UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE GUAYAQUIL
CARRERA DE MECATRÓNICA

TEMA: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN ROBOT BATALLA DE 30 LIBRAS.

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

AUTORES:
ÁNGEL RODRIGO CHOCA VARELA
LUIS DAVID MOYA YANCHATIPAN

TUTOR: Ing. JORGE BLADIMIR FARIÑO CEDEÑO, Mgtr.

Guayaquil - Ecuador
2022

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, **ÁNGEL RODRIGO CHOCA VARELA** con documento de identificación N° **0927574186** y **LUIS DAVID MOYA YANCHATIPAN** con documento de identificación N° **0955254438**; manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo.

Guayaquil, 03 de marzo del año 2022

Atentamente,

ÁNGEL RODRIGO CHOCA VARELA
CC.: 0927574186

LUIS DAVID MOYA YANCHATIPAN
CC.: 0955254438

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

Nosotros, **ÁNGEL RODRIGO CHOCA VARELA** con documento de identificación Nº **0927574186** y **LUIS DAVID MOYA YANCHATIPAN** con documento de identificación Nº **0955254438**, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del **Dispositivo Tecnológico: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN ROBOT BATALLA DE 30 LIBRAS**, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero en Mecatrónica, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

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

Guayaquil, 03 de marzo del año 2022

Atentamente,

ÁNGEL RODRIGO CHOCA VARELA
CC.: 0927574186

LUIS DAVID MOYA YANCHATIPAN
CC.: 0955254438

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, **JORGE BLADIMIR FARIÑO CEDEÑO**, docente de la Universidad Politécnica Salesiana , declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: **DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN ROBOT BATALLA DE 30 LIBRAS**, realizado por **ÁNGEL RODRIGO CHOCA VARELA** con documento de identificación Nº **0927574186** y por **LUIS DAVID MOYA YANCHATIPAN** con documento de identificación Nº **0955254438**, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción **Dispositivo Tecnológico** que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 03 de marzo del año 2022

Atentamente,

ING. JORGE BLADIMIR FARIÑO CEDEÑO, MGTR.
CC.: 0914335484

DEDICATORIA Y AGRADECIMIENTO

El presente trabajo lo dedico principalmente a Dios, por ser el inspirador y darme fuerza para continuar en este proceso de obtener uno de los anhelos más deseados.

A mis padres, por su amor, trabajo y sacrificio en todo lo que he logrado.

Luis David Moya Yanchatipan

Agradezco a Dios por todos estos años de vida y salud. A mis padres que siempre han estado apoyándome día a día para poder alcanzar mis metas, a mis hermanos y amigos por estar impulsándome para lograr mis objetivos.

Ángel Rodrigo Choca Varela

RESUMEN

El presente proyecto describe los componentes necesarios para la implementación de un robot de batalla de 30 libras, ajustándose a una de las categorías del Concurso Ecuatoriano de Robótica CER con el fin de participar en competencias de Robótica a nivel nacional e internacional. Son beneficiarios directos los estudiantes de ingenierías de la Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil.

Dentro de las competiciones, se busca comprobar el nivel de desarrollo de cada robot de batalla participante en sus diferentes categorías; donde se valida el diseño mecánico, electrónico, obteniéndose como resultado un prototipo robusto que será evaluado por el daño que ocasione al contrincante. Adicionalmente, se evalúa la agilidad del operador para evitar embestidas, golpes laterales y la inmovilización al contrincante.

El robot de batalla tiene implementado un sistema de control mediante radiofrecuencia y la tracción en la parte posterior mediante dos motores de 24 VDC, acoplados a sus respectivas cajas reductoras y un acople a cada llanta revestida de caucho naval. El controlador para los motores es una tarjeta de la marca Sabertooth de 60 amperios y para el arma se eligió un controlador electrónico de velocidad de 100 amperios para el motor DC sin escobillas.

Para el modelado del robot se utilizó el software SolidWorks, el cual permite el análisis de elasticidad del material o su deflexión facilitando el mecanizado de las piezas. Para ganar dureza y causar mayores daños al contrincante el mecanizado de las piezas fue realizado con corte por chorro de agua y con tratamiento térmico específicamente para el arma.

Palabras clave:: Robot batalla, SolidWorks, Mecatrónica , electrónica, robótica, radiofrecuencias.

ABSTRACT

This project describes the necessary components for the implementation of a 30-pound battle robot, adjusting to one of the categories of the Ecuadorian Robotics Competition CER in order to participate in robotics competitions at national and international level. The direct beneficiaries are the engineering students of the Salesian Polytechnic University Guayaquil.

Within the competitions, the aim is to check the level of development of each participating battle robot in its different categories; where the mechanical and electronic design is validated, resulting in a robust prototype that will be evaluated by the damage it causes to the opponent. Additionally, the agility of the operator to avoid ramming, lateral blows and immobilization of the opponent is evaluated.

The battle robot has a control system implemented by radio frequency and traction at the rear by means of two 24 VDC motors, coupled to their respective gearboxes and a coupling to each tire covered with naval rubber. The controller for the motors is a 60 amp Sabertooth brand board and for the gun a 100 amp electronic speed controller was chosen for the brushless DC motor.

SolidWorks software was used to model the robot, which allows the analysis of the elasticity of the material or its deflection, facilitating the machining of the parts. To gain hardness and cause greater damage to the opponent, the machining of the parts was done with water jet cutting and heat treatment specifically for the weapon.

Key words:: Battle robot, SolidWorks, Mechatronics, electronics, robotics, radio frequencies.

ÍNDICE

I. INTRODUCCIÓN 8

II. PROBLEMA 8
- II-A. Antecedentes . . . 8
- II-B. Importancia y alcances . . . 8
- II-C. Delimitación . . . 8

III. OBJETIVOS 8
- III-A. Objetivo general . . . 8
- III-B. Objetivos específicos . . . 9

IV. FUNDAMENTOS TEÓRICOS 9
- IV-A. Robótica . . . 9
- IV-B. Robótica Humanoide . . . 9
- IV-C. Robótica Móvil . . . 9
- IV-D. Robótica Industrial . . . 10
- IV-E. Robot Explorador . . . 10
- IV-F. Robot Explorador Valquiria R5 . . . 10
- IV-G. Robot Explorador Espíritu . . . 10
- IV-H. Robot The-Black de Hibot para tuberías . . . 11
- IV-I. Competencias de Robots . . . 11
- IV-J. Robot de batalla . . . 11
- IV-K. Materiales para la construcción en robot batalla . . . 11
- IV-L. Clasificación del acero . . . 12
  - IV-L1. Acero 1018 . . . 12
  - IV-L2. Acero 1045 . . . 12
  - IV-L3. Acero 4340 . . . 12
  - IV-L4. Acero 5260 . . . 12
- IV-M. Sistemas embebidos . . . 12
- IV-N. Protocolo de comunicación I2C . . . 13
- IV-Ñ. Protocolo de comunicación UART . . . 13
- IV-O. Motores de corriente continua sin escobillas . . . 13
- IV-P. Modulación de ancho de pulsos para control de motores . . . 14
- IV-Q. Motores BLDC . . . 14

V. MARCO METODOLÓGICO 15
- V-A. Tratamiento térmico del arma . . . 15
  - V-A1. Temple . . . 15
  - V-A2. Nitruración . . . 15
  - V-A3. Costo del tratamiento . . . 15
- V-B. Mecanismo de la banda . . . 15
- V-C. Arma del robot . . . 15
  - V-C1. Eje del arma . . . 16
  - V-C2. Dientes del arma . . . 16
  - V-C3. Eje central del arma . . . 16
- V-D. Estructura del robot . . . 17
  - V-D1. Laterales internos estructural . . . 17
  - V-D2. Laterales externos estructural . . . 17
  - V-D3. Soporte interno estructural . . . 18

V-D4. Escudo posterior . . . 18
V-D5. Tapa superior . . . 19
V-D6. Tapa inferior . . . 19
V-E. Cálculos potencia motor tracción . . . 20
V-F. Tracción del robot . . . 20
V-F1. Motores del robot . . . 21
V-F2. Motor con reductor del sistema de tracción . . . 22
V-F3. Motor sin escobillas PROPDRIVE v2 5060 270KV . . . 22
V-G. Controladores de motores . . . 23
V-G1. Control electrónico de velocidad para arma . . . 23
V-G2. Controlador para motores DC Sabertooth 60 A . . . 23
V-G3. Configuración del Sabertooth 60 A . . . 24
V-H. Controlador de radiofrecuencia . . . 24
V-H1. Receptor de radiofrecuencia . . . 24
V-H2. Radio control Fly sky . . . 25
V-I. Suministro Energético del robot . . . 25
V-I1. Batería de lipo para tracción . . . 25
V-I2. Batería de lipo para arma . . . 25
V-J. Diseño electrónico del robot de batalla . . . 26
V-K. Diagrama del funcionamiento del robot de batalla . . . 27
V-L. Esquema del robot de batalla . . . 28
V-M. Propiedades de los materiales del robot . . . 28
V-M1. Propiedades del arma . . . 28
V-M2. Propiedades de la estructura . . . 31

VI. RESULTADOS 38
VI-A. Análisis de componentes . . . 38
VI-A1. Lateral externo . . . 38
VI-A2. Lateral interno . . . 38
VI-A3. Rampa del robot . . . 39
VI-A4. Arma del Robot . . . 40
VI-A5. Ruedas del robot . . . 41
VI-B. Peso de los componentes . . . 42
VI-C. Calibración del receptor del radio control . . . 44
VI-D. Pruebas de baterías en combate . . . 45

VII. CRONOGRAMA 51

VIII. PRESUPUESTO 52
VIII-A. Componentes electrónicos . . . 52
VIII-B. Materiales para prototipo . . . 52

IX. CONCLUSIONES 53

X. RECOMENDACIONES 53

XI. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICAS 54

XII. ANEXOS 56
XII-A. Anexo 1 - Acople arma . . . 56
XII-B. Anexo 2 - Acople tracción . . . 57
XII-C. Anexo 3 - Diente arma . . . 58
XII-D. Anexo 4 - Eje arma . . . 59
XII-E. Anexo 5 - Escudo posterior . . . 60
XII-F. Anexo 6 - Lateral interno . . . 61
XII-G. Anexo 7 - Rueda . . . 62
XII-H. Anexo 8 - Soporte externo . . . 63
XII-I. Anexo 9 - Soporte interno estructural . . . 64
XII-J. Anexo 10 - Tapa inferior . . . 65
XII-K. Anexo 11 - Tapa superior . . . 66
XII-L. Anexo 12 - Vista explosionada del robot de batalla . . . 67
XII-M. Anexo 13 - Ensamble del prototipo . . . 68

ÍNDICE DE FIGURAS

1. Tipos en la robótica . . . 9
2. Robótica humanoide . . . 9
3. Robot Explorador Valquiria R5 . . . 10
4. Robot Explorador Espíritu . . . 11
5. Robot The-Black de Hibot para tuberías . . . 11
6. Sistemas embebidos . . . 12
7. Protocolo I2C de comunicación . . . 13
8. Protocolo UART de comunicación . . . 13
9. Gráfico del ancho de pulso . . . 14
10. Vista frontal del Eje del arma del robot . . . 16
11. Vista frontal y lateral del diente del arma del robot . . . 16
12. Vista frontal del eje central del arma . . . 17
13. Vista frontal del lateral interno del robot . . . 17
14. Vista frontal del soporte externo del robot . . . 18
15. Vista frontal del soporte interno del robot . . . 18
16. Vista frontal del escudo posterior . . . 19
17. Vista frontal de la tapa superior . . . 19
18. Vista frontal de la tapa inferior . . . 20
19. Llantas del robot . . . 21
20. Motores del robot . . . 22
21. Motor con reductores del sistema de tracción . . . 22
22. Motor sin escobillas PROPDRIVE v2 5060 270KVn . . . 23
23. Variador de frecuencia para arma . . . 23
24. Controlador para motores DC Sabertooth 60 A . . . 24
25. Configuración del Sabertooth 60 A . . . 24
26. Batería Rhino . . . 25
27. Batería LiPo - Tattu R-Line . . . 26
28. Diagrama de conexiones del robot . . . 27
29. Diagrama de funcionamiento del robot . . . 28
30. Diagrama eléctrico del robot . . . 28
31. Propiedades del diente del arma . . . 29
32. Propiedades del eje arma . . . 30
33. Propiedades del rodillo arma . . . 31
34. Propiedades del lateral exterior . . . 32

35. Propiedades del lateral interno . . . 33
36. Propiedades del soporte interior . . . 34
37. Propiedades de la tapa inferior . . . 35
38. Propiedades de la tapa posterior . . . 36
39. Propiedades de la tapa superior . . . 37
40. Resultado de deformación en lateral externo . . . 38
41. Resultado de Von Mises en lateral externo. . . . 38
42. Resultado de deformación de lateral interno . . . 39
43. Resultado de Von Mises en lateral interno . . . 39
44. Resultado de deformación en rampa del robot . . . 40
45. Resultado de Von Mises en rampa del robot . . . 40
46. Resultado de deformación en arma del robot . . . 41
47. Resultado de Von Mises en arma del robot . . . 41
48. Resultado de deformación en ruedas del robot . . . 42
49. Resultado de Von Mises en ruedas del robot . . . 42
50. Calibración del arma en estado bajo . . . 44
51. Calibración del arma en estado alto . . . 44
52. Nivel óptimo de voltaje en celda 1 de la batería de tracción . . . 45
53. Nivel óptimo de voltaje en celda 2 de la batería de tracción . . . 45
54. Nivel óptimo de voltaje en celda 3 de la batería de tracción . . . 45
55. Nivel óptimo de voltaje en celda 4 de la batería de tracción . . . 45
56. Nivel óptimo de voltaje en celda 5 de la batería de tracción . . . 46
57. Nivel óptimo de voltaje en celda 6 de la batería de tracción . . . 46
58. Nivel óptimo de voltaje en celda 1 de la batería del arma . . . 46
59. Nivel óptimo de voltaje en celda 2 de la batería del arma . . . 46
60. Nivel óptimo de voltaje en celda 3 de la batería del arma . . . 47
61. Nivel óptimo de voltaje en celda 4 de la batería del arma . . . 47
62. Nivel óptimo de voltaje en celda 5 de la batería del arma . . . 47
63. Nivel óptimo de voltaje en celda 6 de la batería del arma . . . 47
64. Nivel óptimo de voltaje en celda 1 de la batería del arma después de combate . . . 48
65. Nivel óptimo de voltaje en celda 2 de la batería del arma después de combate . . . 48
66. Nivel óptimo de voltaje en celda 3 de la batería del arma después de combate . . . 48
67. Nivel óptimo de voltaje en celda 4 de la batería del arma después de combate . . . 48
68. Nivel óptimo de voltaje en celda 5 de la batería del arma después de combate . . . 49
69. Nivel óptimo de voltaje en celda 6 de la batería del arma después de combate . . . 49
70. Nivel óptimo de voltaje en celda 1 de la batería de tracción después de combate . . . 49
71. Nivel óptimo de voltaje en celda 2 de la batería de tracción después de combate . . . 49
72. Nivel óptimo de voltaje en celda 3 de la batería de tracción después de combate . . . 50
73. Nivel óptimo de voltaje en celda 4 de la batería de tracción después de combate . . . 50
74. Nivel óptimo de voltaje en celda 5 de la batería de tracción después de combate . . . 50
75. Nivel óptimo de voltaje en celda 6 de la batería de tracción después de combate . . . 50
76. Cronograma del proyecto . . . 51
77. Vista isométrica del acople arma . . . 56
78. Vista isométrica del acople tracción . . . 57
79. Vista frontal y lateral del diente arma . . . 58
80. Vista isométrica del eje arma . . . 59
81. Vista isométrica del escudo posterior . . . 60
82. Vista frontal del lateral interno . . . 61
83. Vista isométrica de la rueda . . . 62
84. Vista frontal del soporte externo . . . 63

85. Vista isométrica del soporte interno estructural 64
86. Vista isométrica de la tapa inferior 65
87. Vista Frontal de la tapa superior 66
88. Vista explosionada del robot de batalla 67
89. Ensamble del prototipo del eje 68
90. Ensamble del eje del robot 69
91. Ensamble del arma - instalación de poleas 70
92. Ensamble de la estructura interna del prototipo 71
93. Instalación de los motores con las llantas 72
94. Instalación de las rampas del arma 73
95. Instalación de la tapa superior e inferior del robo 74
96. Proceso de pintado de la estructura 75
97. Ensamble de los conectores para las baterias 76
98. Robot y autores 77

Índice de cuadros

I. Tabla de categorías de robot 12
II. Selección de ruedas 21
III. Configuración del Sabertooth 60 A 25
IV. Conexiones del Robot 27
V. Peso de la electrónica 43
VI. Peso de la estructura 43
VII. Peso del arma 43
VIII. Peso de las ruedas 43
IX. Peso total del prototipo 44
X. Presupuesto de componentes electrónicos 52
XI. Materiales para prototipo 52

I. INTRODUCCIÓN

El objetivo de este trabajo de titulación es incentivar a los estudiantes para que puedan desarrollar nuevos prototipos de robots para las diferentes categorías en las cuales podrán participar, por lo que tendrán la información pertinente de los diferentes materiales a utilizar, tipos de acero, electrónica para la parte de potencia, sistema de tracción y baterías para el prototipo.

En las competencias de batallas de robot de 30 libras a nivel nacional e internacional, los equipos cuentan con robots que utilizan diseños y componentes de uso profesional, tales como tarjetas controladoras de potencia para los motores, baterías de alto porcentaje de descarga ayudando a que los motores ejecuten su potencia total al momento del combate.

El prototipo cumple las normativas para cada competencia, como: protecciones para el operador, switch de emergencia para detener el robot y un sistema de comprobación del estado de las baterías mediante un equipo no invasivo o lipo tester.

II. PROBLEMA

II-A. Antecedentes

En los últimos años las competencias de robótica, han ganado reconocimiento a nivel nacional e internacional, que obtiene como insignia competencias realizadas en Japón, México, Rumania, Australia y Estados Unidos, en diferentes categorías de robots de batalla, desde los más básicos como seguidores de línea hasta robots diseñados mediante procesos de manufactura, para que logren un rendimiento óptimo y se alcance un reconocimiento.

II-B. Importancia y alcances

Durante todo este tiempo de formación en la Universidad Politécnica Salesiana en la carrera de Ingeniería Mecatrónica, los estudiantes pueden decidir en formar parte y participar de Concursos de Robótica en el Club de Robótica de la sede , a través de proyectos de tutorías, incursión de los propios estudiantes y proyectos de titulación.

Existen dos diferentes organizaciones estudiantiles dentro de la Universidad, que debido a la pandemia no se ha podido llevar a cabo tales prácticas como se lo ha realizado de manera presencial, por tal motivo este proyecto los incentivan para que puedan competir en diferentes áreas de conocimiento al implementar dicho prototipo.

Teniendo en cuenta un estudio en 2015, Quinde [21], manifiesta que la parte electrónica que involucra en la implementación de prototipos, es mediante módulos de transmisión, de control y potencia, teniendo un transmisor que se encarga de enviar señales FM de tipo PPM, el receptor que se encarga de captar la señal FM y convertirla en señales PWM y señales digitales, que serán amplificadas para el control del robot referente a la tracción y activación del arma, el sistema de radio control no debe estar en la misma frecuencia que el contrincante, se tendrá un sistema cerrado entre el receptor y el emisor, evitando algún ruido externo con una frecuencia de 2.4GHz.

Se tiene como meta, evitar tener limitaciones al momento de diseñar un prototipo referente al trabajo mecanizado y demás inconvenientes al realizarse, es decir que con el presente proyecto se tendrá la información pertinente para realizar procesos de manufactura, diseño mecánico, diseño electrónico que ayuden a los estudiantes a tener una visión más completa referente al diseño de robots.

II-C. Delimitación

Para implementar el robot, se realizó una búsqueda de los elementos necesarios como maquinaria y procesos de manufactura para realizar un diseño funcional e información sobre los microcontroladores, su manejo por radiofrecuencia y bluetooth, como tipo de baterías a usar y material de la estructura.

III. OBJETIVOS

III-A. Objetivo general

Diseñar un robot batalla de la categoría de 30 libras utilizando SolidWorks para competir en concursos de robótica.

III-B. *Objetivos específicos*

- Implementar un robot de batalla de 30 libras.
- Elaborar planos mecánicos y eléctricos del prototipo.
- Desarrollar un análisis de selección de los diferentes componentes electrónicos.
- Realizar pruebas de calibración y parametrización del controlador de velocidad electrónica en el ESC(Electronic Speed Control) mediante el control de frecuencia con su respectivo modelo.

IV. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

IV-A. *Robótica*

El estudio en 2021, Alfaraz [2], destaca que la robótica es el análisis, diseño e implementación de un equipo o autómata, que permite una operación o trabajo de manera constante sin la manipulación humana teniendo diferentes tipos que se observan en la Figura 1.

Figura 1. Tipos en la robótica

IV-B. *Robótica Humanoide*

En la robótica humanoide según un estudio en 2015 , Lee [12], especifica como objetivo la copia de los movimientos de la persona como se observa en la Figura 2, por medio de los actuadores y electrónica, ejecutando comandos mediante controladores programables.

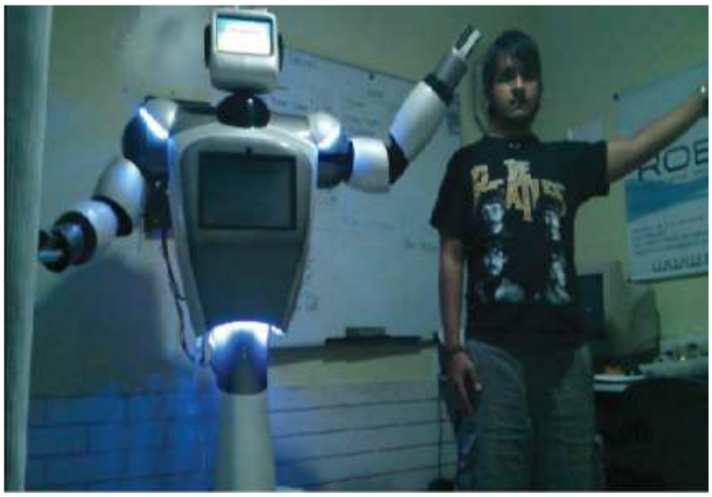


Figura 2. Robótica humanoide

IV-C. *Robótica Móvil*

Teniendo en cuenta que la robótica móvil que cuenta Almeida, 2019 [1], detalla que es la suma de componentes que permiten el movimiento mediante actuadores, que a través de la historia han ido evolucionando. Un ejemplo de esto se detalla en Druwright en 2006 [8], que es el robot shakey siendo una plataforma móvil independiente que se controla por visión remota teniendo sensores y demás periféricos.

IV-D. Robótica Industrial

En la implementación de Gómez [9], se explica que la robótica industrial esta enfocada al estudio y creación de procesos de control empleando máquinas con el fin de realizar tareas que el humano no puede realizar mediante autómatas programables como mover piezas, herramientas, dispositivos especiales.

IV-E. Robot Explorador

Hay que tener en cuenta que Romero [22], en su proyecto de investigación detalla que el uso de un robot explorador ayuda al reconocimiento en lugares inaccesibles, que se pueden moverse ya sea de forma autónoma o controlados por control remoto, evitando un riesgo al operador.

IV-F. Robot Explorador Valquiria R5

El 2018 Chord [6], puntualiza que el robot R5 de la NASA o nombrado también como Valquiria, tiene como objetivo el reconocimiento de zonas inexploradas en el área espacial siendo creado con la dirección del departamento de Ingeniería del Centro Espacial Johnson.

Figura 3. Robot Explorador Valquiria R5

IV-G. Robot Explorador Espíritu

En 2004, Harwood [10], expone que mediante la designación oficial MER, crearon dos robots que forman parte del Programa de Exploración de Marte de la NASA, obteniendo un aterrizaje con éxito al planeta Marte el 3 de enero de 2004 y entrando a modo de apagado en marzo de 2010, el prototipo se presenta en la Figura 4.

Figura 4. Robot Explorador Espíritu

IV-H. Robot The-Black de Hibot para tuberías

En el trabajo de Alvarez en 2021 [2], que se muestra en la Figura 5, es un robot que fue creado en la empresa japonesa Hibot, con el propósito de que pueda examinar tuberías de manera autónoma mediante la incorporación de cámaras y sensores.

Figura 5. Robot The-Black de Hibot para tuberías

IV-I. Competencias de Robots

En Towa en 2019 [15], se describe la creación de un concurso de robótica que se celebra en Ecuador, teniendo como objetivo medir las capacidades en Micro Electrónica, Mecatrónica y Robótica, integrando cualquier lenguaje de programación en un microchip, las categorías se detallan en el cuadro I.

IV-J. Robot de batalla

Consiste en una competencia de dos robots teleoperados, que compiten con el uso de sus armas mecánicas o neumáticas entre sí, en un recinto cerrado. La experiencia de sus constructores y operadores, se exponen en dicho encuentro para determinar cuál es el ganador del combate [23].

