



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**ROBOT DE BATALLA DE 12 LIBRAS PARA COMPETENCIA CON
COMUNICACIÓN INALÁMBRICA**

Trabajo de titulación previo a la obtención del
Título de Ingeniero en Electrónica

AUTOR: Guillermo Fabián Garcés Solórzano

TUTOR: Andrés Sebastián Calero Calero

Quito-Ecuador

2025

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Guillermo Fabián Garcés Solórzano con documento de identificación N° 1804959763 manifiesto que:

Soy el autor y responsable del presente trabajo; y, autorizo a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de maner total o parcial el presente trabajo de titulación.

Quito, 26 de febrero del año 2025

Atentamente,



Guillermo Fabián Garcés Solórzano

1804959763

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO
DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Yo, Guillermo Fabián Garcés Solórzano con documento de identificación No. 1804959763, expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del Proyecto Técnico: “Robot de batalla de 12 libras para competencia con comunicación inalámbrica”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Electrónico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribo este documento en el momento que hago la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 26 de febrero del año 2025

Atentamente,



Guillermo Fabián Garcés Solórzano

1804959763

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Andrés Sebastián Calero Calero con documento de identificación N° 1719252346, docente de la Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: ROBOT DE BATALLA DE 12 LIBRAS PARA COMPETENCIA CON COMUNICACIÓN INALÁMBRICA, realizado por Guillermo Fabián Garcés Solórzano con documento de identificación N° 1804959763, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción de Proyecto Técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 26 de febrero del año 2025

Atentamente,



Ing. Andrés Sebastián Calero Calero Msc.
1719252346

DEDICATORIA Y AGRADECIMIENTO

Este trabajo de titulación se lo dedico a mis padres, Fabián y Edith, quienes me han motivado e inspirado, siendo ellos, por quienes me he encaminado en este proceso académico. A mis hermanas, Majito y Carito, por su apoyo emocional, su paciencia y dedicación en sus vidas me han llenado de sabiduría durante esta etapa universitaria. A mis mejores amigos, Marlon y Odalys, por las risas y buenos momentos, por siempre estar presentes cuando más los necesité en este proceso académico. A mi novia, Lisbeth, por su paciencia y motivación, por demostrarme su apoyo incluso en la distancia, por valorar mi esfuerzo. A mi grupo de amigos de toda la vida, porque de una u otra forma estuvieron presentes durante el desarrollo de este proyecto. Y, finalmente. A mi querido perro Haru, quien me acompañó durante las largas noches de desarrollo del proyecto de titulación. Agradezco a cada uno de estos seres por ser la inspiración que necesitaba para culminar este proyecto.

Gracias totales.

Guillermo Fabián Garcés Solórzano

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE CONTENIDO	VI
ÍNDICE DE FIGURAS	VIII
ÍNDICE DE TABLAS	IX
RESUMEN	X
ABSTRACT	XI
CAPITULO I.....	1
1.1. PROBLEMA.....	1
1.1.2. Antecedentes	1
1.1.3. Importancia y alcances	1
1.1.4. Delimitación	2
1.2. OBJETIVOS	3
1.2.1. Objetivo General	3
1.2.2. Objetivos específicos.....	3
CAPITULO II.....	4
2.1. REVISIÓN DE LA LITERATURA	4
2.2. ROBOTS DE BATALLA.....	4
2.2.1. ¿Qué es un robot?.....	4
2.2.2. Robot industrial	4
2.2.3. Definición y propósito de un robot de batalla	4
2.2.4. Construcción del robot de combate	5
2.3.1. Motor DC con escobillas.....	6
2.3.2. Motor DC sin escobillas	6
2.4. CONTROLADORES.....	7
2.4.1. Puente H	7
2.4.2. ESC circuito controlador de velocidad.....	8
2.4.3. ESP32.....	8

2.5. ESTRUCTURA	9
2.5.1. Clasificación de los aceros inoxidable.....	9
2.5.2. Nylon.....	11
2.6. Requerimientos del Concurso Ecuatoriano de Robótica CER.....	11
CAPITULO III	14
3.1. MARCO METODOLÓGICO.....	14
3.1.1. Diseño estructural.....	14
3.1.2. Bastidor	14
3.1.3. Tapas de acero inoxidable 304	15
3.1.4. Ruedas	15
3.1.5. Arma.....	16
3.1.6. Cálculo de transmisión por banda	17
3.2. Componentes electrónicos	18
3.2.1. Algoritmo de control	19
3.2.2. Motor con escobillas y caja reductora.....	20
3.2.3. Cálculo de voltaje, par y torque del motor de tracción	21
3.2.4. Motor sin escobillas.	22
3.2.5. Controlador electrónico de velocidad ESC	23
3.2.6. Fuente de alimentación.....	24
3.2.7. Puente H.	25
3.2.8. Elevadores de voltaje.	26
3.2.9. Controlador ESP32 con mando de PS3.....	26
3.2.10. Mini switch de encendido	28
4.1. RESULTADOS	29
4.1.1. Esquema del sistema	31
4.1.2. Diagrama de flujo del robot	32
4.1.3. Diagrama de control lazo abierto del sistema	33

4.1.4. Pruebas de control y corriente	33
4.1.5. Pruebas de control en un entorno similar al combate	39
CAPITULO V	41
5.1. CONCLUSIONES	41
5.2 RECOMENDACIONES	42
REFERENCIAS BIBLIORGRÁFICAS	43
ANEXOS	45

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Logo de Battlebots	5
Figura 2.2. Diagrama de conexiones de un motor DC sin escobillas	6
Figura 2.3. Diagrama del puente H	7
Figura 2.4. Módulo de desarrollo ESP32	9
Figura 2.5. Nylon.....	11
Figura 3.1. Bastidor del WHALIEN52.....	14
Figura 3.2. Tapa superior e inferior	15
Figura 3.3. Rueda con rin de hierro	15
Figura 3.4. Arma del Robot	16
Figura 3.5. Polea conductora	16
Figura 3.6. Esquema de conexiones	18
Figura 3.7. Código de comunicación.....	19
Figura 3.8. Extracto de la función notify	19
Figura 3.9. Función RotarMotores	19
Figura 3.10. Motor y caja reductora	20
Figura 3.11. Motor sin escobillas	22
Figura 3.12. ESC del motor sin escobillas del arma.....	24
Figura 3.13. Batería LiPo del WHALIEN52	25
Figura 3.14. Medio puente H.....	26
Figura 3.15. Convertidor DC-DC	26
Figura 3.16. ESP 32.....	27

Figura 3.17. Mando de Play Station 3	28
Figura 3.18. Mini switch	28
Figura 4.1. Bastidor	29
Figura 4.2. Motores y ruedas	29
Figura 4.3. Electrónica del WHALIEN52	30
Figura 4.4. Arma del robot	30
Figura 4.5. Esquema general del sistema	31
Figura 4.6. Diagrama de control	32
Figura 4.7. Diagrama de control de lazo abierto	33
Figura 4.8. Medición de corriente	38
Figura 4.9. Prueba de control del arma.....	39
Figura 4.10. Prueba de maniobrabilidad 1.....	39
Figura 4.11. Prueba de maniobrabilidad 2.....	40

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Calificación y puntuación.....	13
Tabla 3.1. Acciones de pines	20
Tabla 4.1. Prueba de corriente 1	34
Tabla 4.2. Prueba de corriente 2	35
Tabla 4.3. Prueba de corriente 3	36
Tabla 4.4. Prueba de corriente 4	37

RESUMEN

El presente proyecto de titulación cuenta con los pasos y componentes necesarios para que sean aplicados en la construcción de un robot de batalla de 12 libras, teniendo en cuenta las categorías del Concurso Ecuatoriano de Robótica CER con la finalidad de participar en competencias nacionales. Los estudiantes de ingeniería electrónica de la Universidad Politécnica Salesiana sede Quito podrán utilizar este proyecto como punto de partida para modelos posteriores.

Se busca probar el nivel de desarrollo del robot de batalla dentro de las competencias dentro de su categoría. Se pondrá a prueba el diseño estructural, es decir, su diseño mecánico como también el diseño electrónico, resultando así en un prototipo de robot resistente. En adición se busca evaluar la eficacia de los golpes que pueda propinar el prototipo y su velocidad a la hora de esquivar ataques del contrincante.

El prototipo propuesto como robot de batalla contiene varios elementos esenciales para el funcionamiento apropiado en pelea, siendo estos elementos un par de motores de 12 VDC con elevadores de voltaje para mayor velocidad, 2 módulos tipo puente H para el control de marcha, un microcontrolador ESP32 con control inalámbrico mediante dirección MAC con un mando de PS3, finalmente el arma posee un motor sin escobillas con un controlador ESC de 30 amperios.

El modelado de la estructura del robot y su arma fueron realizados con el software Autodesk FUSION, programa que permite una interfaz sencilla para el mecanizado de cada pieza. El arma de nylon tiene láminas de aluminio para causar mayor daño y la estructura de acero inoxidable para darle robustez a la hora de recibir golpes.

Palabras clave: Robot, Batalla, Autodesk Fusion, ESP32, inalámbrico, electrónica.

ABSTRACT

This project for the degree diploma, has the steps and necessary components to be applied in the construction of a twelve-pound battle robot, having in mind the different categories from the Ecuadorian Robotics Contest (CER in Spanish) for competition in national events. The students of Electronic Engineering of the Universidad Politécnica Salesiana in Quito Will be able to use this project as a starting point for further models.

The aim is to test the level of development of the Battle robot within the contests and its category. The structural design, the electronic design and the mechanical part are going to be tested, which means, the result will be a robot prototype very resistant. In addition, the test is going to evaluate the prototype's performance giving damage and dodging the opponent's attacks.

The prototype proposed as a battle robot contains several essential elements for proper operation in combat, these elements being a pair of 12 VDC motors with voltage boosters for higher speed, two 40 amp H-bridges for gait control, an ESP32 microcontroller with wireless control via MAC address with a PS3 controller, finally the weapon has a brushless motor with a 30 amp ESC.

The modeling of the robot's structure and its weapon were done with Autodesk FUSION software, a program that allows a simple interface for the machining of each part. The nylon weapon has aluminum plates to cause greater damage and the stainless steel structure to give the robot robustness when receiving hits.

Keywords: Robot, Battle, Autodesk Fusion, ESP32, wireless, electronics.

INTRODUCCIÓN

El proyecto de titulación “Robot de batalla de 12 libras con comunicación inalámbrica” posee los requerimientos técnicos necesarios para desarrollar un robot desde cero, basándose en artículos académicos, tesis de pregrado, páginas web relacionadas a la robótica de competencia y distintos concursos de robótica de talla global.

Se plantea el uso de software especializado, dibujo asistido por computadora CAD, para el diseño del chasis, las ruedas y el arma del robot y electrónica asistida por computadora o CAE para la esquematización eléctrica del proyecto.

Se prevé utilizar el software de programación de controladores electrónicos ARDUINO IDE, para extraer la dirección MAC del ESP32 y posteriormente programar la misma tarjeta para que lleve a cabo el algoritmo de control inalámbrico con conexión por dirección MAC.

De acuerdo con el concurso ecuatoriano de robótica, el participante que es el robot de batalla en cuestión debe regirse al reglamento. En la categoría de 12 libras hay muy pocos límites estructurales y tecnológicos, dando un amplio espectro en cuanto a calidad de componentes electrónicos y mecánicos.

Finalmente se verifica el funcionamiento adecuado del robot de batalla, tanto en velocidad, tiempo de respuesta, potencia disipada, alcance del control inalámbrico, efectividad del arma tipo barril y robust

CAPITULO I

1.1. PROBLEMA

La construcción de un robot de batalla presenta varios desafíos siendo uno de ellos la comunicación inalámbrica entre el robot y el mando a distancia. Hay varios aspectos a tomar en cuenta: fiabilidad, estabilidad, frecuencia y distancia máxima para obtener una comunicación confiable.

La tecnología de los robots de combate está avanzando rápidamente. La comunicación inalámbrica contribuye en gran medida al éxito de estos robots. El uso de robots en combate implica cuestiones éticas y pueden tomar malas decisiones sin la debida supervisión humana.

Un aspecto importante del diseño y la fabricación de robots de combate con capacidades de comunicación inalámbrica es garantizar que se tengan en cuenta todos los requisitos técnicos necesarios para garantizar un rendimiento eficaz y seguro en el campo de batalla.

