

WRO

Futuros ingenieros 2025

Diario de ingeniería

Nombre del Equipo: Encore

Miembros del equipo:

José Heráldez

Abel Herrera

Pablo González

Entrenador:

Octavio Herrera

# Tabla de Contenidos

1	Resumen ejecutivo.....	2
2	Introducción .....	3
2.1	Objetivos:.....	3
3	Proceso de diseño y desarrollo .....	3
3.1	Material utilizado.....	3
3.2	Configuración general .....	8
3.2.1	Fotos del robot .....	8
3.2.2	Otros detalles generales .....	13
3.3	Descripción del chasis.....	13
3.4	Sistema de dirección .....	14
3.4.1	Proceso de Diseño e Implementación.....	15
3.4.2	Análisis de Componentes del Sistema.....	15
3.4.3	Justificación y Ventajas del Diseño .....	16
3.5	Sistema de propulsión.....	17
3.5.1	Diseño inicial y problemas de torque .....	17
3.5.2	Iteración y solución .....	17
3.5.3	Montaje del motor y estructura de soporte.....	17
3.5.4	diseño del eje y estabilidad.....	18
3.6	Diseño eléctrico .....	19
3.6.1	Controladores.....	21
3.6.2	Sensores .....	21
3.6.3	Otros .....	21
3.7	Gestión de energía .....	22
4	Diseño del código/programación .....	22
5	Resultados y demostración .....	22
6	Conclusiones.....	22
7	Aspectos por mejorar .....	22

# 1 Resumen ejecutivo

El presente documento detalla el diseño y desarrollo del robot "Encore", un vehículo autónomo creado para la competencia WRO Futuros Ingenieros 2025. El sistema se centra en una Raspberry Pi 5 que procesa datos de una webcam y un sensor ultrasónico HC-SR04 para la navegación. Partiendo de un chasis Ackerman prefabricado para acelerar el desarrollo, el diseño evolucionó hacia un sistema modular de dos niveles con placas de acrílico cortadas a medida, optimizando la estructura y reduciendo significativamente el peso total del robot de 1700 g a 1217 g. Durante el proceso se superaron desafíos críticos, incluyendo la falta de torque en el sistema de propulsión, solucionada al invertir la relación de engranajes a una de reducción 7:9, y una gestión de energía insuficiente, resuelta al implementar un sistema de alimentación dual con una power bank para la Raspberry Pi y dos baterías de 9V en paralelo para el motor. El robot cuenta con un sistema de dirección Ackerman mejorado para maniobras precisas y un software multihilo para el procesamiento de datos en tiempo real. Aunque se lograron avances significativos, el proyecto continúa mejorando.

## 2 Introducción

Esta documentación (Diario de ingeniería) le presentará el desarrollo del proyecto Encore, detallando las secciones listadas en las reglas de la WRO-Futuros ingenieros.


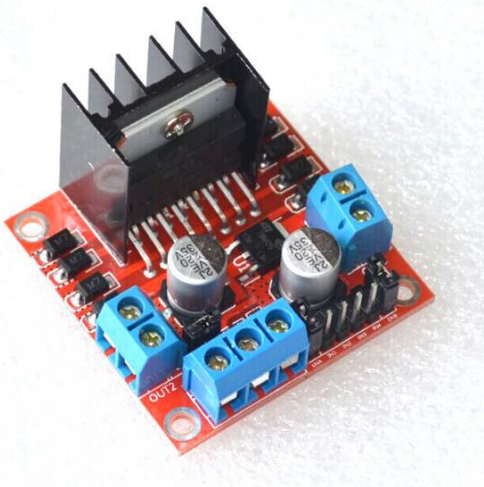
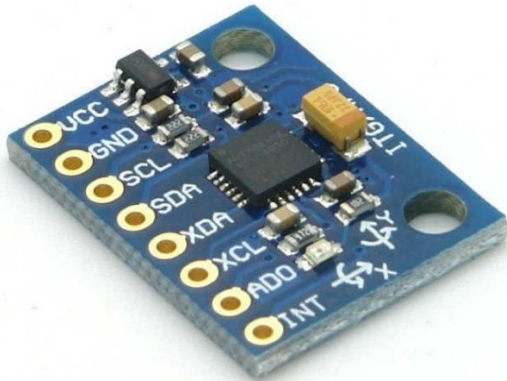
### 2.1 Objetivos:


- Diseñar un vehículo robot autónomo usando la mecánica, electrónica y visión computarizada.
- Comprender la importancia de los robots autónomos para el mundo.





## 3 Proceso de diseño y desarrollo



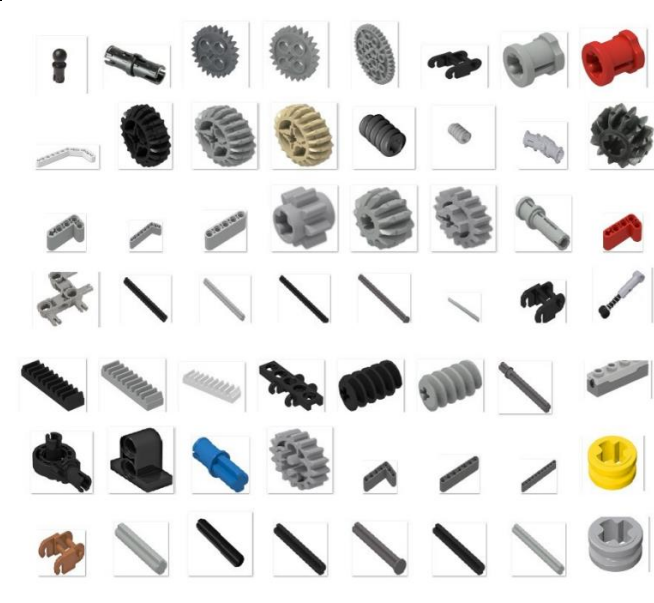
### 3.1 Material utilizado

A continuación, se presenta una lista con todos los materiales utilizados en el proyecto.

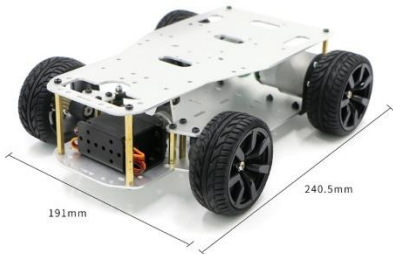
<b><u>Material</u></b>	<b><u>Descripción</u></b>	<b><u>Imagen</u></b>
<b>Raspberry Pi 5 8GB</b>	El cerebro del robot; un potente microordenador que ejecuta el código y procesa la información.	
<b>L298N</b>	Un controlador de motores que permite controlar la dirección y velocidad de los motores DC.	
<b>MPU6050</b>	Un sensor de movimiento (acelerómetro y giroscopio) para medir la orientación y la inclinación del robot.	

