

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

## **FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA**

### **DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE ROBOTS DE COMPETENCIA DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL ROBOT DE COMPETENCIA CATEGORÍA MINI SUMO**

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PRESENTADO COMO  
REQUISITO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN  
ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN**

**PABLO JOSUE RIVADENEIRA USIÑA**

**pablo.rivadeneira01@epn.edu.ec**

**DIRECTOR: NELSON GONZALO SOTOMAYOR OROZCO, MSc.**

**nelson.sotomayor@epn.edu.ec**

**DMQ, octubre 2022**

## CERTIFICACIONES

Yo, Pablo Josue Rivadeneira Usiña declaro que el trabajo de integración curricular aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.



---

**Pablo Josue Rivadeneira Usiña**

Certifico que el presente trabajo de integración curricular fue desarrollado por Pablo Josue Rivadeneira Usiña, bajo mi supervisión.



---

**Nelson Gonzalo Sotomayor Orozco, MSc.**  
**DIRECTOR**

## **DECLARACIÓN DE AUTORÍA**

A través de la presente declaración, afirmamos que el trabajo de integración curricular aquí descrito, así como el (los) producto(s) resultante(s) del mismo, son públicos y estarán a disposición de la comunidad a través del repositorio institucional de la Escuela Politécnica Nacional; sin embargo, la titularidad de los derechos patrimoniales nos corresponde a los autores que hemos contribuido en el desarrollo del presente trabajo; observando para el efecto las disposiciones establecidas por el órgano competente en propiedad intelectual, la normativa interna y demás normas.

PABLO JOSUE RIVADENEIRA USIÑA

NELSON GONZALO SOTOMAYOR OROZCO, MSc.

## **DEDICATORIA**

A mis padres y hermanos por quienes daría todo.

Pablo Rivadeneira

## **AGRADECIMIENTO**

Al finalizar el presente trabajo de integración curricular quiero dejar constancia de mi profundo agradecimiento a Dios por haberme regalado unos padres, que con su ejemplo supieron guiarme por el camino de la fe y la esperanza, a ellos que con su motivación permanente lograron que mi esfuerzo se vea cristalizado en este título, que encierra mi vocación de servicio a la sociedad.

A mis hermanos por su amor y cariño, por ser mis cómplices fraternos en todas mis actividades.

A mis amigos y compañeros de clases con los que compartimos momentos de estudio, grandes travesías y anécdotas que perdurarán en mi ser y serán el baluarte durante toda mi carrera.

A mis profesores por su entrega y dedicación al impartir sus conocimientos.

Al equipo de trabajo de Medical Equipment LM, quienes me enseñaron con mucha paciencia dedicando su tiempo y esfuerzo al aplicar los conocimientos teóricos adquiridos en la universidad al campo laboral.

Gratitud a la Universidad Escuela Politécnica Nacional por acogerme con calidez en sus aulas y en ellas brindarme sus sabias enseñanzas que construyen la base para desenvolverme en mi vida profesional.

Pablo Rivadeneira

## ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIONES .....	I
DECLARACIÓN DE AUTORÍA .....	II
DEDICATORIA .....	III
AGRADECIMIENTO .....	IV
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	V
RESUMEN .....	VIII
ABSTRACT.....	IX
1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 OBJETIVO GENERAL .....	2
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	2
1.3 ALCANCE.....	2
1.4 MARCO TEÓRICO .....	3
1.4.1 DESCRIPCIÓN DEL ROBOT MINI SUMO .....	3
1.4.2 ESPECIFICACIONES DE COMPETENCIA PARA EL ROBOT.....	3
1.4.2.1 Concurso Ecuatoriano de Robótica (CER):.....	3
1.4.2.2 ROBOMATRIX .....	4
1.4.2.3 ROBOT GAMES ZERO LATITUD .....	4
1.4.2.4 Características propuestas para el robot .....	4
1.4.3 ELEMENTOS DE ROBOTS DE COMPETENCIA .....	5
1.4.3.1 Robot mini sumo implementado en UCSG [11] .....	5
1.4.3.2 Robot mini sumo implementado en UG [12] .....	5
1.4.3.3 Robot mini sumo SIT-UV [13] .....	6
1.4.3.4 Características de componentes para el robot.....	7
1.4.4 ELEMENTOS DEL ROBOT .....	7
1.4.4.1 Microcontrolador .....	7
1.4.4.2 Sensor de distancia .....	8
1.4.4.3 Sensor de línea .....	9
1.4.4.4 Sensor de orientación.....	10
1.4.4.5 Motor .....	10
1.4.4.6 Sensor de Velocidad del motor.....	11
1.4.4.7 Driver para motores .....	12
1.4.4.8 Alimentación del sistema .....	12
1.4.4.9 Regulación de voltaje .....	12

2	METODOLOGÍA.....	13
2.1	DISEÑO MECÁNICO.....	13
2.1.1	ESTRUCTURA DEL CHASIS.....	14
2.1.2	MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN.....	17
2.1.2.1	ABS.....	17
2.1.2.2	Aluminio.....	18
2.2	DISEÑO ELECTRÓNICO.....	19
2.2.1	FUENTE DE ALIMENTACIÓN.....	20
2.2.2.1	Análisis de carga.....	21
2.2.2.2	Dimensionamiento de batería.....	21
2.2.2.3	Circuito de alimentación.....	23
2.2.2	SENSORES.....	23
2.2.2.1	Medición de batería.....	24
2.2.3	ACTUADORES.....	25
2.2.3.1	Indicadores LED.....	26
2.2.3.2	Motores.....	27
2.3	PROGRAMA DE CONTROL.....	28
2.3.1	CONFIGURACIÓN DE PERIFÉRICOS.....	30
2.3.2	COMUNICACIÓN.....	30
2.3.3	LECTURA DE DATOS.....	31
2.3.4	LINEALIZACIÓN Y ACONDICIONAMIENTO.....	31
2.3.4.1	Sensor de línea.....	31
2.3.4.2	Sensor de distancia.....	32
2.3.4.3	Sensor de orientación.....	33
2.3.5	RUTINAS DE CONTROL.....	33
2.3.5.1	Rutina control de velocidad en motores.....	33
2.3.5.2	Rutina avance en línea recta, y giro en su eje.....	35
2.3.5.3	Rutina de supervivencia.....	37
2.3.5.4	Rutina de búsqueda y ataque.....	38
2.3.6	PROGRAMA PRINCIPAL.....	38
3	RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	41
3.1	RESULTADOS.....	41
3.1.1	PRUEBAS INDIVIDUALES.....	41
3.1.1.1	Pruebas de sensores.....	41

3.1.1.2. Pruebas de movimiento .....	42
3.1.2 PRUEBAS GENERALES .....	44
3.1.2.1 Pruebas con objetos estáticos .....	44
3.1.2.2 Pruebas con robots mini sumo autónomo .....	45
3.1.3 LISTA DE ELEMENTOS Y COSTOS.....	47
3.2 CONCLUSIONES .....	48
3.3 RECOMENDACIONES .....	49
4 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	51
5 ANEXOS .....	54



## RESUMEN

Este documento describe el diseño y construcción de un robot mini sumo autónomo, que está basado en las especificaciones técnicas del Concurso Ecuatoriano de Robótica, asimismo deberá ser capaz de identificar al enemigo, y empujarlo fuera de la arena de combate, lo cual se podrá lograr con un sistema embebido.

Previo al diseño mecánico y electrónico se realizará una revisión bibliográfica con el objetivo de determinar las características principales del robot, como son: el tipo de tracción, forma y tamaño de la estructura base, selección de sensores y actuadores, entre otros. A continuación, se realiza el chasis del robot junto con un análisis de material cuando se aplica una fuerza en el mismo, continuando con el diseño electrónico compuesto por los sensores de distancia, reflexión, giroscopio, y los motores de caja reductora, con su driver de manejo, e incorporar el sistema electrónico con el mecánico, para la implementación completa del prototipo. Con respecto al software de control se desarrolla en el entorno de STM32CubeIDE, en el que se realiza el acondicionamiento de los sensores, y control de los motores. Además de realizar las rutinas de funcionamiento respectivas para la detección del enemigo, evitar salir de la arena de combate, y avance en línea recta que estará basado en un controlador de velocidad PID para cada uno de los motores.

Finalmente se realizará la validación del funcionamiento del robot en una arena de combate que cumpla con las especificaciones del Concurso Ecuatoriano de Robótica.

**PALABRAS CLAVE:** robot, mini sumo autónomo, sistema embebido, chasis, sensores, actuadores, software de control, PID.

## ABSTRACT

This document describes the design and construction of an autonomous mini sumo robot, which is based on the technical specifications of the Ecuadorian Robotics Contest, it must also be able to identify the enemy, and push him out of the combat arena, which can be achieved with an embedded system.

Prior to the mechanical and electronic design, a literature review will be carried out to determine the main characteristics of the robot, such as: the type of traction, shape and size of the base structure, selection of sensors and actuators, among others. Next, the robot chassis is made together with an analysis of the material when a force is applied to it, continuing with the electronic design made up of the distance, reflection, gyroscope sensors, and the gearbox motors, with their driver. management, and incorporate the electronic system with the mechanical one, for the complete implementation of the prototype. With respect to the control software, it is developed in the STM32CubeIDE environment, in which the conditioning of the sensors and the control of the motors are carried out. In addition to performing the respective operating routines for detecting the enemy, avoiding leaving the combat arena, and advancing in a straight line, it will be based on a PID speed controller for each of the motors.

Finally, the validation of the robot's operation will be carried out in a combat arena that meets the specifications of the "Concurso Ecuatoriano de Robotica".

**KEYWORDS:** robot, autonomous mini sumo, embedded system, chassis, sensors, actuators, control software, PID.

# 1 INTRODUCCIÓN

La creación de robots con diversas características y funciones ha venido promoviendo la imaginación, lógica e innovación, tanto para estudiantes como para profesionales. Lo que ha dado paso a que se realicen concursos de robótica en las que los participantes presentan un ejemplar funcional en categorías muy variadas.

Para Ecuador uno de los concursos de robótica más importantes y en las que participan instituciones universitarias y escolares es el Concurso Ecuatoriano de Robótica (CER), la cual puede llegar a integrar más de 30 categorías, con un reglamento que detalla las características principales y en las cuales los participantes presentan sus prototipos [1].

Para el Club de Robótica de la Escuela Politécnica Nacional competencias como el CER, son de gran importancia, debido que a lo largo de los años han diseñado robots siguiendo los reglamentos de la competencia y en varias ocasiones dichas participaciones demostraron un gran desempeño tanto en el CER, como en otros concursos, sin embargo, debido a eventos como la pandemia del COVID en 2019 no se ha podido continuar con el desarrollo de robots de varias categorías.

El presente documento se enfoca en la categoría de mini sumo autónomo, la cual consiste en el enfrentamiento de dos robots, cuyo objetivo principal es sacar al oponente de una arena de combate también llamada Dhoyo. Además, los modelos no deben ser tripulados, lo cual implica que el principal desafío de esta categoría es detectar al enemigo y empujarlo, evitando caer del Dhoyo. Por ello típicamente se suelen construir desde cero, colocando los sensores y actuadores de forma estratégica, y mediante su integración en un sistema embebido, pueda ser programado para operar de forma automática.

El modelo partirá del dimensionamiento de una estructura mecánica, buscando distribuir de forma eficiente los sensores de detección de enemigo, y el borde del Dohyo, continuando con la configuración y modelo de motores que deberá tener para movilizarse, teniendo en cuenta su propio peso y el del contrincante. Finalmente, con la integración y programación del sistema embebido se podrán realizar las rutinas de: avance en línea recta, giros en su propio eje, búsqueda y seguimiento de objetos, supervivencia en casos de detectar la línea de borde, y comunicación inalámbrica para la calibración de sensores para que el robot pueda adaptarse a la pista previo a combatir.

## **1.1 OBJETIVO GENERAL**

Diseñar e implementar un robot de competencia categoría mini sumo en base a las especificaciones del Concurso Ecuatoriano de Robótica (CER).

## **1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Realizar una revisión bibliográfica del reglamento y desarrollo del Concurso Ecuatoriano de Robótica para la categoría mini sumo, y de los sensores y actuadores necesarios para la automatización del robot a implementar.
- Diseñar e implementar una estructura del robot mini sumo la cual cumplirá con las especificaciones dadas por el Concurso Ecuatoriano de Robótica, la cual permita incluir todos los elementos de medición y accionamiento, además de incluir un sistema microprocesado encargado de gestionar y controlar estos elementos.
- Diseñar e implementar los algoritmos de control necesarios que permitan al robot avanzar en línea recta, además de cumplir con las rutinas de funcionamiento dadas por el Concurso Ecuatoriano de Robótica.
- Realizar pruebas de funcionamiento del robot en una arena de combate de características similares a las usadas en el Concurso Ecuatoriano de Robótica.

## **1.3 ALCANCE**

- Realizar una revisión bibliográfica sobre las especificaciones de los robots de competencia de las categorías mini sumo, con la finalidad de determinar las características del robot a implementar.
- Realizar una revisión bibliográfica de los sensores y actuadores usados en el robot de competencia mini sumo, con el fin de seleccionar los que serán usados en el robot a ser implementado.
- Diseñar e implementar un robot de competencia categoría mini sumo de acuerdo con las especificaciones del Concurso Ecuatoriano de Robótica CER.
- Implementar los algoritmos de control que permitan al robot realizar las rutinas especificadas en el reglamento del Concurso Ecuatoriano de Robótica CER.
- Diseñar e implementar un controlador que permita al robot avanzar en línea recta.
- Realizar pruebas de funcionamiento del robot implementado en una pista acorde al reglamento del Concurso Ecuatoriano de Robótica CER.

## **1.4 MARCO TEÓRICO**

En esta sección del documento se realizará una revisión bibliográfica de las reglas de competencia de la categoría mini sumo establecidas por el Concurso Ecuatoriano de Robótica (CER), y los principios generales para la construcción del robot, tanto en software como en hardware. Para posteriormente realizar un análisis de robots similares construidos en diferentes instituciones con normativas similares, para de esta manera determinar los sensores y actuadores que serán utilizados en el robot.

### **1.4.1 DESCRIPCIÓN DEL ROBOT MINI SUMO**

Al rededor del año 1989 en Japón FUJISOFT Inc. tiene la iniciativa de realizar una competencia de robots sumos, la cual trataba del enfrentamiento de dos robots, obteniendo la victoria derribando o sacando al oponente del área de pelea, esta competencia tomo el nombre de “All Japan Robot Sumo Tournament” y únicamente asistieron 33 participantes [2]. Dicho evento tuvo tal impacto, que en el año de 1990 fue introducido en Estados Unidos, años más tarde, ya existían 2929 participantes en Japón, y para el año 2004 su número excedía los 4000. Años después con un gran número de participantes a nivel mundial se establece una normativa para un desarrollo justo de la competencia en las conferencias de actividades estudiantiles organizadas por IEEE [2]–[4].

Un robot mini sumo autónomo está formado de tres partes principales: su estructura o chasis mecánico que deberá tolerar las colisiones y en donde se colocarán todos los elementos electromecánicos, la electrónica y sensores con las cuales se controlará el robot [5], y su operación de forma autónoma, lo cual está referido a que pueda ejecutar acciones sin la necesidad de un tripulante que lo controle de forma inalámbrica [6].

### **1.4.2 ESPECIFICACIONES DE COMPETENCIA PARA EL ROBOT**

Con el fin de determinar las características principales del robot, se revisará el reglamento para la categoría mini sumo autónomo en varias competencias ecuatorianas.

#### **1.4.2.1 Concurso Ecuatoriano de Robótica (CER):**

Es de las competencias más relevantes en Ecuador y cuya inscripción es gratuita y en la que el Club de Robótica de la Escuela Politécnica Nacional ha tenido un mayor número de participaciones. Para este caso se revisan los reglamentos de la última competencia en 2019 [7], y del 2017 [8], en las cuales se pueden notar una diferencia que para el reglamento del 2017, donde se menciona que el uso de armas que puedan dañar al robot

enemigo quedan prohibidas, y entre los dos años las características más relevantes mencionadas son [8]:

- Las dimensiones del robot deben ser inferiores o iguales a 10 cm x 10 cm.
- La altura del robot es ilimitada.
- Su peso tiene que ser inferior o igual a 500 gr.
- El robot tiene que operar de forma autónoma.
- Incluir una llave ON/OFF externa para apagados de emergencia, que puede ser de forma inalámbrica o en forma de botón.
- El prototipo debe entrar en acción después de 5 segundos de ser activado.
- No incluir ningún tipo de material adhesivo que sujete el robot al Dohyo.
- Deberá tener un frente y espaldas distinguibles.

#### **1.4.2.2 ROBOMATRIX**

Este se lleva a cabo en varios países latinoamericanos incluyendo Ecuador, que además tiene como requisito ser un estudiante escolar o universitario. Para esta categoría se tiene un costo de inscripción \$35 [9]. En este concurso se tiene el mismo reglamento que el CER, sin embargo, se añade que el encendido y apagado es únicamente inalámbrico para dar mayor seguridad de los participantes.

#### **1.4.2.3 ROBOT GAMES ZERO LATITUD**

Esta competencia fue la primera en Ecuador que se realizó a nivel internacional, el cual se celebra de forma anual en la ciudad de Quito, para la categoría de mini sumo autónomo se tiene un costo de inscripción de \$60 [10]. El reglamento de este concurso no tiene especificaciones extra de las mencionadas del CER, debido en su mayoría a que es un reglamento internacional, y de no cumplir cualquiera de estas características será motivo de amonestación o en casos extremos la eliminación directa del robot.

#### **1.4.2.4 Características propuestas para el robot**

En base a los reglamentos revisados, se definen las siguientes características para la implementación del robot:

- Las dimensiones del robot serán 9.8 cm x 9.8 cm.
- Su peso inferior a 500 gr.
- Operación autónoma.
- Llave ON/OFF de forma física no inalámbrica.
- Frente y espaldas distinguibles.

- Rutinas de control de seguridad.

### **1.4.3 ELEMENTOS DE ROBOTS DE COMPETENCIA**

Conociendo las características básicas que debe poseer el robot, será necesario una selección adecuada de sensores y actuadores, para lo cual en esta sección se muestran implementaciones de robots mini sumo autónomo, resaltando los elementos de potencia y control que se utilizaron.

#### **1.4.3.1 Robot mini sumo implementado en UCSG [11]**

Para la movilización de este robot se colocan motores Maxon, los cuales alcanzan velocidades de hasta 7800 RPM, además de no contener ninguna caja reductora para alcanzar una mejor linealidad, sin embargo, requieren corrientes de 40 A cuando trabajan a su capacidad máxima de torque.

Este modelo implementa un controlador difuso, el cual busca trasladar la experiencia de una persona a un robot, mediante el uso de sensores infrarrojos, y un microcontrolador Atmega32u4, como medio de adquisición y procesamiento de datos, los cuales tienen el objetivo de detectar al enemigo, y posicionar al robot en un ángulo que permita ejercer una mayor fuerza y velocidad para empujar al contrincante fuera del Dhoyo.

Con dichos elementos se construye el robot mostrado en la Figura 1.1., el cual es programado en el software de Arduino por su facilidad de codificación y cantidad de librerías para control.



**Figura 1.1.** Robot mini sumo de Juan Ramírez [11].

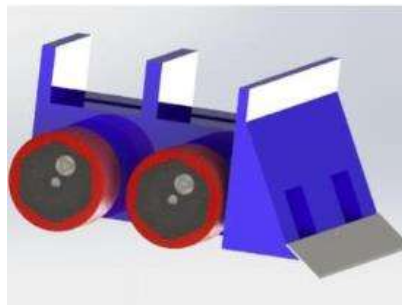
#### **1.4.3.2 Robot mini sumo implementado en UG [12]**

El robot mini sumo autónomo (Figura 1.2.), utiliza motores con caja reductora con una relación de trabajo 30:1, y un torque de salida equivalente a 300 gr-cm, pudiendo alcanzar

velocidades de 440 RPM, a pesar de tener una velocidad relativamente baja, el hecho de incluir 4 motores aumenta la carga que pueda mover.

Con respecto a la obtención de datos, este modelo no incluye sensores para detectar la línea límite del Dohyo, que puede representar una desventaja si se realiza una mala estrategia de movimiento. Para la detección del enemigo se usan sensores de distancia digitales de tipo infrarrojo JS40f, los cuales pueden medir distancias desde 40cm a 80cm.

Para integrar los elementos en la construcción del modelo, se utiliza un Arduino nano, programado en la interfaz de Arduino en las que se realizan rutinas para el movimiento del robot en base a las señales de los sensores JS40f.



**Figura 1.2.** Robot mini sumo de Joel Herrera [12].

#### **1.4.3.3 Robot mini sumo SIT-UV [13]**

El modelo de la Figura 1.3. cuenta con dos motores con caja reductora con una relación de trabajo 70:1 para su movimiento, con lo cual se logran velocidades de movimiento un tanto bajas comparadas con los anteriores robots analizados, pero un torque de salida más alto, dichos motores son controlados a partir de un microcontrolador Arduino el cual actúa en base a la adquisición de señales de distancia y línea límite mediante sensores infrarrojos. Su software prioriza una búsqueda rápida del oponente para direccionar el robot hacia el oponente y embestirlo sin salir de la arena de combate en el proceso.



**Figura 1.3.** Robot mini sumo SIT-UV [13].



#### **1.4.3.4 Características de componentes para el robot**

A partir de los robots revisados se definen las características principales de los elementos que debe poseer el robot mini sumo, las cuales son:

- Un microcontrolador Arduino para el sistema embebido presenta una mayor facilidad de programación y una gran cantidad de librerías existentes, a su vez evita tener que acondicionar los sensores y actuadores, sin embargo, funciones como el uso de temporizadores y acceso a registros de memoria puede complicarse, por lo que se opta por el uso de un microcontrolador STM32, que presenta mejores características en procesamiento y conversor analógico digital de varios canales.
- En la detección de distancia y línea, se utilizarán sensores infrarrojos (IR) que tienen una respuesta muy estable, siempre que se tenga en cuenta la relación existente entre su salida y la medición realizada, lo cual será útil para su acondicionamiento e integración correcta al software de control.
- Incluir un sensor giroscopio para mantener la dirección del robot pese a colisionar con su contrincante.
- En la movilización del robot se toma en cuenta factores como su peso y el del contrincante, para ello se utilizarán motores con caja reductora, debido a su relación torque – velocidad.

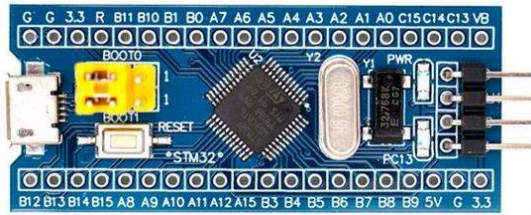
#### **1.4.4 ELEMENTOS DEL ROBOT**

En esta sección se detallan las características principales de los elementos que se utilizarán en la construcción del robot mini sumo autónomo.

##### **1.4.4.1 Microcontrolador**

Se propone el uso de un microcontrolador STM32F103C8T6 el cual se puede observar en la Figura 1.4., cuyas especificaciones se muestran en la Tabla 1.1.

Esta tarjeta de desarrollo presenta una complejidad más alta para programación, de igual manera, permite realizar más funciones, comparado con Arduino su capacidad de procesamiento y memoria RAM son altas, además que es compatible con el entorno de programación de Arduino.



