

Documento de Hardware y Guía de Configuración – Team Rulo Bot

La plataforma Rulo Bot fue diseñada para competir en WRO Future Engineers 2025. Se trata de un vehículo compacto y modular con dirección Ackermann, que integra sensores, actuadores y unidades de procesamiento. Su arquitectura combina una Raspberry Pi 5 como computadora principal y una Arduino Nano para el control en tiempo real de tracción y dirección.

1. Visión General del Sistema

El robot está construido sobre un chasis Ackermann impreso en 3D, optimizado para modularidad, rigidez estructural y facilidad de mantenimiento.

La distribución de energía está centralizada y regulada para garantizar un suministro estable en condiciones de alta demanda.

Una batería LiPo 11.1 V alimenta todo el sistema, mientras que convertidores reductores suministran voltajes estabilizados a servos, lógica y periféricos.

El sistema de propulsión utiliza un motor Lego NXT Servo Motor, y un servo MG995 controla la dirección. Combinado con la geometría Ackermann, esto permite giros precisos, trayectorias suaves y maniobras compactas en pistas estrechas.

2. Lista de Componentes

Subsistema	Componente y Especificaciones	Función
Chasis	Chasis Ackermann personalizado (ABS/PLA)	Estructura modular y soporte de todos los sistemas
Servo de Dirección	MG995 (4.8–6 V, engranajes metálicos, 24°–144°, centro 84°)	Control del ángulo de dirección frontal
Motor de Tracción	Lego NXT 12 V con rueda codificadora	Tracción y retroalimentación de velocidad
Computadora Principal	Raspberry Pi 5 (8 GB)	Procesamiento de visión y control de navegación
Microcontrolador	Arduino Nano	Control determinístico de PWM y servo
Driver de Motor	DRV8871	Control de motor DC
Regulación de Energía	Mini360 Buck Converter (11.1 V → 5 V) + capacitor de 47 µF	Estabilización de voltaje y filtrado de ruido
Batería	LiPo 11.1 V / 5200 mAh	Fuente principal
Cámara	Innomaker UVC USB 2.0 (1080p@30 fps, 640×480)	Visión para detección de pista y obstáculos
Interruptor Principal	Interruptor de palanca	Encendido/apagado general
Placa de Conexión	Placa perforada prehecha	Distribución de alimentación y cableado

3. Notas de Ensamblaje y Diseño

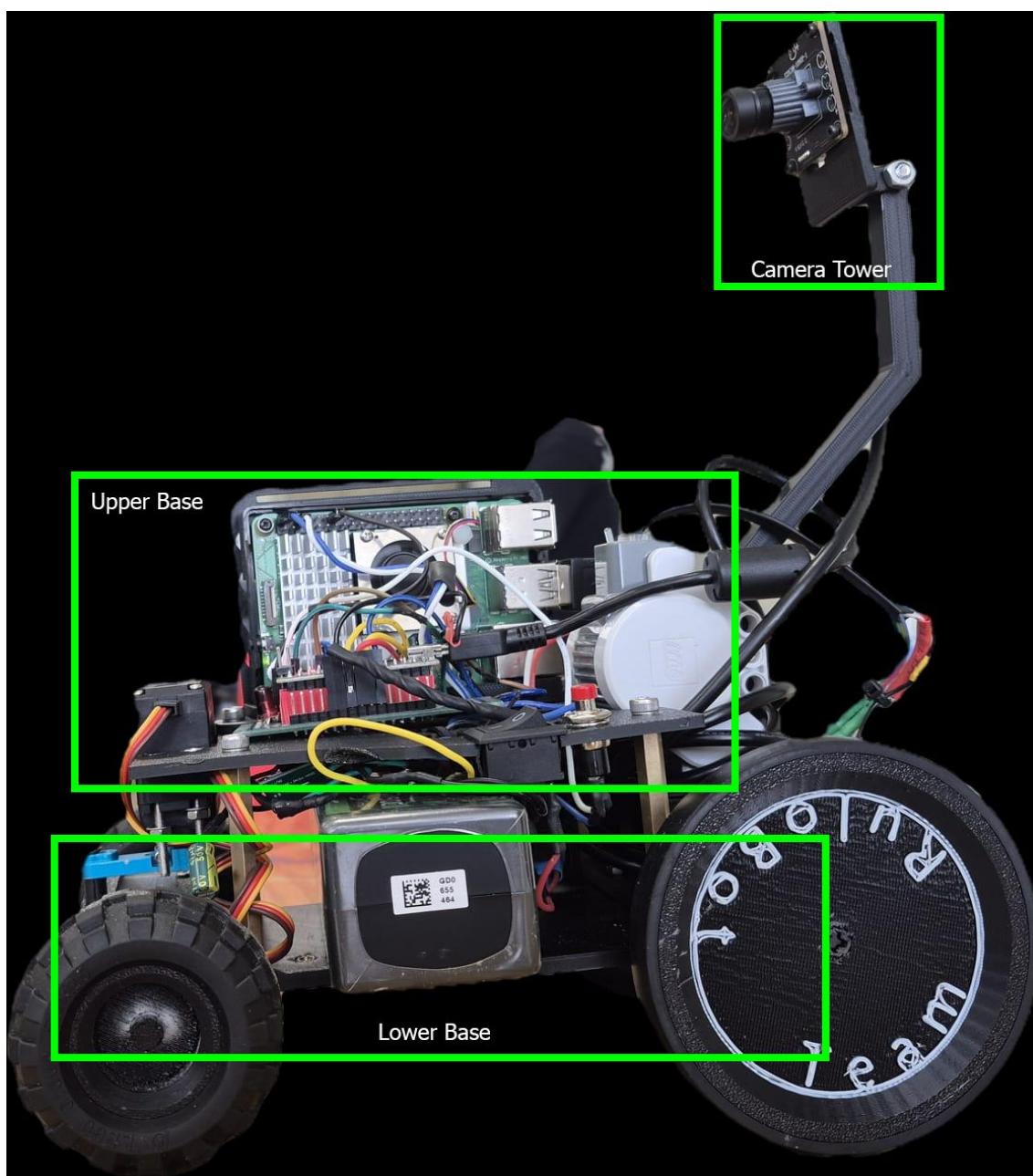
- Dimensiones: $173.89 \times 282.71 \times 245.56$ mm
- Radio de giro: ≈ 23 cm
- Peso: ≈ 1.06 kg

