

DISEÑO Y DESARROLLO DE ROBOTS MINI SUMO RC

Design and Development of Mini Sumo RC Robots

Karla Yelitza Figueroa-García^a, Marco Antonio Guereca-Soto^{*b}, Aide Ivana Minchaca-Guerra^c,
Rodrigo Elah Martínez-Juárez^d, Israel Santacruz-Mondragón^{*d}, Araceli Zapatero-Gutiérrez^e, Abraham
Gastelum-Barrios^f

^a División de Ingenierías, Universidad Anáhuac Querétaro, karla.figueroa@anahuac.mx

^b División de Ingenierías, Universidad Anáhuac Querétaro, marco_guereca@anahuac.mx

^c División de Ingenierías, Universidad Anáhuac Querétaro, aide.minchaca@anahuac.mx

^d División de Ingenierías, Universidad Anáhuac Querétaro, israel.santacruz@anahuac.mx

^e División de Ingenierías, Universidad Anáhuac Querétaro, araceli.zapatero@anahuac.mx

^f División de Ingenierías, Universidad Anáhuac Querétaro, abraham.gastelum@anahuac.mx

Recibido: 03 de agosto 2026. Aceptado: 28 de agosto 2026. Publicado: 21 de septiembre 2026.

Resumen—Las competencias de robótica son una herramienta de aprendizaje que integra conocimientos de diseño mecánico, electrónica y programación. Dentro de estas competencias, la categoría de sumo representa un gran desafío para los participantes, ya que deben cumplir diversas restricciones de tamaño y peso establecidas por los reglamentos de competencia. Cada una de estas limitaciones influye directamente en el diseño mecánico y en la selección de componentes. Para abordar esta problemática, el objetivo general de este artículo es detallar la fabricación y validación de un robot mini sumo operado a distancia. La metodología combinó simulación computacional, manufactura por impresión tridimensional y el desarrollo de una placa de circuito impreso a la medida para alojar un microcontrolador principal y un controlador de motores. Adicionalmente, se programó un soporte lógico orientado a objetos para gobernar la cinemática y permitir una comunicación inalámbrica sin latencia perceptible durante las pruebas realizadas. Los resultados mostraron concordancia entre la masa virtual y la física en la medición realizada, además de cumplir con los límites perimetrales mediante una expansión frontal. Asimismo, la calibración algorítmica de la lógica de control eliminó asimetrías físicas de tracción. Se infiere que esta integración interdisciplinaria y la optimización de sus áreas maximizan el rendimiento competitivo del prototipo.

Palabras clave— Comunicación inalámbrica, Diseño mecatrónico, Manufactura, Microcontroladores, Mini sumo, Optimización, Programación orientada a objetos, Reglamentos.

Abstract—Robotics competitions are a learning tool that integrates knowledge of mechanical design, electronics, and programming. Within these competitions, the sumo category represents a significant challenge for participants, as they must comply with various size and weight restrictions established by competition regulations. Each of these limitations directly influences mechanical design and component selection. To address this issue, the general objective of this article is to detail the manufacturing and validation of a remotely operated mini sumo robot. The methodology combined computational simulation, manufacturing by three-dimensional printing, and the development of a custom printed circuit board to house a main microcontroller and a motor controller. Additionally, object-oriented software was developed to control the robot's kinematics and enable wireless communication with no perceptible latency during the tests. The results showed agreement between the virtual and physical mass in the measurement performed, while also meeting the perimeter limits through frontal expansion. Furthermore, the algorithmic calibration of the control logic eliminated physical traction asymmetries. It is inferred that this interdisciplinary integration and the optimization of its areas maximize the competitive performance of the prototype.

Keywords— Manufacturing, Mechatronic design, Microcontrollers, Mini sumo, Object-oriented programming, Optimization, Regulations, Wireless communication.

I. INTRODUCCIÓN

Las competencias de robótica son espacios académicos de alto nivel formativo; en ellas, con estudiantes provenientes de distintas carreras de ingeniería, se refuerza el conocimiento teórico y se desarrollan habilidades técnicas, el pensamiento crítico y el trabajo en equipo ante desafíos reales de la ingeniería. Entre las categorías más conocidas en competencias de robótica se encuentra Mini Sumo. Es una categoría que combina la electrónica en un espacio reducido, la optimización mecánica y la estrategia en el combate. Uno de los objetivos principales de esta categoría es diseñar un robot, autónomo o controlado por radiofrecuencia, que sea capaz de empujar a un oponente fuera del área de combate en un dojo, cumpliendo con restricciones de dimensiones y peso.

A diferencia de otras categorías, en Mini Sumo se exige optimizar cada componente. El éxito en la competencia depende de factores importantes como mantener el centro de gravedad lo más bajo posible, el ángulo y la geometría de las cuchillas para lograr un fácil deslizamiento debajo del contrincante, y el uso de llantas que tengan tracción sin violar las pruebas de adherencia. Además de esto, se permite que el robot se expanda durante el combate, lo cual añade un grado de complejidad al diseño mecánico, ya que el mecanismo de despliegue tiene que ser estable y no debe desestabilizar el centro de gravedad.

El presente artículo busca documentar el diseño y la fabricación que el equipo de robótica competitiva DELTA realizó para la construcción del Mini Sumo, detallando el proceso en SolidWorks, la integración de los componentes, la programación y la conexión con los elementos electrónicos. Se busca dar una demostración de un enfoque respaldado por pruebas, el cual es determinante para el desarrollo de prototipos competitivos que puedan fomentar el avance de los alumnos de ingeniería.