**Figura 1.4.** Microcontrolador STM32F103C8T6 Blue Pill [14].

**Tabla 1.1.** Características de la tarjeta de desarrollo STM32 Blue Pill [14].

Especificación	Descripción
Voltaje lógico I/O	3.3V y 5V
Microcontrolador	STM32F103C8T6
I/O digitales	37
I/O analógicos	10 de 12 bits
Tamaño núcleo	32-bits
Memoria Flash	64KB
Memoria SRAM	20KB

#### 1.4.4.2 Sensor de distancia

Para la detección del robot adversario se plantea el uso de 3 sensores infrarrojos Sharp GP2Y0A21YK0F [15] (Figura 1.5.), con las características mostradas en la Tabla 1.2. El sensor tiene un voltaje analógico en su salida, el cual depende de la distancia a la que se encuentre un objeto, lo que se logra con la emisión de una señal IR, quien al colisionar con un objeto retorna con cierto ángulo del cual depende el voltaje de salida, además presenta inmunidad frente a condiciones medioambientales y tiempo de uso.

Una peculiaridad de este sensor es que el voltaje de salida en función de la distancia presenta una curva no lineal, además de una zona inicial en la que las medidas obtenidas deberán ser despreciadas debido a su comportamiento, y las cuales serán acondicionadas por software.



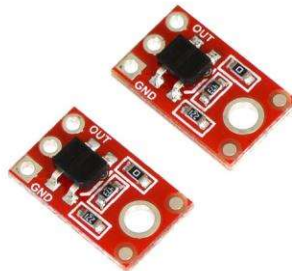
**Figura 1.5.** Sensor Sharp GP2Y0A21YK0F [15].

**Tabla 1.2.** Características del sensor Sharp GP2Y0A21YK0F [15].

Especificación	Descripción
Rango de medición	10 a 80 cm
Voltaje de polarización	-0.3 a +7 V
Voltaje de salida	-0.3 a +5.3 V
Temperatura de operación	-10 a 60 °C
Tiempo de muestreo	> 47.9 ms

#### 1.4.4.3 Sensor de línea

Para la detección de línea blanca que es el límite del Dohyo, se usan sensores infrarrojos de tipo reflectivo QTR-1A [16] (Figura 1.6.), cuyas características se encuentran en la Tabla 1.3. Su principio de funcionamiento para la detección de línea se basa en la emisión de un haz de luz mediante un LED IR y detección de la luz IR reflejada con un fototransistor el cual conectado en forma de pull-up permite obtener un voltaje variable en la salida.



**Figura 1.6.** Sensor QTR-1A [16].

**Tabla 1.3.** Características del sensor Sharp GP2Y0A21YK0F [16].

Especificación	Descripción
Voltaje de polarización	3.3 V
Voltaje de salida	0 a 3.3 V
Distancia óptima para censado	3 mm

#### 1.4.4.4 Sensor de orientación

En medio de la competencia los robots impactan entre ellos, lo cual hace que se pierda la dirección con la que avanza, para compensarlo se incluirá un control de movimiento en base a la compensación de ángulo de giro, por lo cual se considerará un sensor de orientación MPU6050 [17] (Figura 1.7.), cuyas características se presentan en la Tabla 1.4.

La salida de este módulo retornará el valor de velocidad angular y aceleración en los ejes X, Y, Z, de los cuales para la implementación del robot únicamente se tomará el eje Z, ya que el robot se moverá en un único plano.

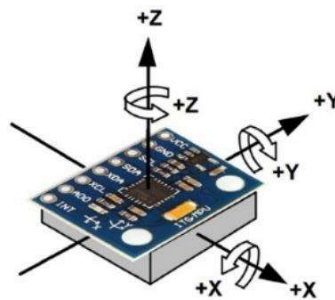


Figura 1.7. Sensor L3GD20H [17].

Tabla 1.4. Características del sensor L3GD20H [17].

Especificación	Descripción
Voltaje de polarización	2.375 - 3.46 V
Protocolo de comunicación	IIC
Sensibilidad	$\pm 250$ °/s, $\pm 500$ °/s, $\pm 1000$ °/s, o $\pm 2000$ °/s

#### 1.4.4.5 Motor

Para el movimiento del robot mini sumo autónomo se utilizarán dos motores DC con caja reductora, la que disminuye su velocidad y aumenta el torque máximo que se pueda tolerar sin provocar una sobrecarga.

El motor seleccionado además de la caja reductora tiene un doble eje, lo cual es de mucha utilidad para el acople de un encoder (Figura 1.8.), en la Tabla 1.5 [18] se colocan sus características más relevantes.



**Figura 1.8.** Motorreductor [18].

**Tabla 1.5.** Características del motor [18].

Especificación	Descripción
<b>Voltaje nominal</b>	6 V
<b>Corriente sin carga</b>	0.1 A
<b>Torque nominal</b>	740 gr-cm
<b>Relación de trabajo</b>	50:1
<b>Velocidad máxima</b>	650 RPM

#### 1.4.4.6 Sensor de Velocidad del motor

Con el sistema de movimiento dimensionado, es necesario realizar realimentación para la implementación de un control de velocidad en cada uno de los motores. Un sensor de tipo encoder en cuadratura puede proporcionar una lectura de velocidad con un acondicionamiento adecuado, mismo que es mostrado en la Figura 1.9.

Este tipo de elementos cuenta con dos salidas con forma de onda cuadrada, formadas por un conjunto de sensores de efecto hall acoplados a la base del motor, y un disco magnético unido a un eje posterior logrando que cuando el motor está en movimiento, el módulo proporciona 6 pulsos digitales por cada revolución [19].



**Figura 1.9.** Encoder [19].

#### 1.4.4.7 Driver para motores

Para el control de los motores se utilizará un módulo capaz de controlar dos motores mediante puentes H independientes, lo que a su vez ayuda a acoplar la electrónica de control con la electrónica de potencia. El circuito integrado TB6612FNG de la Figura 1.10. está en capacidad de controlar dos motores de forma simultánea y tolerar corrientes de forma continua de hasta 1.2 A, y picos de 3.2 A, lo cual es acorde a los datos del motor.



**Figura 1.10.** Driver de motores [20].

#### 1.4.4.8 Alimentación del sistema

Para el funcionamiento del equipo se requiere una fuente de alimentación de voltaje, que en ese caso será una batería LiPo, la cual tendrá una capacidad en función de todos los elementos conectados, más un porcentaje de sobredimensionamiento.

#### 1.4.4.9 Regulación de voltaje

Con la selección de la alimentación general del sistema, se crea la necesidad de separar voltajes para los sistemas electrónicos y los sistemas de potencia, para esto se utilizarán reguladores a 3.3 V y 5 V mediante circuitos integrados para la alimentación del sistema microprocesado y los sensores, mientras que para los motores se utilizará un convertor DC/DC el cual tendrá a su salida un voltaje de 7 V, con una capacidad de corriente equivalente a 3 A de forma continua.

En el siguiente capítulo se presentará con mayor profundidad el dimensionamiento y acondicionamiento de cada uno de los sensores, microcontrolador y batería, además de realizar la estructura del robot en la cual reposaran todos los elementos, las rutinas de control necesarias para cumplir con las reglas del CER y los algoritmos de control para un avance en línea recta.

## **2 METODOLOGÍA**

El presente trabajo se desarrolla en base a una metodología de investigación aplicada con un enfoque cualitativo, debido a que se busca la implementación de un robot de competencia mini sumo autónomo, para lo cual se integran conocimientos de electrónica y automatización, en la formación del prototipo y todas sus rutinas de control.

Para la implementación del robot se ha dividido el proyecto en tres fases metodológicas, iniciando por una fase teórica con la revisión bibliográfica de las normativas de concursos nacionales e internacionales para el desarrollo de la categoría, enfocado a la selección de los sensores y actuadores, y cumplimiento de requerimientos mencionados en los concursos, lo cual se menciona en el capítulo 1. En este capítulo (metodología) se presenta la fase de diseño tomando los elementos seleccionados en la anterior fase para realizar los diseños mecánico, eléctrico y software de control, buscando mejorar su desempeño en una competencia. Finalmente, en la fase de validación presentada en el capítulo de resultados donde se realiza las pruebas para verificar su funcionamiento en un entorno de combate similar al usado en el CER.

### **2.1 DISEÑO MECÁNICO**

Para el diseño mecánico se considera que el robot a implementar deberá cumplir el tamaño y peso mencionados en los reglamentos de competencia para mini sumo autónomo, además tendrá que desplazarse por la arena de combate de forma rápida y controlada para evitar ser sacado de la misma. Con el objetivo de cumplir dichas características, se definen las siguientes condiciones de diseño:

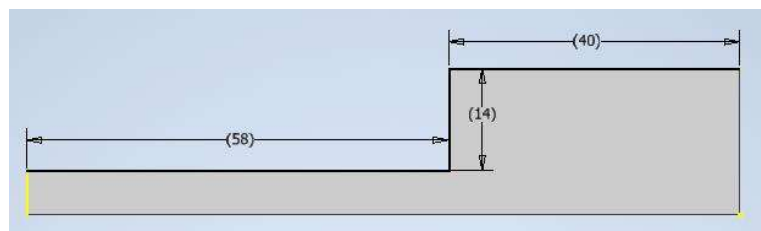
1. La estructura no deberá sobrepasar un límite de tamaño en la base 10 cm x 10 cm.
2. Tener un frente y un espaldar distinguibles.
3. Peso máximo de 500 gr.
4. La altura del robot es ilimitada.
5. El chasis del robot no deberá tener demasiado contacto con el suelo.
6. Las llantas del robot no deberán chocar con la estructura.
7. Colocación de dos motores en una configuración cinemática de tipo diferencial.
8. Tener ranuras en la base de la estructura para la colocación de sensores de línea.

9. Colocar y distribuir a cierta altura los sensores de distancia.
10. Espacio para incluir componentes electrónicos, batería LiPo, PCB con el microcontrolador.
11. Incluir una rampa para empujar a los contrincantes con mayor facilidad.
12. Tolerar las colisiones del enemigo.
13. No presentar rupturas o separaciones durante la competencia, dado que al presentarse estas irregularidades será motivo de amonestación y en casos extremos de descalificación.

### 2.1.1 ESTRUCTURA DEL CHASIS

Para realizar el diseño de la pieza, se inició por generar un prisma cuadrangular con base de 98 mm x 98 mm y una profundidad de 20 mm, que servirá como referencia para la extrusión de la pieza, mas no será la altura final del robot debido a que entre más pequeño sea el robot, mejor podrá ser su desempeño, pues el oponente tendrá mayor dificultad para ubicar al robot, si sus sensores de distancia se encuentran muy elevados respecto al suelo. Con respecto al tamaño de la base, se justifica considerando que, para la homologación del robot en la competencia, se lo suele colocar dentro de una caja de 10 cm x 10 cm y de no ingresar de forma completa o con dificultades, el robot no podrá competir por ello se toman 2 mm de cada lado para asegurar que el robot ingrese sin problemas a la caja de homologación.

Como siguiente paso en el diseño se separó la estructura en dos partes (Figura 2.1.): una en la que se colocarán los elementos electrónicos y mecánicos que tendrá un largo de 58 mm; y una segunda para el diseño de una rampa que tolerará las colisiones de los enemigos, que tendrá una longitud de 40 mm.



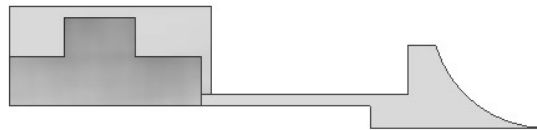
**Figura 2.1.** Estructura base del chasis.

Para evitar que la estructura se arrastre por la pista, se recorta un tramo de la parte inferior de la base de forma que la rampa del chasis sea la única parte que tenga contacto con el suelo (Figura 2.2.), esto se hace para no dañar la arena de combate, además que entre

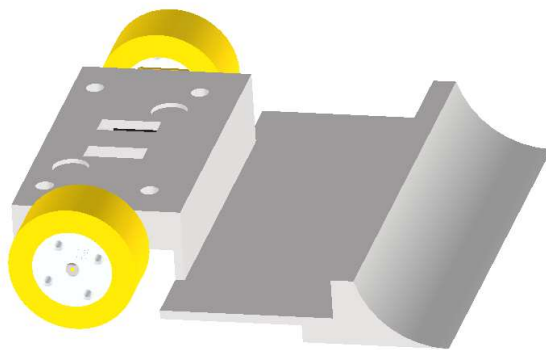


más contacto se tenga con el suelo, se tendrá una mayor fuerza de rozamiento, lo que dificultara el movimiento del robot. El recorte de este tramo de la estructura hace que se presente desnivel de un lado, lo cual será compensado con la ubicación de los motores con llantas que estarán sujetos a la estructura, logrando igualar la altura de la colocación de elementos con los de la rampa (Figura 2.3.). Para la colocación de los motores se establece que el robot tendrá tracción diferencial que es una de las más usadas debido a su fácil implementación y a las ventajas que presenta, como por ejemplo girar en su propio eje, además de avanzar y retroceder en distintas direcciones [21].

Para las colisiones que se presentarán en la competencia se colocó una rampa en la parte delantera de la estructura, con el objetivo de levantar al oponente y sacarlo de una manera más sencilla, esta rampa deberá tener el menor ángulo posible, ya que si es muy elevado el oponente no podrá subir en la rampa, y no tendrá ninguna ventaja. Para conseguir un ángulo bajo en la rampa se realizará una curvatura, en la que en la parte inferior se tiene un menor ángulo de elevación y en la parte superior el ángulo es casi recto como se muestra en la Figura 2.2.



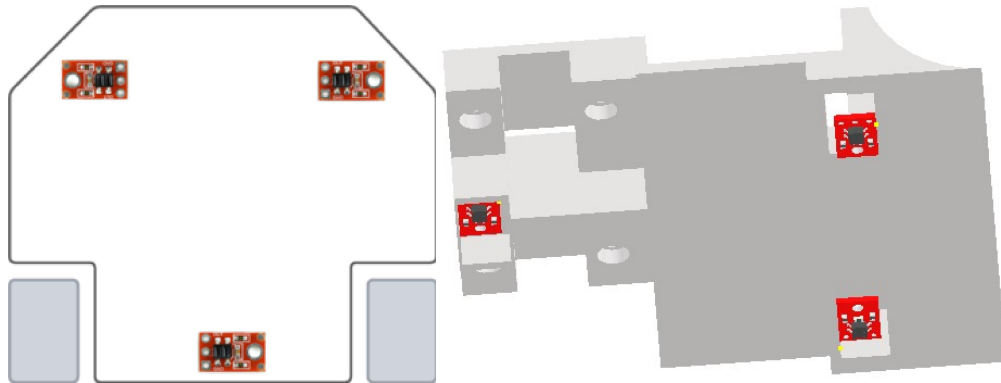
**Figura 2.2.** Chasis con rampa y rozamiento.



**Figura 2.3.** Colocación de motores.

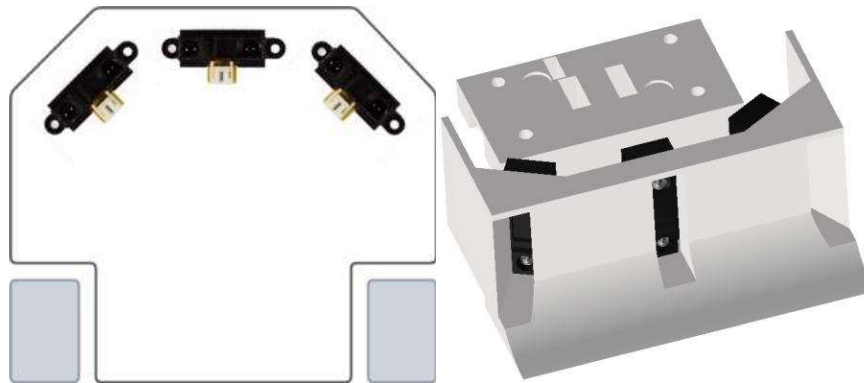
El uso de sensores infrarrojos de tipo reflectivo QTR-1A es necesario para la detección de línea límite de la arena, estos sensores se distribuyen en la estructura como indica la Figura 2.4., en donde se pueden notar dos sensores cercanos a la pala, que permiten saber si el robot está saliendo del Dohyo por la parte delantera derecha o izquierda, además un tercer

sensor en la parte posterior en medio de las dos ruedas para el caso en que el robot esté siendo empujado, o retrocediendo.



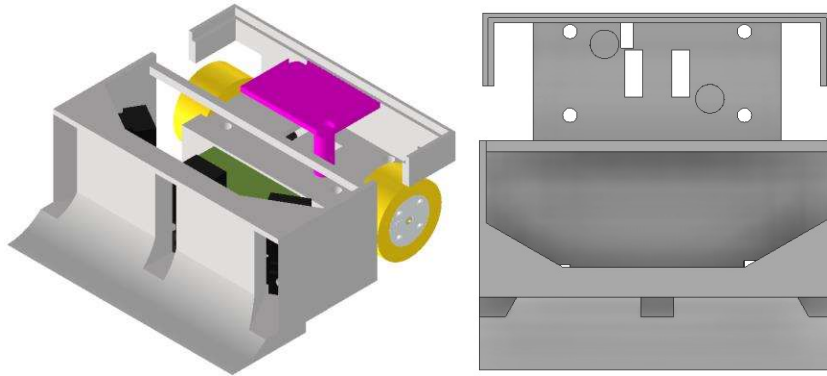
**Figura 2.4.** Distribución sensores de línea.

En una competencia el robot contrincante no se va a ubicar siempre en frente del robot, además de estar en movimiento continuo, dificultando encontrarlo con un solo sensor que mide distancia a objetos en una sola dirección, por lo que se colocan tres sensores con ángulos de orientación distintos en la estructura, mismos que serán colocados en la parte frontal, como se puede observar en la Figura 2.5. y estarán a una altura de 5 mm desde el suelo para poder detectar a los enemigos en el caso que sean pequeños.



**Figura 2.5.** Distribución de sensores de distancia.

Como parte final en el diseño del chasis (Figura 2.6.), se colocó una ranura para la colocación de la PCB y el espacio suficiente para la colocación de la batería LiPo, el circuito reductor de voltaje y los cables necesarios para conectar todo el sistema.



**Figura 2.6.** Colocación de PCB.

## 2.1.2 MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN

Para la selección del material de construcción se toma en cuenta el peso de cada elemento que conforma el robot. En la Tabla 2.1. se muestra el peso de cada elemento sin contar la estructura.

**Tabla 2.1.** Peso Materiales

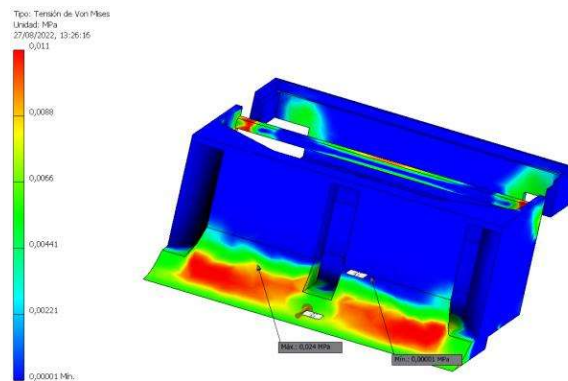
No. Circuito	Elemento	No. Elementos	Peso [gr]	Peso total [gr]
1	Sensores de línea	3	0.2	0.6
2	Sensores de distancia	5	3.5	17.5
3	LiPo	1	30	30
4	Regulador de voltaje	1	3.4	3.4
5	PCB	1	25	25
6	Motores	2	9.5	19
7	Llantas	2	14.8	29.6
			Total	125.1

Con un peso de 125.1 gr se puede concluir que el chasis puede pesar un máximo de 374.9 gr. Teniendo un peso en materiales relativamente bajo, uno de los escenarios más favorables para ganar peso y mantener el centro de gravedad bajo, es el uso de algún metal, ya que incluso es más rígido frente a colisiones. Por otro lado, el material de impresión 3D es ligero, económico y fácil de implementar.

### 2.1.2.1 ABS

Es un plástico muy usado en la fabricación de piezas mecánicas por impresión 3D, esto debido a que puede alcanzar acabados superficiales muy buenos, además de ser ligero y resistente a impactos, sin embargo, a altas temperaturas tiende a deformarse [22].

En la siguiente prueba se simuló la estructura formada con ABS y se aplicó una fuerza de 10 N equivalente a  $10 \times 10^6 \text{ gr} \cdot \frac{\text{mm}}{\text{s}^2}$ , en la pala que es donde recibirá impactos obteniendo los resultados de la Figura 2.7., en donde se puede ver que el sector marcado de color rojo es donde se presenta un mayor estrés dentro del material y si se aplica esta fuerza de forma continua o una carga más grande el material llegará a fracturarse. En la Tabla 2.2. se presentan valores numéricos que representan la resistencia que muestra el material para ser deformado.



**Figura 2.7.** Estrés ABS.

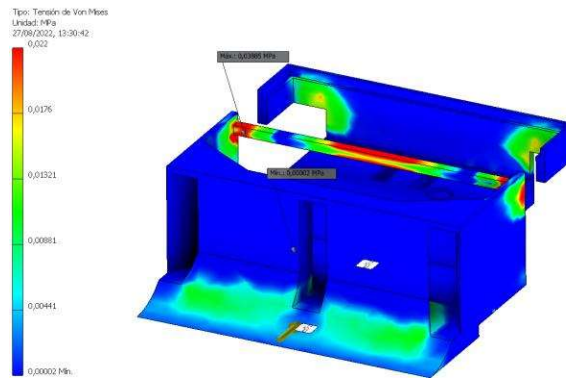
**Tabla 2.2.** Resultados ABS

Nombre	Mínimo	Máximo
Masa	78.6563 gr	
Desplazamiento	0 mm	0.175509 mm
Coefficiente de seguridad	15 su	15 su
Deformación equivalente	$1.80168 \times 10^{-8}$ su	$4.35529 \times 10^{-4}$ su

### 2.1.2.2 Aluminio

Un metal con alta relación entre peso y resistencia, que lo convierte en un material muy usado para la fabricación de estructuras, además de no ser magnético. Para la fabricación de piezas con este material usa maquinaria como tornos, fresadoras, etc. [23].

Al igual que en el material de ABS para el aluminio se realizó una simulación con la misma fuerza aplicada en la pala, obteniendo la imagen de la Figura 2.8. En la que al contrario del ABS no presenta una zona roja, lo que quiere decir que, si la fuerza se mantiene o aumenta, el material aun no sufrirá deformaciones y en la Tabla 2.3. La principal diferencia con respecto al material anterior es que su masa aumenta lo que es favorable para aumentar el peso del chasis.