<p><b>HC-SR04</b></p>	<p>Un sensor ultrasónico que mide la distancia a los objetos para la detección de obstáculos.</p>	 <p>The image shows an HC-SR04 ultrasonic sensor module. It is a blue printed circuit board (PCB) with two large, circular, silver-colored mesh speakers on either side of a central ultrasonic transducer. The text 'HC-SR04' is printed on the board. Four pins are visible at the bottom, labeled 'vcc', 'trig', 'echo', and 'gnd'.</p>
<p><b>webcam genérica</b></p>	<p>La cámara del robot, utilizada para la visión por computadora (detectar colores, formas, etc.).</p>	 <p>The image shows a generic webcam with a black plastic body and a silver lens. It has a small orange light indicator on the side and is mounted on a black adjustable stand.</p>
<p><b>Servomotor genérico</b></p>	<p>Un motor para movimientos precisos y controlados, usado para la dirección.</p>	 <p>The image shows a generic servo motor, specifically a 'Power HD' model. It is a black plastic housing with a gold-colored potentiometer on top. Three wires (red, white, and black) are connected to the bottom. The text 'Power HD' and 'SATOHI ELECTRONICS' are visible on the side. A small watermark 'www.pololu.com' is at the bottom left.</p>
<p><b>Protoboard</b></p>	<p>Placa para construir los circuitos sin la necesidad de soldar.</p>	 <p>The image shows a standard breadboard (protoboard) with a white plastic base and a grid of holes. It has two rows of power rails on the left and right sides, labeled with '+' and '-' signs. The central area contains a grid of holes for components, with labels '1' through '40' on the left and 'A' through 'H' on the right.</p>

<b>Motor DC (metal)</b>	<p>El motor principal con engranajes de metal, encargado de la propulsión y el movimiento de las ruedas.</p>	
<b>Powerbank Romoss (10000mAh)</b>	<p>Fuente de poder exclusiva para la Raspberry Pi 5.</p>	
<b>Batería 9v</b>	<p>Fuente de poder exclusiva para la parte mecánica y sensores.</p>	
<b>Cables Dupont</b>	<p>Interconexiones entre los módulos.</p>	

<p><b>tornillería</b></p>	<p>Sujeción del chasis y parte del motor.</p>	
<p><b>Láminas de acrílico</b></p>	<p>Bases para el chasis, reemplazaron a las láminas de metal pesadas.</p>	
<p><b>Piezas LEGO-Technic</b></p>	<p>Sujetan el motor, conforman el eje principal y sus engranajes.</p>	



<p>Chasis Akerman Prefabricado</p>	<p>Utilizado como base para la construcción del robot.</p>	
--	--	--

### 3.2 Configuración general

El diseño del robot parte de un kit Akerman desmontado, utilizado con el objetivo de no sobrecargar al equipo en diseñar una estructura de cero y poder evidenciar avances rápido, la elección de un chasis prefabricado fue buena para tener una base sólida para trabajar, pero que trajo múltiples problemas como: la necesidad de cambiar el sistema de propulsión, problemas de peso excesivo, complejidad a la hora de mejorar el sistema Akerman de dirección...

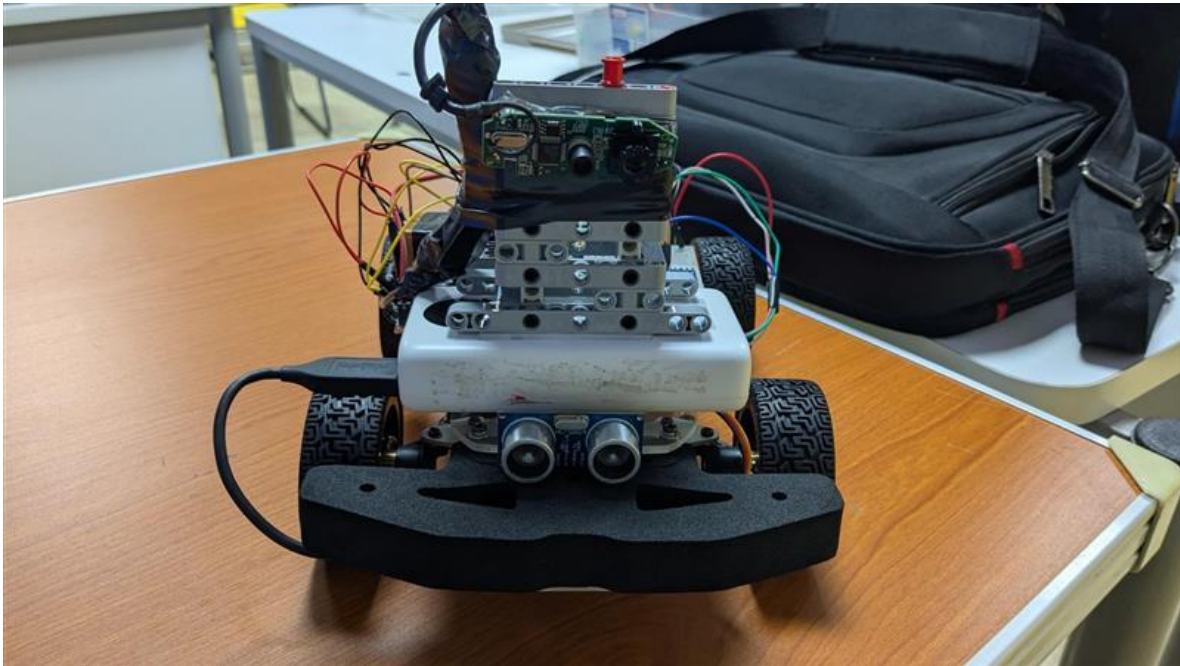


#### 3.2.1 Fotos del robot

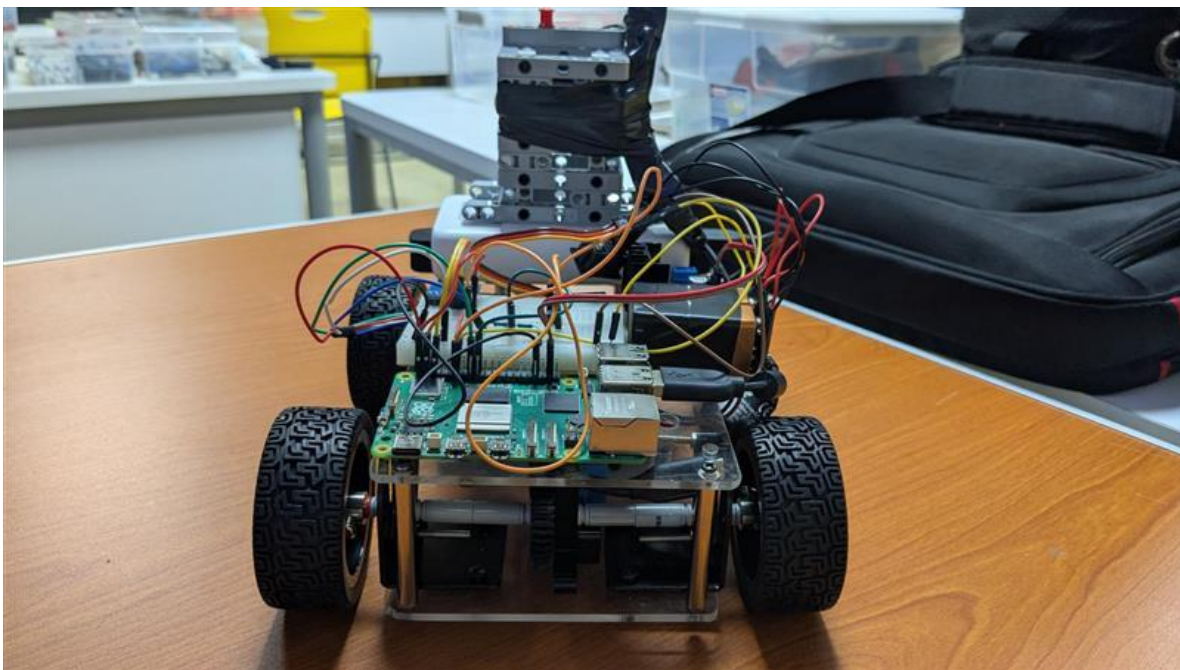
Se presentan fotos del robot desde cada ángulo.