II. MARCO TEÓRICO

A. Contexto histórico

La competencia de robots surgió como una manera de impulsar el espíritu, la pasión, el arte de la manufactura y la ingeniería en los jóvenes por parte de la empresa japonesa Fujisoft Inc. [1]. Alrededor de 1989, Fujisoft Inc. tuvo la iniciativa de organizar una competencia de robots sumo, que tomó el nombre de 'All Japan Robot Sumo Tournament' [2]. El All Japan Robot-Sumo Tournament empezó con la categoría de 3 kg por radiocontrol (RC) y autónomo. Además, estableció las reglas básicas que siguen vigentes. En su 20.º aniversario, se invitó a participantes internacionales de EE. UU., Singapur y México, expandiendo este evento a lugares fuera de Japón. Con el tiempo, la búsqueda de miniaturizar la tecnología y optimizar recursos generó nuevas divisiones, entre las que destaca el formato de robot mini sumo, el cual exige el mismo rigor táctico pero bajo la estricta limitante de 500 gramos. Hoy en día, el All Japan Robot-Sumo Tournament sigue siendo la competencia referente a nivel mundial en esta disciplina [2] [3].

B. Requisitos de diseño de un Mini Sumo

Para garantizar la equidad y estandarizar el nivel de ingeniería, las competencias operan bajo restricciones físicas y de seguridad muy precisas. Con base en la normativa de la competencia MECAMEX, referente a la robótica de competencia a nivel nacional en México, organizada por la Asociación Mexicana de Mecatrónica (AMM), y que tiene acreditación para participar en la All Japan Robot-Sumo, se establecen las siguientes especificaciones principales en la categoría mini sumo RC [4][5]:

- El diseño del robot es libre, condicionado al cumplimiento de las especificaciones y restricciones del reglamento.
- Las dimensiones máximas permitidas en la posición de inicio son 10 cm de largo por 10 cm de ancho. No existe límite para la altura del prototipo. El robot puede expandir sus dimensiones físicas una vez iniciado el combate. La totalidad de sus componentes debe estar contenida dentro de la estructura del robot.
- La masa total del robot no debe exceder los 500 gramos.
- El sistema de control debe ser exclusivamente inalámbrico, permitiendo el uso de protocolos de comunicación tales como Bluetooth, Wi-Fi, RF o infrarrojo.
- Se prohíbe el uso de sistemas para el incremento artificial del peso del robot.
- Los neumáticos deberán superar una prueba de adherencia; estos no serán capaces de sostener suspendida una hoja de papel estándar tamaño A4 por un periodo superior a dos segundos.

Las dimensiones y el peso están estandarizados en varios reglamentos de competencias, como lo documenta Chango Quishpe (2023) al comparar múltiples normativas nacionales e internacionales [6].

C. Descripción de la competencia Mini Sumo RC

La modalidad de mini sumo por control remoto (RC) exige que el prototipo sea operado y controlado mediante un mando de radiofrecuencia, permitiendo estrategias y reacciones inmediatas frente a los movimientos del oponente [6]. En esta categoría, el área de combate (dohyo) consiste en una superficie circular de madera de 77 cm de diámetro recubierta de melamina negra y delimitada exteriormente por una línea blanca de 2,5 cm de ancho (tawara) [3][4].

El combate oficial se disputa típicamente al mejor de tres asaltos con un límite de tiempo establecido. Para el arranque, los robots se posicionan en las líneas de inicio (shikiri-sen), ubicadas a 5 cm a la izquierda y a la derecha del centro exacto de la pista (como se muestra en la Figura 1), esta es una configuración heredada del sumo tradicional japonés [4][6]. El combate inicia oficialmente mediante un sonido electrónico emitido por el arbitraje. Para obtener la victoria (punto Yuko), el operador debe empujar al oponente fuera del área; un robot es declarado perdedor en el momento en que cualquier parte de su

estructura toca la superficie exterior del dohyo [4][6]. Asimismo, si los robots entran en un punto muerto de tracción sin avance, el árbitro puede detener el encuentro y ordenar un reinicio en las líneas de salida para evitar daños estructurales o electrónicos.

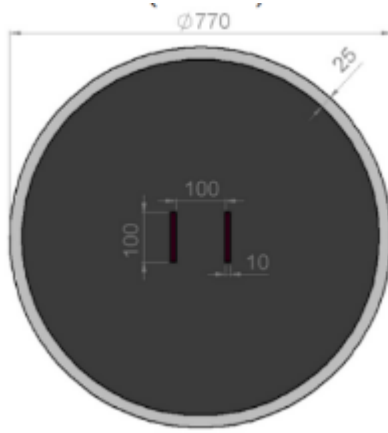


Fig. 1. Dohyo de mini sumo, línea blanca (tawara) y líneas de inicio (shikirisen). Fuente: Reglamento Oficial MECAMEX (p. 7), por MECAMEX, 2025. [4]

D. Fundamentos de diseño mecánico y electrónico para Mini Sumo

El diseño de un mini sumo competitivo está basado en dos pilares importantes: las restricciones del reglamento y los principios físicos que pueden determinar su desempeño en los combates.

Uno de los factores más críticos dentro del diseño es la ubicación del centro de gravedad. El centro de gravedad debe situarse en la parte más baja posible, ya sea ligeramente desplazado hacia el frente o centrado sobre las llantas. La eficacia de esta estrategia para garantizar la estabilidad durante el combate ha sido demostrada y documentada en múltiples competencias. En la dinámica de cuerpos rígidos, un centro de gravedad bajo reduce el momento de volteo que es generado por la fuerza de empuje horizontal del oponente. Este principio es importante para el diseño de un mini sumo; la batería y los componentes pesados deben ubicarse en la parte baja para maximizar esto [2][11].