**Figura 2.8.** Estrés Aluminio.

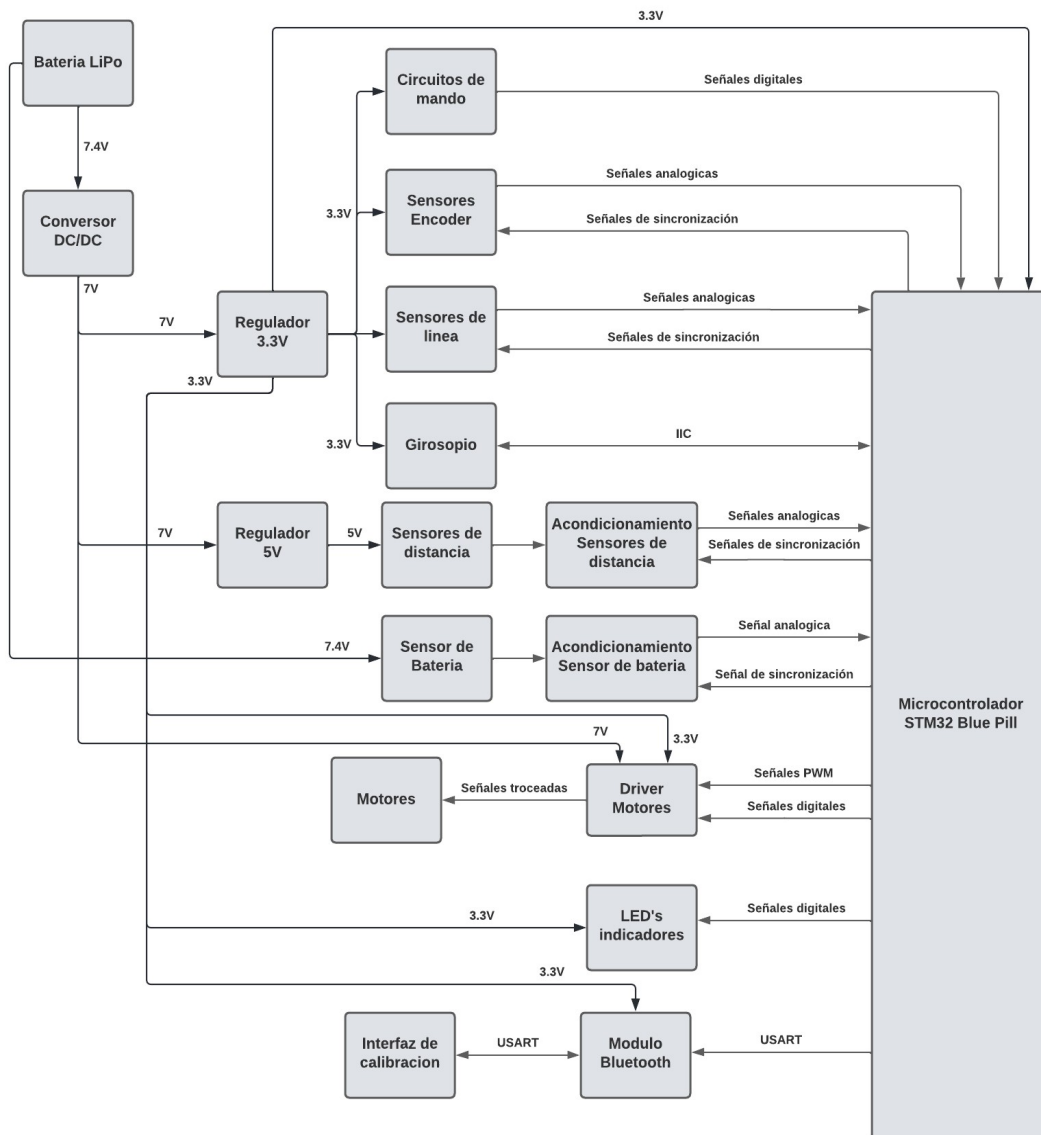
**Tabla 2.3.** Resultados Aluminio

Nombre	Mínimo	Máximo
Masa	200.351 gr	
Desplazamiento	0 mm	0.0109357 mm
Coefficiente de seguridad	15 su	15 su
Deformación equivalente	$8.99212 \times 10^{-10}$ su	$2.03851 \times 10^{-5}$ su

Si bien con respecto al análisis anterior, el aluminio es una mejor opción para la construcción del prototipo debido al peso, resistencia y deformación equivalente, su fabricación puede complicarse debido a que la precisión de la pieza de salida dependerá de la maquinaria usada, por el contrario, el ABS es un material usado para las impresiones 3D. En base a esto se selecciona el material ABS debido a que el costo de fabricación es bajo y se puede incluir detalles finos a la estructura como, espacios para la colocación de sensores y actuadores, sin embargo, una desventaja de este material es que es ligero por lo que, para ser compensado en la estructura final, se añadirán pesos para alcanzar los 500 gr y no ser empujados de forma sencilla.

## 2.2 DISEÑO ELECTRÓNICO

Como se ha venido indicando para la implementación de un robot mini sumo, se requiere controlar un sistema de múltiples entradas y salidas, de forma que su funcionamiento sea autónomo. Para cumplir con su modo de funcionamiento es necesario realizar los circuitos y acondicionamientos necesarios para cada sensor, la electrónica de potencia para el manejo de motores; estos elementos se bosquejan en la arquitectura mostrada en la Figura 2.9.



**Figura 2.9.** Arquitectura del sistema electrónico.

## 2.2.1 FUENTE DE ALIMENTACIÓN

En primer lugar, para el diseño electrónico del robot es necesario que la fuente de alimentación que se use tenga la capacidad de alimentar a los circuitos de control, los sensores, los drivers de potencia y los motores, de modo que no se descargue a lo largo de la competencia. La batería que se usará en el proyecto es una de tipo LiPo, las cuales son baterías recargables de tamaño reducido.

### 2.2.2.1 Análisis de carga

Para el dimensionamiento de la batería LiPo a usar, en primer lugar, se realiza un estudio de carga tomando en cuenta todos los elementos conectados, principalmente porque la batería tiene que alimentar al circuito durante toda la competencia, la Tabla 2.4. muestra el consumo de cada elemento dentro del circuito.

**Tabla 2.4.** Carga conectada

No. Circuito	Elemento	No. Elementos	Corriente mA	Corriente total mA
1	Microcontrolador	1	45	45
2	Módulo Bluetooth	1	30	30
3	LED's	4	15	60
4	Sensor de distancia	5	30	150
5	Giroscopio	1	3.9	3.9
6	Sensores de línea	3	70	210
7	Encoder	2	40	80
8	Regulador 3.3V	1	10	10
9	Regulador 5V	1	10	10
10	Driver de potencia	1	1.8	1.8
11	Motores	2	100	200
Corriente total				800.7

Es necesario mencionar que el consumo de corriente calculado está especificado para un funcionamiento continuo de cada elemento a máxima capacidad, sin embargo, al realizar un control para regular la velocidad de los motores, el valor de su corriente podrá disminuir en bajas velocidades o aumentar debido al arranque de los motores, aunque este último valor es instantáneo. Para elementos como los LED's también este valor podrá disminuir ya que no permanecerán prendidos todo el tiempo.

### 2.2.2.2 Dimensionamiento de batería

Una vez obtenido el consumo continuo de corriente, se continuará con el cálculo de tiempo de autonomía de la batería para ello es necesario conocer el consumo de la carga, que es con lo que están especificadas las baterías LiPo y viene dado en Amperios hora (Ah).

Para calcular la demanda de corriente de la carga se utiliza la Ecuación 2.1. especificada en [24].

$$C = I \cdot t \quad (2.1)$$

Donde

$C$ : Corriente consumida en mAh

$I$ : Corriente de la carga conectada en mA

$t$ : Tiempo de autonomía en horas

Para el uso correcto de la Ecuación 2.1. es necesario conocer el tiempo de autonomía del robot. Según las reglas del CER [7], un combate tendrá una duración máxima de un minuto, y tres asaltos por contendiente, asumiendo que en una competencia se tendrá como máximo 15 combates, se obtiene un tiempo de autonomía de 30 minutos. Aplicando la Ecuación 2.1. se obtendrá la capacidad de la batería LiPo, que se utilizará en un día.

$$C = 800.7 \text{ mA} \cdot 30 \text{ min} \cdot \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}} = 400.35 \frac{\text{mAh}}{\text{dia}}$$

Con la demanda de corriente máxima que tolerará la carga se dimensiona la batería LiPo en base a la ecuación 2.2.

$$C_I = \frac{C \left[ \frac{\text{mAh}}{\text{dia}} \right] \cdot D[\text{dias}]}{P} \quad (2.2)$$

Donde

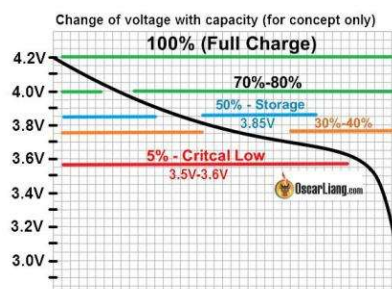
$C_I$ : Es la capacidad mínima de la batería

$C$ : Demanda máxima de corriente

$D$ : Días de autonomía

$P$ : Profundidad de descarga de la batería

Para la selección del factor de profundidad de descarga, se toma en cuenta el valor de voltaje mínimo al cual puede llegar la batería sin dañarse, que para las LiPo es de 3 V, por ello es recomendable mantener un nivel de carga mayor a 3.6 V por celda, sabiendo que la LiPo seleccionada es de 2 celdas, no se podrá permitir que su voltaje baje de 7.2 V [25]. Por ello se selecciona un factor de descarga de 50% para cada celda correspondiente a un valor de 3.85 V, lo cual es obtenido de la Figura 2.9. [26].



**Figura 2.9.** Curva de descarga batería LiPo [26].



Aplicando la Ecuación 2.2, se obtiene que la batería debe tener una capacidad mayor a 800.5mAh, que es aproximando a 850mAh por ser un valor comercial.

$$C_l = \frac{400.35 \frac{mAh}{dia} \cdot 1 dia}{0.5} = 800.7 mAh$$

### 2.2.2.3 Circuito de alimentación

El diseño del circuito de alimentación se divide en tres secciones, en una primera en la que se regula el voltaje de salida de la batería LiPo mediante un circuito convertidor DC/DC reductor, el cual tendrá en su salida 7 V, que se usará en los integrados LM1117 de 5 V, y LM1117 de 3.3 V, los cuales tienen un rango de operación entre 2.65 V a 7 V [27], para su implementación se colocan capacitores de 10 uF en su entrada y 100 nF a su salida en cada uno de los reguladores para disminuir el rizado, como se muestra en la Figura 2.10.

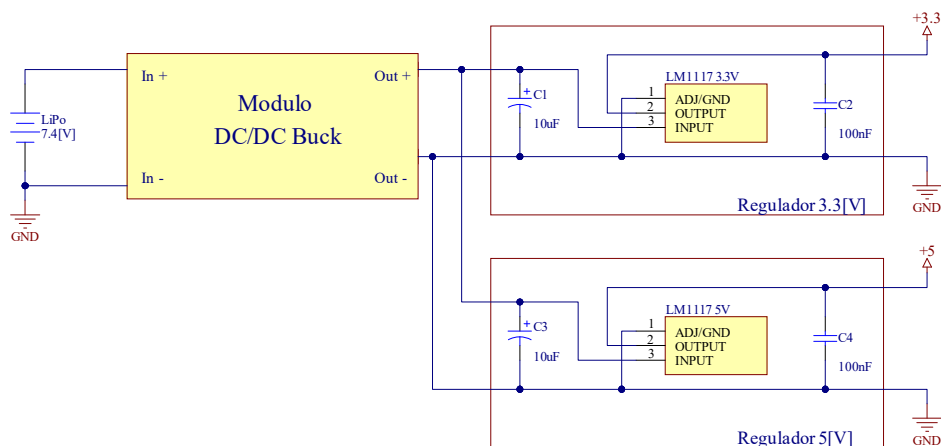


Figura 2.10. Circuito de alimentación.

## 2.2.2 SENSORES

Con respecto a la conexión de los elementos de medición con el sistema embebido, es necesario tomar en cuenta los límites de voltaje en la salida del sensor y la entrada del sistema microprocesado, para evitar realizar medidas erróneas o en el peor de los casos dañar el microcontrolador, la disposición de los sensores en los pines del microcontrolador se muestra en la Tabla 2.5.

**Tabla 2.5.** Elementos conectados al microcontrolador

Elemento	No Elementos	Tipo de entrada	Pin del microcontrolador
Sensores de distancia	5	Analógica	PA0
			PA1
			PA2
			PA3
			PA4
Sensores de línea	3	Analógica	PA6
			PA7
			PB0
Sensor de batería	1	Analógica	PA5
Giroscopio	2	IIC	PB8 SCL
			PB9 SDA
Encoder A	2	PWM	PB4
			PB5
Encoder B	2	PWM	PB6
			PB7
Dip Switch	4	Digital	PB12
			PB13
			PB14
			PB15
Switch	1	Digital	PA12

Para la medición de distancia se utilizan sensores infrarrojos analógicos que tienen un rango de medida de 10 a 80 cm en el cual el voltaje de salida en base a la distancia del objeto varia desde 0 a 3.2 V. Además, los sensores se polarizan con 5 V, sin embargo, como se mencionó anteriormente la salida del sensor no supera los 3.3 V, que es el límite máximo de una entrada analógica para el microcontrolador. Para los sensores de reflexión se tiene una conexión directa ya que el sensor tiene una salida entre 0 y el voltaje con el que se lo polarice, por ello se considera una conexión directa entre los sensores y el microcontrolador. Para el resto de los elementos se tendrá una conexión directa ya que serán entradas digitales PWM o por protocolo de comunicación IIC.

### 2.2.2.1 Medición de batería

El funcionamiento del robot depende del estado de la batería, ya que si se encuentra descargada las velocidades de los motores se verán afectadas, haciendo que los controles de velocidad y dirección fallen. Debido a esto es necesario verificar el estado de la batería en cada momento de la competencia.

La medición de esta batería no puede conectarse de forma directa al microcontrolador, debido a que su voltaje es muy elevado y podría quemar un puerto, por lo que se usa un

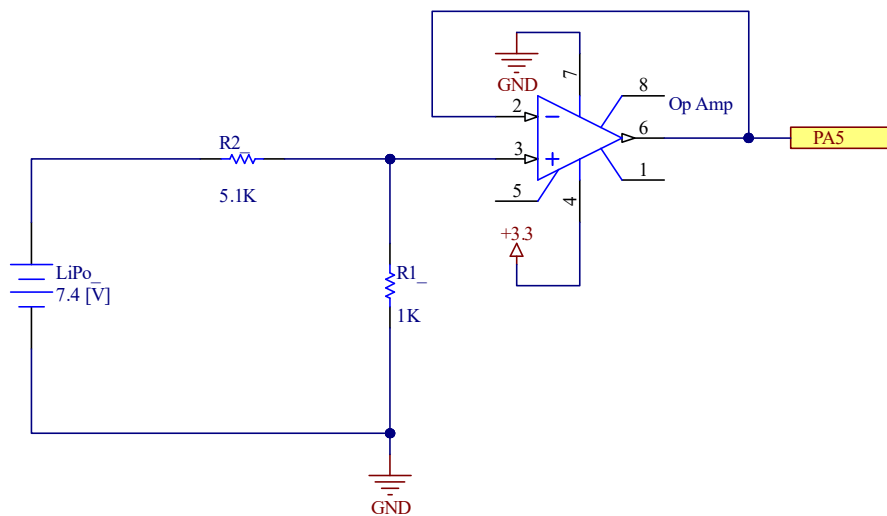
divisor de voltaje con resistencias, acoplado a la referencia de 3.3 V del sistema microprocesado. Para el cálculo de las resistencias del divisor de voltaje, se utiliza la Ecuación 2.3.

$$V_{out} = \frac{V_{in} \cdot R_1}{R_1 + R_2} \quad (2.3)$$

Asumiendo un voltaje de salida de 1.5 V para cuando el voltaje de la batería LiPo es máximo es decir 8.2 V, asumiendo una resistencia  $R_1 = 1 \text{ k}\Omega$ , se utiliza la Ecuación 2.2 para obtener el valor de  $R_2$ , el circuito completo con el amplificador operacional para acoplar la referencia se encuentra en la Figura 2.11., cuya salida se conectará al microcontrolador.

$$1.5 \text{ V} = \frac{8.2 \text{ V} \cdot 1 \text{ k}\Omega}{1 \text{ k}\Omega + R_2}$$

$$R_2 = 4.46 \text{ k}\Omega \approx 5.1 \text{ k}\Omega$$



**Figura 2.11.** Acondicionador sensor de voltaje.

### 2.2.3 ACTUADORES

Los sistemas electrónicos mencionados anteriormente fueron de alimentación de voltaje, y de la adquisición de datos para el sistema microprocesado, continuando se dimensionarán los circuitos necesarios para controlar los elementos de salida, que en este caso serán los indicadores LED y el driver de potencia que a su vez controla los motores. La distribución de pines dentro del microcontrolador puede observarse en la Tabla 2.6.

**Tabla 2.6.** Actuadores conectados al microcontrolador

Elemento	No Elementos	Tipo de salida	Pin del microcontrolador
LED's	4	Digital	PC14
			PC15
			PB3
			PC13
Driver de potencia	1	Digital/PWM	PA8
			PA1
			PA15
			PB10
			PB11
Modulo bluetooth	1	Comunicación serial asincrónica	PA9
			PA10

### 2.2.3.1 Indicadores LED

Se colocan indicadores, que den información visual sobre el estado del robot, de forma que se pueda reconocer si existe un error, el modo de operación del robot, nivel de batería, etc. Para ello se realiza un circuito del elemento en serie con una resistencia limitadora indicado en la Figura 2.12., el mismo circuito es usado para los 4 LED's y su salida se conecta según lo asignado en la Tabla 2.6.

El cálculo de la resistencia limitadora se realiza según la Ecuación 2.4., en la que el valor del voltaje de umbral para un LED blanco es de 1.8 V y la corriente necesaria para encenderlo es de 5 mA.

$$R_L = \frac{V_{cc} - V_{th}}{I_{LED}} \quad (2.4)$$

Donde:

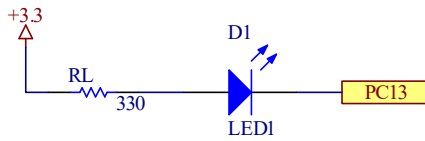
$R_L$ : Resistencia limitadora

$V_{cc}$ : Voltaje de polarización

$V_{th}$ : Voltaje de umbral del LED

$I_{LED}$ : Corriente del LED

$$R_L = \frac{3.3 V - 1.8 V}{0.005 A} = 300 \Omega \approx 330 \Omega$$



**Figura 2.12.** Circuito de control LED.

### 2.2.3.2 Motores

Una de las características principales de un robot mini sumo es su torque de salida, ya que tiene que poder cargar con su peso y el del contrincante, tomando en cuenta también que este último realizará una fuerza por sus propios motores. Por ello se calcula torque que tolerará cada motor y deberá ser inferior al del motor seleccionado.

El peso que se va a cargar, la aceleración del robot y el radio de las ruedas serán parámetros que definirán el torque que ejerce el motor sobre las ruedas, que se calcula mediante la Ecuación 2.5. [28].

$$T = m \cdot a \cdot r \quad (2.5)$$

En donde:

$T$ : Torque de salida del motor

$m$ : Masa total por cargar a los motores

$r$ : Radio de la llanta

$a$ : Aceleración deseada

Previo a utilizar la Ecuación 2.6., se define la aceleración deseada del robot, en base al diámetro de las llantas de este, lo cual se consigue con la Ecuación 2.5. [29].

$$V_1 = \omega \cdot r \quad (2.6)$$

Donde:

$V_1$ : Velocidad lineal

$\omega$ : Velocidad angular

Sabiendo que las llantas del motor son de 15 mm y asumiendo una velocidad angular de 50 rad/s, utilizando la Ecuación 2.3 se tiene que el valor de la velocidad que se puede alcanzar será de 750 mm/s

$$V_1 = 50 \frac{rad}{s} \cdot 15 mm = 750 \frac{mm}{s}$$

Para el cálculo de la aceleración, será necesario conocer en qué tiempo se alcanzará la velocidad de trabajo, para ello con un controlador de velocidad se asume alcanzar una respuesta en 1 s como máximo, por lo cual la aceleración mínima será de  $750 \text{ mm/s}^2$ .

Con respecto a la masa que tolerarán los motores, deberán cargar con su propio peso de 500 gr y empujar al contrincante que tendrá un peso similar, alcanzando un peso de 1000 gr, se usa la Ecuación 2.4. para determinar el torque que los motores ejercerán sobre las llantas.

$$T = 1 Kg \cdot 0.015 m \cdot 0.75 \frac{m}{s^2} = 0.011 Nm = 112.17 gr - cm$$

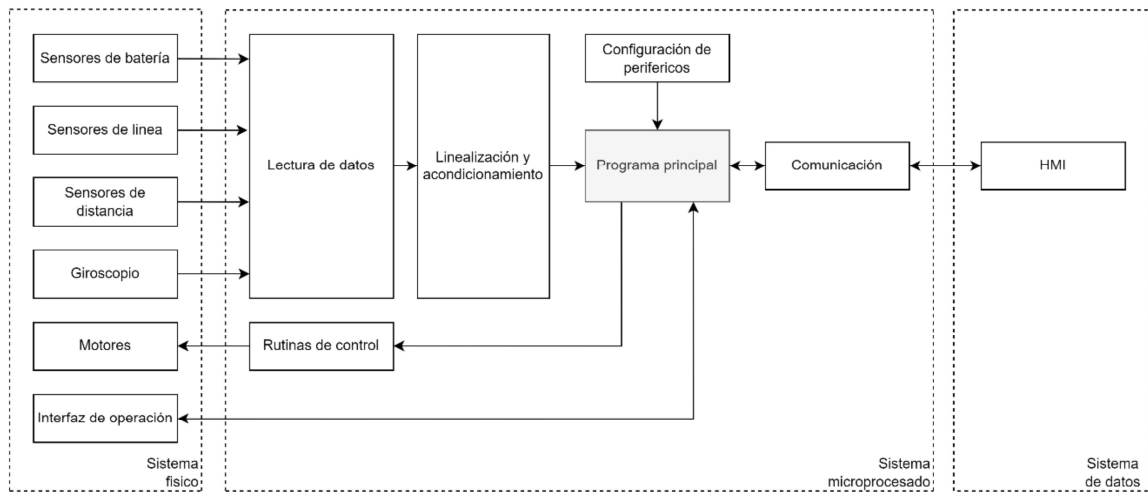
El torque de salida calculado es de 112.17 gr-cm, mismo que deberá repartirse entre los dos motores, sin embargo, este valor es el mínimo que deben poseer. Los motores seleccionados poseen un torque de 740 gr-cm, que es un valor mucho mayor al calculado, debido a que el oponente aparte de su peso también ejercerá una fuerza con sus motores.

El esquemático de todo el circuito implementado puede observarse en el Anexo II.

## 2.3 PROGRAMA DE CONTROL

El programa se crea en STM32CubeIDE, la cual es una plataforma de desarrollo en lenguaje C, compatible con todos los microcontroladores de STM32. En esta plataforma se crearon las librerías necesarias para la lectura de los sensores y control de los actuadores, mismas que permitirán la implementación de rutinas más organizadas, una fácil calibración de controladores y en caso de existir errores en la programación, identificar y solucionar dichos fallos de forma más sencilla.

La arquitectura de software implementada en el microcontrolador se encuentra en la Figura 2.13., en la cual se incluyen rutinas para distintos escenarios de pelea como lo es la posición inicial del robot respecto al enemigo, en la que el robot se orientará de forma correcta para embestir al enemigo.



**Figura 2.13.** Arquitectura de software.

Previo a describir los bloques de la arquitectura de software, se menciona la selección del tiempo de muestreo, mismo que servirá para la adquisición de datos y ejecución de acciones de control en intervalos determinados. Además de un HMI que se ejecuta en un dispositivo móvil, el cual se conecta al robot, a través de un módulo bluetooth, en el que se muestran los datos de todos los sensores, mismos que servirán para calibrar el programa de control.