- Frontal:

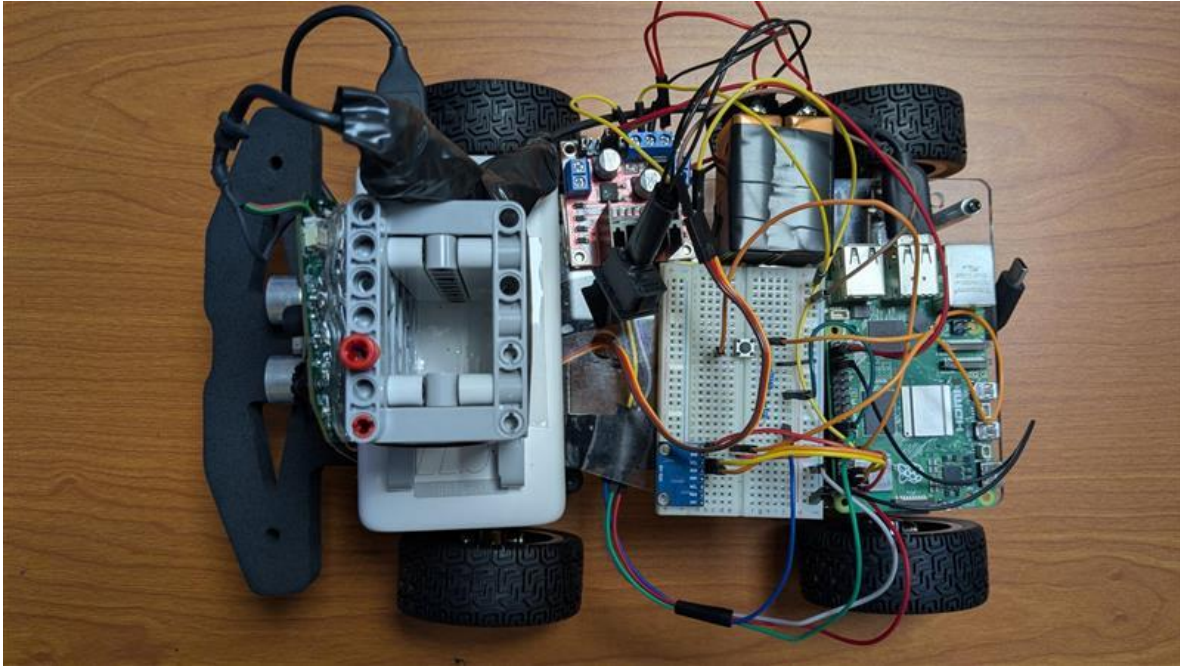




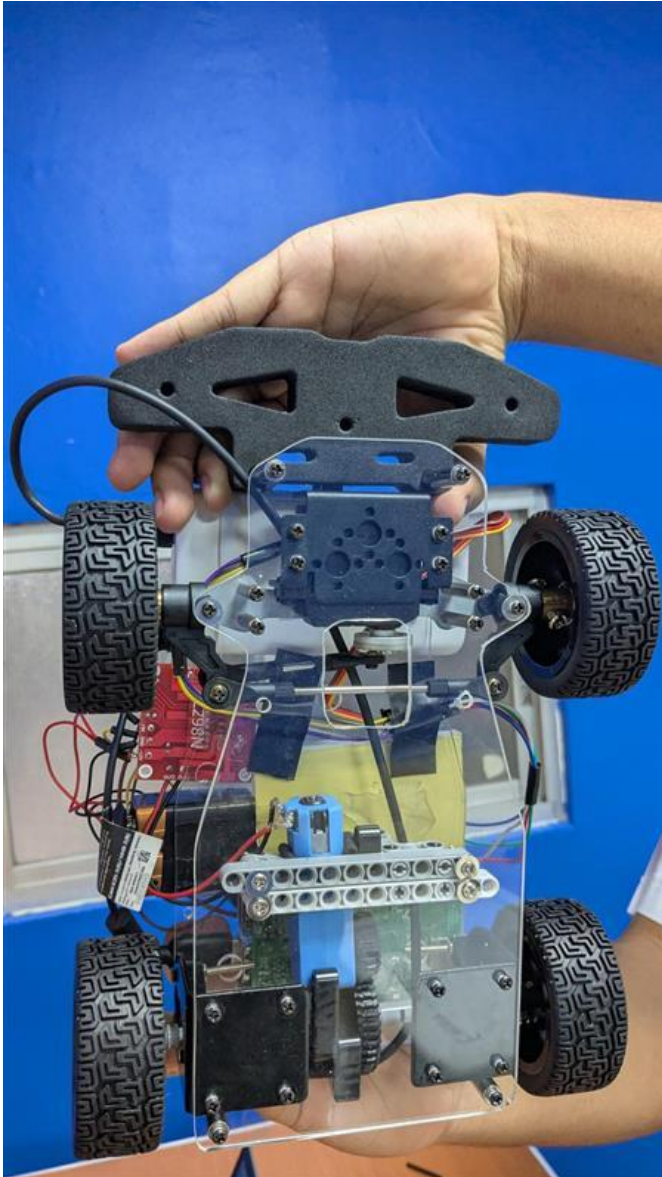
- Trasera:



- Superior:

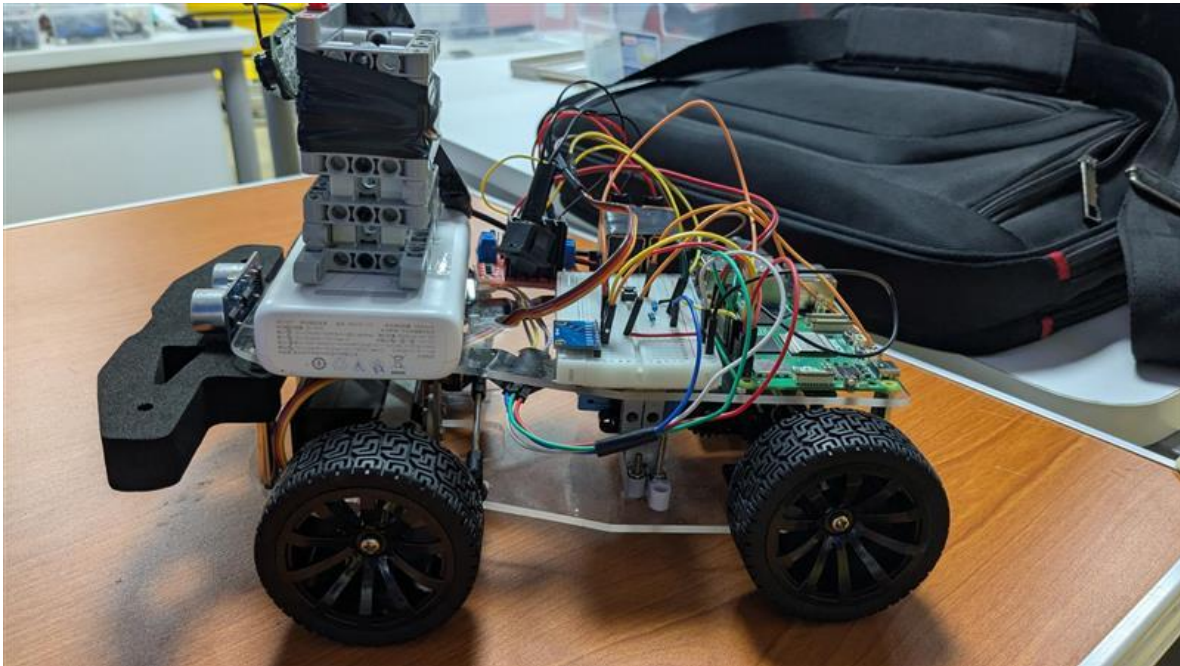


- Inferior:

