



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA  
SEDE GUAYAQUIL  
CARRERA DE MECATRÓNICA

DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE ROBOT MÓVIL  
RADIOCONTROLADO PARA RECOLECCIÓN DE RESIDUOS  
SÓLIDOS EN PLAYAS

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

AUTORES: Alvaro Sebastian Rizzo Ortega  
Susana Valery Macias Valarezo  
TUTOR: Ing. Tomás Santiago Gavilánez Gamboa, MSc.

Guayaquil - Ecuador  
2024

04/09/2024  
18:00

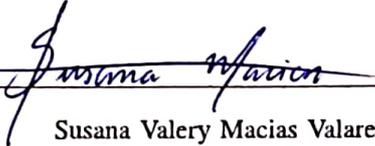
## CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, **Susana Valery Macias Valarezo** con documento de identificación N° **0952027985** y **Alvaro Sebastian Rizzo Ortega** con documento de identificación N° **0931465314**; 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.

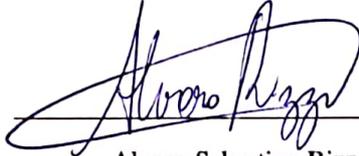
Guayaquil, 04 de septiembre del año 2024

Atentamente,



---

Susana Valery Macias Valarezo  
0952027985



---

Alvaro Sebastian Rizzo Ortega  
0931465314

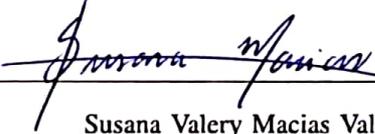
**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA  
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Nosotros, **Susana Valery Macias Valarezo** con documento de identificación N° **0952027985** y **Alvaro Sebastian Rizzo Ortega** con documento de identificación N° **0931465314**, 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 **DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE ROBOT MÓVIL RADIOCONTROLADO PARA RECOLECCIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS EN PLAYAS**, 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 final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 04 de septiembre del año 2024

Atentamente,

  
\_\_\_\_\_  
Susana Valery Macias Valarezo  
0952027985

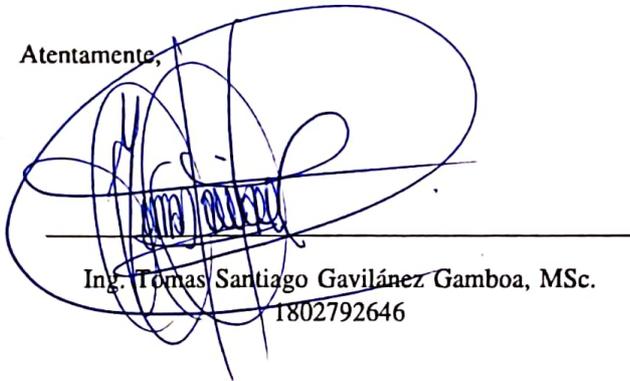
  
\_\_\_\_\_  
Alvaro Sebastian Rizzo Ortega  
0931465314

## CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, **Tomás Santiago Gavilánez Gamboa**, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: **DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE ROBOT MÓVIL RADIOCONTROLADO PARA RECOLECCIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS EN PLAYAS.**, realizado por **Susana Valery Macías Valarezo** con documento de identificación N° **0952027985** y por **Alvaro Sebastian Rizzo Ortega** con documento de identificación N° **0931465314**, 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, 04 de septiembre del año 2024

Atentamente,



Ing. Tomás Santiago Gavilánez Gamboa, MSc.  
1802792646

## DEDICATORIA

Este trabajo de titulación está dedicado a Dios y mi familia, pilar fundamental en mi vida. A mis padres, Gisela y Xavier, por su amor incondicional, su apoyo constante y los sacrificios que han hecho para que yo pudiera llegar hasta aquí. Sus enseñanzas y ejemplo han sido mi mayor motivación. A mis hermanos, mis abuelas y mis tios y me querida perros Tesla y Bobby, por su compañía, aliento y apoyo incondicional, incluso en los momentos más difíciles. Este logro es tan mío como de ustedes.

**Susana Valery Macias Valarezo**

Dedico este trabajo de titulación a mi mamá, Cecilia, y a mi hermano, Adrián, quienes han sido la fuerza motriz detrás de cada uno de mis logros. A mi novia, Allison, por ser un pilar fundamental en esta etapa, brindándome la fortaleza necesaria para continuar en este recorrido lleno de desafíos. A mi padre, Álvaro, por haber forjado mi carácter y mi forma de ser. Y, por último, pero no menos importante, a mi querido “Buddy”, mi mascota que, por causas del destino, no pudo continuar a mi lado, pero que me acompañó en mis largas noches en busca de mi camino profesional.

**Alvaro Sebastian Rizzo Ortega**

## AGRADECIMIENTO

La realización de esta tesis ha sido posible gracias al apoyo y contribución de muchas personas, a quienes quiero expresar mi más sincero agradecimiento a mi director de tesis, Ing. Tomás Santiago Gavilánez Gamboa, su paciencia y su confianza en mi trabajo. Sus consejos y su experiencia han sido fundamentales para llevar a buen puerto esta investigación. A mis compañeros de estudio y amixes del grupo Ingenieros Volteados especialmente a mi amigo Sebastian compañero de tesis por las largas horas de estudio compartidas, el apoyo mutuo y los momentos de alegría que hicieron más llevadero este camino. Finalmente, a mi familia, por su apoyo incondicional, su paciencia infinita y por creer en mí en todo momento. Sin ustedes, nada de esto habría sido posible. A todos, mi más profundo agradecimiento. Este logro es también suyo.

**Susana Valery Macias Valarezo**

Quiero expresar mi sincero agradecimiento a todas las personas que me han acompañado en la consecución de esta meta profesional. A mis amigos del colegio Joel F., Josfiel, Jean Carlo, Ricardo, Joel R. y Andrés, por su incondicional amistad a pesar sus gustos personales. A mis compañeros de trabajo, cuyo apoyo y consejos han sido fundamentales para el éxito de las pruebas. Sin su colaboración, estos resultados no habrían sido posibles. A mi compañera Susana, con quien desarrollé este trabajo de titulación. Sin su valioso acompañamiento y colaboración, este logro no habría sido posible. A todos los profesionales que han dejado una huella significativa en mi desarrollo laboral, marcando un antes y un después en mi vida profesional. Como dijo Nelson Mandela: "La mayor gloria en la vida no es nunca caer, sino levantarse cada vez que caemos."

**Alvaro Sebastian Rizzo Ortega**

## I. RESUMEN

La acumulación de residuos sólidos en las zonas costeras representa un grave problema ambiental que afecta la biodiversidad, la salud pública y el turismo sostenible. La creciente acumulación de basura en las playas, atribuida a la actividad humana y la falta de infraestructura adecuada, requiere soluciones innovadoras y eficientes. En base a este estudio propone y validar un "diseño de un prototipo de robot móvil radiocontrolado diseñado para la recolección de residuos sólidos en playas", el cual está compuesto de un sistema de un control que emite de señales de radiofrecuencia (RF), que son ondas electromagnéticas que permiten comunicar exitosamente con el receptor que contiene el robot.

El prototipo fue sometido a rigurosas pruebas experimentales para evaluar su capacidad de carga y autonomía, estableciendo objetivos. Los resultados obtenidos indican que el robot puede recolectar la meta establecida de residuos por ciclo de operación, con una autonomía media de 2.0 horas por carga, cumpliendo y en algunos casos superando las metas establecidas. Además, se evaluó la capacidad del robot para manejar desechos de diferentes tamaños, alcanzando una tasa de recolección del 80 % y la capacidad de limpieza con un el índice de contaminación demostrando efectividad de recolección del robot. Finalmente, estos hallazgos demuestran la efectividad del prototipo en mejorar la eficiencia de la limpieza de playas, proporcionando una solución viable frente a las limitaciones de las herramientas actuales y contribuyendo a la preservación ambiental y el turismo sostenible.