Un microcontrolador trabaja en tiempo discreto, para el control de sistemas se busca reflejar la naturaleza analógica del sistema, en el caso de los sensores se busca un tiempo de muestreo más bajo, para de esta forma tener un mayor número de muestras y representar el sistema de mejor manera.

Para la selección del tiempo de muestreo se parte del teorema de Nyquist-Shannon en el que se menciona que la cantidad de veces que se tienen que tomar datos del medio externo para no perder información debe de ser al menos el doble del tiempo de la respuesta del sistema. El tiempo de aceleración de los motores hasta su velocidad nominal es de máximo 500 ms, por lo que selecciona un tiempo de 10 ms para la toma de datos y ejecución de acciones de control [30].

Con respecto a la interfaz del dispositivo móvil (Figura 2.14.), se halla dividida en cuatro pantallas, que además de servir para la calibración de los sensores, también se podrá utilizar para verificar si los valores obtenidos por los sensores están en un rango correcto o requieren ser reemplazados. Para navegar entre las ventanas de la interfaz existen

botones en la parte inferior derecha, en las cuales se tiene como opciones la manipulación de LED's, el estado de los sensores de línea, de distancia y orientación.

Una vez abierta la aplicación, será necesario conectarse de forma inalámbrica con la placa de control, lo cual se logra con el signo de bluetooth en la parte inferior izquierda.

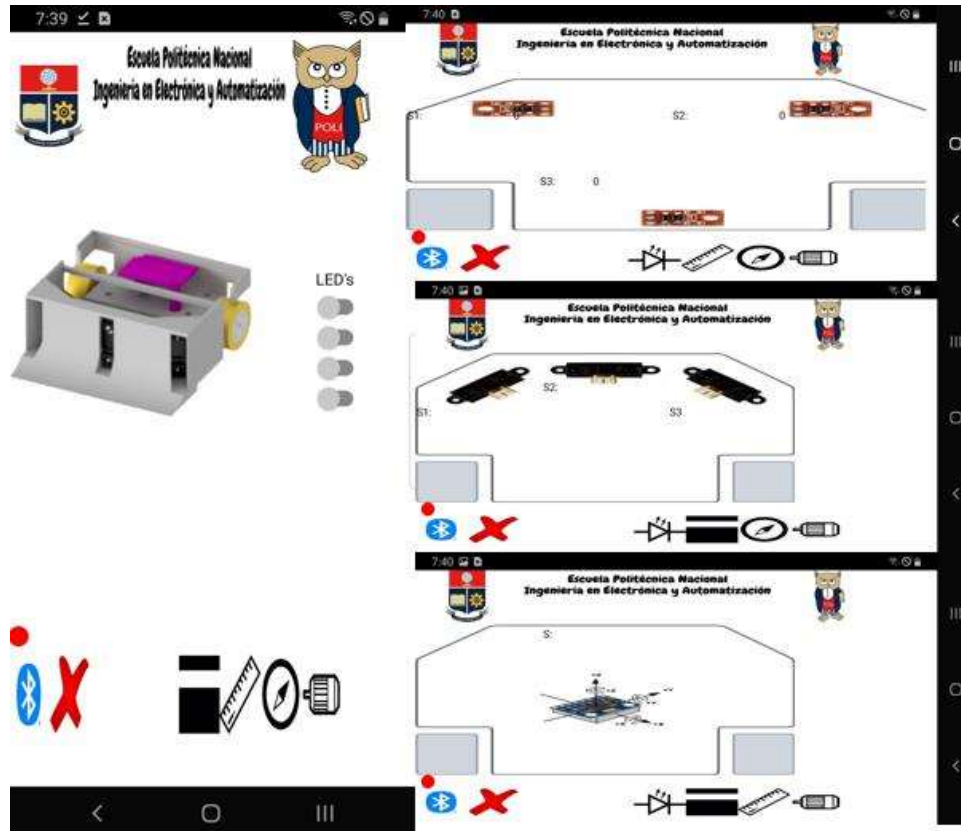


Figura 2.14. Interfaz de usuario.

### 2.3.1 CONFIGURACIÓN DE PERIFÉRICOS

La plataforma de STM32CubeIDE, contiene una interfaz inicial en la que se muestra el microcontrolador seleccionado junto a todos sus puertos, mismos que pueden ser establecidos como entradas o salidas. Ya en esta interfaz se realizan las configuraciones correspondientes al reloj principal del sistema, en el que se alcanzará una frecuencia de 72 MHz, y en base a ello se configurarán los periféricos de entrada y salida digitales, el conversor ADC, la conectividad y los temporizadores.

### 2.3.2 COMUNICACIÓN

En el caso de necesitar verificar el estado de los sensores y los actuadores, se utiliza la interfaz de usuario de la Figura 2.14., en la que se realiza una topología de comunicación



serial de tipo maestro esclavo, en la que la aplicación será el maestro, y cada 100ms enviará un mensaje al microcontrolador, indicando en la pantalla en la que el usuario esté, por su parte el microcontrolador actuará según el mensaje que reciba:

1. Si el mensaje recibido es uno, el microcontrolador recibirá un mensaje más, mismo que será un número de 8 bits, que servirá como referencia para encender o apagar los leds.
2. Si el mensaje recibido es dos, se enviará 3 números de 16 bits correspondientes a cada uno de los sensores de línea.
3. Si el mensaje recibido es tres, se enviará 3 números de 16 bits correspondientes a cada uno de los sensores de distancia.
4. Si el mensaje recibido es cuatro, el microcontrolador enviará en una cadena de texto el valor actual del giroscopio.

### **2.3.3 LECTURA DE DATOS**

Para el caso de la lectura de datos desde el ADC, se iniciará por configurar el canal o pin al cual está conectado el sensor y se obtienen los datos analógicos representados en un formato digital de 12 bits, por otro lado, el sensor de orientación no es de tipo analógico, por lo que, para obtener una lectura de su valor, se utiliza el protocolo de comunicación IIC, el cual retornará un número de 16 bits.

Factores como la luz ambiental, temperatura de trabajo, etc., afectan de gran manera a la medida de los sensores, por lo cual su valor cambiará constantemente lo que puede ser perjudicial para un control en lazo cerrado, por esta razón se aplica un promedio para 10 mediciones a todos los sensores para de esta manera tener una medida más estable.

### **2.3.4 LINEALIZACIÓN Y ACONDICIONAMIENTO**

Con las señales de entrada habilitadas y el tiempo de muestreo ya seleccionado, se continuará con la lectura, acondicionamiento de los sensores; de forma que puedan ser interpretadas en el controlador para evitar salir del Dohyo y empujar al enemigo.

#### **2.3.4.1 Sensor de línea**

La intensidad de color blanco y negro puede variar entre distintas competencias, por lo que previo a cada competencia este valor debe ser configurado, para ello se ingresa al modo de calibración, en el cual se envían los datos de los sensores a una interfaz. Dentro de este

modo se colocará de forma manual al robot en diferentes lugares del Dhoyo, verificando la respuesta de los sensores para el color blanco y negro, tomando los valores máximos de reflexión para el color negro, los valores mínimos para el caso del color blanco, un tercer valor que será el límite entre el color blanco y el color negro, este último será colocado como constantes en el programa principal del STM32 manualmente en las líneas 40, 41, y 42, en las que se configura el umbral entre color blanco y negro, en cada sensor como se muestra en la Figura 2.15., este proceso se realiza previo a cargar el programa en el microcontrolador.

```

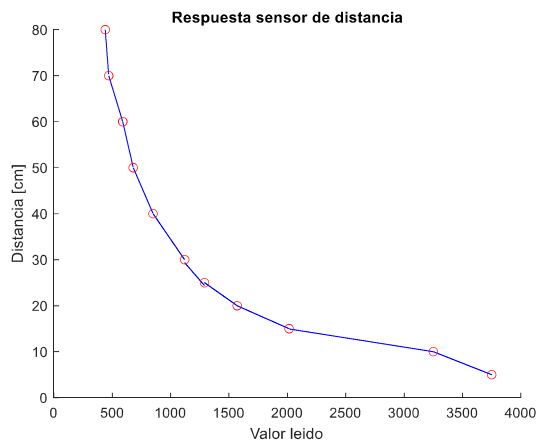
40 #define COLOR_UM_1 3000 // Sensor posterior
41 #define COLOR_UM_2 3350 // Sensor superior derecha
42 #define COLOR_UM_3 3000 // Sensor superior izquierda

```

**Figura 2.15.** Límites sensores de línea.

### 2.3.4.2 Sensor de distancia

La detección de enemigos con los sensores infrarrojos tiene la característica que el voltaje generado en su salida y su relación en base a la distancia medida es no lineal semejante a lo visto en la Figura 2.16.



**Figura 2.16.** Respuesta sensor de distancia.

Para la interpretación de los datos, se linealiza la respuesta del sensor en varios tramos para una mayor precisión utilizando las Ecuación 2.7., 2.8. y 2.9., teniendo en cuenta que la respuesta será válida para un intervalo de distancia determinado, variará para cada sensor y la respuesta general variará desde 5 cm hasta 80 cm.

$$D_n = b_n - m_n \cdot X \quad (2.6)$$

$$m_n = \frac{D_{max} - D_{min}}{X_{max} - X_{min}} \quad (2.7)$$

$$b_n = m_n \cdot X_{min} + D_{max} \quad (2.8)$$

En donde:

$D_n$ : Es la distancia medida

$D_{max}$ : Distancia máxima medida

$D_{min}$ : Distancia mínima medida

$X_{max}$ : Valor máximo leído

$X_{min}$ : Valor mínimo leído

$b_n$ : cruce en el origen

$m_n$ : pendiente

### **2.3.4.3 Sensor de orientación**

El sensor mpu6050 entrega un valor de velocidad angular, el sistema de control requiere la posición angular, por ello se acondiciona el valor entregado por medio de una integración trapezoidal, para que de esta manera no exista una gran variación entre el valor real y el calculado.

### **2.3.5 RUTINAS DE CONTROL**

En base a las señales de los sensores se controlarán los motores que darán el movimiento general del robot. En esta sección se detallan las rutinas para el movimiento del robot, es decir avance, retroceso, giro a la izquierda y giro a la derecha.

#### **2.3.5.1 Rutina control de velocidad en motores**

Dentro de la competencia el robot tendrá que moverse por la arena de combate y empujar al oponente. En esta rutina se implementará un control proporcional integral, mismo que regulará la velocidad de cada motor y la mantendrá en una referencia a pesar de que este en un movimiento libre o se le aplique una fuerza en contra, que en este caso será del adversario.

Para el desarrollo del controlador PI dentro del sistema microprocesado, se parte por la Ecuación 2.9, misma que discretizada y aplicando los equivalentes discretos correspondientes se obtiene la Ecuación 2.10. que ya puede ser implementada en un sistema microprocesado.

$$C(t) = K_p \cdot e(t) + K_i \cdot \int_0^t e(t) \cdot dt \quad (2.9)$$

$$c[k] = K_p \cdot e[k] + K_i \cdot \frac{T_m}{2} \cdot \sum_{n=0}^k e[n] + e[n-1] \quad (2.10)$$

Donde:

$C$ : Respuesta del controlador

$e$ : Señal de error de error

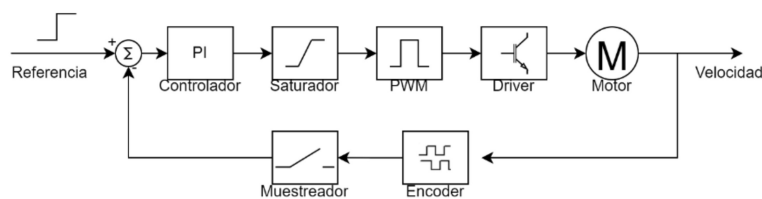
$K_p$ : Constante proporcional

$K_i$ : Constante integral

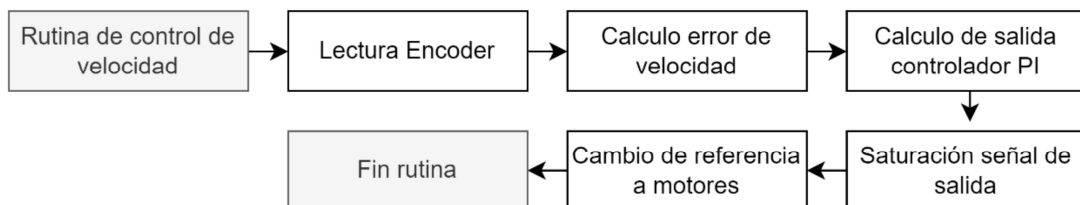
$T_m$ : Tiempo de muestreo

El controlador propuesto se aplica a los dos motores, sin embargo, existe un problema con la parte integral del controlador, ya que pasado un tiempo el valor del sumatorio acumulado produce que el dato en el que se almacena se desborde y el sistema puede llegar a hacerse inestable. Además del controlador se añade una rampa de aceleración para evitar corrientes excesivas en el arranque y que el chasis se mueva de una forma más fluida, debido a que, si se arranca con la mayor velocidad posible, la estructura se levantará debido a la inercia, lo que hará que los sensores tengan una medida errónea en un inicio.

El diagrama de control completo se encuentra en la Figura 2.17., y su ejecución en el microcontrolador en la Figura 2.18.



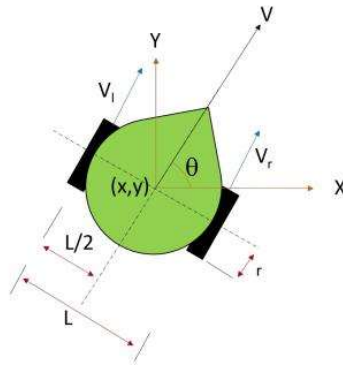
**Figura 2.17.** Sistema de control de velocidad.



**Figura 2.18.** Rutina para el control de velocidad.

### 2.3.5.2 Rutina avance en línea recta, y giro en su eje

El control de dirección parte de la configuración cinemática del robot, en la que para poder manejar su ruta se ingresan los parámetros de velocidad media y ángulo de orientación para la realimentación del sistema de control como se indica en la Figura 2.19. [29].



**Figura 2.19.** Parámetros robot diferencial [29].

Una vez conocidos los parámetros del robot diferencial, se plantean las Ecuaciones 2.11 y 2.12 que regulan las velocidades de los dos motores en base a una constante obtenida de un controlador misma que aumentará la velocidad de un motor y disminuirá la del otro, de forma que se mantenga la velocidad media del robot.

$$V_r = V - \frac{L \cdot U_c}{2} \quad (2.11)$$

$$V_l = V + \frac{L \cdot U_c}{2} \quad (2.12)$$

Donde:

$V_r$ : Velocidad de llanta derecha

$V_l$ : Velocidad de llanta izquierda

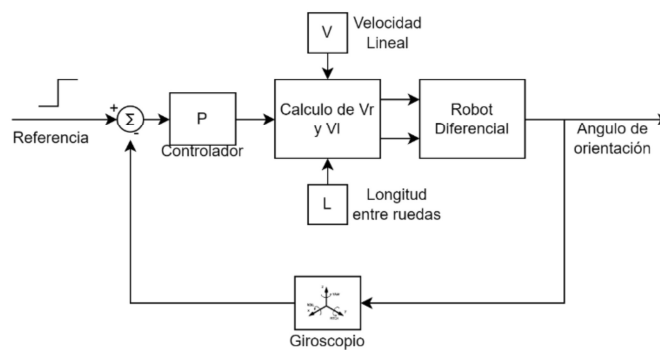
$V$ : Velocidad lineal del robot

$L$ : Distancia entre llantas

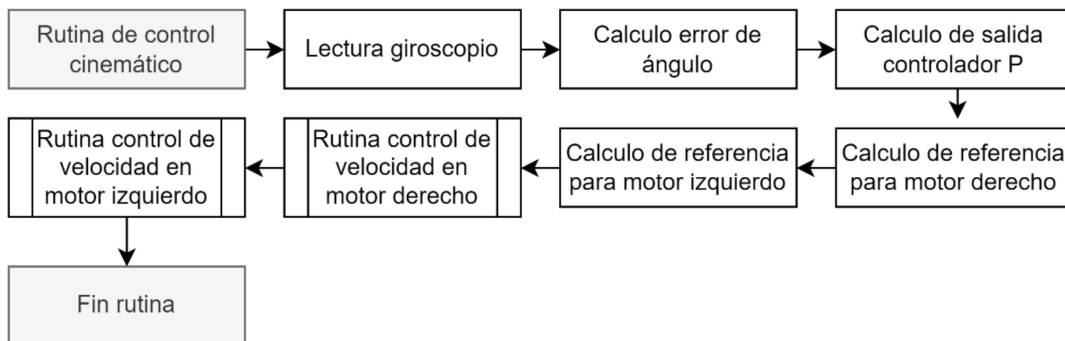
$U_c$ : Salida del controlador proporcional

El sistema de control mostrado en la Figura 2.20. implementa un control en lazo cerrado con el valor de orientación del robot obtenido de un giroscopio y una referencia de ángulo,

al pasar por un bloque sumador y obtener una señal de error, pasa por un controlador proporcional y a su salida se tendrá una señal de referencia que se usa en las Ecuaciones 2.11. y 2.12. que a su vez darán una referencia para el motor derecho y una referencia para el motor izquierdo, que podrán ser aseguradas con la rutina de control de velocidad, de esta manera planear la ruta del robot, en la que para cambiarla se modifica el ángulo de referencia, que para el caso de un avance en línea recta debe mantenerse en cero, este sistema es colocado en el microcontrolador mediante la rutina de la Figura 2.21.



**Figura 2.20.** Controlador cinemático [29].



**Figura 2.21.** Rutina de control cinemático.

Además del control cinemático también se incluyeron rutinas para el giro del robot en su propio eje, debido a que el control cinemático avanza mientras gira. En esta rutina se ingresa un ángulo de referencia, se toma el ángulo del robot que se inicializa en cero, para realizar el giro se toman dos casos:

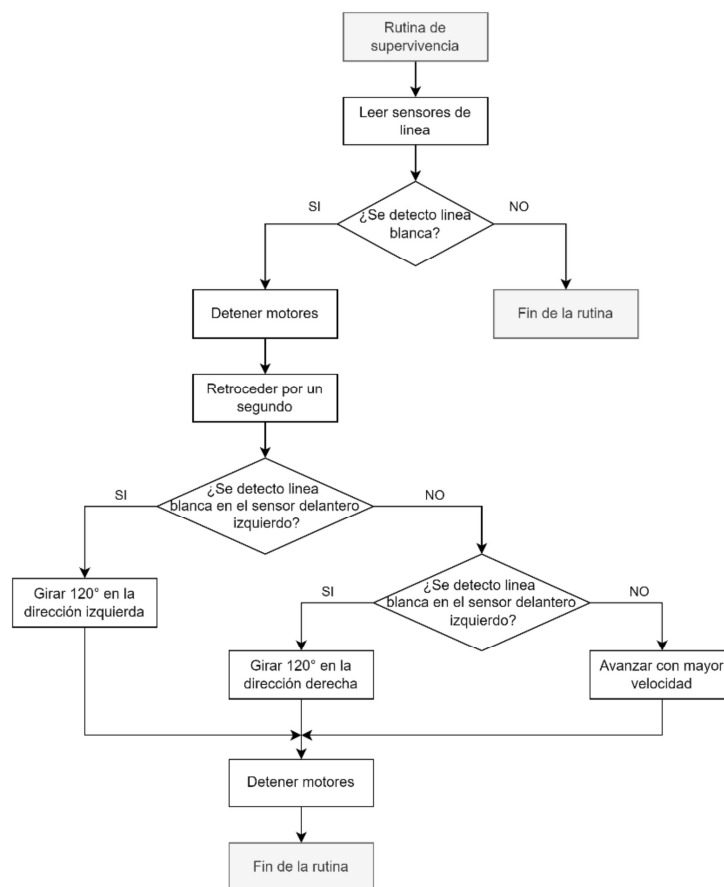
1. De ingresar un ángulo positivo se da una referencia de velocidad positiva al motor derecho y la misma velocidad, pero con signo contrario al motor izquierdo.

- De ingresar un ángulo negativo se da una referencia de velocidad positiva al motor izquierdo y la misma velocidad, pero con signo contrario al motor derecho.

Con las referencias de velocidad se verifica el ángulo del robot, hasta que se alcance el de referencia y en ese instante se envía una referencia de cero a los dos motores para frenarlos.

### 2.3.5.3 Rutina de supervivencia

Una de las características que el robot debe cumplir es que no puede salir del Dohyo, para lo cual se usa la rutina detallada en la Figura 2.22. Para su uso adecuado es necesario calibrar los sensores de línea en el entorno de combate de la competencia, posteriormente se ejecutan acciones internas en el microcontrolador como la regulación de la velocidad con la que el robot avanza, retrocede y gira, debido a que si se tiene una velocidad muy alta y se detecta la línea, el robot frenará pero podrá salirse del Dohyo debido a la inercia, por otro lado al tener una velocidad muy baja, el robot podrá ser detectado y empujado con mayor facilidad.



**Figura 2.22.** Diagrama de flujo para rutina de supervivencia.

### 2.3.5.4 Rutina de búsqueda y ataque

Para el caso de búsqueda los sensores de distancia son calibrados de forma individual y mediante comparaciones de valores medidos en cada sensor se podrá dar una ubicación aproximada del enemigo, en esos casos el robot girará en su eje para ubicarse frente al enemigo y embestirlo a una mayor velocidad, esto puede observarse de mejor manera en el diagrama de flujo de la Figura 2.23.

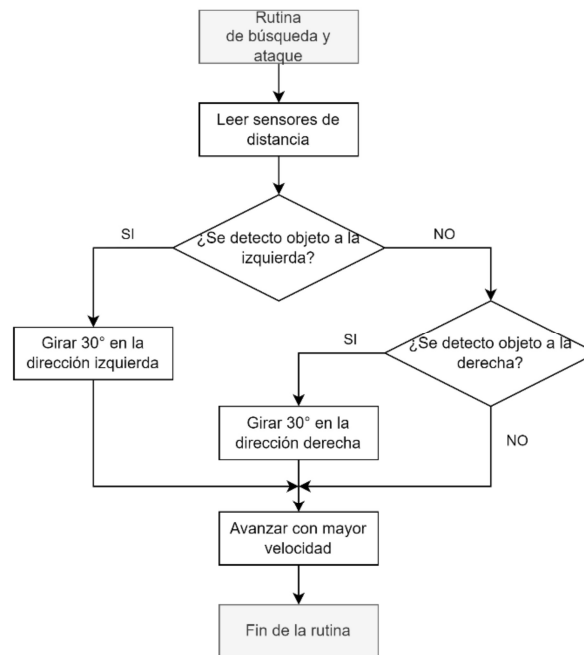


Figura 2.23. Diagrama de flujo para rutina de búsqueda.

### 2.3.6 PROGRAMA PRINCIPAL

Las rutinas anteriores son incorporadas en un programa, de forma que pueda cumplir con los requisitos de la competencia y pueda ser calibrado por el operador previo a su uso. El software desarrollado tiene indicadores y selectores que permitan seleccionar su modo de funcionamiento e indicar el mismo. De existir algún error podrá ser visto en leds, que permitirán identificar dicho problema, además de contar con una ranura para la conexión de un módulo bluetooth y verificar el estado de cada uno de los sensores, que también ayudará a la calibración de los mismos.