El diseño de máquinas de combate con la capacidad de comunicarse de forma inalámbrica puede cambiar enormemente las batallas futuras y la seguridad nacional. Los problemas de derecho y ley sobre el uso de robots en casos militares deberían analizarse antes de que puedan entrar en combate.

1.1.2. Antecedentes

En los últimos años la electrónica en el Ecuador ha crecido de manera sustancial en los campos de la innovación tecnológica. No obstante, la limitación de recursos y poco acceso a tecnologías más avanzadas han obstruido el crecimiento de proyectos de robótica en el país.

1.1.3. Importancia y alcances

Creación de nuevas soluciones a problemas locales en el desarrollo de robots de batalla podría ser el primer paso para crear nuevas soluciones a problemas locales como la minería, la industria petrolera, la agricultura o tratamientos médicos.

La innovación y la creatividad al desarrollar un robot de batalla se puede inspirar a los estudiantes de las carreras ingeniería de la Universidad Politécnica Salesiana y a los profesionales del Ecuador a explorar la robótica y la automatización.

Para la fabricación de robots de batalla son necesarias habilidades en las áreas de la electrónica, programación y mecánica, habilidades que se pueden desarrollar mediante la capacitación tanto en el trabajo como en las escuelas, institutos y universidades fomentando a que estos sean utilizados en torneos y competencias deportivas de robótica.

1.1.4. Delimitación

Se planteó desarrollar este proyecto en Quito, en la Universidad Politécnica Salesiana Campus Sur desde abril del 2023 hasta diciembre del 2024. Se propone la implementación de nuevas tecnologías, procesos de manufactura, microcontroladores, diferentes tipos de baterías y materiales.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo General

Desarrollar un robot batalla de la categoría de 12 libras para competencia robótica, mediante sistemas electrónicos.

1.2.2 Objetivos específicos

- Investigar sobre diseños estructurales y algoritmos para la construcción de un robot batalla de 12 libras, mediante documentos de pre y posgrado en repositorios universitarios.
- Diseñar una estructura para el ensamblaje en un robot batalla de 12 libras según especificaciones de competencia y mediante software CAD.
- Desarrollar un algoritmo que permita el control de un robot batalla de 12 libras de forma remota de acuerdo con el reglamento del Concurso Ecuatoriano de Robótica CER 2019, a través de software y hardware especializados.
- Verificar el funcionamiento del robot batalla de 12 libras para su validación, mediante pruebas experimentales en un entorno similar al reglamento CER 2019.

CAPITULO II

2.1. REVISIÓN DE LA LITERATURA

En el presente capítulo contiene la teoría necesaria para desarrollar un robot de batalla, desde la descripción de un robot, los dispositivos y materiales necesarios para la construcción del robot, hasta el reglamento al que el robot debe regirse con especificaciones técnicas y de seguridad.

2.2. ROBOTS DE BATALLA

2.2.1. ¿Qué es un robot?

Según la RAE un robot se define como “máquina o ingenio electrónico programable que es capaz de manipular objetos y realizar diversas operaciones”. (RAE, 2025)

2.2.2. Robot industrial

Un robot industrial es un manipulador controlado automáticamente, multifuncional reprogramable en tres o más ejes, los cuales pueden ser fijos en un solo lugar o móviles, capaz de mover materias, piezas, herramientas y dispositivos especiales, según trayectorias variables, programadas para realizar tareas diversas. (Webb, 2020)

2.2.3. Definición y propósito de un robot de batalla

El diseño y construcción de robot de batalla permite a los estudiantes y profesionales de ingeniería aplicar los conocimientos de diseño asistido por computadora, materiales, mecanismos, diseño de máquinas, electrónica, CAD, CAM y CAE; cada diseñador presenta diseños innovadores y vanguardistas de robots, dotando de diferentes sistemas de transmisión de movimiento, defensa y de ataque. (Escobar Guachambala, 2019)

La popularidad de carros a control remoto (RC) ha encaminado el desarrollo de competencias con la premisa de chocar estos carros entre sí en una batalla temporizada, con el objetivo de destruir al robot del oponente, conocida como Battlebots. Esto lleva a

incorporar elementos desafiantes en el diseño de estos carros a control remoto. (Truong, y otros, 2024)

Figura 2.1. Logo de Battlebots



Competencia de robots de batalla BattleBots, (Battle Bots, 2025)

2.2.4. Construcción del robot de combate

La construcción de robots de combate requiere una combinación en habilidades en ingeniería mecánica, electrónica, programación y un mínimo de componentes descritos a continuación. (Calderón Huerta, 2024)

- **Chasis:** Es la estructura base del robot, proporcionando soporte y protección a todos los demás elementos.
- **Motor:** Proporciona la potencia necesaria para el movimiento del motor.
- **Driver del motor:** Estos dispositivos gestionan la velocidad y dirección de los motores.
- **Microcontroladores:** Actúan como unidades de procesamiento central, encargadas de coordinar las operaciones y ejecutar comandos que guían el comportamiento del robot.
- **Controlador electrónico de velocidad ESC:** Especialmente diseñados para motores sin escobillas trifásicos utilizados en drones, aeromodelos y robots.
- **Armamento:** Varía según el diseño y propósito del robot. En competiciones deportivas, las armas comunes incluyen sierras, martillos, barriles y lanzallamas, entre otras.
- **Batería:** Esencial para proporcionar energía necesaria para el funcionamiento del robot durante los combates. (Calderón Huerta, 2024)

2.3. MOTORES

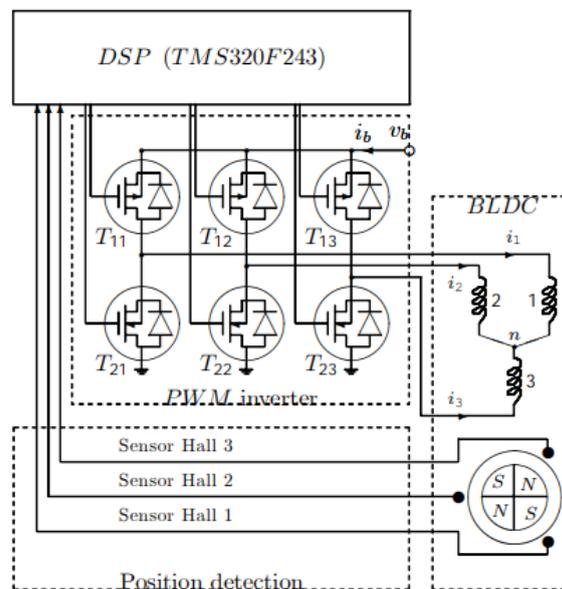
2.3.1. Motor DC con escobillas

Un motor de corriente continua con escobillas es un motor eléctrico que utiliza escobillas y un colector para conectar y desconectar el flujo de corriente en el rotor. Las escobillas pueden estar hechas de carbón, cobre, carbón grafito, grafito metálico, y por lo general tienen una forma rectangular. Los motores DC con escobillas tienen la habilidad de alcanzar un alto torque a bajas velocidades, lo cual los hace apropiados para el sistema de tracción. (Jape, 2017)

2.3.2. Motor DC sin escobillas

Un motor eléctrico sin escobillas es un motor eléctrico manejado por una entrada eléctrica, el cual no posee ningún tipo de conmutador o anillo deslizante. El motor necesita algún tipo de corriente alterna para poder girar, podría ser una fuente AC o un circuito electrónico. Un “motor sincrónico de imán permanente” (PMSM en inglés) o un “motor de imán permanente” (PMM en inglés) es un motor sincrónico que usa imanes permanentes en lugar de devanados en el rotor. (Jape, 2017)

Figura 2.2. Diagrama de conexiones de un motor DC sin escobillas



Inversor PWM conectado a un motor DC sin escobillas, (Dobra, 2020)

2.4. CONTROLADORES

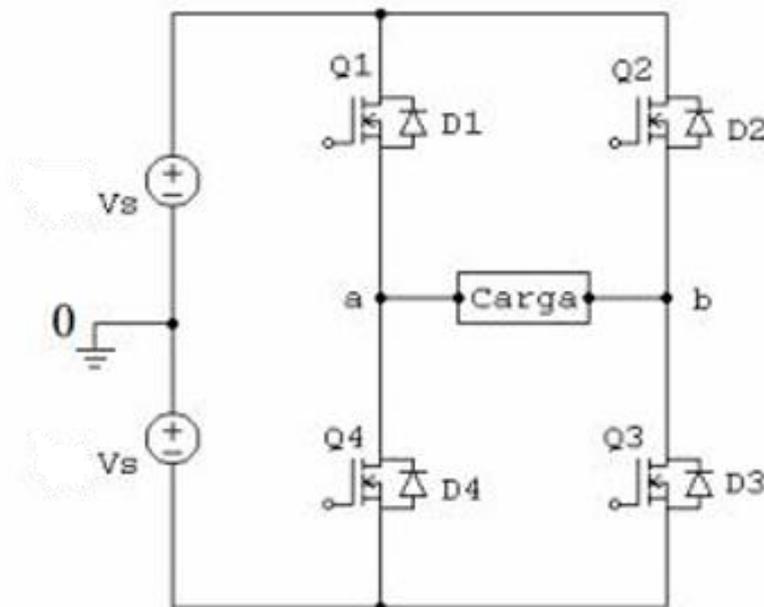
2.4.1. Puente H

Este módulo usa dos medios puentes encapsulados de alta corriente BTS7960 para aplicaciones con motores. La conexión entre un microcontrolador y este módulo es sencilla porque posee sensores de corriente, ajuste de frecuencia de giro y protección de sobre temperatura, sobre voltaje, bajo voltaje, sobre corriente y corto circuito. (Universidad Politécnica de Madrid, 2025)

Características

- Voltaje de operación: 5 – 27 Volts (B+).
- Control de velocidad con PWM hasta 25kHz.
- Control del motor hacia adelante y hacia atrás.
- Nivel de limitador de corriente de 30 amperios.
- Tamaño: 4 x 5 x 1.2 cm.
- Peso: 66 gramos. (Universidad Politécnica de Madrid, 2025)

Figura 2.3. Diagrama del puente H



Configuración del puente H, (Reyes, 2018)

2.4.2. ESC circuito controlador de velocidad

Un controlador electrónico de velocidad o ESC es un dispositivo electrónico con el propósito de variar la velocidad de un motor eléctrico, su dirección y posiblemente actuar como un freno dinámico. Los ESC's son a menudo utilizados en modelos energizados eléctricamente y radio controlados, son más usados para motores sin escobillas proporcionando energía de bajo voltaje de tres fases como fuente de energía del motor. (Balamurugan C. R., 2020)

Sin importar el tipo usado, un ESC interpreta la información de control no como movimiento mecánico como es el caso de los servos, sino en una forma en la que varía la frecuencia de conmutación de la red de efecto de campo de los transistores, o FET's. La rápida conmutación de los transistores es lo que causa que el mismo motor emita su sonido característico de tono alto, especialmente notable a bajas velocidades . (Balamurugan C. R., 2020)

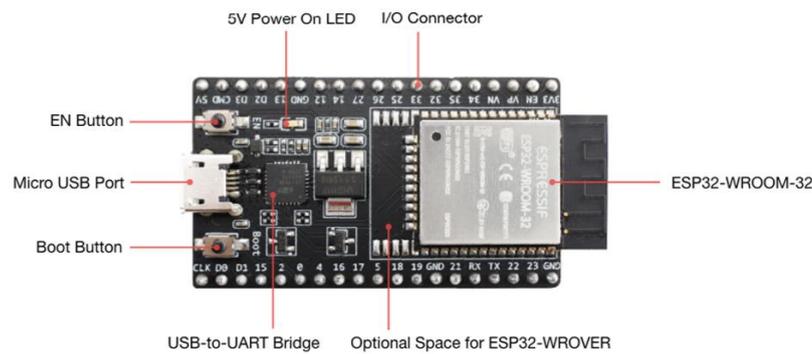
El ESC generalmente acepta una señal de entrada nominal de un servo de 50Hz PWM, pulso que varía de entre 1ms a 2ms. Cuando se entrega un pulso de 1ms a 50hz, el ESC responde apagando el motor conectado a su salida. Una señal de 1.5ms maneja el motor a aproximadamente la mitad de la velocidad y finalmente si la señal de entrada es de 2ms, el motor funcionará a máxima velocidad. (Balamurugan C. R., 2020)

2.4.3. ESP32

ESP32-DevkitC V4, es una pequeña tarjeta de desarrollo producida por Espressif. La mayoría de los pines de entradas y salidas están divididos en dos cabezales de pines uno de cada lado para facilitar su conexión. Los desarrolladores pueden conectar directamente los periféricos con cables o montarla en una protoboard. (Espressif Systems, 2024)

La figura y tabla a continuación describen los componentes clave, interfaces y controles de la tarjeta ESP32-DevkitC V4.