La geometría de la rampa se basa en el principio del plano inclinado. Un ángulo de ataque que esté reducido permite que el robot se deslice debajo del adversario, aprovechando una fuerza normal que reduce la tracción del oponente al levantar las ruedas. Este principio, combinado con el material adecuado, puede generar equilibrio entre la rigidez y el peso. [7][8][9]

III. MATERIALES Y MÉTODOS

A. Diseño Mecánico

i) Materiales de construcción

Para la selección del material de la carcasa y de la cuchilla, se consideró el peso de cada elemento electrónico y mecánico del robot. Se pesó cada componente por separado utilizando una

báscula digital con una resolución de 0.1 g (ver Tabla 1) y se calculó la masa total. A partir de esto, se determinó el peso libre disponible para la estructura, con el objetivo de no superar el límite máximo de 500 g establecido en los requisitos de diseño.

Tabla 1.
Peso de componentes.

Componente / Material	Cantidad	Peso Unitario (g)	Peso Total (g)
JSumo DC Motor	2	21.2	42
Llantas JSUMO 26×22			
Aluminio	2	30.5	44
Servomotor (SG90S)	2	10.0	24
Batería Lipo	1	42.0	42
PCB	1	28.2	30
Navaja de acero	3	6.1	30
Tornillería M3	15	0.8	12
Peso total de componentes			223.9 g
Peso libre para utilizar			276.1 g

Fuente: Autores del proyecto

Nota: Las mediciones físicas están sujetas a la resolución de la báscula digital (± 0.1 g).

Para garantizar la integridad estructural del prototipo y optimizar los recursos disponibles, se evaluaron tres materiales de impresión 3D del fabricante Bambu Lab: PETG HF, PLA Basic y TPU 95A HF. Como se detalla en la Tabla 2, la toma de decisiones se sustentó en la comparación de propiedades mecánicas clave como la densidad, el módulo de Young y la resistencia al impacto, utilizando los datos extraídos de las fichas técnicas oficiales [7] [8] [9]. La integración de los sistemas mecánicos y electrónicos debe asegurar que las fuerzas y los momentos generados por los motores se transmitan de manera eficiente al cuerpo del robot y a la rampa, sin sobrepasar límites estructurales.

Tabla 2.
Comparación de materiales de fabricación para la carcasa.

Material	Densidad	Módulo de Young (X-Y / Z)	Resistencia al Impacto (X-Y)
Bambu PETG HF	1.28 g/cm ³	1810 ± 190 MPa / 1540 ± 130 MPa	31.5 ± 2.2 kJ/m ² (6.2 ± 1.8 kJ/m ² con muesca)
		2580 ± 220 MPa / 2060 ± 170 MPa	26.6 ± 2.8 kJ/m ² (7.9 ± 1.2 kJ/m ² con muesca)
		9.8 ± 0.7 MPa / 7.4 ± 0.6 MPa	123.2 kJ/m ²
Bambu PLA Basic	1.24 g/cm ³		
Bambu TPU 95A HF	1.22 g/cm ³		

Fuente: Fichas técnicas de Bambu Lab [7], [8], [9].

Después de comparar dichas propiedades, se seleccionó el filamento PLA Basic. Esta decisión se fundamenta en que presenta un módulo de Young superior al del TPU, (propiedad considerada favorable para reducir las deformaciones de la carcasa que podrían alterar el ángulo de la cuchilla, la posición de las llantas y el ensamble de otros componentes). Asimismo, el PLA posee una densidad menor que la del PETG, lo que permite un ahorro significativo de masa que puede aprovecharse para dar mayor peso a la cuchilla.

Para la cuchilla se utilizó el aluminio 6061 por sus propiedades físicas y mecánicas. Su densidad, dureza y resistencia al impacto superan las del PLA (ver Tabla 2), siendo estas propiedades indispensables para soportar las colisiones directas y mantener el centro de gravedad del robot lo más bajo posible. También se consideró la disponibilidad del material y de la maquinaria en el taller de manufactura en el que se fabricó el prototipo.

ii) Diseño de carcasa y simulación CAD

Se comenzó con el diseño CAD, en el software SolidWorks, de cada uno de los componentes que se utilizarían en el robot mini sumo (ver Fig. 2), siendo estos:

- 2 motores JSUMO CORE [10]
- 2 llantas JSUMO
- 1 placa de control (PCB)
- 2 servomotor SG90
- 3 navajas de acero inoxidable
- 1 batería GNB8503S60AHV
- Tornillos M3 de distintas longitudes

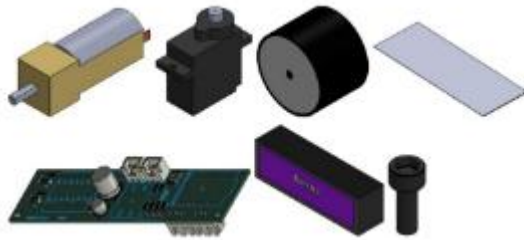


Fig. 2. Modelados 3D de componentes mecánicos y electrónicos del robot mini sumo. Fuente: Autores del proyecto

Con base en los distintos componentes y las especificaciones del reglamento de la AMM, se propusieron los siguientes requisitos para el diseño del robot:

- El centro de gravedad del robot debe encontrarse lo más bajo y lo más cercano al centro de la distancia entre las cuchillas.
- La rampa frontal debe mantener un ángulo entre 15° y 30° con respecto al suelo.
- Un diseño que optimice el espacio.
- Una carcasa que optimice el tiempo de ensamble del robot y de todos sus componentes.
- Un mecanismo de expansión de dimensiones mediante servomotores

Para sobrepasar la restricción inicial de 10x10 cm, se implementó un mecanismo de expansión dimensional que se despliega al iniciar el combate, uniendo dos cuchillas auxiliares a los servomotores mediante eslabones.