La rutina de la Figura 2.24. inicia por una verificación del estado de la batería, debido a que si esta por debajo de un valor, la corriente se puede consumir de forma rápida y parar el funcionamiento del robot a media competencia. A continuación de forma manual se



seleccionara la forma de operación del robot mediante 4 dipswitch's, una vez colocado el modo de operación se iniciará el programa, al activar un interruptor de llave y una vez hecho esto se ejecutará el programa de control, en el que se añade una estrategia inicial debido a que el combate puede iniciar con los dos robots frente a frente, estar de espaldas o en un ángulo de 90°, como se observa en la Figura 2.25. con lo cual se buscará que el robot siempre apunte al enemigo en un primer instante, despues de ello se ejecutarán las rutinas de búsqueda, ataque y supervivencia, hasta que el combate se acabe y el interruptor de llave sea desactivado.

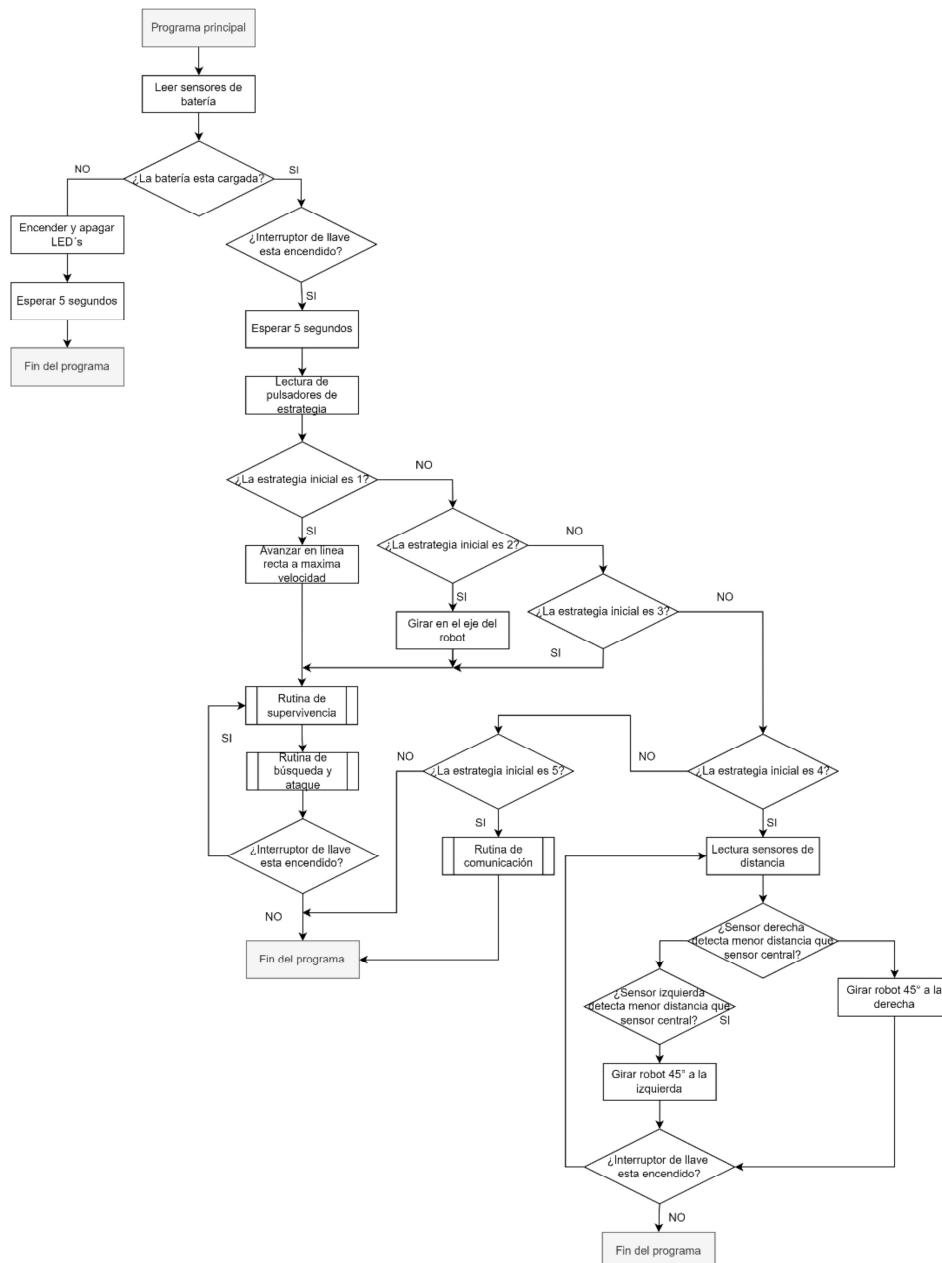
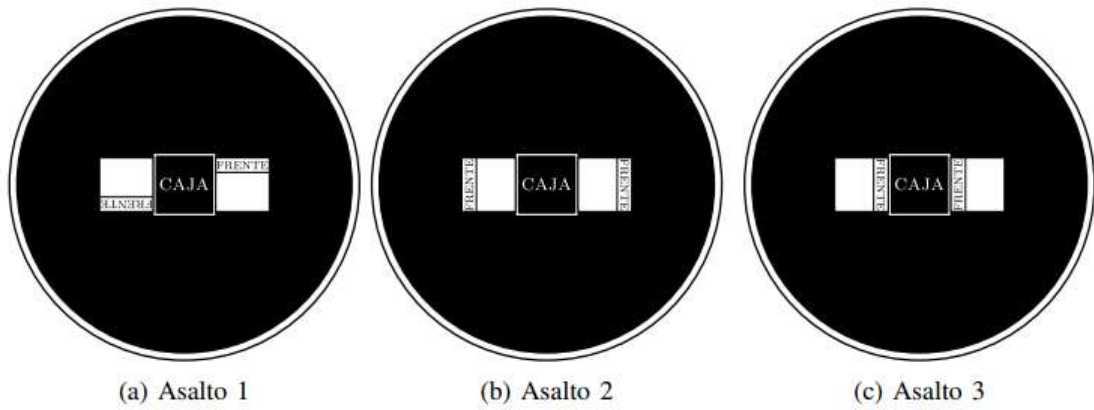


Figura 2.24. Diagrama de flujo para programa principal.



**Figura 2.25.** Posición de los robots por asalto [7].

El siguiente capítulo mostrará las pruebas de hardware y software al robot para verificar el funcionamiento de éste, iniciando por verificar el acondicionamiento de los sensores y control en los motores, para pasar a pruebas de funcionamiento global, como son las ejecuciones de las rutinas y desempeño frente a otro robot de características similares.

### 3 RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Este capítulo muestra los resultados, pruebas realizadas para verificar el funcionamiento del robot incluyendo su estructura y programas de control, además de un listado de elementos y costo.

#### 3.1 RESULTADOS

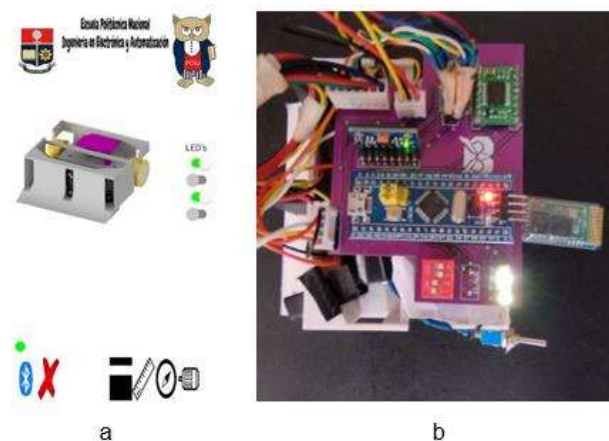
La verificación del funcionamiento del prototipo se dividirá en 2 etapas, una de pruebas individuales, las cuales abarcan los ensayos para la medición de los sensores, las rutinas de control para movimiento del robot, para después realizar pruebas dentro del entorno de combate con objetos inmóviles y con robots de características similares.

##### 3.1.1 PRUEBAS INDIVIDUALES

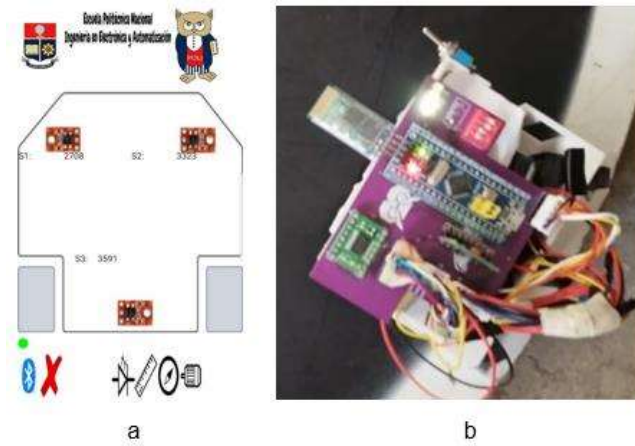
Para evidenciar el cumplimiento de las rutinas, se colocan fotografías del funcionamiento del prototipo.

###### 3.1.1.1 Pruebas de sensores

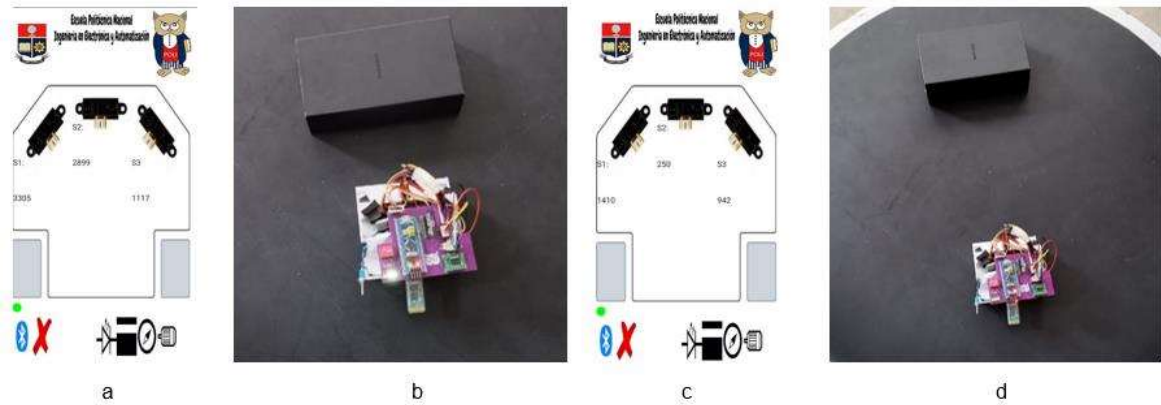
La verificación de los sensores se realiza mediante una interfaz visual, en la Figura 3.1. en la que se manipulan los LED's de la placa de control desde la interfaz, de manera similar para la verificación de los sensores de línea en la Figura 3.2., en la que los valores de los sensores en la interfaz varían según el color que están midiendo y en los sensores de distancia que muestran como su valor disminuye según el objeto se aleja del robot en la Figura 3.3.



**Figura 3.1.** Verificación de estado de LED's: a) Interfaz visual b) robot



**Figura 3.2.** Verificación sensores de línea: a) Interfaz visual b) robot



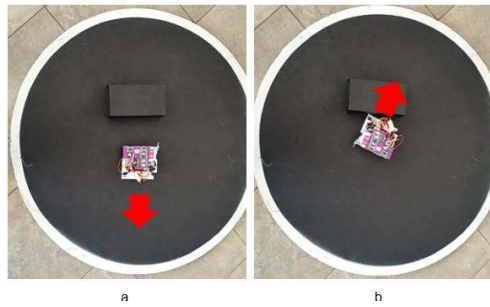
**Figura 3.2.** Verificación sensor de distancia: a) Interfaz visual a corta distancia b) robot a corta distancia, c) Interfaz visual a distancia media b) robot a distancia media

### 3.1.1.2. Pruebas de movimiento

Las pruebas de movimiento de avance en línea recta y giro en su eje se muestran en la Figura 3.3. y Figura 3.4.



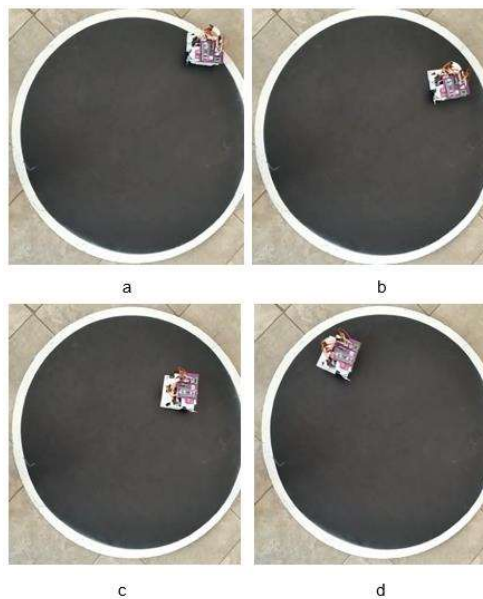
**Figura 3.3.** Avance en línea recta del robot: a) Posición inicial, b) Posición final.



**Figura 3.4.** Giro de 120° en el eje del robot: a) Posición inicial, b) Posición final.

### 3.1.1.3. Prueba de rutina de supervivencia

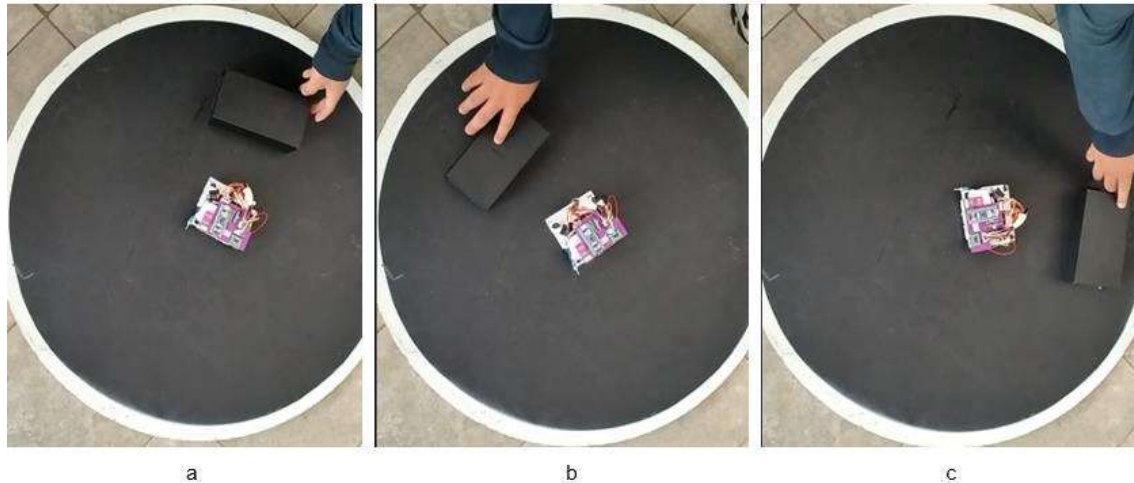
Para no salir del Dohyo se ejecuta la rutina de supervivencia mostrada en la Figura 3.5., para la ejecución de esta prueba, se colocó al robot en el primer modo de ataque en el que avanza en línea recta a pesar de no detectar al enemigo, esto logra que avance hasta detectar la línea blanca del borde y para evitar salir del Dohyo, se ejecuta la rutina de supervivencia, que inicia por frenar al detectar línea blanca (Figura 3.5. (a)), después retrocede por un tiempo de 1 segundo (Figura 3.5. (b)), después gira 120° en la dirección opuesta a la que se detectó la línea, es decir si la línea fue detectada por el sensor superior derecho, el robot girará a la izquierda y si la línea es detectada por el sensor superior izquierdo el robot girará a la izquierda (Figura 3.5. (c)). Una vez dado este giro la rutina se terminará y el robot volverá a la rutina de búsqueda (Figura 3.5. (d)).



**Figura 3.5.** Rutina de supervivencia: a) detección de línea blanca, b) retroceso, c) giro en su propio eje, d) regresa a rutina de búsqueda.

#### 3.1.1.4. Prueba de rutina de búsqueda

Este caso es mostrado en la Figura 3.6. en la que el robot sigue la dirección de una caja que es colocada frente a él.



**Figura 3.6.** Rutina de búsqueda: a) detección hacia el frente, b) seguimiento hacia la izquierda, c) seguimiento hacia la derecha.

### 3.1.2 PRUEBAS GENERALES

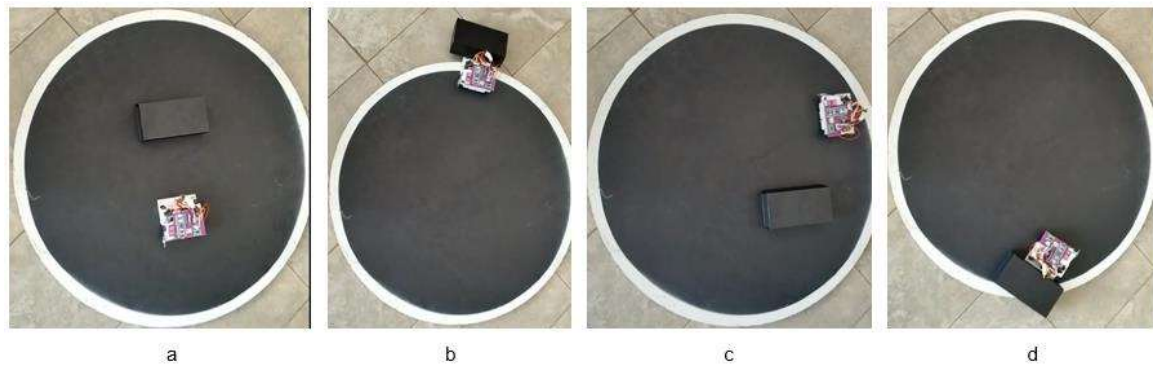
Con el objetivo de verificar el funcionamiento del robot dentro de una competencia real, se realizan pruebas del modelo diseñado con objetos estáticos y con robots de competencia similares.

#### 3.1.2.1 Pruebas con objetos estáticos

En la Figura 3.7. se muestra el desempeño del robot mini sumo autónomo en diferentes posiciones iniciales, con un objeto inmóvil que de igual manera se hallará en posiciones variadas.

La prueba inicio por colocar al robot con la estrategia de combate de avanzar en línea recta, en frente de él una caja (Figura 3.7. (a)), 5 segundos después de activar la llave de encendido el robot empezó a moverse, empujó a la caja fuera del Dhoyo (Figura 3.7. (b)), la caja fue empujada hasta que el robot detectó la línea blanca, una vez hecho esto se ejecutó la rutina de supervivencia y entró a un modo de búsqueda, en el que el robot se desplazaba por la arena de combate hasta detectar a un enemigo, que se colocó en otro lugar del Dohyo (Figura 3.7. (c)), una vez detectado el enemigo por los sensores, el robot

se dirige hacia él, lo empuja hasta detectar la línea blanca y nuevamente ejecutar la rutina de supervivencia (Figura 3.7. (d)).



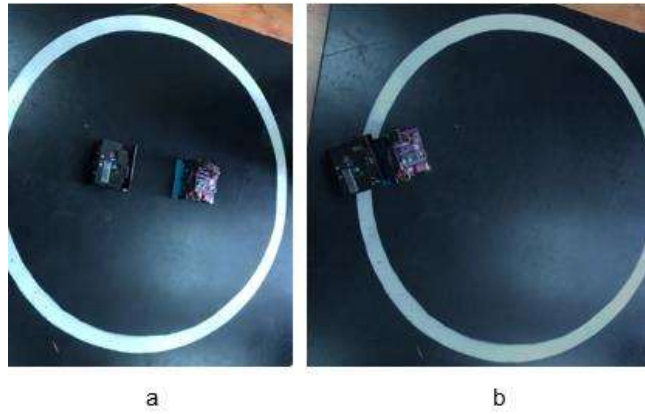
**Figura 3.7.** Pruebas de funcionamiento con objetos estáticos: a) posición inicial primera prueba, b) posición final primera prueba, c) posición inicial segunda prueba, d) posición final segunda prueba.

### 3.1.2.2 Pruebas con robots mini sumo autónomo

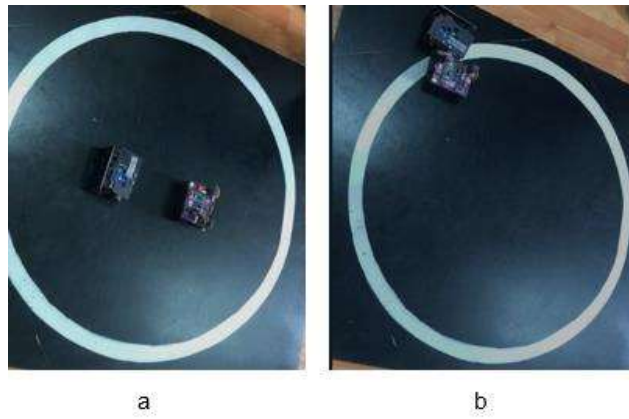
El funcionamiento del robot se verifica junto a modelos similares implementados en el club de robótica de la Escuela Politécnica Nacional, para ello se realizaron 3 rondas de combate.

En la primera ronda se colocan los robots frente a frente como indica la Figura 3.8. (a), en la que el robot diseñado presenta mayor dificultad para empujar al robot enemigo debido a su peso y al que ejerce una fuerza en la pala, debido a que también está acelerando, sin embargo, logra sacar al enemigo después de tres segundos. Para la segunda ronda se colocan los robots de espaldas (Figura 3.9. (a)), de igual manera se logra sacar al oponente con un poco de dificultad. Para la ronda final se colocan los robots de forma lateral (Figura 3.10. (a)), en la que no se pudo sacar al oponente debido a que las llantas que poseen generan una gran tracción en la pista y se dificulta moverlo en esa posición.

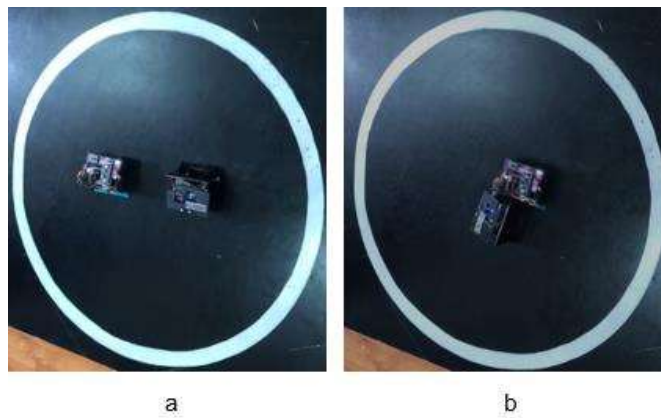




**Figura 3.8.** Primera ronda de combate: a) posición inicial, b) posición final



**Figura 3.9.** Segunda ronda de combate: a) posición inicial, b) posición final



**Figura 3.10.** Tercera ronda de combate



### 3.1.3 LISTA DE ELEMENTOS Y COSTOS

Para la implementación del prototipo final se utilizó el listado de elementos de la Tabla 3.1., en la que se contempla el nombre, cantidad, y costo de cada uno de los elementos, además de su implementación en hardware y software que se considerará como costo de ingeniería.

