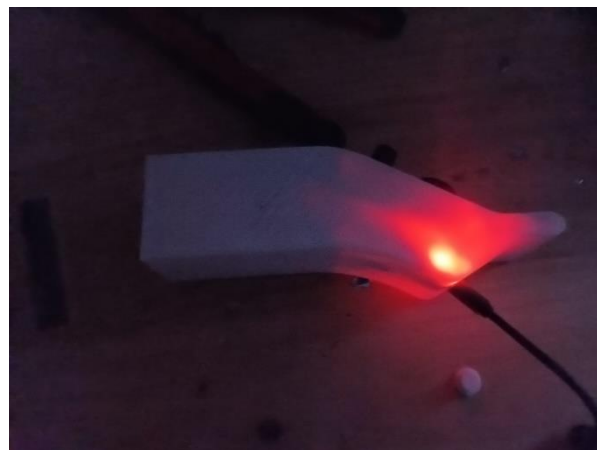


Figura 59. Transmisor durante el proceso de carga de batería.

El diseño del transmisor se adaptó para alojar las baterías 18650 y los módulos de carga, asegurando su correcta instalación y facilitando el acceso para reemplazar o cargar las baterías. Se diseñaron compartimentos y se utilizaron soportes impresos en 3D para mantener las baterías y los módulos de carga en su lugar de forma segura.

La implementación de este sistema de alimentación portátil proporcionó una mayor flexibilidad y autonomía al transmisor, permitiendo su uso en diferentes ubicaciones sin depender de una fuente de alimentación externa. Esto fue útil en las pruebas y demostraciones de la plataforma multifuncional en entornos donde no se podía tener una conexión de corriente constante. En la figura 60 se muestra la última parte del montaje del transmisor.

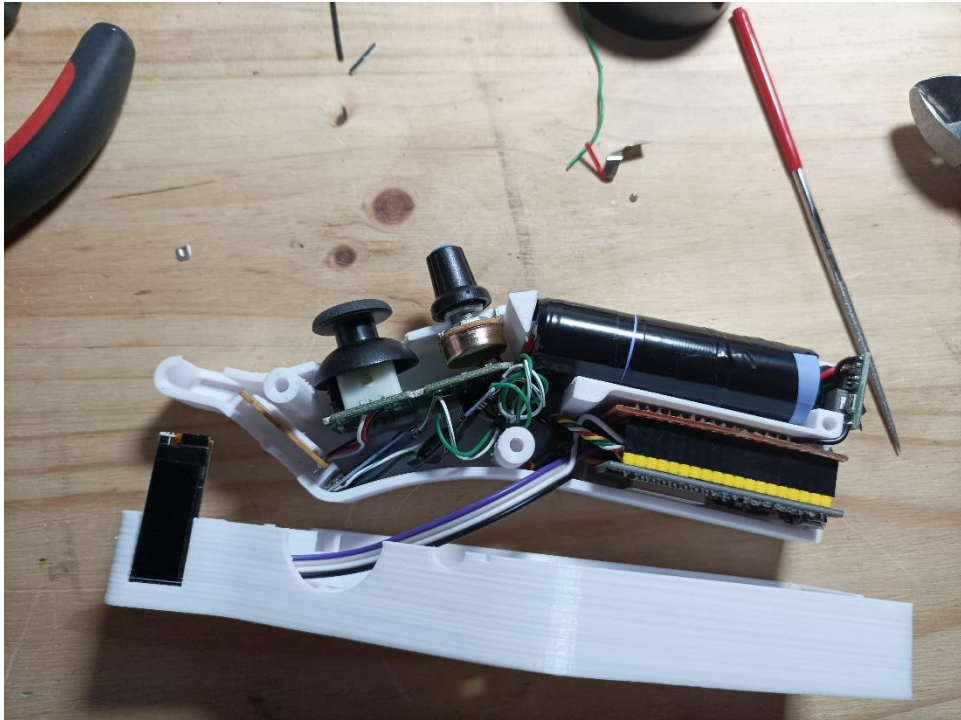


Figura 60. Vista del montaje del mando con sus componentes.

En resumen, la portabilidad del transmisor se logró mediante el uso de baterías recicladas, su conexión en serie y el empleo de un rectificador de voltaje para ajustar el voltaje de operación. La inclusión de módulos de carga de baterías permitió una carga equilibrada y eficiente. Estas soluciones aseguraron un funcionamiento portátil y autónomo del transmisor, lo que facilitó su uso en diversas situaciones sin limitaciones de alimentación externa.