Los modelos 3D de cada una de las piezas y de la carcasa se ensamblaron virtualmente utilizando el software CAD SolidWorks (ver Fig. 3), donde se integraron los componentes y se asignaron las propiedades físicas obtenidas en la fase previa (PLA Basic para la carcasa y aluminio 6061 para la cuchilla y las masas recopiladas de cada componente). Al ejecutar la simulación de propiedades de masa sobre el ensamblaje virtual, se comprobaron la masa y la ubicación exacta del centro de masa (Fig. 4). Para validar la viabilidad del mecanismo de expansión, se calculó el torque estático requerido en la posición de despliegue horizontal (1). La masa del ensamble móvil (m) se midió utilizando una báscula digital con 0.01 g de resolución. El conjunto consta de una base de PLA unida a la cuchilla de acero (22.8 g), el eslabón impreso (2.7 g) y tres tornillos M3 de fijación (2.4 g en total), dando como resultado $m = 27.9 \text{ g} = 0.0279 \text{ kg}$.

A partir del ensamblaje en SolidWorks, se obtuvieron las coordenadas del centro de masa de este conjunto y se calculó una distancia de $d = 6.72 \text{ cm}$ respecto al eje de rotación del servomotor. Empleando la ecuación (1) donde τ_{req} representa el torque estático requerido para mantener el ensamble de la cuchilla estable en el eje horizontal.

$$\tau_{req} = m \cdot d \quad (1)$$

Al aplicar (1) se obtuvo un torque teórico de 0.187 kg·cm. Este requerimiento representa el 10.4 % de la capacidad nominal del servomotor SG90 (1.8 kg·cm, según lo especificado en su hoja de datos [13]).

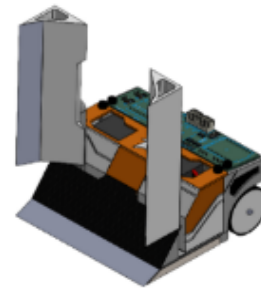


Fig. 3. Vista isométrica de modelo 3D del robot ensamblado. Fuente: Autores del proyecto.

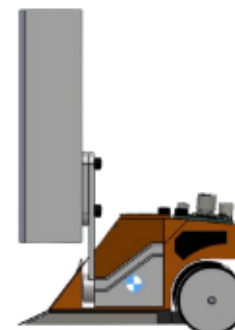


Fig. 4. Referencia visual del centro de masa. Fuente: Autores del proyecto

iii) Fabricación y ensamblaje

Tras validar la viabilidad estructural del diseño, se procedió con la fabricación del prototipo. La rampa frontal de aluminio 6061 fue manufacturada mediante fresado para garantizar el filo y las tolerancias geométricas exigidas (ver Fig. 5), mientras que la estructura principal de la carcasa se construyó mediante impresión 3D con PLA Basic (ver Fig. 6).



Fig. 5. Proceso de fresado de cuchilla de aluminio. Fuente: Autores del proyecto



Fig. 6. Proceso de impresión 3D de la carcasa. Fuente: Autores del proyecto

Por último, se ensambló el robot en su totalidad integrando los componentes mecánicos y electrónicos (ver Fig. 7).



Fig. 7. Ensamble del robot mini sumo. Fuente: Autores del proyecto

B. Diseño Electrónico

La arquitectura electrónica del prototipo se concibió bajo la premisa de maximizar la eficiencia energética y minimizar el volumen interno, garantizando el cumplimiento de las estrictas normativas de la AMM [4]. A diferencia de los ensambles tradicionales con cableado expuesto, se optó por una integración a medida denominada en una PCB.

i) Arquitectura de hardware

Para definir la configuración del circuito, la selección de la batería de 11.4 V se determinó para operar los motores por encima de su voltaje nominal de 6 V y así maximizar su torque en intervalos cortos [10]. Esta tensión respeta de manera segura tanto el límite de 16 V soportado por los motores [10] como el voltaje máximo de 15 V de la línea de potencia (VM) del controlador TB6612FNG [11]. Asimismo, el uso del convertidor step-down se justificó para reducir y estabilizar la tensión a 3.3 V, garantizando el nivel lógico adecuado para la operación del microcontrolador ESP32-C3.

Además, el esquema de filtrado se rigió por las recomendaciones de la hoja de datos del controlador de motores TB6612FNG [11]. Tal como exige su diagrama de aplicación típico, se implementaron capacitores para la absorción de ruido, ubicados lo más cerca posible del circuito integrado [11]. Específicamente, se colocaron arreglos en paralelo de capacitores de 10 μ F y 0.1 μ F tanto en la línea de alimentación de los motores (VM) como en la línea de voltaje de señales lógicas (Vcc) [11]. Los capacitores de 10 μ F compensan las caídas de tensión generadas por los picos transitorios de corriente de hasta 3200 mA de los motores [10], mientras que los de 0.1 μ F se encargan de la absorción del ruido eléctrico [11]. Con base en la justificación técnica de cada uno de estos componentes y sus requerimientos energéticos, se estructuraron las conexiones que conforman la arquitectura de hardware del prototipo (ver Fig. 8).

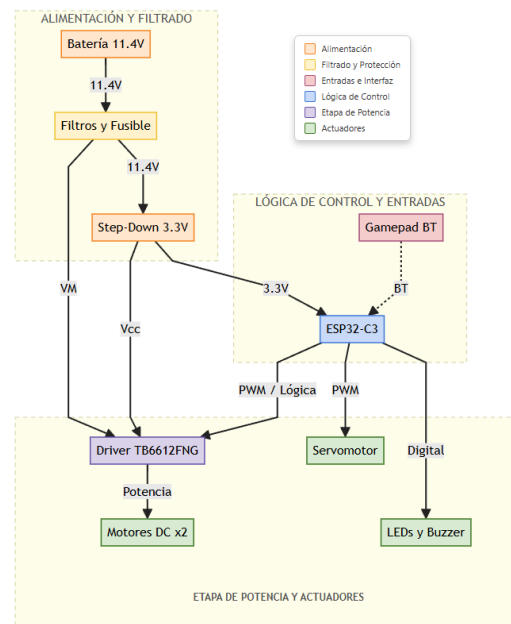


Fig. 8. Diagrama de bloques de la arquitectura electrónica del robot. Fuente: Autores del proyecto

ii) Esquemático y ruteo de la placa (PCB)