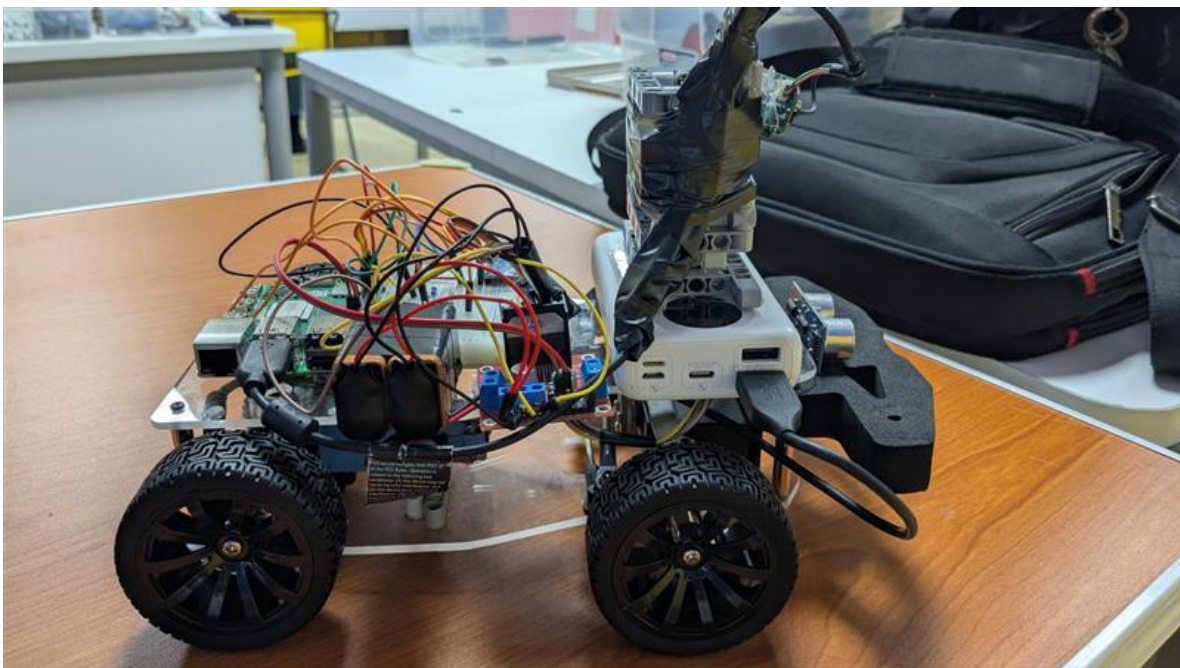


- Lateral 1:

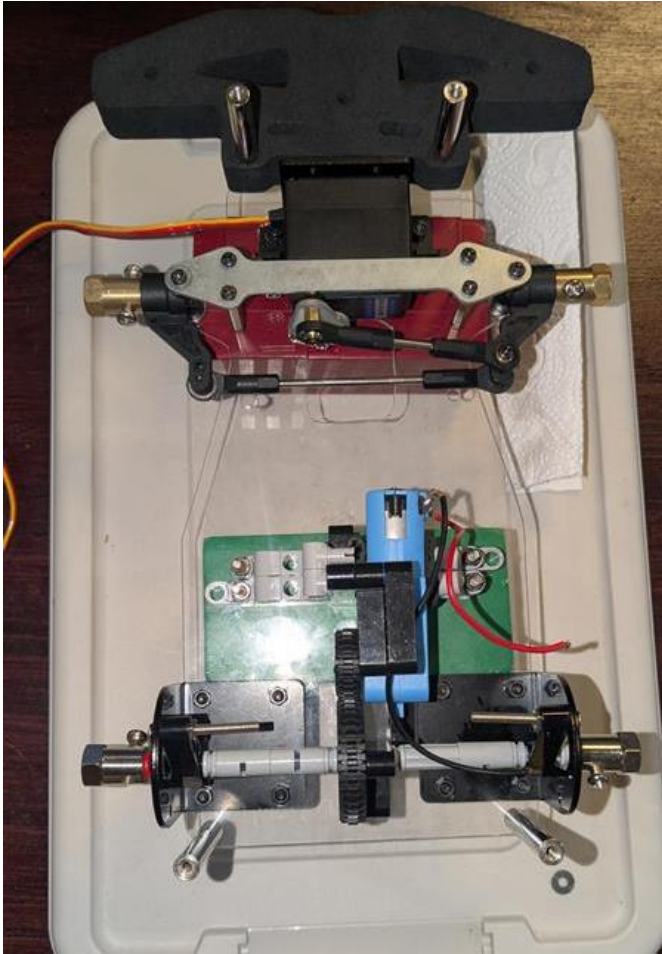




- Lateral 2:



- Primer nivel:



### 3.2.2 Otros detalles generales

- Propulsión: Motor DC fijado con piezas de LEGO Technic.
- Dirección: Sistema Akerman Mejorado.
- Dimensiones: Largo: 27.5 cm, 18.5 cm de ancho y 19.5 de alto.
- Energía: Una powerbank de 10000mAh y dos baterías de 9v.
- Manejo de circuito: Protoboard con cables Dupont.

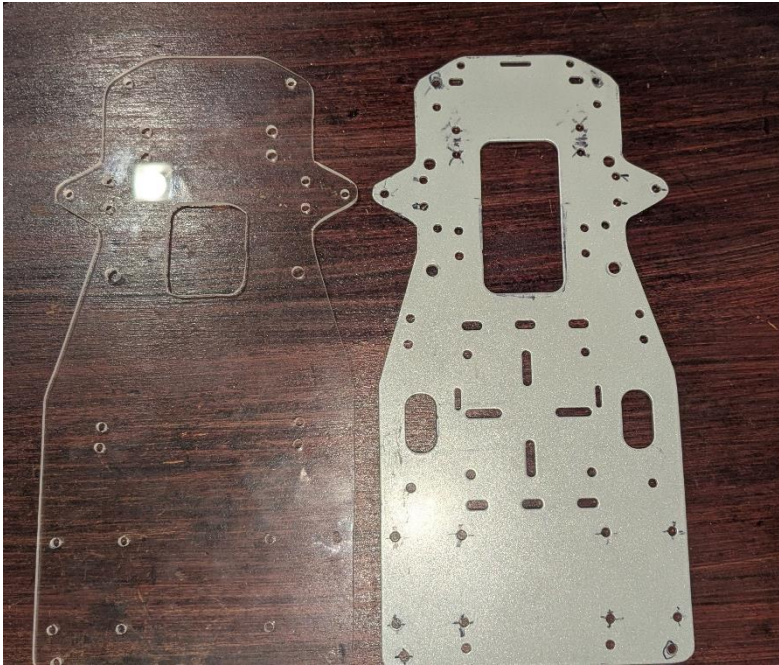
### 3.3 Descripción del chasis

Inicialmente, el prototipo se construyó con láminas de metal por su alta resistencia (También eran las que incluía el kit). Sin embargo, las pruebas revelaron que el metal aumentaba excesivamente el peso total del robot (1700 g), lo que limitaba su agilidad y sobrecargaba los motores.