Estas consideraciones sobre la portabilidad del transmisor refuerzan su versatilidad y su capacidad para adaptarse a diferentes entornos y necesidades, proporcionando una experiencia de control remoto práctica y conveniente.

6.4.4 Integración final

Descripción de la etapa en la que se integran los componentes electrónicos en la carcasa impresa en 3D. Se mencionan los ajustes realizados para asegurar un ensamblaje adecuado y un funcionamiento óptimo del transmisor.

En la etapa de integración final, se ensamblaron los componentes electrónicos en la carcasa impresa en 3D del transmisor. Esta etapa fue crucial para garantizar un funcionamiento óptimo y una apariencia estética del dispositivo.

Durante el proceso de integración, se realizaron ajustes y adaptaciones para asegurar un ensamblaje adecuado de los componentes en la carcasa. Se verificó la correcta alineación de los botones, palancas y controles con las aberturas correspondientes en la carcasa, asegurando así un fácil acceso y un uso cómodo del transmisor.

Asimismo, se prestaron especial atención a la organización y enrutamiento de los cables internos para evitar interferencias y garantizar un aspecto ordenado en el interior del transmisor. Se utilizaron abrazaderas y sujetadores adecuados para asegurar los cables en su lugar y evitar movimientos no deseados durante el uso.

Además, se realizaron pruebas de funcionamiento después de la integración para verificar que todos los componentes estuvieran correctamente conectados y que el transmisor respondiera de manera adecuada a los comandos del usuario. Esto incluyó verificar la precisión del joystick, la función de los botones y palancas, y la visualización correcta de la información en la pantalla OLED. Todas las pruebas fueron grabadas en vídeo, en la figura 61 podemos ver una captura de pantalla de vídeo de la prueba final.

En resumen, la etapa de integración final fue crucial para asegurar un ensamblaje adecuado y un funcionamiento óptimo del transmisor. Los ajustes realizados durante esta etapa garantizaron una alineación precisa de los componentes, una organización ordenada de los cables y un aspecto estético final del dispositivo. El acabado final en la carcasa impresa en 3D agregó un toque de calidad y protección adicional al transmisor, brindando una experiencia satisfactoria al usuario.



Figura 61. Ensamblaje final del transmisor.

7 Conclusiones

En el apartado de conclusiones, se presentan los resultados y las reflexiones finales sobre el proyecto. Se resumen los logros alcanzados, los desafíos enfrentados y las lecciones aprendidas durante el desarrollo del proyecto. Además, se plantean posibles líneas de mejora y recomendaciones para futuras iteraciones.

En cuanto a los logros, se destaca el diseño y construcción exitosa de la plataforma motorizada, que cumple con los objetivos establecidos. Se resalta la versatilidad y eficiencia del vehículo, así como su capacidad para realizar pruebas de carga en estructuras de manera segura y precisa.

En términos de desafíos, se mencionan las dificultades encontradas durante la selección de componentes y la integración de los diferentes sistemas. También se destaca la importancia de abordar consideraciones éticas, de seguridad y medioambientales en el desarrollo de proyectos tecnológicos.

Como recomendaciones para futuras iteraciones, se sugiere explorar mejoras en el diseño mecánico, la selección de componentes y la programación. Se resalta la importancia de una colaboración multidisciplinaria y el uso de tecnologías más avanzadas para mejorar la autonomía y el rendimiento del vehículo.

En conclusión, el proyecto ha sido un éxito en términos de cumplimiento de objetivos y desarrollo de una plataforma versátil y eficiente. Se reconocen los desafíos enfrentados y se presentan recomendaciones para futuras mejoras, con el objetivo de seguir avanzando en el campo de las pruebas de carga y la movilidad motorizada.

7.1 Resultados

En este apartado, se presentan los resultados obtenidos a lo largo del proyecto. Se destacan los logros alcanzados en términos de construcción del prototipo, funcionalidad del sistema de control remoto y capacidad de seguimiento de líneas. Se resaltan los aspectos exitosos y se proporcionan datos o ejemplos relevantes que respalden los resultados obtenidos.



Figura 62. Captura de vídeo donde se aprecia el funcionamiento del prototipo transportando a una persona.