IV-K. Materiales para la construcción en robot batalla

En el proyecto según Saldarriaga en 2021 [23], se especifica que los materiales empleados en un robot batalla en las categorías superiores a 12 libras son aluminio, acero y el titanio.

En la elección de los materiales es de acuerdo a la categoría del robot, en el presente proyecto se seleccionó el acero 4340.

Cuadro I
TABLA DE CATEGORÍAS DE ROBOT

Categoría	Tipo de robots
Categoría Todo público	Seguidor de línea velocidad
Categoría Todo público	Seguidor de línea obstáculos
Categoría Todo público	Laberinto
Categoría Todo público	Soccer
Categoría Todo público	Hockey
Categoría Todo público	Batalla de robot 1 Libra
Categoría Todo público	Batalla de robot 12 Libra
Categoría Todo público	Batalla de robot 30 Libra
Categoría Todo público	Batalla de robot 60 Libra
Categoría Todo público	Batalla de robot 120 Libra

IV-L. Clasificación del acero

IV-L1. Acero 1018: Posee un contenido bajo en carbono una escala de 18 % en peso respectivamente, posee poca resistencia, por lo general es usado en ejes y utilizado en robótica en el soporte de motores[23].

IV-L2. Acero 1045: Posee un contenido bajo en carbono una escala de 45 % en peso respectivamente, posee poca resistencia por lo general es usado en engranajes, utilizado en robótica en la encaja de engranes para tracción [23].

IV-L3. Acero 4340: Posee una composición de un 40 % de carbono con cromo y molibdeno, con una resistencia alta y perfecta para el arma del robot, para lograr un mayor impacto contra el oponente[23].

IV-L4. Acero 5260: Posee una composición de un 60 % de cromo y magnesio, con una resistencia alta y perfecta para el arma del robot, para lograr un mayor impacto contra el oponente[23].

IV-M. Sistemas embebidos

Según Chichande [5], se describe que los sistemas de control necesitan un medio de control mediante la electrónica permitiendo operaciones en tiempo real al ser por microcontroladores o microprocesadores, como se presenta en la Figura 6.

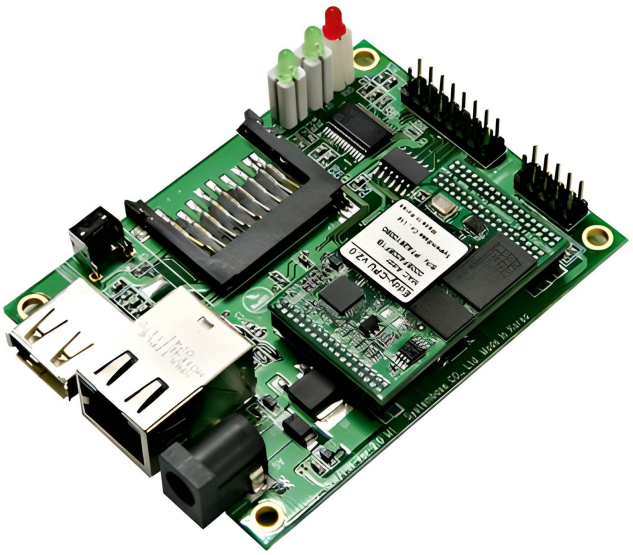


Figura 6. Sistemas embebidos

IV-N. Protocolo de comunicación I2C

En 2021, Lopez [13], se explica que el I2C, es un protocolo de comunicación serial que se desarrolló por Phillips, que se creó para poder comunicar varios chips al mismo tiempo, teniendo un maestro y diferentes equipos llamados esclavos que puede ser de gran ayuda cuando se va a guardar un registro de datos para una sola memoria.

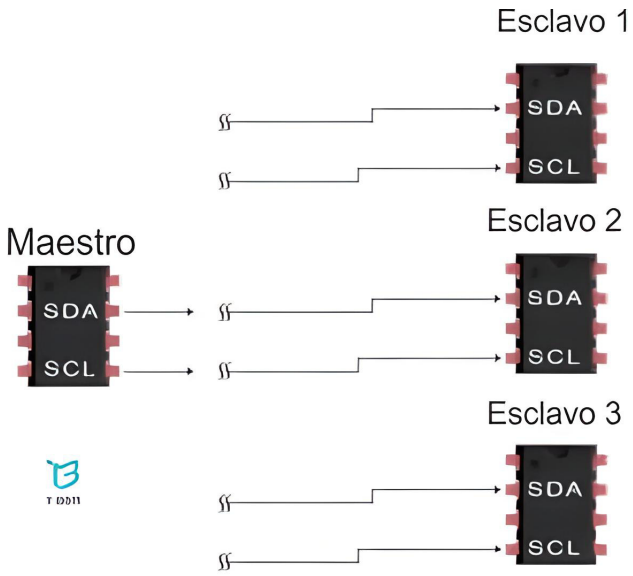


Figura 7. Protocolo I2C de comunicación

IV-Ñ. Protocolo de comunicación UART

Según detalla Lopez [13], el UART, es el sistema de transmisión teniendo un canal de recepción y otro de emisión teniendo comunicación entre dos equipos.

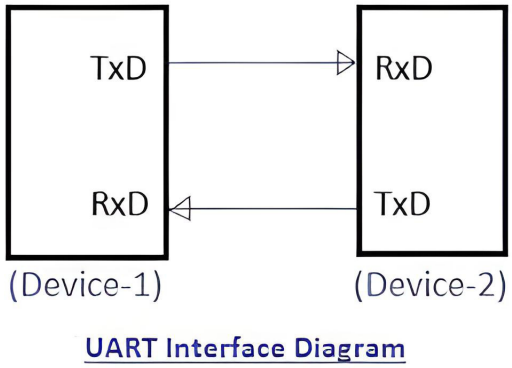


Figura 8. Protocolo UART de comunicación

IV-O. Motores de corriente continua sin escobillas

El desarrollo del motor eléctrico de Paredes en 2014 [18], se basa en la física de la inducción electromagnética siendo descubierto por Michael Faraday, que afirma que el voltaje inducido en un circuito cerrado es directamente proporcional a la velocidad a la que el flujo magnético traspasa cualquier superficie del circuito, a medida que la frontera cambia con el tiempo, en la ecuación de Faraday-Lenz 1.

$$E = \frac{No}{dt} \tag{1}$$

Donde:

- E Tensión inducida(V)
- N Numero de espiras
- o Flujo de campo magnético (Wb) electrónicos.

IV-P. Modulación de ancho de pulsos para control de motores

Según Lopez en 2014 [14], se explica que la modulación de ancho de pulsos, que está formado por una señal de onda cuadrada y varía entre dos estados de 5V y 0V teniendo un ciclo de trabajo, que es importante porque permite modificar sus características y cambiar la apertura de la señal.

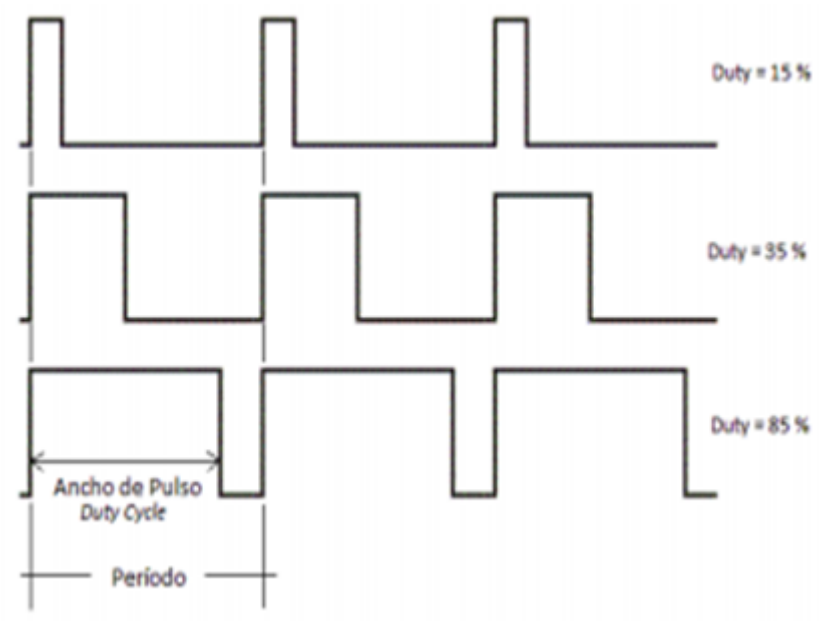


Figura 9. Gráfico del ancho de pulso

IV-Q. Motores BLDC

Los motores BLDC según Morales en 2018 [17], tienen la característica de que no utilizar escobillas en la conmutación para la transferencia de energía, mediante la conmutación ocurre un barrido entre las bobinas.

V. MARCO METODOLÓGICO

V-A. Tratamiento térmico del arma

En Pérez en 1996 y FerrePro en 2022 [19], [26], se detalla que el tratamiento térmico es un proceso que permite agregar dureza a un material metálico como el acero y otros metales. Así mismo, se detallan diferentes procesos dependiendo de la dureza que se quiera conseguir.

V-A1. Temple : En Pérez en 1996 y FerrePro en 2022 [19], [26], se precisa que el temple es el proceso donde el acero se calienta a una temperatura determinada sobre su punto de transformación y procede a introducirse en agua, aceite o sales para que pueda lograr un enfriamiento rápido con una velocidad superior a la crítica, en la que depende de la composición del material para proporcionar una dureza elevada.

V-A2. Nitruración: En Pérez en 1996 y FerrePro en 2022 [19], [26], se describe que el proceso de nitruración es la adición de nitrógeno a la superficie, que mantiene al acero a una temperatura elevada de un aproximado de 550 ºC, ya sea en baño de sales o en una atmósfera de amoniaco en un tiempo determinado, para alcanzar una dureza superficial muy alta con un mínimo de deformaciones.

V-A3. Costo del tratamiento: El costo del tratamiento térmico se calcula por el peso de la pieza, en este caso se tiene un valor aproximado, costo por kilogramo es de 30 dolares, como son dos piezas cada una en un peso de 1020.688g transformados dan 1.02kg multiplicado por el costo del tratamiento por los dos dientes del arma que da como resultado 61 dolares con 20 centavos.

V-B. Mecanismo de la banda

El mecanismo reductor en el sistema de transmisión del arma mediante bandas a medida sin mecanismo de tensado, se presentan los cálculos de velocidad desde el motor al punto final denominado rotación del arma en la Ecuación 2 y la Ecuación de reducción de poleas 3.

$$\begin{aligned}
constanteKv &= 270kv \\
Voltajemáximoporcelda &= 4{,}2v \\
Voltaje6s &= 6 * 4{,}2v \\
Voltaje6s &= 25{,}2v \\
Velocidadmaximaarma1 &= voltaje6s * constantekv \\
Velocidadmaximaarma1 &= 25{,}2v * 270kv \\
Velocidadmaximaarma1 &= 6804Rpm \\
Velocidadmaximaarma1 &= 712{,}51rad/seg
\end{aligned} \tag{2}$$

$$\begin{aligned}
PoleaPrimaria &= Poleaconductora = 54mm(diámetro1) \\
PoleaSecundaria &= Poleaconducida = 60mm(diámetro2) \\
Relación(i) &= Poleaconductora/Poleaconducida \\
Relación(i) &= 54/60 \\
Relación(i) &= 0{,}9 \\
Velocidaddearma(R1) &= 6804Rpm \\
Velocidaddearma(R2) &= R1 * relación(i) \\
Velocidaddearma(R2) &= 6804 * 0{,}9 \\
Velocidaddearma(R2) &= 6123{,}6Rpm \\
Velocidaddearma(R2) &= 641{,}26rad/seg
\end{aligned} \tag{3}$$

V-C. Arma del robot

El arma está hecho con un tratamiento térmico como nitruración y temple. No se puede soldar con tratamiento térmico porque puede alterar la composición química del acero, evitando la fricción y torsión por desbaste del material al utilizar técnicas de fabricación como CNC.

V-C1. Eje del arma: El eje del arma está construida con acero 4340 con un tratamiento térmico para aumentar la robustez del material, teniendo como resultado un material con gran dureza y resistente a la fatiga, como se muestra en la Figura 10.

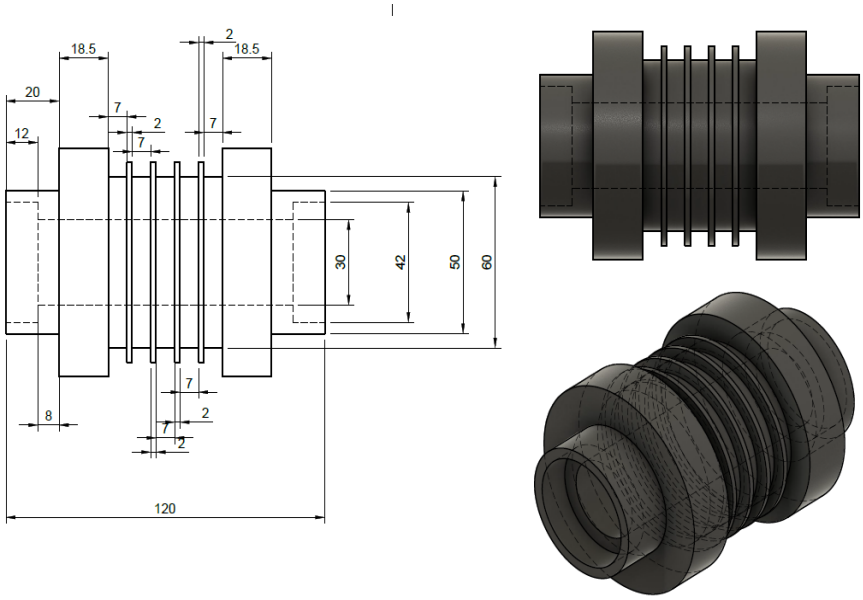


Figura 10. Vista frontal del Eje del arma del robot

V-C2. Dientes del arma: El arma del robot consta de dientes o protuberancias de acero 4340, con un tratamiento térmico de temple y nitruración, se suelda con una soldadura manual por arco eléctrico, con un electrodo E 6013 al eje del arma, para que pueda girar a grandes velocidades, como se muestra en la Figura 11.

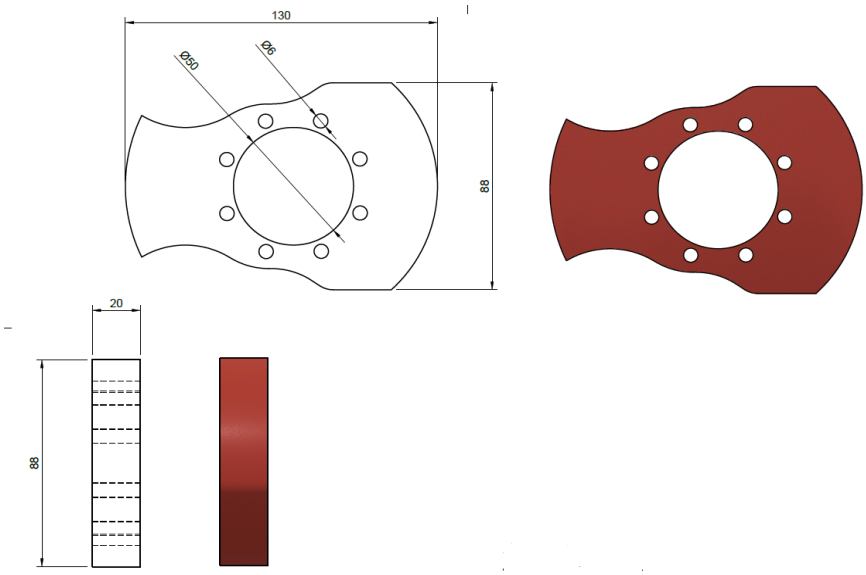


Figura 11. Vista frontal y lateral del diente del arma del robot

V-C3. Eje central del arma: En la Figura 12, se muestra el eje central del arma de acero inoxidable, que soporta la masa del arma para permitir la rotación de los dientes y causar daños al contrincante.

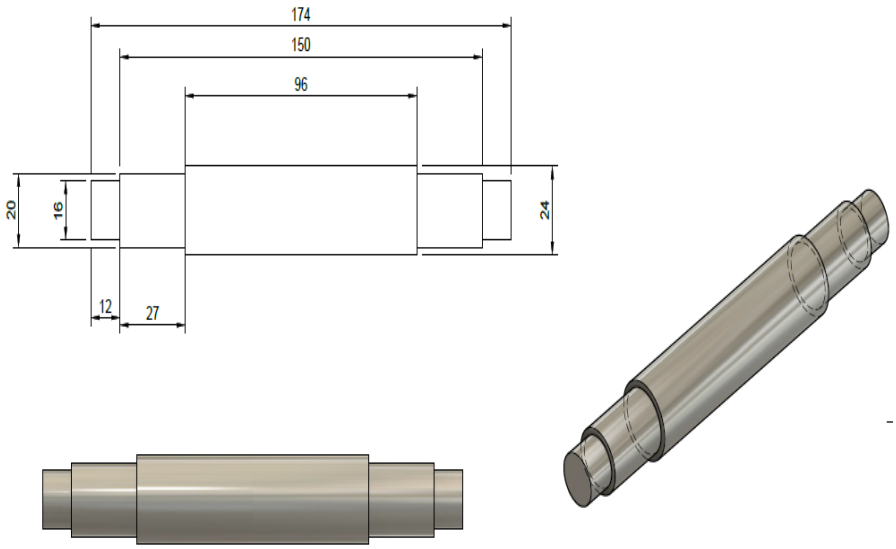


Figura 12. Vista frontal del eje central del arma

V-D. Estructura del robot

La estructura del robot está formado de acero 4340 y acero 5260, los aceros son maleables pero tienen mayor grado de dureza.

V-D1. Laterales internos estructural: Consta de dos laterales internos estructural, los cuales ayudan al soporte del eje del arma. Son de acero 4340 para que aguante golpes del adversario como se muestra en la Figura 13.

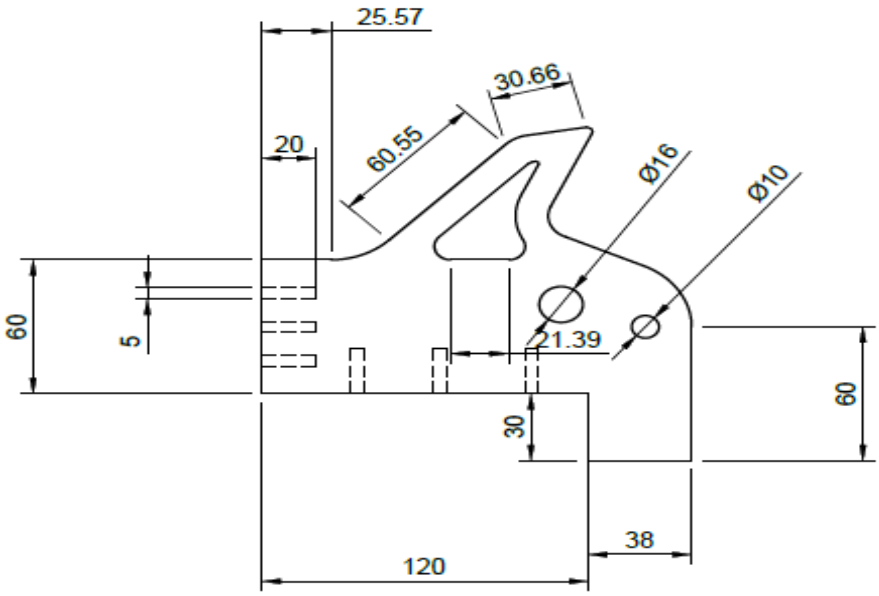


Figura 13. Vista frontal del lateral interno del robot

V-D2. Laterales externos estructural: Consta de dos laterales externos estructural, que están fabricados de un acero 5260, para lograr una mayor resistencia ante los impactos que ocurran al momento de la competencia como se aprecia en la Figura 14.

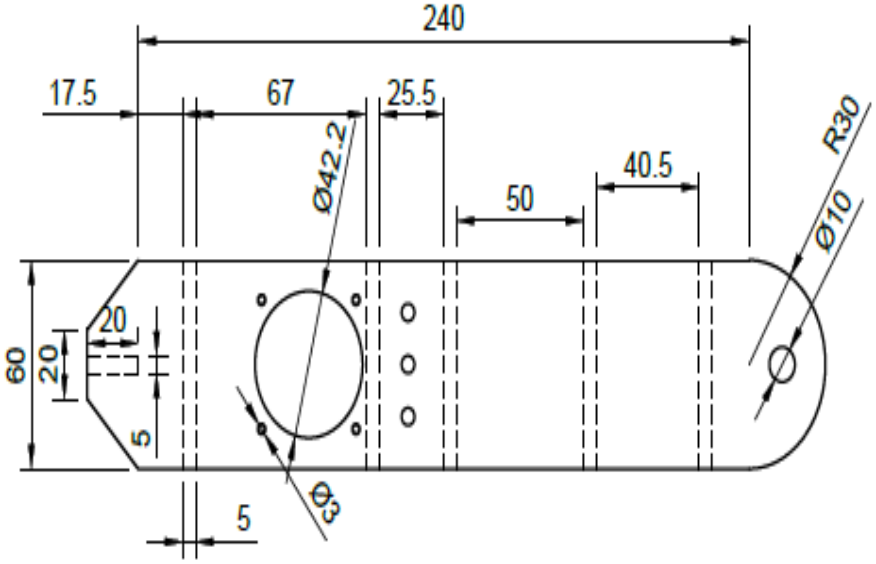


Figura 14. Vista frontal del soporte externo del robot

V-D3. Soporte interno estructural: En la Figura 15, se muestra el soporte interno estructural que da dureza al robot permitiendo que los golpes se amortigüen y no sufra deformaciones protegiendo la parte electrónica.

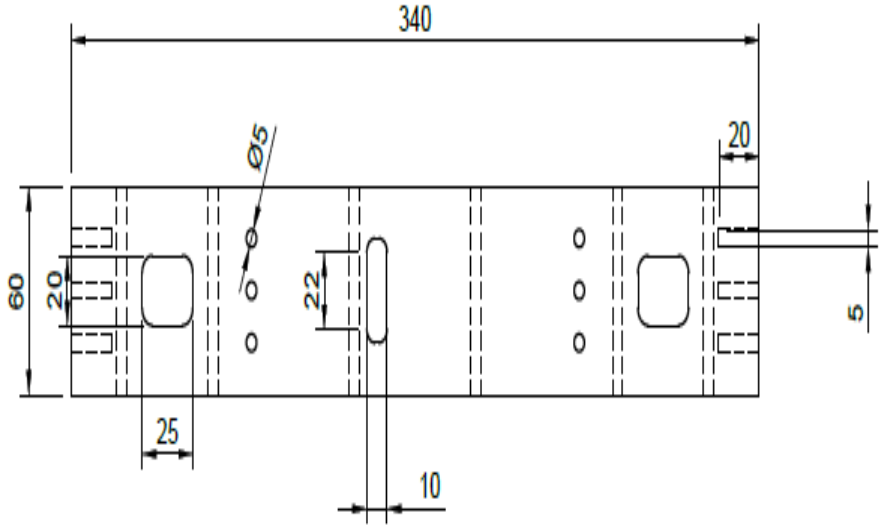


Figura 15. Vista frontal del soporte interno del robot

V-D4. Escudo posterior: En la Figura 16, se muestra la protección del escudo posterior del prototipo en el apartado donde estarán las baterías y motores.

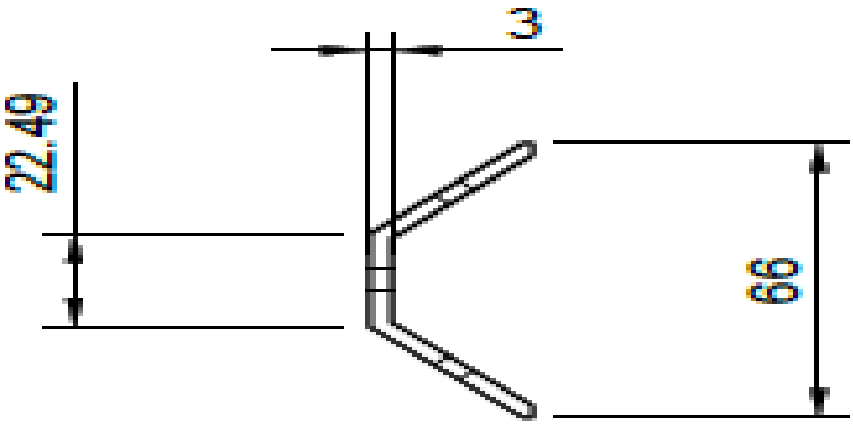


Figura 16. Vista frontal del escudo posterior

V-D5. Tapa superior: En la Figura 17, se muestra la tapa superior que protege la parte interna del robot al momento de recibir algún golpe, estando fabricada de un acero 4340 y cortada con presión de agua para que no pierda dureza al momento del corte.

