



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

TRABAJO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO  
DE INGENIERO EN MECATRÓNICA

TEMA:

“ROBOT DE BATALLA DE BAJO PESO”

AUTOR: CEDEÑO PUJOTA SANTIAGO XAVIER

DIRECTOR: ROSERO CHANDI CARLOS XAVIER

IBARRA-ECUADOR  
JULIO 2023



# UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

## BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

### AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

#### 1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO		
CÉDULA DE IDENTIDAD:	1723979314	
APELLIDOS Y NOMBRES:	CEDEÑO PUJOTA SANTIAGO XAVIER	
DIRECCIÓN:	GARCÍA MORENO Y HERMANO CARLOS, TABACUNDO	
EMAIL:	sxcedenio@utn.edu.ec	
TELÉFONO FIJO:	-	TELÉFONO MÓVIL: 0991038466


DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	"ROBOT DE BATALLA DE BAJO PESO"
AUTOR (ES):	CEDEÑO PUJOTA SANTIAGO XAVIER
FECHA: DD/MM/AAAA	21/jul/2023
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	INGENIERO EN MECATRÓNICA
ASESOR /DIRECTOR:	ING. CARLOS XAVIER ROSERO CHANDI, MSC

#### 2. CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 21 días del mes de julio de 2023

EL AUTOR:

  
Santiago Cedeño



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE  
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS  
CONSTANCIA

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto la obra es original, y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 21 días de julio de 2023

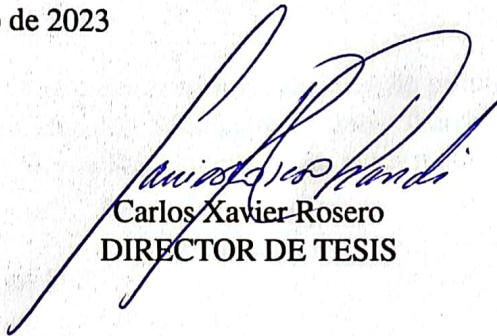
Cedeño Pujota Santiago Xavier  
C.I.: 1723979314



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**  
**CERTIFICACIÓN**

En calidad de director del trabajo de grado “Robot de Batalla de Bajo Peso”, presentado por el egresado Cedeño Pujota Santiago Xavier, para optar por el título de Ingeniero en Mecatrónica, certifico que el mencionado proyecto fue realizado bajo mi dirección.

Ibarra, a los 21 días de julio de 2023



Carlos Xavier Rosero  
DIRECTOR DE TESIS

## Dedicatoria

En este importante logro que representa mi trabajo de grado, quiero expresar mi más profundo agradecimiento a mis padres Segundo Cedeño y Soledad Pujota por su amor incondicional, apoyo constante y confianza en mí. Han sido mi mayor inspiración y motor durante todo este camino académico. Sus palabras de aliento, su sacrificio y su dedicación han sido pilares fundamentales en mi formación. Gracias por creer en mis sueños, por animarme a seguir adelante en los momentos difíciles y por brindarme un hogar lleno de amor y valores. Este logro no sería posible sin su amoroso respaldo. Este trabajo de grado es el fruto de su amor y de su infinita entrega como padres. Los llevo siempre en mi corazón y espero que esta dedicatoria sea un pequeño gesto de mi eterna gratitud.

Quiero dedicar este trabajo a mi querida hermanita Sabrina Cedeño, mi fuente constante de alegría y admiración. Aunque seas más joven que yo, siempre has sido una inspiración para mí con tu determinación y espíritu inquebrantable. Agradezco tus palabras de aliento, tu confianza en mis capacidades y tu apoyo incondicional a lo largo de este proceso. Este logro académico no solo es mío, sino también tuyo, porque has sido mi motivación constante para seguir adelante y superar los desafíos.

En este momento trascendental de mi vida, quiero dedicar este trabajo de grado a mi novia Maryorie Hidalgo como un testimonio de amor y agradecimiento. Tu presencia en mi vida ha sido mi mayor fuente de inspiración y motivación. Tu apoyo incondicional, tu sabiduría y tu dulzura han sido pilares fundamentales en mi camino hacia este logro académico. Agradezco tus palabras alentadoras, tus abrazos reconfortantes y tu fe en mí, incluso en los momentos de duda. Esta tesis es un reflejo de nuestra conexión profunda y del amor que compartimos. Que esta dedicatoria sea un recordatorio eterno de mi gratitud y del amor incondicional que siento por ti.

Este trabajo de grado va dedicado a todos mi amigos. Han sido testigos de mis logros y fracasos, de mis momentos de estudio intenso y de nuestras escapadas. Gracias por la diversión desenfadada, las risas contagiosas y las anécdotas locas que hemos acumulado a lo largo de nuestra travesía universitaria. A pesar de nuestras diferencias y excesos, siempre hemos encontrado en nuestra amistad una fuente de apoyo.

*Santiago*

## Resumen

El trabajo se centra en el diseño, construcción y evaluación de un robot de batalla de 3 lb. Se lleva a cabo un análisis exhaustivo sobre las competencias de batalla de robots y se identifican los requisitos clave como velocidad, fuerza y resistencia, así como la duración de batería y el consumo de energía eficiente de acuerdo a los reglamentos de competición. El diseño del robot considera los aspectos antes mencionados, asegurando una estructura mecánica robusta y un sistema de control eficaz. Se realizan pruebas de simulación para optimizar su rendimiento y se implementan algoritmos de control para maximizar su efectividad en combate. Además, se desarrolla una interfaz de usuario en MIT App Inventor para permitir al operador controlar el robot y recibir información del estado de baterías en tiempo real. El trabajo concluye con la evaluación del desempeño del robot en ambientes controlados, siendo apto para enfrentarse a otros robots en un entorno desafiante y superar diversos retos. Los resultados obtenidos demuestran el éxito del diseño y la efectividad del robot de batalla.

***Palabras clave:*** robot de batalla, MIT App Inventor, estructura mecánica

## **Abstract**

This work aims to design, build and evaluate a 3 lb battle robot. A thorough analysis on robot battle competitions is carried out and key requirements such as speed, strength and stamina, as well as battery life and efficient power consumption are identified according to competition regulations. The robot design considers the aforementioned aspects, ensuring a robust mechanical structure and an effective control system. Simulation tests are carried out to optimize its performance and control algorithms are implemented to maximize its effectiveness in combat. In addition, a user interface is developed in MIT App Inventor to allow the operator to control the robot and receive the status of the batteries in real time. The work concludes with the evaluation of the robot's performance in controlled environments, being able to face other robots in a challenging environment and overcome various challenges. The results obtained show the success of the design and the effectiveness of the battle robot.

***Keywords:*** *battle bot, MIT App Inventor, mechanical structure*

# Índice general

<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
1.1. Planteamiento del problema . . . . .	1
1.2. Objetivos . . . . .	2
1.2.1. Objetivo principal . . . . .	2
1.2.2. Objetivos específicos . . . . .	2
1.3. Justificación . . . . .	2
1.4. Alcance . . . . .	3
<b>2. Revisión Literaria</b>	<b>4</b>
2.1. Estado del arte . . . . .	4
2.2. Tecnologías implicadas . . . . .	5
2.2.1. Robótica móvil . . . . .	5
2.2.2. Cinemática y dinámica de robots móviles . . . . .	6
2.2.2.1. Cinemática de robots móviles . . . . .	6
2.2.2.2. Dinámica de robots móviles . . . . .	7



2.2.3.	Reglamentos de competición . . . . .	7
2.2.3.1.	Restricciones de construcción . . . . .	7
2.2.3.2.	Movilidad . . . . .	8
2.2.3.3.	Radiofrecuencia . . . . .	8
2.2.3.4.	Baterías y fuentes de energía . . . . .	8
2.2.3.5.	Motores . . . . .	9
2.2.3.6.	Armas . . . . .	9
2.2.4.	Mecánica de robot de batalla . . . . .	9
2.2.4.1.	Elementos finitos . . . . .	9
2.2.5.	Electrónica de robot móviles . . . . .	10
2.2.5.1.	Motores DC . . . . .	10
2.2.5.2.	Motores sin escobillas . . . . .	10
2.2.5.3.	ESC . . . . .	11
2.2.5.4.	Puentes H . . . . .	12
2.2.5.5.	Baterías . . . . .	12
2.2.6.	Control de robots móviles . . . . .	13
2.2.6.1.	Métodos de teleoperación . . . . .	13
2.2.7.	Materiales de construcción . . . . .	14
2.2.7.1.	Plástico . . . . .	14
2.2.7.2.	Metales . . . . .	15

**3. Metodología** **16**

3.1.	Diseño mecánico . . . . .	16
3.1.1.	Chasis . . . . .	17
3.1.2.	Eje del Arma . . . . .	20
3.1.3.	Arma . . . . .	22
3.1.4.	Cubierta . . . . .	24
3.2.	Diseño electrónico . . . . .	24
3.2.1.	Esquema electrónico . . . . .	24
3.2.2.	Motorreductor GA25-370 12V . . . . .	25
3.2.3.	Driver controlador de motores . . . . .	27
3.2.4.	Motor Brushless . . . . .	29
3.2.5.	Batería . . . . .	30
	3.2.5.1. Cálculo de duración de batería para los motores DC . . . . .	31
	3.2.5.2. Cálculo de duración de batería para motor Brushless . . . . .	32
3.3.	Diseño de control . . . . .	32
3.3.1.	Diagrama de flujo . . . . .	32
3.3.2.	Programación . . . . .	33
3.3.3.	Aplicación móvil . . . . .	33
	3.3.3.1. Diagrama de bloques . . . . .	34
<b>4.</b>	<b>Implementación y pruebas de funcionamiento</b>	<b>37</b>
4.1.	Análisis estructural . . . . .	37
4.1.1.	Análisis del arma . . . . .	37

4.1.2.	Análisis del chasis . . . . .	41
4.1.3.	Análisis de la cubierta . . . . .	44
4.2.	Implementación . . . . .	46
4.3.	Descripción del escenario de pruebas . . . . .	47
4.3.1.	Velocidad . . . . .	48
4.3.2.	Rendimiento . . . . .	48
4.3.3.	Peso . . . . .	50
4.3.4.	Consumo energético . . . . .	51
4.3.4.1.	Prueba de vacío . . . . .	51
4.3.4.2.	Prueba de campo . . . . .	52
4.4.	Conclusiones . . . . .	53
4.5.	Recomendaciones . . . . .	54
	<b>Anexos</b>	<b>55</b>
	<b>A. Código de Programación</b>	<b>56</b>
	<b>B. Escenarios de prueba</b>	<b>62</b>
	<b>C. Puesta en marcha del robot de batalla</b>	<b>67</b>

# Capítulo 1

## Introducción

### 1.1. Planteamiento del problema

En la actualidad, las competencias de batalla de robots de 3 libras son muy rigurosas. Requieren que los diseñadores consideren alto rendimiento en velocidad y fuerza, en contraste con bajo consumo de energía y gran duración de las baterías. A nivel nacional e internacional se desarrollan periódicamente festivales y concursos en los que la categoría de batalla de 3 libras tiene protagonismo. La Universidad Técnica del Norte (UTN), a través del Club de Robótica ha sido representada satisfactoriamente en estos eventos. Sin embargo, en la categoría especificada no ha tenido participaciones. Es así como se plantea el desarrollo de un robot de batalla de 3 libras capaz de competir en esta categoría. La documentación de su diseño a nivel de manufactura, electrónica y control/teleoperación, podrían servir para posteriores escalamientos o como base para la construcción de más robots de batalla.

## **1.2. Objetivos**

### **1.2.1. Objetivo principal**

- Desarrollar un robot de batalla para participación en la categoría de 3 libras.

### **1.2.2. Objetivos específicos**

- Definir los parámetros principales de diseño de un robot de batalla.
- Diseñar la mecánica, electrónica y control del robot.
- Construir el robot de batalla.
- Validar el funcionamiento del robot en ambientes controlados.

## **1.3. Justificación**

Actualmente, existe un interés creciente por el desarrollo de sistemas robóticos de aplicación industrial. Si bien en la carrera de Ingeniería en Mecatrónica, la robótica móvil no forma parte del pensum, el control de sistemas dinámicos y el análisis de su rendimiento, integran de manera fundamental la formación del candidato a ingeniero. El trabajo propuesto permitirá que la UTN sea representada en la categoría de batalla de 3 libras. Además, podrá ser detonante para que miembros de la Carrera y del Club de Robótica se involucren y presenten diseños para las distintas categorías de robot de batalla.

## **1.4. Alcance**

Se construirá un robot de batalla de 3 libras que permita al Club de Robótica de la UTN participar en eventos nacionales e internacionales. Se procurará que el robot esté diseñado de tal manera que sufra el menor daño mecánico o eléctrico/electrónico posible. Además, su geometría y el agarre de sus ruedas le permitirá desempeñarse óptimamente en cualquier tipo de arena de batalla. También, la comunicación robot-usuario será capaz de trabajar en ambientes con interferencia radioeléctrica.

# Capítulo 2

## Revisión Literaria

### 2.1. Estado del arte

Los robots de batalla de 3 lb son una categoría popular dentro de los combates de robots, conocida como "beetleweights". Aunque su tamaño es pequeño, estos robots son capaces de ofrecer batallas emocionantes y altamente competitivas.

Para el CER en [1] se ha producido un avance significativo en los sistemas de control y electrónica utilizados en los robots de batalla de 3 lb. Los avances incluyen el uso de controladores más rápidos y eficientes, sistemas de comunicación mejorados y sensores más sofisticados. Además, se ha trabajado en el desarrollo de algoritmos de control más precisos y estrategias autónomas para mejorar el rendimiento de los robots.

Según el Torneo de Robótica y Tecnologías Avanzadas (TRYTA) en su reglamento de combates de robots expone los sistemas de armas y tácticas como otro apartado importante en la construcción de un robot de batalla. Suelen estar equipados con una variedad de armas, como discos giratorios, martillos, sierras, pinzas y sistemas de percusión. Los diseños de armas se han vuelto más sofisticados y potentes, buscando maximizar el daño infligido a los oponentes. Las tácticas de combate incluyen estrategias ofensivas y defensivas, como evasión rápida, golpes precisos y técnicas de control de agarre [2].

Para la Unidad Educativa Particular Politécnica (COPOL) la tecnología de impresión 3D ha tenido un impacto notable en el diseño y fabricación de los robots de batalla de 3 lb. Los constructores utilizan impresoras 3D para crear piezas personalizadas y optimizar la geometría de los componentes, lo que les permite alcanzar diseños más eficientes y ligeros. Dentro del diseño estructural y materiales, los constructores de robots de batalla de 3 lb han buscado constantemente formas de mejorar la resistencia y durabilidad de sus robots. Se utilizan materiales como el aluminio, el acero resistente y el titanio para construir chasis y armaduras livianos pero resistentes [3].

## **2.2. Tecnologías implicadas**

### **2.2.1. Robótica móvil**

Según el estudio realizado por Álvarez en [4], la robótica se define como el análisis, diseño e implementación de sistemas automatizados capaces de realizar tareas repetitivas, ya sea con o sin la intervención humana.

Según Gil P. en [5], la robótica móvil combina sistemas robóticos que se desplazan en diferentes entornos y realizan diversas acciones. Puede ser autónoma o controlada por humanos. Es un campo en constante desarrollo y con amplias aplicaciones.

Los distintos avances tecnológicos prevén ayudar y facilitar a las actividades o tareas de las personas, Guarnizo J. en [6], recalca que a lo largo de la historia, los robots móviles han tenido diversos usos, desde juguetes hasta aplicaciones militares en la Segunda Guerra Mundial. Se destacan por su contribución en campos como la robótica espacial, educación y medicina, impulsando la evolución científica.



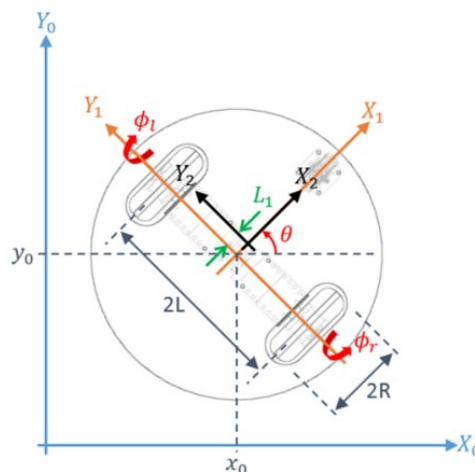
## 2.2.2. Cinemática y dinámica de robots móviles

### 2.2.2.1. Cinemática de robots móviles

El modelo cinemático se enfoca en el movimiento de componentes y sistemas mecánicos sin tener en cuenta las fuerzas involucradas. En el caso de un robot móvil, la cinemática implica la relación entre la velocidad del robot y la velocidad de sus ruedas, considerando también la estructura y geometría del robot [7]. A partir de este concepto, se asume diferentes hipótesis acerca del robot móvil y factores a tomar en cuenta para su estudio, como:

- Su desplazamiento es sobre una superficie plana.
- Ejes de referencia perpendiculares al suelo.
- Sin elementos flexibles.
- Contacto punto a punto de la rueda con el suelo.
- No hay deslizamiento.

De acuerdo con estos factores, en el caso de estudio se habla acerca de un modelo bidimensional debido a que se mueve en un solo plano como en se muestra en la Fig. 2.1.



**Figura 2.1:** Sistema de coordenadas de un robot móvil. *Figura obtenida de:*  
<http://somim.org.mx/memorias/memorias2017/articulos/A3189.pdf>.

### **2.2.2.2. Dinámica de robots móviles**

La dinámica en un robot móvil abarca la posición, velocidad y aceleración del robot, relacionadas con los actuadores o ruedas. Se tienen en cuenta diferentes efectos:

- Pares inerciales y de Coriolis
- Pares de actuación.
- Fricciones viscosas.
- Contacto de las ruedas con el suelo.