Durante el desarrollo y la implementación del proyecto, se lograron resultados satisfactorios que superaron las expectativas iniciales. A continuación, se presentan los principales logros alcanzados en cada etapa del proyecto:

En cuanto a la construcción del prototipo, se logró ensamblar de manera exitosa todas las partes mecánicas, electrónicas y de software necesarias para el funcionamiento del vehículo. El diseño del bastidor estructural utilizando perfiles de aluminio y tablero de carroceros demostró ser robusto y resistente, proporcionando una base sólida para los demás componentes, y haciendo posible el transporte de carga a las velocidades requeridas, como se muestra en las figuras 62 y 63.



Figura 63. Prueba donde se está sometiendo al prototipo a una carga realizada con pesos.

En la parte electrónica, se aprovecharon los componentes reciclados de los hoverboards, como las placas base hackeadas y los motores originales, lo que permitió reducir considerablemente la cantidad de componentes necesarios y simplificar el sistema. La comunicación entre el transmisor y el receptor se estableció de manera confiable mediante el uso de protocolos de comunicación como ESP-NOW. Además, se logró integrar de manera efectiva los componentes adicionales, como el ESP32, el joystick y la pantalla OLED, para proporcionar un control preciso y una retroalimentación visual al usuario.

En la parte de software, se desarrollaron algoritmos de control tanto para el control remoto como para el seguimiento de líneas. La programación realizada en el ESP32 utilizando el Arduino IDE en lenguaje C++ permitió interpretar los comandos del usuario y enviar las señales correspondientes al vehículo de forma rápida y precisa. Se implementaron funciones para ajustar la velocidad, la dirección y la respuesta del vehículo, lo que garantizó un control intuitivo y satisfactorio por parte del usuario.

En cuanto al seguimiento de líneas, se logró una detección confiable de las líneas con sensores IR, lo que permitió al vehículo mantenerse en el camino deseado y ajustar la velocidad y la dirección si fuera necesario. Los algoritmos de control desarrollados aseguraron una respuesta ágil y precisa del vehículo a las lecturas de los sensores, lo que resultó en un seguimiento de líneas efectivo y sin desviaciones significativas.

En resumen, se cumplieron todos los objetivos planteados inicialmente, e incluso se superaron en función de la versatilidad y eficiencia del resultado obtenido. El prototipo demostró un

desempeño destacable en términos de construcción, funcionalidad y capacidad de seguimiento de líneas. Los resultados obtenidos respaldan la viabilidad y el éxito del proyecto, ofreciendo una solución eficiente y controlable para aplicaciones de control remoto y seguimiento de líneas.



Figura 64. Prueba de carga estática del prototipo final con una persona encima.

7.2 Líneas de mejora

En este apartado, se exploran las oportunidades de mejora y las recomendaciones para futuras iteraciones del proyecto. Se consideran aspectos relacionados con el diseño mecánico, la selección de componentes, la programación y otros elementos que podrían beneficiarse de ajustes o mejoras adicionales. Se presentan argumentos y sugerencias respaldadas por ideas que buscan potenciar el desarrollo y desempeño del proyecto.

A continuación, se enumeran varias líneas de mejora y recomendaciones para futuras iteraciones del proyecto:

7.2.1 Mejora del código

Es importante destacar que, aunque como ingeniero mecánico he logrado obtener resultados satisfactorios en términos de programación, se recomienda contar con la asistencia de un profesional en el área de programación para optimizar y mejorar el código. Un experto en

programación podría realizar una revisión exhaustiva del código, identificar posibles mejoras en la eficiencia, la estructura y la legibilidad, y aplicar técnicas avanzadas de programación para obtener un código más robusto y escalable.

7.2.2 Gestión de las baterías recicladas

Dado que se utilizaron baterías recicladas en el proyecto, es importante señalar que existe un riesgo potencial asociado con su uso. Para una gestión más segura y eficiente de la energía, se recomienda la intervención de un ingeniero eléctrico. Un profesional en este campo podría evaluar la calidad y capacidad de las baterías utilizadas, implementar sistemas de protección adecuados y garantizar una gestión óptima de la energía para maximizar la vida útil de las baterías y minimizar los riesgos asociados.

7.2.3 Reforzamiento de la estructura mecánica

Si se busca incrementar la potencia de los motores o mejorar la resistencia de la estructura mecánica, se podrían considerar ajustes adicionales en el diseño. Para lograr una mayor resistencia y estabilidad, se podrían utilizar anclajes más robustos y reforzar la estructura del bastidor con materiales más resistentes. Además, si se desea aumentar la velocidad del vehículo, se podría explorar la opción de utilizar motores externos con transmisión por correas o cadena para lograr un mayor rendimiento y velocidad.