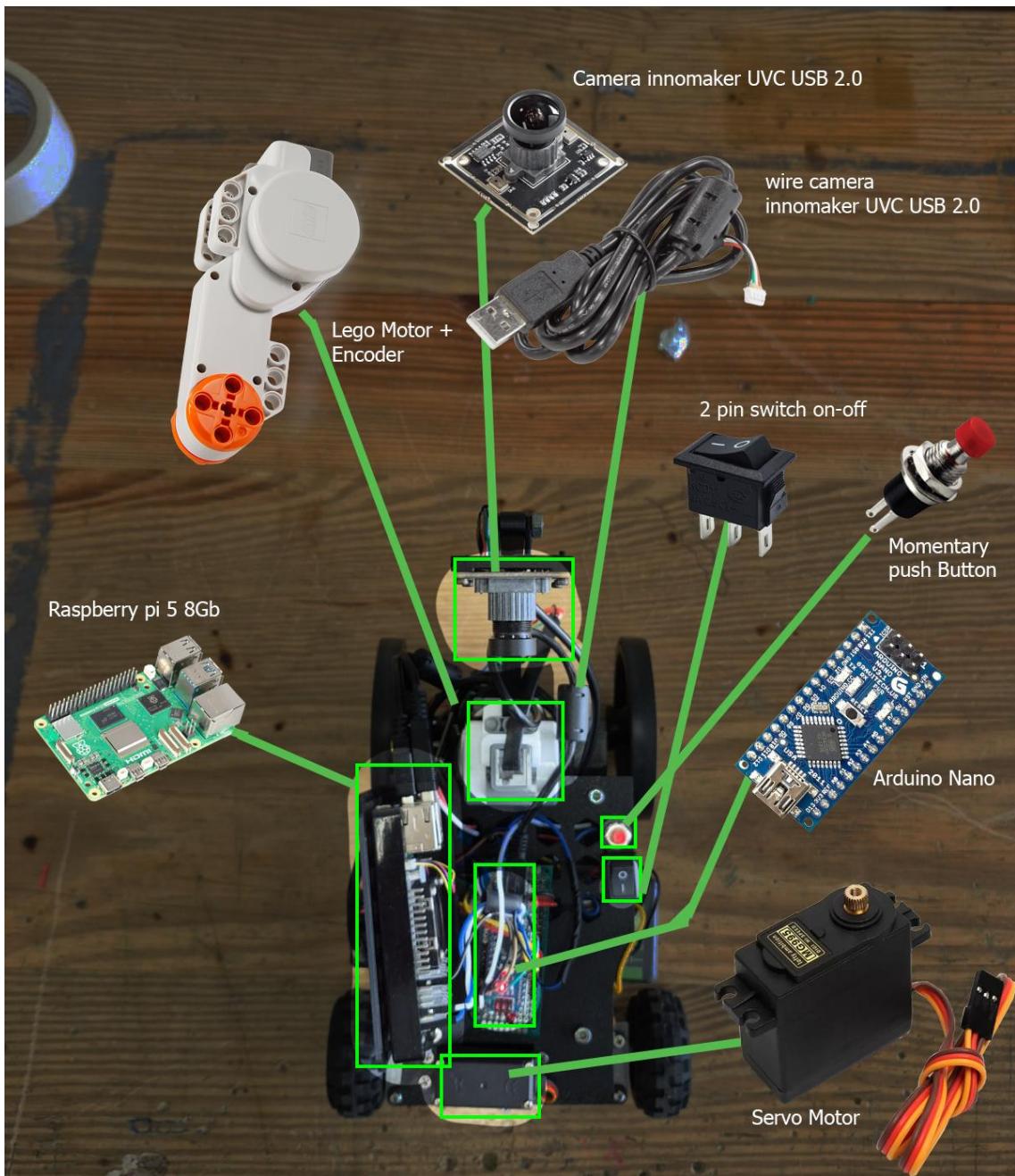
El sistema Ackermann minimiza el radio de giro, optimizando el rendimiento en curvas cerradas.