**Palabras clave:** recolección de residuos, robot móvil, radiocontrol, limpieza de playas, autonomía, capacidad de carga.

## II. ABSTRACT

The accumulation of solid waste in coastal areas represents a serious environmental problem that affects biodiversity, public health, and sustainable tourism. The increasing buildup of trash on beaches, attributed to human activity and a lack of adequate infrastructure, requires innovative and efficient solutions. Based on this study, we propose and validate the "design of a remote-controlled mobile robot prototype designed for solid waste collection on beaches," which is equipped with a control system that emits radio frequency (RF) signals, which are electromagnetic waves that successfully communicate with the receiver inside the robot.

The prototype underwent rigorous experimental testing to evaluate its load capacity and autonomy, setting specific objectives. The results obtained indicate that the robot can collect the established target of waste per operational cycle, with an average autonomy of 2.0 hours per charge, meeting and, in some cases, exceeding the set goals. Additionally, the robot's ability to handle waste of different sizes was assessed, achieving an 80 % collection rate and demonstrating the effectiveness of the robot in cleaning areas with varying pollution levels. Ultimately, these findings demonstrate the prototype's effectiveness in improving beach cleaning efficiency, providing a viable solution to the limitations of current tools, and contributing to environmental preservation and sustainable tourism.

**Keywords:** waste collection, mobile robot, remote control, beach cleaning, autonomy, load capacity.

## ÍNDICE

<b>I. RESUMEN</b>	7
<b>II. ABSTRACT</b>	8
<b>III. INTRODUCCIÓN</b>	1
<b>IV. PROBLEMA</b>	2
<b>V. JUSTIFICACIÓN</b>	3
<b>VI. OBJETIVOS</b>	4
VI-A. Objetivo general . . . . .	4
VI-B. Objetivos específicos . . . . .	4
<b>VII. FUNDAMENTOS TEÓRICOS</b>	5
VII-A. La contaminación en el mundo . . . . .	5
VII-A1. Contaminación de playas . . . . .	9
VII-A2. Sistemas de recolección de residuos . . . . .	10
VII-A3. Tipos de desechos . . . . .	13
VII-B. Robótica móvil . . . . .	14
VII-B1. Evolución de la robótica móvil . . . . .	14
VII-B2. Cifras de los robots móviles . . . . .	15
VII-B3. Tipos de robots móviles . . . . .	17
VII-B4. Componentes de los robots móviles . . . . .	17
VII-B5. Aplicaciones de la robótica móvil . . . . .	19
<b>VIII. MARCO METODOLÓGICO</b>	21
VIII-A. Selección de componentes . . . . .	22
VIII-B. Diseño del prototipo de robot . . . . .	25
VIII-B1. Sistema mecánico del prototipo . . . . .	25
VIII-C. Sistema electrónico y eléctrico del prototipo . . . . .	27
VIII-D. Simulación de la estructura mecánica prototipo de robot. . . . .	29
VIII-D1. Análisis de deformación del chasis del robot . . . . .	29
VIII-E. Implementación del prototipo. . . . .	30
VIII-E1. Primer Prototipo-Validación Inicial del Diseño . . . . .	31
VIII-E2. Segundo Prototipo-Prototipo Final y Mejoras . . . . .	31
VIII-F. Funcionamiento y validación del sistema de recolección de residuos. . . . .	32
<b>IX. RESULTADOS</b>	34
IX-A. Capacidad de Carga y Autonomía . . . . .	34
IX-A1. Cálculos de la Media, Varianza y Desviación Estándar . . . . .	34
IX-B. Volumen total de las desechos . . . . .	36
<b>X. CRONOGRAMA</b>	37
<b>XI. PRESUPUESTO</b>	38
<b>XII. CONCLUSIONES</b>	39
<b>XIII. RECOMENDACIONES</b>	40

<b>Anexo A: PLANOS</b>	43
<b>Anexo B: EQUIPOS DE MANUFACTURA</b>	50
<b>Anexo C: EVIDENCIA</b>	52
<b>Anexo D: Análisis de cargas del chasis del robot</b>	53
D-1. Análisis estático. . . . .	53

## ÍNDICE DE FIGURAS

1.	Mapamundi de la basura marina [11]. . . . .	5
2.	Playas sucias después de un feriado [14]. . . . .	10
3.	Rastrillo manual limpiador de arena [18]. . . . .	11
4.	Maquina de cribado para playas [20]. . . . .	11
5.	Aspiradoras de arena para la limpieza [21]. . . . .	12
6.	Robots limpiadores de playas [23]. . . . .	12
7.	Top 10 de los desechos más encontrados en las playas[25]. . . . .	13
8.	Principales robots móviles destacados en la historia [14]. . . . .	14
9.	Gráfico de estadísticas de la implantación de robots [26]. . . . .	16
10.	Robot Móvil Robotnik [28]. . . . .	18
11.	Aplicaciones de robot móviles. Fuente: Autores . . . . .	19
12.	Diagrama del proceso de robot. Fuente: Autores . . . . .	21
13.	Diagrama general del prototipo de robot. Fuente: Autores . . . . .	22
14.	Ruedas de goma del prototipo del robot. . . . .	23
15.	Motor de engranaje planetario de alto Torque. . . . .	24
16.	Controlador de velocidad . . . . .	24
17.	Diseño del chasis del prototipo de robot. Fuente: Autores . . . . .	26
18.	Diseño del rastrillo del prototipo de robot. Fuente: Autores . . . . .	27
19.	Diagrama de elementos electrónicos. Fuente: Autores . . . . .	28
20.	Chasis aplicando la deformación para coeficiente de seguridad. . . . .	29
21.	Chasis aplicando la deformación por estrés. . . . .	30
22.	Chasis aplicando la deformación por estrés. . . . .	30
23.	Prototipo del robot móvil. Fuente: Autores. . . . .	31
24.	Pruebas del prototipo en entorno arenoso. Fuente: Autores. . . . .	32
25.	Prototipo del robot móvil. Fuente: Autores. . . . .	33
26.	Recolección de residuos. Fuente: Autores. . . . .	33
27.	Plano general de prototipo, Autodesk Fusion360 . . . . .	43
28.	Lámina acotada de las dimensiones generales del robot, Autodesk Fusion360 . . . . .	44
29.	Lámina acotada del soporte del sistema de abertura, Autodesk Fusion360 . . . . .	45
30.	Lámina de exposición de los componentes, Autodesk Fusion360 . . . . .	46
31.	Lámina acotada del soporte del servomotor, Autodesk Fusion360 . . . . .	47
32.	Lámina acotada de la herramienta de arrastre (rastrillo), Autodesk Fusion360 . . . . .	48
33.	Lámina acotada de la base de soporte de la electrónica, Autodesk Fusion360 . . . . .	49
34.	Cortadora láser del prototipo en MDF, por Autores . . . . .	50
35.	Cortadora láser del prototipo en metal, por Autores . . . . .	51
36.	Impresión en 3D de las piezas. . . . .	51
37.	Corte del chasis del robot. . . . .	52
38.	Prueba de funcionamiento del robot. . . . .	52
39.	Chasis al inicio del análisis se carga. Fuente: Autores . . . . .	53
40.	Chasis aplicando la carga de gravedad. Fuente: Autores . . . . .	53
41.	Chasis aplicando la carga de la fuerza1. Fuente: Autores . . . . .	55
42.	Chasis aplicando la carga global lineal1. Fuente: Autores . . . . .	56

## ÍNDICE DE TABLAS

I.	Datos de basura marina y calidad del agua . . . . .	7
II.	Parámetros y Datos del Robot . . . . .	26
III.	Propiedades Físicas Del Rastrillo . . . . .	27
IV.	Resultados de Pruebas de Recolección de Residuos . . . . .	34
V.	Experimento de Probetas de Bolas de Papel . . . . .	36

VI.	Cronograma . . . . .	37
VII.	Presupuesto . . . . .	38
VIII.	Resultados del análisis de esfuerzos y deformaciones . . . . .	54
IX.	Configuración de la Gravedad . . . . .	54
X.	Configuración de la Fuerza . . . . .	55
XI.	Configuración de la Carga Global Lineal . . . . .	55

### III. INTRODUCCIÓN

El diseño de un prototipo de robot móvil radiocontrolado para la recolección de residuos sólidos en playas responde a la necesidad de mejora en la limpieza de estos entornos. Las playas, siendo áreas recreativas y ecosistemas naturales importantes, requieren mantenimiento constante para garantizar su conservación y la recreación. Sin embargo, la recolección manual de residuos es una tarea laboriosa, costosa y sujeta a limitaciones humanas.