El estudio dinámico de un robot móvil es complicado debido a los múltiples efectos que presenta, a pesar de contar con un modelo preciso. La gran cantidad de datos y parámetros involucrados dificultan su verificación. Por esta razón, a menudo se analiza el robot a velocidades bajas, donde se pueden despreciar comportamientos no lineales. En este análisis se considera el cambio de velocidad y dirección del robot móvil [7].

### **2.2.3. Reglamentos de competición**

En esta sección, se recopila información de diversos reglamentos [1]–[3] de eventos y concursos de robótica a nivel nacional e internacional. Se analizan los puntos clave y particularidades de las normativas de competencia, con el objetivo de establecer un conjunto de reglas a cumplir. Es importante tener en cuenta que estas normas pueden variar dependiendo de la organización que las implemente.

#### **2.2.3.1. Restricciones de construcción**

- Dimensiones: sin restricción.
- Peso: depende de la categoría y no hay margen de tolerancia en los valores tomados por la balanza del comité organizador.
- Alimentación: interna y uso exclusivo de baterías de CC.

### **2.2.3.2. Movilidad**

Los prototipos cuentan con sistemas de movilidad controlado y visible, denotados a continuación:

- Rodantes: ruedas o bandas.
- Caminantes: Actuadores lineales o sistemas de biela-manivela.
- Arrastre: Extremidades controladas por levas rotacionales.
- Aéreo deslizante
- Sistema de vuelo o elevación está prohibido.

### **2.2.3.3. Radiofrecuencia**

- No se permite cables.
- Radiofrecuencia en un rango de 2.5MHz a 3GHz.
- Frecuencia modulable.
- Si pierde potencia o señal durante un enfrentamiento, debe apagarse y detenerse de manera automática.

### **2.2.3.4. Baterías y fuentes de energía**

- Prohibidas: baterías de celdas líquidas.
- Baterías permitidas: Baterías con celdas de gel, baterías níquel-cadmio, baterías níquel-hidruro metálico, baterías de celda seca, baterías AGM selladas, baterías de iones de litio y baterías de polímero de litio.
- No exceder los 48 Volts en su sistema.

### **2.2.3.5. Motores**

- Cualquier motor conectado a un arma puede activarse incluso cuando el seguro del arma esté activado.
- En caso de pérdida de la señal RC o debilitamiento de la misma, todos los motores deberán apagarse.
- Todos los motores deberán incluir un método de apagado remoto (vía radiocontrol).
- El uso de otro tipo de motores fuera de los estándares como pistones, turbinas u otros, requerirá el previo estudio y aprobación de la organización.

### **2.2.3.6. Armas**

- Armas giratorias que puedan contactar con las protecciones del escenario, requerirán aprobación.
- Incluir sistema de frenado en las armas, tendrá un máximo de 60 s para detenerse una vez accionada el arma.

## **2.2.4. Mecánica de robot de batalla**

### **2.2.4.1. Elementos finitos**

El uso del Método de Elementos Finitos (FEM) en el estudio de los efectos dinámicos causados por impactos en robots de combate permite analizar el diseño de prototipos y elegir adecuadamente los materiales y componentes. Al aplicar este método, se garantiza un rendimiento mecánico óptimo al considerar una estructura sólida, rodamientos y sujetadores adecuados en el robot de batalla [8].

## 2.2.5. Electrónica de robot móviles

### 2.2.5.1. Motores DC

Un motor de corriente continua (DC) Fig. 2.2 convierte la energía eléctrica en energía mecánica y se puede encender simplemente al aplicar una fuente de alimentación a sus terminales. Los motores DC no pueden mantenerse en una posición específica debido a que giran a una velocidad máxima determinada por la alimentación aplicada. Su funcionamiento se basa en principios de electromagnetismo, donde el campo magnético generado por los imanes y las bobinas provoca la tracción o repulsión necesaria para hacer girar el eje del motor [9].



Figura 2.2: Motor DC.

*Nota: Figura obtenida de [9].*

### 2.2.5.2. Motores sin escobillas

En la Fig. 2.3 se muestra los motores sin escobillas, conocidos como motores brushless. Son motores eléctricos que no requieren de escobillas para girar el rotor, lo cual evita pérdidas y desgaste por fricción. Estos motores tienen una alta relación entre torque y velocidad, lo que resulta en una mayor eficiencia y rendimiento en comparación con los motores DC convencionales con escobillas. Por esta razón, han ganado popularidad y relevancia en aplicaciones industriales [10].

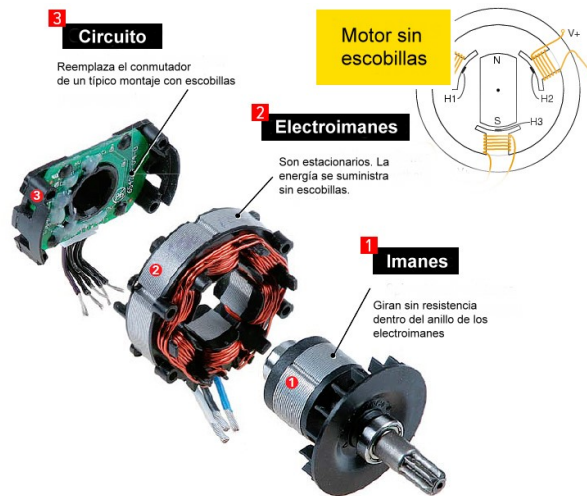


Figura 2.3: Partes de un motor sin escobillas.

*Nota: Figura obtenida de [10].*

### 2.2.5.3. ESC

Un variador de velocidad (ESC) como se muestra en la Fig. 2.4 es un componente electrónico que permite controlar la velocidad y dirección de giro de un motor. Está compuesto por varios elementos en un circuito que interpretan la información del motor para su control. Utilizando un grupo de transistores, el ESC logra un control suave y preciso de la velocidad de giro del motor, ofreciendo mayor eficiencia en comparación con los variadores mecánicos del pasado [11].

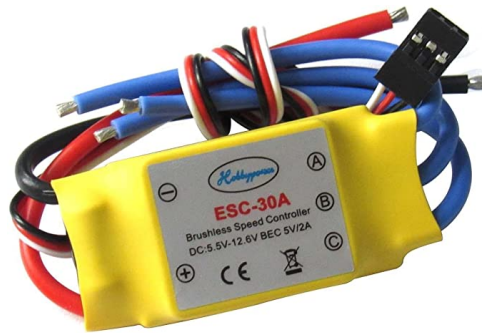


Figura 2.4: Controlador Variador de Velocidad.

*Nota: Figura obtenida de [11].*

#### 2.2.5.4. Puentes H

Los puentes H como se muestra en la Fig. 2.5 son sistemas de control que permiten la inversión de giro y el control de arranque y velocidad en un motor de corriente continua (DC) [12].

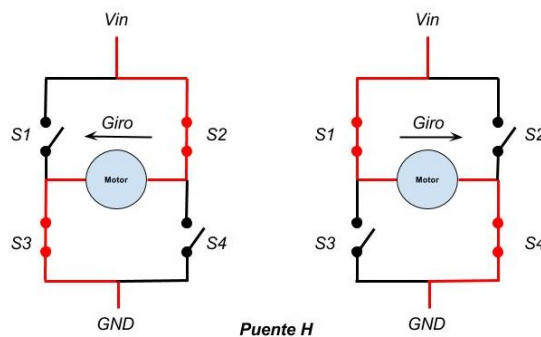


Figura 2.5: Funcionamiento puente H.

*Nota: Figura obtenida de [12].*

#### 2.2.5.5. Baterías

Las baterías que se muestran en la Fig. 2.6 son dispositivos compactos que almacenan energía eléctrica y la suministran a otros componentes según la aplicación. Existen diferentes

tipos de baterías, cada una diseñada para adaptarse a diferentes necesidades y requerimientos.



Figura 2.6: Baterías tipo Lipo.

*Nota: Figura obtenida de <https://www.midronedecarreras.com/bateria-lipo/>*

## 2.2.6. Control de robots móviles

### 2.2.6.1. Métodos de teleoperación

Los sistemas de teleoperación facilitan la comunicación a distancia entre un usuario y un dispositivo esclavo. Utilizando canales como redes de computadoras, radio frecuencia o microondas, se transmiten señales de control y se reciben datos del esclavo. Existen distintas tecnologías de teleoperación, como la transmisión mediante radio frecuencia, que abarca un rango de 3 kHz a 300 GHz y permite una amplia cobertura, atravesando objetos. La comunicación por infrarrojos, en cambio, utiliza radiaciones electromagnéticas de onda larga generadas por un diodo LED y se utiliza para distancias cortas, pero no atraviesa objetos [13].

Por último, las microondas son utilizadas en comunicaciones de larga distancia, con longitudes de onda que van desde un metro hasta un milímetro. Trabajan en un rango de frecuencia de 300 MHz a 300 GHz y son una opción más económica para las comunicaciones de larga distancia. El avance tecnológico ha impulsado el desarrollo de nuevas formas de comunicación inalámbrica, como el Wifi y el Bluetooth, ampliamente utilizados en la actualidad. El Wifi se utiliza en dispositivos electrónicos y utiliza un enrutador como punto central de conexión para



los usuarios. El Bluetooth, por otro lado, permite la conexión de varios dispositivos electrónicos en distancias cortas [14].

## **2.2.7. Materiales de construcción**

Al construir un robot de batalla, se deben considerar varios factores para la selección de materiales. Estos factores dependen del diseño estructural del robot, como el arma, el chasis y los componentes electrónicos que afectan directamente su peso. Los materiales comúnmente utilizados para la estructura de robots de bajo peso incluyen PLA, PETG, nylon, aluminio y acero mientras que para el arma, se suelen utilizar materiales como aluminio, acero y titanio [3].

### **2.2.7.1. Plástico**

El plástico es una elección común para la estructura de robots de batalla de bajo peso debido a su ligereza y facilidad de fabricación. Para Susana S. en [15] los principales plásticos utilizados en la impresión 3D son los que se detallan a continuación:

- **ABS:** es un plástico resistente y ligero utilizado en robots de batalla por su durabilidad y facilidad de moldeo. Aislante eléctrico, ideal para carcasas y estructuras. Se debe considerar su resistencia térmica en ambientes agresivos.
- **PLA:** también llamado ácido poliláctico es otro material común en robots de batalla debido a que es biodegradable y fácil de imprimir en 3D. Menos resistente que el ABS, pero adecuado para componentes no sometidos a impactos intensos.
- **PETG:** copolímero de tereftalato de polietileno y glicol es un material utilizado en robots de batalla debido a su alta resistencia, tenacidad y flexibilidad. Apto para aplicaciones que requieren mayor durabilidad y resistencia a impactos. También puede ser impreso en 3D y ofrece una mejor transparencia que el ABS o el PLA.

- TPU: el poliuretano termoplástico es un material elástico y flexible utilizado en robots de batalla para partes que requieren alta resistencia al impacto y estiramiento. Ideal para ruedas, amortiguadores y otros componentes que necesitan absorber golpes y movimientos bruscos. Proporciona una mejor tracción y agarre en superficies irregulares.

#### **2.2.7.2. Metales**

En esta sección se mencionan los metales que son ampliamente utilizados en la construcción de estructuras y armas de robots. Estos metales suelen ser altamente resistentes, pero un factor importante a considerar es su densidad, ya que puede influir en el peso total del robot. Para [3] los principales metales empleados para la construcción de robot de batalla son los que se describen a continuación:

- Aleaciones de aluminio: tienen aproximadamente  $1/3$  de la densidad del acero, lo que lo convierte en un metal ligero y atractivo para los diseñadores al construir la estructura de un robot. Sin embargo, dependiendo de la aleación, puede tener una resistencia inferior y no ser recomendable para su uso en el campo de batalla.
- Aleaciones de titanio: son uno de los mejores materiales para robots de batalla en todas sus categorías, debido a que su densidad con respecto al acero es de la mitad y alcanza resistencias superiores, sin embargo, el costo de éste suele ser elevado.

# Capítulo 3

## Metodología

### 3.1. Diseño mecánico

El diseño propuesto del robot de batalla de 3lb se muestra en la Fig.3.1, donde se presenta el ensamble general del robot, mismo que será desglosado en diferentes subensambles para mejor visualización y comprensión del diseño.

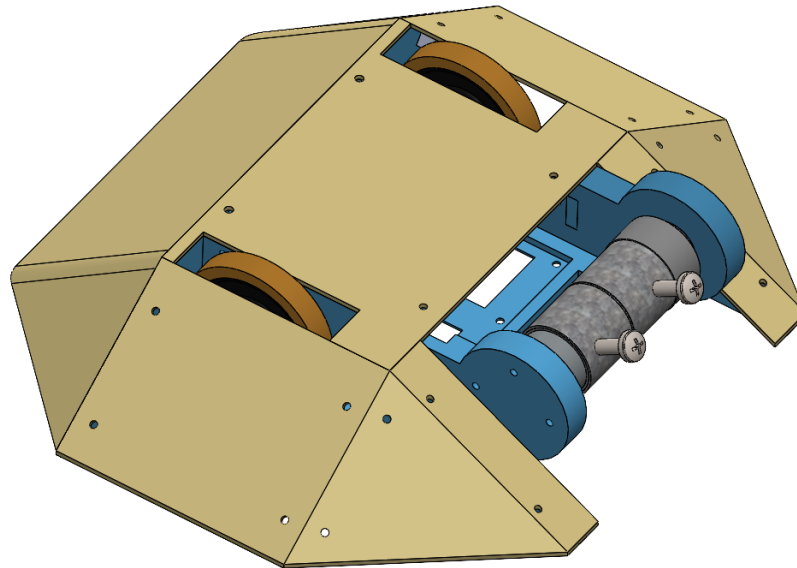


Figura 3.1: Diseño propuesto de robot de batalla de 3lb.

### 3.1.1. Chasis

El diseño del chasis está dividido por diferentes partes de fácil ensamblaje Fig.3.2, las cuales se encuentran unidas por tornillos de sujeción M3 de distintas longitudes. Cada una de sus piezas fue realizada con impresión 3D con diferentes configuraciones según su funcionalidad e impresas con el material PETG, debido a su bajo peso, resistencia mecánica y a impactos.

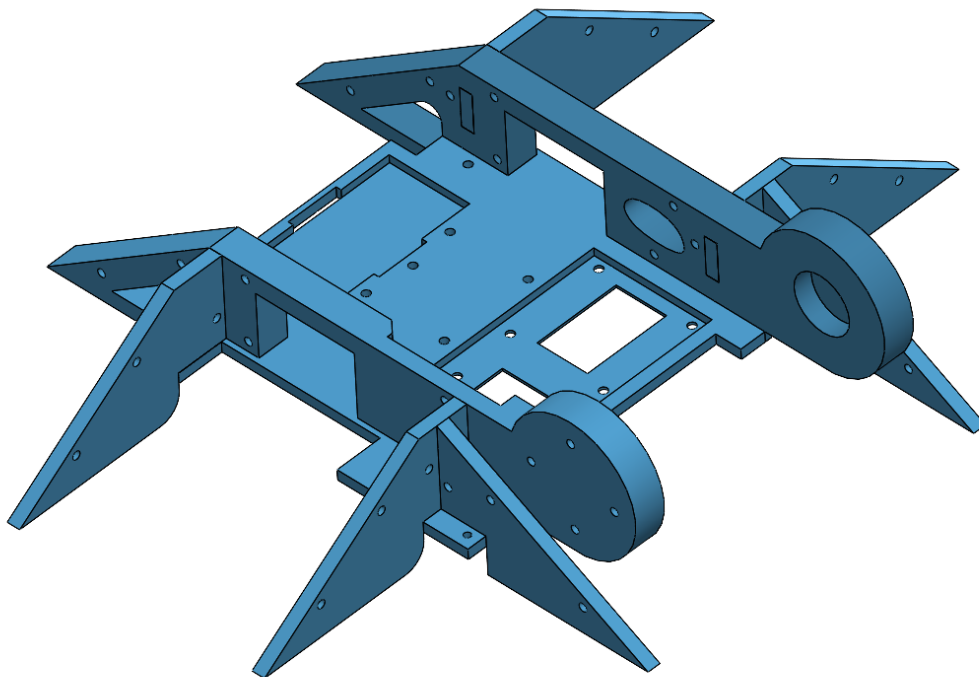


Figura 3.2: Subensamble del chasis.

Para el diseño del chasis principal derecho se tomó en cuenta las dimensiones y peso con el material PETG simulado en SolidWorks, también se realizaron orificios para reducir el peso de las piezas y el robot en cuestión como se muestra en la Fig.3.3. El relleno y la calidad en la impresión fue de 100 y 1.2 respectivamente, para asegurar la resistencia de la pieza ante posibles impactos.

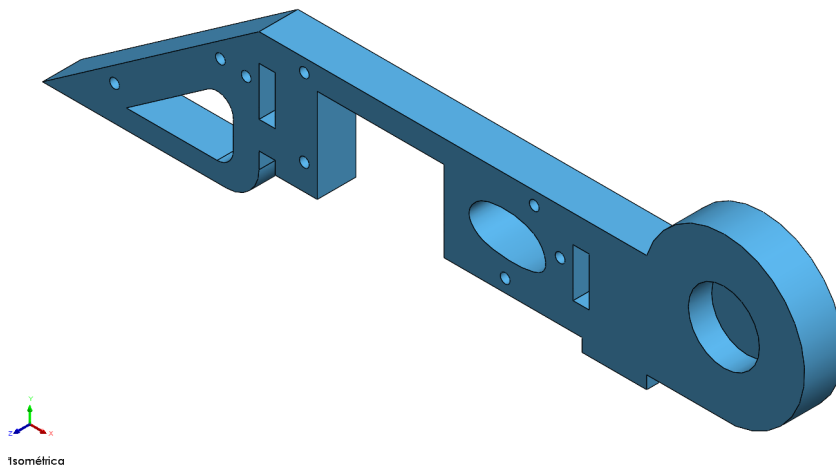


Figura 3.3: Chasis derecho diseñado en SolidWorks.