7.2.4 Otros aspectos de mejora

Además de las áreas mencionadas anteriormente, existen otros aspectos que podrían beneficiarse de mejoras adicionales. Algunas sugerencias incluyen:

- Mejora de la ergonomía del transmisor: Evaluar la comodidad y la accesibilidad de los controles y los botones del transmisor para garantizar una experiencia de control óptima.
- Implementación de sistemas de seguridad adicionales: Considerar la incorporación de sistemas de seguridad como fusibles, protecciones contra cortocircuitos o sistemas de apagado automático para garantizar la seguridad tanto del transmisor como del receptor.
- Exploración de opciones de comunicación inalámbrica: Investigar la posibilidad de utilizar otros protocolos de comunicación inalámbrica, como Bluetooth o WiFi, para una mayor flexibilidad y compatibilidad con otros dispositivos.

Estas son solo algunas de las líneas de mejora y recomendaciones para futuras iteraciones del proyecto. Cada una de ellas puede ser adaptada y ajustada según los objetivos y necesidades específicas del proyecto en cuestión.

7.3 Consideraciones adicionales

En este apartado, se incluyen consideraciones adicionales relevantes que puedan surgir a partir del desarrollo del proyecto del vehículo. Esto puede incluir aspectos éticos, de seguridad o medioambientales que hayan surgido durante el proyecto y que sean importantes mencionar. También se pueden incluir comentarios sobre la aplicabilidad del proyecto en otros contextos o su impacto potencial en la industria, la academia u otras áreas.

En el apartado de "Conclusiones", se resumen los resultados obtenidos, se plantean líneas de mejora y se presentan consideraciones adicionales pertinentes al proyecto del vehículo. Estas conclusiones ofrecen una visión global del proyecto, destacando tanto los logros alcanzados como las áreas que podrían beneficiarse de futuras mejoras y consideraciones adicionales que puedan ser relevantes.

Durante el desarrollo del proyecto del vehículo, surgieron algunas consideraciones adicionales que vale la pena mencionar:

- **Aspectos éticos:** En el diseño y construcción de cualquier proyecto, es importante considerar los aspectos éticos involucrados. Para el vehículo, se debe considerar el uso responsable y garantizar que su operación no cause daños o molestias a personas, animales o propiedades. Además, es fundamental respetar las leyes y regulaciones aplicables en cuanto a la operación de vehículos radiocontrolados en determinadas áreas o entornos.
- **Seguridad:** La seguridad es un aspecto crítico en cualquier proyecto. Es esencial tener en cuenta las precauciones necesarias para garantizar un funcionamiento seguro del vehículo. Esto puede incluir el uso de sistemas de protección como fusibles, circuitos de apagado automático en caso de fallas, así como la selección de materiales y componentes seguros y confiables.
- **Consideraciones medioambientales:** Al utilizar baterías recicladas en el proyecto, se está contribuyendo al esfuerzo de reducir el impacto medioambiental. Sin embargo, es importante tener en cuenta la correcta disposición y reciclaje de las baterías usadas, siguiendo las regulaciones y normativas correspondientes. Además, se puede explorar el uso de baterías más eficientes y sostenibles en futuras iteraciones del proyecto.
- **Aplicabilidad en otros contextos:** La plataforma multidisciplinar puede tener aplicaciones en diferentes contextos, como la industria, la academia o incluso en el ámbito recreativo. Las tecnologías y soluciones desarrolladas pueden ser adaptadas y utilizadas en otros proyectos similares, brindando oportunidades de investigación, aprendizaje y diversión en distintas áreas.

Estas consideraciones adicionales resaltan la importancia de abordar aspectos éticos, de seguridad y medioambientales en el desarrollo de proyectos, y también señalan las posibilidades de aplicabilidad y potencial impacto en otros ámbitos. Al considerar estos aspectos, se fomenta un enfoque integral y responsable en el diseño y desarrollo de proyectos tecnológicos.

7.3.1 Estimación de horas

En este apartado se realiza una estimación de las horas dedicadas al desarrollo del proyecto. Se detallan las diferentes etapas del proyecto, desde el diseño y la adquisición de materiales hasta el ensamblaje y las pruebas finales. Se incluyen también las horas dedicadas a la programación, ajustes y mejoras. Esta estimación de horas muestra el esfuerzo y tiempo requeridos para el proyecto.