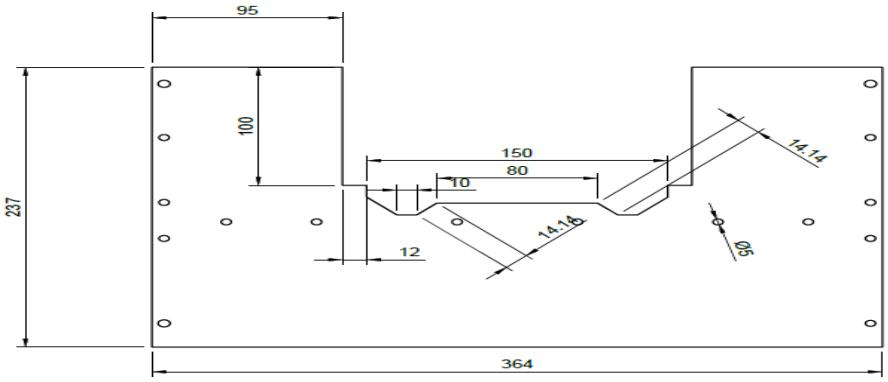


Figura 17. Vista frontal de la tapa superior

V-D6. Tapa inferior: En la Figura 18, se muestra la tapa inferior donde estarán acoplados los soportes de los motores de tracción y el motor del arma, está compuesto de acero 4340.

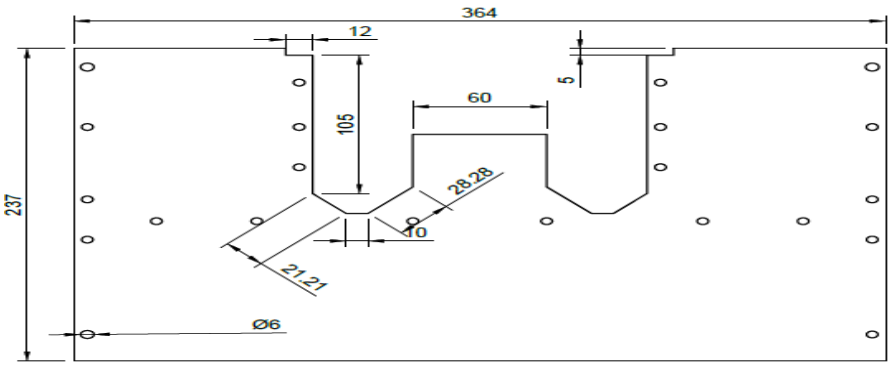


Figura 18. Vista frontal de la tapa inferior

V-E. *Cálculos potencia motor tracción*

Teniendo en cuenta los siguientes datos del motor y considerando la caja reductora tipo planetaria se presentan las siguientes constantes en la Ecuación 4.

$$
\begin{aligned}
Velocidadsincarga &= 10000rpm = R1 \\
Potencia &= 180w \\
Reducción(Real) &= 64:1(64:1)
\end{aligned}
$$

$$
\begin{aligned}
&Velocidadcajareductora \\
&\qquad I = relación \\
&\qquad I = 64 \\
&\qquad R2 = R1/relación \\
&\qquad R2 = 10000/64 \\
&\qquad R2 = 156,25Rpm
\end{aligned}
\tag{4}
$$

$$
\begin{aligned}
&TorquedelMotor \\
&\qquad Potencia180w = 0{,}241HP \\
&\qquad Par = (0{,}241x716)/10000Rpm \\
&\qquad Par = 0{,}017kg-m
\end{aligned}
$$

$$
\begin{aligned}
&TorquedelaCajaReductora \\
&\qquad Potencia180w = 0{,}241PH \\
&\qquad Par = (0{,}241x716)/156,25Rpm \\
&\qquad Par = 1{,}1kg-m
\end{aligned}
$$

V-F. *Tracción del robot*

Se procede a seleccionar el caucho naval, ya que las ruedas deben soportar múltiples esfuerzos y cargas, también golpes directos, por esta misma razón en relación porcentual en Rockwell de la rueda naval, se determina como la ideal, ya que en este caso debemos tomar en cuenta la que mejor se ajusta en todos sus porcentajes, ya sea en el desgaste, la adherencia, disipación mecánica y durabilidad en la aplicación de impactos, como se muestra en la tabla II.

Cuadro II
SELECCIÓN DE RUEDAS

	Naval	Sintético	Fundición	Reutilizado(Neumático)
Dureza	60 %	50 %	40 %	90 %
Elasticidad	40 %	50 %	60 %	10 %
Deformación	30 %	50 %	80 %	10 %
Mantenimiento	60 %	50 %	40 %	30 %
Durabilidad	90 %	70 %	20 %	30 %

La llanta es de caucho naval de grado 7, es una rueda de alto impacto con eje de aluminio. Se adhiere a varias superficies como es la baldosa, la madera y el acero donde básicamente va a rodar el robot en el área de batalla, consta de un acople interno que se ajusta con prisioneros para evitar que se salga del eje del motor como se muestra en la Figura 19.

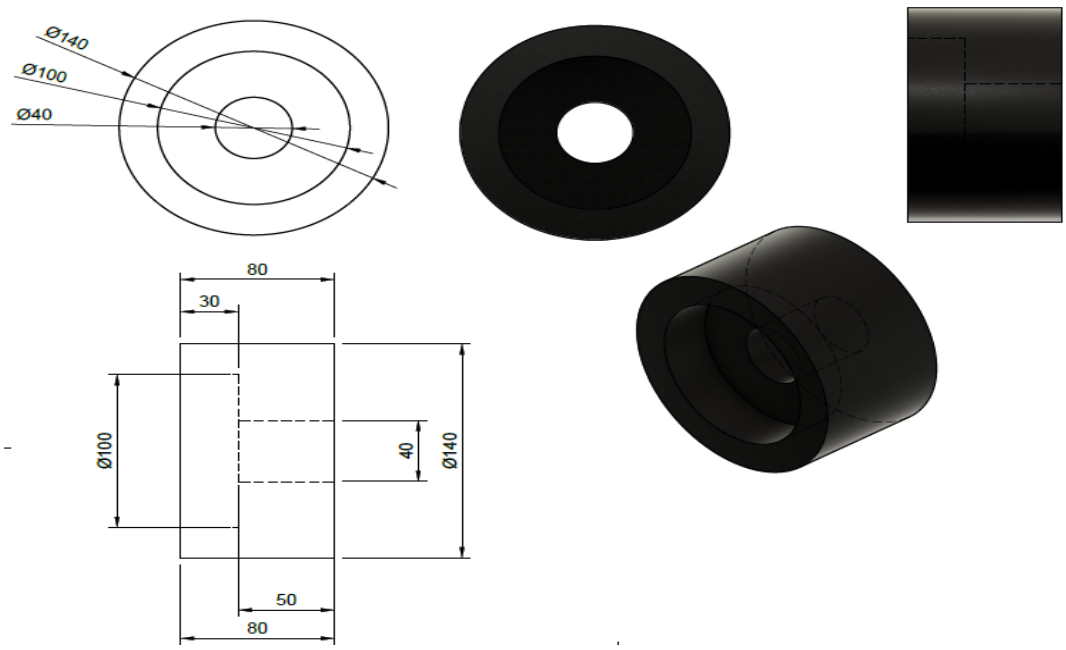


Figura 19. Llantas del robot

V-F1. Motores del robot: El motor CC, es una máquina que convierte la energía eléctrica en mecánica, para que pueda realizar un movimiento rotatorio, gracias al movimiento de un campo magnético. En el prototipo se seleccionó un motor 775 con una revolución máxima de 10000 RPM con eje Circular y de tipo D, con voltaje de funcionamiento ajustable desde los 12V hasta los 24V DC de alta velocidad, como se muestra en la Figura 20.

Figura 20. Motores del robot

V-F2. Motor con reductor del sistema de tracción: Para la tracción es necesario el uso de un reductor [24], teniendo como objetivo el incremento del torque para la movilidad del prototipo, se usó una caja de cambios P6S de servicio estándar con una reducción de 64: 1, con una configuración en el eje de salida redondo de 1-1 / 2 pulg de largo x 1/2, bloque frontal cuadrado estándar, engranaje de anillo de aluminio 2024 volteado y cada motor se conecta a una caja de cambios cuando se conecta directamente a la rueda.

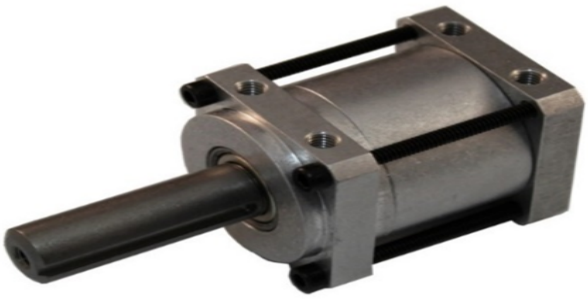


Figura 21. Motor con reductores del sistema de tracción

V-F3. Motor sin escobillas PROPDRIVE v2 5060 270KV: Un motor sin escobillas o motor brushless, es un motor eléctrico que no utiliza escobillas para que pueda realizar un cambio de polaridad en el rotor. En el arma del robot se diseñó con un acople a un motor PROPDRIVE v2 que se muestra en la Figura 22, para aumentar el par, la velocidad de rotación y tenga una mejor relación de eficiencia energética, teniendo una respuesta rápida gracias a sus bobinados ajustados, cojinetes lisos, imanes clasificados correctamente, estator de corte de precisión y rotores equilibrados [25].

Figura 22. Motor sin escobillas PROPDRIVE v2 5060 270KVn

V-G. Controladores de motores

V-G1. Control electrónico de velocidad para arma: Teniendo en cuenta el consumo máximo del motor brushless que es de 90 A, para el prototipo se seleccionó el control electrónico de velocidad HobbyKing Red Brick ESC, por su característica, como nivel máximo de corriente de 100 A en trabajo continuo, que permite el control del voltaje que va a la batería, que obtiene una alimentación máxima de 7 celdas de batería siendo 25.9 V Dc, que permite obtener un control robusto y confiable[4].

Figura 23. Variador de frecuencia para arma

V-G2. Controlador para motores DC Sabertooth 60 A: En la selección de la tarjeta de control se utilizó el controlador de motores Sabertooth 2x60,teniendo un pico de corriente de 120 A, que para el consumo de los motores del prototipo pueda satisfacer con plenitud, el trabajo establecido en los combates, siendo adecuado para robots de alta potencia hasta 120 libras en combate o hasta 1000 libras para robótica de uso general, consta de protección térmica y sobre corriente, que significa que nunca tendrá que preocuparse por matar al conductor con paradas accidentales o por conectar a un motor demasiado grande.[21]

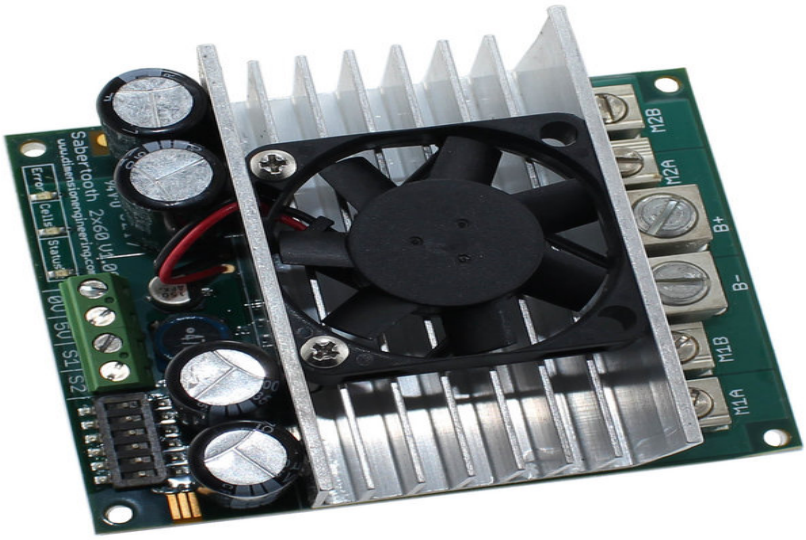


Figura 24. Controlador para motores DC Sabertooth 60 A

V-G3. Configuración del Sabertooth 60 A: Para el control del robot mediante la sabertooth, es necesario la configuración de unos pulsantes ubicados en la parte inferior derecha como se muestra en la Figura 25 demostrado en el diseño de robot de batalla en 2012, Quinde[21] y la configuración se detalla en la tabla III.

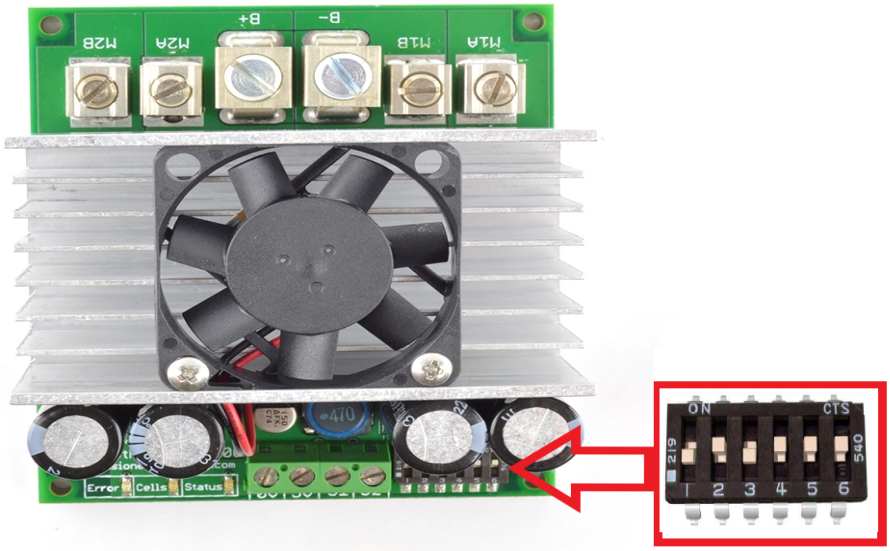


Figura 25. Configuración del Sabertooth 60 A

V-H. Controlador de radiofrecuencia

V-H1. Receptor de radiofrecuencia: Un receptor es un dispositivo decodificador de señales mediante radiofrecuencia, que recibe la señal del transmisor y entrega la salida a la electrónica del robot, se comunica entre si a una frecuencia de 2.4Ghz.[7]

Cuadro III
CONFIGURACIÓN DEL SABERTOOTH 60 A

SW1	OFF
SW2	ON
SW3	OFF
SW4	ON
SW5	ON
SW6	ON

V-H2. Radio control Fly sky: El Fly sky es un transmisor de 6 canales sistema de 2.4 GHz que tiene muy bajo consumo de energía, de dos joysticks de estilo plano, comúnmente utilizado en los robots de batalla enviando los parámetros mediantes señales de radiofrecuencia del control hacia el receptor permitiendo controlar el robot de manera remota[16].

V-I. Suministro Energético del robot

V-I1. Batería de lipo para tracción: En la Figura 26 se muestra la batería Rhino, se optó para que reduzca el aumento de temperatura durante el uso de las batería en las batallas de robot, lo que mejoraría el ciclo de vida del paquete de la batería.[20]

Figura 26. Batería Rhino

V-I2. Batería de lipo para arma: En la Figura 26 se muestra la batería polímero de litio Tattu, esta batería permitirá que funcione plenamente y resista los tres minutos de batalla. Poseen un ciclo de recarga rápido, larga vida útil, teniendo un conector XT60 y una capacidad de descarga de 95 Columb[11]

Figura 27. Batería LiPo - Tattu R-Line

V-J. Diseño electrónico del robot de batalla

El robot tiene una conexión con el control de radiofrecuencia mediante un transmisor, que envía las señales a un receptor que esta conectado con la sabertooth y al variador de velocidad para el control del arma, como se muestra en el diagrama de la Figura 28 y las conexiones en la tabla IV.

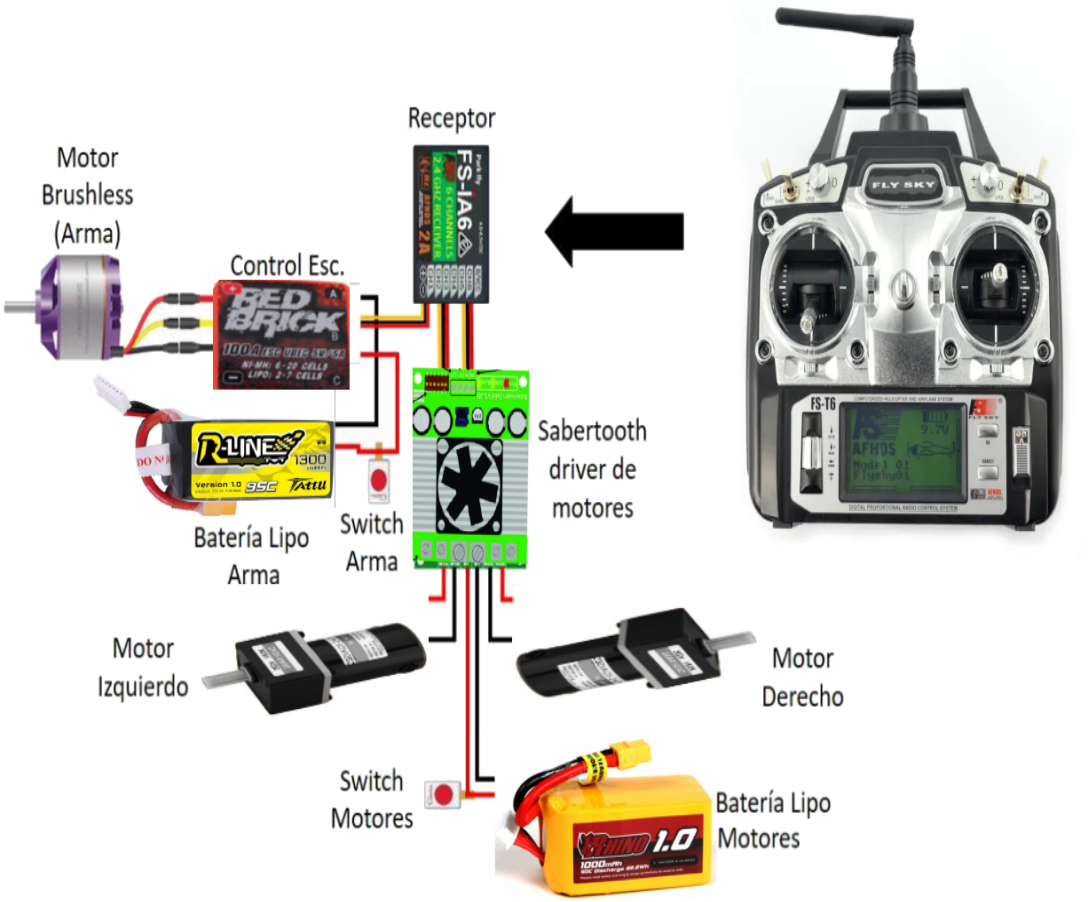


Figura 28. Diagrama de conexiones del robot

Cuadro IV
CONEXIONES DEL ROBOT

Receptor Canal 1	Sabertooth Pin A
Receptor Canal 2	Sabertooth Pin B
Receptor Canal 3	variador esc Señal
Batería Rhino VCC	Sabertooth Pin VCC
Batería Rhino GND	Sabertooth Pin GND
Batería Tattu VCC	Esc Pin VCC
Batería Tattu GND	Esc Pin GND

V-K. Diagrama del funcionamiento del robot de batalla

Se detalla el proceso de funcionamiento del prototipo en la Figura 76.

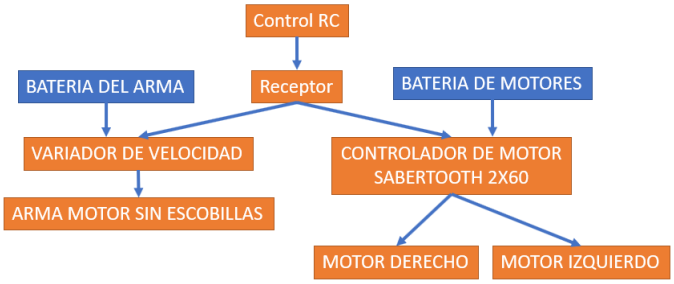


Figura 29. Diagrama de funcionamiento del robot

V-L. *Esquema del robot de batalla*

El esquemático de las conexiones del prototipo se muestran en la Figura 30.

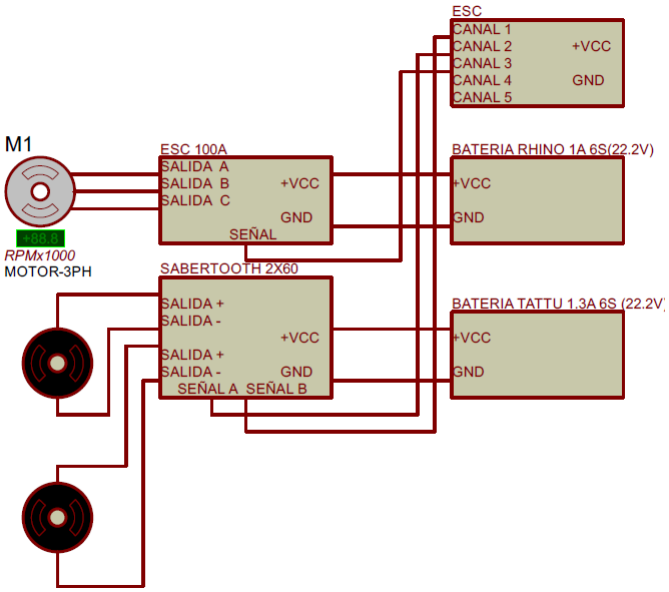
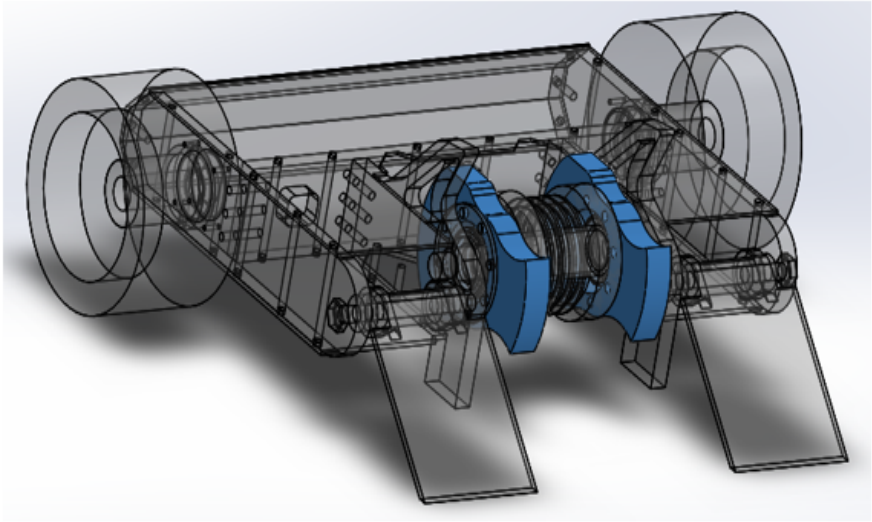


Figura 30. Diagrama eléctrico del robot

V-M. *Propiedades de los materiales del robot*

V-M1. Propiedades del arma: En la Figura 31, se observa el cálculo de la densidad teniendo en cuenta la relación de peso dependiendo del material siendo acero 4340 aplicado en Solidworks para el diente del arma.

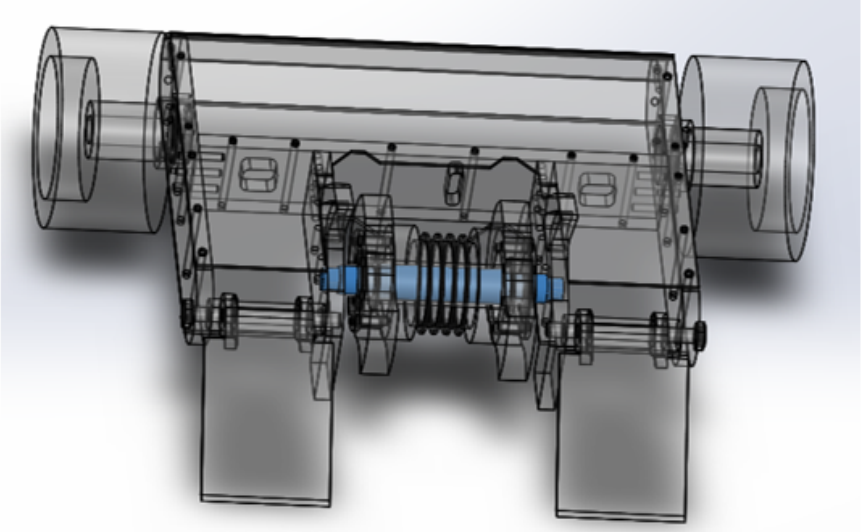


Acero AISI 4340 350A RT

Densidad	7.85E-06 kg / mm^3
Módulo de Young	207000 MPa
Coeficiente de Poisson	0.33
Límite de elasticidad	1102 MPa
Resistencia máxima a tracción	1171 MPa
Conductividad térmica	0.0445 W / (mm C)
Coeficiente de dilatación térmica	1.23E-05 / C
Calor específico	475 J / (kg C)

Figura 31. Propiedades del diente del arma

En la Figura 32, se observa el cálculo de la densidad teniendo en cuenta la relación de peso dependiendo del material siendo acero 304 aplicado en SolidWorks para el eje central del arma.