En la pieza mostrada se observa un agujero no pasante, donde reposará el rodamiento para el eje del arma, además se realizaron orificios pasantes para sujeción con otras piezas mediante uniones.

El diseño del chasis principal izquierdo se lo realizó en simetría a la pieza del chasis derecho, con diferencia que esta pieza sostendrá el motor del arma y el variador de velocidad (ESC) como se muestra en la Fig.3.4.

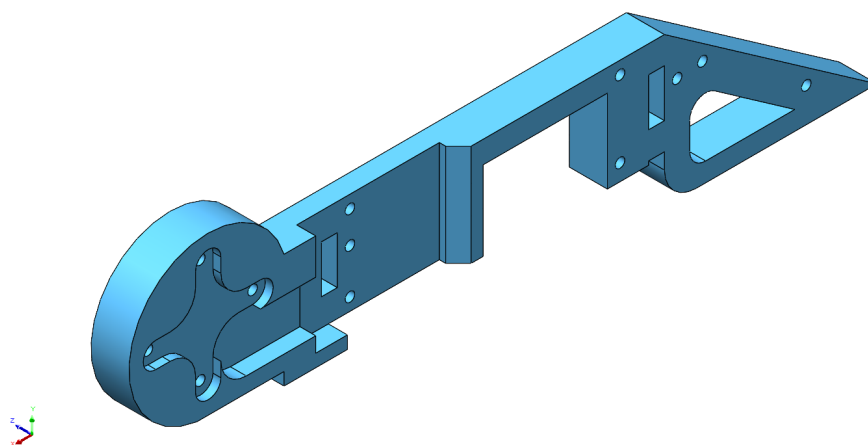


Figura 3.4: Chasis izquierdo diseñado en SolidWorks.

La base fue realizada con el objetivo de reposar sobre la misma todos los componentes electrónicos como se nota en la Fig.3.5

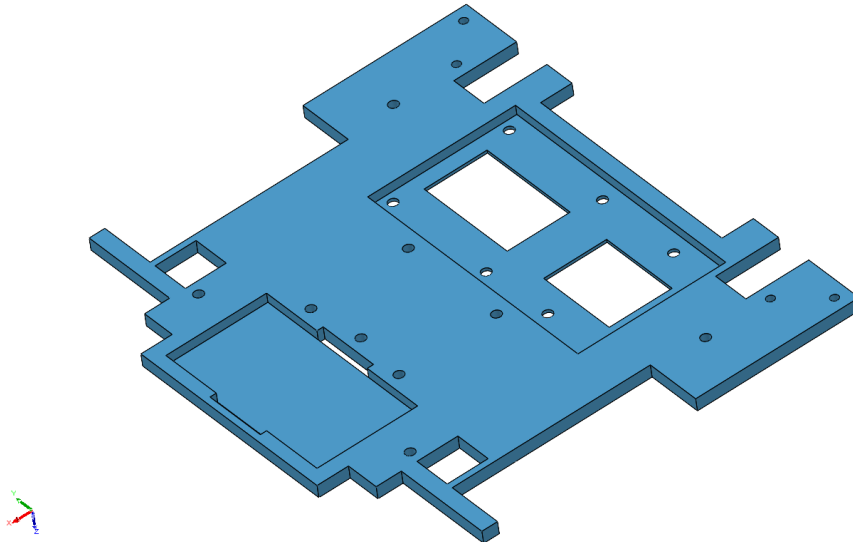


Figura 3.5: Base diseñada en SolidWorks.

A continuación, en las Fig. 3.6, 3.7 y 3.8 se muestran las piezas complementarias del chasis que servirán para el ensamblaje de la cubierta principal del robot.

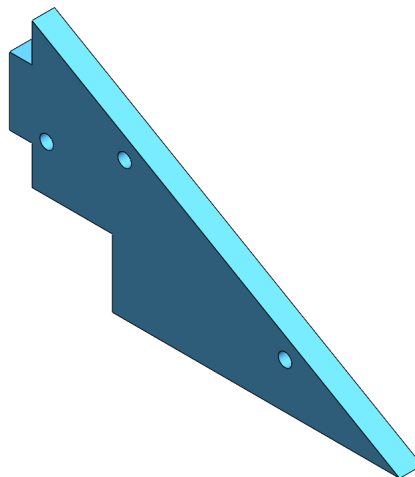


Figura 3.6: Frontal chasis.

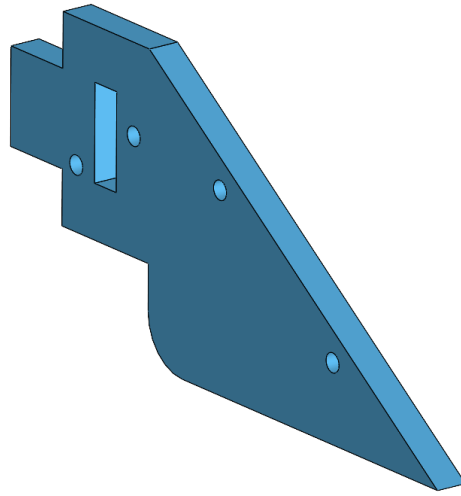


Figura 3.7: Laterales frontales del chasis.

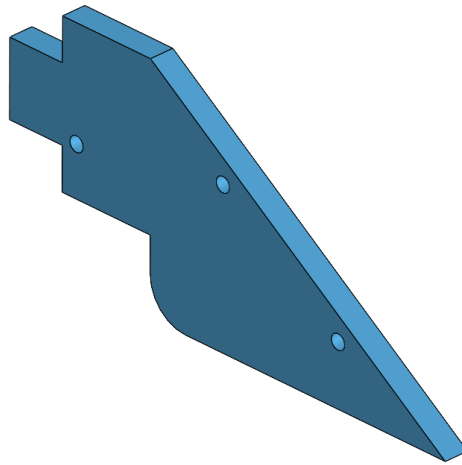


Figura 3.8: Laterales posteriores del chasis.

### 3.1.2. Eje del Arma

El eje del arma en la Fig.3.9 está relacionado estrictamente con el eje central del motor brushless que se encuentra unido mediante un acople roscado y anillo de retención sujeto al

eje impreso en PETG. Está sujeto del chasis principal izquierdo con un eje roscado de 8mm y reposado sobre un rodamiento del mismo diámetro.

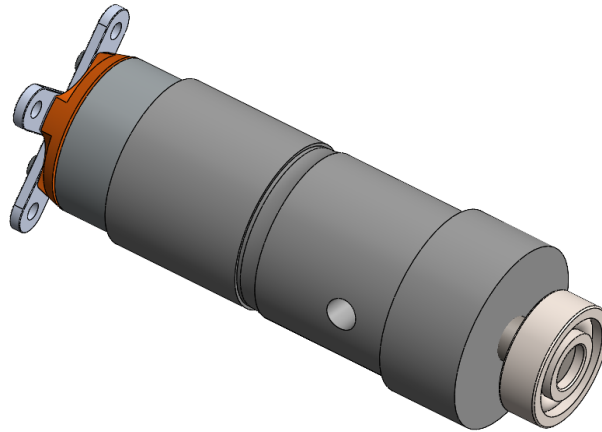


Figura 3.9: Eje del arma ensamblado.

Como se muestra en la Fig.3.10, el eje del arma está compuesto de cuatro piezas fundamentales para su correcto funcionamiento. Sin embargo, dentro del motor brushless se utilizó un anillo de retención de 4mm para sujetar el eje rotor con las piezas del eje impresas.

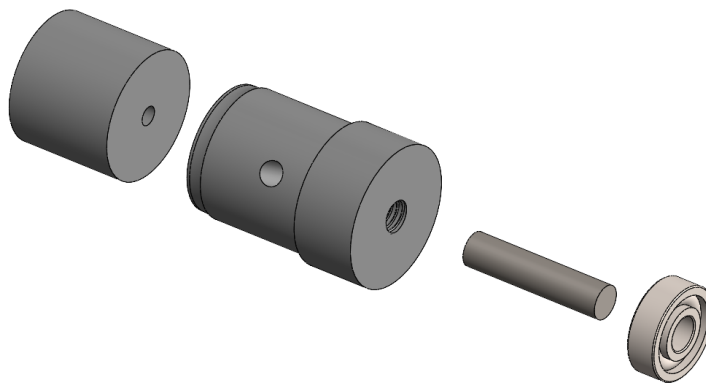


Figura 3.10: Vista explosionada del eje del arma.



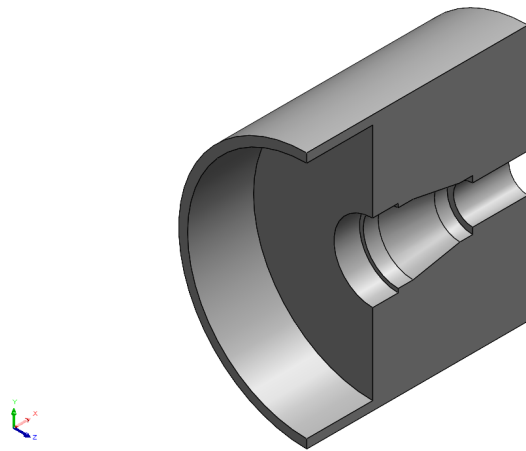


Figura 3.11: Vista de sección del eje izquierdo del arma.

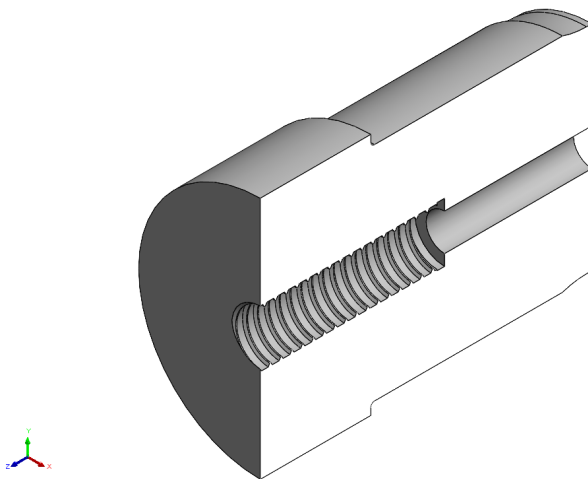


Figura 3.12: Vista de sección del eje derecho del arma.

### 3.1.3. Arma

El eje del arma está recubierto por una unión conduit comercial de 1" de acero galvanizado como se muestra en la Fig.3.13 con dos tornillos que actúan como cuchillas para el golpeo de adversarios.



Figura 3.13: Unión conduit de 1" de acero galvanizado.

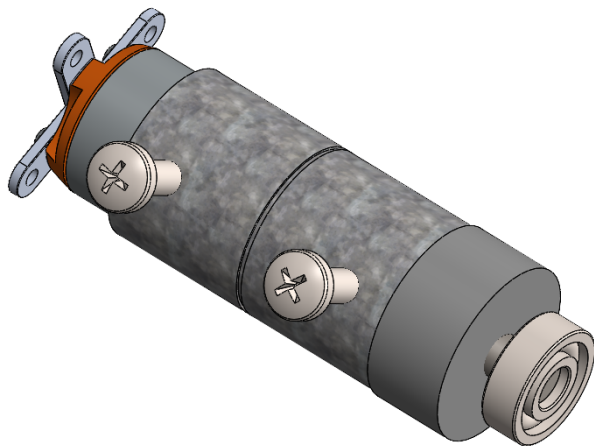


Figura 3.14: Arma ensamblada.

### 3.1.4. Cubierta

Para proteger todos los componentes se ha realizado una cubierta como se muestra en la Fig.3.15 con piezas de fácil ensamblaje, mismas que fueron realizadas con hierro negro galvanizado de espesor 0.8 mm las cuales están sujetas al chasis general del robot mediante uniones.

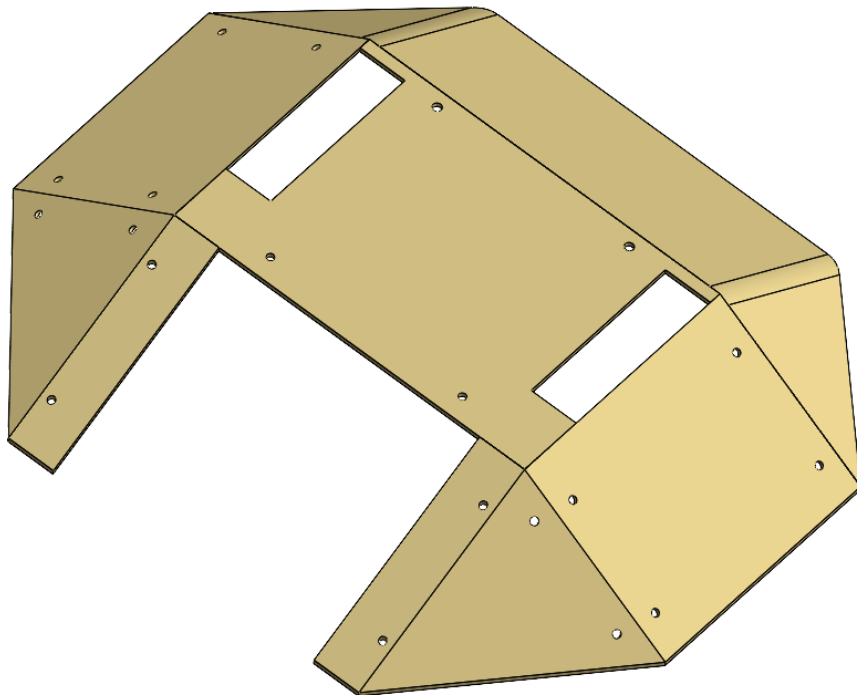


Figura 3.15: Cubierta ensamblada.

## 3.2. Diseño electrónico

### 3.2.1. Esquema electrónico

El robot debe ser controlado mediante conexión inalámbrica por normas de competición, de esta manera se detalla a continuación los diagramas gráficos de los componentes y arquitectura utilizados.

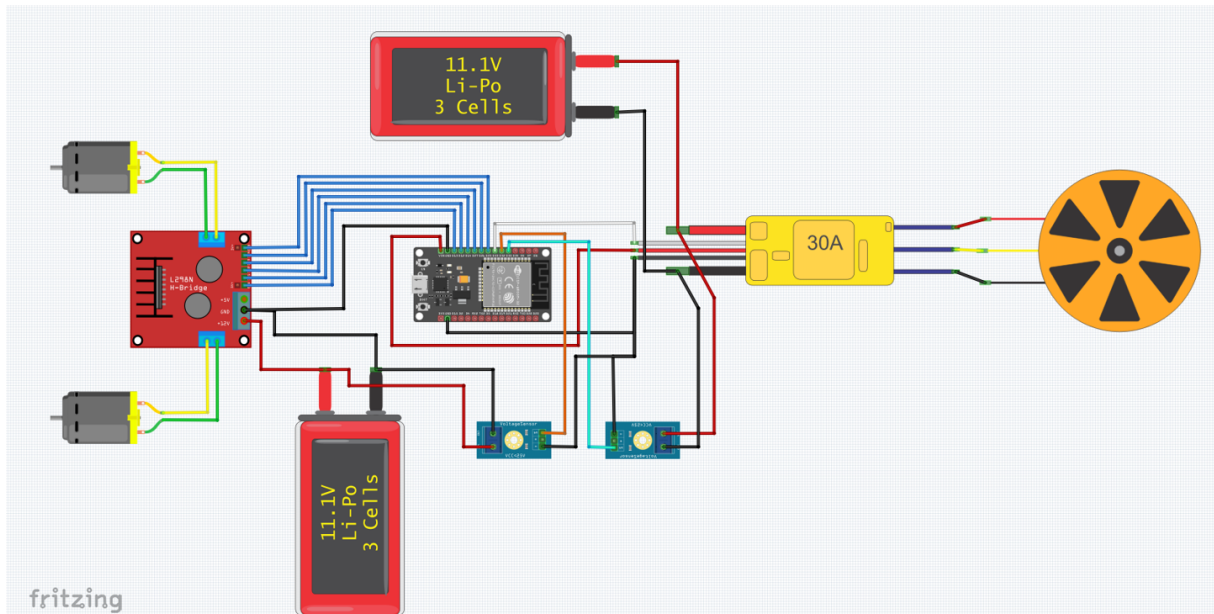


Figura 3.16: Diagrama de conexión del robot.

El circuito electrónico cuenta con un microprocesador ESP32 encargado de enviar y recibir datos a los componentes. Incluye un controlador de motores L293N en modo puente H, que permite controlar tanto la velocidad como la activación de los motores DC. Además, se utiliza un ESC (Electronic Speed Controller) para activar y controlar el motor brushless de manera eficiente.

### 3.2.2. Motorreductor GA25-370 12V

Para la selección del motor DC se toma en cuenta los requerimientos del diseñador en base a las reglas de competición.