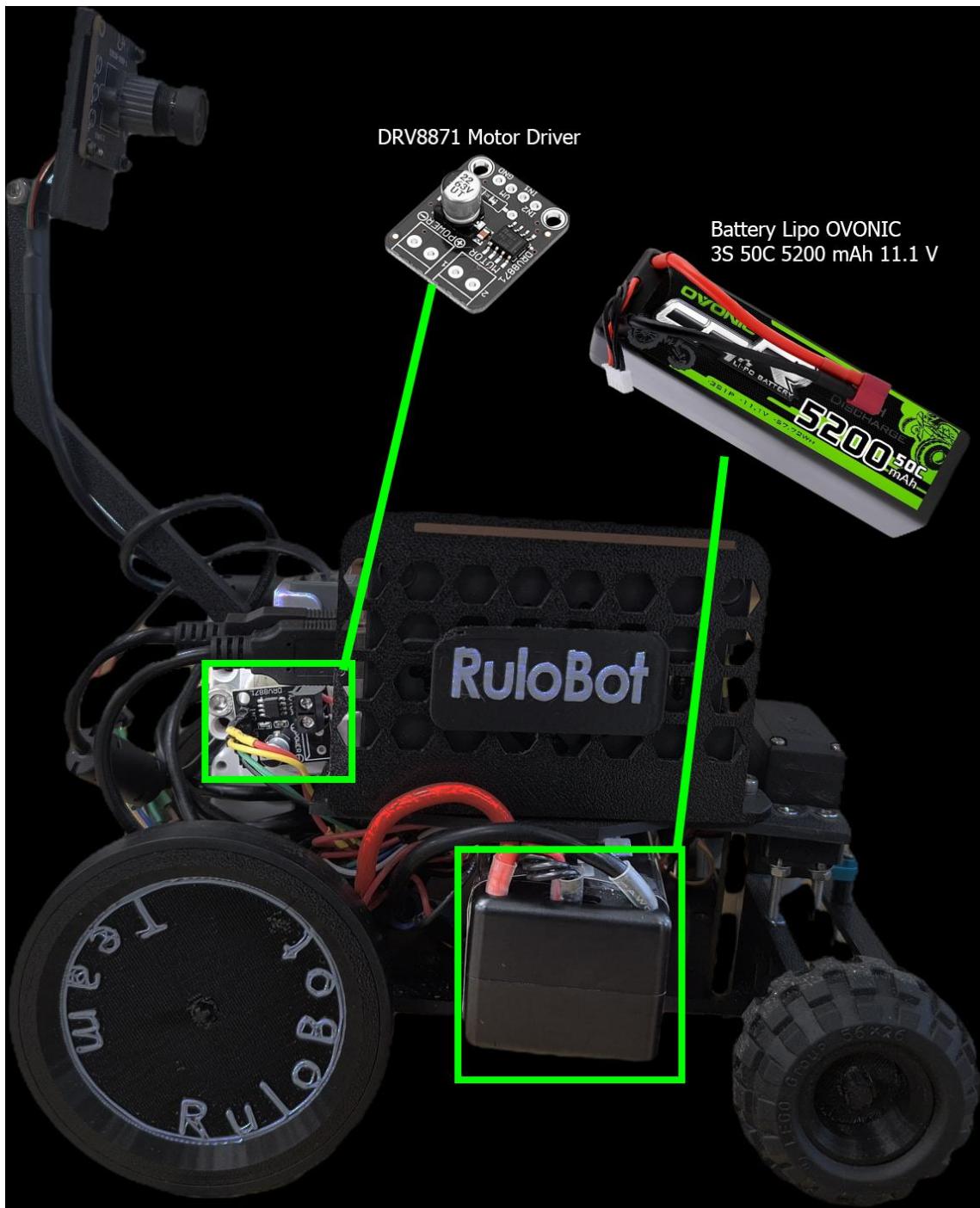
La alimentación se organiza mediante una placa de potencia personalizada que reduce caídas de tensión y ruido.

Un capacitor de $470 \mu\text{F}$ en la línea del servo estabiliza la señal y eliminó problemas iniciales de inestabilidad.