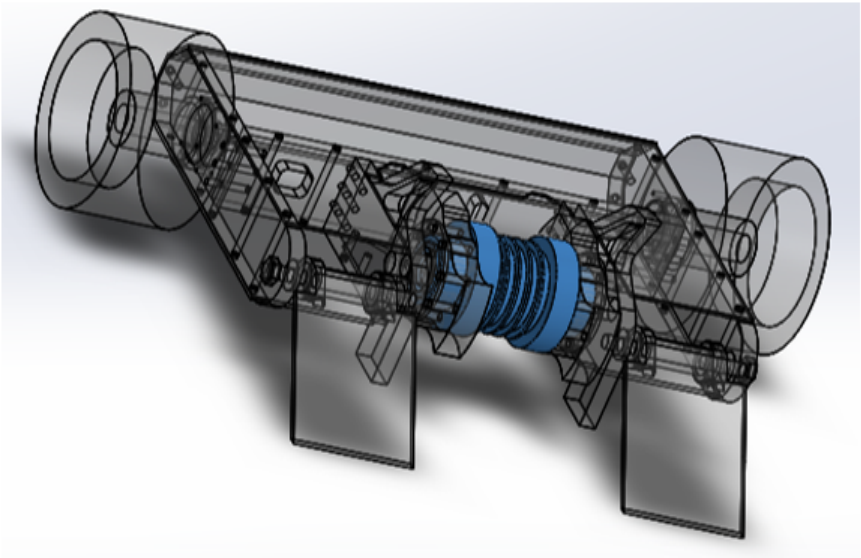


Acero inoxidable AISI 304

Densidad	8E-06 kg / mm^3
Módulo de Young	195000 MPa
Coeficiente de Poisson	0.29
Límite de elasticidad	215 MPa
Resistencia máxima a tracción	505 MPa
Conductividad térmica	0.0162 W / (mm C)
Coeficiente de dilatación térmica	1.73E-05 / C
Calor específico	500 J / (kg C)

Figura 32. Propiedades del eje arma

En la Figura 33, se observa el cálculo de la densidad teniendo en cuenta la relación de peso dependiendo del material siendo acero 4340 aplicado en SolidWorks para el cuerpo del arma donde están las poleas.

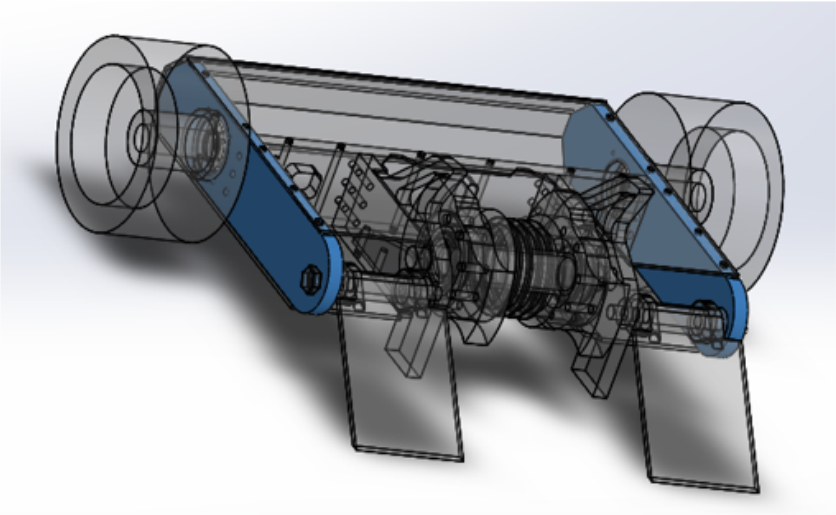


Acero AISI 4340 40A RT

Densidad	7.85E-06 kg / mm^3
Módulo de Young	207000 MPa
Coeficiente de Poisson	0.33
Límite de elasticidad	1371 MPa
Resistencia máxima a tracción	1467 MPa
Conductividad térmica	0.0445 W / (mm C)
Coeficiente de dilatación térmica	1.23E-05 / C
Calor específico	475 J / (kg C)

Figura 33. Propiedades del rodillo arma

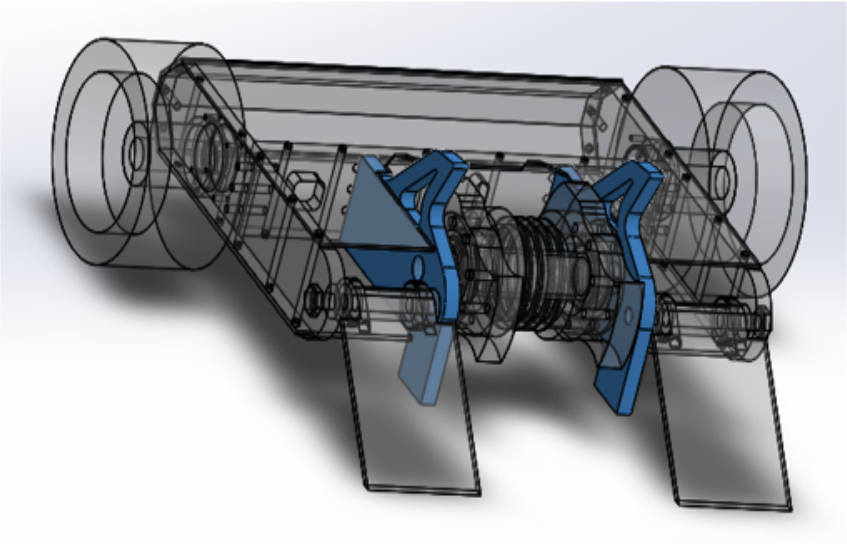
V-M2. Propiedades de la estructura: En la Figura 34 y Figura 35, se observa el cálculo de la densidad aplicado en SolidWorks para los laterales de aluminio 7075 en la parte interna y externa del robot teniendo una robustez al momento de la batalla.



Aluminio 7075

Densidad	2.81E-06 kg / mm^3
Módulo de Young	71700 MPa
Coeficiente de Poisson	0.33
Límite de elasticidad	145 MPa
Resistencia máxima a tracción	276 MPa
Conductividad térmica	0.173 W / (mm C)
Coeficiente de dilatación térmica	2.34E-05 / C
Calor específico	960 J / (kg C)

Figura 34. Propiedades del lateral exterior

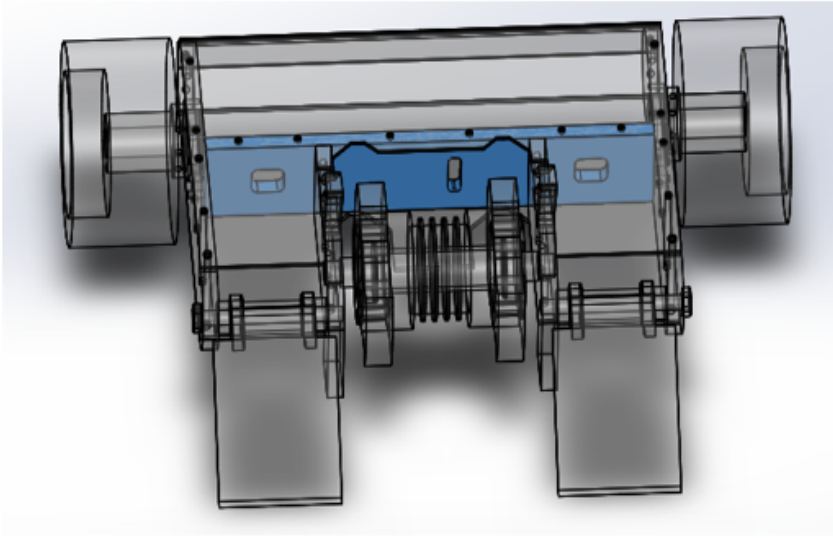


Aluminio 7075

Densidad	2.81E-06 kg / mm^3
Módulo de Young	71700 MPa
Coeficiente de Poisson	0.33
Límite de elasticidad	145 MPa
Resistencia máxima a tracción	276 MPa
Conductividad térmica	0.173 W / (mm C)
Coeficiente de dilatación térmica	2.34E-05 / C
Calor específico	960 J / (kg C)

Figura 35. Propiedades del lateral interno

En la Figura 36, se observa el cálculo de la densidad aplicado en SolidWorks para el soporte interior del robot que separa la parte de electrónica con la parte de actuadores como el arma.

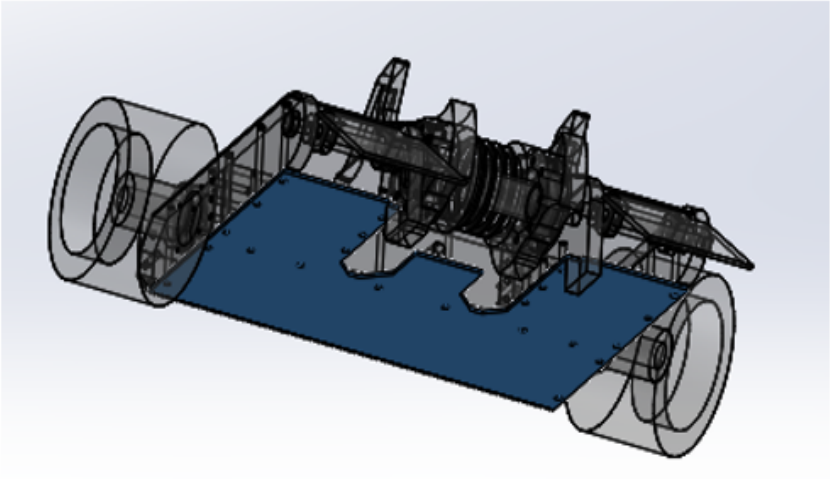


Aluminio 7075

Densidad	2.81E-06 kg / mm^3
Módulo de Young	71700 MPa
Coeficiente de Poisson	0.33
Límite de elasticidad	145 MPa
Resistencia máxima a tracción	276 MPa
Conductividad térmica	0.173 W / (mm C)
Coeficiente de dilatación térmica	2.34E-05 / C
Calor específico	960 J / (kg C)

Figura 36. Propiedades del soporte interior

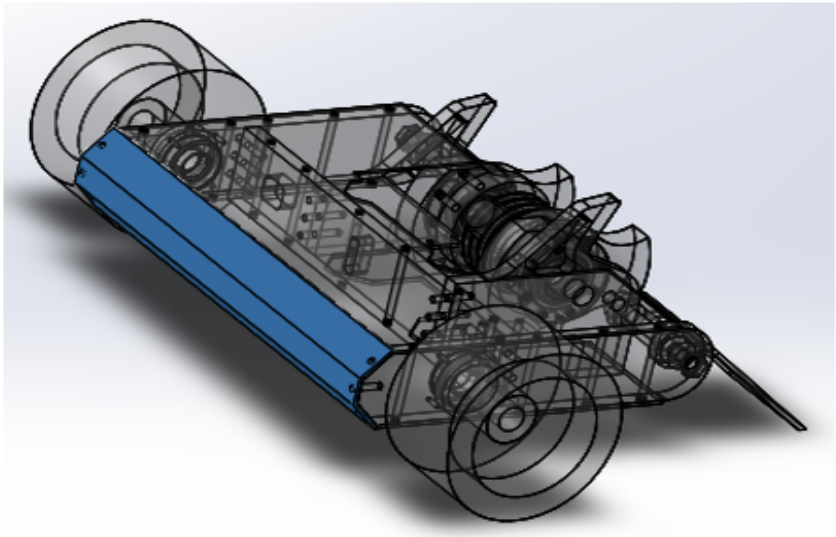
En las Figuras 37, 38, 39 se observan los protectores de la parte inferior, posterior y superior del robot teniendo una fabricación en acero 4340 permitiendo robustez y un soporte estructural mayor al momento de las batallas.



Acero AISI 4340 350A RT

Densidad	7.85E-06 kg / mm^3
Módulo de Young	207000 MPa
Coeficiente de Poisson	0.33
Límite de elasticidad	1102 MPa
Resistencia máxima a tracción	1171 MPa
Conductividad térmica	0.0445 W / (mm C)
Coeficiente de dilatación térmica	1.23E-05 / C
Calor específico	475 J / (kg C)

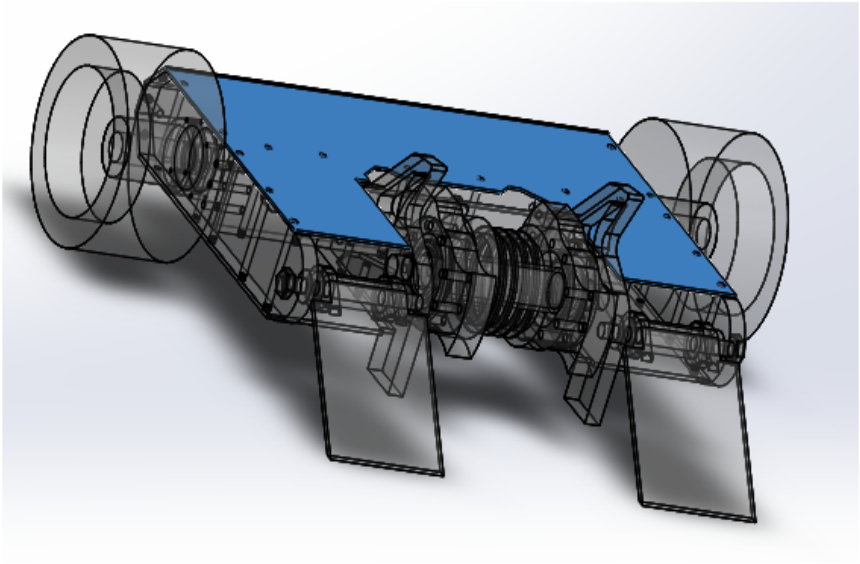
Figura 37. Propiedades de la tapa inferior



Acero AISI 4340 350A RT

Densidad	7.85E-06 kg / mm^3
Módulo de Young	207000 MPa
Coeficiente de Poisson	0.33
Límite de elasticidad	1102 MPa
Resistencia máxima a tracción	1171 MPa
Conductividad térmica	0.0445 W / (mm C)
Coeficiente de dilatación térmica	1.23E-05 / C
Calor específico	475 J / (kg C)

Figura 38. Propiedades de la tapa posterior



Acero AISI 4340 350A RT

Densidad	7.85E-06 kg / mm^3
Módulo de Young	207000 MPa
Coeficiente de Poisson	0.33
Límite de elasticidad	1102 MPa
Resistencia máxima a tracción	1171 MPa
Conductividad térmica	0.0445 W / (mm C)
Coeficiente de dilatación térmica	1.23E-05 / C
Calor específico	475 J / (kg C)

Figura 39. Propiedades de la tapa superior

VI. RESULTADOS

VI-A. Análisis de componentes

VI-A1. Lateral externo: En la Figura 40, se observa el lateral externo del robot, ejerciendo una fuerza de 300 Newton, teniendo como resultado una deformación de 7.502,07 URES y en la Figura 41, se observa el análisis de Von Mises con un límite de elasticidad de 9.500e07 Pascal.

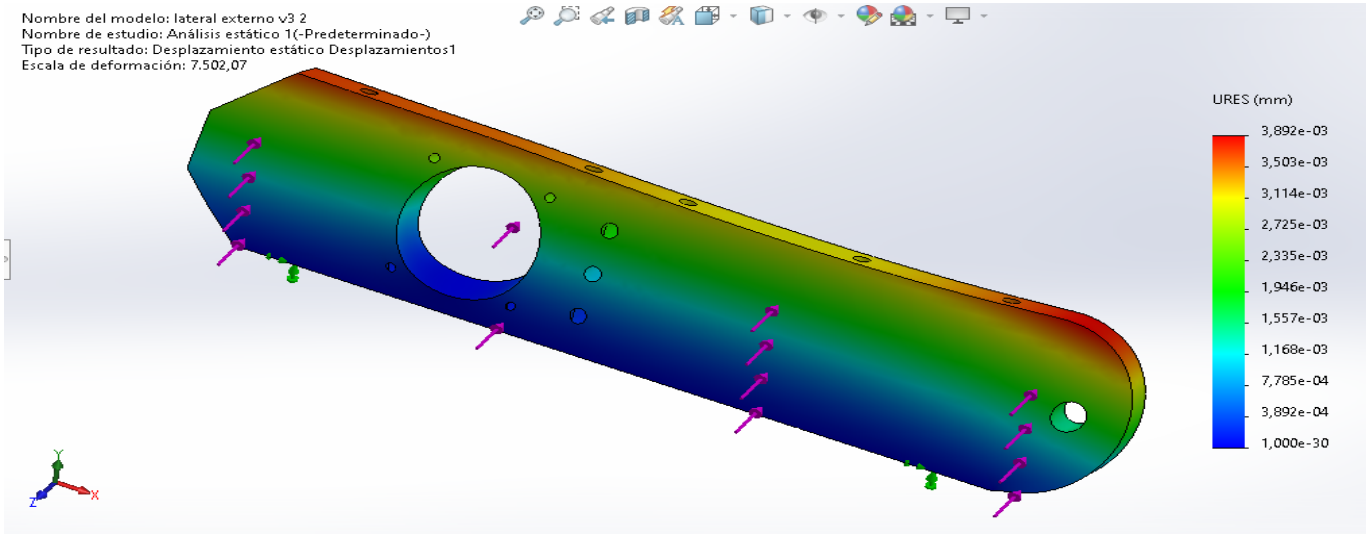


Figura 40. Resultado de deformación en lateral externo

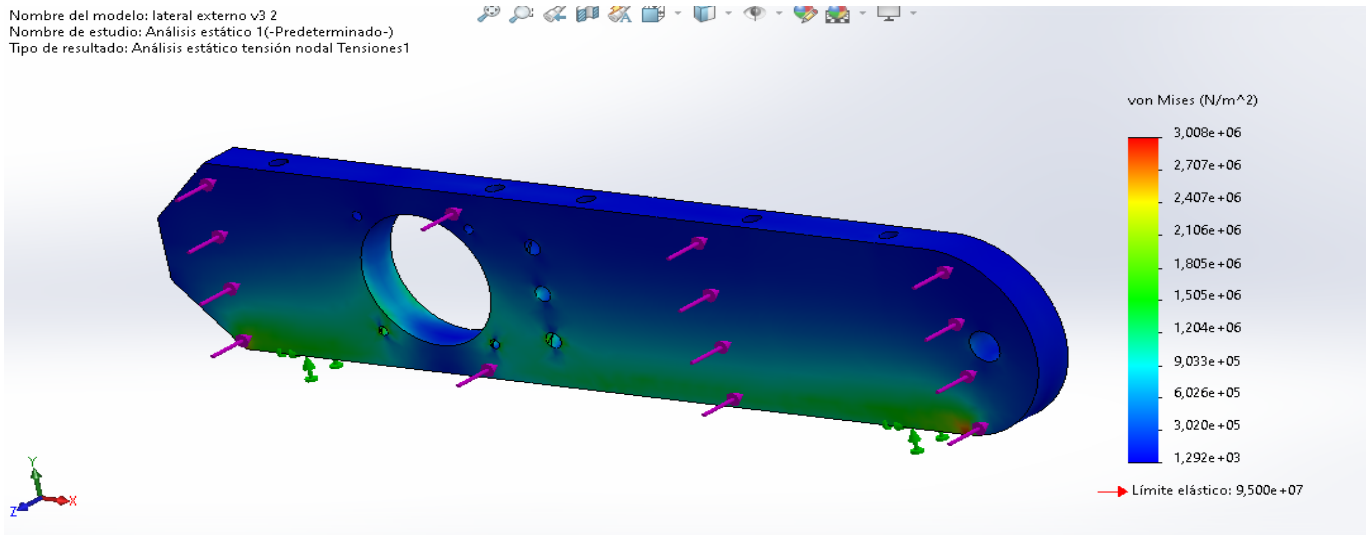


Figura 41. Resultado de Von Mises en lateral externo.

VI-A2. Lateral interno: En la Figura 42, se observa el lateral interno del robot ejerciendo una fuerza de 150 Newton obteniendo una deformación de 2.989,07 URES y en la Figura 43, se observa el análisis de Von Mises con un límite de elasticidad de 4.700e+08 Pascal.

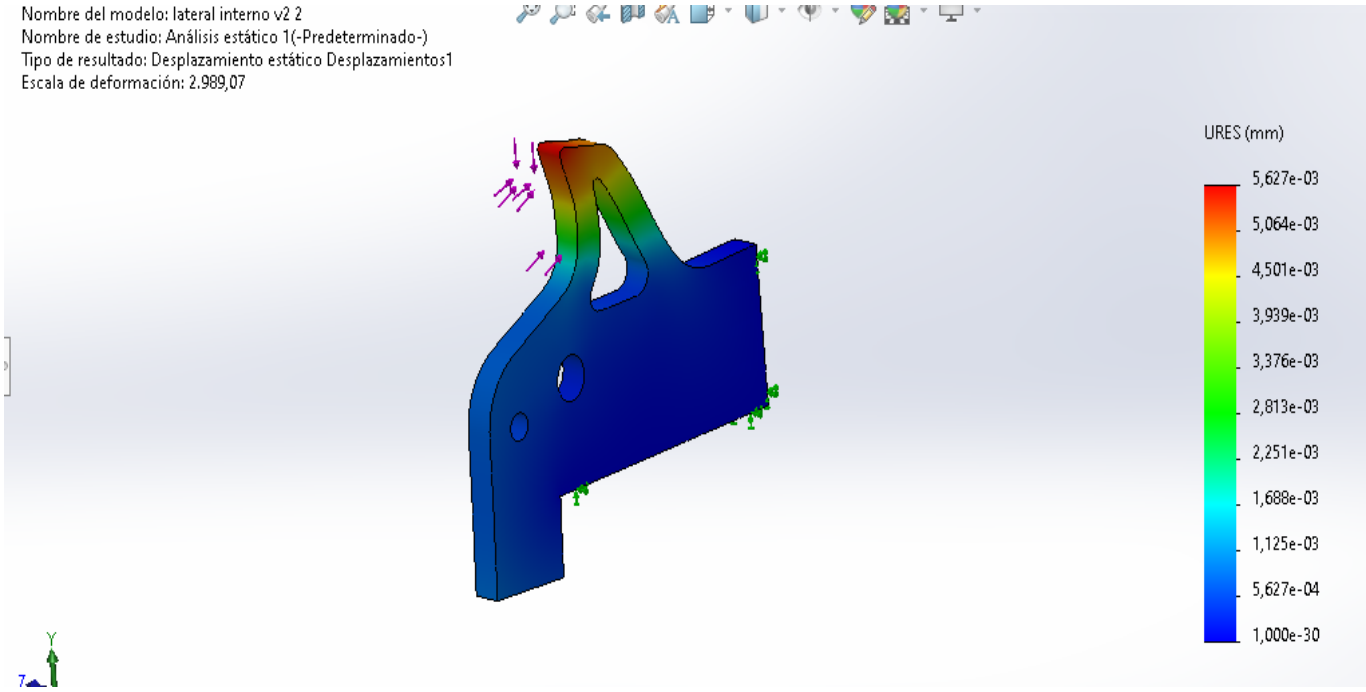


Figura 42. Resultado de deformación de lateral interno

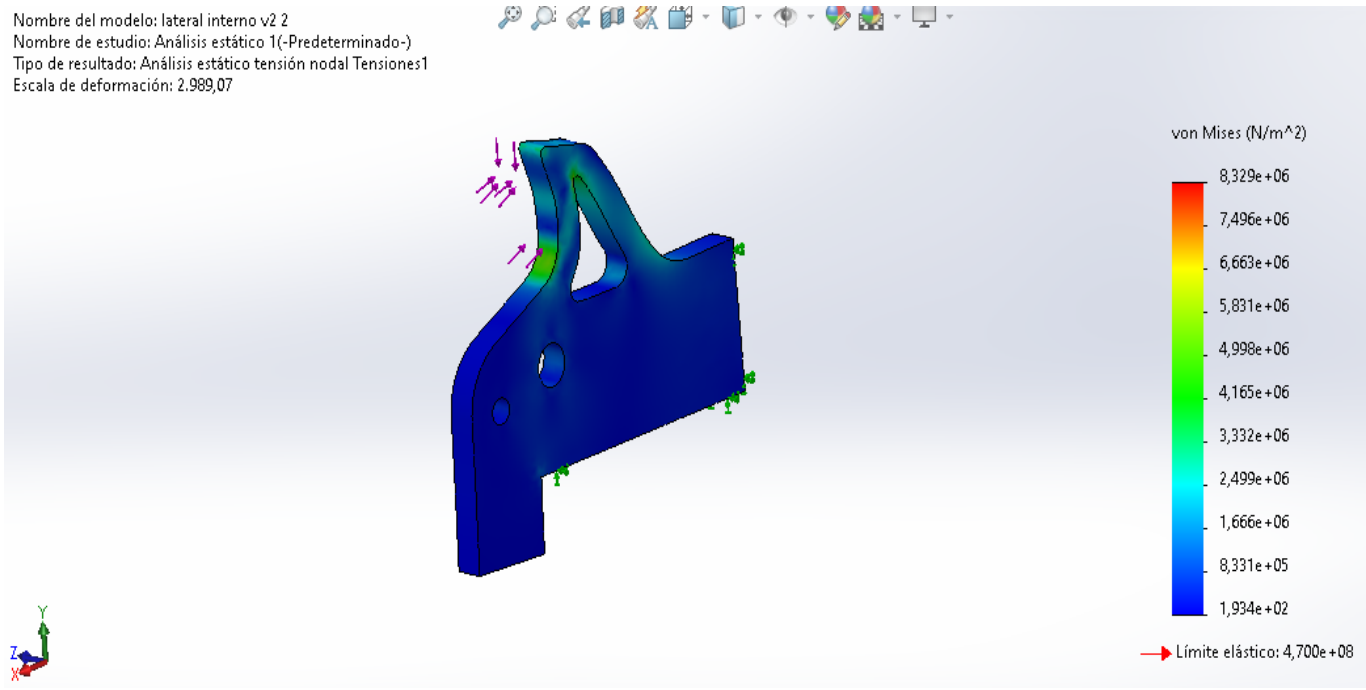


Figura 43. Resultado de Von Mises en lateral interno

VI-A3. Rampa del robot: En la Figura 44, se observa la rampa del robot ejerciendo una fuerza de 300 Newton mostrándose una deformación de 26,8134 URES y en la Figura 45, se observa el análisis de Von Mises con un límite de elasticidad de 7.100e+08 Pascal en acero 4330.