- Carga: 3 lb (1,36 kg)
- Ruedas con un diámetro: 6 cm
- Velocidad deseada: 2 m/s

- Cantidad de motores: 2

El cálculo del torque de los motores está dado por la eq. (3.1).

$$\text{Torque} = \text{Fuerza} \times \text{Distancia} \quad (3.1)$$

$$\text{Torque} = 1,36 \text{ kg} \times 3 = 4,08 \text{ kg/cm}$$

$$\text{Torque por cada motor} = 2,04 \text{ kg/cm}$$

El cálculo del perímetro está dado por la eq. (3.2).

$$\text{Perímetro} = 2 * \pi * \text{radio} \quad (3.2)$$

$$\text{Perímetro} = 2 * \pi * 3$$

$$\text{Perímetro} = 0,1985$$

El cálculo de la velocidad está dado por la eq. (3.3).

$$\text{Velocidad} = \frac{120}{\text{perímetro}} \quad (3.3)$$

$$\text{Velocidad} = \frac{120}{0,1985}$$

$$\text{Velocidad} = 604,53 \text{ rpm}$$

Basado en los cálculos realizados para la selección del motor DC, se elige uno de la serie de motorreductores de 12V con engranajes metálicos para garantizar su resistencia ante impactos, tal como se muestra en la Fig.3.17.

El motorreductor seleccionado es de CC y trabaja con un voltaje nominal de 12V, además, posee una caja de engranajes metálicos que lo hace más resistente y compacto ante impactos a los que estará sometido. A continuación, se muestra las especificaciones generales del fabricante:

- Tensión de funcionamiento: 12V.

- Velocidad sin carga: 620 RPM.
- Corriente de funcionamiento: Sin carga 50 mA, Pico 1.2<sup>a</sup>
- Torque: 2.1 kg-cm.
- Relación de engranaje: 21:1.
- Peso: 85g.



Figura 3.17: Motor DC metálico 12V.

Se selecciona el motor de acuerdo con las especificaciones calculadas, sobredimensionando los valores para garantizar que se cumpla con lo esperado.

### 3.2.3. Driver controlador de motores

El driver de motores seleccionado es el L293N por su equilibrado funcionamiento con respecto a los demás controladores de motores. Además, este driver satisface las necesidades de

corriente del motor y el voltaje de suministro.

Se muestra los requerimientos del controlador en base a los motores seleccionados:

- Corriente: (1,2-2) A
- Voltaje: 12 V

A continuación, se presentan las características de cuatro drivers para motores disponibles en el mercado nacional, que se ajustan perfectamente a las especificaciones del motor. Estos detalles se encuentran detallados en el Cuadro 3.1.

Cuadro 3.1: Drivers para motores DC y características

	L293D	L293N	DRV8825	TB6612FNG
Peso(g)	1,2	24,1	2,5	2,8
Amperaje(A)	0,6	1,2 - 2	1,5 - 3	1,2 - 2
Eficiencia(%)	80	31 - 70	70 - 90	90 - 95
Voltaje(V)	35	35	10,5	15
Precio(\$)	1,50	4,50	4,50	5,20

A continuación, se muestra las características del driver seleccionado:

- Canales separados para dos motores.
- Voltaje de potencia (V motor): 5V - 35V DC
- Voltaje lógico: 5V
- Máximo de corriente de salida: 3 A por canal
- Consumo de corriente (lógico): 0 a 36mA
- Frecuencia máxima de PWM: 100 kHz
- Capacidad de corriente: 2A (picos de hasta 3A)

- Potencia máxima: 25W
- Disipación de potencia máxima: 20 W ( a 75 grados Celsius)
- Dimensiones: 43 \* 43 \* 27 mm
- Peso: 24,1g

En la Fig.3.18 se muestra el puente H L298N, que permite controlar dos motores DC de hasta 2A y admite entradas de señal PWM para el control de velocidad.



Figura 3.18: Puente H L298N.

### 3.2.4. Motor Brushless

Se implementó el motor brushless A2212-1400KV como se muestra la Fig.3.19, a continuación, se detallan las características principales del motor:

- Número de celdas: 2-3s lipo (7 V a 12 V)
- Corriente de eficiencia máxima: 6-12 A
- Corriente máxima: 16 A / 60 s



- Tamaño del eje: 3,17 mm
- Vatios máximos: 180 W
- Peso: 47 g
- Dimensiones: 27,5 mm (diámetro) x 30 mm (longitud)
- ESC mínimo recomendado: 20 A



Figura 3.19: Motor brushless A2212-1400KV

### 3.2.5. Batería

Se utiliza 2 baterías tipo Lipo Tattu 650 mAh 3S, debido a su calidad y proporción de energía confiable. La capacidad es de 650 mAh lo que permite brindar la potencia necesaria para los motores DC y motor brushless durante un tiempo prolongado. Debido a su tamaño y peso son muy compactos y los hace ideales para la aplicación. La batería seleccionada se muestra en la Fig. 3.20



Figura 3.20: Batería tipo Lipo Tattu 650mAh 3S

Las baterías seleccionadas para el robot de batalla deben cumplir con las siguientes características:

- Peso: 80g
- Voltaje: 12V
- Duracion bateria: 5 min

De acuerdo con las características a satisfacer, se realiza los cálculos pertinentes para la selección de las baterías.

### 3.2.5.1. Cálculo de duración de batería para los motores DC

$$Duración = \frac{Amperios\ hora}{Amperaje\ extraído} \quad (3.4)$$

$$Duración = \frac{0,65\ Ah}{2\ A}$$

$$Duración = 0,325\ horas$$

$$Duración = 19,5\ min$$

### 3.2.5.2. Cálculo de duración de batería para motor Brushless

$$\text{Duración} = 0,65\text{Ah} / 6\text{A}$$

$$\text{Duración} = 0,108 \text{ horas}$$

$$\text{Duración} = 6,5 \text{ min}$$

## 3.3. Diseño de control

### 3.3.1. Diagrama de flujo

Se detalla el proceso de funcionamiento de los componentes mediante un diagrama de flujo en la Fig.3.21.

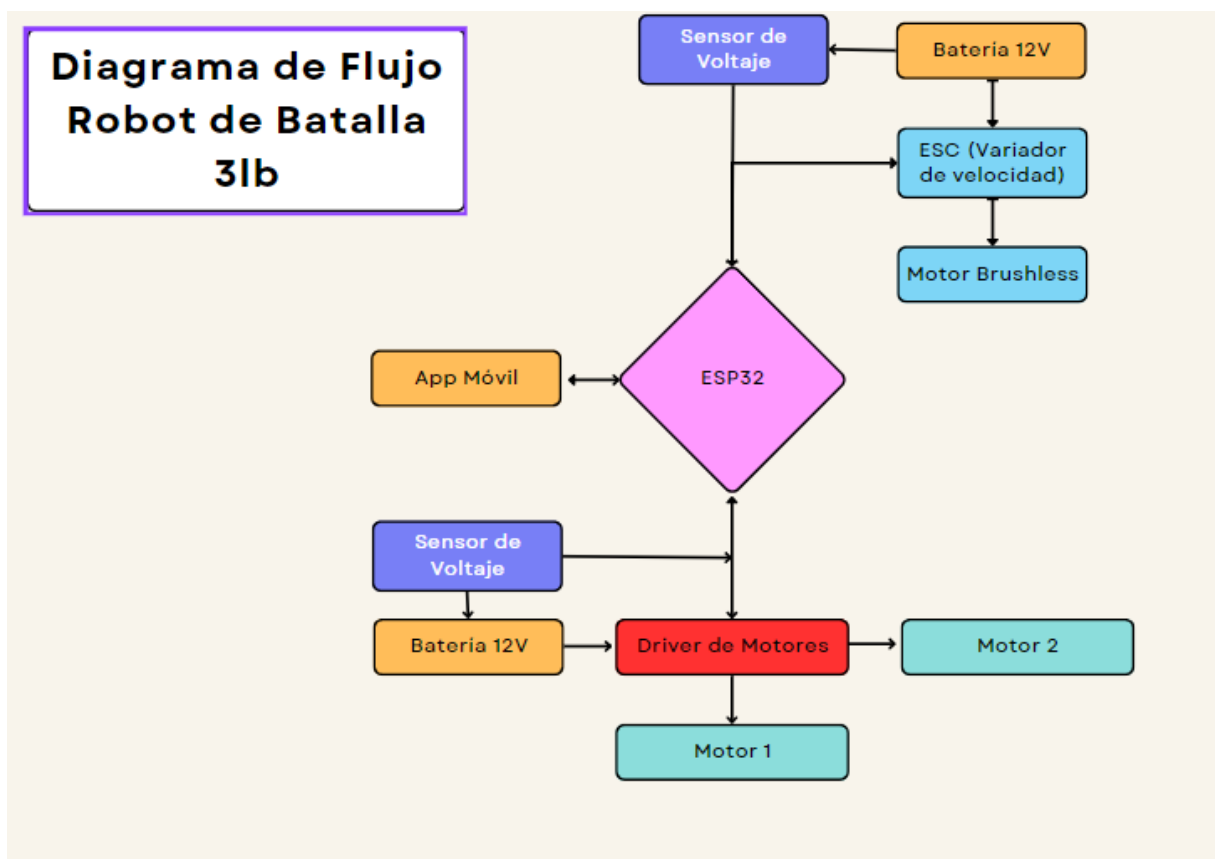


Figura 3.21: Diagrama de flujo.

### 3.3.2. Programación

La programación fue realizada en el entorno de arduino IDE, misma que no tiene compatibilidad directa con el controlador ESP32, por lo que fue necesario incluir dentro del gestor de tarjetas la url: `https://dl.espressif.com/dl/package_esp32_index.json` para trabajar como con cualquier otro controlador compatible. También, fue necesario incluir distintas librerías tanto para la conexión bluetooth, control del motor brushless y la lectura pwm para los motores DC. En el anexo A, se muestra el código de programación detallado línea a línea.

### 3.3.3. Aplicación móvil

La app fue realizada mediante el entorno de programación AppInventor en línea como se observa en la Fig.3.22, programa el cual permite desarrollar aplicaciones para teléfonos móviles con sistema operativo android. La programación de este sitio web es por bloques.

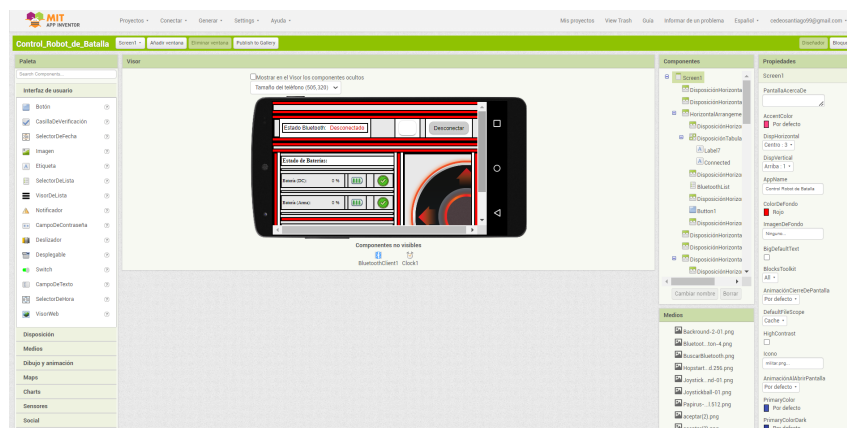


Figura 3.22: Entorno de App Inventor

Para la distribución de los diferentes apartados de la app se dividió por secciones como se muestra en la Fig.3.23, de esta manera se visualiza el estado de las baterías del robot, control del arma y de los movimientos del robot mediante un joystick.

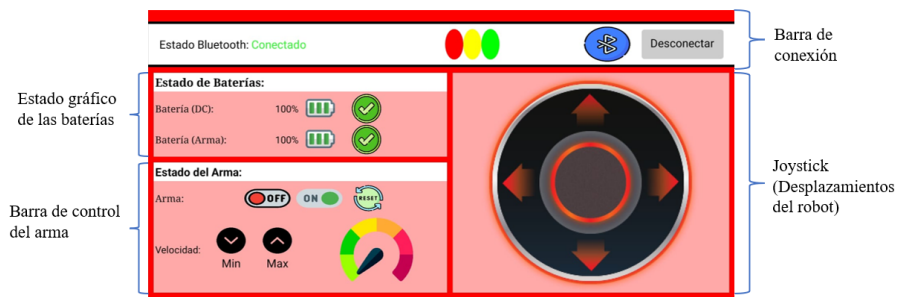


Figura 3.23: Partes de App

### 3.3.3.1. Diagrama de bloques

En la Fig.3.24, se muestra el diagrama de bloques realizado en App Inventor.

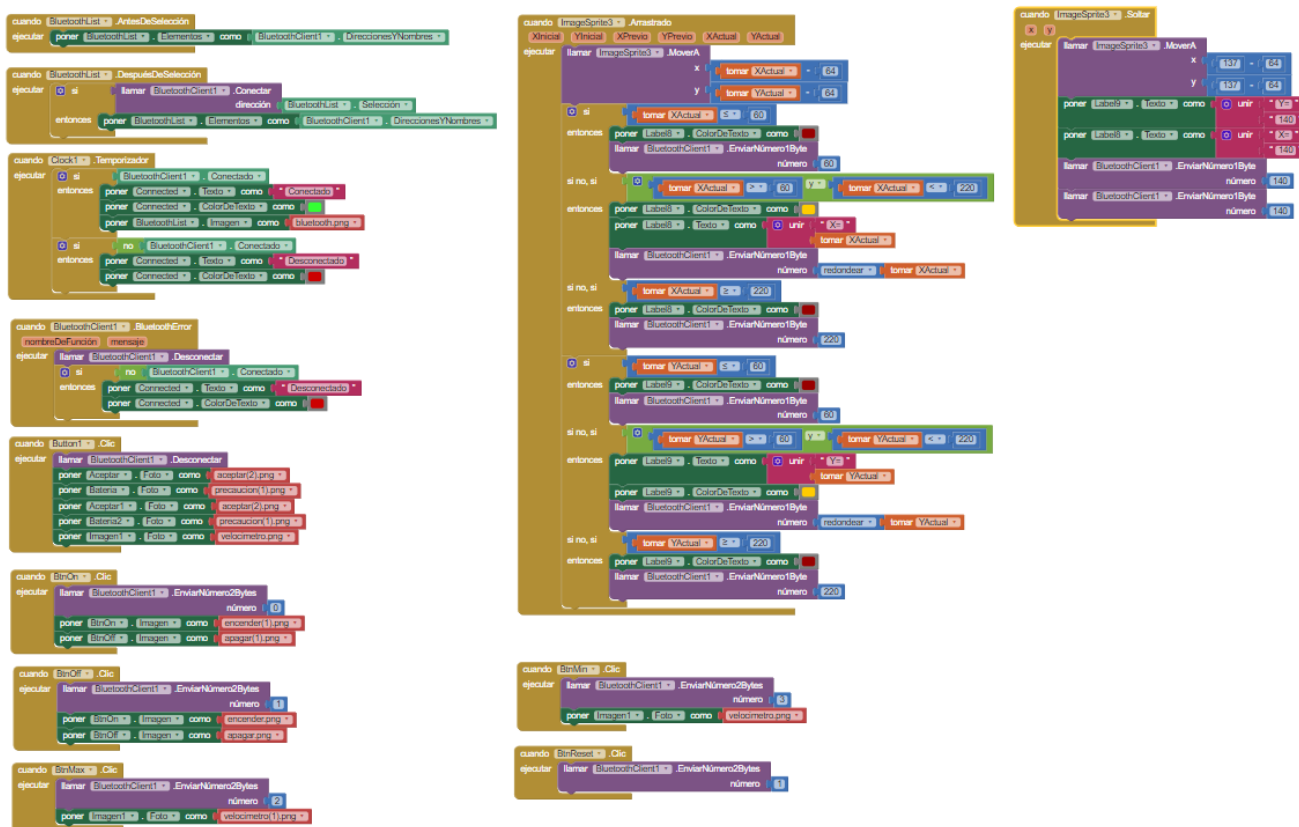


Figura 3.24: Diagrama de bloques general de la aplicación.

El diagrama de bloques se encuentra dividido en diferentes secciones para los distintos apartados de funcionamiento de la aplicación. En la Fig.3.25 se muestra el diagrama correspondiente a la conexión bluetooth de la app con el controlador ESP32.