La Raspberry Pi se encarga de la visión y toma de decisiones, mientras el Arduino ejecuta acciones determinísticas, mejorando la respuesta y estabilidad del sistema.







4. Navegación y Control

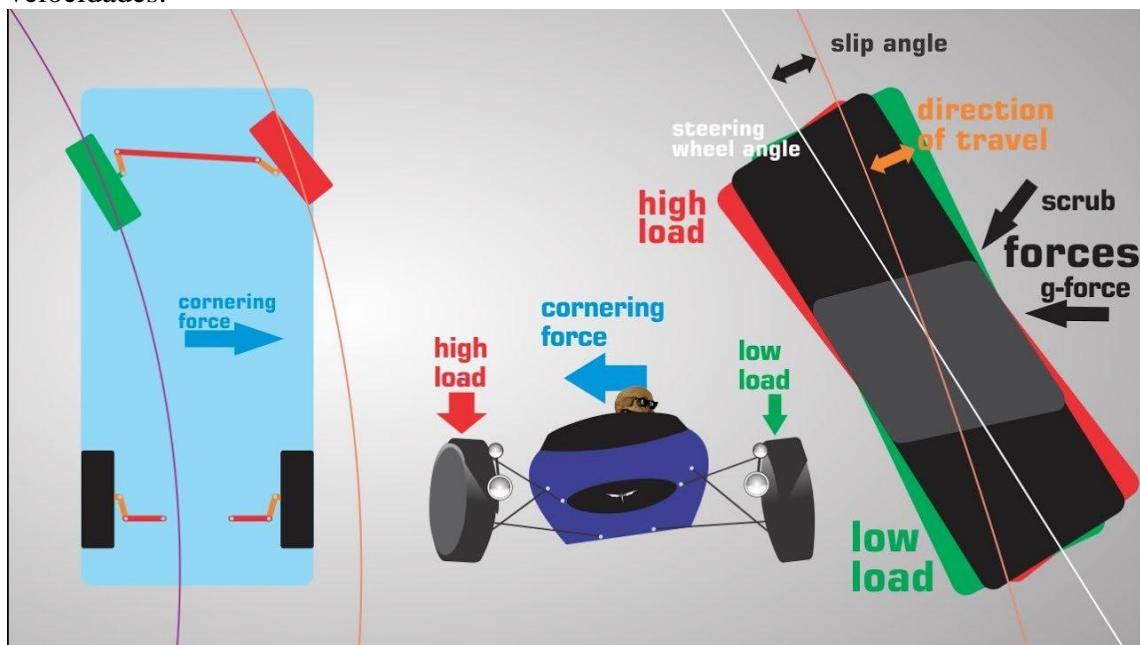
- Detección de carril: Filtrado de color LAB para identificación de pista, pilares, líneas referenciales y zona de parqueo.
- Evasión de obstáculos: Cámara innomaker UVC USB 2.0 detectando colores en un rango métrico determinado
- Control de dirección: Control PD ajustado para giros suaves y respuesta rápida.
- Protocolo serial (Raspberry Pi ↔ Arduino):
 - STEER:<ángulo>
 - TURN_ON / TURN_OFF
 - STOP

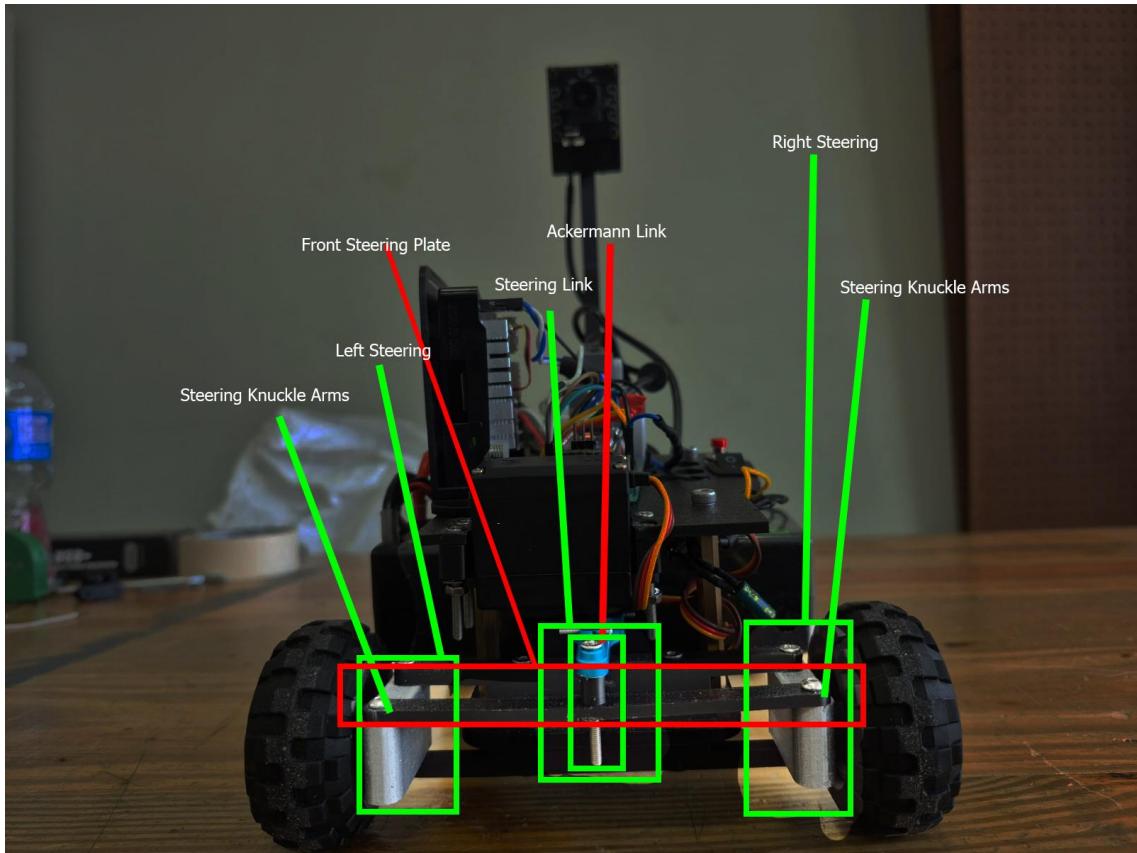
Esta arquitectura modular permite mantener el centro de carril con precisión y ejecutar maniobras confiables en entornos dinámicos.