La implementación de robots móviles radiocontrolados en la recolección de residuos sólidos ofrece una solución innovadora a este problema. Estos robots pueden operar en condiciones ambientales adversas, acceder a áreas de difícil alcance y realizar tareas repetitivas sin fatiga, aumentando así la eficiencia y reduciendo los costos operativos.

Los robots diseñados para operar en playas deben ser capaces de navegar en terrenos arenosos y adaptarse a cambios constantes en el entorno. Además, deben ser lo suficientemente robustos para recoger una variedad de residuos, desde plásticos pequeños hasta objetos más voluminosos, sin dañar el entorno natural. La incorporación de tecnologías avanzadas y algoritmos de navegación, es esencial para garantizar un rendimiento óptimo.

Este estudio se centra en el desarrollo y prueba de un prototipo de robot móvil radiocontrolado específicamente diseñado para la recolección de residuos en playas. Se investigarán diversas soluciones de diseño para optimizar la movilidad y capacidad de recolección del robot, así como su durabilidad y eficiencia energética. Además, se evaluará la interacción del robot con el entorno y su capacidad para operar de manera autónoma o semiautónoma bajo la supervisión de un operador humano.

El propósito de este proyecto es no solo mejorar la limpieza de las playas, sino también demostrar la viabilidad de aplicar tecnologías robóticas en la gestión de residuos sólidos. Al promover el uso de robots en tareas de mantenimiento ambiental, se busca fomentar la innovación tecnológica y contribuir a la preservación de los ecosistemas costeros.

#### IV. PROBLEMA

La recolección de residuos en áreas costeras representa una problemática significativa que requiere atención inmediata por parte de las entidades gubernamentales en conjunto con la sociedad. La acumulación de residuos sólidos en las zonas costeras tiene un impacto significativo en el medio ambiente, la salud pública y el turismo sostenible. La falta de sistemas eficientes de recolección y gestión de residuos ha llevado a la contaminación de playas, manglares y hábitats marinos, afectando negativamente a la biodiversidad y generando riesgos para la salud humana [1]. A medida que pasa el tiempo, se observa un aumento constante en la cantidad de residuos sólidos que llegan a las costas, atribuido a la actividad humana irresponsable y la falta de infraestructura adecuada para la limpieza de las playas. Esta situación se refleja en cifras alarmantes, según estudios de la ONU, anualmente en las costas de las playas se encuentra más 13 millones de toneladas de basura [2].

Actualmente, la mayoría de los métodos de limpieza dependen en gran medida de la mano de obra manual, lo que resulta en una cobertura limitada y altos costos operativos. Esta limitación dificulta la limpieza de áreas remotas o de difícil acceso, donde la acumulación de desechos es frecuente pero la intervención humana es particularmente desafiante [3].

Uno de los principales desafíos es la falta de herramientas especializadas para abordar este problema de manera adecuada. Principalmente los costos de los equipos adecuados son muy elevados, así como KOBRA una máquina de para filtrado de arena manual que tiene un costo alrededor de 8 817.09 a 15 207.85 dólares americanos, sin costos de mantenimiento o la importación del equipo. Además, en el Ecuador no existen empresas que fabriquen estos equipos especializados y por lo tanto la importación de los mismos requiere de una inversión sustantiva, incrementando los costos y reduciendo las oportunidades para que empresas ecológicas tomen interés en la problemática [4]. Ante esta problemática, se propone el diseñar de un robot móvil radiocontrolado para recolección de residuos sólidos. Este prototipo funcionará de manera controlada, recolectando residuos sólidos de la zona costera predefinida para verificar la funcionalidad de recolectar los residuos de la arena. En una segunda propuesta se pretende que el robot funcione de forma autónoma [5].

## V. JUSTIFICACIÓN

El impacto de la acumulación de residuos sólidos en las zonas costeras es evidente en la contaminación de playas, manglares y hábitat marinos, lo que afecta negativamente a la biodiversidad y aumenta los riesgos para la salud humana. A medida que pasa el tiempo, se observa un aumento constante en la cantidad de residuos que llegan a las costas, lo que evidencia la urgencia de desarrollar soluciones innovadoras y eficientes [5]. A pesar de los esfuerzos de limpieza, la persistencia de esta acumulación requiere soluciones innovadoras como el desarrollo de un prototipo móvil autónomo para la recolección de residuos costeros. Esta tecnología podría optimizar la limpieza de playas, aumentando la eficiencia y reduciendo el impacto negativo en los ecosistemas y la salud pública, promoviendo así la preservación de nuestros recursos naturales y el turismo sostenible en las costas ecuatorianas [6].

La recolección de residuos en áreas costeras es una problemática que afecta tanto al medio ambiente como a la salud pública y el turismo sostenible. La falta de herramientas especializadas y eficientes para abordar este problema dificulta la limpieza de áreas remotas o de difícil acceso, donde la acumulación de desechos es frecuente. Esta situación se agrava debido a la actividad humana irresponsable y la falta de infraestructura adecuada [7].

La limpieza de playas actualmente depende en gran medida de la mano de obra manual, lo que resulta en una cobertura limitada y altos costos operativos, dificultando especialmente la limpieza de áreas remotas o de difícil acceso donde la acumulación de desechos es frecuente. Esta dependencia no es sostenible, dada la creciente contaminación y los desafíos ambientales [8]. Por lo tanto, el desarrollo de un robot móvil radiocontrolado para la recolección de desechos sólidos en la arena es esencial para automatizar y optimizar este proceso, reduciendo costos, mejorando la cobertura y facilitando el acceso a zonas complicadas, contribuyendo así a la sostenibilidad ambiental y a la mejora de la calidad de las playas para las comunidades y visitantes. En este contexto y por las razones expuestas se justifica el diseño de un prototipo móvil radiocontrolado para la recolección de residuos sólidos en las playas [9].

## VI. OBJETIVOS

### *VI-A. Objetivo general*

Desarrollar un prototipo de robot móvil radiocontrolado que permita la recolección de desechos sólidos en la arena de las playas, contribuyendo a la limpieza de las áreas costeras.

### *VI-B. Objetivos específicos*

- Diseñar sistemas mecatrónicos para la movilidad del prototipo mediante el uso de un sistema de radiocontrol.
- Implementar un sistema que permita la recolección de desechos sólidos considerando el volumen y el peso de los residuos.
- Realizar pruebas del prototipo en un entorno controlado para validar su funcionamiento y efectividad en la limpieza de áreas determinadas.

## VII. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

### VII-A. La contaminación en el mundo

Los ecosistemas marinos se ven gravemente afectados por la acumulación de desechos plásticos, con estimaciones que indican una entrada anual de entre 8 y 12 millones de toneladas en nuestros océanos. Este problema surge de una gestión inadecuada de residuos a nivel global. La distribución de estos materiales en el entorno marino no es uniforme: aproximadamente un 25 % permanece en las zonas costeras, otro 25 % flota en la superficie del agua, mientras que el 50 % restante se hunde y se deposita en el lecho marino. Si bien es cierto que las naciones de continentes como África, Asia y América Latina suelen recibir críticas más severas por el estado de sus aguas costeras, es importante destacar que la responsabilidad de este problema es compartida a nivel mundial. Casi todos los países del mundo han contribuido a la acumulación de al menos 500 gramos de residuos por metro de costa en sus territorios. En el siguiente gráfico se aprecia un Mapamundi de la basura marina donde con cuatro tonalidades detalla el nivel porcentual de contaminación del área sombreada[10].