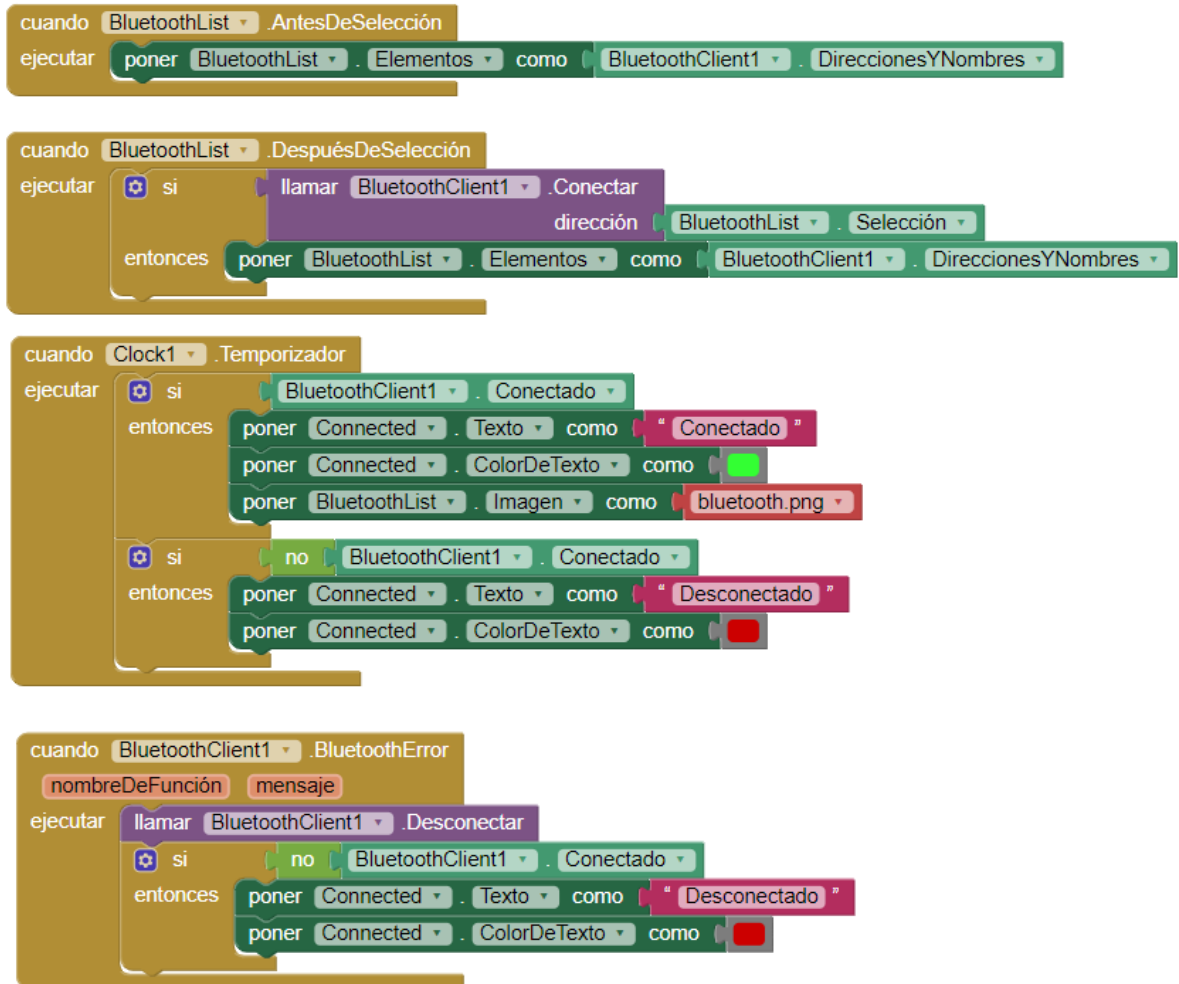


Figura 3.25: Diagrama de bloques de la conexión BT.

En la Fig.3.26, se muestra el diagrama de bloques que corresponde a la lectura de los sensores de voltaje para la visualización en la app.

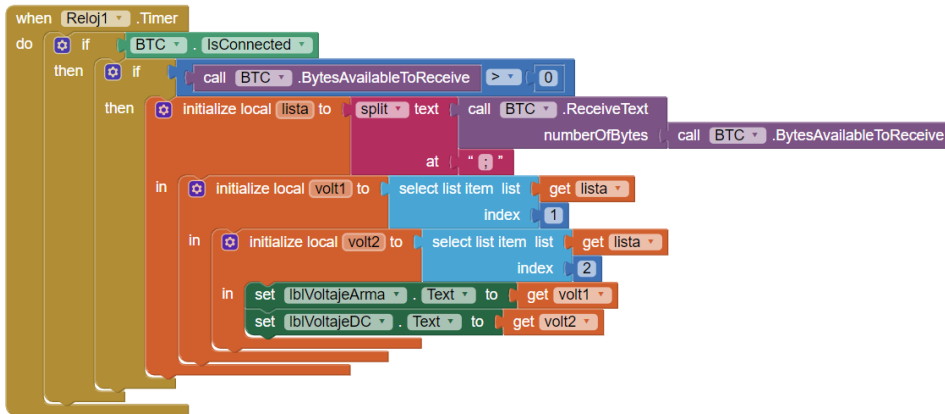


Figura 3.26: Diagrama de bloques, lectura de sensores.

A continuación, se muestra en la Fig.3.27 el diagrama correspondiente a la lectura y envío de datos para las distintas funciones al presionar los botones y el joystick de la app.

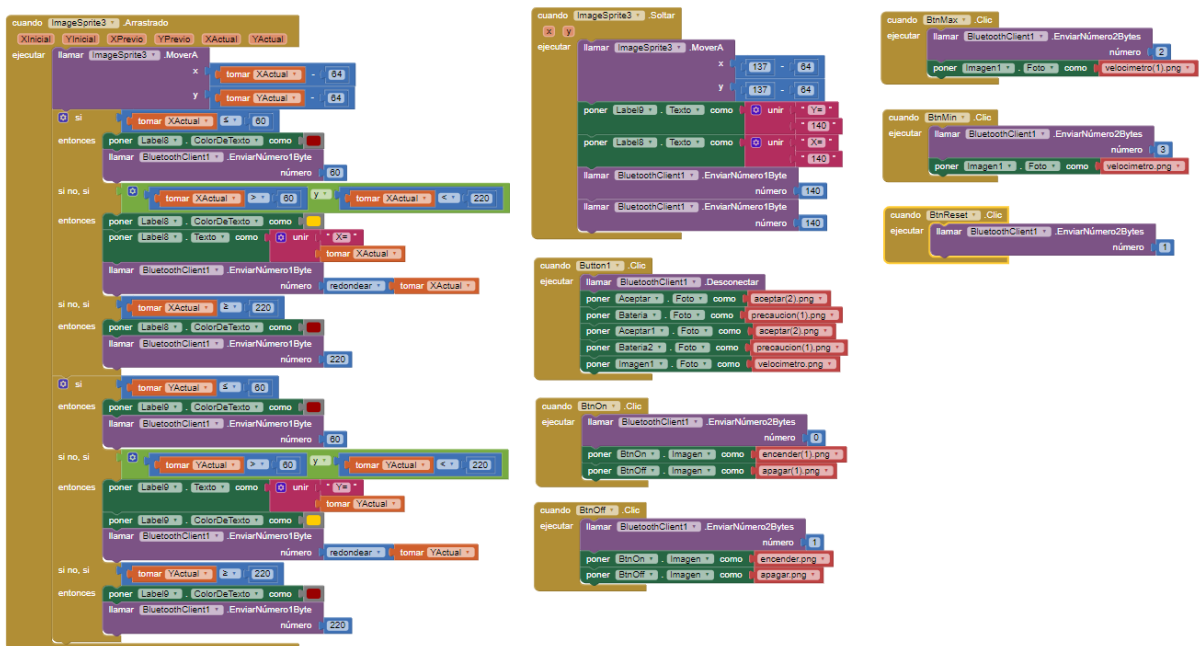


Figura 3.27: Diagrama de bloques, envío de datos desde la app.

# Capítulo 4

## Implementación y pruebas de funcionamiento

### 4.1. Análisis estructural

El análisis de cada pieza fue realizado con la herramienta "simulation" de SolidWorks, mediante la solución adaptativa del método H dentro del análisis estático para realizar un correcto mallado y análisis de convergencia de las piezas y obtener una precisión del 98 % con la realidad.

#### 4.1.1. Análisis del arma

El factor de seguridad que se muestra en la Fig. 4.1 es de 26, debido a que la cubierta del arma está fabricada con acero galvanizado. Esta elección garantiza que esté sobredimensionada y pueda resistir cualquier tipo de arma contrincante.



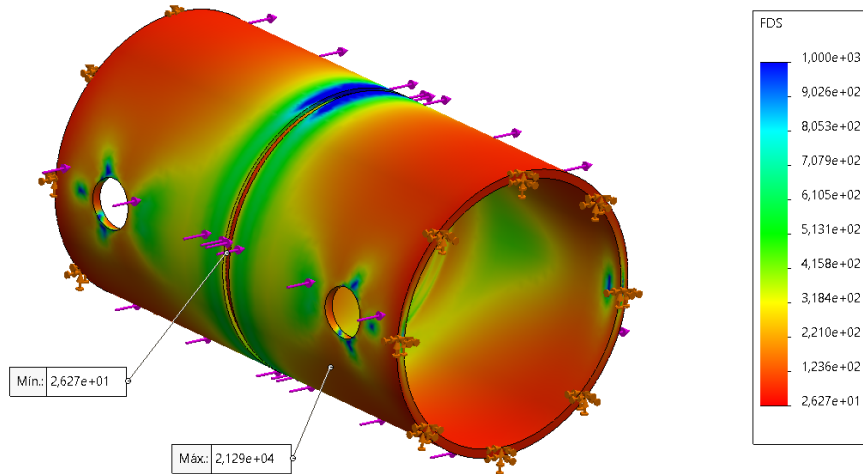


Figura 4.1: Factor de seguridad del arma.

Se muestra en la Fig.4.2, las tensiones presentadas en la cubierta del arma teniendo un máximo de 7,76 MPa.

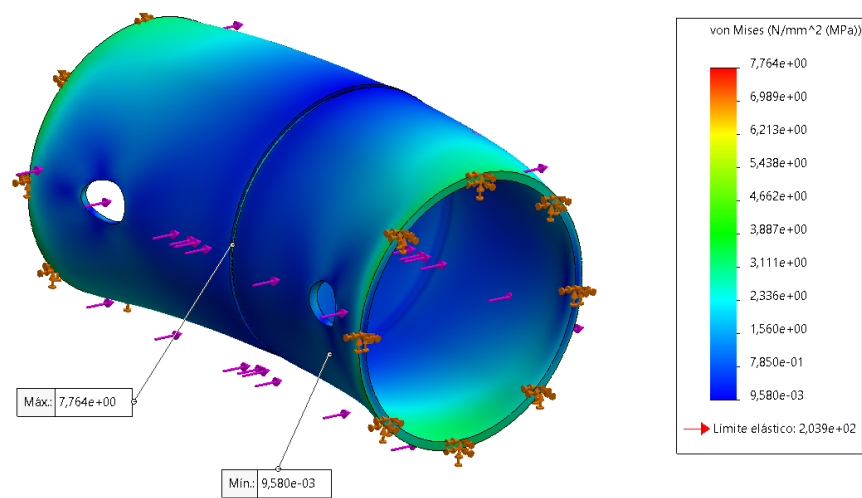


Figura 4.2: Tensiones del arma.

Como se muestra en la Fig.4.3, el mallado se adapta a las curvaturas de la pieza y se presenta un mayor número de nodos en los lugares donde existe más tensión.

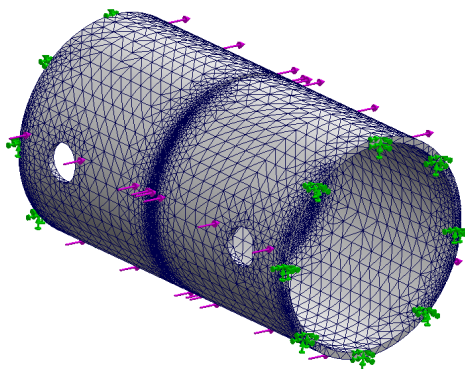
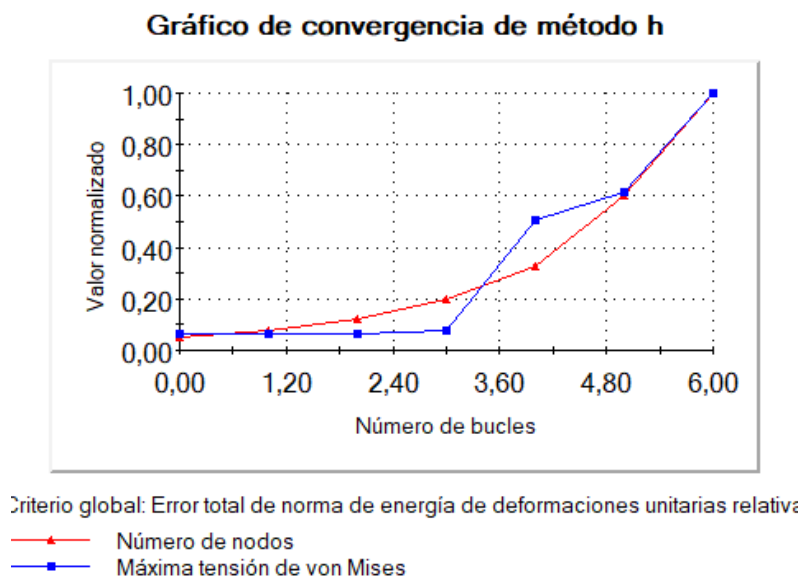


Figura 4.3: Mallado del arma.

El gráfico de convergencia muestra el número de bucles realizado para alcanzar la precisión deseada como se indica en la Fig.4.4.



0,0

Figura 4.4: Análisis de convergencia método H.

El eje del arma fue sometido a una carga de 3 kgf como se muestra en la Fig.4.5, obtenien-

do un factor de seguridad mínimo de 18 sobredimensionado para asegurar su resistencia ante posibles impactos.

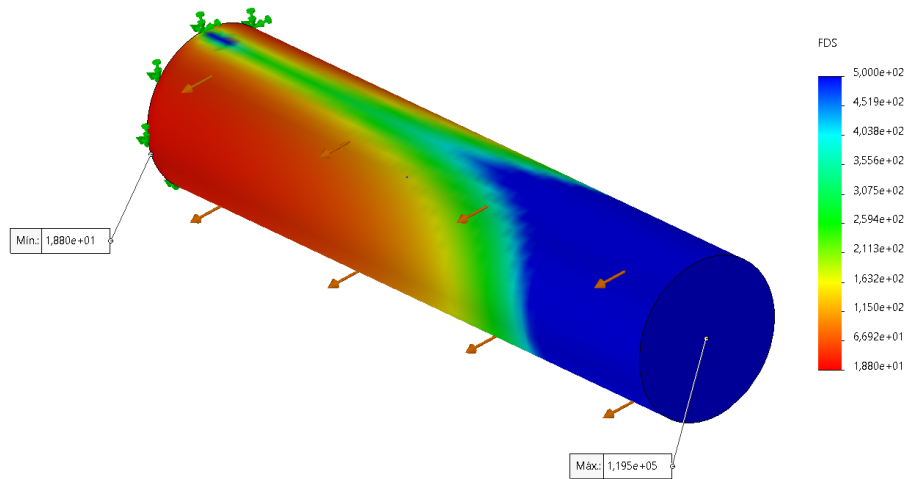


Figura 4.5: Factor de seguridad del eje del arma.

Las tensiones en el eje presenta un máximo de 13MPa como se muestra en la Fig.4.6.

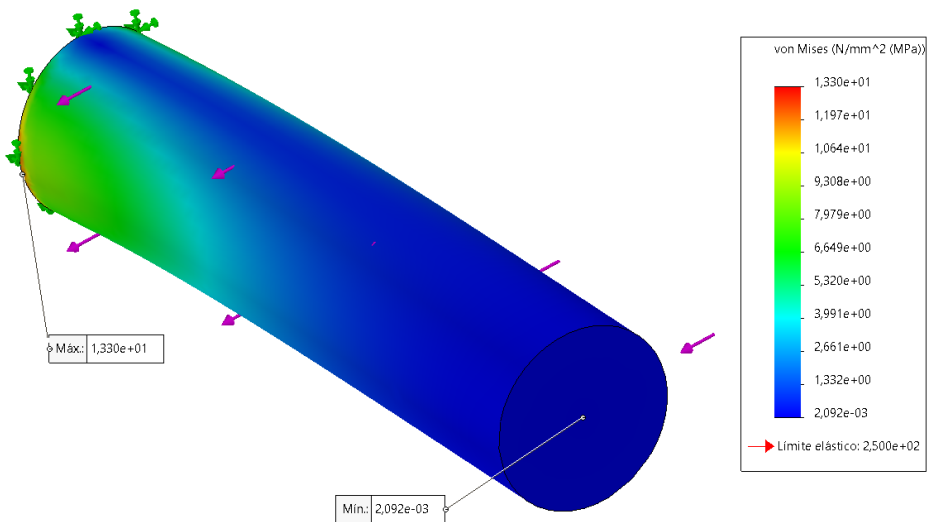


Figura 4.6: Tensiones en el eje del arma.

La simplicidad de la pieza da como resultado un mallado homogéneo debido a que no presenta curvaturas, por este motivo el análisis de convergencia para la precisión del 98% utilizó

un solo bucle como se muestra en la Fig.4.7.

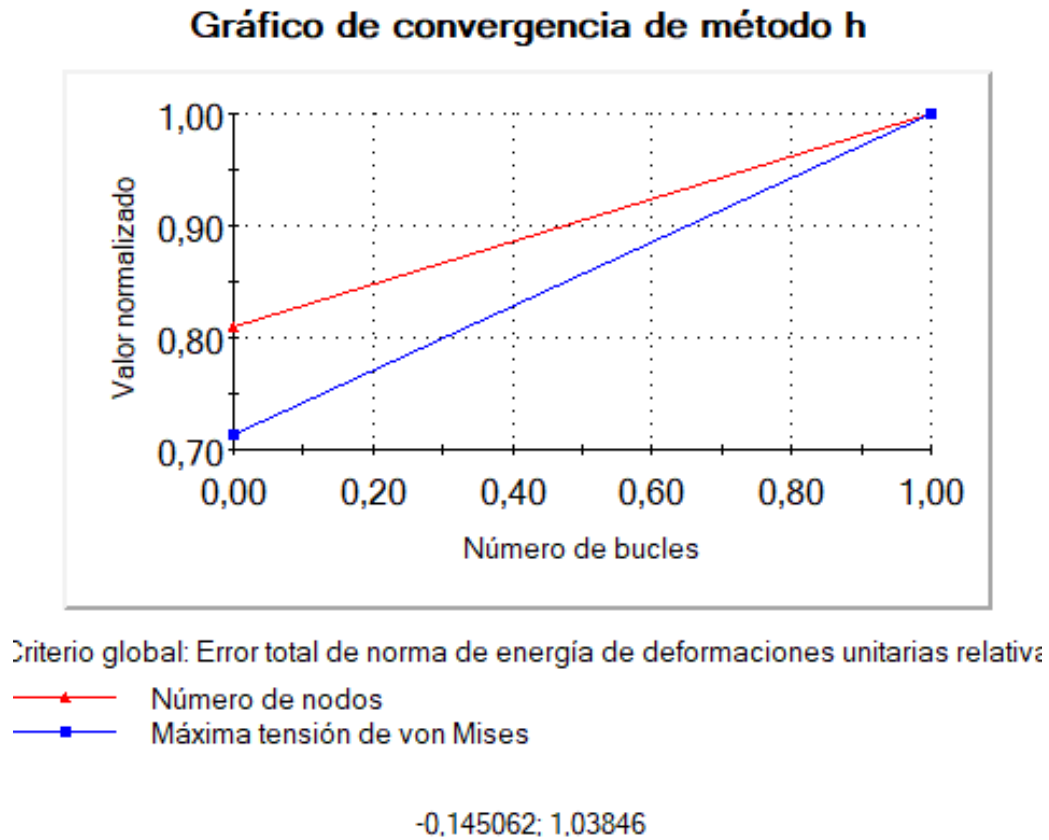


Figura 4.7: Análisis de convergencia método H.