**Tabla 3.1.** Listado y costo de elementos para la implementación del prototipo

Descripción del componente	Cantidad	Precio unitario	Precio total
Chasis del robot en PLA	1	\$20.00	\$20.00
Motor de doble eje con caja de reducción 50:1	2	\$23.45	\$46.90
Encoder magnético	2	\$4.50	\$9.00
Llanta	2	\$3.95	\$7.90
Cable JST SH conexión de motores	2	\$1.19	\$2.38
Sensores de reflexión QTR-1A	3	\$2.50	\$7.50
Sensor de distancia sharp GP2Y0A21YK0F	3	\$12.95	\$38.85
Batería LiPo	1	\$27.99	\$27.99
Regulador Buck de 3A	1	\$2.99	\$2.99
STM32 blue pill	1	\$10.50	\$10.50
Sensor MPU6050	1	\$4.10	\$4.10
Driver de motores TB6612FNG	1	\$9.95	\$9.95
Socket macho hembra 3 pin	1	\$1.00	\$1.00
Socket macho hembra 5 pin	1	\$1.00	\$1.00
Socket macho hembra 7 pin	1	\$1.00	\$1.00
Interruptor	1	\$0.10	\$0.10
DIP switch 4	1	\$0.40	\$0.40
Modulo Bluetooth	1	\$7.50	\$7.50
Conversor USB TTL	1	\$2.50	\$2.50
LED SMD	4	\$0.25	\$1.00
Resistencias SMD	6	\$0.25	\$1.50
Capacitores electrolíticos SMD	1	\$0.50	\$0.50

Capacitores cerámicos SMD	3	\$0.50	\$1.50
Regulador AMS1117 5V	1	\$1.20	\$1.20
Regulador AMS1117 3.3V	1	\$1.20	\$1.20
PCB	1	\$7.00	\$7.00
Cables	3	\$1.50	\$4.50
Total			\$222.96

El costo de ingeniería incluye el diseño de la pieza 3D en el software de inventor, el diseño de la placa de control en Altium, el diseño del software de control, programación de la tarjeta de control y la construcción del robot. Para colocar un precio al costo de ingeniería se considera que se trabajaron 120 horas y se coloca un precio de \$5 la hora de trabajo, dando un total de \$600.

El costo total de la implementación del robot es mostrado en la Tabla 3.2.

**Tabla 3.2.** Costo de implementación

Componente	Cantidad	Valor
Materiales	1	\$222.96
Ingeniería	1	\$600
Total		\$822.96

### 3.2 CONCLUSIONES

En esta sección se presentan las conclusiones obtenidas en el desarrollo del robot mini sumo autónomo.

- El diseño de una estructura soporte o chasis debe contemplar la colocación de todos los componentes que va a contener e incluir una rampa para empujar a los enemigos de una manera más sencilla, por lo cual se buscó integrar estas características a las de tamaño y peso como especifica el Concurso Ecuatoriano de Robótica.
- La selección de un tiempo de muestreo adecuado es de mucha importancia para un muestreo de datos correcto, así como también la sintonización de controladores, debido a que si este es muy pequeño representará de mejor forma al sistema, sin embargo, el microcontrolador realiza mediciones cada cierto tiempo y si el tiempo

de muestreo es menor que este valor de respuesta, el sistema de control realizará medidas erróneas.

- El control en lazo abierto de los motores para un avance en línea recta del robot resultaba no muy funcional, ya que a pesar de que los motores eran los mismos, existía una variación al enviar las mismas referencias, por lo que al integrar un control PI a cada uno de los motores y regular la velocidad, se pudo conseguir un avance en línea recta sin necesidad de un control cinemático, sin embargo, únicamente funcionaba si el robot no sufría colisiones, lo cual no sucede en una competencia.
- La inclusión de un control cinemático para la selección de la ruta y orientación del robot resulta de mucha utilidad, principalmente para el seguimiento de objetos, además parámetros como rugosidad del suelo, deslizamiento en las llantas, son factores que afectan la trayectoria del robot.
- Los sensores infrarrojos para medir distancia no tenían inmunidad a la luz ambiental, lo que afectaba su medición al ser colocado de forma simple en la estructura del robot, por lo que se los colocó dentro de una caja de color negro consiguiendo evitar la inducción de luz ambiental como parte de la medición y que los datos obtenidos sean más estables.
- La calibración de los sensores de reflexión para la detección de línea blanca será muy importante para la puesta en marcha del robot en una competencia debido a que, de estar mal calibrados, el robot saldrá de la arena de combate y será motivo de descalificación.
- La generación de un ataque inicial favorece de gran manera para terminar las rondas de combate de forma rápida.

### **3.3 RECOMENDACIONES**

Para un uso adecuado del robot y mejoras que se podrán implementar se mencionan las siguientes recomendaciones obtenidas del trabajo de integración curricular.

- La calibración de los sensores de reflexión para la detección de línea blanca deberá realizarse previo a cada uso por lo que la intensidad de color depende del Dohyo en el que se use en la competencia, por ello se desarrolló un aplicativo que permitirá realizar este proceso de forma más sencilla.

- La velocidad del prototipo puede ser mejorada realizando una mayor cantidad de pruebas a los sensores de línea, tanto en el chasis como programación, logrando una detección temprano de línea y un frenado rápido, evitando salir de la arena de combate.
- Limpiar las llantas del robot después de cada uso, debido a que se acumula suciedad en las mismas, lo que reducirá su movimiento en la siguiente competencia.
- Limpiar los sensores de línea y distancia previo a cada competencia para obtener mediciones correctas.

## 4 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] CEDIA, "XV CONCURSO ECUATORIANO DE ROBÓTICA," 2019. <https://cer.cedia.edu.ec/es/> (accessed Jan. 24, 2022).
- [2] A. Lima, "Robot Sumo," *Acervo Lima*, 2020. <https://wiki.acervolima.com/robot-sumo/> (accessed Jan. 27, 2022).
- [3] IEEE, "Competitions," *IEEE Region 2 SAC Conference 2020*, 2020. <https://attend.ieee.org/r2sac-2020/competitions/> (accessed Jan. 27, 2022).
- [4] B. Wilson, T. Germann, and K. Al-Olimat, "Sumo Robot Competition," *ASEE*, vol. 1, no. Robotics, p. 14, 2016, Accessed: Jan. 27, 2022. [Online]. Available: [http://people.se.cmich.edu/yelam1k/asee/proceedings/2016/student\\_regular\\_papers/2016\\_asee\\_ncs\\_paper\\_58.pdf](http://people.se.cmich.edu/yelam1k/asee/proceedings/2016/student_regular_papers/2016_asee_ncs_paper_58.pdf).
- [5] H. Victor, T. Costachioiu, and R. Constantinescu, "Building your own sumo robot in some small simple steps," in *2013 International Conference on Electronics, Computers and Artificial Intelligence, ECAI 2013*, 2013, p. 2016, doi: 10.1109/ECAI.2013.6636203.
- [6] RIPIPSA, "Robots Autonomos: Que son, Como Funcionan y sus Ventajas," *Ripipsa S.A.*, 2019. <https://ripipsacobots.com/robots-autonomos/> (accessed Jun. 06, 2022).
- [7] CER, "Reglamento para la categoría 'Sumos Autonomos y RC.'" CEDIA, Cuenca, pp. 1–4, 2019, [Online]. Available: <https://cer.cedia.edu.ec/dmdocuments/CER/2019/Reglamentos/ReglamentoSumo.pdf>.
- [8] CONCURSO ECUATORIANO DE ROBÓTICA CER 2017, "Reglamento para la categoría 'Mini Sumo,'" *EPN*, vol. 1, p. 4, 2017.
- [9] robomatrix, "Reglamento Sumo," *robomatrix*, 2021. <http://robomatrix.org/wp-content/uploads/2022/01/ReglamentoSumo.pdf> (accessed Jun. 13, 2022).
- [10] Comité Organizador RGZL7, "Reglamento para la categoría ROBOTS SUMO RGZL7," *RGZL7*, 2020. [https://drive.google.com/file/d/1iyRVM1T\\_W8YAIPHs7pSLTSG0F5ZG2qa/view](https://drive.google.com/file/d/1iyRVM1T_W8YAIPHs7pSLTSG0F5ZG2qa/view) (accessed Jun. 13, 2022).
- [11] J. C. Ramírez Campoverde, "Implementación de algoritmo de lógica difusa utilizando el microcontrolador Atmega 32u4 como estrategias de lucha en la categoría

minisumo,” UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL, Guayaquil, 2018.

- [12] H. M. Joel Alexander, “IMPLEMENTACIÓN DE UN ROBOT AUTÓNOMO DE TIPO SUMO PARA COMPETENCIAS ROBÓTICAS Y MODELO DE ESTUDIO,” Universidad de Guayaquil, Guayaquil, 2018.
- [13] D. A. Caicedo Benavides, J. L. Leiton Arias, G. A. Domínguez Martínez, J. Enríquez Salazar, and A. F. Restrepo Álvarez, “SISTEMA EMBEBIDO ROBOT MINISUMO SIT-UV: UNA HERRAMIENTA DE EDUCACIÓN,” Cali, 2020. Accessed: Feb. 13, 2022. [Online]. Available: <https://acofipapers.org/index.php/eiei/article/view/852/856>.
- [14] UNIT ELECTRONICS, “STM32F103C8T6 Tarjeta de Desarrollo Cortex M3 - UNIT Electronics,” *UNIT ELECTRONICS*, 2022. <https://uelectronics.com/producto/stm32f103c8t6-tarjeta-de-desarrollo-cortex-m3-blue-pill-stm32f103c/> (accessed Feb. 13, 2022).
- [15] SHARP Corporation, “GP2Y0A21YK0F Datasheet,” *SHARP Corporation*, 2006. <https://www.pololu.com/file/0J85/gp2y0a21yk0f.pdf> (accessed Feb. 13, 2022).
- [16] Fairchild Semiconductor, “QRE1113GR-SMT Reflective Object Sensor,” 2008, Accessed: Feb. 13, 2022. [Online]. Available: <https://www.pololu.com/file/0J117/QRE1113GR.pdf>.
- [17] I. Inc, “MPU-6050 Datasheet,” *Inven. Inc*, vol. 1, no. 408, p. 54, 2012, [Online]. Available: [www.invensense.com](http://www.invensense.com).
- [18] TOSHIBA, “TB6612FNG Datasheet,” *TOSHIBA*, 2008. <https://www.pololu.com/file/0J86/TB6612FNG.pdf> (accessed Feb. 13, 2022).
- [19] Pololu, “Pololu - Magnetic Encoder Pair Kit with Top-Entry Connector for Micro Metal Gearmotors, 12 CPR, 2.7-18V,” *Pololu*, 2022. <https://www.pololu.com/product/4760> (accessed May 08, 2022).
- [20] TOSHIBA, “TB6612FNG Datasheet,” *TOSHIBA*, 2008. <https://www.pololu.com/file/0J86/TB6612FNG.pdf> (accessed Feb. 14, 2022).
- [21] U. G. Villaseñor Carrillo *et al.*, “Diseño Mecatrónico de un Robot Móvil (Configuración Diferencial),” *8º Congr. Nac. Mecatrónica*, 2009, Accessed: May 28, 2022. [Online]. Available: <http://www.mecamex.net/anterior/cong08/articulos/32.pdf>.
- [22] ABAX, “PLA y otros materiales de impresora 3D: Características de filamentos,”

- ABAX, 2020. <https://abax3dtech.com/2020/11/20/pla-y-otros-materiales-de-impresora-3d-caracteristicas-de-filamentos/> (accessed Jun. 15, 2022).
- [23] Weerg., “Aluminio: características, propiedades y ventajas,” *Weerg.*, 2020. <https://www.weerg.com/es/es/blog/aluminio-caracteristicas-propiedades-y-ventajas> (accessed Jun. 15, 2022).
- [24] AutoSolar, “¿Cómo calcular la capacidad de las baterías?,” *TODOPRODUCTIVIDAD*, 2021. <http://todoproduktividad.blogspot.com/2011/02/como-calcular-la-capacidad-de-las.html> (accessed May 31, 2022).
- [25] Hyperion, “A Guide to Understanding LiPo Batteries,” *www.Hyperion-world.com*, 2017. <https://www.robotshop.com/media/files/pdf/hyperion-g5-50c-3s-1100mah-lipo-battery-User-Guide.pdf> (accessed Jun. 28, 2022).
- [26] Prometec, “Elegir una batería LiPo | Tienda y Tutoriales Arduino,” *www.prometec.net*, 2018. <https://www.prometec.net/elegir-bateria-lipo/> (accessed Jun. 28, 2022).
- [27] CYStech Electronics Corp, “1A Low Dropout Positive Voltage Regulator,” *CYStek*, Oct. 07, 2005. <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/141839/CYSTEKEC/LM1117-5.0.html> (accessed Jun. 26, 2022).
- [28] AJ Neal, “Tips for selecting DC motors for your mobile robot,” *Servo*, 2010. [https://www.servomagazine.com/uploads/issue\\_downloads/pdf/Tips For Selecting DC Motors For Your Mobile Robot.pdf](https://www.servomagazine.com/uploads/issue_downloads/pdf/Tips For Selecting DC Motors For Your Mobile Robot.pdf) (accessed May 30, 2022).
- [29] K. Kothandaraman, “Motion Planning and Control of Differential Drive Mobile Robot,” *CORE Scholar.*, vol. 1, p. 90, 2016, [Online]. Available: [https://corescholar.libraries.wright.edu/etd\\_all/1701/](https://corescholar.libraries.wright.edu/etd_all/1701/).
- [30] S. Garcia, “Muestreo digital,” *ELECTRÓNICA y TELECOMUNICACIONES*, 2012. <http://serbal.pntic.mec.es/srug0007/archivos/radiocomunicaciones/3 SE%D1ALES DIGITALES/Muestreo digital.pdf> (accessed Aug. 03, 2022).

## **5 ANEXOS**

ANEXO I: MANUAL DE USUARIO.

ANEXO II: CIRCUITO IMPLEMENTADO.

ANEXO III: PLANOS CHASIS.

ANEXO IV: REGLAMENTO DEL ROBOT MINI SUMO AUTÓNOMO

ANEXO V: HOJAS DE DATOS.



## ANEXO I

### MANUAL DE USUARIO

#### I.1 ROBOT MINI SUMO AUTÓNOMO

El robot diseñado en el presente trabajo de integración curricular mostrado en la Figura I.1., tiene como objetivo principal la detección y ataque a enemigos en una arena de combate, que está delimitada por una línea blanca.

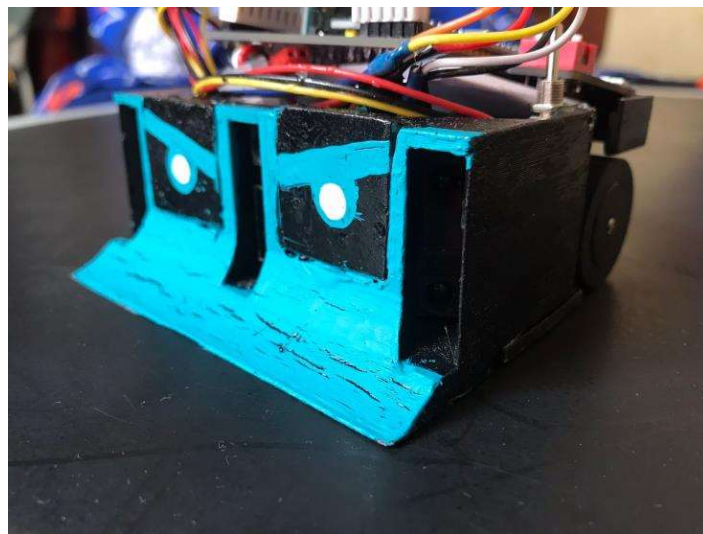


Figura I.1. Robot Mini Sumo Autónomo

#### I.2 OBJETIVOS

- Describir todos los componentes que forman el robot mini sumo autónomo.
- Informar de los modos de funcionamiento del robot y su correcto uso dependiendo del escenario de combate.
- Preparar al usuario para la calibración de los sensores y actuadores, manejo del software de control, además de la interpretación y solución de errores que puedan llegar a presentarse.

#### I.3 CARACTERÍSTICAS

Largo: 98 mm

Ancho: 98 mm

Alto: 55 mm

Peso: 380 gr

Configuración cinemática de tipo diferencial.

## I.4 ELEMENTOS

El robot está conformado por los siguientes componentes:

1. Alimentación: Batería LiPo de 7.4 V y 850 mA
2. Regulador de voltaje 7 V
3. Placa de control
4. Sensores de distancia: 3 sensores Sharp GP2Y0A21YK0F
5. Sensores de línea: 3 sensores QTR – 1A
6. Motores: Motores con caja de reducción 50:1 de alta potencia
7. Llantas

## I.5 FUNCIONAMIENTO DEL PROTOTIPO

Para poner en marcha el prototipo se tiene que manejar la placa de control de la Figura I.2., la cual consta de una interfaz de 4 LED's y 4 DIPSwitch, los cuales indicarán el modo de funcionamiento del robot.

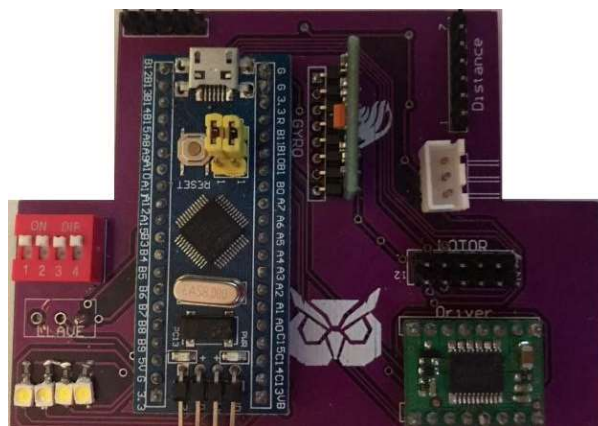


Figura I.2. Placa de control robot Mini Sumo Autónomo

1. Para poner en marcha el robot, se inicia por verificar que la conexión del voltaje de alimentación de la LiPo sea correcta, para después encender el prototipo.
2. Una vez se enciendan las luces de arranque, se tendrá que seleccionar el modo de funcionamiento para la competencia y su elección dependerá de la posición inicial de los robots, esto debido a que el robot incluye una estrategia de ataque inicial para detectar de forma más rápida al enemigo. La estrategia inicial se selecciona en los dip switches ubicados en la placa de control, teniendo en cuenta que en la Figura I.2. están en posición inicial es decir 0000.

1000: Avance en línea recta

0100: Giro de 180°

0010: Giro de 90°

1010: Giro de -90°

3. Al seleccionar la estrategia inicial, se pondrá en marcha el robot al activar la llave y una vez ejecutada esta acción el robot tardará 5 segundos en ejecutar la estrategia inicial, continuará con la ejecución de algoritmos de búsqueda y ataque en caso de no encontrar al enemigo en los primeros instantes.
4. Para frenar el robot será necesario desactivar la llave de encendido, preferentemente desconectar la fuente de alimentación para reservar batería para futuros encuentros.

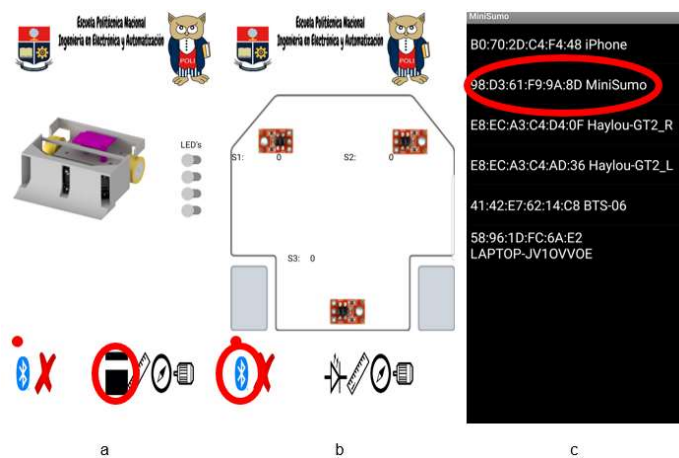
## **I.6 CALIBRACIÓN DEL ROBOT**

En el caso de que el Dohyo de combate tenga una intensidad de color negro y blanco diferentes a los usados en el presente trabajo de integración curricular o los sensores de distancia tengan problema al detectar enemigos, es necesario ingresar al modo de calibración, para lo cual se coloca los pulsadores de estrategia inicial en la posición 0011. Y para el caso en el que se sospeche que los motores avancen a una velocidad inferior o superior a la programada se cargará el programa "Calibración PID" en la tarjeta de control.

### **I.6.1 SENSORES DE LÍNEA**

Cuando el robot este en modo de calibración se conectará el módulo bluetooth a la placa de control, se realizará la conexión entre el robot y el dispositivo móvil, para ello se tiene que seguir los siguientes pasos:

1. Tener vinculado el dispositivo móvil con el módulo bluetooth, el cual puede ser encontrado con el nombre de “MiniSumo” el cual tiene la contraseña de enlace “5477”
2. Abrir el aplicativo móvil seleccionar la ventana de calibración de sensores de línea, como se muestra en la Figura I.3. (a), después se abre una nueva ventana en la cual se podrá verificar el estado de los sensores de línea, que, para iniciarla, se selecciona el símbolo de bluetooth como indica la Figura I.3. (b), lo cual desplegará una nueva ventana en la cual se seleccionará el dispositivo “MiniSumo” al igual que en la Figura I.3 (c).



**Figura I.3.** Interfaz de calibración

3. Anotar los valores correspondientes a las mediciones entre línea blanca y línea negra, sabiendo que la medición en línea negra debe ser alta por el orden de 3000, y para color blanco debe ser por debajo de 500, si la variación entre ellos es muy grande puede ser que el sensor deba ser reemplazado.
4. Completado el paso anterior el dispositivo móvil mostrará los datos de los sensores de línea y para realizar la calibración se tendrá que colocar al robot de forma manual en espacios donde los sensores detecten color negro y color blanco para ser anotados y modificar el programa de control.
5. Con los datos de los sensores en los colores blanco y negro se abre el programa “MiniSumo” en STM32CubeIDE y se modifican las líneas 40, 41, y 42 del archivo main; correspondientes a los valores que miden los sensores entre las líneas blanca y negra.
6. Compilar el programa y cargarlo en la tarjeta de control.

## I.6.2 SENSORES DE DISTANCIA

Los sensores de distancia están calibrados de forma interna en el programa de control, ya que necesitan ser linealizados de forma individual para verificar su estado, se colocará al robot en modo de funcionamiento 0101, en el cual el robot seguirá la orientación a un objeto cercano, en el caso de que el seguimiento de objetos no funcione se tendrá que verificar que los sensores estén en buen estado mediante el uso de la aplicación móvil lo cual se realiza por un proceso similar al del sensor de línea.

1. Colocar al robot en modo calibración 0011.
2. Abrir la aplicación móvil, en el símbolo de la regla y realizar la conexión con la tarjeta de control.
3. Colocar objetos delante de los sensores y verificar si la medición varia de forma que entre más cercano este el objeto, la medición debe ser más alta y de no ser este el caso puede que el sensor requiera ser reemplazado.
4. En el caso que el sensor sea defectuoso, se tendrá que realizar el acondicionamiento de este, para ello se cambia, se verifica que su valor alterne en el aplicativo y se colocan objetos a distancias de 5, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50, 60 cm, y se anotan sus valores.
5. Estos valores se modifican en el archivo “distance.h” en las líneas 6 a 34 visto en la Figura I.4., en donde D1 representa el sensor central, D2 el sensor de la derecha, y D3 el sensor de la izquierda

```
6 #define D1_05 3789
7 #define D1_10 2553
8 #define D1_15 2007
9 #define D1_20 1660
10 #define D1_25 1440
11 #define D1_30 1270
12 #define D1_40 1080
13 #define D1_50 940
14 #define D1_60 846
15
16 #define D2_05 3780
17 #define D2_10 2660
18 #define D2_15 1960
19 #define D2_20 1650
20 #define D2_25 1440
21 #define D2_30 1300
22 #define D2_40 1065
23 #define D2_50 891
24 #define D2_60 800
25
26 #define D3_05 3770
27 #define D3_10 2767
28 #define D3_15 1930
29 #define D3_20 1450
30 #define D3_25 1154
31 #define D3_30 930
32 #define D3_40 660
33 #define D3_50 490
34 #define D3_60 400
```

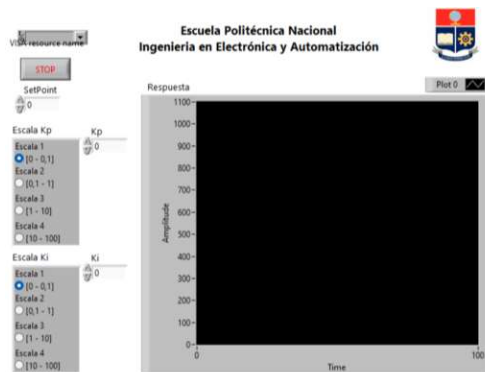
**Figura I.4.** Constantes sensores de distancia.