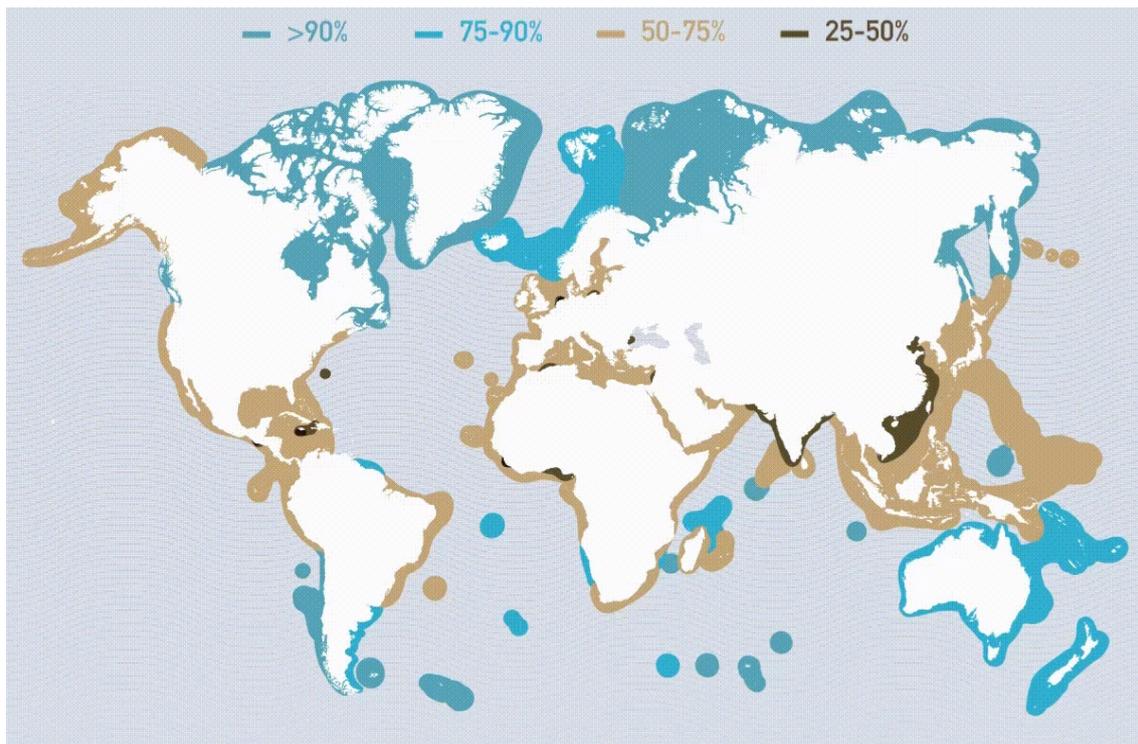


Figura 1. Mapamundi de la basura marina [11].

Según los datos recolectados en este estudio Global Health Index, nos indica que el archipiélago compuesto por las islas Heard y McDonald, territorios australianos deshabitados, destaca por su excepcional estado de conservación. Estas islas, que abarcan una superficie total de 412 km<sup>2</sup>, han sido reconocidas como Patrimonio Natural de la Humanidad debido a su rica biodiversidad, especialmente en lo que respecta a poblaciones de focas y aves marinas. La ausencia de asentamientos humanos permanentes ha contribuido significativamente a mantener estos ecosistemas en un estado prístino. Las únicas incursiones humanas en estas islas han sido con fines de investigación científica, lo que ha permitido preservar su integridad ecológica. Esta situación única llevó a que el Global Health Index de 2019 las clasificara como la región más limpia del planeta, con niveles mínimos de contaminación química, eutrofización y presencia de patógenos humanos. Sin embargo, este estado de pureza ambiental no está exento de amenazas. Un estudio realizado por la Universidad de Tasmania en 2019 reveló una situación alarmante en las cercanas Islas Cocos, también pertenecientes a Australia. Aunque solo hay 600 habitantes, sus playas acumulaban la asombrosa cifra de 414 millones de residuos plásticos. Este hallazgo subraya la vulnerabilidad de los ecosistemas más remotos

e intactos frente a la contaminación global por plásticos, y sirve como advertencia sobre la necesidad de mantener una vigilancia constante y adoptar medidas preventivas, incluso en áreas con conservación excepcional[12].

También se pudo notar que Alemania se distingue por su notable desempeño en la preservación de la salud oceánica, alcanzando una puntuación de 86 sobre 100 en evaluaciones internacionales. Este logro es particularmente significativo en el contexto europeo, donde la mayoría de las zonas costeras mantienen una calidad de agua que oscila entre los 60 y 75 puntos, con excepción de la región danesa que muestra índices superiores. Según el análisis de Ocean Health Index, la sociedad alemana ha desarrollado un fuerte vínculo con sus entornos marinos. Este fenómeno se manifiesta en una profunda conciencia e identificación cultural con los ecosistemas costeros. Los ciudadanos alemanes no solo reconocen las especies emblemáticas de sus mares, sino que también están al tanto de aquellas que enfrentan riesgos de extinción, demostrando un compromiso activo con la conservación marina. No obstante, a pesar de estos esfuerzos y la alta concienciación, los desafíos persisten. Datos recientes revelan que, durante el año anterior, se recolectaron aproximadamente 23,7 kilogramos de desechos marinos por cada kilómetro de costa alemana. Esta cifra, aunque preocupante, también refleja la eficacia de las iniciativas de limpieza y monitoreo implementadas en el país, subrayando la continua necesidad de esfuerzos sostenidos en la protección de los ambientes marinos y costeros.

Por otra parte, y en contraste con los países que lideran los esfuerzos de conservación marina como lo es Alemania, Las islas Heard y McDonald. Tenemos a la República del Congo se encuentra en una posición alarmante, ocupando el puesto 216 de 221 naciones evaluadas en términos de salud oceánica y protección costera. Esta nación centroafricana enfrenta desafíos críticos en la preservación de sus ecosistemas marinos y costeros. La situación es muy grave en cuanto a la protección de hábitats cruciales como manglares, praderas marinas, arrecifes de coral y zonas de hielo oceánico. Estos ecosistemas, vitales para la biodiversidad y la estabilidad costera, sufren una degradación significativa debido a la falta de medidas de conservación efectivas. Además, el país se enfrenta a una crisis de contaminación costera de proporciones alarmantes. El vertido incontrolado de aguas residuales en las zonas litorales representa una amenaza seria y multifacética. Por un lado, compromete gravemente la salud pública de las comunidades costeras, exponiéndolas a riesgos sanitarios significativos. Por otro, este tipo de contaminación tiene un impacto devastador en la fauna local, poniendo en peligro especies endémicas y alterando el equilibrio ecológico de la región. Esta combinación de factores, la deficiente protección de hábitats críticos y la contaminación por aguas residuales coloca a la República del Congo en una posición particularmente vulnerable. La situación subraya la urgente necesidad de implementar políticas ambientales robustas, mejorar la infraestructura de tratamiento de aguas y fomentar prácticas de desarrollo sostenible que consideren la preservación de los ecosistemas marinos y costeros como una prioridad nacional[13].

La situación ambiental de Siria revela un panorama preocupante en varios frentes. En primer lugar, las prácticas pesqueras en el país muestran una grave falta de sostenibilidad y respeto por los ecosistemas marinos. Evaluaciones internacionales han otorgado a Siria una puntuación de apenas 8 sobre 100 en este aspecto, lo que refleja la urgente necesidad de implementar políticas de pesca más responsables y acordes con la preservación del medio marino. Adicionalmente, el conflicto armado que ha azotado al país ha tenido repercusiones ambientales significativas, como lo señala un estudio realizado por PAX, una organización independiente con sede en los Países Bajos. Este informe pone de manifiesto dos problemas ambientales críticos derivados de la guerra:

- Los escombros generados por la destrucción de infraestructuras están liberando sustancias nocivas al medio ambiente. Estos contaminantes representan una amenaza tanto para la salud humana como para los ecosistemas locales, exacerbando la crisis ambiental ya existente.
- El conflicto ha provocado daños severos en la infraestructura hídrica del país. Los bombardeos han causado roturas en las redes de distribución de agua, lo que ha desencadenado una escasez aguda de este recurso vital. Esta situación no solo afecta a la población civil, sino que también tiene implicaciones graves para la biodiversidad y los ecosistemas dependientes del agua.