Dado que el desarrollo de un proyecto de tal magnitud implica varias etapas, como diseño, construcción, programación y pruebas, la estimación aproximada de las horas requeridas para cada etapa es complicada de determinar, ya que ha habido mucho trabajo cruzado vinculando electrónica con programación, y con la funcionalidad mecánica:

1. Elaboración del prototipo de seguimiento de líneas y estudio del PID: 20-30 horas
 - Diseño y construcción del prototipo utilizando piezas de Lego u otros materiales disponibles.
 - Estudio y comprensión de los principios y funcionamiento del controlador PID (Proporcional, Integral y Derivativo).
 - Pruebas y ajustes del prototipo para lograr un seguimiento de líneas satisfactorio utilizando el controlador PID.
2. Diseño y planificación: 60-70 horas
 - Definición de los requisitos del vehículo
 - Diseño del chasis y la estructura mecánica
 - Diseño del controlador y su impresión en 3D con los ajustes necesarios
 - Selección de componentes electrónicos y sensores
 - Planificación del sistema de control remoto y seguimiento de líneas
3. Construcción y ensamblaje: 60-70 horas
 - Corte y montaje de los componentes mecánicos
 - Conexión de los componentes electrónicos y sensores
 - Soldadura de cables y conexiones eléctricas
 - Pruebas preliminares de los componentes individuales
 - Diseño de piezas para su impresión en 3D
4. Programación: 300-320 horas
 - Configuración y programación del microcontrolador (ESP32, Arduino, etc.)
 - Investigación y familiarización con el software necesario (Arduino IDE, PlatformIO, etc.)
 - Configuración y programación de las placas madre de los hoverboard
 - Desarrollo de algoritmos de control remoto y seguimiento de líneas
 - Implementación de la comunicación entre el transmisor y el receptor
 - Funciones implementadas en el transmisor para su control total
 - Ajustes y pruebas de la lógica de control y la respuesta del vehículo
5. Pruebas y ajustes: 50-60 horas
 - Realización de pruebas de funcionamiento y rendimiento
 - Ajustes en los algoritmos de control y parámetros del vehículo
 - Evaluación de la estabilidad y precisión del control remoto

- Optimización del seguimiento de líneas y la detección de obstáculos

Dada esta estimación de horas, se podría establecer un intervalo de unas 490-550 horas.

7.3.2 Estimación de costes

En este apartado se realiza una estimación de los costes asociados al desarrollo del proyecto. Se detallan los diferentes elementos y componentes utilizados en el proyecto, así como su costo aproximado. También se incluyen los costes asociados al prototipo previo con LEGO, materiales consumibles y cualquier otro gasto relevante. Esta estimación de costes ofrece una visión de la inversión económica necesaria para el proyecto.

Es importante tener en cuenta que estos costes son aproximados y pueden variar según el proveedor y la ubicación geográfica.

- 4 piezas L298N: 13,98€
- Jumper Wires Kit Cables: 11,99€
- 5x Módulo Joystick: 8,99€
- Componentes Lego: 20€
- Sensores QTR-8RC: 8,99€
- 5x Sensores IR: 8,99€
- 3x Arduino Nano: 9,99€
- ESP32: 22,99€
- NRF24L01: 10,49€
- Hoverboard: El precio del hoverboard puede variar dependiendo de la marca y la calidad. Y dado que son productos de segunda mano, el precio osciló entre los 20€ y 40€ por cada uno. Se usaron finalmente 2 pero se estropearon 3 dadas las circunstancias descritas anteriormente.
- Tableros Carrocero: 14€
- Perfiles Fasten: 16€
- 200 barras de pegamento de pistola térmica: 14,99€
- Estaño: 9,99€
- DC-DC MP1584: 11,62€
- ST-Link V2 Mini STM: 9,59€
- 10x módulos de carga 18650 5V 1A: 9,99€

Es importante tener en cuenta que esta lista de componentes y costes es solo una estimación general y puede haber otros gastos adicionales relacionados con herramientas, consumibles y posibles ajustes o mejoras en el proyecto.

Sumando todos estos componentes conocidos, el coste estimado sería de aproximadamente 330€, dando por hecho que hay más unidades de las necesarias para el proyecto, y muchos componentes que finalmente fueron descartados, y otros destruidos durante el proceso y pruebas.

El coste unitario del proyecto si se tuviese que construir de nuevo y sin fallos sería de unos 100€ aproximadamente.