#### 4.1.2. Análisis del chasis

Se realiza el estudio estático de las diferentes piezas que componen el chasis. Se muestra el análisis del chasis principal izquierdo que al ser simetría del derecho no es necesario realizar ambos estudios.

El factor de seguridad mínimo que se presenta al aplicar una fuerza de 3 kgf en los posibles puntos de impacto es de 3,5 como se muestra en la Fig.4.8

Nombre del modelo: ChasisPrincipalDerecho  
Nombre de estudio: Metodo h-(Predeterminado-)  
Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad1  
Criterio: Automático  
Distribución de factor de seguridad: FDS min = 3,5

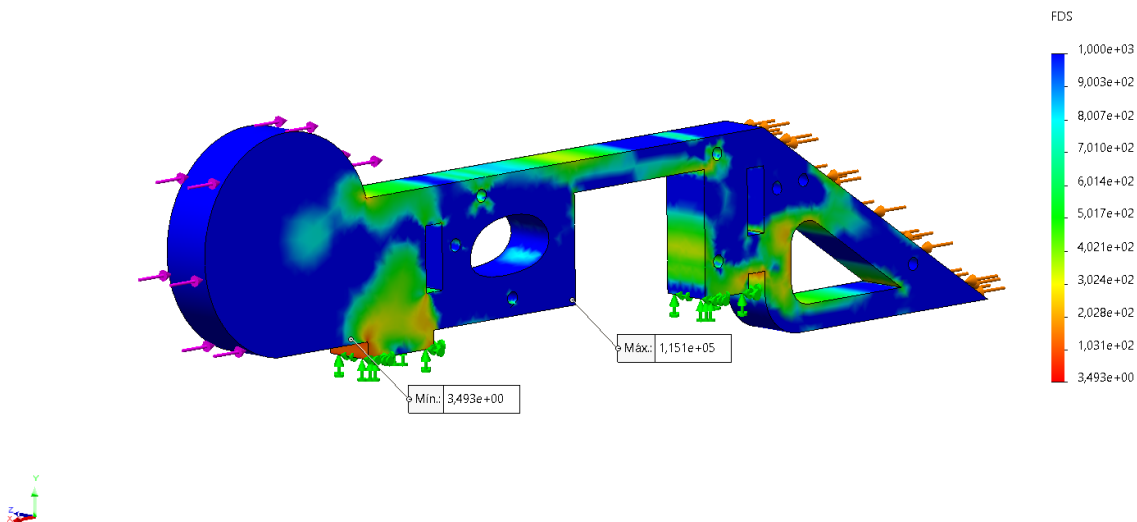


Figura 4.8: Factor de seguridad del chasis principal izquierdo.

La tensión máxima presente en la pieza es de 10MPa como se muestra en la Fig.4.9.

Nombre de estudio: Metodo h-(Predeterminado-)  
Tipo de resultado: Análisis estático tensión modal Tensiones1  
Escala de deformación: 1

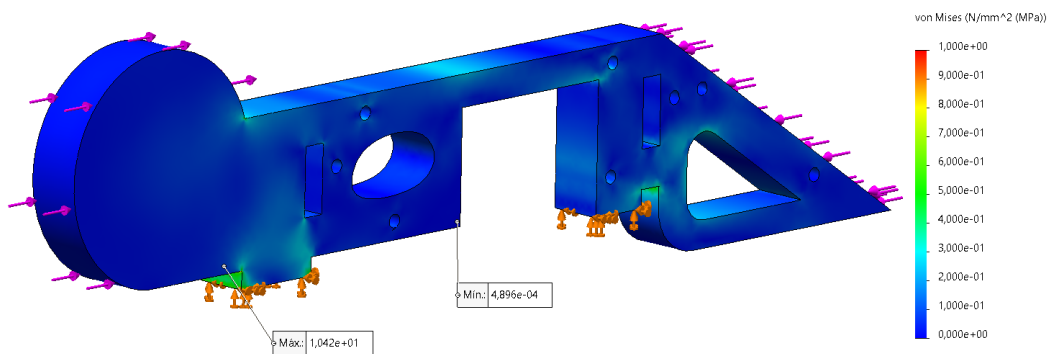


Figura 4.9: Tensión en el chasis principal.

El mallado adaptativo es realizado por la simulación, donde se observa mayor presencia de nodos en los puntos de mayor tensión y curvaturas como se muestra en la Fig.4.10.

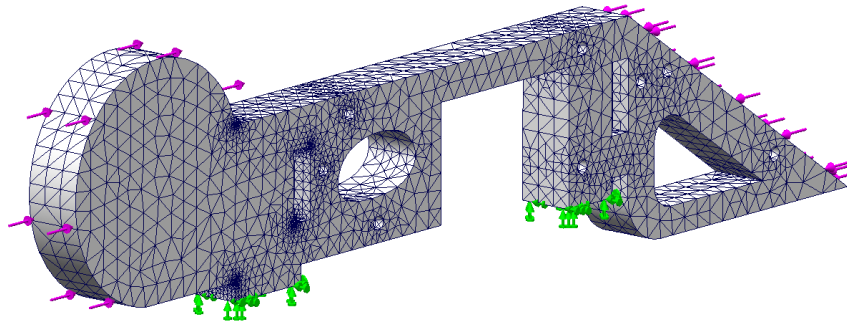
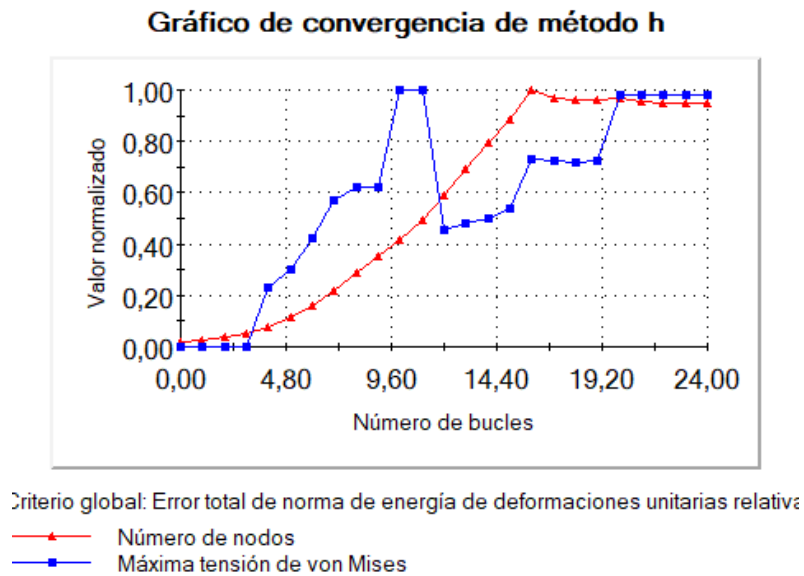


Figura 4.10: Mallado del chasis principal.

En la Fig.4.11 se muestra la gráfica del análisis de convergencia y el número de bucles utilizados para alcanzar la fiabilidad y precisión del estudio.



0,0

Figura 4.11: Análisis de convergencia del chasis principal izquierdo.

El análisis de las piezas que componen el chasis, se realiza conjuntamente con las de la

cubierta, ya que se encuentran sujetas mediante tornillos. De esta manera, se prevé obtener valores más cercanos a la realidad.

### 4.1.3. Análisis de la cubierta

La cubierta en conjunto con el chasis frontal están constituidos en un solo análisis donde se evidencia un factor de seguridad mínimo de 3,5 como se muestra en la Fig. 4.12.

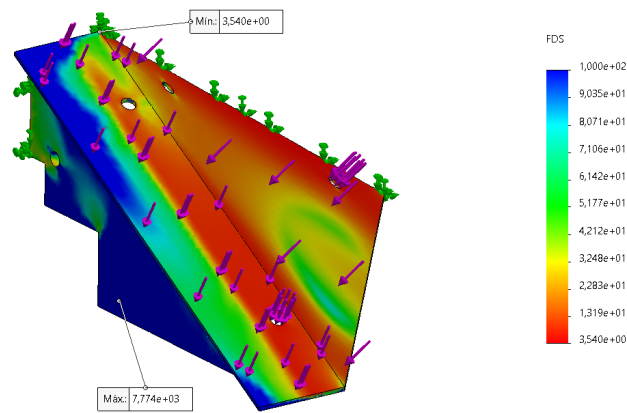


Figura 4.12: Factor de seguridad de la cubierta y chasis frontal.

Se muestra en la Fig.4.13 una tensión máxima de 10e+02.

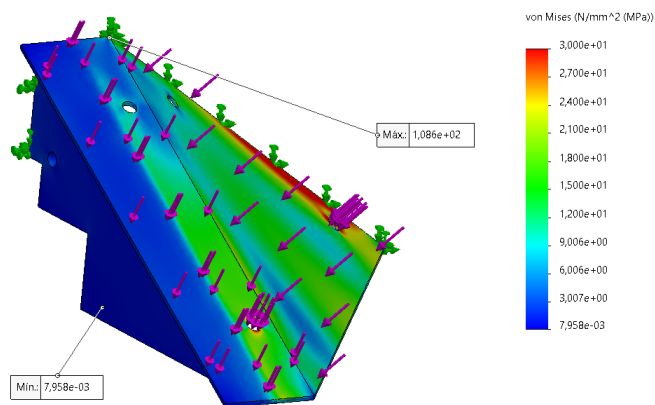


Figura 4.13: Tensiones en la cubierta y chasis frontal.

El mallado adaptativo realizado por la simulación del análisis estática por el método H se muestra en la Fig.4.14.

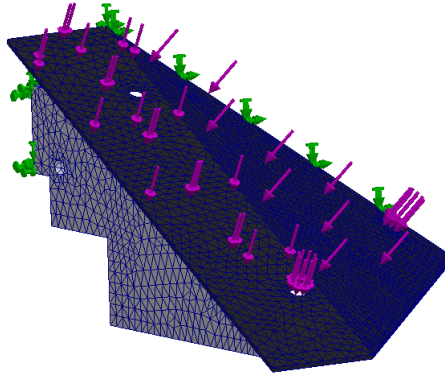
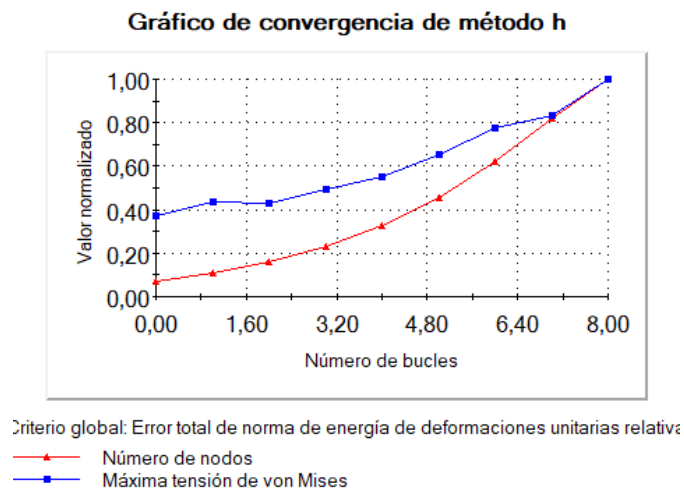


Figura 4.14: Mallado de la cubierta y chasis frontal.

El análisis de convergencia por el método H nos arroja el número de bucles necesarios para satisfacer la precisión de la simulación de las tensiones dentro de la pieza como se muestra en la Fig.4.15



8,2716; 1,07051

Figura 4.15: Gráfica del análisis de convergencia por método H de la cubierta y chasis frontal.



## 4.2. Implementación

Se colocan y ajustan los motores, ruedas, placa de control y otros elementos necesarios sobre la base del chasis. Este proceso permite asegurar que todos los componentes estén ubicados correctamente y se conecten de manera adecuada para asegurar el funcionamiento óptimo del robot como se muestra en la Fig.4.16

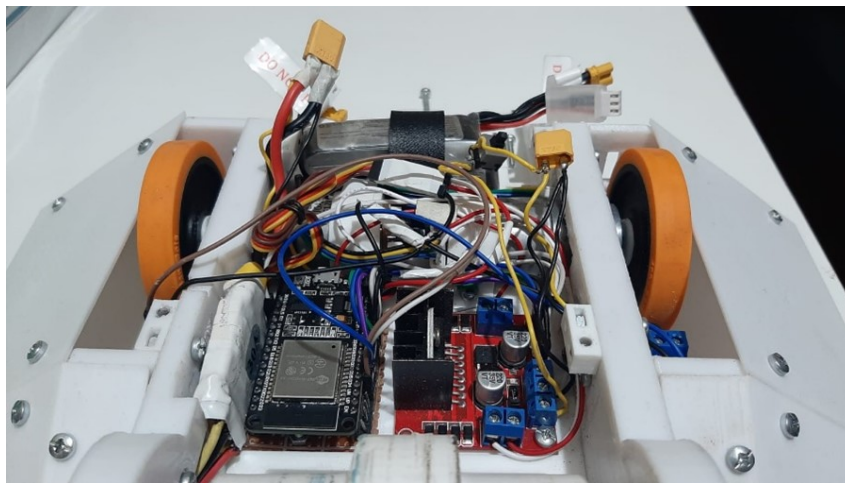


Figura 4.16: Implementación de componentes en el robot.

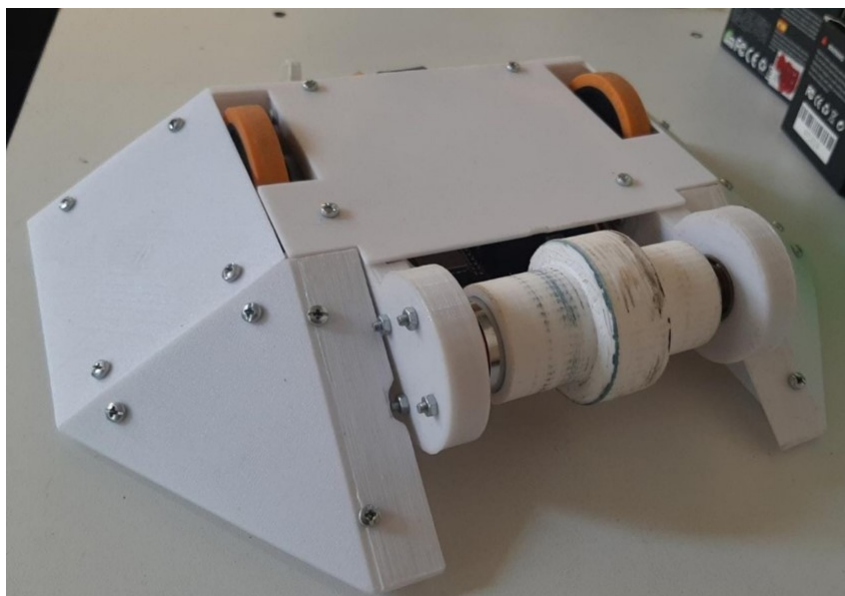


Figura 4.17: Vista isométrica del robot.

Se verifica los componentes del robot construido con PLA y se implementa la cubierta manufacturada en hierro negro galvanizado. Esta cubierta proporciona una capa protectora robusta y resistente al robot, asegurando una mayor durabilidad y protección durante futuros combates como se muestra en la Fig.4.18

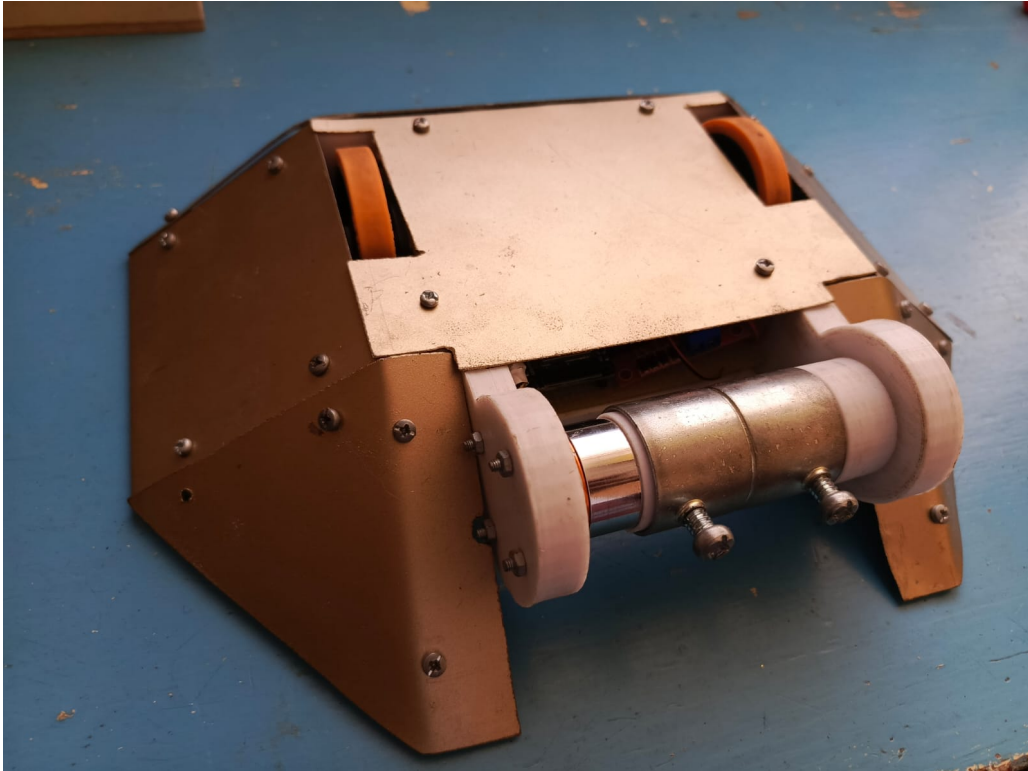


Figura 4.18: Vista isométrica del robot con cubierta de hierro.