5. Sistema de Dirección y Tracción

El sistema utiliza geometría Anti-Ackermann, configurada para que durante un giro la rueda exterior describa un radio ligeramente menor que la interior.

Esta disposición genera un ángulo de giro mayor en la rueda externa, lo que puede mejorar la respuesta del vehículo en maniobras de alta velocidad o en superficies con baja adherencia, a costa de un leve incremento en el deslizamiento lateral a bajas velocidades.





La **distancia entre ejes** es de **154.12 mm**, y el **ángulo de dirección** de cada rueda se determina con la relación inversa al modelo Ackermann:

$$\theta = \arctan(H/R)$$

donde:

- **H** = distancia entre ejes (154.12 mm)
- **R** = radio de giro deseado (parametrizable)

El conjunto de dirección está completamente impreso en 3D en PLA. El servo MG995 proporciona el torque y precisión necesarios para un control estable.

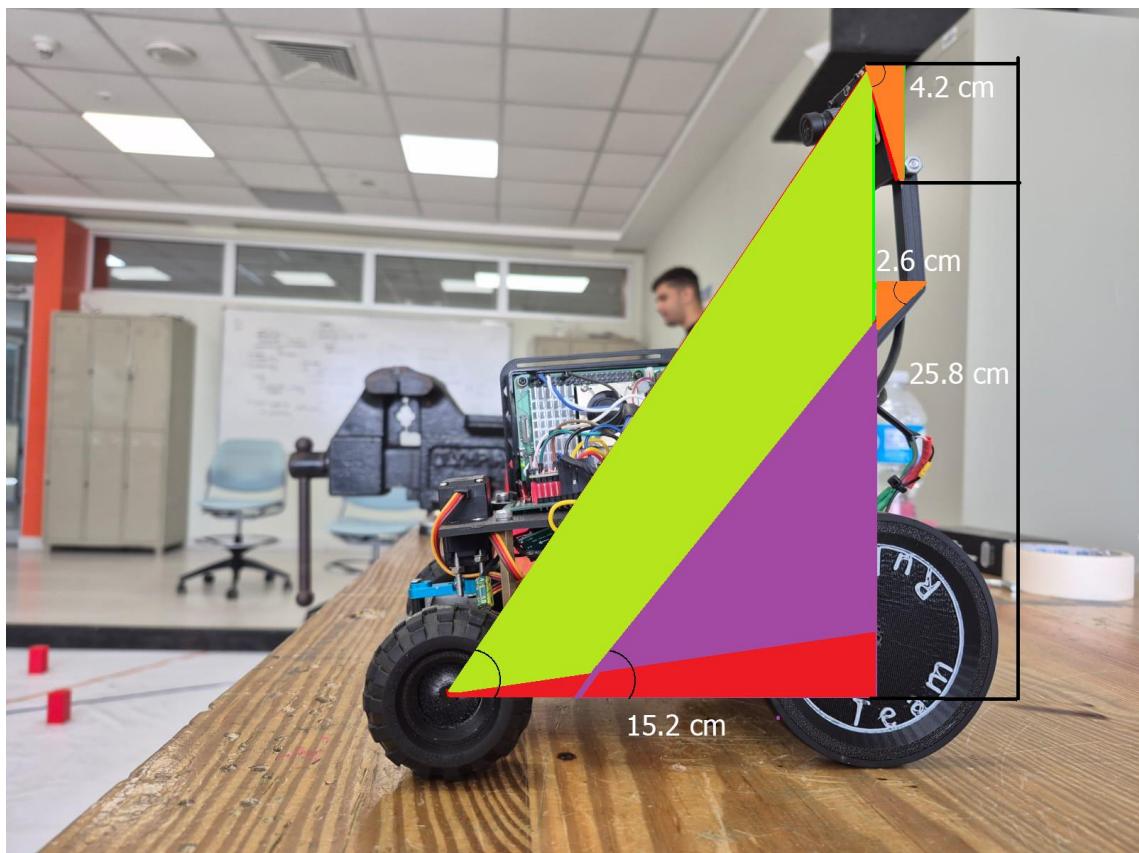
Modos de control:

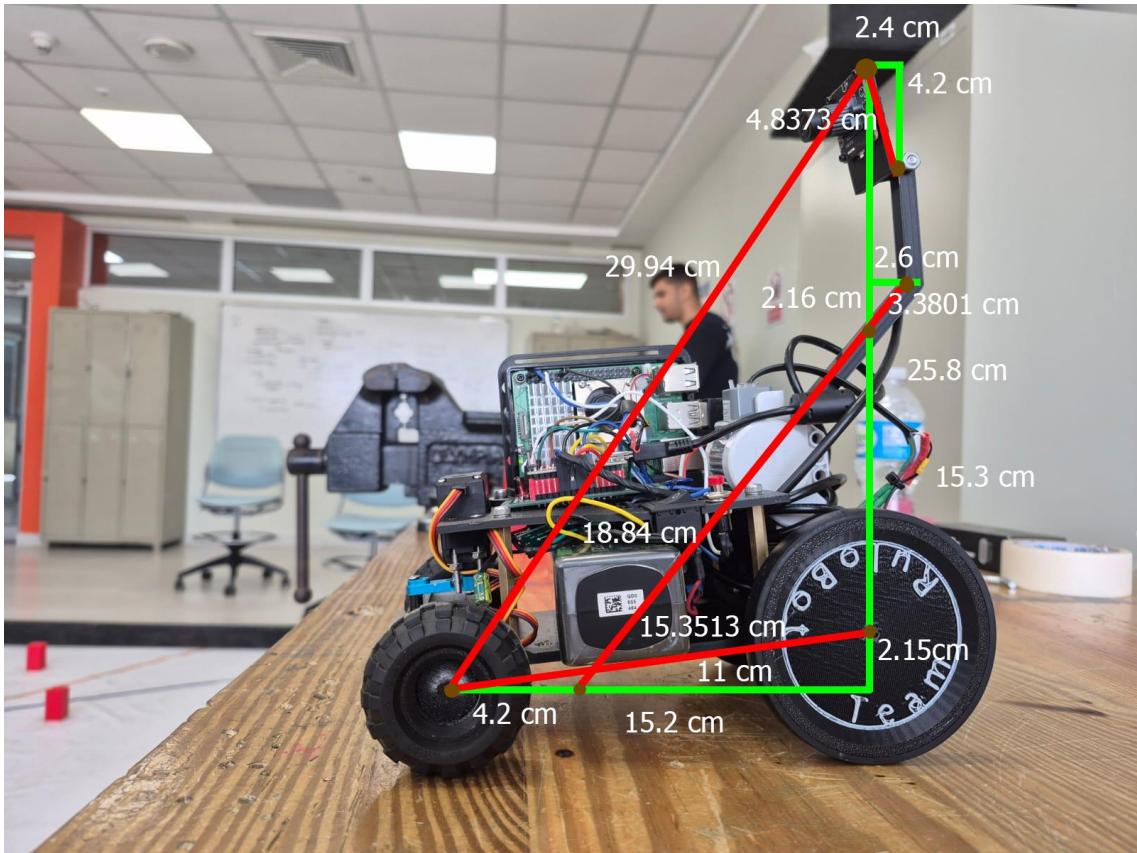
- Giro por ángulo fijo: el servo alcanza un ángulo objetivo determinado según la estrategia de navegación.
- La lógica se implementa en Arduino IDE y Python, sin sensores inerciales, confiando en percepción visual y control de servo.

6. Sistema de Tracción y Electrónica

- Motor: Lego NXT de 12 V controlado por PWM a través de DRV8871.
- Alimentación: Batería LiPo 3S de 11.1 V / 5200 mAh.
- Regulación: Tres módulos Mini360 para líneas independientes (motor, servo y lógica).
- Arquitectura: Un único motor de tracción con Ackermann puro, sin diferencial mecánico ni electrónico, simplificando el diseño y reduciendo peso.