Figura 2.4. Módulo de desarrollo ESP32



ESP32-DevkitC V4 con el módulo ESP32-WROOM-32 soldado, (Espressif Systems, 2024)

2.5. ESTRUCTURA

2.5.1. Clasificación de los aceros inoxidables

Los aceros inoxidables se clasifican en función de los distintos elementos que lo componen. De forma general, se consideran tres familias básicas:

- Aceros martensíticos.
- Aceros ferríticos.
- Aceros austeníticos. (FAMIQ, 2025)

La mayor parte de las aleaciones de acero inoxidable utilizadas actualmente se desarrollaron entre 1913 y 1935, posteriormente se desarrollaron aleaciones con una mayor resistencia a la corrosión y propiedades mecánicas más elevadas dando lugar a la creación de dos nuevas familias:

- Duplex.
- Endurecibles por precipitación. (FAMIQ, 2025)

Aceros martensíticos: Son la primera rama de los aceros inoxidables simplemente al cromo, fueron los primeros que se desarrollaron industrialmente. (FAMIQ, 2025)

Características

- Contienen Cromo de 10,5% a 18% más carbono hasta 1,2%.
- Se utilizan en Cuchillería, discos de freno, partes para bombas y turbinas a gas o vapor, tuercas y tornillos, equipos quirúrgicos, instrumentos dentales, cabezas de palos de golf, etc. (FAMIQ, 2025)

Aceros ferríticos: Los aceros inoxidables ferríticos empleados en la industria alimentaria contienen al menos 16% de cromo y 0,12% de carbono. El ISSF (International Stainless Steel Forum) clasifica los grados ferríticos en cinco grupos, tres familias “estándar” y dos grados especiales. (FAMIQ, 2025)

Características

- Resistencia a la corrosión de moderada a buena.
- Se endurecen por deformación en frío.
- No pueden ser endurecidos por tratamiento térmico.
- Son magnéticos.
- Pobre dureza.
- Su uso se limita a procesos de formado en frío de poca severidad.
- Usos ferríticos en el hogar e industria alimenticia (FAMIQ, 2025)

Aceros austeníticos: El AISI 304 se utiliza principalmente en la industria química y del petróleo, alimenticia y farmacéutica, del alcohol, aeronáutica, naval, transporte, en la arquitectura y en la construcción civil. El grado AISI 304 contiene aprox. 0,05% de carbono, 18% de cromo y 8% de Níquel. Es el más utilizado en la industria alimentaria, (tanques de almacenamiento, transporte de leche, contenedores, equipos de proceso, tuberías) entrando en contacto con el producto. (FAMIQ, 2025)

Características

- Superior resistencia a la corrosión.
- Endurecibles por deformación en frío.
- Excelente soldabilidad.
- Tienen la habilidad de ser funcionales en temperaturas extremas (bajas y altas).
- Formato sencillo y de fácil transformación.
- En estado recosido, su magnetismo tiende a 1. (FAMIQ, 2025)

2.5.2. Nylon

El nylon es un polímero sintético que se utiliza en una amplia variedad de aplicaciones, desde textiles y plásticos hasta componentes de ingeniería y equipos médicos. A continuación, se presentan algunos de los tipos de nylon más comunes. La referencia visual del nylon se puede observar en la figura.

Nylon 6 es un termoplástico para ingeniería fuerte y resistente que es utilizado en una variedad de aplicaciones. Para mejorar sus cualidades térmicas y mecánicas, rellenos químicos y fibras artificiales pueden ser mejorados. Nylon 6 es usado en materiales textiles, membranas, cintas, material de empaquetamiento, electrónica y componentes de automóviles.

Figura 2.5. Nylon



Imagen referencial del Nylon, (Curbell Plastics, 2025)

2.6. Requerimientos del Concurso Ecuatoriano de Robótica CER

El robot de batalla es un robot construido con materiales resistentes que le permiten soportar presiones mecánicas de un combate agresivo. Todos los robots deberían sujetarse a las especificaciones técnicas detalladas en el presente capítulo. El incumplimiento de alguno de estos puntos sería motivo de descalificación del robot y sea en el preámbulo o durante la competencia. (REDCEDIA, 2019)

- **Dimensiones**

El robot no tiene restricciones en cuanto a dimensiones. (REDCEDIA, 2019)

- **Peso**

Los robots serán pesados con todos sus equipamientos y accesorios (exceptuando el control remoto) al inicio de cada asalto. El peso de cada categoría no tendrá ningún margen de tolerancia respecto a la balanza que ocupe el comité organizador para el pesaje de los robots. (REDCEDIA, 2019)

- **Alimentación**

La fuente de energía para alimentar los circuitos eléctricos de control y motores del robot será interna, considerándose cualquier tipo de baterías de corriente continua.

- **Garantías de seguridad**

1. El robot debe poseer una llave ON/OFF externa.
2. La estructura del robot deberá ocultar todo tipo de cableado y terminales eléctricos.

- **Comunicación**

El robot de batalla en caso de ser controlado por radio frecuencia, deberá obligatoriamente poseer al menos dos frecuencias de control.

- **Calificación y puntuación**

1. Inmovilización por ataque: Será considerado inmovilización por ataque cuando un participante inmovilice a su oponente por medio de un ataque y esta acción no le permita desplazarse libremente durante un lapso de 10 segundos.
2. Envestida: Será considerado como embestida, cuando un robot choque a su oponente dirigiéndose hacia él e impactándolo, provocando que este se desestabilice.
3. Vuelco: Se considera que un robot vuelca a su oponente cuando este logre voltearlo.
4. Uso de armas: Se considera como uso de armas cuando el robot que participe utilice su arma en contra de su oponente de forma intencional. La acción le otorgará al robot la puntuación establecida en la tabla 1.1.
5. Amonestaciones: Serán considerado una amonestación por parte de un equipo cuando no se presente en el momento de su llamada a participación

y/o uno o varios miembros del equipo ingresen al área de combate sin la previa autorización del juez de pista.

Tabla 2.1. Calificación y puntuación

Detalle	Puntuación
Inmovilizar al oponente por ataque	20 puntos
Embestidas	5 puntos
Vuelcos	10 puntos
Uso del arma	20 puntos
Amonestaciones	-5 puntos

Tabla de calificación del CER, Fuente: (REDCEDIA, 2019)

CAPITULO III

3.1. MARCO METODOLÓGICO

En el presente capítulo se propone la metodología para llevar a cabo el desarrollo del proyecto técnico. Se describen cada una de las partes planificadas esenciales dentro del proyecto que van desde el diseño de la estructura del robot hasta la programación del ESP32 para poder maniobrar tanto el robot como el arma. De aquí en adelante al robot de batalla de lo llamará WHALIEN52.

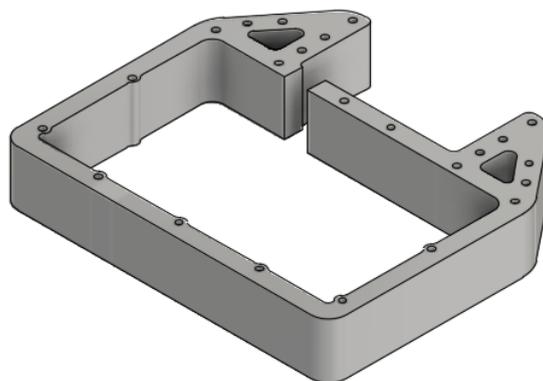
3.1.1. Diseño estructural.

Se escogió el acero inoxidable 304 para las tapas, el nylon 66 para el bastidor y el arma, al acero vulcanizado con caucho para las ruedas por la fiabilidad en cuanto a su dureza en situaciones de alto impacto.

3.1.2. Bastidor

Se propuso un diseño compacto del bastidor donde quepan los componentes electrónicos y mecánicos basado en un robot con arma tipo barril. Se imprimió la estructura con un material resistente a los impactos como es el nylon amarillento. En la figura se observa el diseño realizado en el software Autodesk Fusion. En la sección de “ANEXOS” se podrá observar con más detalles las cotas del diseño.

Figura 3.1. Bastidor del WHALIEN52

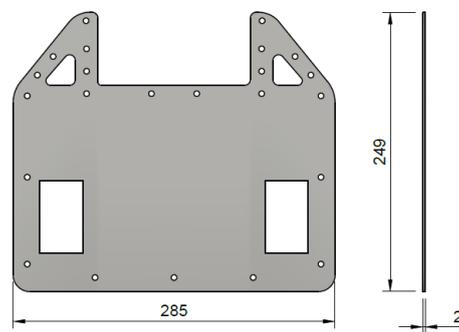


Parte estructural, Garcés

3.1.3. Tapas de acero inoxidable 304

Las tapas de acero inoxidable 304, al ser utilizado en la aeronáutica, proporcionan dureza a la estructura del WHALIEN52, con 2mm de espesor, estas tapas son el soporte de los golpes dentro del campo de batalla. Se las cortó con láser especializado para acero para mejorar la precisión en el ajuste final de las tapas con el bastidor. En la sección de “ANEXOS” se podrá observar con más detalles las cotas del diseño.

Figura 3.2. Tapa superior e inferior

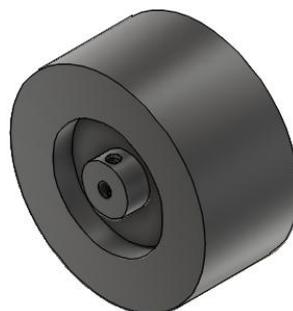


Tapa diseñada en Autodesk Fusion, Garcés

3.1.4. Ruedas

Las ruedas del robot fueron diseñadas para que soporten los fuertes impactos, el rin de hierro fue vulcanizado con caucho negro de elasticidad media. La figura 3.3 muestra el diseño computarizado. En la sección de “ANEXOS” se podrá observar con más detalles las cotas del diseño.

Figura 3.3. Rueda con rin de hierro

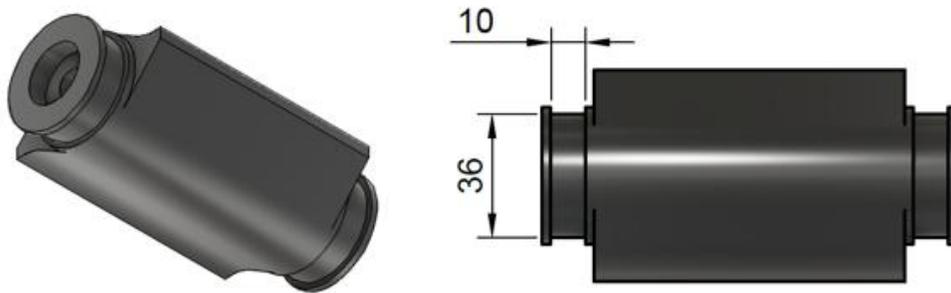


Diseño de rueda en Fusion, Garcés

3.1.5. Arma

En la figura 3.4 se observa la geometría del arma del robot, es del tipo barril con 2 puntos de impacto, el centro de masa del arma está centrada y tiene simetría con respecto al eje. El arma gira alrededor de 2 rodamientos, uno a cada lado; se transmite el movimiento desde el motor sin escobillas con un sistema de poleas y banda.

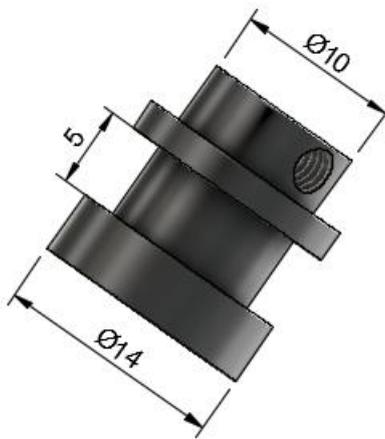
Figura 3.4. Arma del Robot



Diseño del arma de dos puntos de impacto y sus cotas, Garcés

Para que el motor sin escobillas pueda transmitir la energía al arma se emplea un sistema de poleas, en la figura 3.5 se observa el diámetro de la polea conectada al motor. En la sección de “ANEXOS” se podrá observar con más detalles las cotas del diseño.