Estos factores combinados, la pesca insostenible y las consecuencias ambientales del conflicto - presentan un desafío multifacético para la gestión ambiental en Siria, requiriendo atención urgente y soluciones integrales que aborden tanto la recuperación post-conflicto como la implementación de prácticas sostenibles a largo plazo. A continuación se mostrara en la tabla 1, donde se encontrara los datos de la basura marina y calidad del agua de cada país según el estudio de según el Global Health Index.

Tabla I  
DATOS DE BASURA MARINA Y CALIDAD DEL AGUA

País	Kg/km	Calidad del agua
Chile	5.713	94 %
Canadá	36	94 %
Santa Elena	479	92 %
Samoa	87	92 %
Guayana	441	84 %
Argentina	681	82 %
Australia	26	80 %
Surinam	423	79 %
Islandia	317	79 %
Nueva Zelanda	24	78 %
Seychelles	1	78 %
Noruega	186	77 %
Guam	930	76 %
Bonaire	68	74 %
Costa Rica	150	73 %
Estados Unidos	91	73 %
Fiji	73	73 %
Palau	200	72 %
Finlandia	183	70 %
Isla Mauricio	356	68 %
Ecuador	138	68 %
Saba	115	68 %
Emiratos Árabes Unidos	99	68 %
Rusia	37	68 %
Curazao	35	68 %
Belice	135	66 %
Omán	70	66 %
Panamá	1.441	65 %
Nicaragua	85	65 %
Croacia	34	65 %
México	221	64 %
Barbados	158	64 %
Reino Unido	44	64 %
Colombia	137	63 %
Arabia Saudita	84	63 %
Suecia	42	63 %
Trinidad y Tobago	417	62 %
Venezuela	258	62 %
Katar	249	62 %
Las Bahamas	33	62 %
Vanuatu	22	62 %
Irlanda	77	61 %
Montenegro	3	61 %

País	Kg/km	Calidad del agua
Corea del Sur	1.845	60 %
Brasil	93	60 %
Tailandia	74	60 %
San Vicente y las Granadinas	1.139	59 %
Ucrania	421	59 %
Grecia	104	59 %
Honduras	84	59 %
Japón	48	59 %
Chipre	48	59 %
Sri Lanka	294	58 %
Maldivas	39	58 %
Uruguay	37	58 %
Indonesia	27	58 %
Islas Marianas del Norte	14	58 %
Perú	6.756	57 %
St. Kitts y Nevis	108	57 %
Brunei	52	57 %
Malasia	10	57 %
Albania	3	57 %
Aruba	1	57 %
Sudáfrica	38	56 %
Marruecos	501	55 %
Guernesey	9	55 %
Filipinas	209	54 %
Puerto Rico	121	54 %
Islas Vírgenes de EE.UU	56	54 %
Mozambique	38	54 %
Islas Caimán	2	54 %
Camboya	668	53 %
Santa Lucía	583	53 %
Dinamarca	1	53 %
Islas Bermudas	144	52 %
Portugal	35	52 %
Jersey	25	52 %
Tanzania	4.476	51 %
Alemania	24	51 %
República Dominicana	1.398	50 %
Italia	163	50 %
Egipto	76	50 %
Turquía	63	50 %
Sint Maarten	999	49 %
España	137	49 %
Francia	110	49 %
Senegal	120	47 %
Kenia	16	47 %
Taiwán	566	45 %
Vietnam	233	45 %
Jamaica	222	45 %
Países Bajos	9	45 %
El Salvador	1.705	44 %
Polonia	90	44 %
Sierra Leona	375	43 %
Bulgaria	65	42 %
Malta	104	41 %
Singapur	429	39 %
Nigeria	422	37 %
Ghana	2.562	36 %

País	Kg/km	Calidad del agua
Camerún	458	36 %
China	634	35 %
Bangladesh	240	34 %
Guatemala	129	32 %
Bélgica	27	32 %
Israel	198	30 %
India	52	30 %
Eslovenia	910	28 %
Gibraltar	250	20 %
Azerbaiyán	2.989	-
Hong Kong	2.804	-
Macao	716	-
Malawi	422	-
Paraguay	245	-
Nepal	150	-
Granada	113	-
Argelia	110	-
Suiza	37	-
Etiopía	35	-
República Checa	10	-
Macedonia	3	-

*VII-A1. Contaminación de playas:* Los ecosistemas costeros, en particular las playas, son tesoros naturales de incalculable valor para nuestro planeta. Estos dinámicos entornos no solo son destinos predilectos para la recreación y el turismo, sino que también desempeñan un papel fundamental en el equilibrio ecológico global. Las playas son auténticas hotspots de biodiversidad, albergando una intrincada red de vida que abarca desde microscópicos organismos en la arena hasta las aves migratorias que las utilizan como punto de descanso. Esta riqueza biológica es esencial para mantener la salud de los océanos y, por extensión, de todo el planeta. Más allá de su importancia ecológica, las playas actúan como primera línea de defensa contra los embates del mar. Su topografía y vegetación asociada disipan la energía de las olas y mitigan el impacto de tormentas y marejadas, protegiendo así a las comunidades costeras. En una era de cambio climático y aumento del nivel del mar, este papel protector cobra aún mayor relevancia. Desde una perspectiva socioeconómica, las playas son el sustento de innumerables comunidades. El turismo costero, la pesca artesanal y otras actividades relacionadas dependen directamente de la salud de estos ecosistemas, generando empleos y fomentando el desarrollo local. Sin embargo, esta joya natural enfrenta una amenaza creciente: la contaminación. El problema de los residuos en playas y océanos ha alcanzado proporciones alarmantes, convirtiéndose en una crisis ambiental de escala global. La contaminación proviene de múltiples fuentes, tanto terrestres como marinas, y sus efectos se propagan mucho más allá del punto de origen. [13].

Los desechos plásticos, en particular, representan un desafío monumental. Estos materiales, diseñados para durar, se descomponen en microplásticos que infiltran toda la cadena alimentaria marina, desde el plancton hasta los grandes depredadores. Las consecuencias para la vida marina son devastadoras: desde la ingestión fatal de plásticos hasta el enredo en redes fantasma. Debemos de tener en cuenta las densidades de desechos marinos los cuales se pueden incrementar hasta un 40 % en tiempos de verano, como consecuencia de las visitas de los turistas. En el verano, especialmente en los lugares turísticos hay un gran cúmulo de desperdicios, los cuales representan el 75 % del total de desechos anuales, considerando a su vez que los turistas generan entre un 10 % a un 15 % más basura que los habitantes locales.



Figura 2. Playas sucias después de un feriado [14].

La contaminación no solo afecta a la fauna, sino que también degrada la calidad del agua y la arena, comprometiendo la salud pública y la viabilidad económica de las regiones costeras. Los esfuerzos de limpieza tradicionales, aunque valiosos, resultan insuficientes ante la magnitud del problema. Abordar esta crisis requiere un enfoque integral que combine la educación ambiental, políticas públicas efectivas, innovación tecnológica y participación ciudadana. La implementación de soluciones como la economía circular, la reducción en el uso de plásticos de un solo uso y el desarrollo de materiales biodegradables son pasos cruciales. La contaminación ambiental es una preocupación global, y las playas no están exentas. En América Latina, se produce alrededor del un 10 % de la basura a nivel mundial, y una parte significativa de estos residuos termina en galpones de basura que se encuentran al aire libre o en el ambiente, incluyendo las playas. La presencia masiva de plásticos en las costas y mares es un problema que va en creciente. Las islas de basura, compuestas sobre todo de plásticos, son un ejemplo alarmante de esta situación. La contaminación afecta los ecosistemas marinos y limita el uso económico, recreativo y estético de las playas [2].