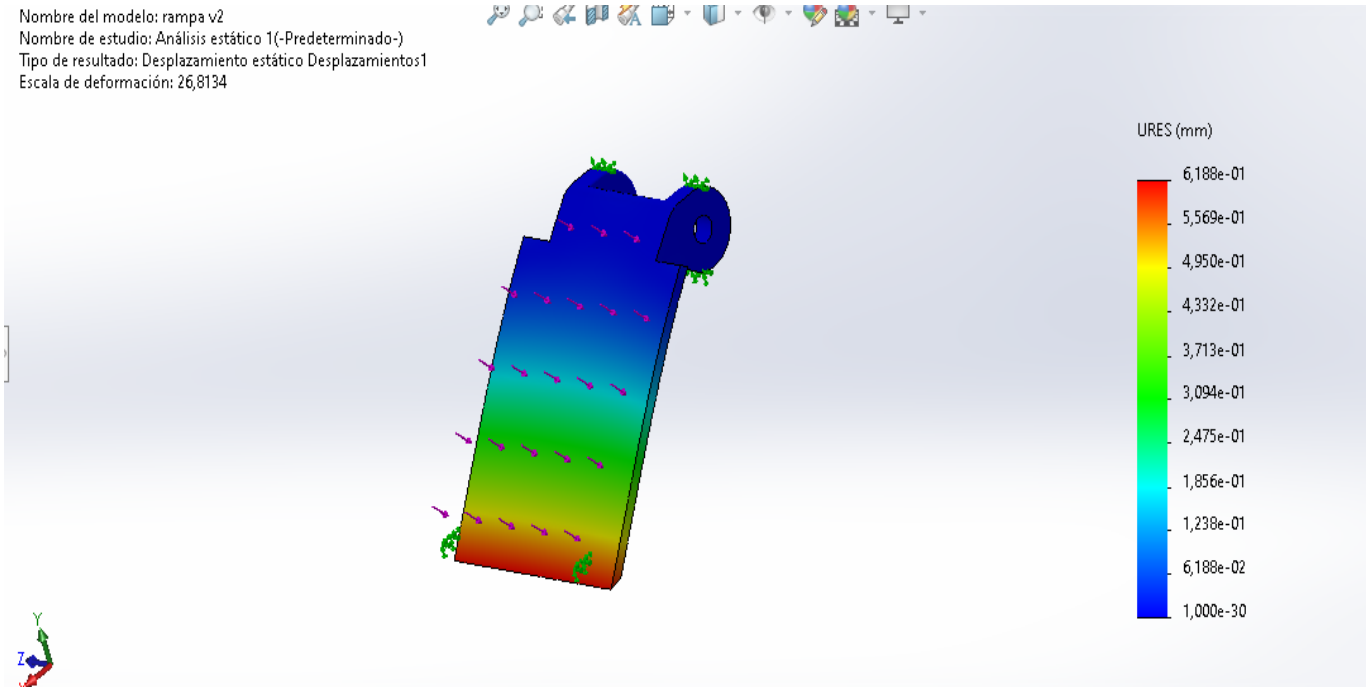


Figura 44. Resultado de deformación en rampa del robot

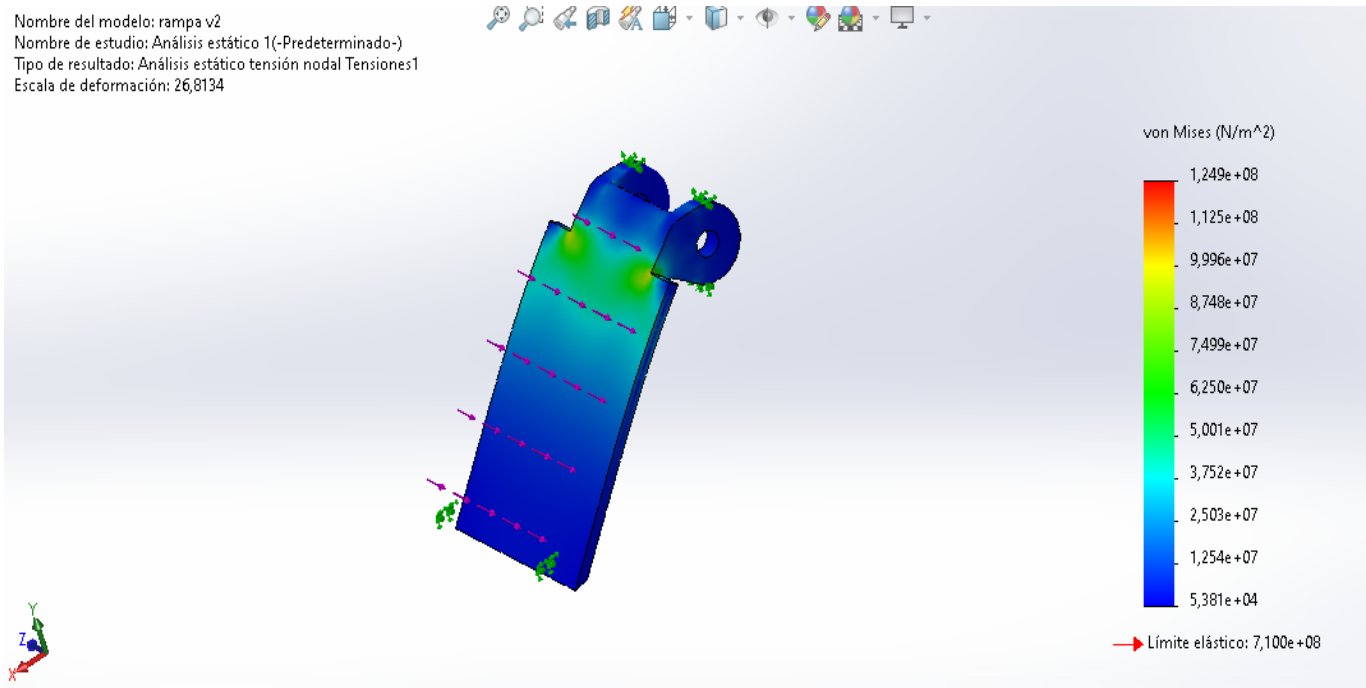


Figura 45. Resultado de Von Mises en rampa del robot

VI-A4. Arma del Robot: En la Figura 46, se observa el arma del robot, ejerciendo una fuerza de 300 Newton logrando una deformación de 211.807 URES y en la Figura 47, se observa el análisis de Von Mises con un límite de elasticidad de 7.100e+08 Pascal en acero 4340.

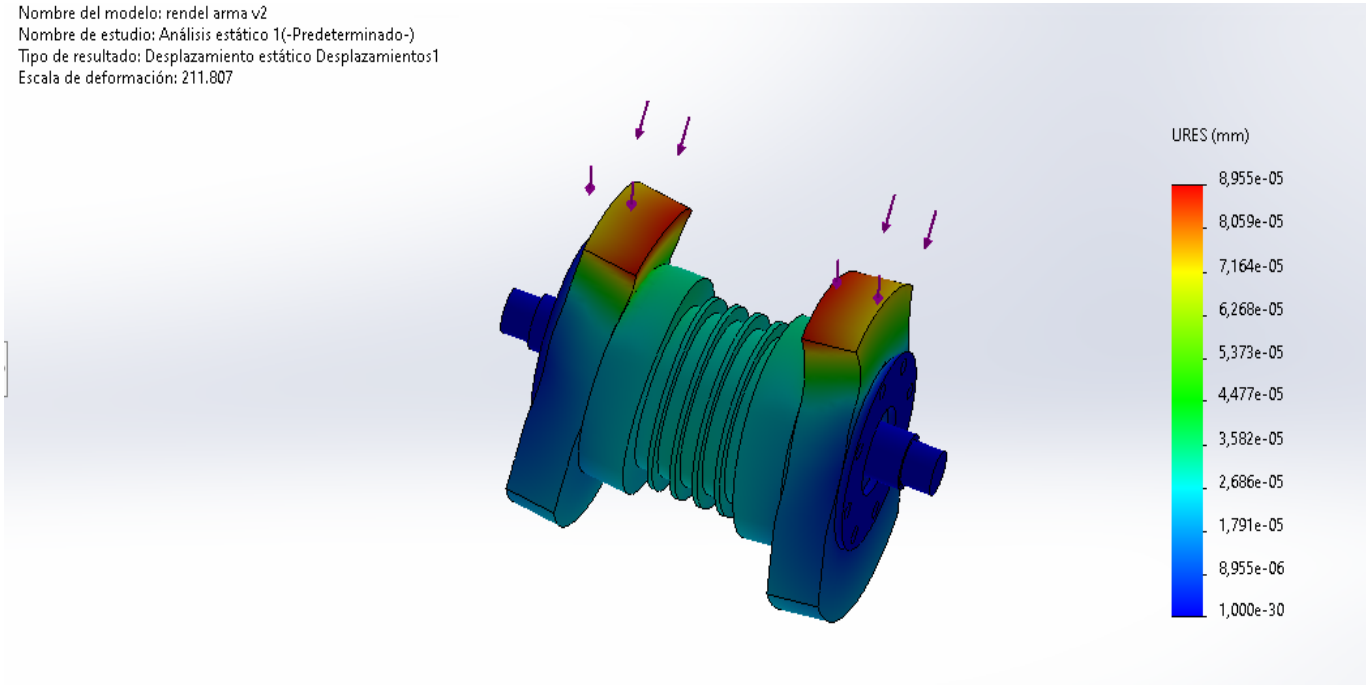


Figura 46. Resultado de deformación en arma del robot

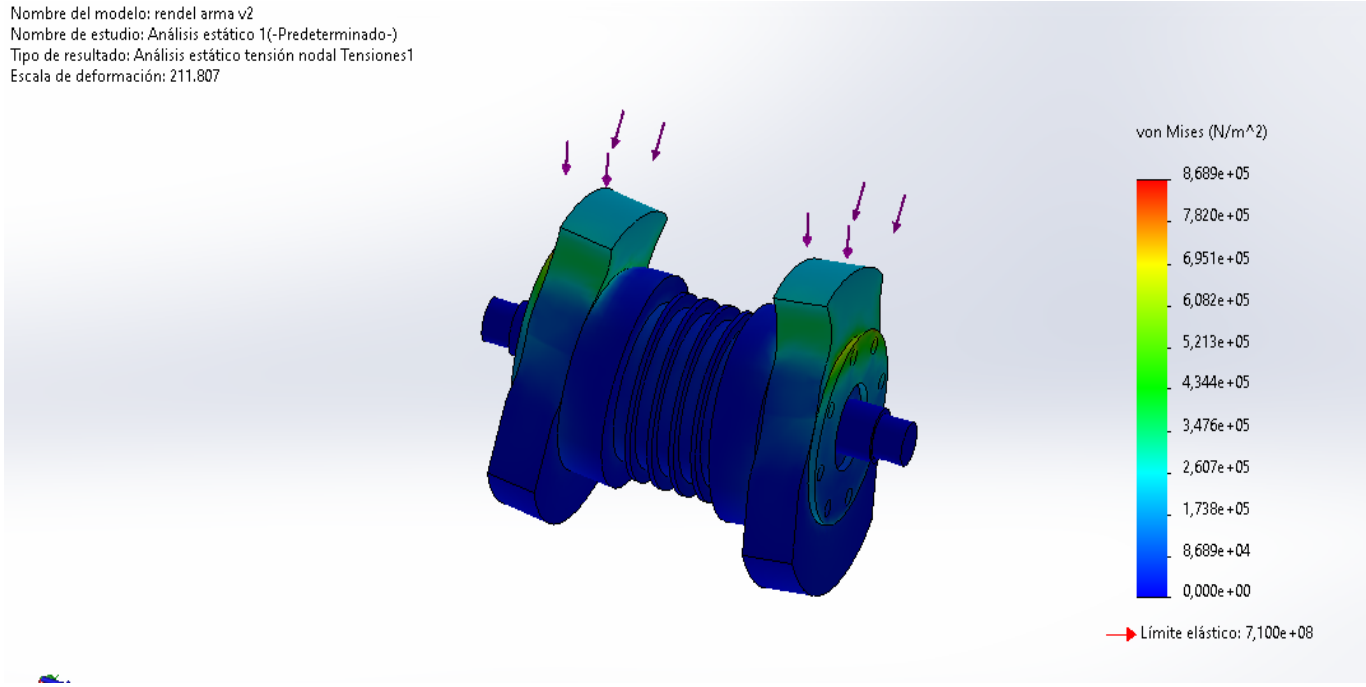


Figura 47. Resultado de Von Mises en arma del robot

VI-A5. Ruedas del robot: En la Figura 48, se observa el lateral del robot ejerciendo una fuerza de 200 Newton, obteniendo una deformación de 11.366,3 URES y en la Figura 49, se observa el análisis de Von Mises con un límite de elasticidad de 7.100e+08 Pascal en caucho naval.

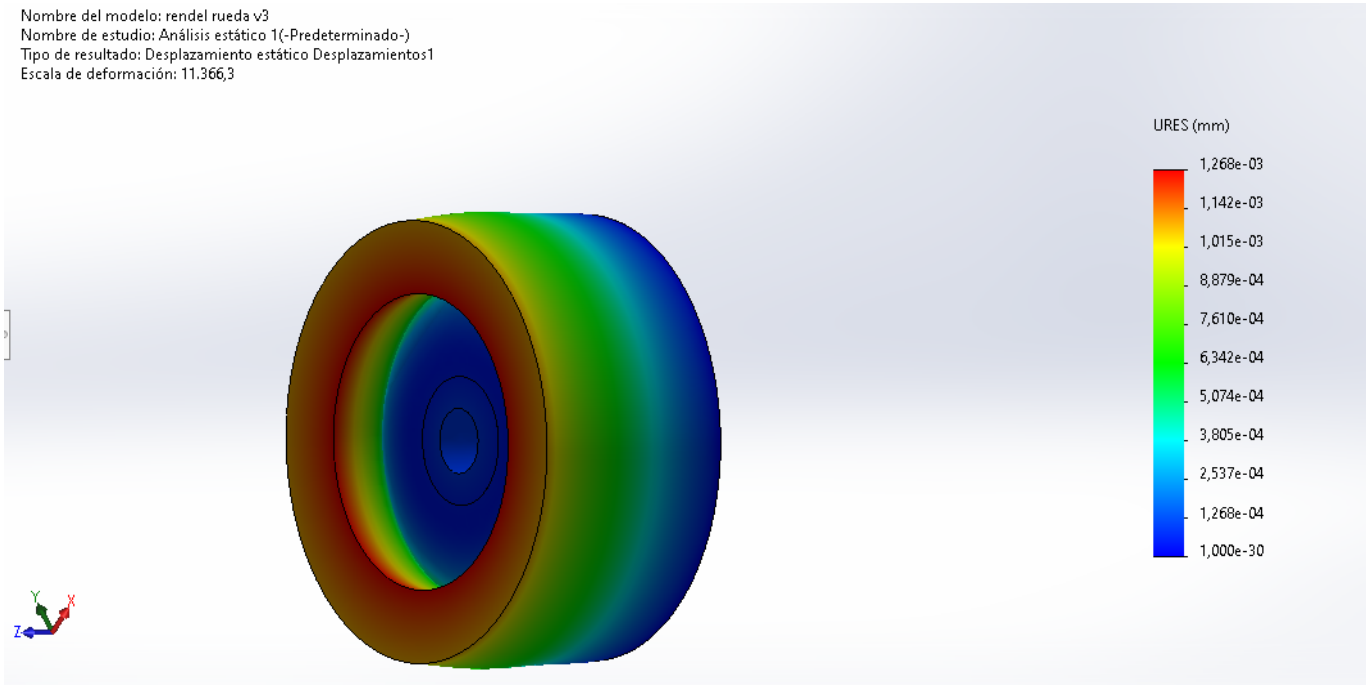


Figura 48. Resultado de deformación en ruedas del robot

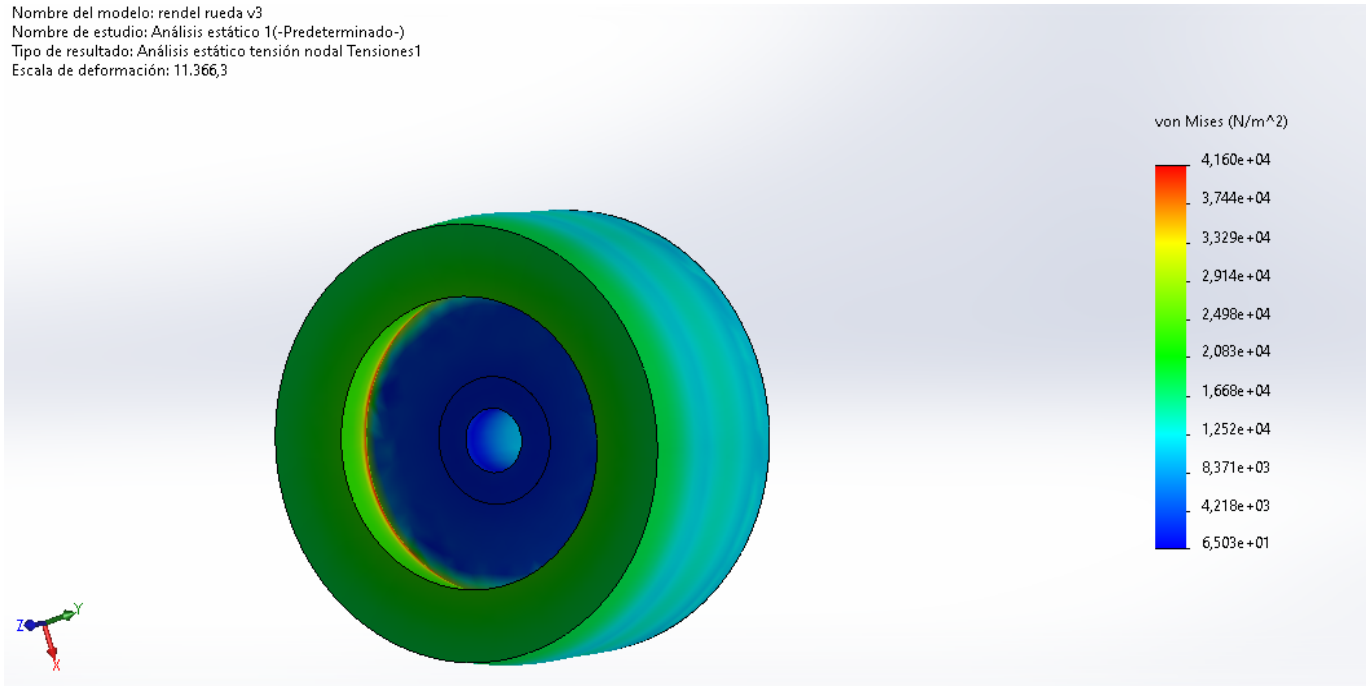


Figura 49. Resultado de Von Mises en ruedas del robot

VI-B. Peso de los componentes

En el cuadro V, se detallan los pesos de los componentes electrónicos del robot batalla de 30 libras, en el cuadro VI, se detallan los pesos de los materiales que componen la estructura, en el cuadro VII, se aprecia el peso de los

diferentes componentes del arma y en el cuadro IX, se observa el peso de las ruedas, que sumado dan un total de 29.5lb.

Cuadro V
PESO DE LA ELECTRÓNICA

Descripción	Peso
Batería arma	223 g.
Batería Tracción	195 g.
Sabertooth 2x60	248 g.
Motores de tracción	690 g.
Caja reductora	638 g.
ESC	108 g.
Motor del arma	438 g.
Total	2540 g.
Total en libras	5.60 lb.

Cuadro VI
PESO DE LA ESTRUCTURA

Descripción	Peso
Estructura de aluminio	2538 g.
Tapa posterior	420 g.
Tapa superior	948 g.
Tapa inferior	1066 g.
Total	4972 g.
Total en libras	11.00 lb.

Cuadro VII
PESO DEL ARMA

Descripción	Peso
Rodillo del arma	2374 g.
Diente del arma	2026 g.
Tapa del arma	132 g.
Eje del arma	545 g.
Total	5077 g.
Total en libras	11.20 lb.

Cuadro VIII
PESO DE LAS RUEDAS

Descripción	Peso
Eje	200 g.
Rueda	600 g.
Total	800 g.
Total en libras	1.70 lb.

Cuadro IX
PESO TOTAL DEL PROTOTIPO

Peso de la Electrónica	5.60 lb.
Peso de la Estructura	11.00 lb.
Peso del Arma	11.20 lb.
Peso de las Ruedas	1.70 lb.
Total en Libras del Robot	29.50 lb.

VI-C. Calibración del receptor del radio control

En el proceso de calibración del control para la activación del arma, es necesario ubicar el canal 3 en la posición 0 como se muestra en la Figura 50, permitiendo al receptor enviar la posición de reposo al arma.

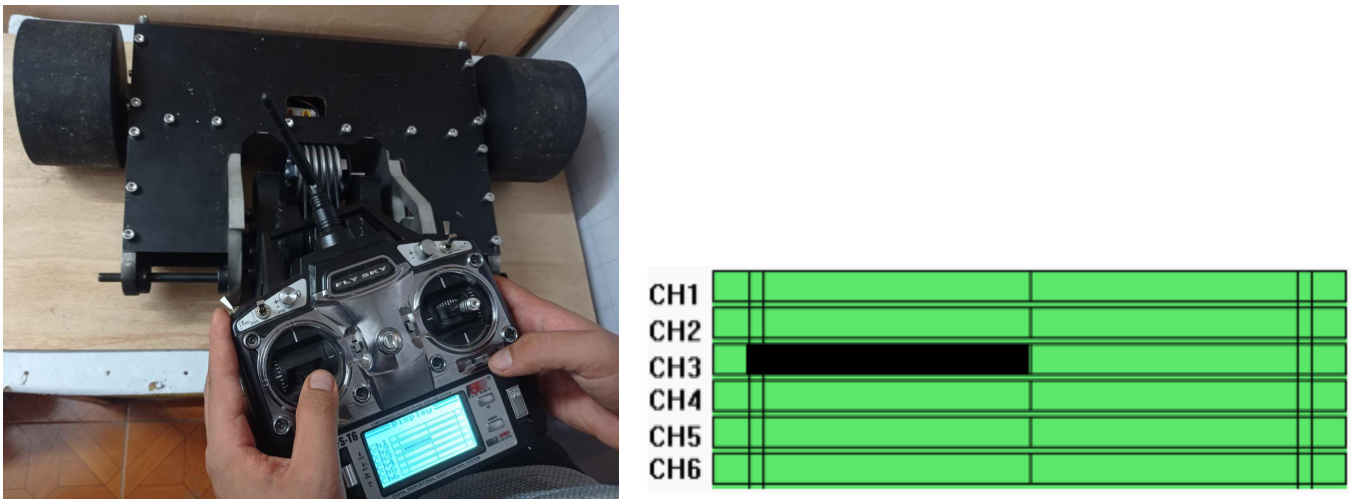


Figura 50. Calibración del arma en estado bajo

En el proceso de calibración del control para la activación del arma, es necesario ubicar el canal 3 en la posición 1, como se muestra en la Figura 51, enviando la posición de activación del 100 % de la potencia.