7. Diseño Mecánico y Fabricación





- Diseño CAD completo del sistema Ackermann, impreso en PLA.
- Eje de transmisión LEGO original compatible con NXT.
- Diseño optimizado para minimizar fricción sin rodamientos adicionales.
- Ruedas 3D personalizadas adaptadas al servo MG995.
- Archivos CAD disponibles en: 3D_Models/current_models

Este enfoque ofrece un chasis robusto, ligero y funcional, cumpliendo las restricciones de la competencia y asegurando compatibilidad con componentes estándar.

Proceso de Diseño y Fabricación de Piezas 3D

1. Introducción

Uno de los pilares fundamentales del desarrollo de Team Rulo Bot ha sido el diseño y fabricación de piezas impresas en 3D. Nuestro objetivo no era únicamente crear un robot funcional, sino también lograr una plataforma ligera, modular, rígida y fácil de mantener durante la competencia WRO Future Engineers 2025.

La mayoría de los componentes estructurales y de soporte fueron diseñados y fabricados por nuestro equipo, lo que nos permitió ajustar cada detalle a nuestras necesidades reales y realizar cambios rápidos conforme avanzaba el desarrollo del vehículo.

Entre las piezas diseñadas se encuentran:

- Base inferior y superior modulares.
- Soporte del motor DC LEGO.
- Soporte del servo de dirección.
- Soporte de cámara con ángulo ajustable.
- Hubs de ruedas delanteras y traseras.
- Ejes de transmisión y soporte para la Raspberry Pi 5.
- Accesorios decorativos y de soporte estructural.

2. Herramientas y materiales

Para el diseño CAD utilizamos SolidWorks en su versión más reciente. La impresión se realizó con una Bambu Lab X1 Carbon, lo que nos permitió obtener piezas con buena resolución, repetibilidad y tiempos de fabricación cortos.

- Material principal: PLA (el ABS fue probado en hubs delanteros, pero descartado por bajo impacto en la reducción de desgaste).
- Infill: ~10 % para piezas no estructurales y refuerzos localizados para partes críticas.
- Altura de capa y orientación: ajustadas según la carga esperada y la facilidad de ensamblaje.
- Exportación: los modelos fueron exportados en formato .stl para ser procesados en el slicer nativo de la impresora.

3. Proceso de diseño paso a paso

3.1. Identificación de necesidades y forma base

Cada pieza comenzó con un análisis geométrico de la plataforma Ackermann y de la distribución interna de componentes. Evaluamos:

- Espacio disponible.
- Posibles interferencias mecánicas.
- Puntos de anclaje y dirección de esfuerzos.

La modularidad fue un criterio clave: queríamos un robot fácil de desarmar y actualizar, sin sacrificar rigidez.

3.2. Bocetos y diseño CAD

Una vez definidas las posiciones, se generaron bocetos iniciales en SolidWorks para luego desarrollar los modelos 3D finales. En cada diseño se verificaron:

- Dimensiones relativas entre subsistemas.
- Zonas con posibles concentraciones de esfuerzo.
- Compatibilidad con tornillería estándar y hubs personalizados.

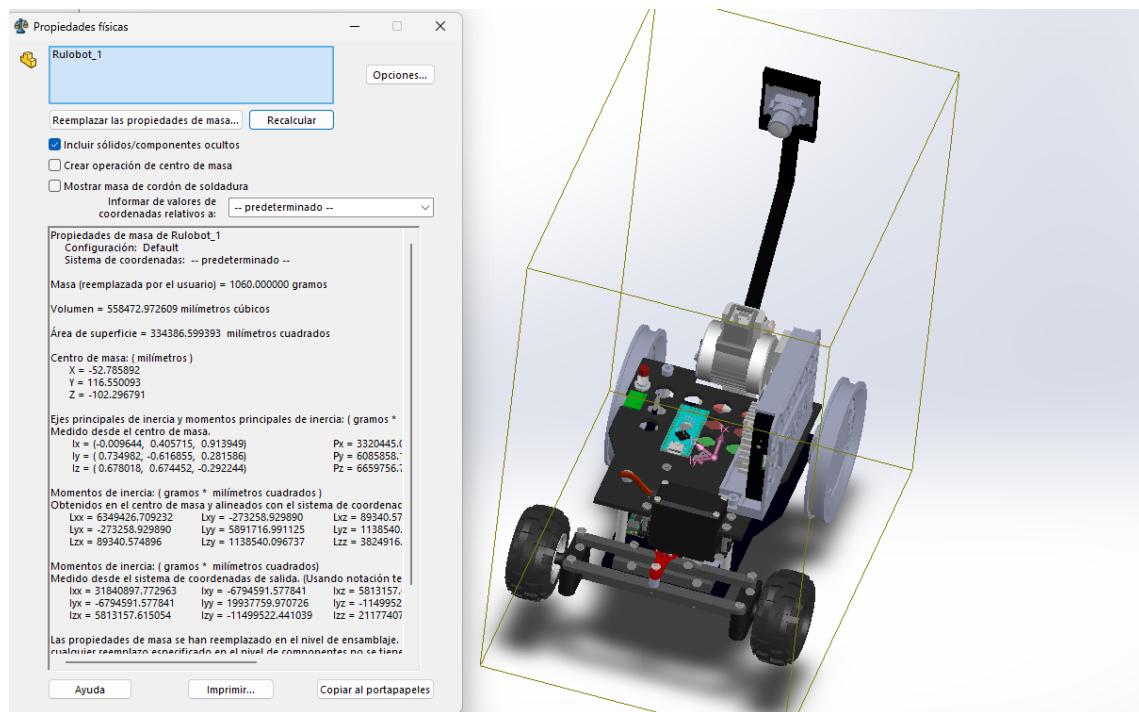
El chasis Ackermann, diseñado completamente por el equipo, fue optimizado para minimizar vibraciones, maximizar rigidez estructural y mantener un radio de giro eficiente.