Figura 3.5. Polea conductora



Polea de que conecta al motor con el arma mediante una banda, Garcés

3.1.6. Cálculo de transmisión por banda

Según Cali y Torres, el cálculo de la velocidad de salida, es decir, la relación de transmisión se calcula de acuerdo con la siguiente formula. (Cali. K, 2024)

$$(i) = \frac{D1}{D2} \quad \text{Ec. (3.1)}$$

Donde i es la relación de transmisión a calcular, $D1$ el diámetro de la polea conductora y $D2$ el diámetro de la polea conducida

$D1 = 10\text{mm}$.

$D2 = 36\text{mm}$.

Reemplazando se consigue:

$$i = \frac{10}{36}$$

$$i = 0.277$$

Por la cual el arma tendrá el 27.77% de la velocidad del motor sin escobillas, calculándose con la velocidad angular de entrada, 10000 rpm a 14.8 voltios.

Siendo:

- ω_1 *velocidad angular de entrada: 14800 rpm*
- i *relacion de transmision: 0.277*

$$\omega_2 = \omega_1 * i \quad \text{Ec. (3.2)}$$

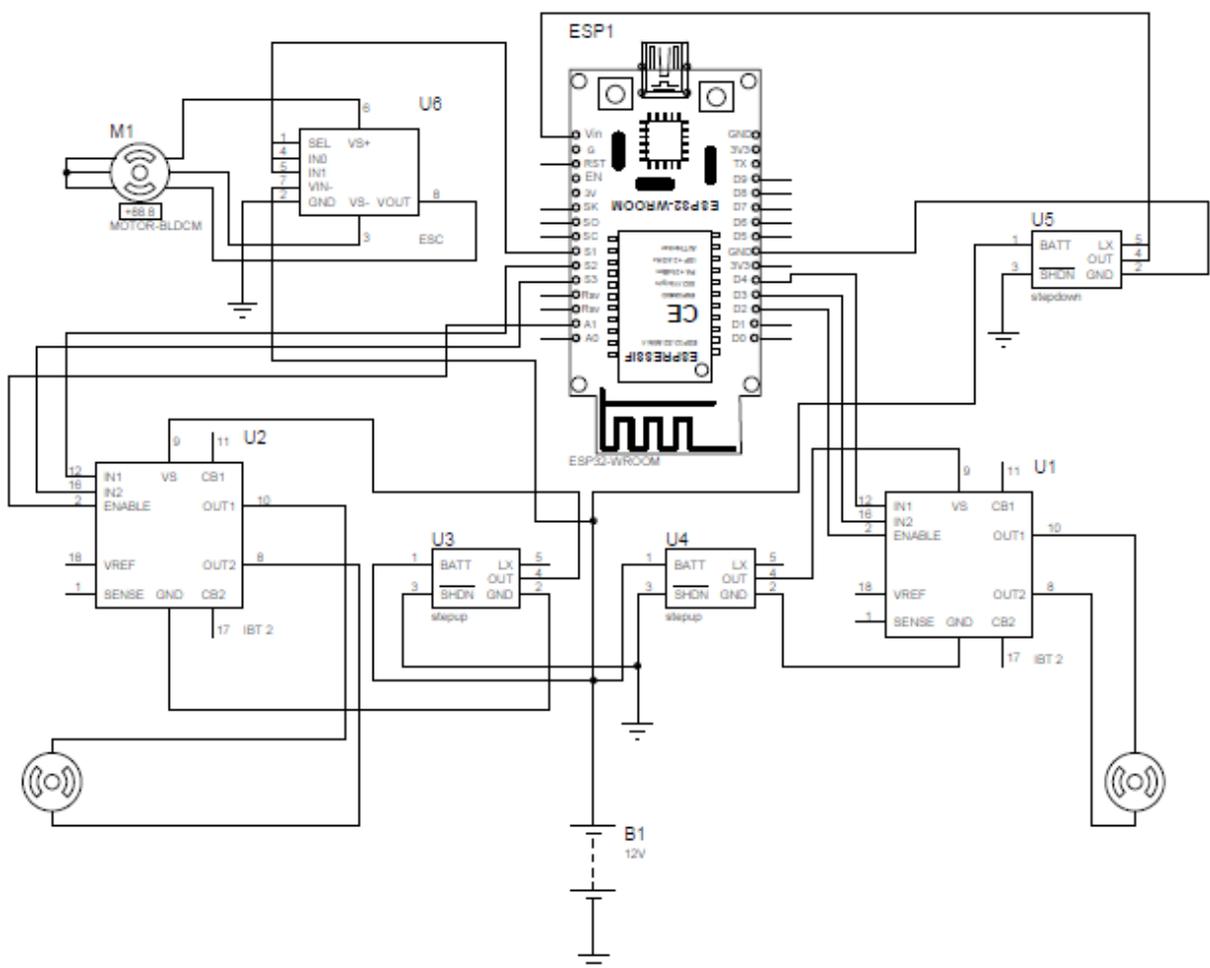
$$\omega_2 = 14800 * 0.277 = 4111.11 \text{ rpm}$$

Por ende, la velocidad angular de salida es = 4111.11 rpm.

3.2. Componentes electrónicos

Los componentes electrónicos utilizados para el desarrollo del proyecto, especialmente la batería y los motores son de calidad media, en cuanto a controladores y puentes H estos fueron añadidos con el propósito de abaratar costos. De acuerdo con el esquema electrónico realizado, en la figura 3.6 se observan los componentes que forman parte del proyecto: motor con escobillas de la rueda derecha, motor con escobilla de la rueda izquierda, 2 módulos IBT-2 (un módulo por motor), 2 convertidores DC-DC elevadores de voltaje, un motor sin escobillas para el arma, un controlador de velocidad del motor sin escobillas ESC, una batería, un convertidor DC-DC para energizar la tarjeta ESP32 y un módulo de desarrollo ESP32, el cual será el receptor en el sistema. El ESP32 tiene 38 pines de entradas y salidas, la mayoría de ellos pueden cumplir 2 o más funciones.

Figura 3.6. Esquema de conexiones



Esquema propuesto para el funcionamiento del robot, Garcés

3.2.1. Algoritmo de control

El tercer objetivo plantea el desarrollo de un algoritmo para que el robot y el mando se puedan comunicar, dadas las características del módulo ESP32 y el mando de PS3, esta comunicación se logra mediante la conexión por bluetooth bajo una dirección MAC única para ambos dispositivos. En la figura 3.7 se observan las líneas de código necesarias para que esta conexión sea posible.

Figura 3.7. Código de comunicación

```
Ps3.attach(notify);
Ps3.attachOnConnect(Conectado);
Ps3.attachOnDisconnect(Desconectado);
Ps3.begin();
```

Código de inicialización de la comunicación por bluetooth, Garcés

La función notify mapea los valores de los joysticks o controles analógicos del mando de PS3 para que los motores tengan dirección de giro dentro del rango de -255 int9 hasta los 255 int9.

Figura 3.8. Extracto de la función notify

```
int ValorY = (Ps3.data.analog.stick.ly); //Análogo izquierdo, valor del eje Y, movimientos Adelante/Atrás
int ValorX = (Ps3.data.analog.stick.rx); //Análogo derecho, valor del eje X, movimientos Izquierda/Derecha
int Acel = map(ValorY, 127, -127, -255, 255); //Mapeo de los valores en 8 bits para acelerar con PWM
int Girar = map(ValorX, -127, 127, -255, 255); //Mapeo de los valores en 8 bits para girar con PWM
int Dir2Motrs = 1; // Para dar la dirección de giro del motor
```

Mapeo de los valores de los joysticks del mando PS3, Garcés

RotarMotores es la siguiente función donde se activan los pines y se les asigna un valor variable, PWM, para que los módulos IBT-2 los traduzcan en voltaje.

Figura 3.9. Función RotarMotores

```
////////////////////////////////////Motor Derecho////////////////////////////////////
if (VelMotDer < -30) //Si variable de velocidad del motor es menor a 0 entonces retrocede
{
  ledcWrite(Pin1MotDer, 0);
  ledcWrite(Pin2MotDer, abs(VelMotDer));
}
else if (VelMotDer > 30) //Si la variable de velocidad del motor es mayor a 0 entonces avanza
{
  ledcWrite(Pin1MotDer, abs(VelMotDer));
  ledcWrite(Pin2MotDer, 0);
}
else // si la variable no tiene valor el motor está estático
{
  ledcWrite(Pin1MotDer, 0);
  ledcWrite(Pin2MotDer, 0);
}
```

Extracto donde se describe el funcionamiento del motor de tracción derecho, Garcés

Las señales de control del ESP32 hacia los pines del módulo se describen en la tabla 3.1.

- El ESP32 recibe las señales de control mediante la dirección MAC del mando de PS3.
- El ESP32 envía las señales PWM hacia los diferentes pines listados en la tabla.

Tabla 3.1. Acciones de pines

Acción	Pin
Envía la señal PWM al módulo IBT-2 del motor derecho para controlar la dirección de giro horario.	16
envía la señal PWM al módulo IBT-2 del motor derecho para controlar la dirección de giro antihorario.	17
Envía la señal PWM al módulo IBT-2 del motor izquierdo para controlar la dirección de giro horario.	18
Envía la señal PWM al módulo IBT-2 del motor izquierdo para controlar la dirección de giro antihorario.	19
Controla el motor sin escobillas enviando una señal PWM de 60Hz hacia el ESC.	21
Este pin activa el módulo IBT-2 del motor derecho, R_En y L_En son “puenteados”.	22
Este pin activa el módulo IBT-2 del motor izquierdo, R_En y L_En son “puenteados”.	23
Energizan la entrada de VCC de los módulos IBT-2 del motor izquierdo y derecho, respectivamente.	26 y 27

Señales del dispositivo ESP32, Garcés

3.2.2. Motor con escobillas y caja reductora

Los motores con escobillas que mueven al robot son dos, cada uno puede entregar una potencia máxima de 30W a 9800 revoluciones por minuto cuando su voltaje de trabajo es de 12V. En la figura 3.10 se muestra el motor con escobillas de 12V con su caja reductora de 140 revoluciones por minuto.

Figura 3.10. Motor y caja reductora



Motor con escobillas y caja reductora, Garcés

3.2.3. Cálculo de voltaje, par y torque del motor de tracción

Considerando los datos del motor, así como, la caja reductora se presentan las siguientes constantes y ecuaciones para mayor velocidad al motor.

- Potencia de salida: 30 W.
- Constante de velocidad a 12V en vacío: 9800 rpm.
- Relación de la caja reductora 70:1

Se requiere que la salida de la caja reductora sea de por lo menos 250 rpm, esto se logra elevando el voltaje de entrada del motor con una regla de tres simple:

Si se aplican $v_1=12$ voltios al motor, la caja reductora tendrá una salida de $s_1=140$ rpm. Se requieren $s_2=250$ rpm para que el robot sea capaz de esquivar ataques.

Por lo tanto, el voltaje para que la salida s_2 sea 250 rpm se calcula:

$$v_2 = s_2 * v_1 / s_1 \quad \text{Ec. (3.3)}$$

$$v_2 = 250 * 12 / 140$$

$$v_2 = 21.42 \text{ Volts}$$

Torque del motor

$$\text{Potencia } 30W = 0.040 \text{ HP}$$

$$Par = (0.040 * 745)/9800rpm \quad Ec(3.4)$$

$$Par = 0.0030 \text{ kg} - m$$

Torque de la caja reductora

$$Potencia 30W = 0.040 \text{ HP}$$

$$Par = (0.040 * 745)/250rpm$$

$$Par = 0.12 \text{ kg} - m$$

De acuerdo con la regla de tres simple se requieren 21.42 voltios en la entrada del motor de corriente continua con escobillas para que su salida sean 250 rpm en vacío y el par de la caja reductora es de 0.12 kg-m.

3.2.4. Motor sin escobillas.

Los motores sin escobillas pueden soportar cargas mayores por lo que en este caso es usado como motor del arma del WHALIEN52. El motor sin escobillas que pertenece a este proyecto es un motor genérico de 1000KV, siendo KV las revoluciones por minuto por voltio aplicado sin carga. En la figura 3.11 el motor sin escobillas presenta su etiqueta técnica.