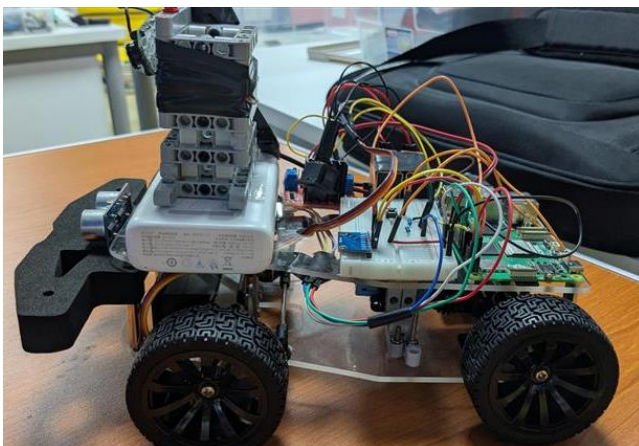
Para solucionar esto, se decidió migrar a láminas de acrílico cortadas por el equipo, lo que resultó en dos ventajas clave:



- **Reducción de Peso:** El peso de las placas del chasis se redujo de 520 g (2 placas de 260 g) a solo **140 g** (2 placas de 70 g). Esto fue un factor crucial para disminuir el peso total del robot a **1217 g**.
- **Simplificación del Diseño:** Al cortar el acrílico, se incluyeron únicamente las perforaciones necesarias, optimizando y limpiando el diseño final en comparación con las placas de metal genéricas.



El hecho de utilizar dos niveles no es mero capricho, es una decisión clave para tener más superficie de trabajo, separando las áreas clave del robot: electrónica en la parte superior y componentes mecánicos abajo.

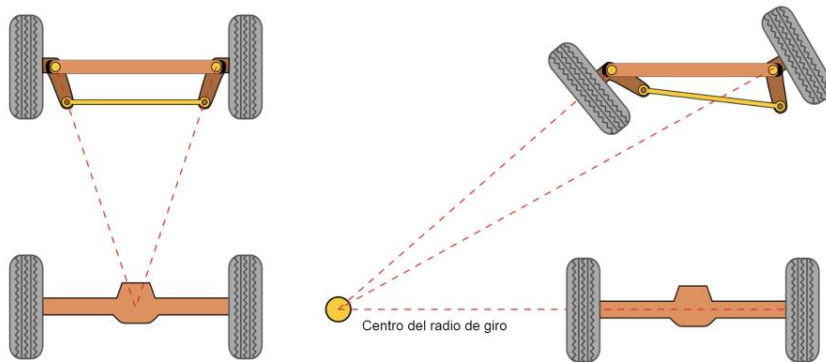


### 3.4 Sistema de dirección

La capacidad de un vehículo autónomo para navegar con precisión su entorno depende críticamente de la efectividad de su sistema de dirección. Para nuestro

proyecto, hemos implementado una **geometría de dirección Ackerman**, un diseño mecánicamente sofisticado que se inspira directamente en su aplicación universal en vehículos reales. La elección de este sistema, en lugar de alternativas más simples como la dirección por pivote central, se fundamenta en su capacidad para ejecutar giros cinemáticamente correctos, minimizando el deslizamiento lateral de las ruedas y reduciendo el estrés mecánico sobre el chasis.

El principio Ackerman asegura que, durante una curva, la rueda interior gire con un ángulo mayor que la exterior. Esta diferencia de ángulos permite que ambas ruedas tracen arcos concéntricos con un centro de giro común, lo que resulta en un movimiento más estable, predecible y eficiente.



### 3.4.1 Proceso de Diseño e Implementación

La construcción de este mecanismo representó un desafío de diseño considerable, ya que no contábamos con un kit predefinido o instrucciones. El proceso fue iterativo y se dividió en varias fases:

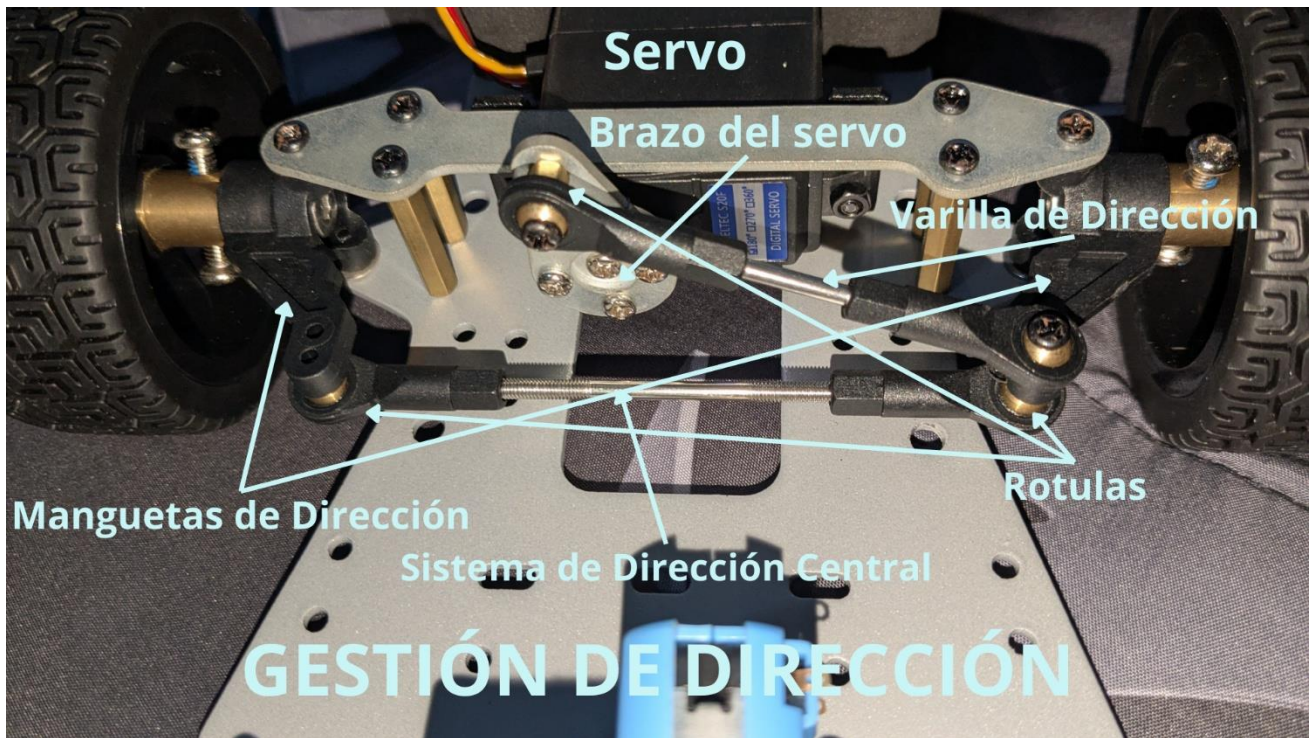
1. **Investigación y Conceptualización:** La primera etapa consistió en un estudio detallado de diagramas técnicos y principios de la geometría Ackerman. Analizamos cómo la disposición trapezoidal de las varillas de dirección lograba la diferencia de ángulos necesaria.
2. **Prototipado y Fabricación:** A partir de los conceptos estudiados, procedimos a diseñar y fabricar los componentes. Esto implicó la creación de soportes a medida y la selección de varillas de longitudes específicas para construir el sistema desde cero.
3. **Calibración y Ajuste:** La fase final fue un meticuloso proceso de ajuste de la longitud de las varillas y los puntos de pivote para aproximarnos lo más posible a la geometría ideal, asegurando un funcionamiento suave y preciso.