6. Una vez hecha la modificación pasada se guarda y compila el archivo “MiniSumo”, y se lo carga en la tarjeta de control.

### I.6.3 MOTORES

Para la calibración de los motores, se carga en la tarjeta el archivo calibración PID y se conecta el robot al computador, además que únicamente se conectará el motor izquierdo, y se inicia el programa de LabView “PID\_Tuning”, el cual desplegará la ventana de la Figura I.5.

Dentro de este programa se modificará el setpoint, las constantes de Kp, y Ki, en valores de escala seleccionados, que se envía al microcontrolador y este por su parte enviará a la interfaz los valores de velocidad y referencia del motor izquierdo, se modificará las constantes del controlador hasta que se alcance una respuesta adecuada, estas constantes serán tomadas para modificar en el programa principal. Este procedimiento se repite conectando el otro motor en el espacio del motor izquierdo y se modifican los valores del controlador en las líneas 34, 35, 36 y 37 del programa principal como indica la Figura I.6, una vez hecho esto, se compilará y cargará el programa a la tarjeta.



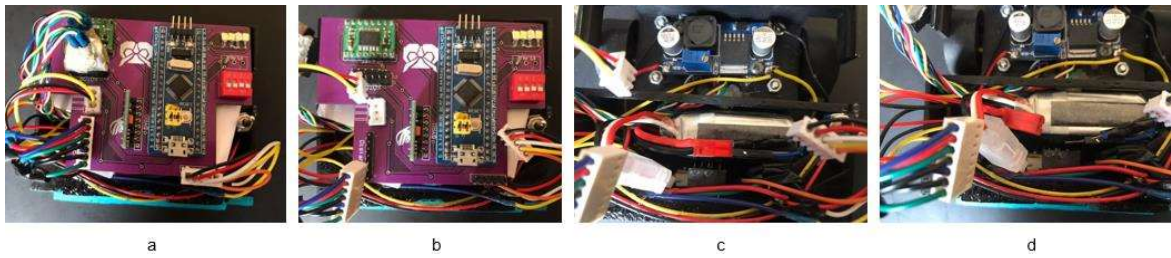
**Figura I.5.** Interfaz de calibración de motores.

```
34 #define KP_MOTOR_A 1.53
35 #define KI_MOTOR_A 8.12
36 #define KP_MOTOR_B 1.51
37 #define KI_MOTOR_B 8.15
```

**Figura I.5.** Constantes de controladores PI.

## I.7 ENSAMBLAJE DE PROTOTIPO

En el caso de que la batería este descargada, el robot tiene que desarmarse parcialmente, con lo cual se inicia desconectando todos los cables de la placa de control para después sacar la placa, desconectar la batería del sistema y extraerla para ser cargada, esto se puede ver en la Figura I.6.



**Figura I.6.** Montaje y desmontaje de robot: a) Robot sin carcaza, b) desconexión de los sensores, alimentación, y motores, c) Levantamiento placa de control, d) Desconexión batería LiPo.

# ANEXO II

## CIRCUITO IMPLEMENTADO

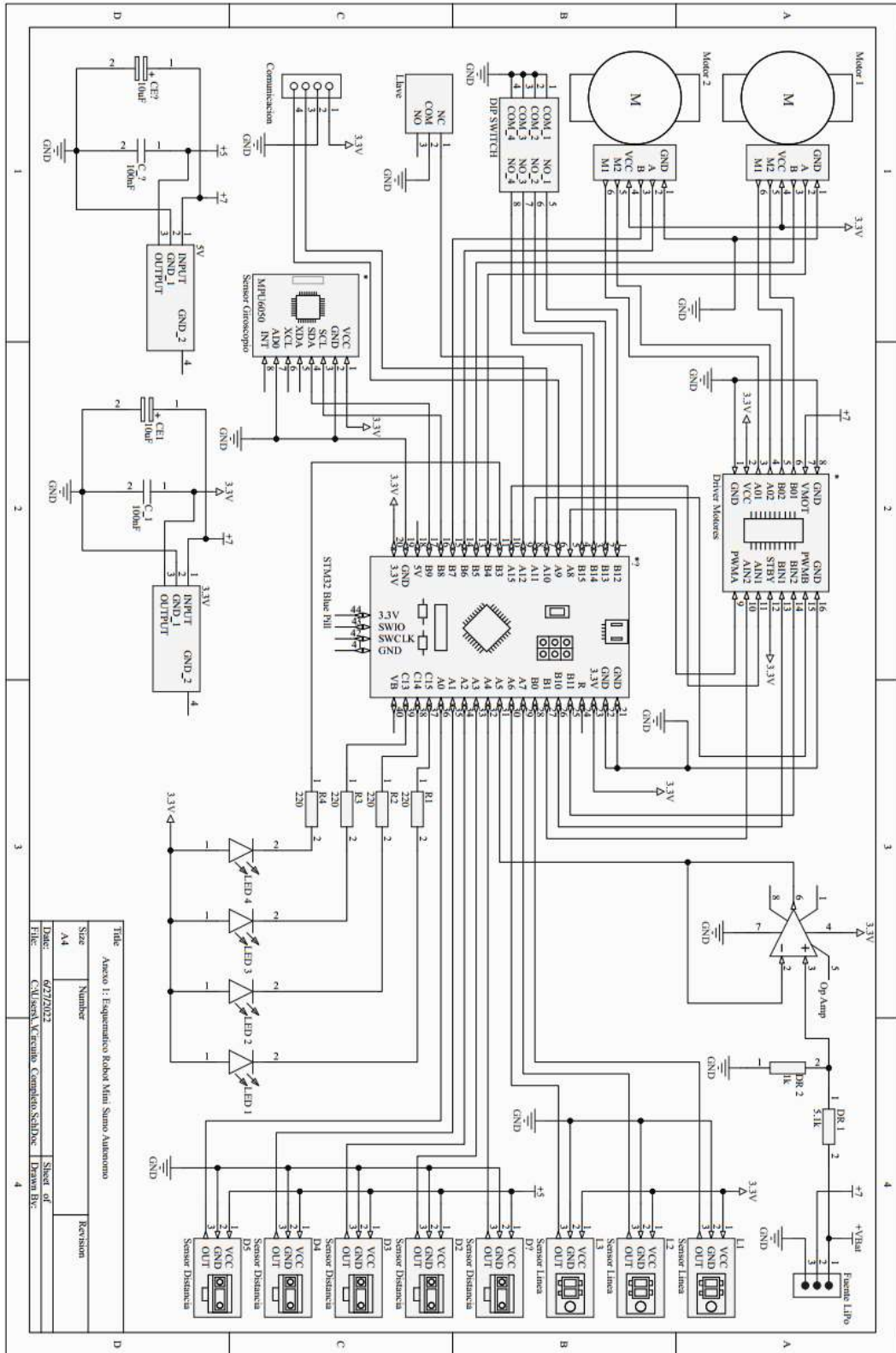


Figura II.1. Esquematismo circuito de control para el robot mini sumo autónomo



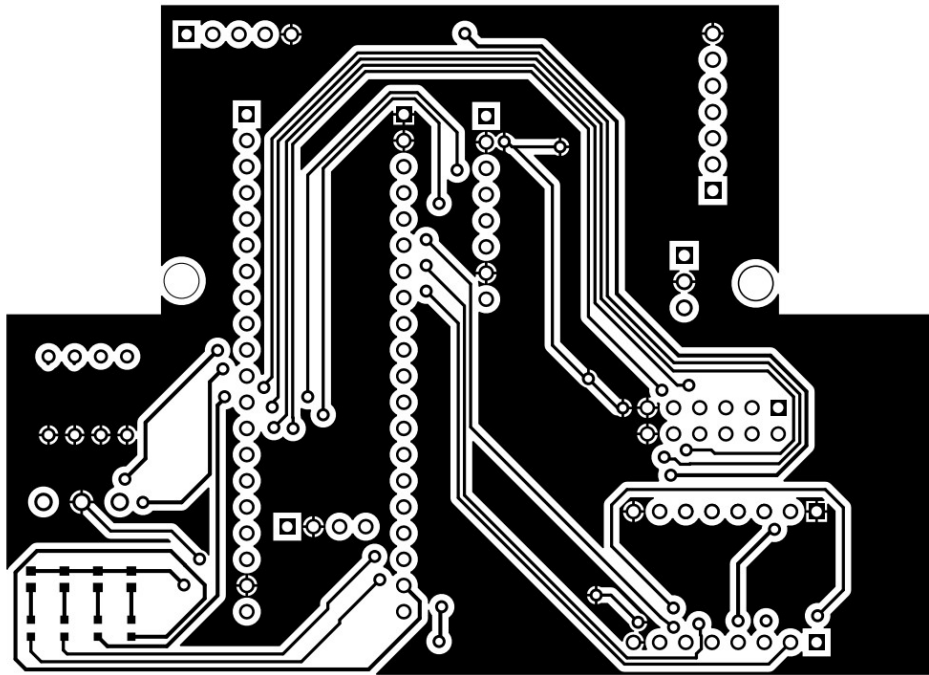


Figura II.2. Plano superior, PCB mini sumo autónomo

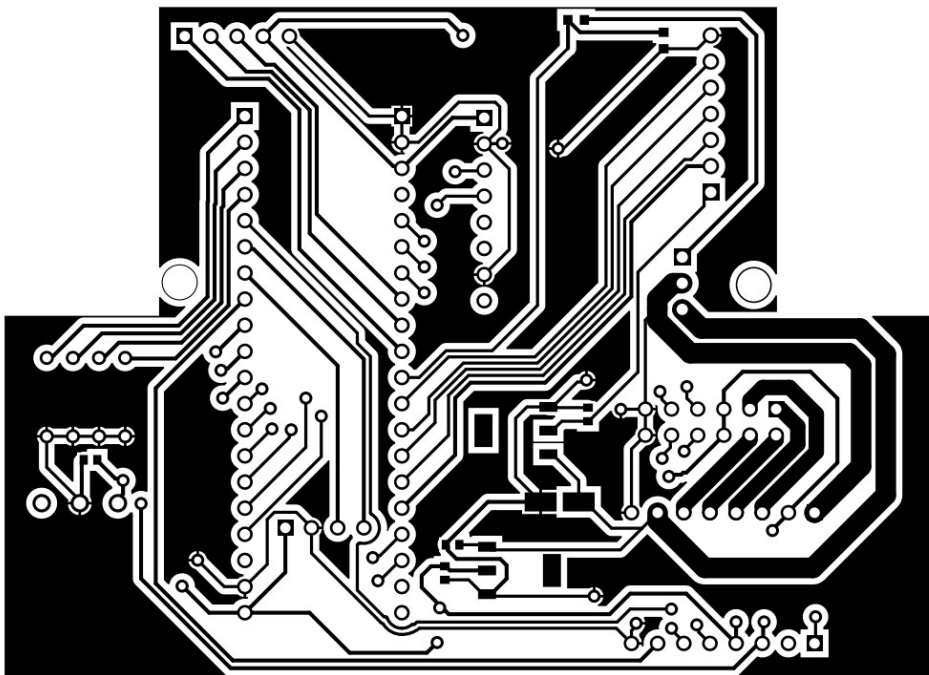
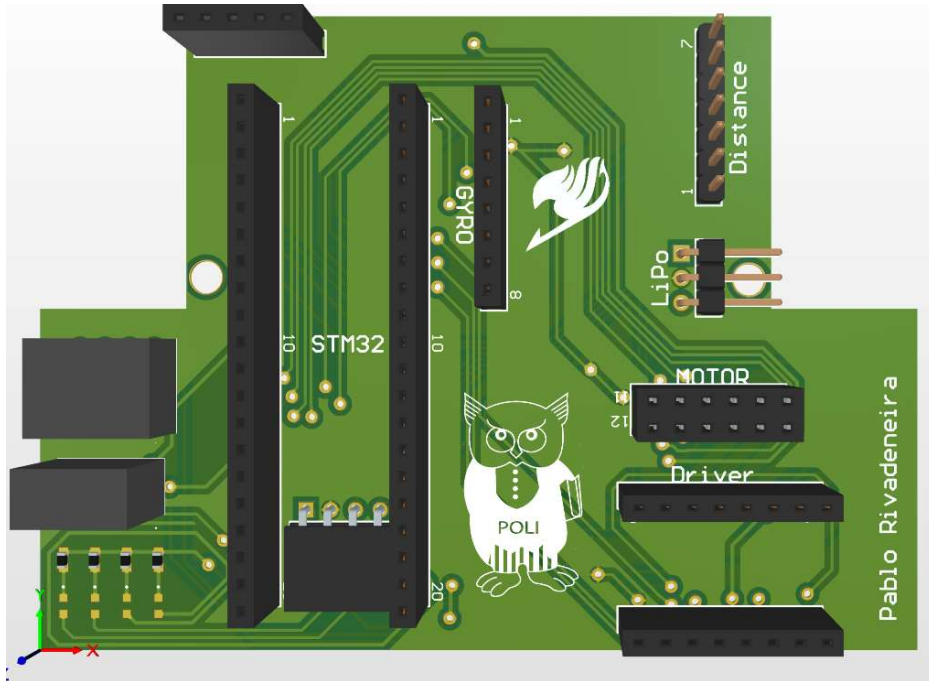
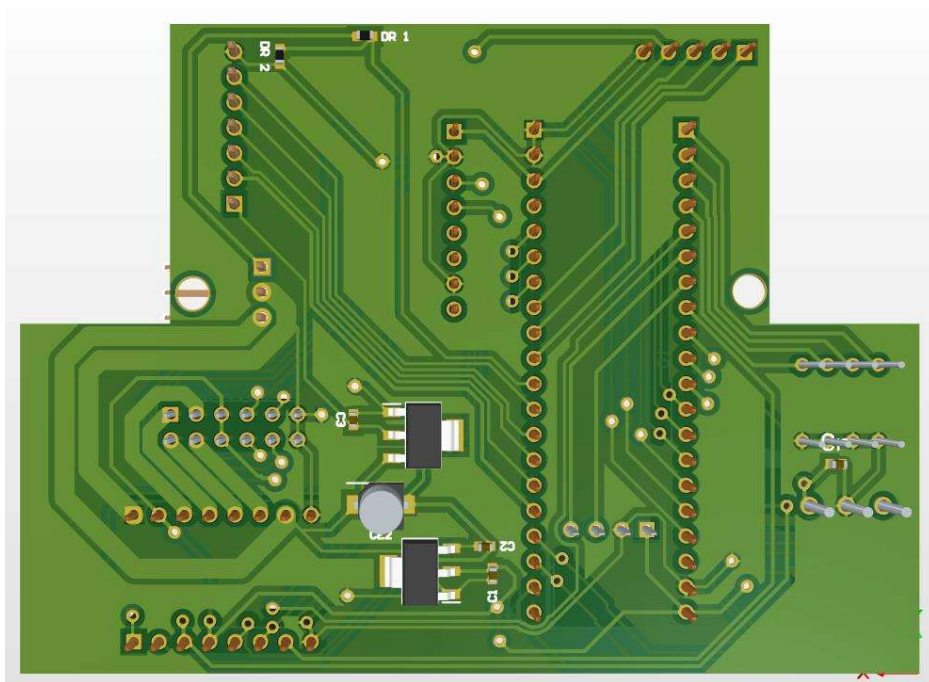


Figura II.3. Plano inferior, PCB mini sumo autónomo



**Figura II.4.** Vista superior, PCB mini sumo autónomo



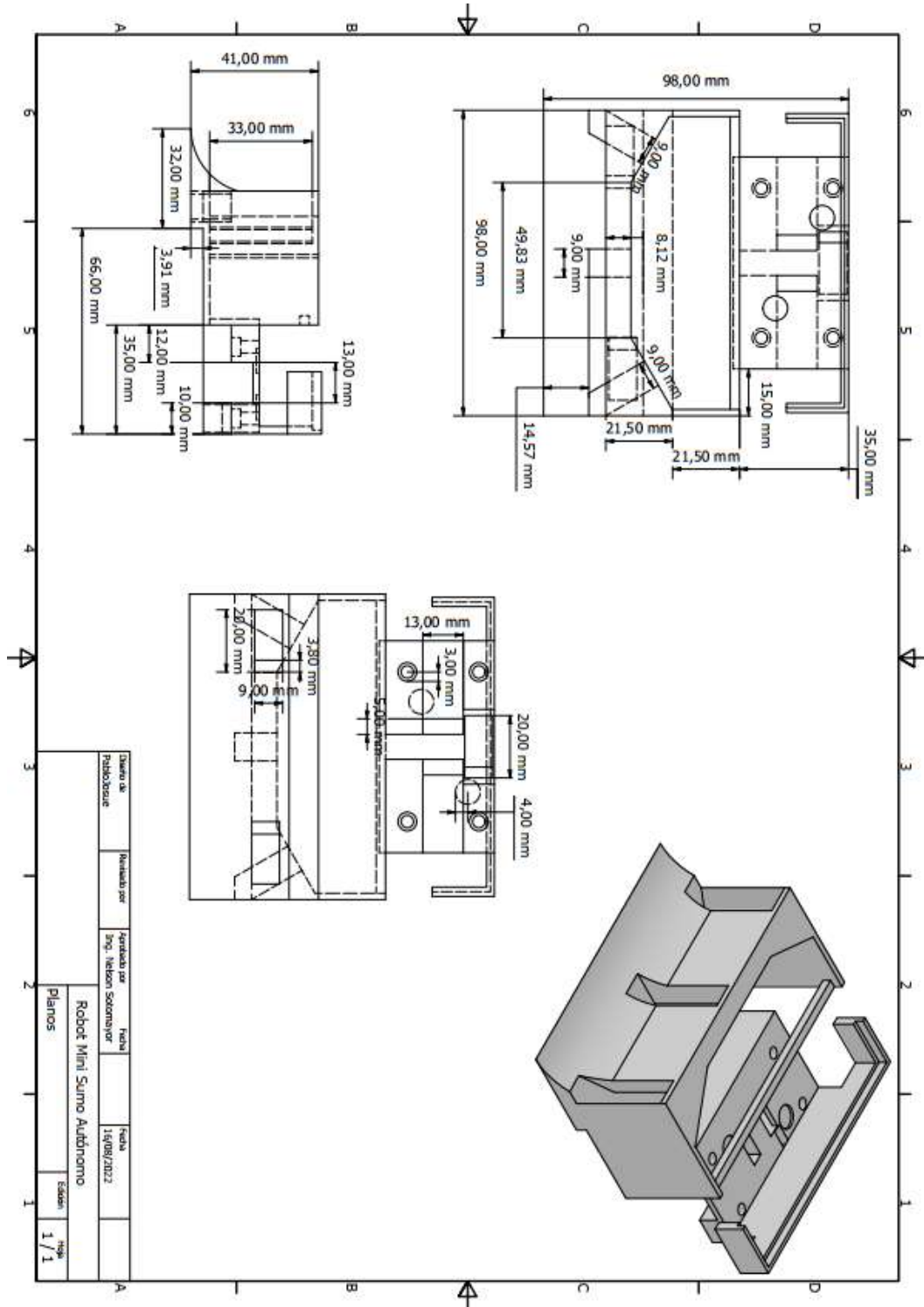
**Figura II.5.** Vista inferior, PCB mini sumo autónomo

**Tabla I.1.** Listado de componentes

<b>Componente</b>	<b>Nombre</b>	<b>Valor</b>
STM32 Blue Pill	STM32	F103C8T6
Driver Motores	Driver	TB6612FNG
Giroscopio	SG	MPU6050
DipSwitch	Llave	4
Resistencias	DR1	5.1 k $\Omega$
	DR2	1 k $\Omega$
	R1	220 $\Omega$
	R2	220 $\Omega$
	R3	220 $\Omega$
	R4	220 $\Omega$
Capacitores cerámicos	C1	100 nF
	C2	100 nF
Capacitores electrolíticos	CE1	10 uF
	CE2	10 uF
LED's	LED1	Blanco
	LED2	Blanco
	LED3	Blanco
	LED4	Blanco
Regulador de voltaje	5V	LM1117 5V
	3.3V	LM1117 3.3V
Conectores	Fuente LiPo	3 Pin
	Distancia	7 Pin
	Color	5 Pin
	Motor 1	6 Pin
	Motor 2	6 Pin
	Comunicación	4 Pin

# ANEXO III

## PLANOS CHASIS



**Figura III.1.** Planos chasis robot mini sumo autónomo

## ANEXO IV

### REGLAMENTO DEL ROBOT MINI SUMO AUTÓNOMO

# CONCURSO ECUATORIANO DE ROBÓTICA CER 2017

## Reglamento para la categoría "Mini Sumo"

#### CAPÍTULO 1: DE LAS DISPOSICIONES GENERALES

**Artículo 1.1** La categoría Mini Sumo consiste en el enfrentamiento de dos robots completamente autónomos los cuales buscarán sacar a su oponente del área de competencia.

**Artículo 1.2** Cada delegación bajo autorización del representante podrá inscribir como máximo 2 equipos, los cuales estarán conformados por un máximo de 2 estudiantes.

**Artículo 1.3** El jurado calificador podrá aplicar en cualquier circunstancia el presente reglamento y tendrá las atribuciones necesarias para decidir cualquier aspecto o eventualidad que no esté contemplada en el mismo.

**Artículo 1.4** Todos los participantes deberán acogerse a lo estipulado en el Reglamento General en cuanto a inscripciones, participación y penalizaciones generales.

#### CAPÍTULO 2: DE LOS REQUERIMIENTOS TÉCNICOS DEL PROTOTIPO

**Artículo 2.1** El robot Mini Sumo es un robot construido con materiales resistentes que le permiten soportar las presiones mecánicas de un combate. Todos los robots deberán sujetarse a las especificaciones técnicas detalladas en el presente capítulo.

**Artículo 2.2** En el preámbulo de la competencia los robots deberán ser sometidos a verificación, si el jurado calificador observara el incumplimiento de alguno de los puntos detallados en el Artículo 2.3 se proporcionará un lapso de 5 minutos para realizar las debidas correcciones, si el incumplimiento persiste el robot será descalificado.

**Artículo 2.3** La arquitectura física y el funcionamiento del robot deberán cumplir con los siguientes puntos:

- Ancho: 10 cm.
- Largo: 10 cm.
- Alto: Libre cm.
- Peso: 500g sin tolerancia alguna.
- Alimentación: La fuente de energía para alimentar los circuitos eléctricos de control y los motores del robot será interna, considerándose cualquier tipo de baterías de corriente continua. La duración de

las baterías debe ser suficiente para desarrollar perfectamente un combate completo.