Figura 3.11. Motor sin escobillas



Motor sin escobillas del arma del robot, Garcés

3.2.5. Controlador electrónico de velocidad ESC

Por medio de una ESC el motor sin escobillas, motor que proporciona de movimiento a el arma del robot, se puede controlar la velocidad de rotación. Se estima el uso de un ESC de una capacidad máxima de 30 amperios, se toma en cuenta que el motor sin escobillas puede llegar a consumir hasta 16 amperios, según los datos del fabricante. La señal que obtiene el ESC desde el controlador ESP32 es una señal PWM de 60Hz, tiene una resolución de 12 bits (uint12: número entero sin signo de 12 bits). Se necesita calcular el rango en el que funciona controlador de velocidad.

- $T = \text{periodo} = 1/60 = 16.666\text{ms}$
- $r = \text{resolución } 12 \text{ bits} = 4096 \text{ uint12}$
- $t = \text{tiempo de pulso} = 1\text{ms mínimo, } 2\text{ms máximo.}$
- $x = \text{valor para el pulso de } 1\text{ms}$

$$\delta_1 = \frac{r}{T} * t \quad \text{Ec (3.5)}$$

$$\delta_1 = \frac{4096}{16.666} * 1$$

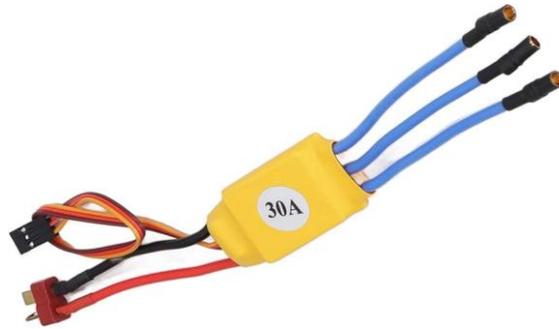
$$\delta_1 = 245.76 \sim 245 \text{ uint12}$$

$$\delta_2 = \frac{4096}{16.666} * 2$$

$$\delta_2 = 491.53 \sim 492 \text{ uint12}$$

El rango de operación del ESC o controlador electrónico de velocidad mediante una señal PWM, va desde los 245_{uint12} hasta 492_{uint12} . El número entero sin signo 245 equivalente a un pulso de 1ms y el número entero sin signo 492 equivale a un pulso de 2ms.

Figura 3.12. ESC del motor sin escobillas del arma



Controlador electrónico de velocidad genérico, (Amazon, 2025)

3.2.6. Fuente de alimentación.

Para alimentar al WHALIEN52, se hizo uso de una sola batería de la marca Turnigy fabricada con polímero de litio, capacidad de 1800 mAh con 4 celdas en serie, 4S, entrega 14.8 Voltios de corriente continua, de acuerdo con la sumatoria de corrientes y el tiempo de uso. En la figura 3.13 se encuentra la batería que da potencia tanto a los motores con escobillas para las ruedas, así como al motor sin escobillas que da movimiento al arma.

Se determina el voltaje de la batería de acuerdo con el requerimiento de los motores y el diseño del espacio compacto del robot, dicho esto, cada motor necesita un voltaje de 21,5V para que funcionen a la velocidad deseada, la batería puede entregar, con carga completa, 16,5 voltios, por lo que se requiere utilizar elevadores de voltaje para los motores de tracción.

Un factor clave para escoger la batería correcta fue la carga que esta puede almacenar. Al ser una batería con suficiente carga para librar batallas de 3 minutos, esta batería es la más adecuada para el WHALIEN52. De acuerdo con la ecuación 3.6, el valor base para obtener la capacidad mínima requerida se obtiene de la siguiente manera.

$$\sum I_{total} = I_{motor\ 1} + I_{motor\ 2} + I_{motor\ arma} + I_{ESP32} \quad \text{Ec.(3.6)}$$

$$\sum I_{total} = \frac{30W}{21.42V} + \frac{30W}{21.42V} + 30A + 240mA$$

$$\sum I_{total} = 33.04A$$

Capacidad mínima de la batería

$$C_{min} = I_{total} * tiempo \text{ en horas} \quad \text{Ec.(3.7)}$$

$$C_{min} = 33.04 \text{ A} * 0.05 \text{ horas}$$

$$C_{min} = 1.652 \text{ Ah}$$

Considerando que la capacidad de una batería se mide en miliamperios-hora se transforma el valor de amperios – hora (Ah) en miliamperios – hora (mAh) con la ecuación 3.8.

$$C_{min} = 1.652 \text{ Ah} * 1000 \quad \text{Ec.(3.8)}$$

$$C_{min} = 1652 \text{ mAh}$$

El espacio del robot está diseñado con base en las dimensiones específicas de la batería Turnigy de 4 celdas. Tanto el sistema de tracción como el arma son energizados con la misma batería, lo que ahorra espacio en el bastidor y equilibra el peso total.

Figura 3.13. Batería LiPo del WHALIEN52



Batería de polímero de litio, Garcés

3.2.7. Puente H.

Los dos medios puentes H que forman parte del sistema de tracción del robot son los IBT-2 con características bastante sobredimensionadas para este proyecto. Tienen la capacidad de soportar hasta 30 amperios cada uno, cuentan con protección contra sobre voltajes,

pueden soportar hasta 27 voltios. La figura 3.14 muestra al IBT-2 antes de ser conectado. (Universidad Politécnica de Madrid, 2025; Universidad Politécnica de Madrid, 2025)

Figura 3.14. Medio puente H



IBT-2 controlador PWM de uno de los motores, Garcés

3.2.8. Elevadores de voltaje.

En la figura 3.15 se observan los elevadores de voltaje, se usan para que los motores tengan mayor velocidad por un corto periodo de tiempo, elevando el voltaje a 22,5 cuando la salida de modulación por ancho de pulso (PWM) está al máximo. Estos elevadores de voltaje tienen una capacidad máxima de 5 amperios de uso continuo por cada uno de ellos. (XLSEMI, 2022)

Figura 3.15. Convertidor DC-DC



Elevador de Voltaje XL6019E1, Garcés

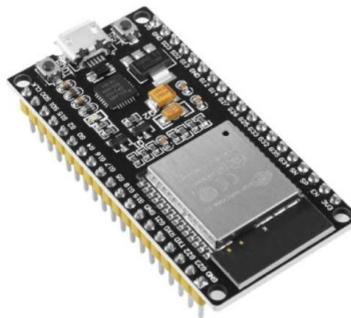
3.2.9. Controlador ESP32 con mando de PS3

El ESP32 es un módulo de desarrollo propuesto por la empresa Espressif Systems que posee diferentes características propias de un módulo de desarrollo compacto. Este

dispositivo tiene la capacidad de conectarse vía bluetooth con diferentes dispositivos, en este caso un mando de Play Station 3 para poder operar el robot de manera inalámbrica. En la figura 3.16 se muestra la placa de desarrollo ESP32 de 38 pines.

Las características por las que se escoge este dispositivo para el desarrollo del presente proyecto es estabilidad y confiabilidad de la conexión por bluetooth. La conexión por bluetooth es más segura por su capa de autenticación y cifrado, es menos susceptible a interferencias por su banda de frecuencia de 2.4GHz, es compatible con una variedad muy amplia de dispositivos electrónicos, además, el dispositivo ESP32 es programable con Arduino IDE, necesita librerías para poder operar con el mando de PS3 y es de muy bajo consumo. El ESP32 tiene un rango de voltaje de operación de entre 3 a 3,6 voltios, siendo 3,3V el voltaje nominal.

Figura 3.16. ESP 32



Módulo de desarrollo ESP 32 de 38 pines, (Electrostore, 2024)

El mando de PS3 es un dispositivo tipo palanca de videojuegos que cuenta con la tecnología Wireless, es decir, se puede conectar con otro dispositivo que posea la misma tecnología mediante una dirección MAC única tanto en el receptor (ESP32) como en el transmisor (mando de PS3). Dicha dirección MAC, se edita mediante el programa SCP Tool en el transmisor y se obtiene mediante código en ARDUINO IDE para el receptor. De otra manera, puede quedarse por defecto la dirección del transmisor y editar la MAC del receptor en el código programado dentro del mismo.

Controlar el WHALIEN52 con un mando de video juegos se hace realidad gracias a las librerías disponibles. La figura 3.17 muestra el mando de PS3 y su simplicidad, razón por la cual se escogió tanto la ESP32 como transmisor o control de video juegos de la consola PS3.

Dirección MAC del ESP32: **cc:db:a7:9d:7c:0a**

Figura 3.17. Mando de Play Station 3



Transmisor de comandos mediante dirección MAC, Garcés

3.2.10. Mini switch de encendido

De acuerdo con el reglamento de CER, todo robot de batalla debe cumplir con parámetros de seguridad. Uno de ellos es que el robot cuente con un botón o switch maestro para encender y apagar el dispositivo. Para el proyecto se utilizará el mini switch de encendido de FingerTech.

Se mencionará algunas de sus características:

Material: nailon de alta temperatura, terminales de cobre, tornillo de aluminio
dimensiones: 12,7 x 12,7 x 6,35 mm.

Terminales de cobre: 3,5 mm x 1 mm.

Peso: 2,15 gramos (0,076 oz).

Corriente nominal: 40^a.

Figura 3.18. Mini switch



Switch maestro del WHALIEN52, Garcés

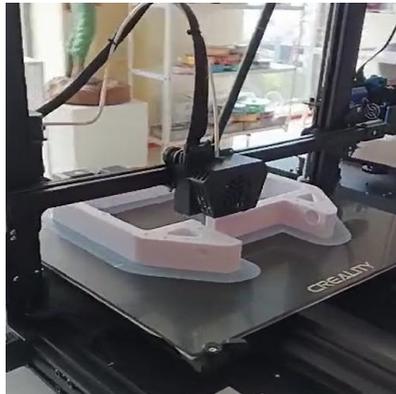
CAPITULO IV

4.1. RESULTADOS

En esta sección se analizan los resultados que se obtuvieron en las diferentes pruebas realizadas para que, WHALIEN52, cumpla con los artículos necesarios del reglamento del concurso ecuatoriano de robótica CER.

De acuerdo con el primer objetivo, se investigó sobre diseños estructurales con la finalidad de obtener un robot robusto. En la figura se observa el proceso de manufactura del bastidor mediante impresión en 3D.

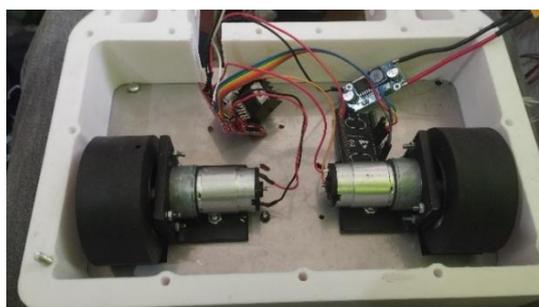
Figura 4.1. Bastidor



Bastidor del robot impreso en Nylon, Garcés

La tapa inferior cumple la función de albergar a todos los componentes electrónicos mediante aisladores, tuercas y pernos. En primer lugar, se procede a colocar los motores de acuerdo con figura.

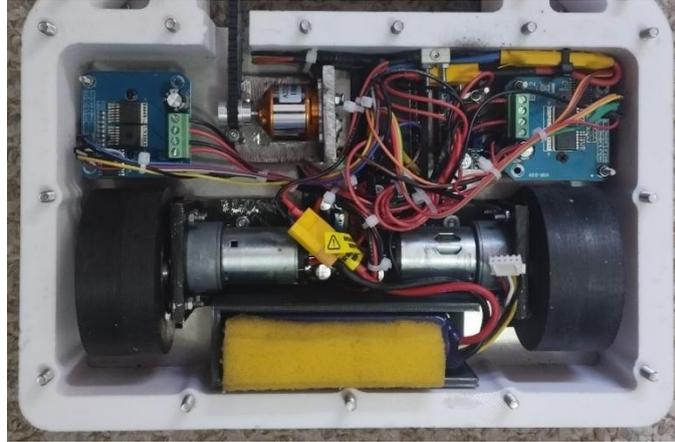
Figura 4.2. Motores y ruedas



Motores, reductores y ruedas colocadas en la base, Garcés

El resto de la electrónica junto con el cableado se observa en la siguiente figura, de acuerdo con el diseño propuesto, la electrónica utiliza la mayor parte del espacio como se muestra en la figura.