### 3.4.2 Análisis de Componentes del Sistema

Nuestro mecanismo de dirección es un sistema integrado donde cada componente cumple una función específica para traducir el comando electrónico del servo en un movimiento mecánico coordinado.

- **Actuador Principal (Servomotor):** El origen del movimiento es un **servomotor de alto torque**. La selección de un servo potente fue crucial para superar la inercia y la fricción estática del sistema, así como para mantener el ángulo de dirección de manera firme contra las fuerzas dinámicas que actúan sobre las ruedas mientras el vehículo está en movimiento.
- **La Tiranería de Dirección (Steering Linkage):** Este es el corazón del mecanismo Ackerman y se compone de varios elementos interconectados:
  - **Brazo del Servo y Varilla de Empuje:** El servo transfiere su rotación a través de un brazo (servo horn) a una varilla de empuje principal.
  - **Placa de Dirección:** Esta varilla actúa sobre una placa de dirección central (en nuestro caso, una rueda modificada para este propósito), que pivota y convierte el movimiento lineal de la varilla de empuje en el movimiento lateral necesario para las dos ruedas.
  - **Varillas de Acoplamiento (Tie Rods):** Desde la placa de dirección, dos varillas de acoplamiento se conectan a los soportes de cada rueda. La longitud y el ángulo de estas varillas son los parámetros críticos que definen la geometría Ackerman.
  - **Soportes de Rueda Pivotantes (Steering Knuckles):** Para cada rueda directriz, se diseñaron soportes robustos que permiten un pivote suave sobre un eje vertical. Estos soportes no solo anclan la rueda al chasis, sino que también sirven como punto de conexión para las varillas de acoplamiento, asegurando la rigidez estructural y la precisión del giro.



### 3.4.3 Justificación y Ventajas del Diseño

La implementación de la geometría Ackerman, aunque compleja, proporciona beneficios tangibles que justifican el esfuerzo de ingeniería.

- **Precisión de Maniobra:** Al eliminar casi por completo el deslizamiento lateral de las ruedas, el vehículo sigue trayectorias mucho más predecibles y exactas.
- **Estabilidad Dinámica:** El giro suave y coordinado mejora la estabilidad general del robot, especialmente al entrar y salir de curvas a una velocidad considerable.
- **Eficiencia Energética:** Al reducir la fricción por arrastre de las ruedas, el sistema de propulsión trabaja de manera más eficiente, ya que no necesita vencer una resistencia innecesaria, lo que se traduce en un menor consumo de energía.
- **Durabilidad Mecánica:** Un movimiento geométricamente correcto reduce las tensiones y el desgaste en los componentes del chasis, los ejes y las propias ruedas, aumentando la vida útil y la fiabilidad del sistema.

## 3.5 Sistema de propulsión

El sistema de propulsión es responsable de convertir la energía eléctrica del motor en movimiento mecánico. Nuestro diseño evolucionó a través de pruebas prácticas

para encontrar el equilibrio adecuado entre velocidad y torque, utilizando componentes LEGO Technic y tornillería para asegurar la rigidez del conjunto.

### 3.5.1 Diseño inicial y problemas de torque

Inicialmente, nuestro diseño priorizaba la velocidad máxima teórica. Para lograrlo, implementamos una configuración de engranajes de sobremarcha (**overdrive**).

- **Configuración Inicial:** El engranaje motriz (conectado al motor) tenía 36 dientes, y el engranaje conducido (en el eje de las ruedas) tenía 28 dientes, resultando en una relación de 9:7.
- **Observaciones:** Durante las pruebas iniciales, el vehículo fue incapaz de romper la inercia estática por sí solo. Requería un empuje manual para comenzar a moverse y asistencia constante para mantener el avance.
- **Diagnóstico:** La configuración de sobremarcha multiplicaba la velocidad, pero reducía el torque disponible en las ruedas a un nivel insuficiente para vencer la fricción y el peso del robot.

### 3.5.2 Iteración y solución

Para corregir este déficit de torque y permitir la operación autónoma, se tomó la decisión de invertir la relación de transmisión, pasando a una configuración de reducción siendo esta una solución instantánea y permanente frente a incrementar el amperaje.

- **Configuración Actual:** Se invirtieron los engranajes. El engranaje motriz (motor) ahora tiene 28 dientes, y el engranaje conducido (eje) tiene **36** dientes.
- **Relación de Transmisión 7:9:** Esta nueva configuración resulta en una relación de 7:9.
- **Resultado:** Esta relación multiplica el torque del motor a expensas de la velocidad máxima. Este cambio permitió que el robot tuviera la fuerza necesaria para arrancar desde el reposo y moverse de manera autónoma y fiable, restando velocidad, pero era un precio que pagar aceptable.

### 3.5.3 Montaje del motor y estructura de soporte

Independientemente de la relación de transmisión, la estabilidad del motor es crucial, debido a eso se eligió fijar el motor haciendo presión con gomas de LEGO.

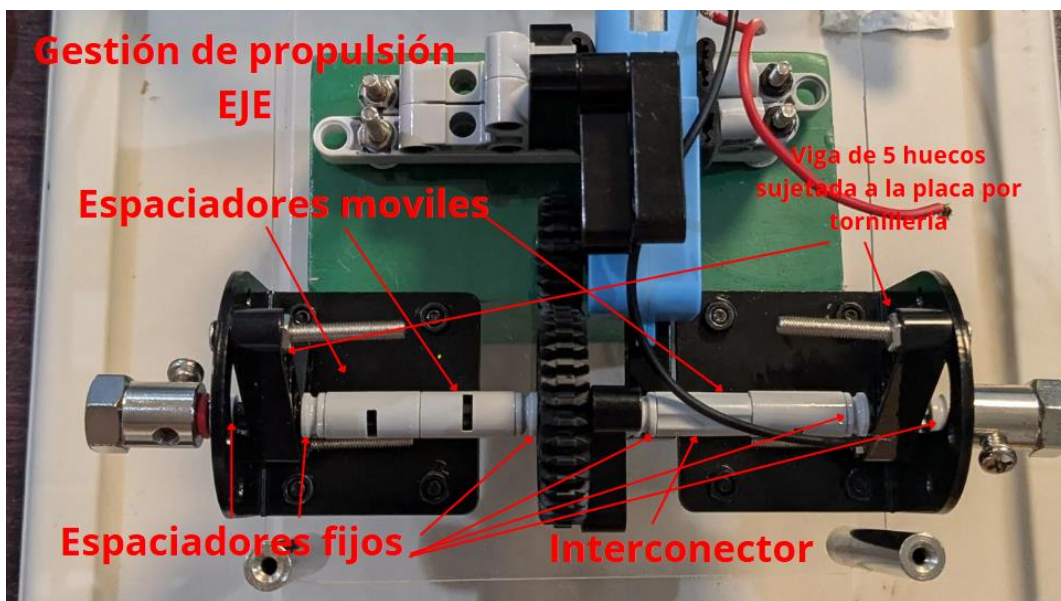
- **Fijación al Chasis:** La estructura que soporta el motor se ancló firmemente al chasis utilizando vigas largas de LEGO Technic y cuatro tornillos pasantes. Esto previene la flexión durante la operación.
- **Sujeción del Motor:** El motor se fija a estas vigas mediante piezas LEGO en forma de "L". Para maximizar la estabilidad y absorber las vibraciones, se

añadieron cauchos de LEGO en los puntos de contacto, asegurando que el motor no se desplace.