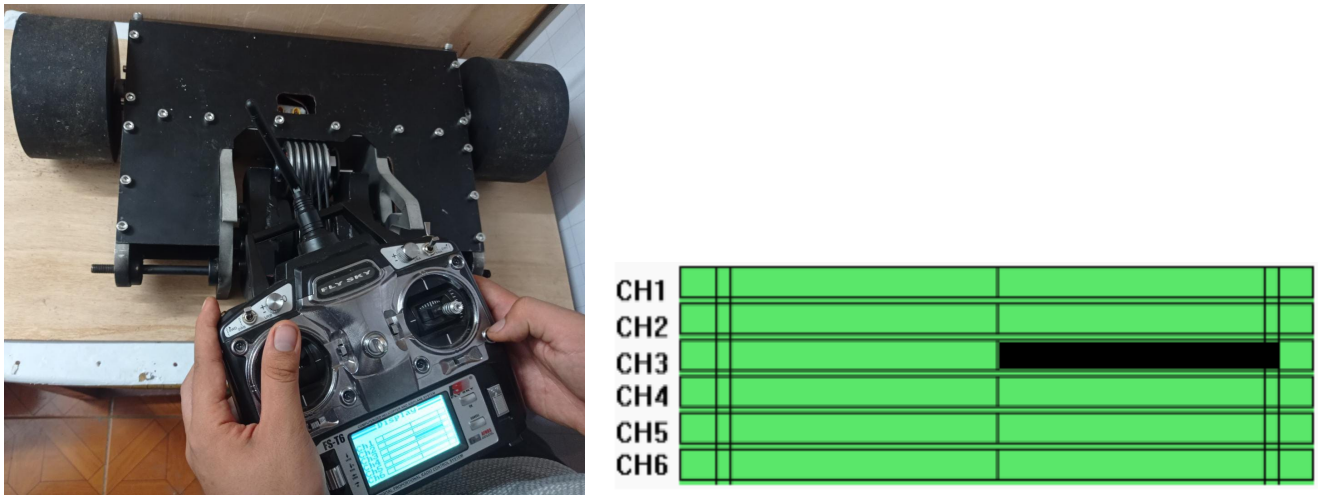


Figura 51. Calibración del arma en estado alto

VI-D. Pruebas de baterías en combate

En las Figuras 52, 53, 54, 55, 56, 57, se observan los niveles óptimos que debe tener la batería de tracción al momento de la batalla. Por precaución se recomienda no cargar la batería sobre 95 % ya que se puede dañar al superar los límites establecidos por el fabricante.

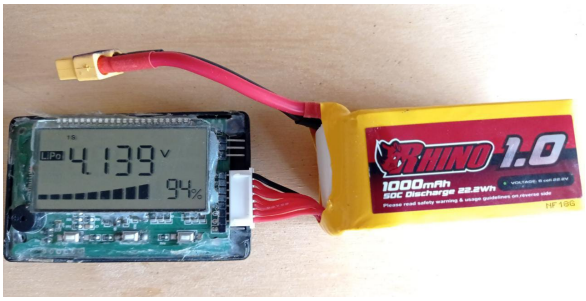


Figura 52. Nivel óptimo de voltaje en celda 1 de la batería de tracción

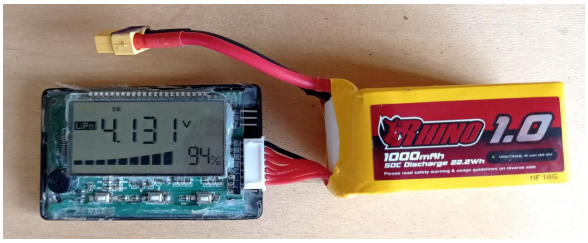


Figura 53. Nivel óptimo de voltaje en celda 2 de la batería de tracción

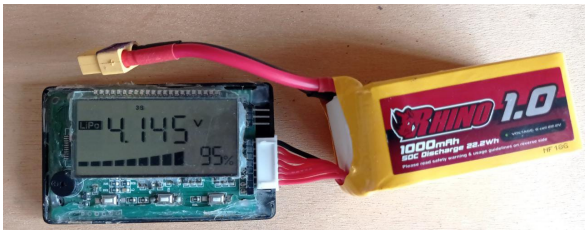


Figura 54. Nivel óptimo de voltaje en celda 3 de la batería de tracción

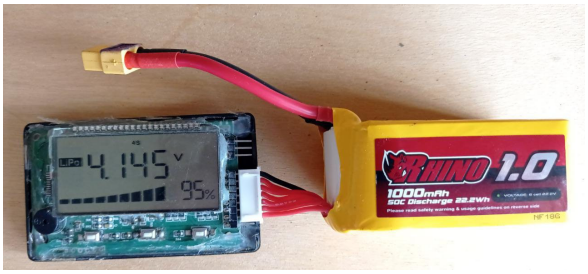


Figura 55. Nivel óptimo de voltaje en celda 4 de la batería de tracción

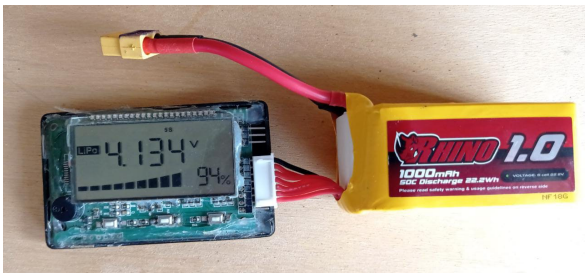


Figura 56. Nivel óptimo de voltaje en celda 5 de la batería de tracción

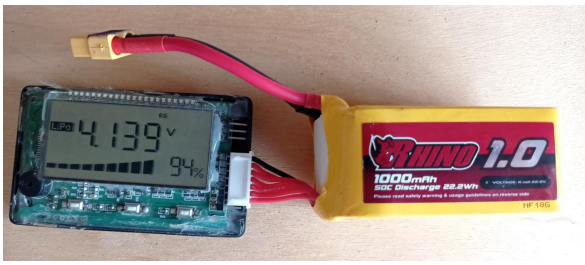


Figura 57. Nivel óptimo de voltaje en celda 6 de la batería de tracción

En las Figuras 58, 59, 60, 61, 62, 63, se observan los niveles óptimos que debe tener la batería del arma al momento de la batalla, por precaución se recomienda no cargar la batería sobre 95 % ya que se puede dañar la batería al superar los límites establecidos por el fabricante.

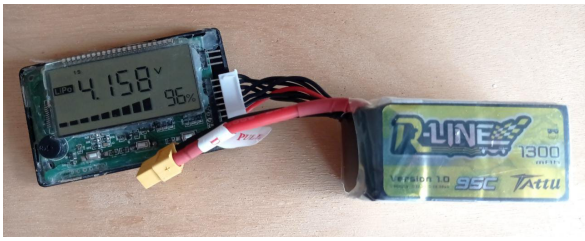


Figura 58. Nivel óptimo de voltaje en celda 1 de la batería del arma

Figura 59. Nivel óptimo de voltaje en celda 2 de la batería del arma

Figura 60. Nivel óptimo de voltaje en celda 3 de la batería del arma

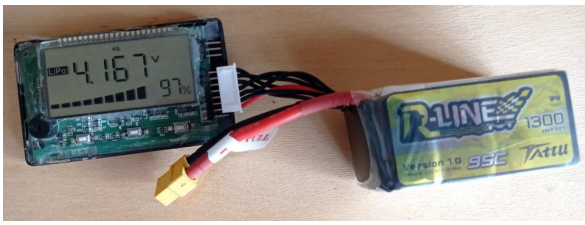


Figura 61. Nivel óptimo de voltaje en celda 4 de la batería del arma

Figura 62. Nivel óptimo de voltaje en celda 5 de la batería del arma

Figura 63. Nivel óptimo de voltaje en celda 6 de la batería del arma

Al realizar un combate, los niveles de batería se tomó en cuenta de un estudio según Luis y Romo 2019 [3], que detallan que los niveles de la batería no deben ser inferiores a 3 Voltios, ya que esto produce un daño permanente en la resistencia interna de la misma, en las Figuras 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, se muestran el estado de las celdas de las baterías del arma y de tracción después de una ronda o combate.

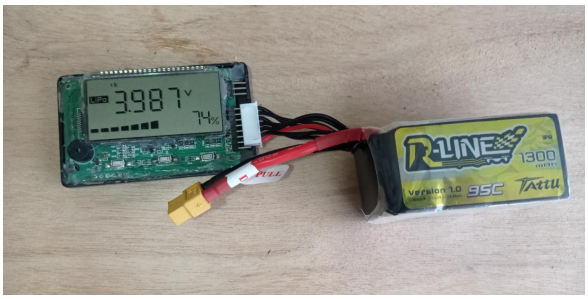


Figura 64. Nivel óptimo de voltaje en celda 1 de la batería del arma después de combate

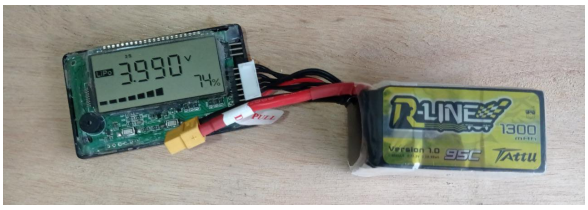


Figura 65. Nivel óptimo de voltaje en celda 2 de la batería del arma después de combate

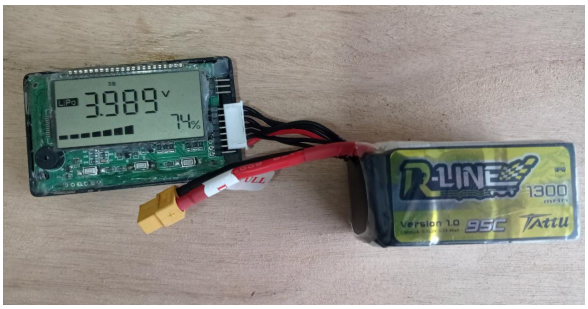


Figura 66. Nivel óptimo de voltaje en celda 3 de la batería del arma después de combate

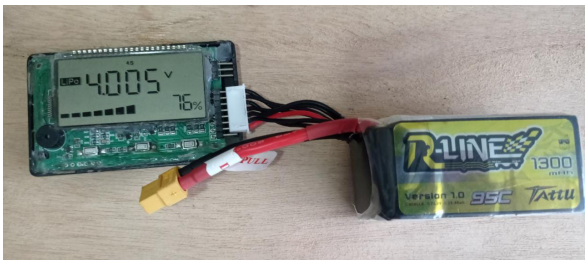


Figura 67. Nivel óptimo de voltaje en celda 4 de la batería del arma después de combate

Figura 68. Nivel óptimo de voltaje en celda 5 de la batería del arma después de combate

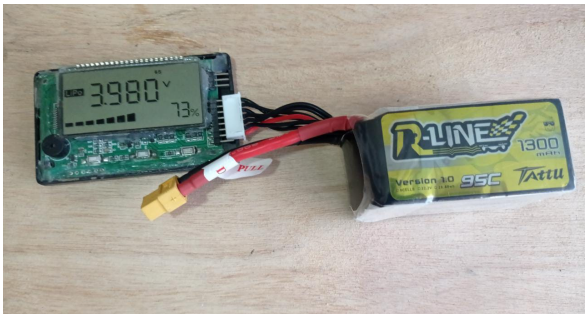


Figura 69. Nivel óptimo de voltaje en celda 6 de la batería del arma después de combate

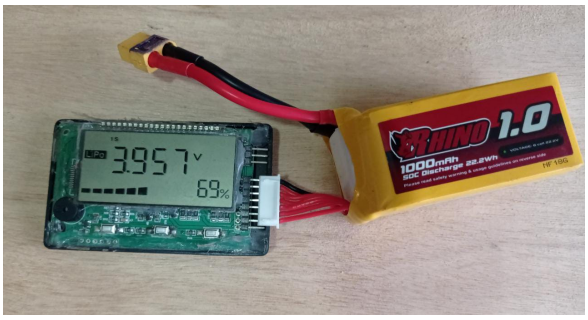


Figura 70. Nivel óptimo de voltaje en celda 1 de la batería de tracción después de combate

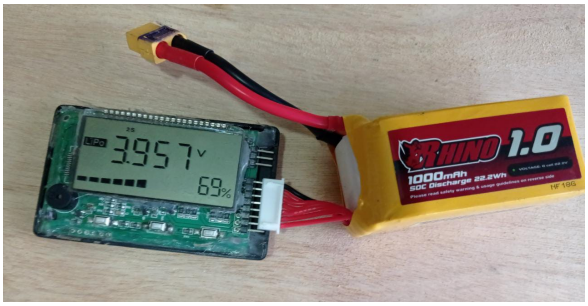


Figura 71. Nivel óptimo de voltaje en celda 2 de la batería de tracción después de combate

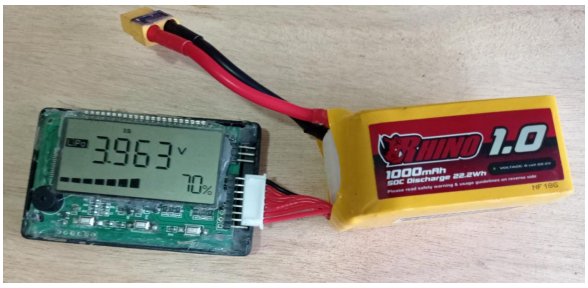


Figura 72. Nivel óptimo de voltaje en celda 3 de la batería de tracción después de combate

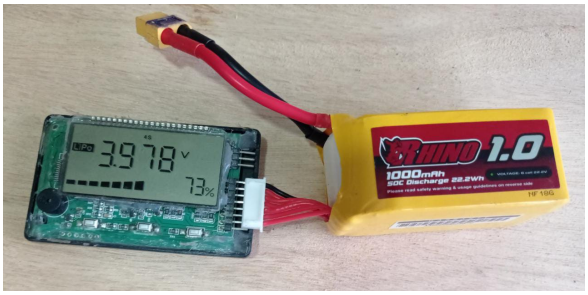


Figura 73. Nivel óptimo de voltaje en celda 4 de la batería de tracción después de combate

Figura 74. Nivel óptimo de voltaje en celda 5 de la batería de tracción después de combate

Figura 75. Nivel óptimo de voltaje en celda 6 de la batería de tracción después de combate

VII. CRONOGRAMA

| CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES DE LA TESIS | | ROBOT DE BATALLA DE 30 LIBRAS | | |

VIII. PRESUPUESTO

VIII-A. *Componentes electrónicos*

Cuadro X
PRESUPUESTO DE COMPONENTES ELECTRÓNICOS

ÍTEM	DESCRIPCIÓN DE EQUIPOS	UNIDADES	COSTO	TOTAL
1	Radio control Flysky	1	100,00	100,00
2	Motor 775 DC 12/24 10000 RPM	2	350,00	700,00
3	Controlador Sabertooth 2x60 Amperios	1	500,00	500,00
4	Motor-reductor Del Sistema De Tracción	2	150,00	300,00
5	Motor sin escobillas PROPDRIVE v2 5060 270KV	1	200,00	200,00
6	HobbyKing Red Brick 100A ESC 5VBEC V2	1	150,00	150,00
7	Batería Rhino 1000mAh 6S 50C Lipo con XT60	2	125,00	250,00
8	Batería Tattu R-Line 1300 mAh 6S, 95C con XT60	2	125,00	250,00
			Total	2.450,00

VIII-B. *Materiales para prototipo*

Cuadro XI
MATERIALES PARA PROTOTIPO

ÍTEM	DESCRIPCIÓN DE EQUIPOS	UNIDADES	COSTO	TOTAL
1	Laterales internos	2	100,00	200,00
2	Laterales externos	2	100,00	200,00
3	Tapa superior	1	100,00	100,00
4	Tapa inferior	1	100,00	100,00
5	Tapa posterior	1	50,00	50,00
6	Soporte interno	1	150,00	150,00
7	Dientes del arma	2	100,00	200,00
8	Eje central del arma	1	100,00	100,00
9	Rampa del robot	1	20,00	20,00
10	Guía del arma	1	50,00	50,00
11	Llantas de caucho naval	2	40,00	80,00
12	Acople de motor	2	50,00	100,00
			Total	1.350,00

IX. CONCLUSIONES

- Diseñar el robot en un programa en formato CAD como Solidworks, permite el análisis de deformación y tensión de los diferentes elementos para tener una idea de la robustez del prototipo para competencias de nivel mundial.
- Las pruebas que se realizaron en las baterías de polímero de litio, permitieron conocer que el tiempo de descarga durante el encuentro es como máximo 3 minutos de duración.
- El uso de controladores marca Sabertooth para los motores de tracción, permite tener una mejor protección de los equipos contra sobrecorriente.
- Con ayuda del análisis de las propiedades de los materiales, se puede estimar el peso total del prototipo antes de su implementación.

X. RECOMENDACIONES

- Se recomienda el cambio de baterías entre cada ronda y posterior a eso la recarga de las mismas, para no permitir la descarga total de la batería y extender la vida útil.
- Para evitar problemas en las competencias, es necesaria la revisión de los componentes electrónicos y mecánicos del prototipo después de cada encuentro, como un ajuste en los pernos.
- Al realizar la carga de las baterías, es importante revisar el balance entre las celdas de las baterías, teniendo en cuenta que al transportar el robot durante periodos largos, las baterías deben estar con una carga aproximada del 60 % de su estado.
- Revisar los manuales de los dispositivos y mantener desconectadas las baterías cuando no se utilice el prototipo.

XI. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICAS

REFERENCIAS

[1] G. Almeida, *UNIDAD I FUNDAMENTOS GENERALES DE LA ROBOTICA*, 2009.

[2] J. L. Álvarez Serrano y C. J. Guevara Toledo, «Diseño e implementación de un módulo de entrenamiento con PLC s7 1500 para aplicaciones de control de AVG,» B.S. thesis, 2021.

[3] *Baterıas LiPo, caracterısticas y cuidados! - DynamoElectronics*, [Online; accessed 8. Mar. 2022], feb. de 2020. dirección: https://dynamoelectronics.com/baterias-lipo-caracteristicas-y-cuidados.

[4] G. d. Cáceres López, «Diseño, construcción y ensayos de la motorización eléctrica controlada por bluetooth de un monopatın convencional,» 2018.

[5] D. J. P. Chichande Solano e I. M. Matamoros Galán, «Diseño de un Prototipo de Sistema de Control para temperatura y humedad en el almacenamiento de arroz, utilizando Sistemas embebidos,» B.S. thesis, 2021.

[6] C. Chord, D. Dominski, T. Emerson y col., «RASC-AL final review,» 2018.

[7] A. De la cruz Peñafiel y R. Moreira Sandoval, «Diseño e implementación de un prototipo de transmisión de mensajes de alerta en fm sobre cinco grupos de tres frecuencias portadoras para uso en vehıculos de emergencia utilizando Usrp y Gnu radio,» B.S. thesis, 2018.

[8] E. Drumwright, V. Ng-Thow-Hing y M. Mataric, «Toward a vocabulary of primitive task programs for humanoid robots,» en *International Conference on Development and Learning (ICDL)*, 2006.

[9] J. O. M. Gómez, «Implementación de estrategias pedagógicas en el estudio de robótica industrial,» *Ciencia Unisall e*, pág. 249,

[10] W. Harwood, «CBS News Space Place,» 2004.

[11] M. Hernández-Medina, J. G. Torruco-Uco, L. Chel-Guerrero y D. Betancur-Ancona, «24V Bateria de litio efecto eléctrico Recargable Inalámbrico taladro inalámbrico mano bricolaje Home Herramientas Eléctricasde almidones de tubérculos cultivados en Yucatán, México,» *Food Science and Technology*, vol. 28, n.º 3, págs. 718-726, 2008.

[12] J. F. M. Lee, L. M. C. Valbuena y col., «Control de un robot humanoide utilizando Motion Retargeting,» *Revista de Investigaciones Universidad del Quindıo*, vol. 27, n.º 2, págs. 23-28, 2015.

[13] J. E. López Guzmán y L. C. Reinoso Figueroa, «Diseño e implementación de un módulo de entrenamiento para microcontrolador 18f4550 con software didáctico para la materia de microcontroladores I y II,» B.S. thesis, 2021.

[14] J. López López, «Diseño de un microinversor para paneles solares,» B.S. thesis, 2014.

[15] Luis, D. Romo, C. Ruiz y B. Machay, «Diseño de robots de Competencia en Categorıas Seguidor de Lınea y Robot Laberinto,» *NEXOS CIENTÍFICOS-ISSN 2773-7489*, vol. 3, n.º 2, págs. 28-42, 2019.

[16] J. A. Mora Correa, «Implementación de un sistema de transmisión de video en tiempo real utilizando el módulo de comunicación Wolf whoop Q3 5.8 GHz para un robot volador de carreras,» 2018.

[17] J. Morales Rodrıguez y col., «Control de velocidad de motores brushless mediante modulación PWM,» 2018.

[18] C. E. Paredes Fierro y A. J. Ortega Fuentes, «Desarrollo de un sistema de procesamiento de plásticos por calentamiento basado en el principio de inducción electromagnética,» B.S. thesis, 2014.

[19] J. A. Pérez Patiño, «Tratamientos térmicos de los aceros,» Tesis doct., Universidad Autónoma de Nuevo León, 1996.

[20] L. G. Posada Callejas y O. D. Restrepo González, «Diagnóstico del negocio de baterıas de tracción en Tronex SAS,» Tesis doct., Universidad EAFIT, 2014.

[21] J. L. Quinde Llerena y L. D. Ulloa Patiño, «Diseño y construcción de dos Robot tipo Warbot,» B.S. thesis, 2012.

[22] D. A. Romero Duarte y B. G. Unamuno Farfan, «Diseño e implementación del algoritmo de control para un Robot explorador con tecnologıa Pitsco Tetrix y myRio,» B.S. thesis, 2020.

[23] J. O. Saldarriaga Andrade y J. J. Mero Simisterra, «Diseño e implementación de dos robots de batalla de 3 libras para el Club de Robótica de la Universidad Politécnica Salesiana,» B.S. thesis, 2020.

[24] X. A. Sandoval León, «Diseño mecánico y simulación de un exoesqueleto de rehabilitación para el mantenimiento y potenciación muscular de hombro para la fundación de niños y niñas especiales “Ayudemos a vivir”,» B.S. thesis, Quito, 2020., 2020.

[25] D. A. Sepúlveda Naranjo, E. J. Figueroa Durango y D. A. Morales Olarte, «Identificación del sistema dinámico de un cuadracoptero y desarrollo de un modelo de simulación en MATLAB,» 2016.

[26] *Temple, cementación y nitruración: Tratamientos térmicos - FerrePro*, [Online; accessed 3. Mar. 2022], mar. de 2022. dirección: http://ferrepro.mx/temple-cementacion-y-nitruracion-tratamientos-termicos.