Figura 4.3. Electrónica del WHALIEN52



Componentes electrónicos y cableado colocado, Garcés

El mecanizado del arma fue realizado por la carrera de ingeniería mecánica quienes sugieren se la realice en el material Nylon ya que el acero para ejes aportaba mucho más peso al robot. En la figura se observan el arma hecha en Nylon y el prototipo realizado en acero para ejes.

Figura 4.4. Arma del robot



Prototipo y diseño final del arma del robot, Garcés

A el arma de Nylon, al ser más liviana, se le coloca láminas de aluminio de 2mm de espesor para que sea más resistente a los golpes.

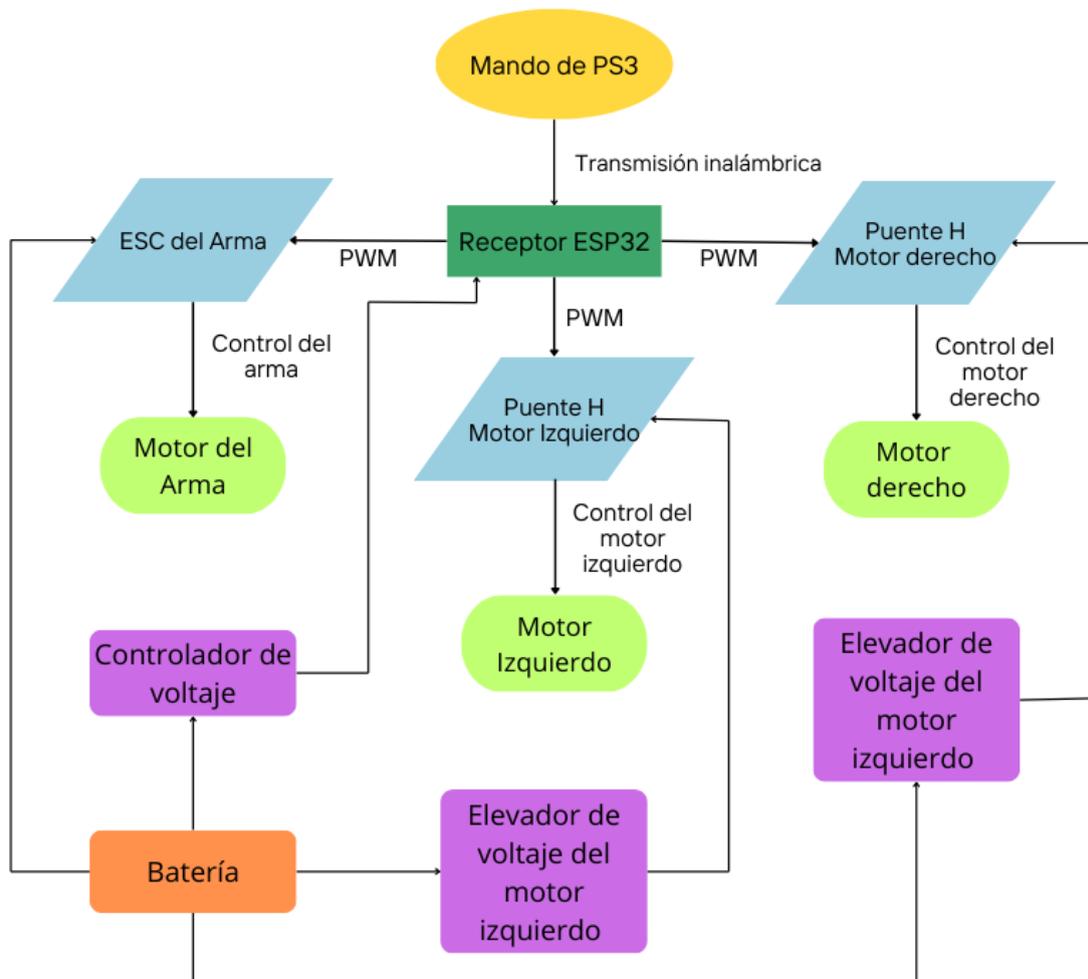
Se toma en cuenta el cálculo de velocidad angular máxima del motor sin escobillas de la página 19 para este cambio en cuanto al material utilizado para el arma del robot.

En las pruebas de corriente realizadas con un amperímetro de corriente continua de la marca MINIPA (calibrado), la corriente máxima de funcionamiento en vacío con todos los motores encendidos tuvo un promedio de 3.8 amperios de acuerdo con la tabla.

4.1.1. Esquema del sistema

Este esquema representa el control que se realiza de todos los componentes del sistema.

Figura 4.5. Esquema general del sistema



Esquema de control del sistema, Garcés

El flujo de control sigue las siguientes características:

- El mando de PS3 envía una señal por medio de Bluetooth al ESP32.
- El ESP32 gestiona la señal y envía las señales de PWM para controlar la velocidad de los motores, además de activarlos.
- La batería alimenta a los elevadores, convertidor de voltaje y ESC.
- Cada elevador de voltaje controla un medio puente h.
- El ESC controla la velocidad del motor sin escobillas del arma

4.1.2. Diagrama de flujo del robot

En el diagrama se pueden observar las entradas necesarias para que el robot pueda moverse y activar el arma.

Figura 4.6. Diagrama de control

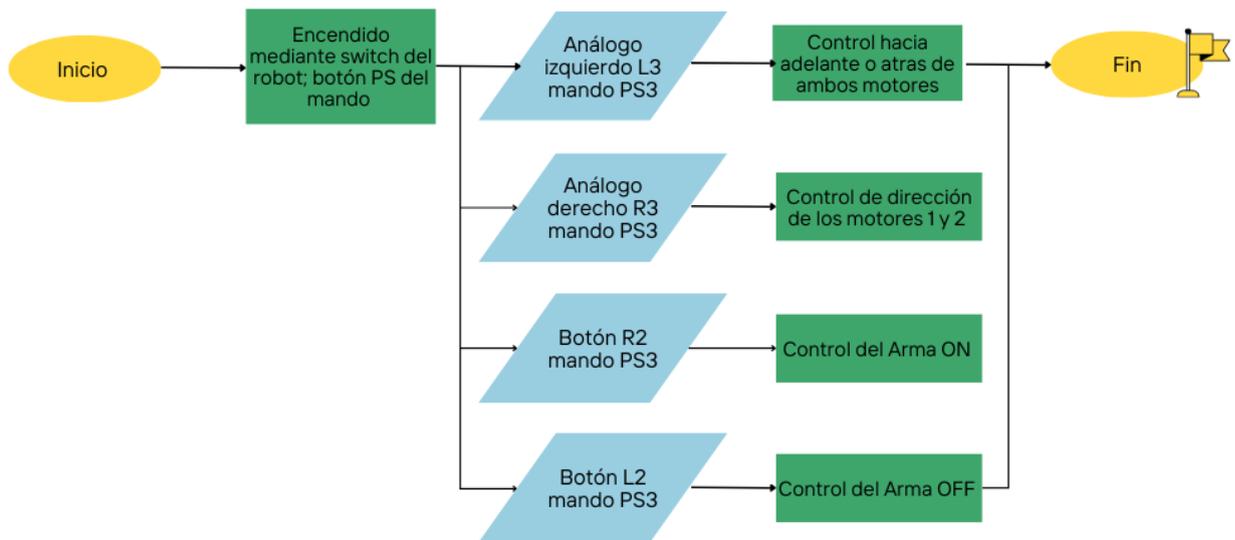


Diagrama de flujo, Garcés

4.1.3. Diagrama de control lazo abierto del sistema

El sistema, al ser de lazo abierto, tiene un flujo simple en el cual el controlador recibe la señal que envía el mando al controlador ESP32 el cual interpreta la señal para transformarla en una señal PWM que a su vez es interpretada por los controladores IBT2 de los motores 1 y 2 y el ESC del motor sin escobillas.

Figura 4.7. Diagrama de control de lazo abierto



Lazo abierto, Garcés

Este diagrama ayudará a comprender como se forma la distribución de señales de control dentro del sistema, además de la distribución de la energía para que funcione el WHALIEN52. Permitiendo identificar la parte de control y la parte de energía.

4.1.4. Pruebas de control y corriente

Para las pruebas de control y manejo se toman en cuenta los criterios de estabilidad en el control, maniobrabilidad y capacidad de golpear un objeto del mismo peso. Todas las muestras de corriente fueron tomadas con un amperímetro MINIPA de gama media para garantizar exactitud en la medición.

Para el porcentaje de uso se utilizó la corriente nominal de los dos elevadores de voltaje que sumados son 6 amperios, 3 por cada uno obtenida con la ecuación 4.1.

$$v\% = \frac{\text{Corriente promedio} \cdot 100}{\text{Corriente nominal}} \quad \text{Ec.(4.1)}$$

- Se realiza la primera prueba de maniobrabilidad, la corriente máxima que consumen los motores cuando el WHALIEN52 se mueve hacia adelante mientras empuja un bloque de madera de 11 libras sobre una superficie plana y lisa tiene un promedio de 2.88 amperios, los valores fueron muestreados con una pinza amperimétrica de la marca MINIPA de gama media.

Tabla 4.1. Prueba de corriente 1

Prueba de corriente 1	
Numero de muestra	Valor en Amperios
1	2,85
2	2,79
3	2,8
4	2,83
5	2,58
6	2,97
7	2,59
8	2,8
9	2,75
10	2,94
11	3,03
12	3,08
13	3,06
14	3,09
15	3,04
16	3,05
17	2,98
18	2,62
19	3,01
20	2,93
Total Promedio	2,8895
Porcentaje de uso	57.79%

Prueba cuando los dos motores de tracción funcionan a máxima capacidad, Garcés

- Segunda prueba de maniobrabilidad del WHALIEN52, giro hacia la izquierda mientras empuja un bloque de madera de 11 libras sobre una superficie plana tiene un promedio de corriente que entrega la batería es de 1.26 amperios en la prueba de corriente 2.

Tabla 4.2. Prueba de corriente 2

Prueba de corriente 2	
Numero de muestra	Valor en Amperios
1	1,29
2	1,18
3	1,22
4	1,29
5	1,19
6	1,29
7	1,31
8	1,31
9	1,25
10	1,22
11	1,3
12	1,33
13	1,23
14	1,22
15	1,33
16	1,36
17	1,26
18	1,32
19	1,28
20	1,19
Total Promedio	1,2685
Porcentaje de uso	42.2%

Prueba cuando el motor de tracción izquierdo gira, Garcés

- La tercera prueba de maniobrabilidad mide la corriente cuando el WHALIEN52 gira hacia la derecha mientras empuja un bloque de madera de 11 libras sobre una superficie plana tiene promedio es de 1.39 amperios.

Tabla 4.3. Prueba de corriente 3

Prueba de corriente 3	
Numero de muestra	Valor en Amperios
1	1,47
2	1,4
3	1,37
4	1,48
5	1,39
6	1,4
7	1,38
8	1,3
9	1,33
10	1,37
11	1,36
12	1,48
13	1,45
14	1,33
15	1,39
16	1,37
17	1,41
18	1,48
19	1,32
20	1,4
Total Promedio	1,394
Porcentaje de uso	46.46%

Prueba de corriente cuando el motor de tracción derecha gira, Garcés

- En la cuarta prueba el robot se mueve hacia adelante con el arma encendida para golpea un objeto duro, en este caso un bloque de madera de 11 libras sobre una superficie plana y lisa, el promedio de corriente es de 10.67 amperios.

Tabla 4.4. Prueba de corriente 4

Prueba de corriente 4	
Numero de muestra	Valor en Amperios
1	9,1
2	12,41
3	9,28
4	9,97
5	11,39
6	10,22
7	13,43
8	8,08
9	12,08
10	12,81
11	11,58
12	8,65
13	9,3
14	11,42
15	12,94
16	10,37
17	9,51
18	8,09
19	10,99
20	11,85
Total Promedio	10,6735
Porcentaje de uso	35.57%

Prueba de tracción y golpe del arma a máxima capacidad, Garcés

La figura 4.8 muestra la corriente máxima cuando los motores de tracción y el motor del arma se encuentra girando a máxima capacidad en vacío, es decir, sin carga.