Existen proyectos previos que han abordado la recolección de basura en playas utilizando robots móviles. Por ejemplo, un proyecto en Lima, Perú, diseñó un robot que recoge basura en playas de arena mediante un sistema de recolección de tipo arrastre [15]. La tecnología de sensores, microcontroladores, sistemas de navegación y control autónomo ha avanzado significativamente, lo que nos permite la creación de prototipos móviles con una mejor efectividad y presión de este prototipo.[16].

*VII-A2. Sistemas de recolección de residuos:* Debido a que la problemática de la contaminación de playas se ha visto en un incrementado considerablemente severo en la historia y la humanidad se ha encontrado en la necesidad de buscar soluciones para mejorar la limpieza en la flora y fauna de los ecosistemas marinos, buscando soluciones que que van evolucionado a lo largo tiempo, comenzó desde una herramienta que funciona con la ayuda de la fuerza humana hasta una herramienta que funciona de manera autónoma. A continuación, se hablara una breve reseña de las principales herramientas de limpiezas conocidas mas comúnmente como maquinas limpiadoras de playas que han revolucionado a lo largo de la historia permitiéndonos dar una mejor calidad de la limpieza en estos ecosistemas ayudando a reducir la contaminación producida por los residuos alojados en estos habitas:

- **Rastrillos Manuales.**

Estos rastrillos son herramientas básicas pero efectivas que se utilizan en la limpieza manual de las playas. Los trabajadores de la playa los utilizan para recoger basura, algas, conchas y otros desechos de la arena. Su diseño simple consta de un mango largo con dientes en un extremo. Al rastrillar la superficie de la arena, los dientes atrapan los residuos, que luego se pueden recoger y desechar [17].



Figura 3. Rastrillo manual limpiador de arena [18].

- **Máquinas de Cribado.**

Las máquinas de cribado son equipos diseñados para tamizar la arena y separar los desechos. Funcionan mediante un sistema de cribado que permite que la arena pase a través de una malla o tamiz, mientras que los objetos más grandes (como plásticos o vidrios) quedan atrapados y se depositan en un contenedor. Estas máquinas son útiles para mantener la arena limpia y libre de objetos no deseados [19].



Figura 4. Máquina de cribado para playas [20].

- **Aspiradoras de Arena.**

Las aspiradoras de arena utilizan succión para recoger basura y escombros de la superficie de la arena. Pueden ser operadas manualmente por trabajadores de la playa o de forma autónoma por máquinas especializadas. Son particularmente eficaces para recoger desechos más pequeños, como colillas de cigarrillos, envoltorios de alimentos y otros residuos ligeros [18].



Figura 5. Aspiradoras de arena para la limpieza [21].

- Robots de Limpieza de Playas.

Estos robots autónomos están diseñados para limpiar la arena de las playas. Utilizan tecnologías avanzadas, como la visión por computadora y la inteligencia artificial, para detectar y recoger basura y escombros de manera eficiente. Algunos robots pueden operar de forma autónoma, mientras que otros los controlan operadores humanos [22].



Figura 6. Robots limpiadores de playas [23].

- Sistemas de Filtración.

Algunas playas utilizan sistemas de filtración para limpiar la arena. Estos sistemas bombean agua a través de la arena y utilizan filtros para separar los desechos y contaminantes. El agua filtrada se devuelve al mar, mientras que los desechos se recogen y eliminan adecuadamente [24].

En resumen, la evolución de las herramientas para la limpieza de playas, desde los simples rastrillos manuales hasta los robots autónomos y sistemas de filtración avanzados, refleja nuestro creciente compromiso con la protección de los ecosistemas costeros. Cada innovación ha mejorado nuestra capacidad para combatir la contaminación, abordando desde residuos visibles hasta contaminantes microscópicos. Sin embargo, la tecnología es solo parte de la solución; la educación ambiental y las políticas de reducción de residuos son igualmente importantes. Esta progresión no solo representa avances tecnológicos, sino también un cambio en nuestra conciencia ambiental y nuestra responsabilidad hacia el medio ambiente marino.

VII-A3. *Tipos de desechos:* En las playas, una gran cantidad de desechos se acumula, afectando tanto el entorno natural como la experiencia de los visitantes. Entre los desechos más comunes se encuentran los plásticos, como botellas, tapas y bolsas, que a menudo se rompen en microplásticos difíciles de eliminar y peligrosos para la fauna marina. Las colillas de cigarrillos son otro contaminante frecuente; contienen sustancias tóxicas que se liberan lentamente y contaminan el agua y el suelo. Las latas de bebidas, aunque reciclables, se descartan inapropiadamente y permanecen en el ambiente durante décadas. Los envases de comida y plásticos de embalaje, usados frecuentemente en actividades recreativas, contribuyen significativamente a la contaminación debido a su uso desechable.

Las redes y líneas de pesca abandonadas son especialmente perjudiciales, ya que pueden enredar a la vida marina, causando lesiones o muertes. Las tapas de botellas, similares a las botellas de plástico, también se desintegran en microplásticos y son un problema recurrente en las playas. Los juguetes de plástico, que se utilizan en la playa y luego se pierden o se desechan, suman aún más plástico al entorno. Los paquetes de cigarrillos vacíos y artículos de higiene personal como pañales y toallitas, que no son biodegradables, representan una amenaza adicional al medio ambiente costero. Finalmente, el vidrio roto no solo es una molestia estética, sino que puede ser peligroso para los bañistas y la fauna marina. Debido a que la acumulación de desechos en las playas es otra amenaza importante para los ecosistemas costeros. Además de degradar visualmente los paisajes, los residuos cambian el hábitat de muchas especies marinas y causan el mayor daño ambiental. Entre los desechos, los plásticos son los más preocupantes; no solo es mucho tiempo lo que tardan en descomponerse, sino también la posibilidad de fragmentarse en pequeñas partículas, microplásticos. Los animales marinos que ingieren plásticos experimentan varios problemas, desde la obstrucción intestinal hasta la necrosis química. Además, los desechos a menudo llevan especies invasoras, compitiendo y reemplazando a las especies endémicas dentro de la comunidad biológica y alterando el ecosistema por completo.



Figura 7. Top 10 de los desechos más encontrados en las playas[25].

Según una infografía publicada por Directemar en 2022, nos muestra en la Figura 7 la cantidad de kg. de los desechos más comunes en las playas en una escala del 1 al 10 incluyen también elementos como envases de alimentos, colillas y plásticos en formas variadas, reflejando la persistente y variada naturaleza de la contaminación. Estos desechos no solo deterioran la belleza de las playas, sino que también tienen un impacto profundo en la salud del ecosistema marino, subrayando la necesidad urgente de prácticas de gestión de desechos más efectivas y campañas de concienciación para reducir la contaminación.