XII. ANEXOS

XII-A. Anexo 1 - Acople arma

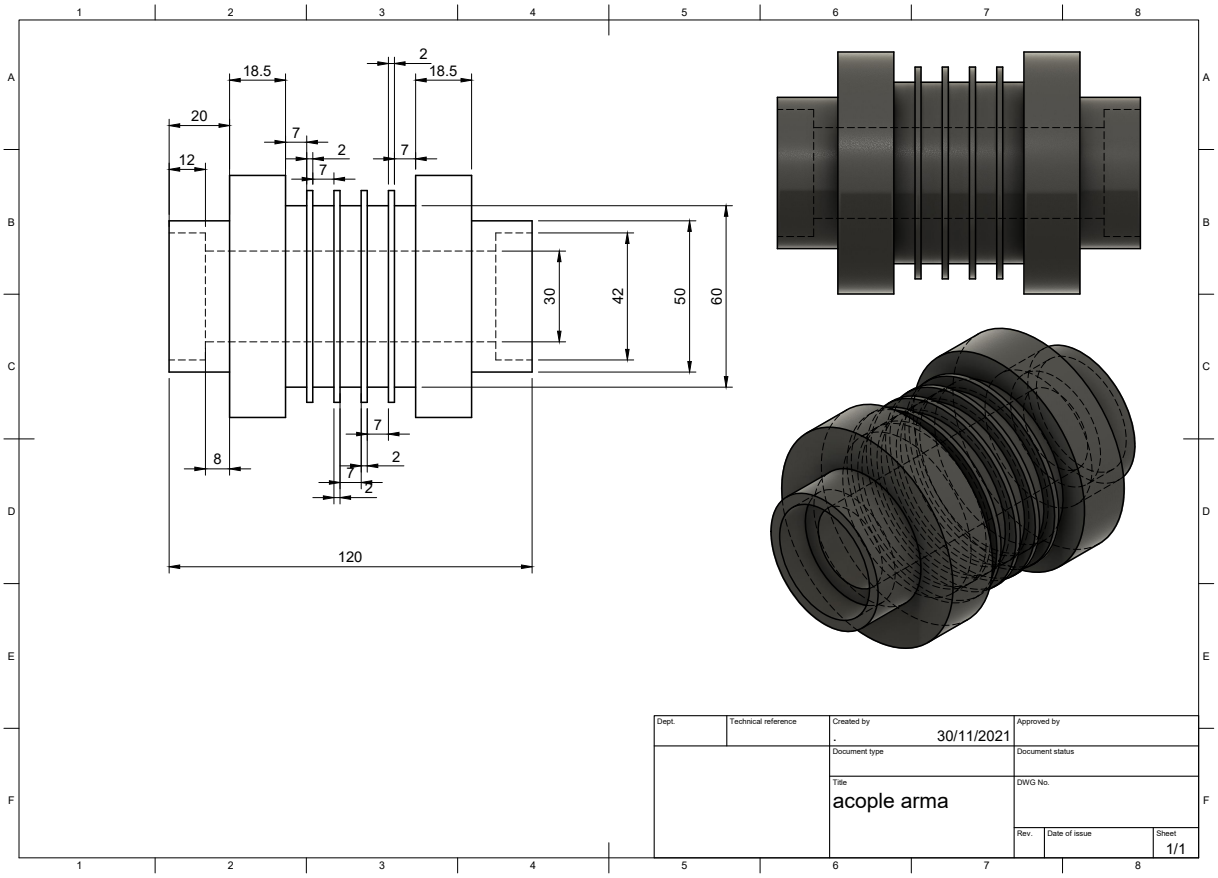


Figura 77. Vista isométrica del acople arma

XII-B. Anexo 2 - Acople tracción

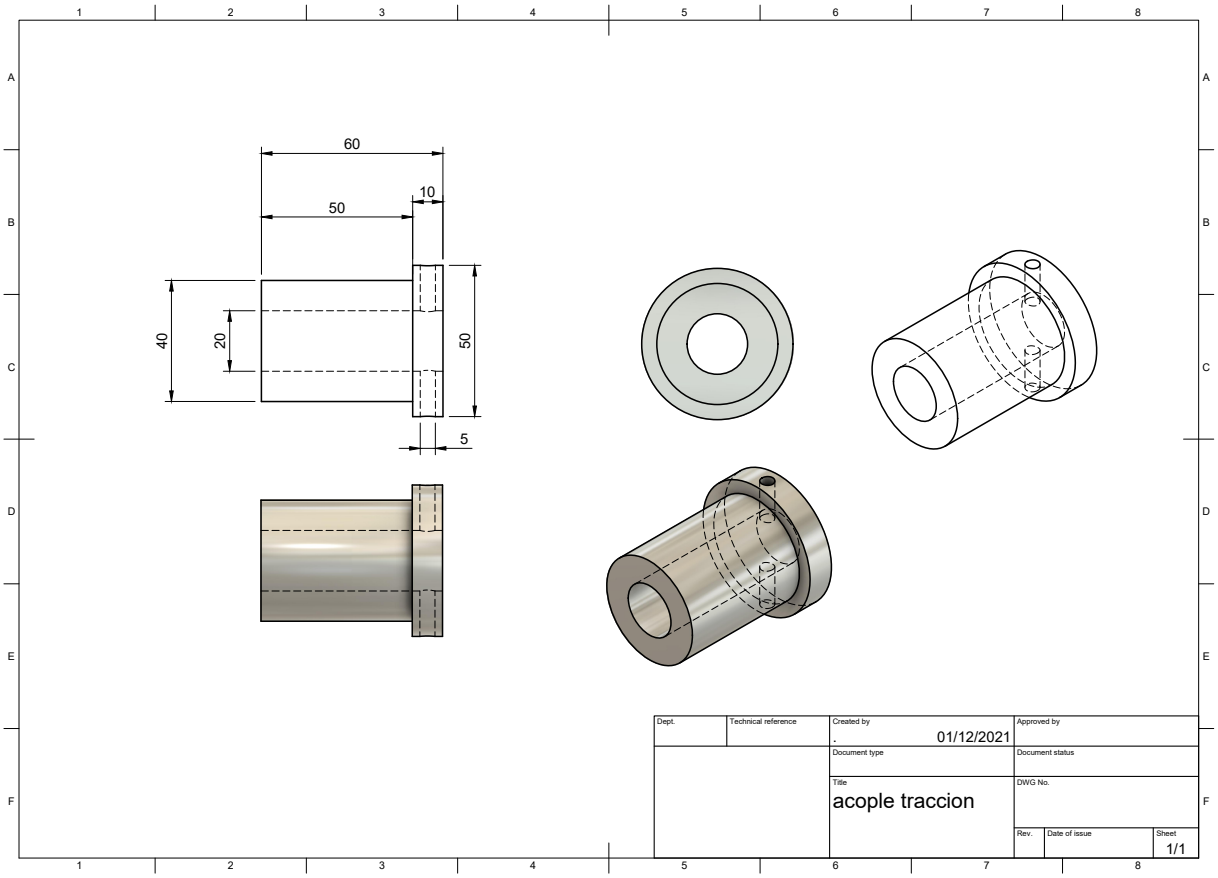


Figura 78. Vista isométrica del acople tracción

XII-C. Anexo 3 - Diente arma

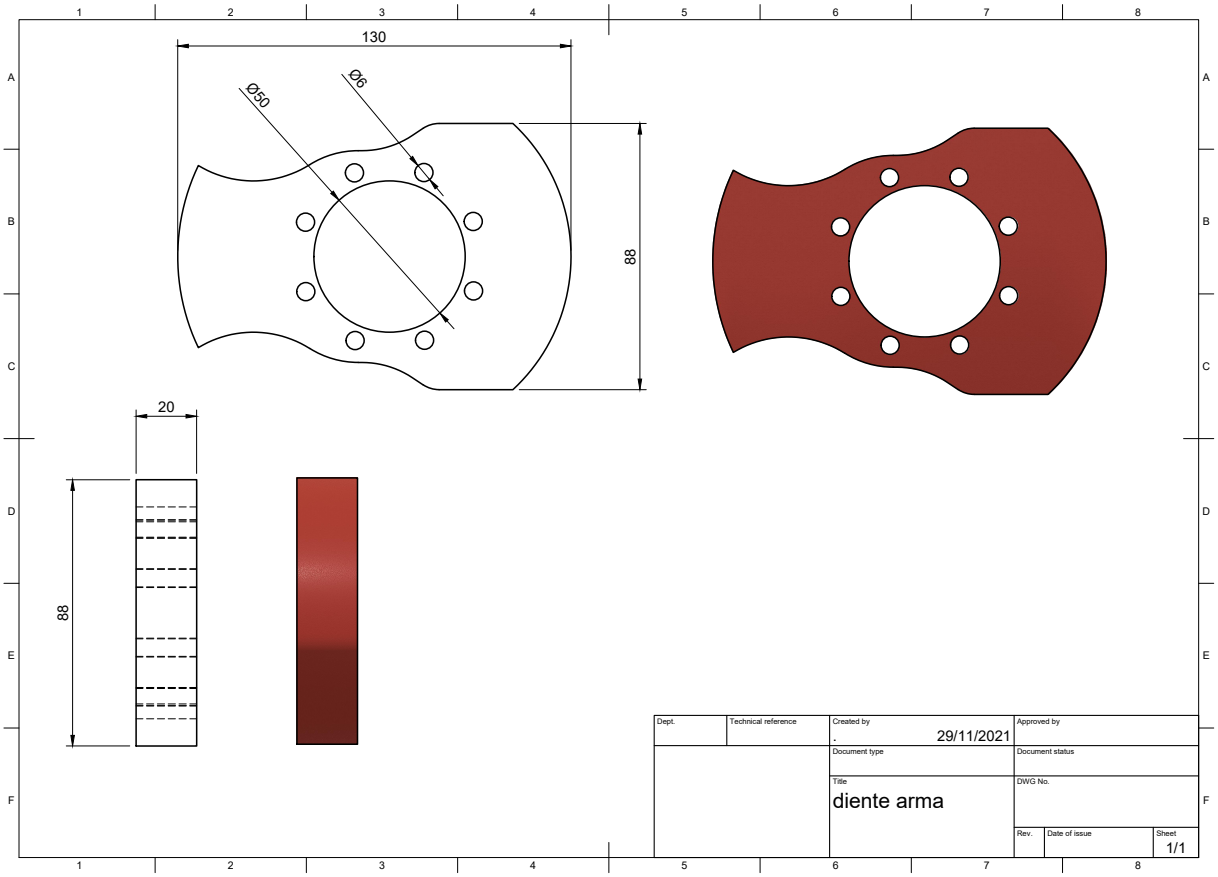


Figura 79. Vista frontal y lateral del diente arma

XII-D. Anexo 4 - Eje arma

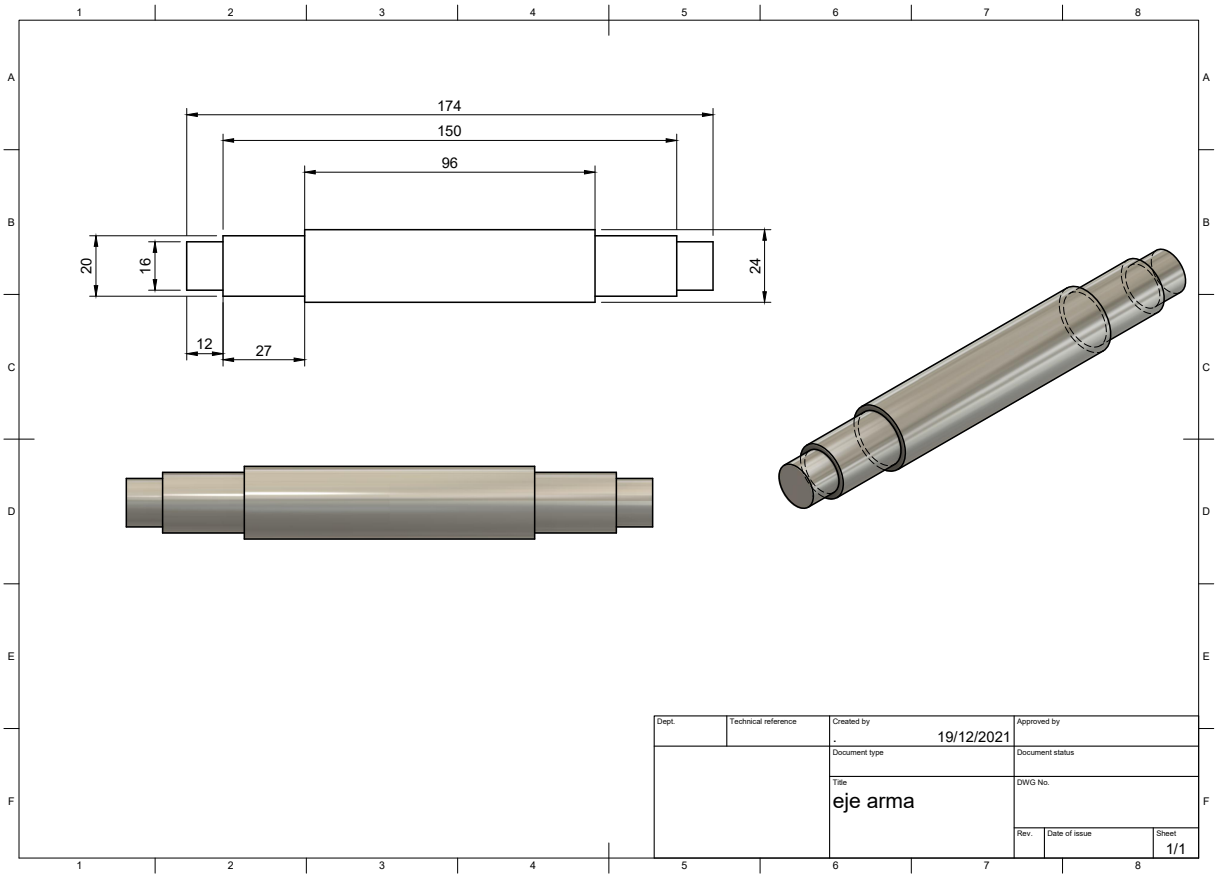


Figura 80. Vista isométrica del eje arma

XII-E. Anexo 5 - Escudo posterior

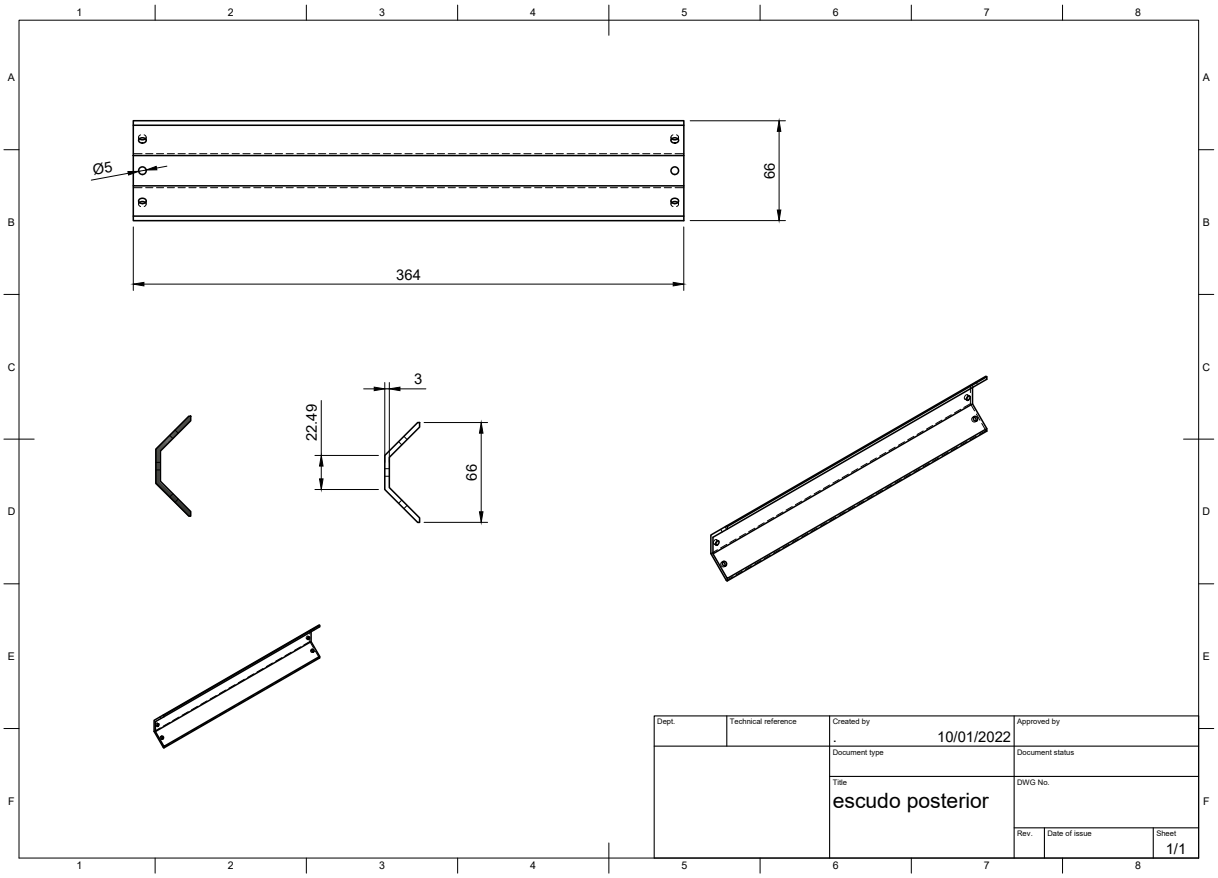


Figura 81. Vista isométrica del escudo posterior

XII-F. Anexo 6 - Lateral interno

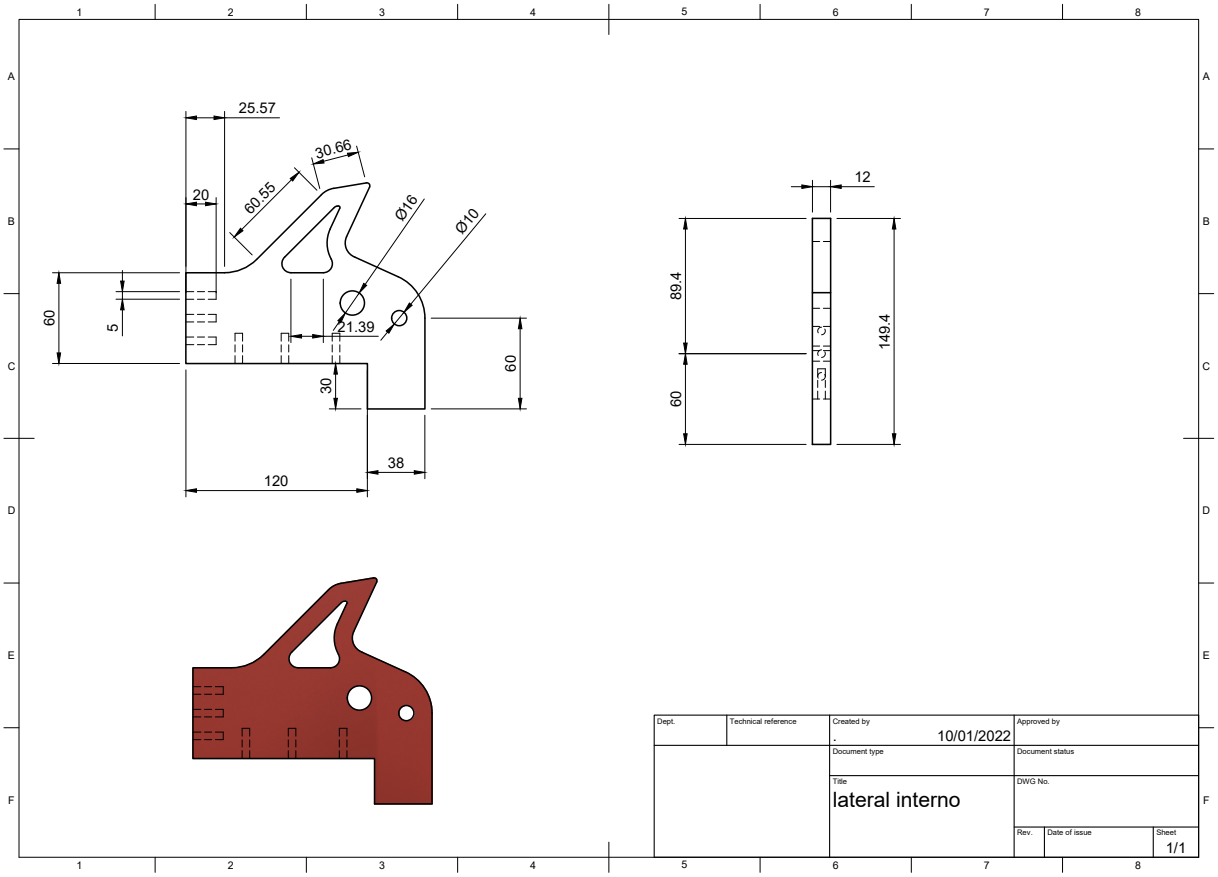


Figura 82. Vista frontal del lateral interno

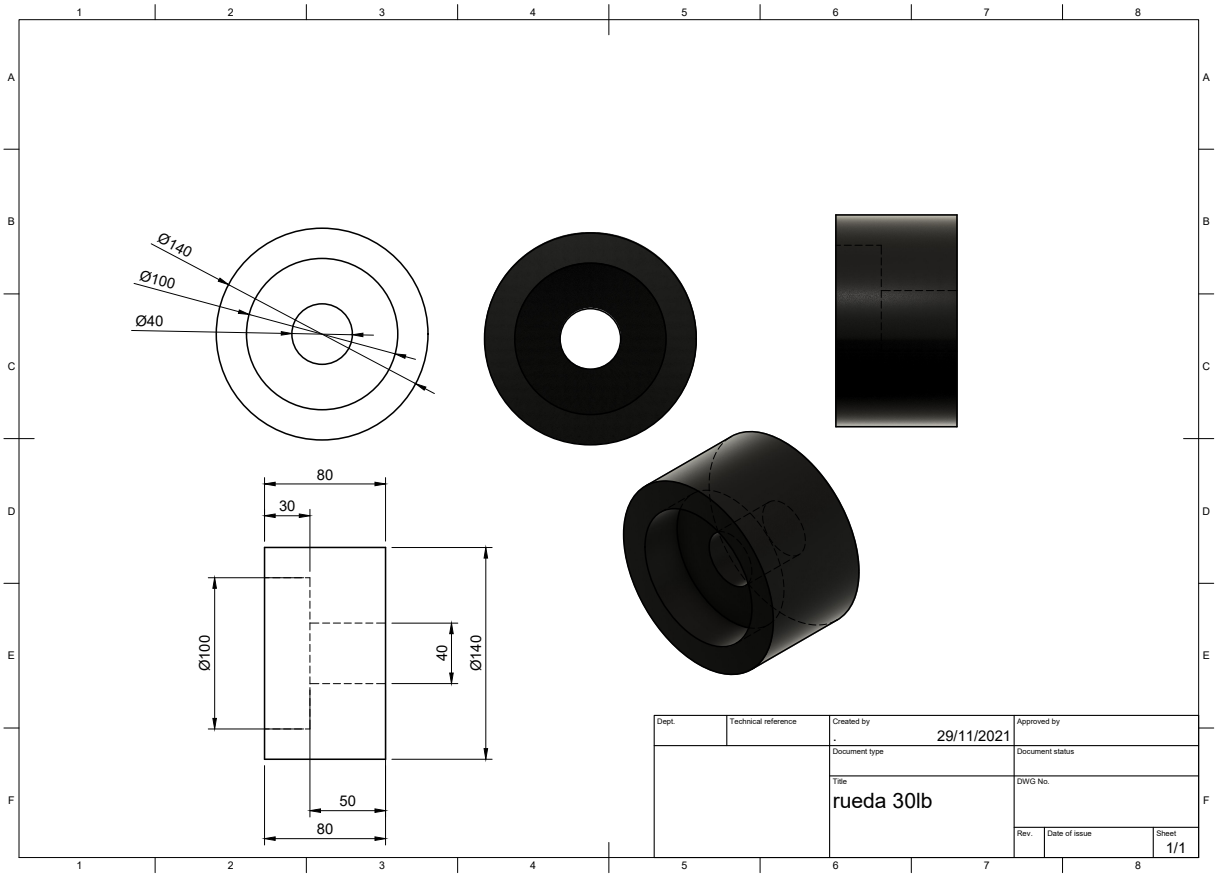


Figura 83. Vista isométrica de la rueda

XII-H. Anexo 8 - Soporte externo

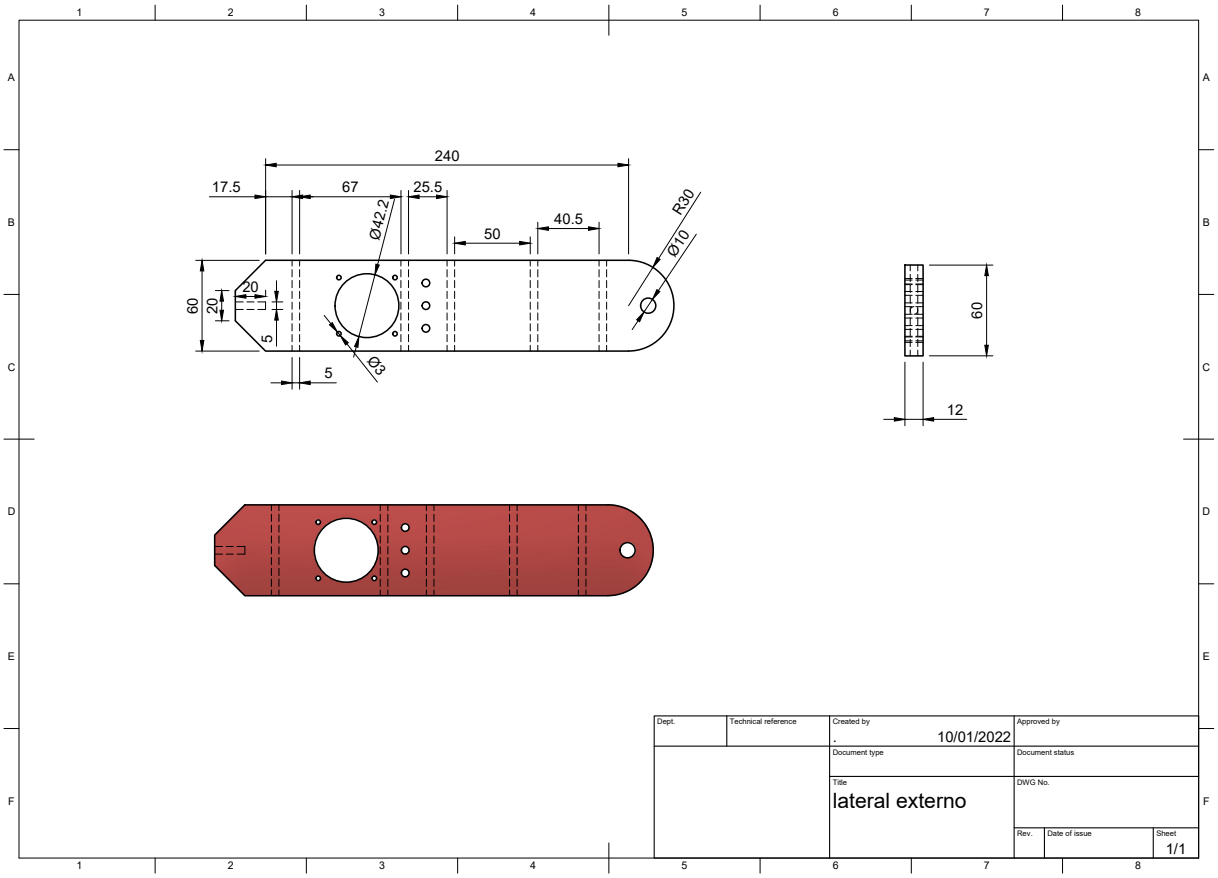


Figura 84. Vista frontal del soporte externo

XII-I. Anexo 9 - Soporte interno estructural

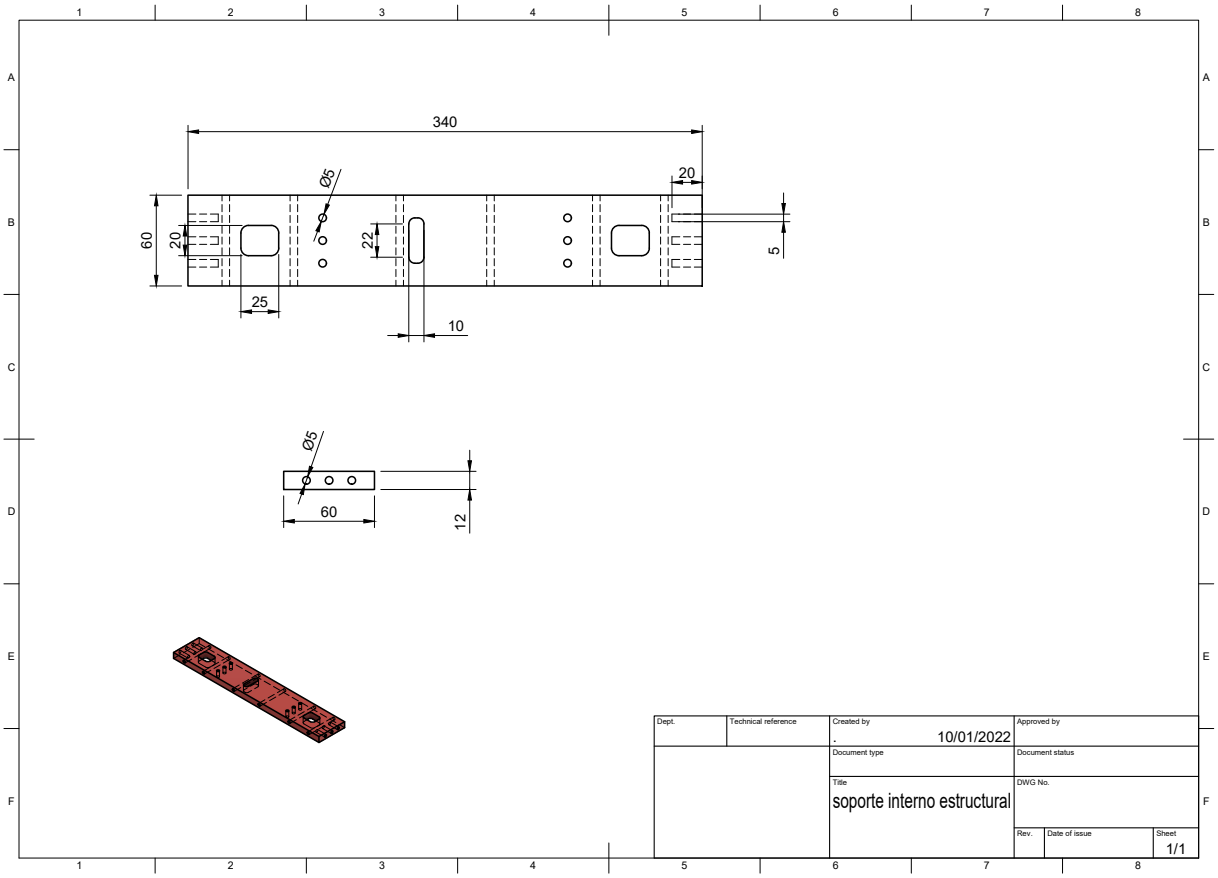


Figura 85. Vista isométrica del soporte interno estructural

XII-J. Anexo 10 - Tapa inferior

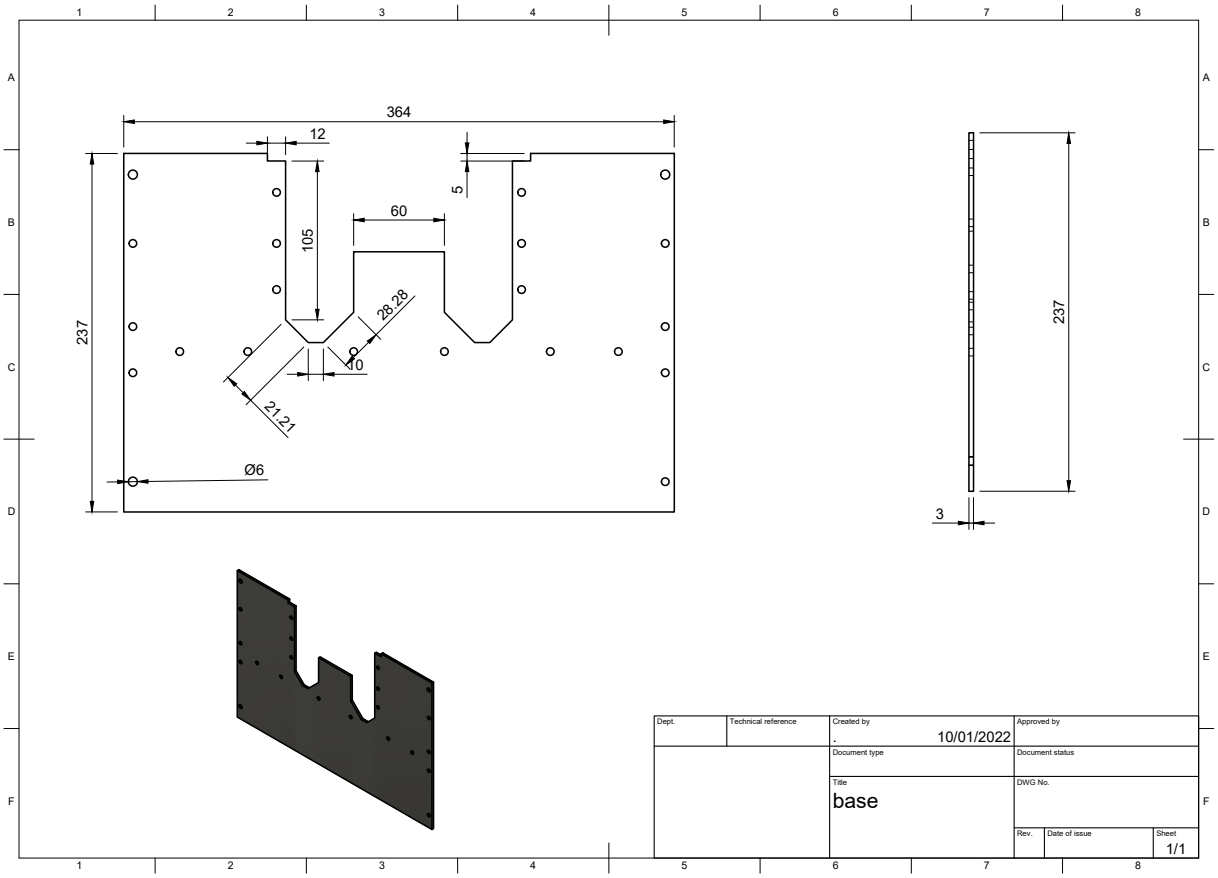


Figura 86. Vista isométrica de la tapa inferior

XII-K. Anexo 11 - Tapa superior

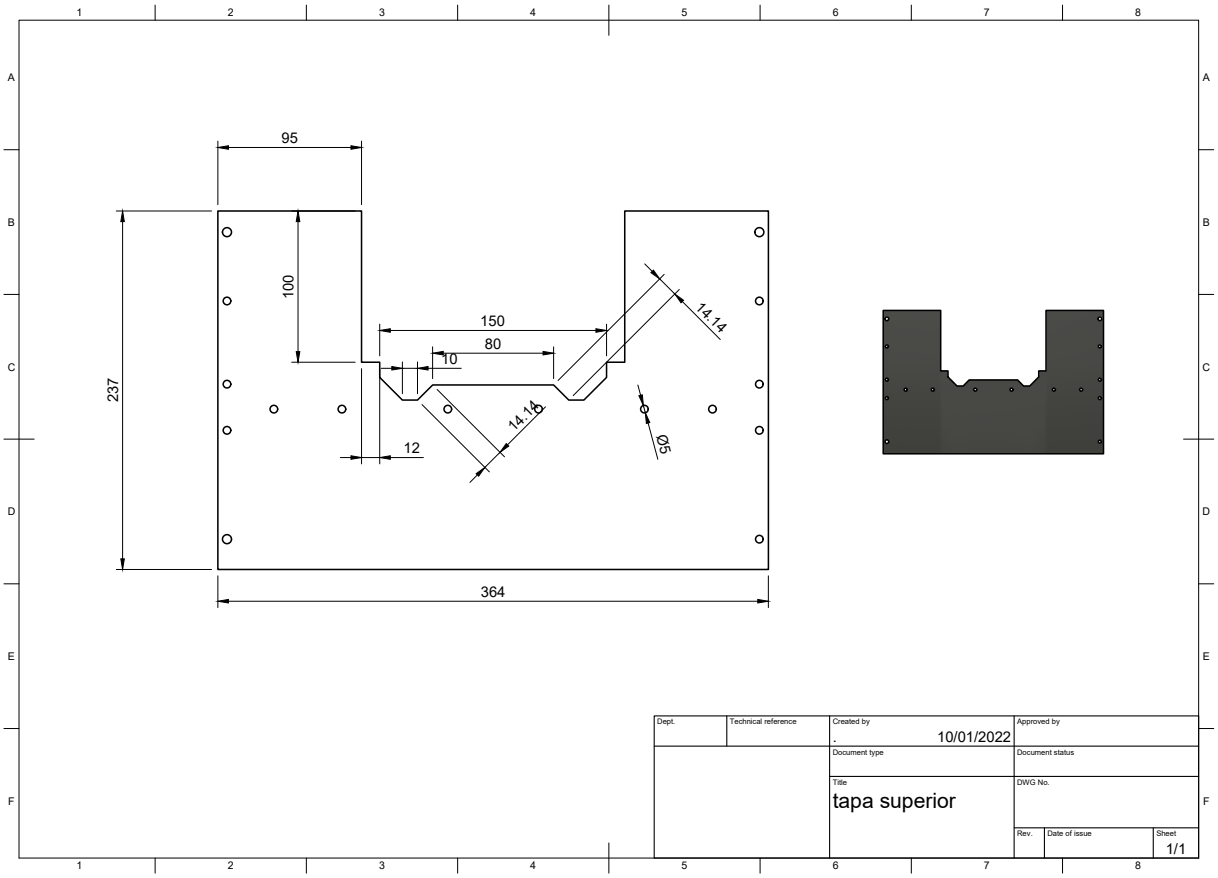
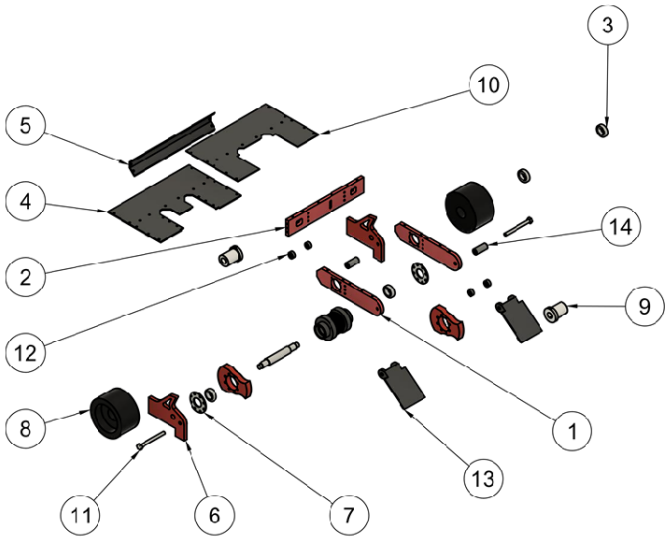


Figura 87. Vista Frontal de la tapa superior

XII-L. Anexo 12 - Vista explosionada del robot de batalla

Lista de piezas			
elemento	ctd	número de pieza	material
1	2	Lateral externo v3	Aluminio 7075
2	1	Soporte interno estructural v2	Aluminio 7075
3	2	Rodamiento 42_20 v1	Acero
4	1	Base v4	Acero AISI 4340 350A RT
5	1	Escudo posterior v1	Acero AISI 4340 350A RT
6	2	Lateral interno v2	Aluminio 7075
7	1	Rendel arma v2	
8	1	Rendel rueda v3	
9	1	Rendel rueda v3_1	
10	1	Tapa superior v4	Acero AISI 4340 350A RT