### **4.3. Descripción del escenario de pruebas**

Para obtener datos cuantitativos sobre el rendimiento del robot de batalla se somete a diferentes escenarios de pruebas. Estas pruebas pueden variar según los aspectos específicos que se desea medir, como la velocidad, potencia del arma, la resistencia estructural, capacidad de carga, entre otros. A continuación, se menciona los escenarios de prueba:

### 4.3.1. Velocidad

Se cronometra el tiempo que tarda en recorrer una distancia de 2 metros en línea recta sin obstáculos. Como se muestra en la Fig. 4.19 el tiempo promedio en recorrer 2 m es de 1,48 s.

Sin Obstáculo	
N°	Tiempo (s)
1	1,60
2	1,40
3	1,48
4	1,39
5	1,59
6	1,62
7	1,56
8	1,34
9	1,45
10	1,40
Promedio	1,48

Figura 4.19: Datos obtenidos de velocidad sin obstáculo.

### 4.3.2. Rendimiento

Se cronometra el tiempo que tarda en recorrer una distancia de 2 metros en línea recta con obstáculos de 3, 4, 5 y 6 lb.

ESCENARIOS DE PRUEBA DE PESO					
Sin Obstáculo		Obstáculo (3lb)	Obstáculo 4lb	Obstáculo (5lb)	Obstáculo (6lb)
N°	Tiempo (s)	Tiempo (s)	Tiempo (s)	Tiempo (s)	Tiempo (s)
1	1,60	2,24	2,68	3,21	4,30
2	1,40	2,32	2,63	3,30	4,25
3	1,48	2,40	2,73	3,25	4,46
4	1,39	2,35	2,60	3,38	4,38
5	1,59	2,25	2,75	3,40	4,30
6	1,62	2,50	2,80	3,26	4,39
7	1,56	2,31	2,75	3,35	4,38
8	1,34	2,36	2,73	3,36	4,45
9	1,45	2,41	2,85	3,48	4,42
10	1,40	2,34	2,66	3,29	4,37
<b>Promedio</b>	<b>1,48</b>	<b>2,35</b>	<b>2,72</b>	<b>3,33</b>	<b>4,37</b>

Figura 4.20: Datos obtenidos de velocidad con obstáculos de diferente peso.

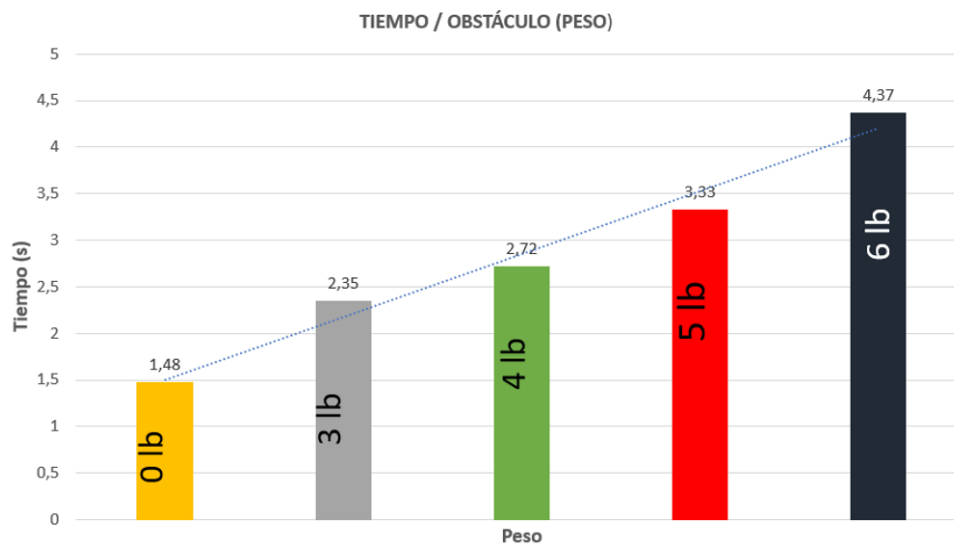


Figura 4.21: Gráfico de barras de la velocidad con respecto al peso del obstáculo.

Con esta prueba, se asegura que el robot será capaz de empujar hasta el doble de su peso. No obstante, a medida que el peso aumenta, la velocidad disminuye, lo que demuestra que los motores experimentan un ligero descenso en su rendimiento al enfrentarse a un objeto delante de ellos.

### 4.3.3. Peso

La prueba de peso en un robot de batalla de 3 lb implica asegurar que el peso total del robot no exceda las 3 lb (1.36 kg) establecidos como límite para la categoría de competición.

Para llevar a cabo la prueba de peso, se utiliza una balanza adecuada capaz de medir con precisión desde 0,001 hasta 3 kg. El robot se coloca sobre la balanza y se registra el peso total. Es importante considerar todos los componentes y elementos del robot, como el chasis, sistema de armas, baterías, motores y cualquier otro componente adicional.

El peso total del robot es de 2,95 lb (1339,3 g), como se muestra en la Fig. 4.22, lo cual garantiza que pueda competir en cualquier competición de su categoría sin temor a descalificación por exceder el peso permitido.

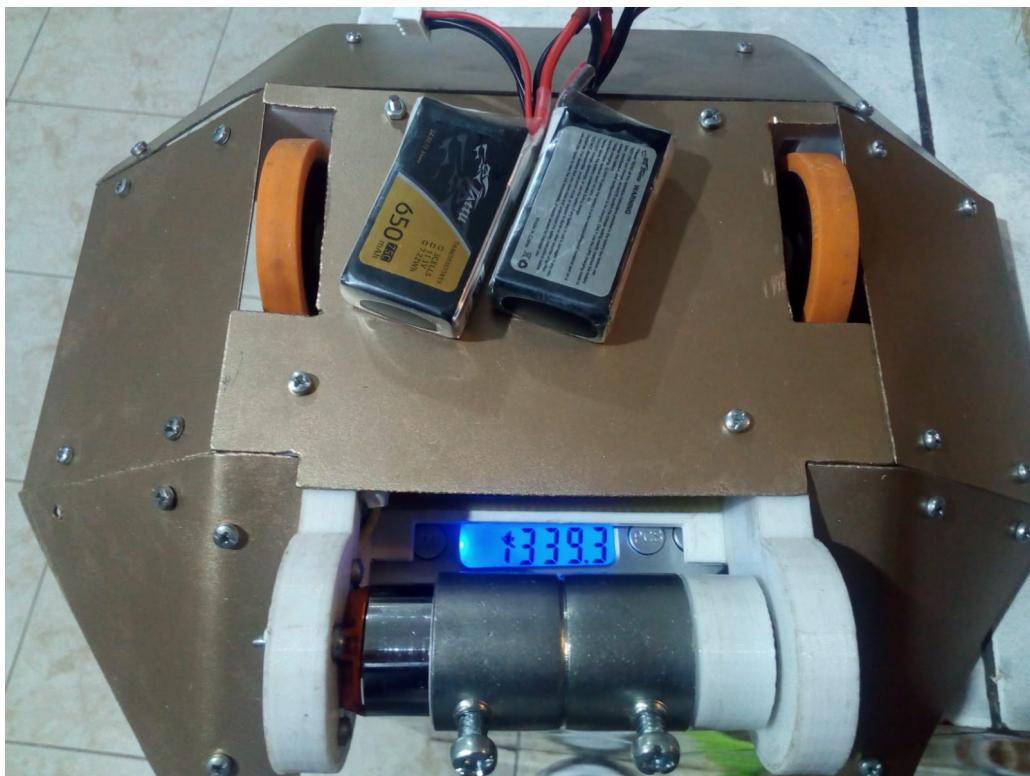


Figura 4.22: Peso del robot

#### 4.3.4. Consumo energético

La medición del consumo energético de los componentes implementados en el robot se realiza a través de dos pruebas. Primero, se lleva a cabo una prueba de vacío para comprobar el funcionamiento de los componentes adaptados. Luego, se realiza una prueba de campo donde el robot se coloca en el suelo para simular una pelea, permitiendo medir la potencia y velocidad del robot, así como las lecturas de los sensores de voltaje.

##### 4.3.4.1. Prueba de vacío

Esta prueba permite verificar el correcto funcionamiento y rendimiento del motor en el momento de encenderlo y ponerlo en marcha. Se asegura que los motores arrancan sin problemas, responden adecuadamente a las señales de control y que no presentan fallos o desperfectos en su funcionamiento.

En la Fig. 4.23 se muestra la gráfica del voltaje con respecto al tiempo de los motores DC. Después del arranque, se mantiene un voltaje constante en cada rueda, con un máximo de 11,6 V y un mínimo de 9,6 V. El voltaje se mantiene estable en 10,86 V.

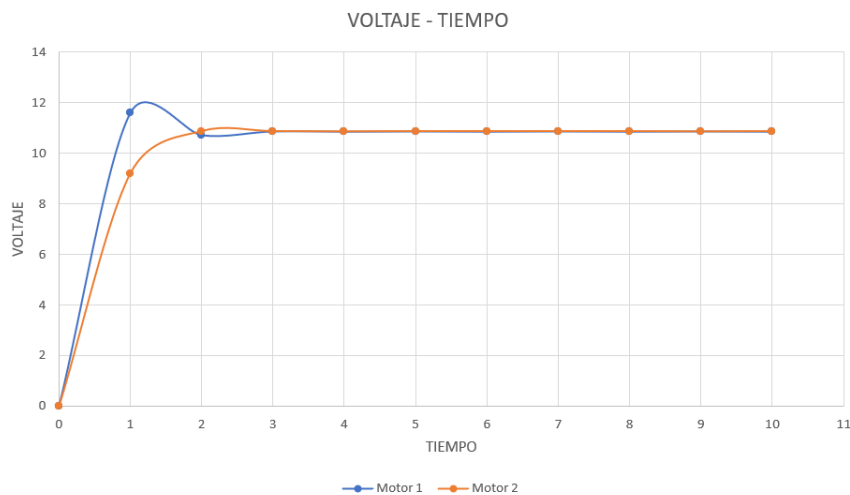


Figura 4.23: Gráfica Voltaje-Tiempo de motores DC.

La Fig. 4.24 muestra la gráfica de corriente que indica el consumo durante el arranque de cada motor. Se observa un pico inicial de 1,2A, que luego se estabiliza en 0,7A para cada motor.

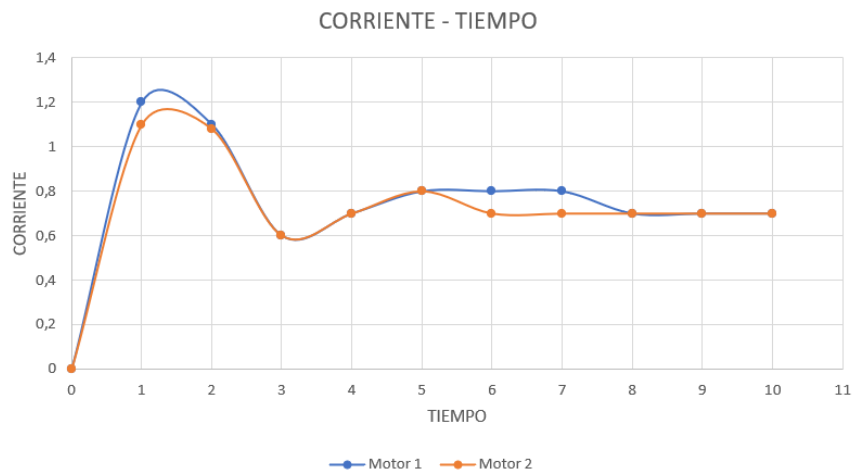


Figura 4.24: Gráfica Corriente-Tiempo de motores DC.

La lectura de la corriente de los motores DC con respecto al tiempo proporciona importantes conclusiones sobre su rendimiento. Durante el arranque, se observa un pico inicial de corriente que puede afectar el consumo eléctrico y debe considerarse en el diseño del sistema. Después del arranque, la corriente se estabiliza en un valor constante, lo que es crucial para evaluar el consumo continuo del motor. Esta estabilización también indica una mayor eficiencia en la conversión de energía eléctrica en trabajo mecánico.

El monitoreo de la corriente a lo largo del tiempo sirve como herramienta de diagnóstico para detectar posibles problemas o desgaste en el motor, permitiendo tomar medidas preventivas antes de que surjan fallos mayores.

#### 4.3.4.2. Prueba de campo

Durante las pruebas de combate simuladas, el robot se enfrenta a situaciones que incluyen movimientos rápidos, giros, golpes y el uso del arma. Durante estos ensayos, se registra el tiem-

po desde el inicio hasta que la batería se agota. Los resultados muestran que la batería del arma tiene una duración aproximada de 5 minutos, mientras que la batería de los motores DC puede funcionar durante aproximadamente 14 minutos antes de agotarse. Estos datos proporcionan información valiosa para la planificación y estrategias de combate.

Esta prueba sirve como métrica para comparar la eficiencia energética de diferentes configuraciones de hardware y software, así como para optimizar el diseño y mejorar la estrategia de combate del robot. Es fundamental para garantizar que el robot pueda mantener un rendimiento adecuado durante los combates, maximizando su tiempo de funcionamiento y aumentando sus posibilidades de éxito en una competición de robots de 3 lb.

El repositorio con todas las pruebas realizadas se encuentra disponible en el siguiente enlace:  
[https://utneduec-my.sharepoint.com/:f:/g/personal/sxcedenop\\_utn\\_edu\\_ec/EjLEAK154TJBq7V1I-bRA-UBRUBP\\_xX33S8BJ1ObNxOD3Q?e=NaPYdQ](https://utneduec-my.sharepoint.com/:f:/g/personal/sxcedenop_utn_edu_ec/EjLEAK154TJBq7V1I-bRA-UBRUBP_xX33S8BJ1ObNxOD3Q?e=NaPYdQ).

#### **4.4. Conclusiones**

- Se definieron los parámetros de diseño de acuerdo con las restricciones de competencia, dando principal importancia al peso, puesto que este no debe sobrepasar las 3 libras es importante realizar los cálculos de selección de cada uno de los componentes en función de su peso y requerimiento.
- Se diseñó la mecánica, electrónica y control del robot de batalla, con especificaciones técnicas para su mejor desempeño en competencia. La selección del material de construcción se relaciona estrictamente con la resistencia y la robustez del robot, sin embargo, el control y la correcta selección de componentes permitió interactuar de mejor manera e integrar cada uno de estos aspectos para hacer del robot apto de una competencia, incluyendo las áreas técnicas y satisfaciendo los requerimientos como de conexión, movilidad y control.



- Se construyó y validó el funcionamiento del robot de batalla mediante pruebas en entornos controlados, demostrando su eficiencia al rendir sin contratiempos incluso bajo impactos y caídas bruscas. No obstante, aguarda la oportunidad de participar en una competición robótica para exhibir todo su potencial.

## 4.5. Recomendaciones

- Es factible incorporar un control PID de velocidad y posición en el sistema de control de los motores DC mediante encoders tipo hall. Estos encoders permiten mejorar el rendimiento y eficiencia del robot al proporcionar una retroalimentación precisa sobre la velocidad y posición de los motores. De esta manera, el control PID puede ajustar y regular continuamente la velocidad y posición de los motores, permitiendo un control más preciso y eficiente en las diferentes situaciones de combate y movimiento del robot.
- Gracias a la presencia de un controlador equipado con conexión inalámbrica Wifi, sería posible obtener lecturas en tiempo real tipo datalogger. Esta capacidad proporcionaría un control más preciso y detallado del comportamiento de cada componente del robot. Asimismo, permitiría tomar decisiones fundamentadas para futuras modificaciones y mejoras, en beneficio del desempeño y rendimiento general del robot.
- El material de manufactura puede ser escalado a manera de asegurar mayor resistencia con alternativas que alivianen el peso del robot. Esto se relaciona con la creación de diseños innovadores que satisfagan los requerimientos, siendo la creatividad un factor esencial en el diseño y construcción de un robot de batalla.