Figura 4.8. Medición de corriente



Medición de la corriente en “vacío”, Garcés

En resumen, durante la primera prueba se tomaron los datos de corriente cuando el robot se encuentra sobre una superficie lisa y plana con los dos motores de tracción funcionando con cambios de dirección bruscos emulando un entorno de combate, dando como resultado la corriente máxima que consumen ambos motores. En prueba número dos se mide la corriente cuando el motor de tracción izquierdo gira hacia adelante o hacia atrás. La tercera prueba es un símil de la prueba número dos, pero en este caso se mide la corriente del motor de tracción derecha. La cuarta prueba es la prueba de impacto del arma a máxima velocidad, donde se tomó los valores máximos de corriente cuando el arma golpea un objeto sólido, para esta prueba es un bloque de madera de 11 libras.

Según las especificaciones técnicas de cada componente, el robot opera normalmente sin picos de corriente que sobrepasen la corriente nominal de estos componentes por lo que las pruebas de consumo de corriente en varios escenarios fueron exitosas.

4.1.5. Pruebas de control en un entorno similar al combate

Las pruebas en el entorno similar a una competencia son: prueba de maniobrabilidad con obstáculos que tengan el mismo o mayor peso que el robot, prueba del control del arma con un objeto que tenga el mismo o mayor peso que el robot, en este caso se colocó un peso de 12 libras en una caja como se muestra en la figura 4.9.

Figura 4.9. Prueba de control del arma



Se muestra que el robot levanta una caja con 12 libras, Garcés

En la prueba de maniobrabilidad, se observa en las figuras 4.10 y 4.11 que el robot es capaz de mover la caja de 12 libras.

Figura 4.10. Prueba de maniobrabilidad 1



Se prepara el robot para trasladar la caja de 12 libras, Garcés

Figura 4.11. Prueba de maniobrabilidad 2



El robot mueve la caja hacia adelante, Garcés

CAPITULO V

5.1. CONCLUSIONES

Los algoritmos estructurales y la construcción de un robot de combate de 12 libras permitieron la identificación de soluciones nuevas y efectivas, así como contar con documentos de pregrado y posgrado en repositorios universitarios que brindan una base sólida para la investigación y desarrollo del proyecto.

De acuerdo con los diferentes modelos de prototipos robóticos que están en esta categoría, garantizado movilidad, resistencia y velocidad durante una batalla se diseñó una estructura para el armado de los robots de combate de 12 libras mediante un software CAD, permitiendo crear detalles mucho más cercanos a la precisión de acuerdo con lo que era necesario.

Se usó un algoritmo de carro controlado inalámbricamente con ESP32 y un mando de PS3 que permitió el control remoto de un robot de 12 libras, utilizándose el software Arduino IDE para la edición del algoritmo utilizando variables de salida para motores mediante PWM, el cual entregaría mucha mayor eficiencia y precisión de acuerdo con la normativa de la Competencia Ecuatorial CER 2019.

De acuerdo con las pruebas realizadas, el robot logró demostrar la eficiencia que este posee en cuanto a maniobrabilidad con el uso de la corriente de los motores en un promedio porcentual del 57.79% y desempeño del arma tipo barril utilizando el 35.57% de la corriente que puede entregar el ESC del motor sin escobillas.

5.2 RECOMENDACIONES

Se recomienda utilizar sistema de suspensión puede ayudar a absorber impactos y mejorar la estabilidad del robot durante el combate.

Explorar diferentes opciones de diseño en cuanto al bastidor para que se pueda colocar motores de mayor capacidad, de esta forma se mejora la movilidad y formas de evadir al rival dentro del ring.

Tomar en cuenta que este robot puede moverse aun cuando lo han volteado, por lo que colocar un motor si escobillas para que pueda cambiar el sentido de giro del arma.

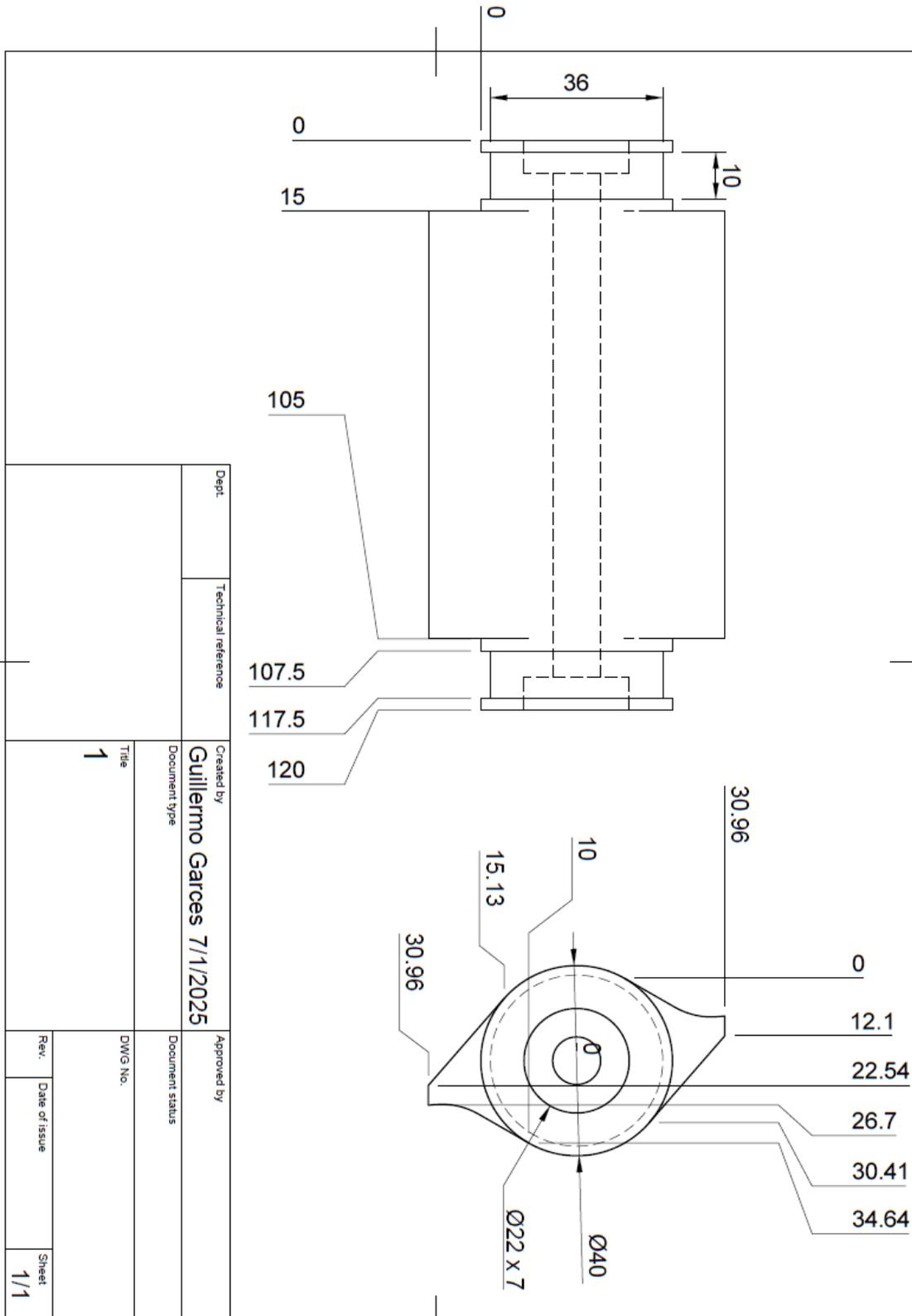
REFERENCIAS BIBLIORGRÁFICAS

1. Universidad Politécnica de Madrid. (2025). *IBT-2*. Obtenido de www.datsi.fi.upm.es
2. Amazon. (2025). *Amazon.com*. Obtenido de <https://www.amazon.com/-/es/escobillas-Protecciones-Adaptaci%C3%B3n-acelerador-Controlador/dp/B0D8LHGJ6Z>
3. Balamurugan C. R., R. S. (2020). Quadcopter based emergency medikit delivery system for hill stations. *International Journal of Reconfigurable and Embedded Systems (IJRES)*, 207.
4. *Battle Bots*. (8 de Enero de 2025). Obtenido de <https://battlebots.com/>
5. Calderón Huerta, J. U. (2024). *Diseño y construcción de un robot de combate con rutinas programables*. Obtenido de JÓVENES EN LA CIENCIA, 28: <https://www.jovenesenlaciencia.ugto.mx/index.php/jovenesenlaciencia/article/view/4261>
6. Cali, K, T. J. (2024). *DESARROLLO DE UN ROBOT DE BATALLA DE 12 LIBRAS*. Guayaquil: UPS.
7. Curbell Plastics. (08 de 01 de 2025). *Curbell Plastics*. Obtenido de [curbellplastics.com: https://www.curbellplastics.com/product/w01-02546/](https://www.curbellplastics.com/product/w01-02546/)
8. Dobra, P. (2020). Robust PID Controller of BLDC Motor via. *The 28th Mediterranean Conference on Control and Automation*.
9. Electrostore, G. (2024). *Grupo Electrostore*. Obtenido de [grupoelectrostore.com: https://grupoelectrostore.com/shop/placas-para-programacion/esp/modulo-esp32-esp-32-wifi-bluetooth/](https://grupoelectrostore.com/shop/placas-para-programacion/esp/modulo-esp32-esp-32-wifi-bluetooth/)
10. Escobar Guachambala, M. A. (2019). Tecnología CAD CAM aplicada al diseño de robots de batalla. *Ciencia Digital*, 139-149.
11. Espressif Systems. (2024). *ESP32 esp-dev-kit Documentation*. Espressif Systems.
12. FAMIQ. (08 de 01 de 2025). *FAMIQ*. Obtenido de <https://www.famiq.com.ar/informacion-tecnica/clasificacion-aceros>
13. Jape, S. R. (2017). COMPARISON OF ELECTRIC MOTORS FOR ELECTRIC VEHICLE. *International Journal of Research in Engineering and Technology*, 13.

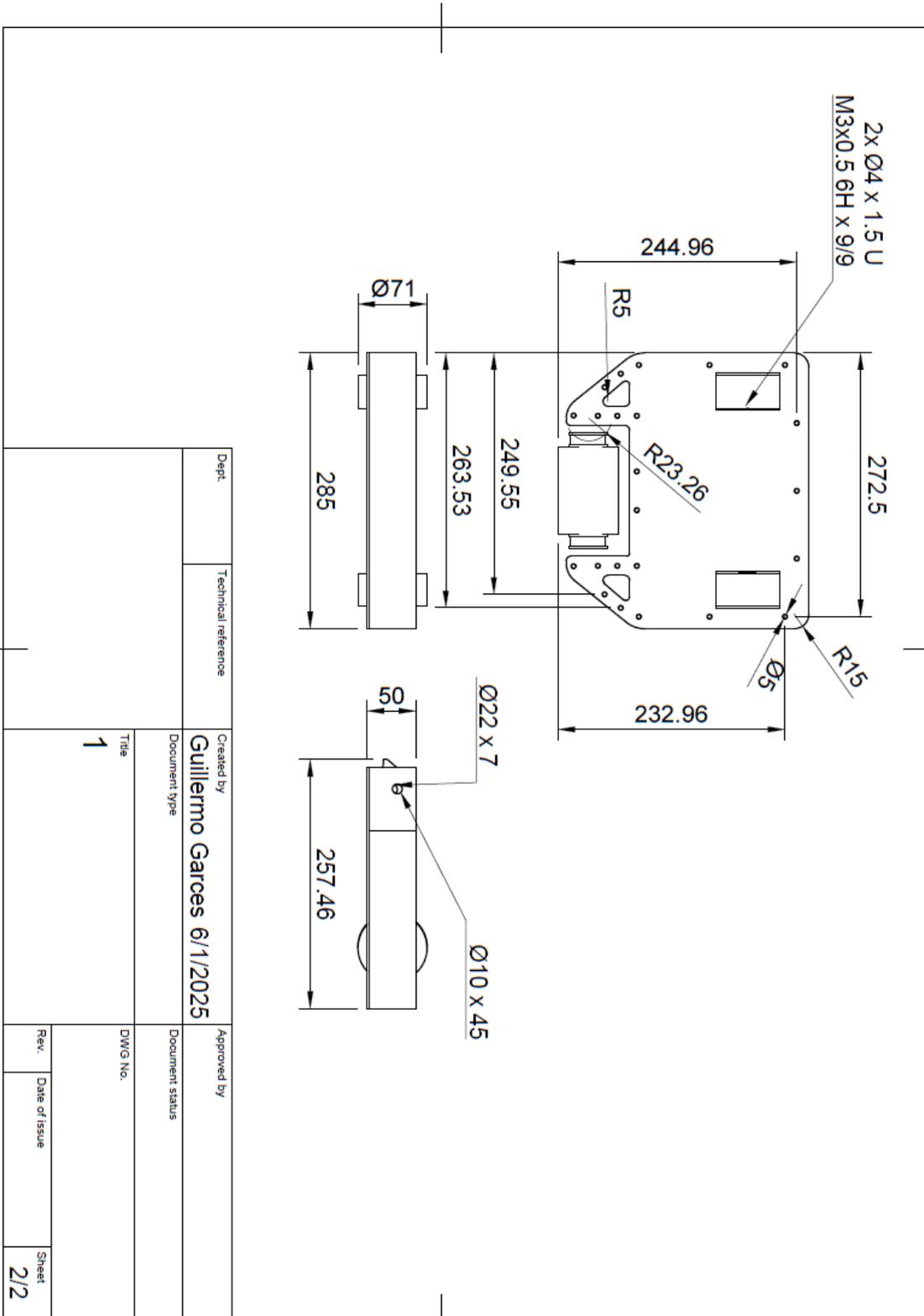
14. RAE. (2025). *dle.rae.es*. Obtenido de Diccionario de la lengua española:
<https://dle.rae.es/robot>
15. REDCEDIA. (2019). *Reglamento para la categoría batalla de robots*. Cuenca: CEDIA.
16. Reyes, D. F. (2018). Diseño e Implementación de un convertidor monofásico de dos niveles en configuración puente H aplicando modulación PWM. Pereira, Colombia: Universidad Tecnológica de Pereira.
17. Truong, B., Nolasco-Ramirez, B., Sistachs, S., Puga, S., Ballard, R., Al-Hiraky, M., . . . Basnet, S. (2024). RoboRuggles: Design of a Combat Robot. *2024 IEEE 15th Annual Ubiquitous Computing, Electronics & Mobile Communication Conference (UEMCON)*. IEEE.
18. Webb, M. (2020). The Impact of Artificial Intelligence on the Labor Market. *Stanford University*, 17-18.
19. XLSEMI. (2022). *XL6019*. Alldatasheet.