11	2	Eje punta v1	Acero
12	4	Punta pieza 1 v2	Acero
13	2	Rampa v2	Acero inoxidable AISI 304
14	2	Punta pieza 2 v1	Acero



Dept.	Technical reference	Created by Angel Choca, Luis Moya 13/1/2022	Approved by
		Document type	Document status
		Title DESPIECE DEL ROBOT	DWG No.
			Rev. / Date of issue / Sheet 1/1

Figura 88. Vista explosionada del robot de batalla

XII-M. *Anexo 13 - Ensamble del prototipo*

En la Figura 89 se observa el maquinado del arma para el soporte del robot.

Figura 89. Ensamble del prototipo del eje

En la Figura 90 se observa la posición del eje central del arma donde se instalaran los dientes para ocasionar daños.

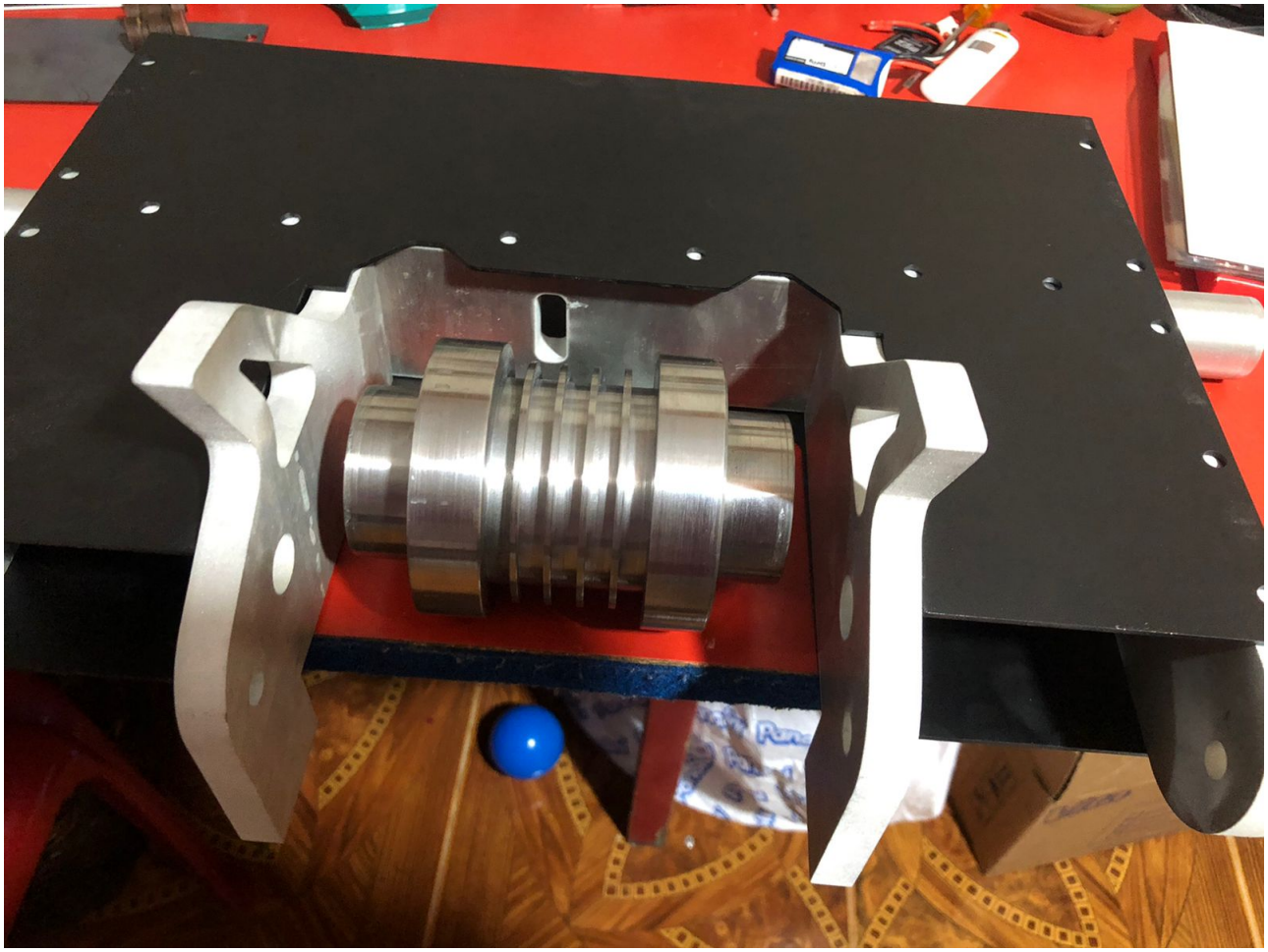


Figura 90. Ensamble del eje del robot

En la Figura 91 se observa la instalación de las poleas del arma que conectan con el motor sin escobillas.

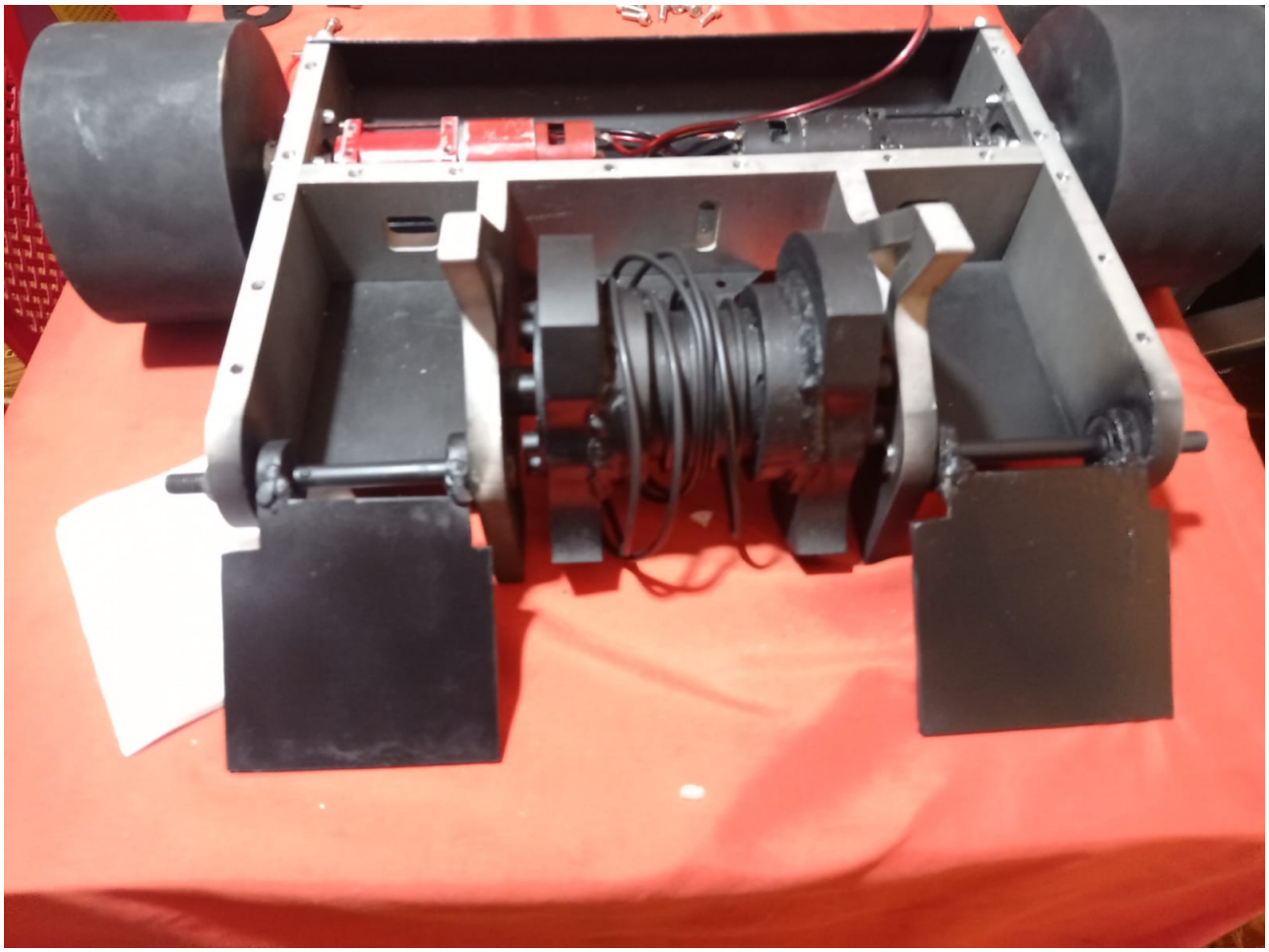


Figura 91. Ensamble del arma - instalación de poleas

En la Figura 92 se observa el ensamble de la estructura interna del prototipo.

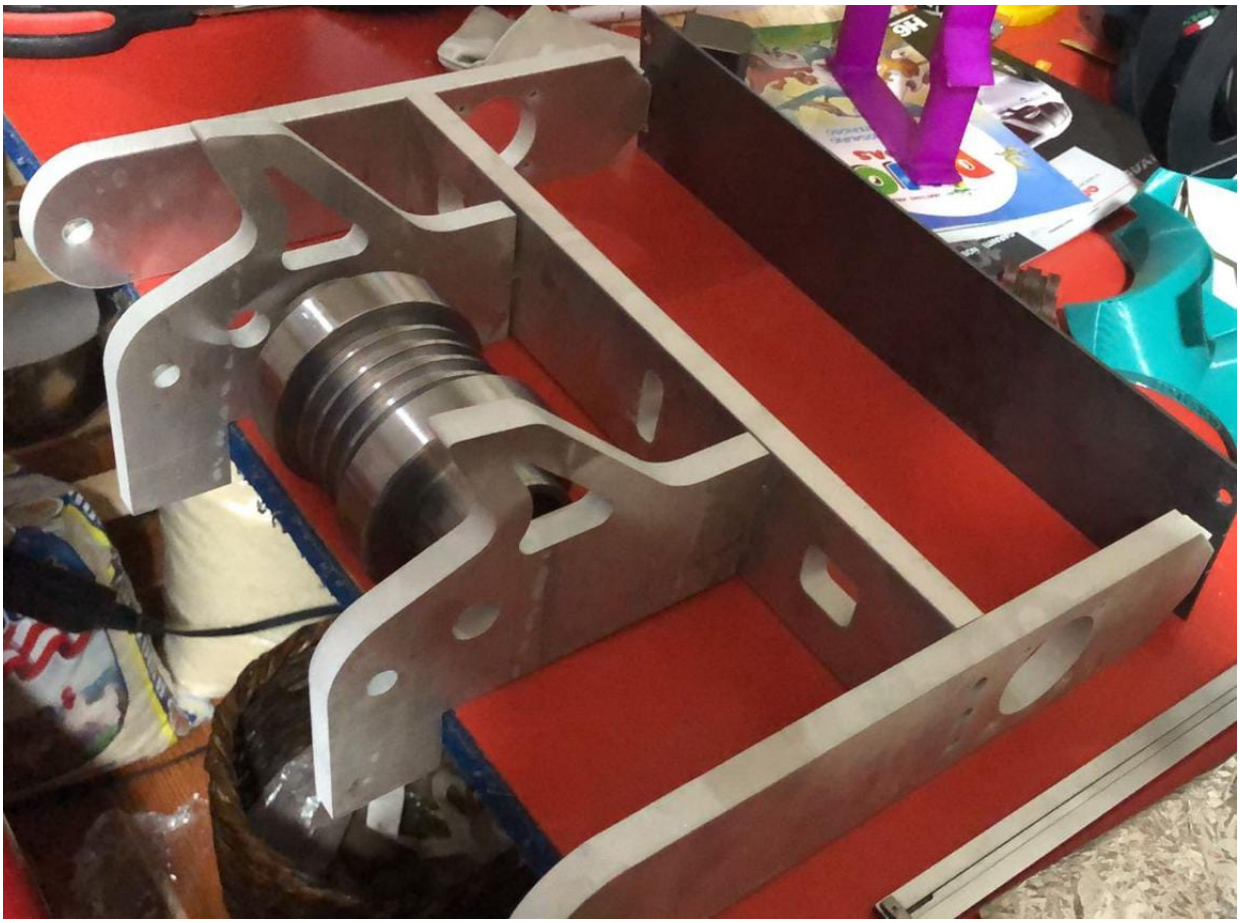


Figura 92. Ensamble de la estructura interna del prototipo

En la Figura 93 se observa la instalación de los motores con las llantas .

Figura 93. Instalación de los motores con las llantas

En la Figura 94 se observa la instalación de las rampas del arma.

Figura 94. Instalación de las rampas del arma

En la Figura 95 se observa la instalación de la tapa superior e inferior del robot.

Figura 95. Instalación de la tapa superior e inferior del robo

En la Figura 96 se observa el proceso de pintado de la estructura.

Figura 96. Proceso de pintado de la estructura

En la Figura 97 se observa el ensamble de los conectores para las baterias.

Figura 97. Ensamble de los conectores para las baterias

En la Figura 98 se observa el robot con sus respectivo control y sus autores.

Figura 98. Robot y autores