# **Anexos**

# Anexo A

## Código de Programación

---

```
#include <analogWrite.h>           //Librería para utilizar los pines de ESP32 como anal
#include "BluetoothSerial.h"      //Librería de conexión bluetooth de ESP32.

#if !defined(CONFIG_BT_ENABLED) || !defined(CONFIG_BLUEDROID_ENABLED)
#error Bluetooth is not enabled! Please run 'make menuconfig' to and enable it
//Parámetros de librería de conexión bluetooth.
#endif

#include <Servo.h>                 //Librería de servomotor para ESP32 (para motor brushless)
Servo servo1;                       //Variable Servo declarada.

BluetoothSerial SerialBT;          //Inicialización bluetooth.
#define enA 26
#define in1 25
#define in2 33

#define in3 14
#define in4 27
#define enB 12
```

```

//char dato;      //Variable declarada como caracter para recibir datos de App

int xAxis=140, yAxis=140;
int motorSpeedA = 0;
int motorSpeedB = 0;

//const int voltajeMax = 16500;      //Declara variable de voltaje m ximo del sensor
//int lecturaBatt1 , lecturaBatt2;    //Declara variables para lectura de datos.
//float volt1 , volt2;                //Declara variables tipo float de lectura de da

void setup() {
  pinMode(enA, OUTPUT);                //Define las variables declaradas como salidas.
  pinMode(enB, OUTPUT);
  pinMode(in1 , OUTPUT);
  pinMode(in2 , OUTPUT);
  pinMode(in3 , OUTPUT);
  pinMode(in4 , OUTPUT);
  Serial.begin(115200);                //Incializa conexi n bluetooth
  SerialBT.begin("Robot de batalla");  //Nombre del dispositivo
  Serial.println(" El dispositivo est  listo para usar!");
  delay(500);
}

void loop() {

/////////////////////////////////ACTIVACI N MOTORES/////////////////////////////////
  servo1.attach(13);                   //Declara el pin a utilizar para motor brushless.
  if (SerialBT.available()>=2) {      //Reconoce si existe conexi n bluetooth.
    xAxis = SerialBT.read();           //Lee los datos enviados desde la App.
    delay(10);
    yAxis = SerialBT.read();
    delay(10);
    Serial.print(",");

```

```

    Serial.print(xAxis);
    Serial.print(",");
    Serial.println(yAxis);
}
delay(10);
// Declara los l mites de datos enviados desde la app para realizar acciones
if (xAxis > 130 && xAxis <150 && yAxis > 130 && yAxis <150){Stop();}
if (xAxis==0){onBrushless();}
if (xAxis==1){offBrushless();}
if (xAxis==2){maxPower();}
if (xAxis==3){minPower();}
if (yAxis > 130 && yAxis <150){

if (xAxis < 130&& xAxis > 60){turnRight();
motorSpeedA = map(xAxis, 130, 60, 0, 255);
motorSpeedB = map(xAxis, 130, 60, 0, 255);
}

if (xAxis > 150) {turnLeft();
motorSpeedA = map(xAxis, 150, 220, 0, 255);
motorSpeedB = map(xAxis, 150, 220, 0, 255);
}

}else{

if (xAxis > 130 && xAxis <150){

if (yAxis < 130 && yAxis > 60){forward();}
if (yAxis > 150 && yAxis < 220 ){backward();}

if (yAxis < 130&& yAxis > 60){
motorSpeedA = map(yAxis, 130, 60, 0, 255);
motorSpeedB = map(yAxis, 130, 60, 0, 255);
}
}
}

```

```

if (yAxis > 150 && yAxis < 220){
motorSpeedA = map(yAxis, 150, 220, 0, 255);
motorSpeedB = map(yAxis, 150, 220, 0, 255);
}

} else {

if (yAxis < 130 && yAxis > 60){forword();}
if (yAxis > 150 && yAxis < 220 ){backword();}

if (xAxis < 130){
motorSpeedA = map(xAxis, 130, 60, 255, 50);
motorSpeedB = 255;
}

if (xAxis > 150 && yAxis < 220){
motorSpeedA = 255;
motorSpeedB = map(xAxis, 150, 220, 255, 50);
}
}
}

analogWrite(enA, motorSpeedA); // Env a la se al PWM al motor A
analogWrite(enB, motorSpeedB); // Env a la se al PWM al motor B
}

//Funciones

void forword(){ Serial.println("Avanzar");
digitalWrite(in1, LOW);
digitalWrite(in2, HIGH);
digitalWrite(in3, LOW);

```

```
digitalWrite(in4 , HIGH);  
}
```

```
void backward(){ Serial.println("Retroceder");  
digitalWrite(in1 , HIGH);  
digitalWrite(in2 , LOW);  
digitalWrite(in3 , HIGH);  
digitalWrite(in4 , LOW);  
}
```

```
void turnRight(){ Serial.println("Derecha");  
digitalWrite(in1 , LOW);  
digitalWrite(in2 , HIGH);  
digitalWrite(in3 , HIGH);  
digitalWrite(in4 , LOW);  
}
```

```
void turnLeft(){ Serial.println("Izquierda");  
digitalWrite(in1 , HIGH);  
digitalWrite(in2 , LOW);  
digitalWrite(in3 , LOW);  
digitalWrite(in4 , HIGH);  
}
```

```
void Stop(){  
digitalWrite(in1 , LOW);  
digitalWrite(in2 , LOW);  
digitalWrite(in3 , LOW);  
digitalWrite(in4 , LOW);  
Serial.println("Parar");  
}
```

```
void onBrushless(){  
servo1.write(70); //Enciende motor brushless  
Serial.println("Arma Encendida");
```

```

    delay(20);
}
void offBrushless(){
    servo1.write(30);           //Enciende motor brushless
    Serial.println("Arma Apagada");
    delay(20);
}
void maxPower(){
    servo1.write(120);         //Enciende motor brushless a la m xima potencia
    Serial.println("Max Power");
    delay(20);
}
void minPower(){             //Funci n declarada
    servo1.write(70);         //Enciende motor brushless a la m nima potencia
    Serial.println("Min Power"); //Escribe la acci n en el monitor serial
    delay(20);                //Tiempo entre muestra
}

```

---



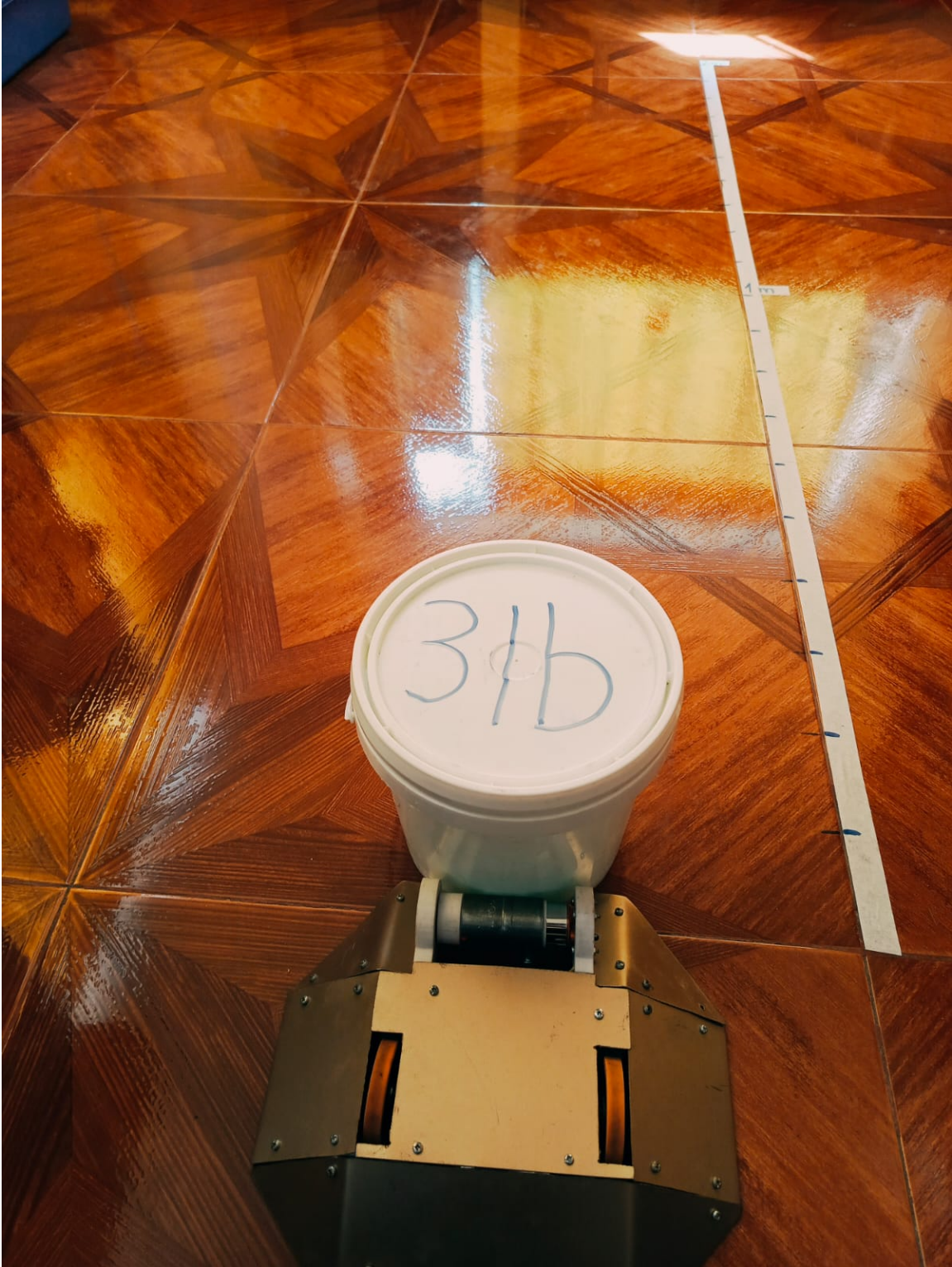
## Anexo B

### Escenarios de prueba

Prueba de la velocidad del robot sin obstáculos.



Prueba de la velocidad y rendimiento del robot con un obstáculo de 3lb.



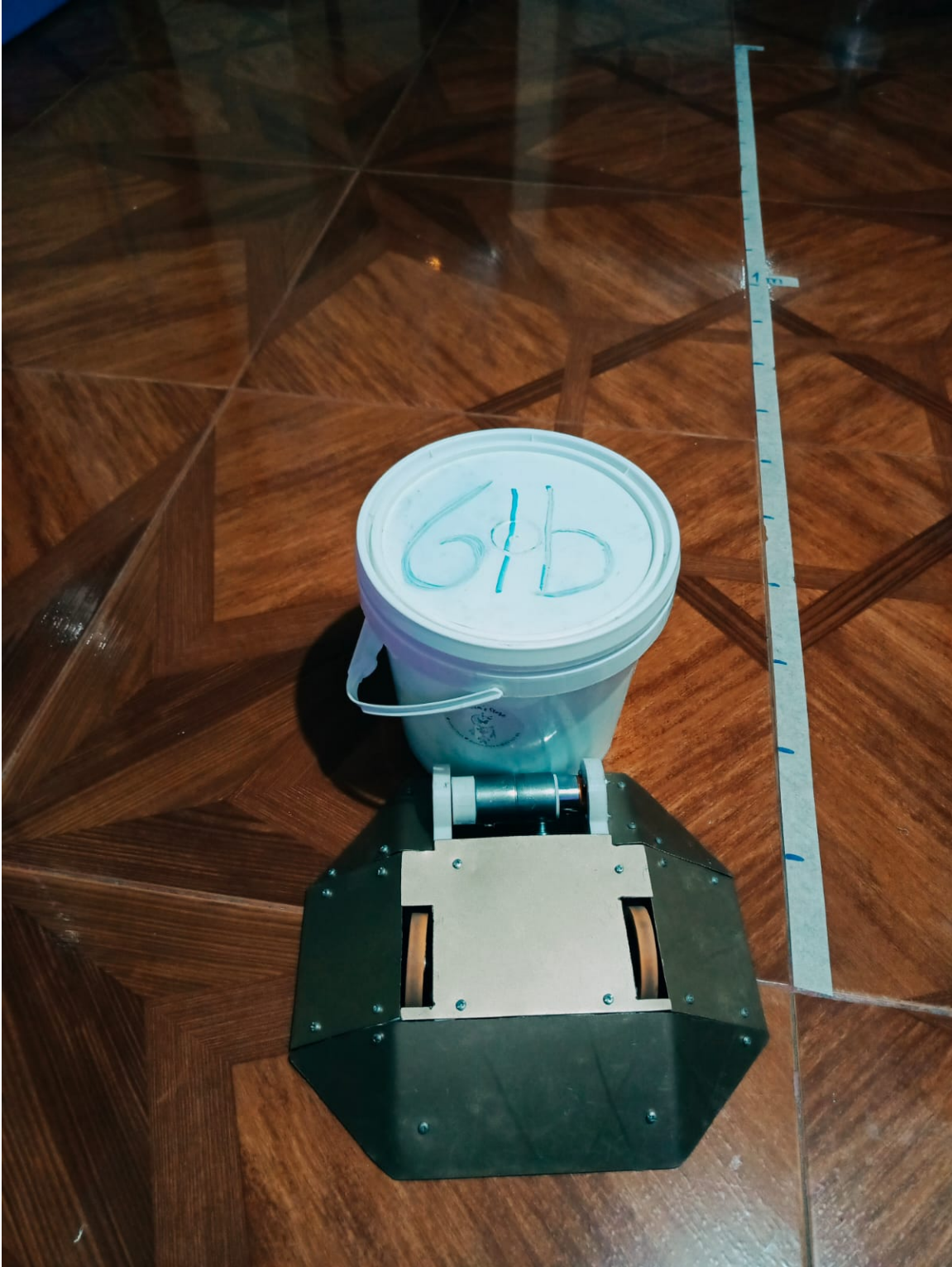
Prueba de la velocidad y rendimiento del robot con un obstáculo de 4lb.



Prueba de la velocidad y rendimiento del robot con un obstáculo de 5lb.



Prueba de la velocidad y rendimiento del robot con un obstáculo de 6lb.



## Anexo C

### Puesta en marcha del robot de batalla



# Bibliografía

- [1] CER (Concurso Ecuatoriano de Robótica), “Reglamento para la categoría ‘Batalla Robots,’” 2019.
- [2] TRYTA, “Reglamento de combate de robots 1,3,12,30,60,120 y 220 libras,” 2018, Accessed: Oct. 26, 2022. [Online]. Available: <https://www.tryta.ipn.mx/combate.pdf>
- [3] COPOL, “BATALLA DE ROBOTS DE TRES LIBRAS,” 2019. Accessed: Oct. 26, 2022. [Online]. Available: [http://www.copol.edu.ec/copolrobotics/03\\_BatallaRobots3.pdf](http://www.copol.edu.ec/copolrobotics/03_BatallaRobots3.pdf)
- [4] J. Álvarez and C. Guevara, “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MODULO DE ENTRENAMIENTO CON PLC S71500 PARA APLICACIONES DE CONTROL DE AVG,” 2021. Accessed: Oct. 26, 2022. [Online]. Available: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/20650>
- [5] Á. E. Gil Pérez, “Robótica móvil: Qué es y sus aplicaciones,” Jul. 06, 2022. <https://openwebinars.net/blog/robotica-movil-que-es-y-sus-aplicaciones/> (accessed Oct. 26, 2022).
- [6] J. Guarnizo, D. Bautista, and J. Sierra, “Una Revisión Sobre la Evolución de la Robótica Móvil,” 2021. Accessed: Oct. 26, 2022. [Online]. Available: <http://hdl.handle.net/11634/34565>
- [7] D. E. Hernández Sánchez, J. Ramón, E. Cuenca, C. Cortés Sánchez, J. Fernando, and R. Cortés, “Diseño, construcción y modelo dinámico de un robot móvil de tracción diferencial aplicado al seguimiento de trayectorias,” 2017. Accessed: Oct. 29, 2022. [Online]. Available: <http://somim.org.mx/memorias/memorias2017/articulos/A3189.pdf>

- [8] L. Choto, S. Aquino, E. Pozo, and C. Morillo, “Análisis de impacto de un robot de combate por el método de elementos finitos,” 2022, Accessed: Oct. 26, 2022. [Online]. Available: <https://www.google.com/url?sa=trct=jq=esrc=ssource=webcd=ved=2ahUKEwjVhqWE2oD7AhUdmYQIH>
- [9] M. Gómez, “Manejo de motores DC con puentes H y control por modulación de pulso PWM Sigma con aplicaciones en simuladores de vuelo, caso de la reparación del simulador de vuelo del CIMA,” pp. 121–124, 2015, Accessed: Oct. 28, 2022. [Online]. Available: <http://redicces.org.sv/jspui/bitstream/10972/2208/1/Manejo>
- [10] O. Becerra, “Control de motor sin escobillas,” 2011, Accessed: Oct. 28, 2022. [Online]. Available: <http://hdl.handle.net/20.500.11912/3277>
- [11] FpvMax, “Variador electrónico (ESC): Qué es y cómo funciona,” 2016. <https://www.fpvmax.com/uncategorized/variador-electronico-esc-funciona/> (accessed Oct. 28, 2022).
- [12] A. Correa and E. Remache, “Sistema para controlar la velocidad de un motor DC utilizando modulación de ancho de pulso,” 2006. Accessed: Oct. 28, 2022. [Online]. Available: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/1930>
- [13] A. C. Correa, “Sistemas Robóticos Teleoperados,” 2005. Accessed: Oct. 29, 2022. [Online]. Available: <https://doi.org/10.18359/rcin.1255>
- [14] AREATECNOLOGIA, “Tecnología Inalambrica. Qué es, Funcionamiento, Tipos y Comunicación Inalambrica.” <https://www.areatecnologia.com/informatica/tecnologia-inalambrica.html> (accessed Oct. 29, 2022).
- [15] S. Susana, ”Guía Completa: los plásticos en la impresión 3D”, 2023. Accessed: Jul. 20, 2023. [Online]Available: <https://www.3dnatives.com/es/plasticos-impresion-3d-22072015/>.