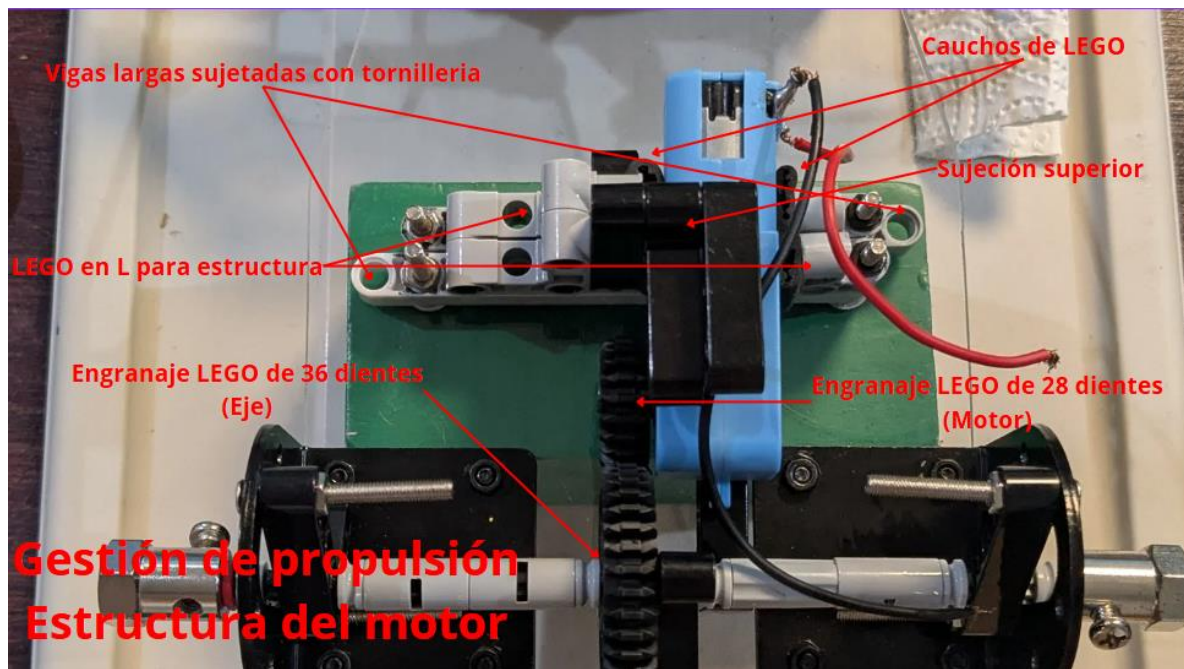
### 3.5.4 diseño del eje y estabilidad

La estabilidad del eje trasero es fundamental para una transmisión de potencia eficiente debido a eso, elegimos realizar y fortalecer nuestro eje trasero con los recursos que teníamos, que en este caso eran las piezas de LEGO Technic.

- **Construcción del Eje:** Se utiliza un eje en cruz de LEGO. Para conectar el engranaje central de 36 dientes, se emplean dos sub-ejes unidos por un interconector, asegurando que la fuerza se transmita de manera centrada.
- **Reducción de Holgura:** Se colocaron espaciadores fijos y móviles a lo largo del eje para minimizar la vibración y el desplazamiento lateral “juego” de las ruedas.
- **Ajuste de Altura:** Para elevar la altura libre al suelo del chasis, el soporte del eje se montó sobre una viga transversal de 5 huecos, se puede notar que el eje trasero esta más bajo que el delantero, pero no tiene ningún efecto sobre el robot.