Para materializar esta arquitectura, se desarrolló el diseño esquemático utilizando el software especializado KiCad (ver Fig. 9). Posteriormente, el diseño se tradujo en el ruteo físico de la PCB (ver Fig. 10). Para asegurar el manejo térmico y de corriente de los actuadores, el ancho de las pistas de potencia se dimensionó utilizando la herramienta de cálculo de pistas

Integrada en KiCad, la cual está fundamentada en el estándar IPC-2221, como lo indica la propia herramienta. Tomando como parámetros de entrada la corriente de bloqueo de 3200 mA exigida por los motores JSumo CORE [10], un grosor de cobre externo de 1 oz para la manufactura, y un incremento de temperatura permitido de 10 °C (valor estándar recomendado por la propia herramienta), se determinó un ancho de pista de 1.4953 mm, el cual se redondeó a 1.5 mm en el diseño final. Finalmente, como medida preventiva de diseño, se implementó un plano de tierra con el propósito de reducir la susceptibilidad al ruido electromagnético del circuito.

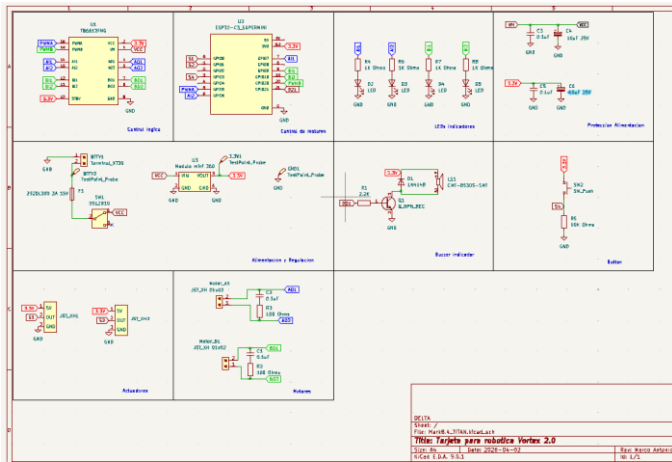


Fig. 9. Diseño esquemático de la placa de control. Fuente: Autores del proyecto.

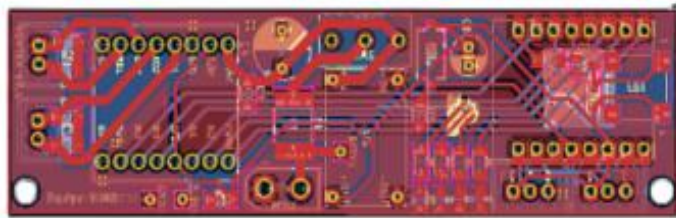


Fig. 10. Ruteo en doble capa de la placa de circuito impreso. Fuente: Autores del proyecto

iii) *Manufactura*

Para garantizar la integridad estructural del hardware, la manufactura de la PCB se externalizó mediante los servicios de fabricación profesional de JLCPCB. Esta decisión aseguró un acabado de nivel industrial con doble capa de cobre, perforaciones metalizadas (vías) y máscara de soldadura. Desde una perspectiva competitiva, esta integración redujo drásticamente el espacio ocupado por la electrónica, otorgando una máxima robustez frente a colisiones físicas directas y previniendo cortocircuitos o soldaduras frías bajo el estrés sostenido del combate.

C. Diseño de Firmware

Para el desarrollo del sistema de control, se estructuró una arquitectura de firmware orientada a objetos que define los componentes principales y su interconexión (ver Fig. 11). Específicamente, para la etapa de potencia, se diseñó un diagrama de clases (UML) que modela el puente H

TB6612FNG (ver Fig. 12), encapsulando los atributos y métodos necesarios para controlar el comportamiento cinemático del prototipo en función de las tablas de verdad de sus entradas lógicas y señales PWM [2].

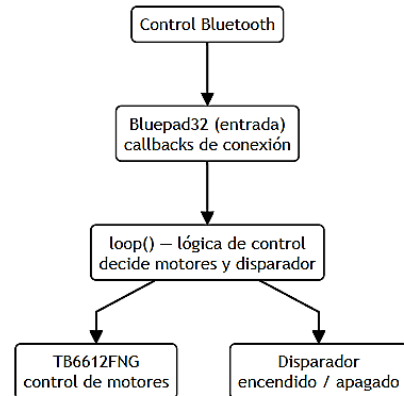


Fig. 11. Arquitectura de firmware. Fuente: Autores del proyecto

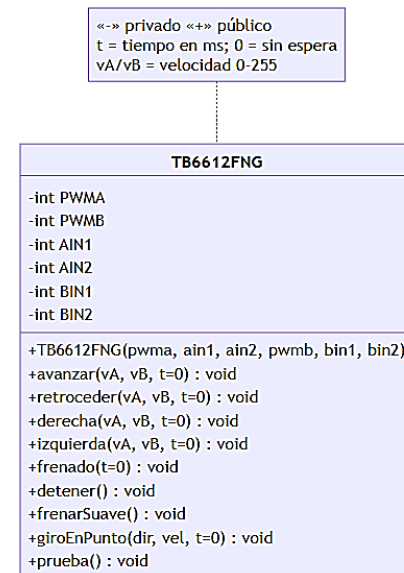


Fig. 12. Diagrama UML de clase TB6612FNG. Fuente: Autores del proyecto

La codificación se ejecutó en el entorno de desarrollo Arduino IDE empleando el lenguaje C++. Analíticamente, el reto principal de latencia en la comunicación inalámbrica se resolvió integrando la biblioteca Bluepad32, la cual establece un enlace Bluetooth directo entre el mando de control y el microcontrolador ESP32-C3 mediante la vinculación de su dirección MAC (Media Access Control). Esta implementación es crítica, ya que asegura la transmisión en tiempo real de los estados digitales y analógicos del mando sin interferencias. Simultáneamente, el control de la posición angular del servomotor se gestionó mediante la biblioteca ESP32Servo.