- Control: El robot sumo deberá funcionar de manera autónoma, quedando prohibido el uso de cualquier tipo de radio control.
- Queda totalmente prohibido que el robot cuente con la existencia de materiales adhesivos, ventosas ni otros sistemas que permitan la sujeción del robot al Dhoyo.

**Artículo 2.4** El Mini Sumo deberá ser construido bajo ciertas normas y requisitos de tal manera que brinde las garantías de seguridad para todos los competidores, el jurado, el público en general y el espacio físico donde se desarrolla la competencia, entendiéndose como requisitos de seguridad los siguientes:

- El robot deberá poseer una llave "ON/OFF" externa o pulsador de emergencia visible y de fácil acceso que lleve a condiciones de paro total al sistema.
- El prototipo debe ser diseñado para entrar en acción 5 segundos después de que el concursante presione un interruptor de inicio, bajo la indicación del juez de la competencia.
- El robot deberá estar diseñado de tal manera que siempre tenga un frente y una espalda.
- El robot no puede contener piezas que puedan dañar el robot oponente (partes cortantes como cutter, navajas, sierras, taladros, martillos, etc).
- Los robots deberán estar diseñados de tal manera que tengan en su estructura un indicador de luz que señale que están listos para su funcionamiento.

**Artículo 2.5** La carcasa de cada robot debe poder retirarse de manera sencilla para que el jurado pueda verificar la estructura interna y la circuitería de control al inicio y al final de la competencia.

**Artículo 2.6** El microprocesador y/o tarjeta de desarrollo del robot podrá ser de cualquier tipo de fabricante, y se podrá usar cualquier tamaño de memoria.

#### CAPÍTULO 3: DEL DESARROLLO DE LA COMPETENCIA

**Artículo 3.1** Cada batalla de robots Mini Sumo consiste en tres rounds, con una duración máxima de tres minutos cada uno, con un tiempo de descanso máximo de un minuto entre cada round.



**Artículo 3.2** De acuerdo con las llaves establecidas cada contendiente será llamado al Dohyo para su respectivo enfrentamiento, si transcurridos cinco minutos no se presenta el equipo quedará automáticamente eliminado.

**Artículo 3.3** El jurado calificador observará que los robots cumplan con las especificaciones que se establecen en el Capítulo 2 del presente reglamento, además se observará la funcionalidad del mismo. Constituye motivo de descalificación de la competencia los siguientes aspectos:

- Incumplimiento de las especificaciones técnicas.
- El no presentarse en el preámbulo de la competencia tal cual dictamina el reglamento general.
- La no funcionalidad del robot.
- La presencia de adhesivos, figuras o escritos, reproducción de sonido que atenten con la moral.

**Artículo 3.4** El área de combate "Dohyo":

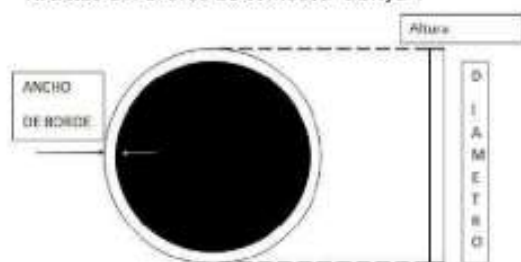


Figura 1: Especificaciones del "Dohyo".

- Diámetro: 77 cm.
- Altura: 2.5 cm.
- Ancho de borde: 2.5 cm.
- Material: Madera

**Artículo 3.5** Sólo un contendiente por prototipo puede ser registrado, pero puede ser asistido por el otro participante de su equipo. Los contendientes serán los encargados de encender el prototipo en el "Dohyo", de acuerdo con las reglas del juego.

**Artículo 3.6** Normativa en pista:

- Si un robot en funcionamiento normal o con desperfecto atentare contra la integridad física del Dohyo, el jurado calificador tendrá la potestad de no dejarlo competir en caso esto sea notado en el preámbulo del round. En caso de que esto ocurriera durante el desarrollo de un round el

jurado calificador dará por terminado el round declarando ganador del mismo al robot opositor.

- Los contendientes rodearán el área del Dohyo, después de realizar la medición y pesaje del prototipo, siguiendo las instrucciones del juez principal, para colocar al prototipo en las líneas de arranque ("Sikiri-Sen"). En el primer round los robots se ubicarán de frente, en el segundo se colocarán de lado y en el tercero de espaldas. El contendiente oprimirá el botón de inicio cuando el juez se lo indique, inmediatamente se retirará del área de Dohyo.
- Una vez que los jueces indiquen el inicio del enfrentamiento nadie podrá ingresar total ni parcialmente al área de competencia, excepto en el caso de que lo indique uno de los jueces, si alguno de los operadores o miembros del equipo incumplen con esta norma, el robot será amonestado.
- Al terminar los rounds, si los dos concursantes no recibieren ningún punto "Yuko", el jurado calificador decidirá directamente el ganador del combate en base al desempeño mostrado en el Dohyo. Bajo estas circunstancias y si la estructura de las llaves lo permite el jurado calificador tendrá la potestad de eliminar a los dos contendientes si el desempeño de ambos no es el adecuado.
- Si ocurre desprendimiento de piezas de los robots, los jueces deberán pausar el enfrentamiento y pedir que se retiren las piezas desprendidas, a fin de evitar accidentes. Esto será motivo de amonestación para el robot implicado.
- Si algún robot Mini Sumo presentare una descompostura que le impida continuar el combate, podrá hacer uso de 3 minutos para realizar reparaciones si es autorizado por el juez. Este tiempo solo podrá ser solicitado una vez por combate.
- Todos los prototipos deberán contar con algún tipo de identificador ya sea un número o nombre, el cual deberá ser puesto en el cuerpo del prototipo de tal manera que sea fácil de leer durante la competencia.
- Basta que el robot toque el piso se considerará que fue sacado o salió del Dohyo entonces se aplicará lo dictaminado en el Artículo 3.7.

**Artículo 3.7** Puntuación

Tabla 1: Puntuación

DETALLE	PUNTAJES
Expulsión	1 punto
Abandona	1 punto

- **Expulsión:** Será considerado como expulsión, cuando un prototipo expulsa a su oponente del Dohyo y permanece 4 segundos dentro del Dohyo después de expulsarlo, durante este periodo de tiempo deberá demostrar un grado de movilidad. En caso de que un robot expulse a su contrincante, pero en esta acción también abandone el Dohyo, no se concederá puntos a ninguno de los contendientes. Luego de una expulsión el combate deberá continuar con los contrincantes en las líneas de arranque respectivas, adoptando cada robot una posición diferente a la anterior y bajo criterio del jurado.
- **Abandono:** Será considerado como abandono cuando un robot sale del Dohyo por cualquier razón y el otro prototipo permanece dentro del Dohyo por 4 segundos demostrando un grado de movilidad. Luego de un abandono el combate deberá continuar con los contrincantes en las líneas de arranque respectivas, adoptando cada robot una posición diferente a la anterior y bajo criterio del jurado.

**Artículo 3.8** El contendiente que tome cualquiera de las siguientes acciones recibirá una amonestación:

- El operador o parte del operador entró al área del Dohyo antes de que el juez de por finalizado el combate.
- El Mini Sumo entra en acción antes de la señal de inicio por parte del juez.
- El Mini Sumo deja de moverse en el Dohyo por un tiempo superior a 5 segundos siempre y cuando los dos estén en el área de combate.
- Cuando el prototipo raye el Dohyo. Bajo estas circunstancias el robot implicado tendrá tres minutos para hacer las reparaciones respectivas.
- La utilización de dispositivos que lancen líquido, polvo, gases o sólidos al oponente.
- Introducir modificaciones en los robots después que hayan sido revisados por el jurado calificador.
- Usar sustancias pegajosas para mejorar la tracción de los robots. Las llantas y otros componentes del robot en contacto con el ring no deben tener capacidad de sostener una hoja tamaño A4 de 60g.
- La separación de una o varias piezas del robot una vez empezado el combate.

Cuando el concursante reciba dos amonestaciones será descalificado.

**Artículo 3.9** Los robots volverán a su posición inicial sin que esto implique reiniciar el tiempo o repetir el round cuando:

- Los prototipos se encuentran trabados uno con otro o rotan en forma circular por un tiempo de 10 segundos de tal forma que no puede existir más pelea entre ellos.
- Ambos prototipos tocan el exterior del Dohyo de forma simultánea.

**Artículo 3.10** Cualquiera de los contendientes que incurra en las siguientes acciones o actitudes será descalificado y tendrá que abandonar el torneo:

- Cualquier Mini Sumo que no cubra las especificaciones del Capítulo 2.
- Cualquier contendiente que mantenga una actitud poco decorosa o una actitud anti deportiva como lenguaje violento o burlas ante su oponente.
- Cualquier contendiente que intencionalmente agrede física o verbalmente a su oponente, el jurado calificador o los organizadores.

**Artículo 3.11** El capitán del equipo podrá solicitar a los jueces el retiro del evento de su robot, si éste no pudiese continuar en la competencia en cualquier trascurso antes, entre y después de la batalla.

**Artículo 3.12** El capitán de uno de los equipos implicados en un enfrentamiento puede alegar cualquier motivo de sospecha de incumplimiento de normativa por parte de su contrincante a cualquiera de los jueces. Si se produce una confirmación de dichas sospechas, el juez tendrá la facultad de declarar nula la competencia entre los robots implicados o proclamar vencedor al equipo que haya respetado la normativa. Siempre que se haga antes de la terminación de la batalla, después de esto no habrá ningún reclamo.

**Artículo 3.13** Los finalistas del torneo al final de la competencia deberán mostrar nuevamente la circuitería electrónica del sistema luego de que termine el último combate. En el caso de que el jurado calificador descubra algún dispositivo que viole la reglamentación como por ejemplo algún dispositivo de radio frecuencia, entonces el robot quedará eliminado y la IES será amonestada para la premiación general.

**Artículo 3.14** En el caso de que el equipo no de acceso al jurado para verificar la circuitería interna, el robot será eliminado y la IES amonestada en cuanto a la premiación general.

#### CAPÍTULO 4: DETERMINACIÓN DEL GANADOR DE LA COMPETENCIA

**Artículo 4.1** El jurado calificador sumará la puntuación adquirida en cada round y se declarará un ganador por cada uno de estos. Ganará el combate el robot con más puntos Yuko en el total de los tres asaltos. En caso de empate en la puntuación final, los jueces decidirán el ganador en base a las destrezas mostradas en el Dohyo o si en caso llegaren a un acuerdo estos también podrán acordar la celebración de una "muerte súbita" mediante la cual el primer robot en anotar un punto gana el combate.

**Artículo 4.2** Una vez finalizadas las competencias, el jurado calificador publicará entre los presentes el nombre del robot ganador y la IES a la que pertenece.



# ANEXO V

## HOJAS DE DATOS

### Driver de motores

**TOSHIBA**

TB6612FNG

**Absolute Maximum Ratings (Ta = 25°C)**

Characteristics	Symbol	Rating	Unit	Remarks
Supply voltage	V <sub>M</sub>	15	V	
	V <sub>CC</sub>	6		
Input voltage	V <sub>IN</sub>	-0.2 to 6	V	IN1, IN2, STBY, PWM pins
Output voltage	V <sub>OUT</sub>	15	V	O1, O2 pins
Output current	I <sub>OUT</sub>	1.2	A	Per 1 ch tw = 20 ms Continuous pulse, Duty ≤ 20% tw = 10 ms Single pulse
	I <sub>OUT</sub> (peak)	2		
		3.2		
Power dissipation	P <sub>D</sub>	0.78	W	IC only 50 mm × 50 mm t=1.6 mm Cu ≥ 40% in PCB mounting 76.2 mm × 114.3 mm t=1.6 mm Cu ≥ 30% in PCB mounting
		0.89		
		1.36		
Operating temperature	T <sub>opr</sub>	-20 to 85	°C	
Storage temperature	T <sub>stg</sub>	-55 to 150	°C	

**Operating Range (Ta=-20~85°C)**

Characteristics	Symbol	Min	Typ.	Max	Unit	Remarks
Supply voltage	V <sub>CC</sub>	2.7	3	5.5	V	
	V <sub>M</sub>	2.5	5	13.5		
Output current (H-SW)	I <sub>OUT</sub>	—	—	1.0	A	V <sub>M</sub> ≥ 4.5 V 4.5 V > V <sub>M</sub> ≥ 2.5 V Without PWM Operation
		—	—	0.4		
Switching frequency	f <sub>PWM</sub>	—	—	100	kHz	

**TOSHIBA**

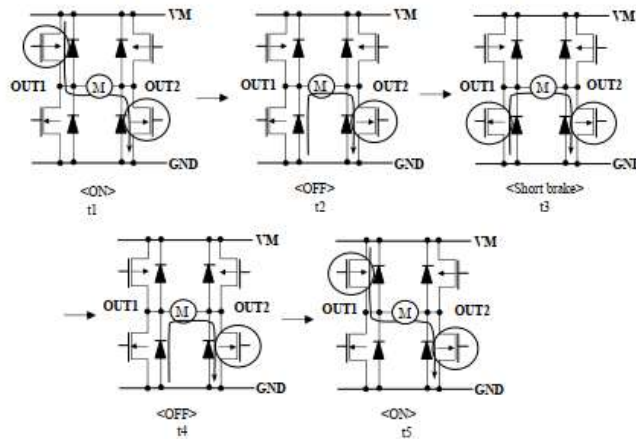
TB6612FNG

**H-SW Control Function**

Input				Output		
IN1	IN2	PWM	STBY	OUT1	OUT2	Mode
H	H	H/L	H	L	L	Short brake
L	H	H	H	L	H	CCW
		L	H	L	L	Short brake
H	L	H	H	H	L	CW
		L	H	L	L	Short brake
L	L	H	H	OFF (High Impedance)		Stop
H/L	H/L	H/L	L	OFF (High Impedance)		Standby

**H-SW Operating Description**

· To prevent penetrating current, dead time t<sub>2</sub> and t<sub>4</sub> is provided in switching to each mode in the IC.



## Sensor de distancia

**SHARP**

GP2Y0A21YK0F

### ■ Absolute Maximum Ratings (T<sub>A</sub>=25°C, V<sub>CC</sub>=5V)

Parameter	Symbol	Rating	Unit
Supply voltage	V <sub>CC</sub>	-0.3 to +7	V
Output terminal voltage	V <sub>O</sub>	-0.3 to V <sub>CC</sub> +0.3	V
Operating temperature	T <sub>OPR</sub>	-10 to +60	°C
Storage temperature	T <sub>STG</sub>	-40 to +70	°C

### ■ Electro-optical Characteristics (T<sub>A</sub>=25°C, V<sub>CC</sub>=5V)

Parameter	Symbol	Conditions	MIN.	TYP.	MAX.	Unit
Average supply current	I <sub>CC</sub>	L=80cm (Note 1)	—	30	40	mA
Distance measuring	ΔL	(Note 1)	10	—	80	cm
Output voltage	V <sub>O</sub>	L=80cm (Note 1)	0.25	0.4	0.55	V
Output voltage differential	ΔV <sub>O</sub>	Output voltage difference between L=10cm and L=80cm (Note 1)	1.65	1.9	2.15	V

\* L : Distance to reflective object

Note 1 : Using reflective object : White paper (Made by Kodak Co., Ltd. gray cards R-27·white face, reflectance; 90%)

### ■ Recommended operating conditions

Parameter	Symbol	Rating	Unit
Supply voltage	V <sub>CC</sub>	4.5 to 5.5	V

## Sensor de línea

### Absolute Maximum Ratings (T<sub>A</sub> = 25°C unless otherwise specified)

Stresses exceeding the absolute maximum ratings may damage the device. The device may not function or be operable above the recommended operating conditions and stressing the parts to these levels is not recommended. In addition, extended exposure to stresses above the recommended operating conditions may affect device reliability. The absolute maximum ratings are stress ratings only.

Symbol	Parameter	Rating	Units
T <sub>OPR</sub>	Operating Temperature	-40 to +85	°C
T <sub>STG</sub>	Storage Temperature	-40 to +90	°C
T <sub>SOL-I</sub>	Soldering Temperature (Iron) <sup>(2,3,4)</sup>	240 for 5 sec	°C
T <sub>SOL-F</sub>	Soldering Temperature (Flow) <sup>(2,3)</sup>	260 for 10 sec	°C
<b>EMITTER</b>			
I <sub>F</sub>	Continuous Forward Current	50	mA
V <sub>R</sub>	Reverse Voltage	5	V
I <sub>FP</sub>	Peak Forward Current <sup>(5)</sup>	1	A
P <sub>D</sub>	Power Dissipation <sup>(1)</sup>	75	mW
<b>SENSOR</b>			
V <sub>CEO</sub>	Collector-Emitter Voltage	30	V
V <sub>ECCO</sub>	Emitter-Collector Voltage	5	V
I <sub>C</sub>	Collector Current	20	mA
P <sub>D</sub>	Power Dissipation <sup>(1)</sup>	50	mW

### Electrical/Optical Characteristics (T<sub>A</sub> = 25°C unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
<b>INPUT DIODE</b>						
V <sub>F</sub>	Forward Voltage	I <sub>F</sub> = 20mA		1.2	1.6	V
I <sub>R</sub>	Reverse Leakage Current	V <sub>R</sub> = 5V			10	μA
λ <sub>PE</sub>	Peak Emission Wavelength	I <sub>F</sub> = 20mA		940		nm
<b>OUTPUT TRANSISTOR</b>						
I <sub>D</sub>	Collector-Emitter Dark Current	V <sub>CE</sub> = 20V, I <sub>F</sub> = 0mA			100	nA
<b>COUPLED</b>						
I <sub>C(ON)</sub>	On-State Collector Current	I <sub>F</sub> = 20mA, V <sub>CE</sub> = 5V <sup>(6)</sup>	0.10	0.40		mA
V <sub>CE(SAT)</sub>	Saturation Voltage				0.3	V
t <sub>r</sub>	Rise Time	V <sub>CC</sub> = 5V, I <sub>C(ON)</sub> = 100μA, R <sub>L</sub> = 1kΩ		20		μs
t <sub>f</sub>	Fall Time			20		

# Sensor de orientación

## 6 Electrical Characteristics

### 6.1 Gyroscope Specifications

VDD = 2.375V-3.46V, VLOGIC (MPU-6050 only) = 1.8V±5% or VDD, TA = 25°C

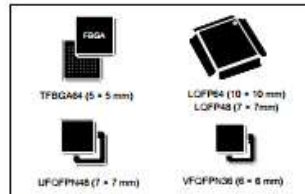
PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS	NOTES
<b>GYROSCOPE SENSITIVITY</b>						
Full-Scale Range	FS_SEL=0 FS_SEL=1 FS_SEL=2 FS_SEL=3		±250 ±500 ±1000 ±2000		°/s °/s °/s °/s	
Gyroscope ADC Word Length			16		bits	
Sensitivity Scale Factor	FS_SEL=0 FS_SEL=1 FS_SEL=2 FS_SEL=3		131 65.5 32.8 16.4		LSB/(°/s) LSB/(°/s) LSB/(°/s) LSB/(°/s)	
Sensitivity Scale Factor Tolerance	25°C	-3		+3	%	
Sensitivity Scale Factor Variation Over Temperature			±2		%	
Nonlinearity	Best fit straight line, 25°C		0.2		%	
Cross-Axis Sensitivity			±2		%	
<b>GYROSCOPE ZERO-RATE OUTPUT (ZRO)</b>						
Initial ZRO Tolerance	25°C		±20		°/s	
ZRO Variation Over Temperature	-40°C to +85°C		±20		°/s	
Power-Supply Sensitivity (1-10Hz)	Sine wave, 100mVpp; VDD=2.5V		0.2		°/s	
Power-Supply Sensitivity (10 - 250Hz)	Sine wave, 100mVpp; VDD=2.5V		0.2		°/s	
Power-Supply Sensitivity (250Hz - 100kHz)	Sine wave, 100mVpp; VDD=2.5V		4		°/s	
Linear Acceleration Sensitivity	Static		0.1		°/s/g	
<b>SELF-TEST RESPONSE</b>						
Relative	Change from factory trim	-14		14	%	1
<b>GYROSCOPE NOISE PERFORMANCE</b>						
Total RMS Noise	FS_SEL=0 DLPCFG=2 (100Hz)		0.05		°/s-rms	
Low-frequency RMS noise	Bandwidth 1Hz to 10Hz		0.033		°/s-rms	
Rate Noise Spectral Density	At 10Hz		0.005		°/s/√Hz	
<b>GYROSCOPE MECHANICAL FREQUENCIES</b>						
X-Axis		30	33	36	kHz	
Y-Axis		27	30	33	kHz	
Z-Axis		24	27	30	kHz	
<b>LOW PASS FILTER RESPONSE</b>						
Programmable Range		5		256	Hz	
<b>OUTPUT DATA RATE</b>						
Programmable		4		8,000	Hz	
<b>GYROSCOPE START-UP TIME</b>						
ZRO Settling (from power-on)	DLPCFG=0 to ±1°/s of Final		30		ms	

1. Please refer to the following document for further information on Self-Test: MPU-6000/MPU-6050 Register Map and Descriptions

# Microcontrolador

## Features

- ARM 32-bit Cortex™-M3 CPU Core
  - 72 MHz maximum frequency, 1.25 DMIPS/MHz (Dhrystone 2.1) performance at 0 wait state memory access
  - Single-cycle multiplication and hardware division
- Memories
  - 16 or 32 Kbytes of Flash memory
  - 6 or 10 Kbytes of SRAM
- Clock, reset and supply management
  - 2.0 to 3.6 V application supply and I/Os
  - POR, PDR, and programmable voltage detector (PVD)
  - 4-to-16 MHz crystal oscillator
  - Internal 8 MHz factory-trimmed RC
  - Internal 40 kHz RC
  - PLL for CPU clock
  - 32 kHz oscillator for RTC with calibration
- Low power
  - Sleep, Stop and Standby modes
  - V<sub>BAT</sub> supply for RTC and backup registers
- 2 x 12-bit, 1 µs A/D converters (up to 16 channels)
  - Conversion range: 0 to 3.6 V
  - Dual-sample and hold capability
  - Temperature sensor
- DMA
  - 7-channel DMA controller
  - Peripherals supported: timers, ADC, SPIs, I<sup>2</sup>Cs and USARTs
- Up to 51 fast I/O ports
  - 26/37/51 I/Os, all mappable on 16 external Interrupt vectors and almost all 5 V-tolerant



- Debug mode
  - Serial wire debug (SWD) & JTAG interfaces
- 6 timers
  - Two 16-bit timers, each with up to 4 IC/OC/PWM or pulse counter and quadrature (Incremental) encoder input
  - 16-bit, motor control PWM timer with dead-time generation and emergency stop
  - 2 watchdog timers (Independent and Window)
  - SysTick timer 24-bit downcounter
- 6 communication Interfaces
  - 1 x I<sup>2</sup>C Interface (SMBus/PMBus)
  - 2 x USARTs (ISO 7815 Interface, LIN, IrDA capability, modem control)
  - 1 x SPI (18 Mbit/s)
  - CAN Interface (2.0B Active)
  - USB 2.0 full-speed Interface
- CRC calculation unit, 96-bit unique ID
- Packages are ECOPACK®

Table 1. Device summary

Reference	Part number
STM32F103x4	STM32F103C4, STM32F103R4, STM32F103T4
STM32F103x5	STM32F103C5, STM32F103R5, STM32F103T5