3.3. Fabricación y prototipado

Todas las piezas fueron impresas en PLA. Aunque se evaluó ABS en algunas partes críticas, la mejora no justificó su uso frente a PLA (mayor estabilidad dimensional y menor tiempo de impresión).

La estrategia de impresión priorizó:

- Baja densidad de relleno en piezas no estructurales para reducir peso.
- Refuerzos y orientación estratégica en piezas sometidas a carga (soportes, hubs, servo mount).
- Ensamblajes sin necesidad de post-procesos complejos.



3.4. Ensamblaje y validación

Las piezas impresas fueron montadas siguiendo el diseño digital, respetando la modularidad entre las dos plataformas:

- Plataforma inferior: motor LEGO, batería, reguladores de voltaje y cableado principal.
- Plataforma superior: Raspberry Pi, Arduino Nano, soporte de cámara, driver de motor y elementos electrónicos auxiliares.

El diseño mecánico se acopló directamente al plan eléctrico y de control, reduciendo interferencias y optimizando el mantenimiento.

3.5. Elementos de unión y refuerzo

La conexión entre la plataforma inferior y superior del robot se realiza mediante cuatro standoffs metálicos M4 de 50 mm de longitud, que garantizan una separación precisa y una alta rigidez estructural.

Estos soportes permiten mantener la alineación vertical y mejorar la accesibilidad al cableado interno, además de contribuir al equilibrio del centro de gravedad.

En las piezas 3D con roscas sometidas a montaje y desmontaje reiterado, se insertaron insertos roscados M3 mediante calor, reforzando las uniones y previniendo el desgaste del material PLA.

Este enfoque combina resistencia mecánica, modularidad y facilidad de mantenimiento, fundamentales para las operaciones rápidas durante las pruebas y competencias.

4. Evolución de componentes clave

4.1. Soporte de cámara

El soporte de cámara fue uno de los elementos más iterativos del diseño: se realizaron cuatro versiones antes de llegar a la configuración final.

- Problemas iniciales: indecisión sobre el modelo de cámara y si debía ser fija o móvil.
- Iteraciones intermedias: versiones con movimiento limitado, baja rigidez o geometría ineficiente.
- Versión final: soporte con ángulo ajustable y mayor rigidez estructural, mejorando la estabilidad de imagen y la calibración visual.

4.2. Chasis Ackermann

El chasis es completamente 3D impreso.
Para lograr buena estabilidad dinámica:

- Se aumentó el infill en puntos de carga.

- Se calculó el área de giro máxima posible sin interferencias ni flexiones.
- Se mantuvo la estructura lo más compacta posible para reducir vibraciones.

4.3. Hubs y ejes

Los hubs de las ruedas delanteras fueron inicialmente fabricados en ABS para reducir desgaste, pero finalmente reemplazados por PLA al no justificar el cambio.

Los ejes y sus uniones fueron diseñados para adaptarse perfectamente al sistema de dirección sin necesidad de engranajes personalizados.

5. Integración y arquitectura física

- Modularidad: El robot cuenta con dos plataformas principales (superior e inferior).
- Distribución de peso: la batería y motor en la parte inferior ayudan a mantener el centro de gravedad bajo.
- Cableado y alimentación: se organizaron de acuerdo al modelo digital en SolidWorks, minimizando interferencias y enredos.
- Accesibilidad: cada módulo puede retirarse sin desmontar completamente el robot.

6. Conclusión

El proceso de diseño y fabricación de piezas 3D ha sido una parte esencial en la construcción de Rulo Bot. Gracias a esta estrategia:

- Logramos reducir peso y aumentar la rigidez estructural.
- Mejoramos la modularidad y mantenibilidad de la plataforma.
- Desarrollamos un robot con un alto grado de personalización mecánica, alineado directamente con nuestra arquitectura electrónica y de control.

El aprendizaje obtenido durante este proceso nos permitirá iterar y mejorar con mayor velocidad en futuras etapas de desarrollo y competencia.