Finalmente, la lógica central del programa evalúa los paquetes de datos recibidos y, mediante estructuras condicionales, invoca los métodos de la clase del puente H para efectuar cambios instantáneos de dirección y variaciones dinámicas de velocidad (ver Fig. 13). En paralelo, el algoritmo acciona el servomotor, variando su posición entre 0° y 90° para desplegar el mecanismo de expansión frontal (ver Fig. 14). Esta

arquitectura de software garantiza que el robot reaccione con la máxima agilidad posible, cumpliendo con todas las exigencias operativas y tácticas que el combate demanda.

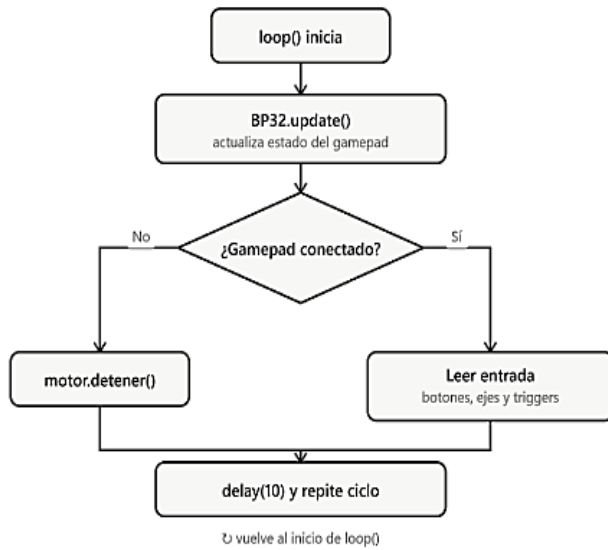


Fig. 13. Diagrama de flujo de la lógica principal del sistema. Fuente: Autores del proyecto

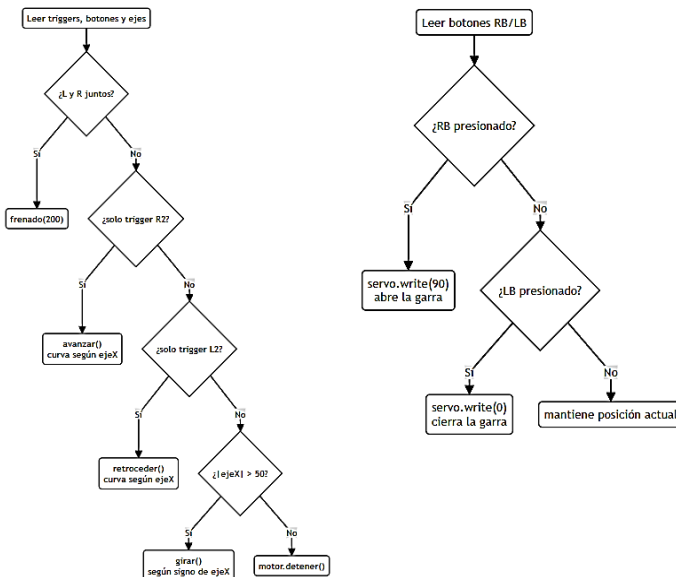


Fig. 14. Diagrama de flujo de la lógica de control de los motores y del sistema de expansión mediante servomotores. Fuente: Autores del proyecto

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A. Evaluación Experimental del Prototipo

Para validar el diseño y la manufactura del robot mini sumo, se establecieron protocolos de medición física y pruebas dinámicas enfocadas en comprobar la viabilidad estructural y electrónica del sistema. En una primera fase, se contrastaron las dimensiones y la masa final del prototipo ensamblado contra el análisis paramétrico obtenido en SolidWorks. Las mediciones físicas se realizaron utilizando un calibrador vernier (rango de 0 a 153 mm, resolución de 0.2 mm) y una báscula digital

(capacidad de 3000 g, resolución de 0.1 g). Posteriormente, se realizaron pruebas de control cinemático en un dohyo de prueba, operando el sistema de forma inalámbrica para observar cualitativamente la respuesta de la comunicación y de la etapa de potencia, así como la estabilidad del despliegue del mecanismo de expansión frontal.

B. Resultados Paramétricos y de Desempeño

A partir de la experimentación, se obtuvieron los siguientes resultados cuantitativos y cualitativos sobre el desempeño del prototipo físico final:

i) Dimensiones y Tolerancias

La medición de las dimensiones máximas del ensamblaje en SolidWorks y del prototipo físico (medido con un calibrador vernier con una resolución de 0.2 mm) arrojó los siguientes resultados mostrados en la Tabla 3.

Tabla 3. Dimensiones simuladas y físicas del Mini-Sumo.

Dimensión	Eje	Medida		
		SolidWorks (mm)	Medida Real (mm)	Error (%)
Largo / Frente	X	100	99.7	0.30%
Ancho / Lateral	Y	97.57	99.4	1.88%
Alto	Z	56.03	58.2	3.87%

Fuente: Autores del proyecto

Nota: Las mediciones físicas están sujetas a la resolución del calibrador vernier (± 0.2 mm).

ii) Masa y Centro de Gravedad

El software de diseño asistido por computadora estimó una masa total de 407.59 g para el ensamblaje virtual. Al finalizar la manufactura, el prototipo físico con una báscula digital (resolución de 0.1 g) se registró una masa de 413 g (ver Fig. 15 y la Tabla 5). Respecto a la distribución inercial, la simulación ubicó la coordenada del centro de masa en el eje Z a 24.55 mm de altura respecto a la base, como se muestra en la Tabla 4.