### VII-B. Robótica móvil

*VII-B1. Evolución de la robótica móvil:* El desarrollo de la robótica como disciplina científica tiene sus raíces en una larga historia de innovaciones tecnológicas y conceptuales. La concepción de entidades mecánicas animadas tiene raíces profundas en la historia humana. Los antiguos griegos imaginaban criaturas artificiales impulsadas por ingeniosos sistemas de poleas y mecanismos hidráulicos. Esta idea evolucionó en la cultura árabe, donde se contemplaron estos artefactos como medios para mejorar la comodidad humana. La robótica como disciplina científica emergió en el siglo XX, consolidándose en la década de 1940. Sin embargo, sus antecedentes se remontan al siglo XVIII, cuando Vaucanson y los Jaquet-Droz crearon autómatas humanoides sofisticados. La Revolución Industrial del siglo XIX marcó un punto de inflexión, propiciando avances tecnológicos en diversos campos que sentarían las bases para el desarrollo de la robótica moderna. El término «robot» fue acuñado por el escritor checo Karel Čapek en su obra teatral «R.U.R.» del año 1921, derivándolo de la palabra checa extquoterobota, que alude al trabajo forzado. Posteriormente, Isaac Asimov popularizó el concepto de extquoterobótica en su obra literaria, estableciendo también principios éticos fundamentales para la disciplina. El creciente interés en la robótica, tanto en círculos científicos como entre entusiastas de la ciencia ficción, llevó a la necesidad de definir con precisión el concepto de robot. Se estableció como un sistema electromecánico reprogramable capaz de ejecutar tareas repetitivas con alta precisión. La diversidad de aplicaciones robóticas dio lugar a múltiples criterios de clasificación, incluyendo arquitectura, generación, nivel de inteligencia y tipo de control. La década de 1970 marcó un auge en la investigación de robots móviles. Proyectos pioneros como Shakey, desarrollado por Nilsson en el SRI, integraron por primera vez la inteligencia artificial en el control de movimiento robótico. Otros hitos incluyeron el Newt de Hollis, el Hilare del LAAS en Francia, y el Lunar Rover del JPL, diseñado para exploración planetaria. El Stanford Cart de Moravec, capaz de seguir trayectorias predefinidas, ejemplificó los avances en navegación autónoma. Esta evolución histórica refleja cómo la robótica ha pasado de ser un concepto fantástico a una disciplina científica con aplicaciones prácticas en diversos campos, integrando avances en mecánica, electrónica e inteligencia artificial.

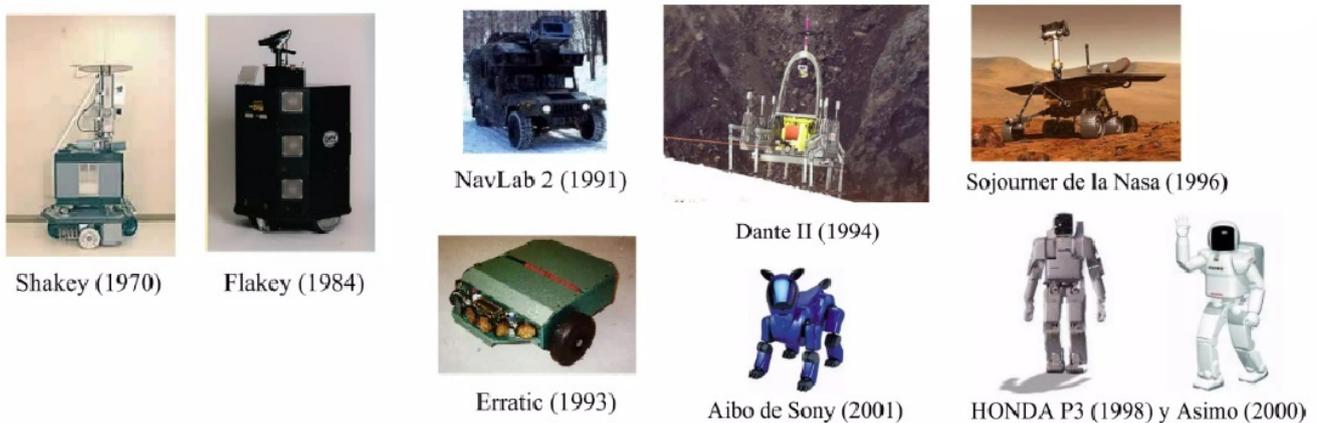


Figura 8. Principales robots móviles destacados en la historia [14].

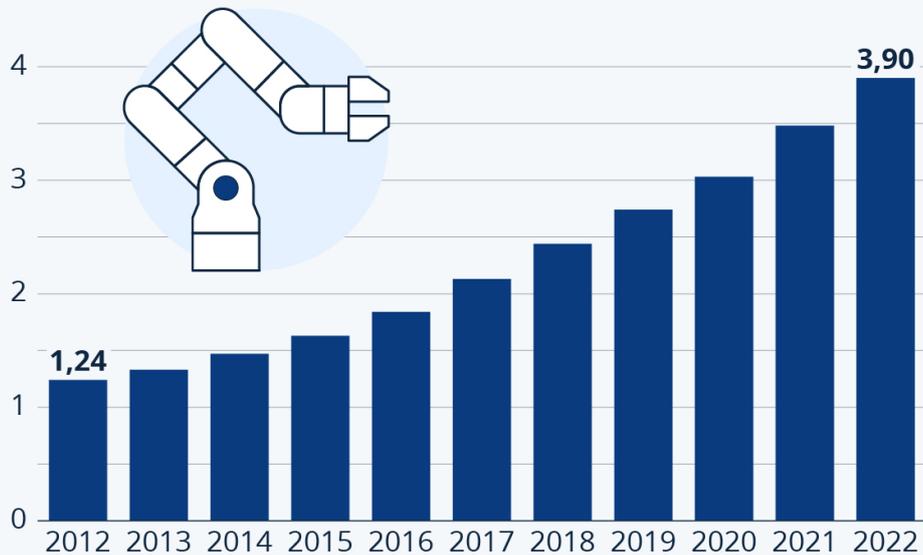
La evolución de la robótica móvil ha sido marcada por una serie de innovaciones significativas desde la década de 1980. En 1983, el Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT) fue escenario del desarrollo del robot monópodo de Raibert, diseñado para investigar la estabilidad y locomoción de sistemas con una sola extremidad. A principios

de los noventa, el MIT también vio la creación de un innovador robot «uniciclo» comunicado me diante las esparcion de la noticias y los comentarios emitidos por colaboradores, explorando nuevas formas de movilidad robótica. En 1994, el Instituto de Robótica de la Universidad Carnegie Mellon (CMU) presentó a Dante II, un robot hexápodo diseñado para la recolección de muestras de gases en entornos volcánicos, específicamente en el volcán Spurr de Alaska. El CMU continuó su liderazgo en innovación robótica con el desarrollo del Gyrover en 1996, un mecanismo basado en principios giroscópicos que prescindía de ruedas y patas convencionales, logrando una precisión y estabilidad excepcionales. Paralelamente, el MIT introdujo el Spring Flamingo, un robot biomimético que emulaba el movimiento de un flamenco, sirviendo como plataforma para el estudio de técnicas avanzadas de control de actuadores y algoritmos de desplazamiento. 1997 fue un año crucial, con la NASA enviando el Sojourner Rover a Marte para capturar imágenes del planeta rojo. En el ámbito de la robótica humanoide, Honda presentó el P3, pionero en la imitación de movimientos humanos, mientras que la Universidad Waseda de Japón reveló el WABIAN R-III para la investigación del movimiento corporal humano. En 1999, Zeglin en el CMU propuso el Bow Leg Hopper, un diseño innovador de robot monópodo que optimizaba el uso de energía mediante un sistema de almacenamiento de energía potencial en su articulación curva. El 2006 vio la introducción del Ballbot por Hollis y su equipo en el CMU, un sistema holonómico basado en una esfera como medio de locomoción, aunque los fundamentos de este concepto se remontan a los trabajos de Koshiyama y Yamafuji en 1991. En la actualidad, la exploración marciana continúa con los rovers Spirit y Opportunity, que buscan evidencias de agua en la superficie del planeta rojo, demostrando la aplicación práctica de la robótica móvil en la exploración espacial. Esta progresión histórica ilustra cómo la robótica móvil ha evolucionado desde conceptos experimentales hasta aplicaciones prácticas en diversos campos, incluyendo la exploración espacial, reflejando los avances en mecánica, control y diseño de sistemas autónomos.