ANEXOS

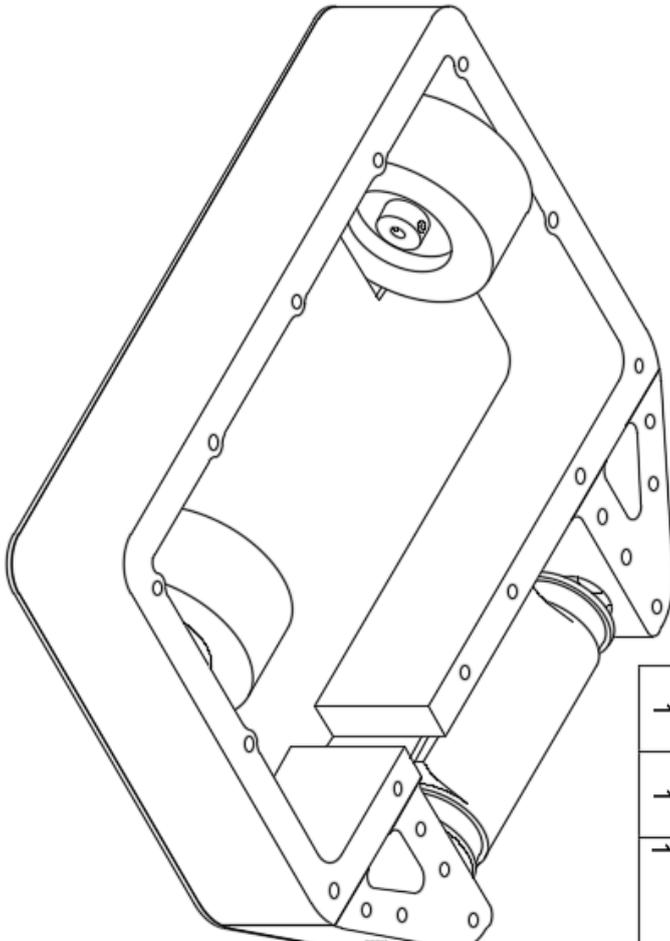
Anexo 1: Cotas del arma del robot



Anexo 2: Cotas de la vista inferior del robot



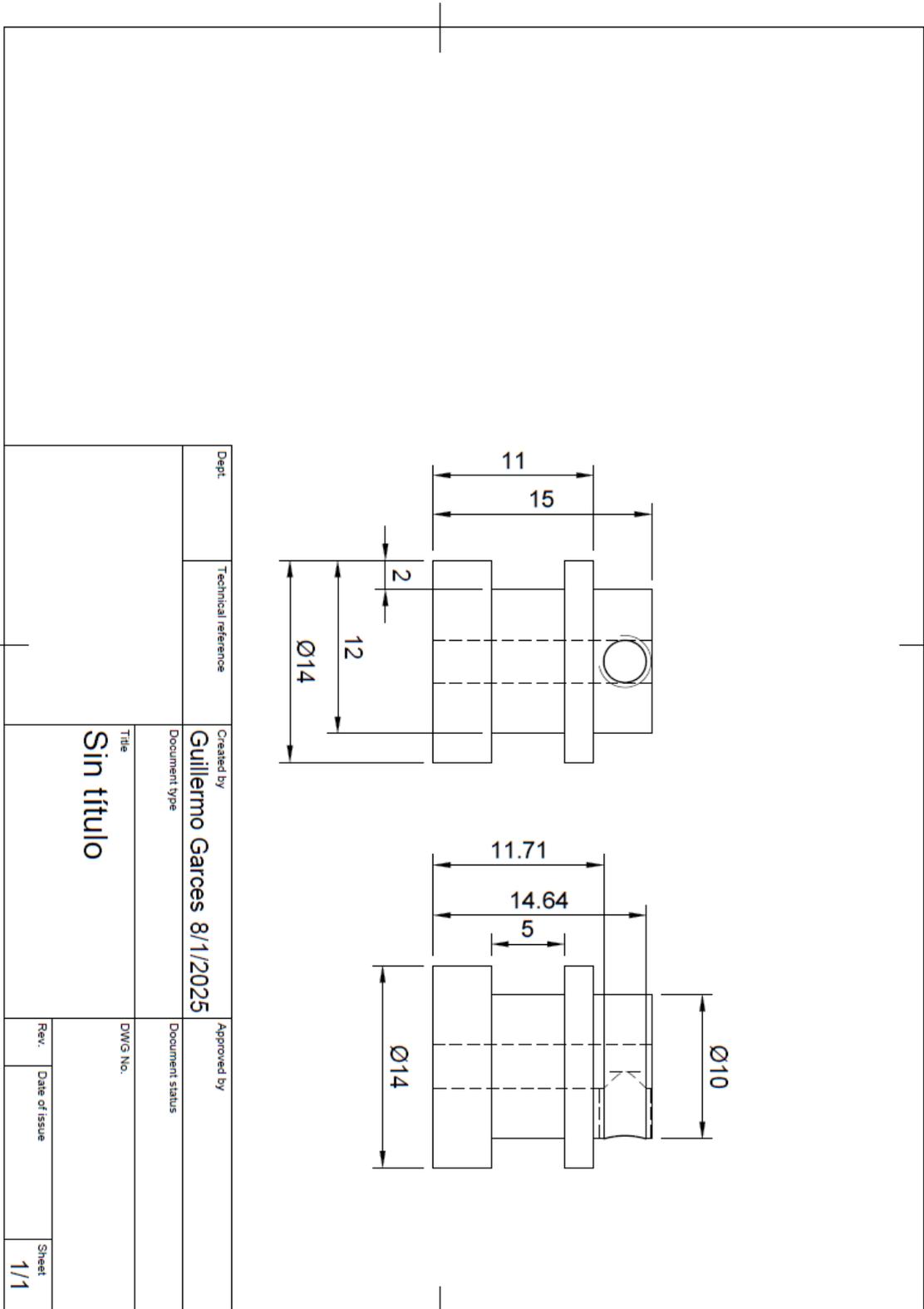
Anexo 3: Vista isométrica NE



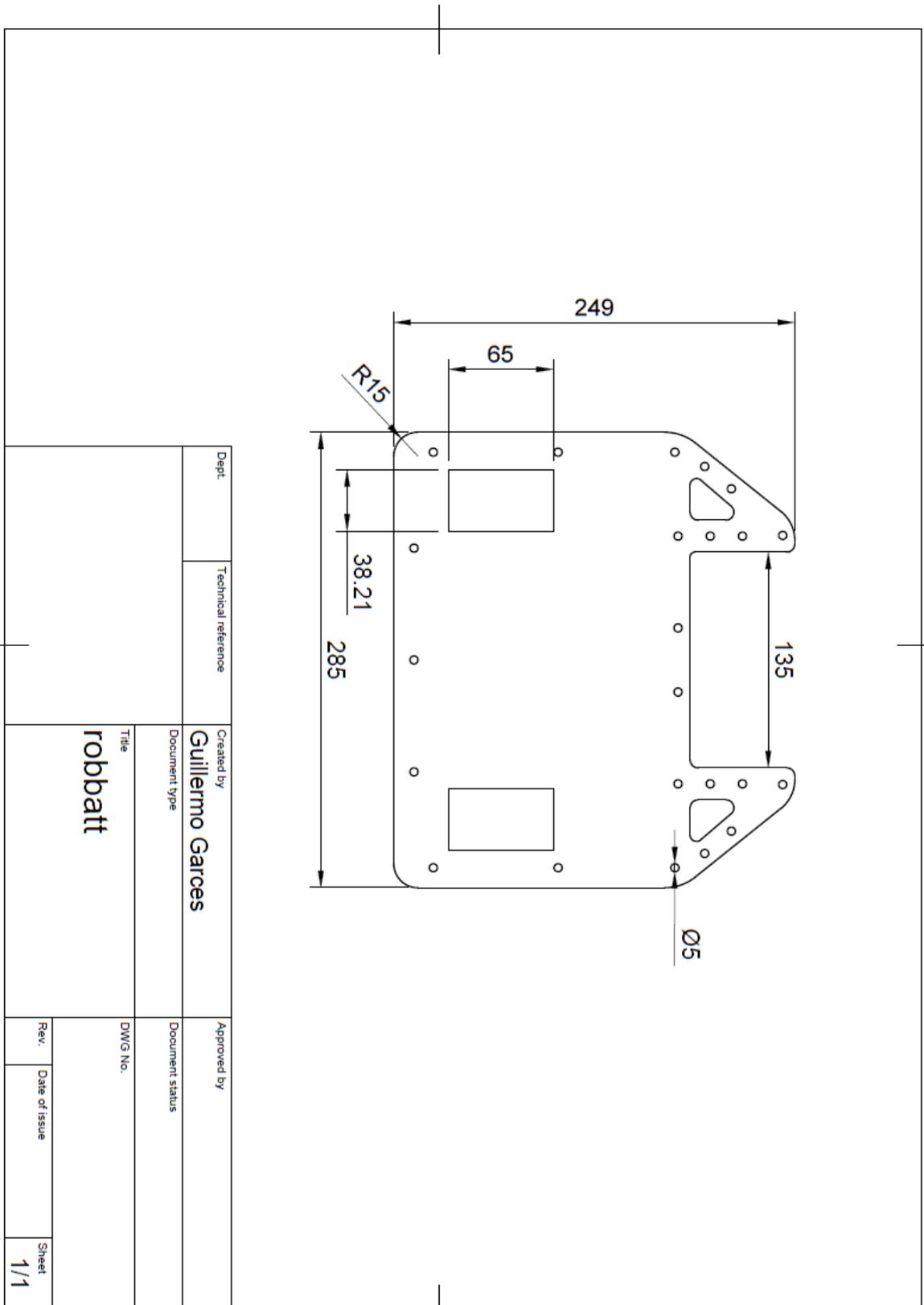
Lista de piezas			
elem ento	ctd	número de pieza	material
1	1	1	

Dept	Technical reference	Created by	Approved by
		Guillermo Garces 6/1/2025	
		Document type	Document status
		Title	DWG No.
		1	
		Rev	Date of issue
		Sheet	
		1/2	

Anexo 4: Cotas de la polea que conecta el motor con el arma



Anexo 5: Cotas de las tapas de acero



Anexo 6: Cotas de las ruedas