Fig. 15. Medición de masa del robot. Fuente: Autores del proyecto

Tabla 4.
Propiedades de Masa y Centro de Gravedad del Mini-Sumo.

Propiedad	Valor	Unidades
Masa	407.59	gramos
Centro de masa X	50	milímetros
Centro de masa Y	54.47	milímetros
Centro de masa Z	24.55	milímetros

Fuente: Autores del proyecto

Tabla 5.
Comparación de la masa simulada y real del Mini-Sumo.

Propiedad	Medida		Error (%)
	SolidWorks (g)	Medida Real (g)	
Masa Total	407.59	413	1.31%

Fuente: Autores del proyecto

Nota: La medición física está sujeta a la resolución de la báscula digital (± 0.1 g).

iii) Cinemática y Electrónica

El microcontrolador ESP32-C3 procesó las entradas del mando vía Bluetooth utilizando la biblioteca Bluepad32, traduciendo los comandos a señales PWM hacia el controlador TB6612FNG. Los motores ejecutaron exitosamente las rutinas de avance, retroceso y giro. Asimismo, la placa PCB alojó todos los componentes de control y potencia dentro del espacio delimitado, eliminando el cableado expuesto (ver Fig. 16).



Fig. 16. Placa de control integrada en el robot. Fuente: Autores del proyecto

iv) Mecanismo de Expansión

Los servomotores completaron 10 ciclos consecutivos de apertura y cierre de las cuchillas laterales, desde su posición inicial hasta los 90° , sin presentar atascos mecánicos en la estructura principal.

C. Análisis de Resultados y Cumplimiento Normativo

Estos resultados confirman que la metodología de diseño iterativo aplicada fue altamente efectiva. La convergencia entre la masa simulada y la masa real representa un margen de error de apenas 1,31%, como lo muestra la Tabla 5. Esta variación de masa se atribuye a que no se consideró dentro de la simulación la masa de los cables que conectan la placa de control con los motores DC y servomotores. Asimismo, al evaluar las dimensiones físicas presentadas en la Tabla 3, las variaciones se

mantuvieron en márgenes mínimos, registrando un error de manufactura de apenas 0,30% en el eje X y 1,88% en el eje Y.

Este índice de precisión conjunta valida que la asignación de densidades y geometrías a los materiales seleccionados fue correcta y demuestra que los procesos de impresión 3D y maquinado se ejecutaron con tolerancias sumamente rigurosas. Sin embargo, la metodología no incluyó un análisis de elementos finitos (FEA) ni el cálculo del factor de seguridad de los eslabones cinemáticos ante las cargas de impacto propias del combate. Aunque la selección de PLA Basic se fundamentó en sus propiedades mecánicas, esta evaluación no permitió predecir la deformación observada experimentalmente en dichas piezas. Por ello, en trabajos futuros se recomienda simular las cargas de impacto y complementar el análisis con pruebas mecánicas controladas, con el fin de optimizar la geometría y seleccionar un material con mayor resistencia.

Desde la perspectiva competitiva, el prototipo cumplió íntegramente con el reglamento establecido por la AMM para el torneo MECAMEX. Las mediciones perimetrales reales (99.7 mm x 99.4 mm) demuestran que las tolerancias de manufactura lograron ajustarse milimétricamente a la restricción máxima de 100x100 mm, evitando exceder las dimensiones de inicio mientras se maximiza el área útil del chasis. Asimismo, la masa final se mantuvo un 17,4% por debajo del límite máximo reglamentario de 500 g.

En cuanto a la integración electrónica, la implementación de una PCB a la medida fue clave para optimizar el volumen interno y proteger las conexiones de los impactos. Por otro lado, durante las pruebas de movimiento con el puente H TB6612FNG, se identificó un comportamiento mecánico que requirió un ajuste en el software: debido a la orientación del ensamblaje, se tuvo que invertir la lógica de control del motor B directamente desde la clase programada en el firmware. Este cambio permitió sincronizar correctamente el sentido de giro físico de ambas llantas. Gracias a esta calibración precisa entre el hardware y el código del ESP32-C3, se corrigió cualquier desfase en la tracción, asegurando que el robot logre avanzar en línea recta sin desviarse y ejecute giros rápidos y precisos.

Finalmente, la estimación del centro de gravedad (la Tabla 4 muestra la coordenada 24.55 mm en el eje Z positivo) asegura un perfil cinemático altamente estable. Dado que la altura total medida del robot es de 58.2 mm, ubicar el centro de masa a esta cota significa que el peso se concentra estratégicamente en el plano medio-bajo de la estructura. Esta configuración garantiza que el polígono de sustentación permanezca firme, minimizando el riesgo de volcaduras por impactos laterales.

V. CONCLUSIONES

El desarrollo de este prototipo demuestra que el uso de simulaciones para la aproximación de las propiedades, dimensiones y características físicas en la robótica competitiva permite que el modelo final sea sumamente exacto. A diferencia de los ensamblajes convencionales que dependen de cableado

expuesto, la principal aportación de este trabajo radica en la consolidación de una arquitectura electrónica compacta mediante una placa de circuito impreso (PCB) a la medida, operada por un firmware orientado a objetos. Esta sinergia permitió solucionar asimetrías de tracción desde la arquitectura del código, al invertir la lógica de control de la etapa de potencia, garantizando además una convergencia casi exacta entre la masa del modelo virtual y el centro de gravedad del sistema físico.