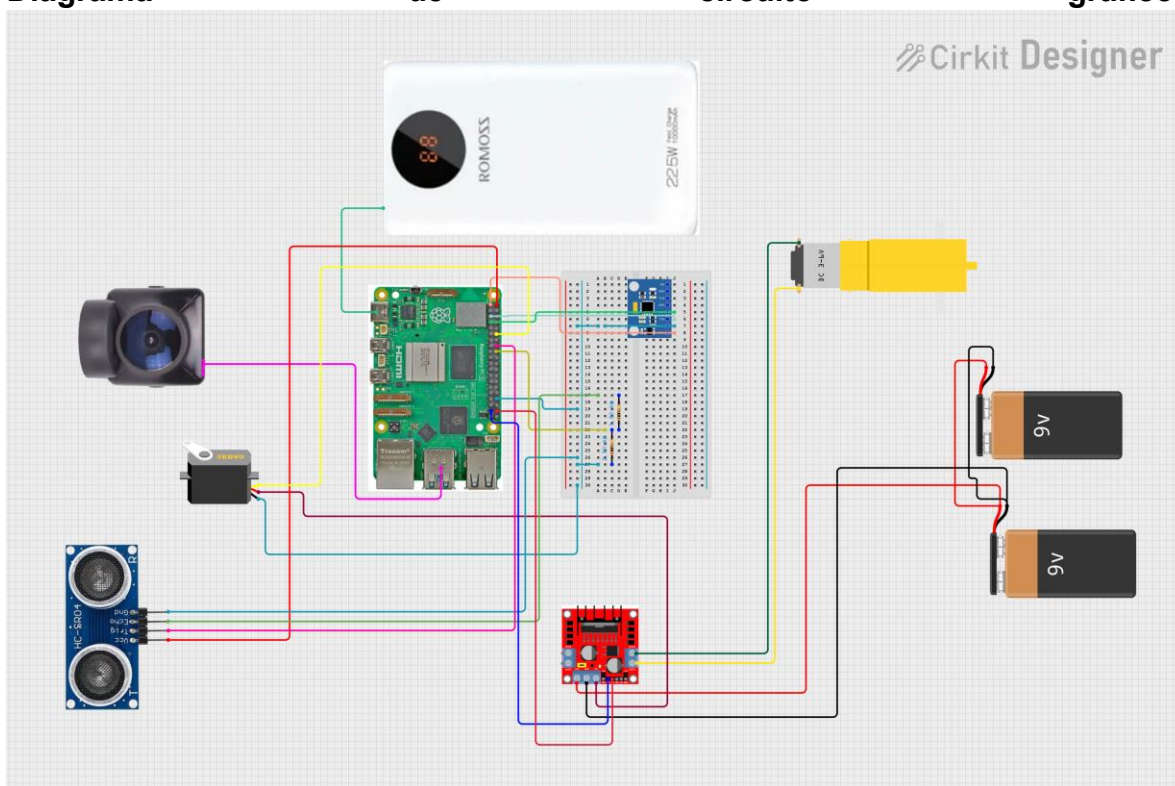




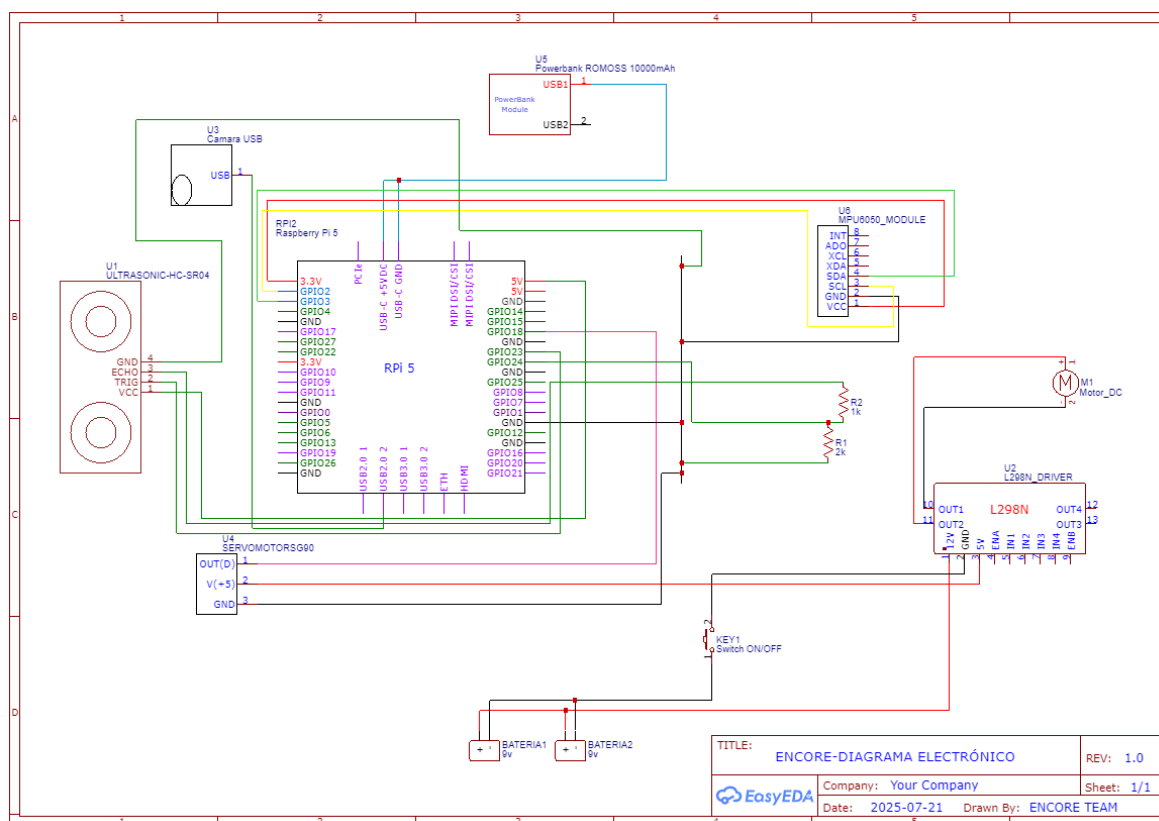
### 3.6 Diseño eléctrico

El diseño eléctrico del robot está fundamentado en los controladores, los sensores y la potencia. Lo esencial es coordinar estas para que el robot funcione correctamente, a continuación, se presenta los diagramas de circuito gráfico y diagrama esquemático. La decisión de realizar ambos es poder demostrar de una forma profesional y luego sencilla, la construcción electrónica del vehículo.

# Diagrama de circuito gráfico:



**Diagrama esquemático:**



### 3.6.1 Controladores

En controladores se eligió como cerebro el Raspberry Pi 5 de 8GB, siendo esta nuestra mejor opción entre microprocesadores, pues cuenta con una alta capacidad que puede ser aprovechada al utilizar sistemas de Inteligencia artificial o programas complejos.

Como controlador de motores se decidió utilizar el L298N, pues este es versátil y fácil de utilizar, este conlleva varios problemas y es peor que otros controladores en el mercado, pero era el único tipo de controlador disponible que el equipo poseía.

### 3.6.2 Sensores

Para los sensores nos focalizamos en hacer trabajar a la par un módulo ultrasónico HC-SR04 junto a una cámara, utilizándolas para que el sensor ultrasónico determine la distancia y la cámara determine el color y posición del objeto. Esta integración fue bastante complicada, principalmente por el distinto tiempo de refresco de cada sensor, pues el ultrasónico le envía información mucho más lento que la cámara al microcontrolador.

### 3.6.3 Otros

- **Motor DC:** El motor DC utilizado fue seleccionado debido a su versatilidad, bajo perfil y bajo peso, siendo éstas clave para que pueda formar parte del



chasis sin sumar tanto peso, para este motor decidimos conseguir motores que vinieran con engranajes de metal para que aumentara su resistencia, también por su relación reductora 1:90.

- Protoboard: Para realizar algunas conexiones para el sensor ultrasónico, resistencia y también para el giroscopio. Para el equipo era una manera fácil de poder tener todo conectado sin la necesidad de tener una PCB exclusiva.

### **3.7 Gestión de energía**

La gestión de la energía fue primeramente planteada de tener solo una batería (la Powerbank Romoss 10000mAh) que da 5v a 3A, lo necesario para la Raspberry Pi 5, pues trabaja con ese rango, el problema detectado fue que el voltaje es muy bajo para alimentar los motores y considerando que el controlador L298N se consume aproximadamente 2v y el resto se lo entrega al motor entonces solo le llegaban 3v motor, algo insuficiente, por lo que la decisión fue colocar 2 baterías 9v en paralelo, para poder otorgar teóricamente 9v a 1.6 A, suficiente para darle fuerza al motor.

## **4 Diseño del código/programación**

El código se divide en 3 hilos: el principal, el de proximidad, y el del giroscopio. En el principal se hace la filtración y seguimiento de colores usando los valores mínimos y máximos guardados en un archivo. El de la proximidad y de giroscopio leen los valores de sus sensores correspondientes a la velocidad que se les sea posibles. Basado en los datos del sensor de proximidad y los colores detectados por la cámara, el hilo principal

## **5 Resultados y demostración**

En los testeos, se realizaron varios cambios y mejoras, sin embargo, desperfectos electrónicos causaron atrasos que conllevaron el no poder dar las 3 vueltas antes de la primera competencia (22 de julio), se espera que para la segunda competencia

## **6 Conclusiones**

En general se han tenido un excelente avance en el vehículo, se espera lograr mucho más para la próxima competencia del equipo el día 7 de agosto.

## **7 Aspectos por mejorar**

El vehículo presenta varios aspectos a mejorar:

- Tiempo de reacción: Los tiempos de refresco lentos causan que el tiempo de reacción al detectar un bloque o la pared es muy largo, lo que produce que algunas veces choque.

- Velocidad del robot: Actualmente la velocidad es aceptable, pero si tuviera más velocidad lograría completar la primera ronda más rápido.
- Manejo de cables: Una mayor organización evitaría problemas eléctricos debido a falsos contactos, desconexiones, etc.