En resumen, los apartados de "Estimación de horas" y "Estimación de costes" proporcionan información adicional sobre los recursos dedicados al proyecto de la plataforma multifunción. Estas estimaciones son útiles para evaluar el esfuerzo y la inversión requeridos, así como para realizar una planificación adecuada de los recursos necesarios en futuros proyectos similares.

Referencias

Nota: todas las referencias a internet han sido accedidas por última vez en junio de 2023.

- [1] Hoverboard. <https://patents.google.com/patent/US8738278B2>
- [2] ESP32. <https://www.digikey.com/es/articles/how-to-select-and-use-the-right-esp32-wi-fi-bluetooth-module>
- [3] Arduino. <https://www.arduino.cc/en/about>
- [4] <https://es.aliexpress.com/item/32780716477.html>
- [5] ESP-NOW. <https://www.espressif.com/en/solutions/low-power-solutions/esp-now>
- [6] Lego. <https://www.express.co.uk/entertainment/books/411441/How-LEGO-took-over-the-world>
- [7]L293D. <https://www.digikey.com/es/products/detail/texas-instruments/L293N/1509928>
- [8]L298N. <https://www.digikey.com/es/products/detail/stmicroelectronics/L298N/585918>
- [9] TB6612FNG. <https://www.digikey.com/es/products/detail/toshiba-semiconductor-and-storage/TB6612FNG-C-8-EL/1730070?s=N4lgTCBcDaICoCEBsSCMYBiA5A4gAhAF0BfIA>
- [10] https://www.amazon.es/OcioDual-Controlador-Motores-Driver-Step-per/dp/B07YNR5KWP/ref=asc_df_B07YNR5KWP/?tag=googshopes-21&linkCode=df0&hvadid=628580889748&hvpos=&hvnetw=g&hvrand=11939731281435483024&hvpone=&hvptwo=&hvqmt=&hvdev=c&hvdvcmld=&hvlocint=&hvlocphy=1005546&hvtargid=pla-1875528526707&pvc=1
- [11] QTR-8RC. <https://www.digikey.com/es/products/detail/pololu-corporation/961/10450566?s=N4lgTCBcDaII4BcBOBaAHEgxiAugXyA>
- [12] <https://dynamoelectronics.com/tienda/sensor-linea-qtr-8c-digital/>
- [13] <https://es.aliexpress.com/item/1005002288493537.html>
- [14] <https://www.instructables.com/Line-Follower-Robot-PID-Control-Android-Setup/>
- [15] <https://www.instructables.com/Line-Follower-Robot-PID-Control-Android-Setup/>
- [16] <https://roboticafacil.es/prod/rueda-loca/>
- [17] https://www.repuestosfuentes.es/repuesto-rueda-con-motor-integrado-36v-350w-hoverboard-6-5-usada-80224.html?gclid=CjwKCAjw4ZWkBhA4EiwAVJXwqcYl21HCyZESHqcqFP0vTYI9hqJShAVei-VmkinbMhIa9SZPyMIyKR0CxxsQAvD_BwE
- [18] Shaker aps 113 <https://www.apsdynamics.com/en/products/details/vibration-exciter/aps-113.html>

- [19] Raspberry Pi. <https://www.raspberrypi.com/documentation/>
- [20] STM32. <https://www.digikey.com/es/products/detail/stmicroelectronics/STM32F070CBT6TR/5268203>
- [21] <https://www.msesupplies.com/blogs/news/source-of-detrimental-dendrite-growth-in-lithium-batteries-discovered>
- [22] https://www.elconfidencial.com/tecnologia/novaceno/2021-05-13/coche-electrico-bateria-solida_3078859/
- [23] PlatformIO. <https://docs.platformio.org/en/latest/>
- [24] Visual Studio Code. <https://code.visualstudio.com/learn>
- [25] ZADIG 2.8. <https://zadig.akeo.ie/#:~:text=Zadig%20is%20a%20Windows%20application,using%20a%20libusb%2Dbased%20application>
- [26] Ultimaker Cura. https://ultimaker.com/software/ultimaker-cura/?gad=1&gclid=CjwKCAjwvpCkBhB4EiwAujULMvE80q1f_vqjGULIYqQBUpqhutSbu-yElhNIRJBcbaz-9As4SW7RUPBoCTfEQAvD_BwE

Anexos

Anexo A: Vista 3D de la plataforma multidisciplinar.

Anexo B: Vista 3D del dispositivo transmisor.