A pesar del alto rendimiento alcanzado, la evaluación experimental en el área de combate (dohyo) reveló ciertas deficiencias ante colisiones de alto impacto. Después de varios choques, los eslabones que sostienen las cuchillas se deformaron debido a su geometría y al material de fabricación. Esto provocó la descalibración de las posiciones inicial y final de los servomotores.

El análisis de torque ($0.187 \text{ kg}\cdot\text{cm}$) comprobó exclusivamente que la capacidad del actuador es suficiente para mover el peso del mecanismo de forma fluida y sin carga adicional en condiciones normales, sino a recibir impactos directos en la estructura durante el combate, que se transmiten a largo de la estructura y el eje del servomotor causando que salten la posición de los engranes cambie de posición inicial. Para tener un análisis de la causa raíz de la deformación de los eslabones y las descalibración de los servomotores, para trabajo a futuro se propone un análisis de esfuerzos estático y dinámico al eslabón del mecanismo, identificar los cambios de sección que concentran mas esfuerzos y ajustar la geometría del eslabón para evitar la deformación en las condiciones de un combate profesional de mini sumo. Asimismo, se recomienda fabricar los eslabones con un material más resistente a la deformación (como el aluminio).

Durante las pruebas, se observó una degradación notable de la tracción una vez transcurridos 3 minutos (medidos con un cronometro digital con resolución de 0.01 segundos) de uso continuo. Las pruebas se realizaron sobre una superficie de MDF laminado, en un cuarto cerrado sin considerar condiciones de temperatura o humedad, el robot disminuyó su nivel de tracción y comenzó a desviarse al avanzar en línea recta; este problema se debe a la acumulación de partículas de polvo en las llantas, lo cual reduce significativamente la fricción entre la goma y la superficie.

Para mitigar las deficiencias encontradas, en trabajo a futuro, se propone limpiar con alcohol isopropílico los neumáticos antes de cualquier prueba. Además, controlar y medir las variables del entorno de pruebas tales como temperatura y humedad, registrar y analizar los datos para identificar de manera más puntual que valores o condiciones son las que nos provocan la pérdida de tracción en el robot y aislar los efectos no deseados.

En cuanto a sus aplicaciones, la plataforma mecatrónica desarrollada no se limita a la modalidad de mini sumo radiocontrolado. La escalabilidad del microcontrolador y la

distribución del chasis ofrecen una base tecnológica altamente viable para la robótica educativa y la transición hacia el mini sumo autónomo, facilitando la integración de sensores de proximidad para detectar límites u oponentes. Asimismo, los principios de control de tracción y enrutamiento de potencia validados en este proyecto son directamente aplicables a otras categorías competitivas de alto rendimiento, tales como los seguidores de línea y el robot soccer.

1. Agradecimientos

Los autores agradecen a Diego Gael Mata Granados, Danna Constanza Mendoza Ángeles, Ana Emilia Rubalcava González, Aurora Paola Menéndez Machaen, Alys Vencis Aguilera, Elizabeth Jiménez Castrejón, Erick Cruz Montes, Claudia López Elvira, Mauro Francisco Cruz Caballero y Eduardo Enrique Mendoza de la Torre por sus invaluable contribuciones técnicas en el desarrollo de los sistemas electrónicos, mecánicos y de control que integran el prototipo de Mini Sumo.

2. Referencias

- [1] Comité del All Japan Robot-Sumo Tournament. (2025). 全日本ロボット相撲大会 試合規則 [Reglamento de combate del All Japan Robot-Sumo Tournament] (Versión 4.2). [robor-sumo_rules.pdf](#).
- [2] Fujisoft Inc. (s.f.). History of Robot Sumo [Historia del Robot Sumo]. Recuperado el 22 de junio de 2026, de <https://www.fsi.co.jp/sumo/history/>
- [3] Ramos García, P. A., Villamar Montiel, H. J., y Romero Macas, H. G. (2023). Robots Mini Sumo RC de competencia para el club de robótica del Instituto Superior Tecnológico Tsachila. *Boletín Científico Ideas y Voces*, 3(4), 875-908.
- [4] Asociación Mexicana de Mecatrónica A.C. [AMM]. (2025). Reglamento Mini Sumo RC. <https://www.mecamex.org/>
- [5] Rivadeneira Usiña, P. J. (2022). Diseño e implementación de robots de competencia: Diseño e implementación del robot de competencia categoría mini sumo [Tesis de Ingeniería, Escuela Politécnica Nacional]. Quito, Ecuador.
- [6] Matriz, S., Quishpe, C., & Alexander, E. (n.d.). TECNOLÓGICO UNIVERSITARIO VIDA NUEVA TEMA DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN ROBOT MINI SUMO DE COMPETENCIA CONTROLADO CON RADIO CONTROL PRESENTADO POR. Retrieved July 8, 2026, from <https://dspace.istvidanu-eva.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/123456789/363/chango%20quishpe%20edwin%20alexander.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- [7] Bambu Lab. (s.f.). Bambu Filament Technical Data Sheet V1.0: PETG HF. Propiedades Físicas y Mecánicas.
- [8] Bambu Lab. (s.f.). Bambu Filament Technical Data Sheet V3.0: PLA Basic. Propiedades Físicas y Mecánicas.
- [9] Bambu Lab. (s.f.). Bambu Filament Technical Data Sheet V1.0: TPU 95A HF. Propiedades Físicas y Mecánicas.
- [10] JSumo. (s.f.). CORE Gear Motor 6V 400RPM 48:1 Datasheet.
- [11] Toshiba. (2014). TB6612FNG Datasheet.
- [12] Espressif Systems. (2021). ESP32-C3 Series Datasheet (Version 1.1). <https://www.espressif.com>
- [13] TowerPro, "SG90 9 g Micro Servo Datasheet," AllDatasheet. [En línea]. Disponible: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/download/1572383/ETC/SG90.html>