*VII-B2. Cifras de los robots móviles:* La implementación de robots en entornos industriales ha experimentado un aumento sustancial en los últimos años. El informe World Robotics, publicado por la Federación Internacional de Robótica (IFR), revela que en 2022 se integraron 553.000 nuevos robots industriales a nivel global. Esta cifra contribuyó a que el stock operativo mundial alcanzara casi los cuatro millones de unidades, lo que supone un incremento del 30 % en comparación con los datos de una década atrás. Los sectores de la electrónica y la industria automotriz se perfilan como los principales impulsores de esta tendencia hacia la automatización. En el contexto geográfico, Asia se destaca como el mercado más vibrante en el ámbito de la robótica industrial. China, en particular, lideró esta tendencia en 2022, siendo responsable de más del 50 % de las nuevas instalaciones de robots industriales a nivel mundial. En cuanto a la densidad de automatización, Corea del Sur ocupa una posición de vanguardia, con una proporción de 1.000 robots por cada 10.000 empleados en el sector manufacturero, según datos recopilados en 2021. En el continente europeo, Alemania se posiciona a la cabeza con una tasa de 397 unidades robóticas por cada 10.000 trabajadores, la más elevada de la región. Estas estadísticas ponen de manifiesto una clara tendencia global hacia una mayor automatización en el sector industrial, aunque con variaciones significativas entre diferentes regiones y países en cuanto a la adopción y concentración de robots industriales.

# El ascenso de los robots

Stock operativo mundial de robots industriales  
(en millones de unidades)



Fuente: IFR



statista

Figura 9. Gráfico de estadísticas de la implantación de robots [26].

El Figura 9, titulado "Gráfico de estadísticas de la implantación de robots" presenta una visualización del incremento en el inventario operativo mundial de robots industriales durante el período comprendido entre 2012 y 2022, expresado en millones de unidades. Este análisis revela varios aspectos significativos:

- **Crecimiento Acelerado:** Se evidencia un aumento notable en la cantidad de robots industriales a lo largo del período estudiado. Partiendo de aproximadamente 1,24 millones de unidades en 2012, la cifra se triplicó hasta alcanzar 3,90 millones en 2022.
- **Tendencia Consistente al Alza:** La representación gráfica muestra una trayectoria ascendente inequívoca, indicativa de una adopción cada vez mayor de robots industriales. Este patrón sugiere un interés creciente y sostenido en la implementación de tecnologías de automatización en diversos sectores industriales.
- **Implicaciones para la Industria:** Este incremento sustancial puede interpretarse como una respuesta a la necesidad de optimizar la eficiencia y productividad en el sector manufacturero y otros ámbitos industriales, donde la robótica juega un papel cada vez más crucial.
- **Fiabilidad de los Datos:** La información presentada proviene de la Federación Internacional de Robótica (IFR), una fuente reconocida en el campo, lo que confiere un alto grado de credibilidad a los datos expuestos.

En síntesis, la Figura 8 ilustra de manera efectiva cómo la utilización de robots industriales ha experimentado un crecimiento constante y significativo durante la última década, reflejando una clara tendencia hacia una mayor automatización en el ámbito industrial global. La evolución de la robótica ha provocado y continuará provocando transformaciones significativas en la economía, el trabajo e incluso en la sociedad y su forma de pensar y vivir. Por lo presentado podemos decir que desde el año 2012, se ha registrado un aumento notable en el uso y desarrollo de robots en diversas industrias y aplicaciones.

*VII-B3. Tipos de robots móviles:* Al explorar los tipos de robots móviles, me doy cuenta de que no hay un único criterio para clasificarlos. En este artículo, me gustaría centrarme en dos enfoques diferentes. El primero se refiere a la locomoción, que es la forma en que estos robots se mueven de un lugar a otro. En esta categoría, podemos encontrar robots terrestres, aéreos, acuáticos, flotantes y submarinos. El segundo enfoque se basa en la guía que utilizan en su entorno. Aquí, podemos distinguir entre robots guiados y no guiados. Los robots guiados son aquellos que siguen un trayecto específico en su funcionamiento, como los que se desplazan siguiendo líneas marcadas en el suelo. En contraste, los robots no guiados no tienen un patrón de movimiento preestablecido y se mueven en función de la información que recogen de su entorno y sus características. Entre las configuraciones más frecuentes en el ámbito industrial se encuentran:

- **Sistemas con propulsión circular.**  
Conocidos comúnmente como los robots móviles con ruedas. Este método de desplazamiento, utilizado desde la antigüedad, sigue siendo fundamental en la movilidad moderna. Ofrece versatilidad en diferentes superficies, facilidad de control e implementación, y permite ajustar la velocidad. Sin embargo, puede presentar limitaciones en terrenos muy irregulares.
- **Sistemas con tracción de banda continua.**  
Mayormente conocidos como robots móviles con orugas, son diseñados para proporcionar mayor tracción y eficacia en terrenos blandos debido a su amplia superficie de contacto. No obstante, puede presentar desafíos en términos de control, velocidad y eficiencia de tracción.
- **Sistemas con apéndices articulados.**  
También conocidos como robots móviles con extremidades (patas), inspirados en la locomoción biológica, estos diseños permiten maniobras que otros sistemas no pueden realizar. Aunque ofrecen gran versatilidad, su diseño y control son significativamente más complejos.

Es común encontrar diseños que combinan varios de estos sistemas, lo que amplía su rango de aplicación y capacidad para operar en entornos diversos. El estudio del movimiento de estos sistemas, conocido como análisis cinemático, examina la posición, velocidad y aceleración de sus componentes para desarrollar sistemas de control eficaces. En el caso de los sistemas con propulsión circular, existen varias configuraciones, cada una con sus propias características en términos de eficiencia energética, tamaño, capacidad de carga y maniobrabilidad. Estas incluyen diseños tipo Ackerman, triciclo clásico, tracción diferencial, dirección por deslizamiento, síncrona y omnidireccional.

*VII-B4. Componentes de los robots móviles:* Un robot móvil es un dispositivo automatizado capaz de moverse de manera autónoma en su entorno. Estos robots realizan tareas especializadas como exploración, inspección, entrega de mercancía y patrullas de seguridad utilizando una serie de sensores y sistemas de navegación para identificar obstáculos y trazar rutas. En la actualidad, los robots móviles autónomos se están convirtiendo en una tecnología innovadora que está cambiando varios sectores, desde la exploración espacial hasta la logística. En esta revisión se examina el desarrollo y las capacidades de estos robots, que están revolucionando la interacción entre el ser humano y su entorno sin necesidad de intervención humana[27].



Figura 10. Robot Móvil Robotnik [28].

Aunque los robots móviles son propensos a imitar la conducta de las personas y los animales y, funcionan con el mismo nivel de eficiencia; la estructura del robot móvil es muy similar a la estructura de un ser vivo. Las dos partes tienen un sistema de soporte que sostiene las subestructuras restantes. Cuando se trata de un sensor de percepción y un sistema de movimiento; ambos sistemas están equipados con sistemas de procesamiento de datos independientes que toman decisiones [29].

Los robots móviles están diseñados para emular el comportamiento de seres vivos, como personas y animales, con un nivel de eficiencia comparable. La estructura de un robot móvil se asemeja notablemente a la de un ser vivo, ya que ambos cuentan con un sistema estructural que soporta diversas subestructuras [30]. Además, poseen sistemas de sensores, locomoción y procesamiento de información para la toma de decisiones. Al analizar los subsistemas de un robot móvil, encontramos los siguientes componentes clave:

- **Estructura Mecánica:** Compuesta por un armazón sólido, generalmente fabricado de metal, que aloja todos los componentes del robot. Este armazón proporciona la rigidez y el soporte necesarios para que el robot mantenga su integridad estructural y funcione correctamente.
- **Sensores:** Estos elementos proporcionan información al sistema de control para la realimentación y toma de decisiones. Los sensores pueden ser digitales o analógicos e incluyen encoders, sonares, sensores láser, cámaras, entre otros. Estos dispositivos permiten al robot percibir su entorno y responder adecuadamente a diferentes estímulos.
- **Actuadores:** Son los elementos finales de control que permiten al robot interactuar con su entorno, generando locomoción y otros movimientos. Los motores eléctricos son los actuadores más comúnmente utilizados, ya que ofrecen un control preciso y eficiente del movimiento.
- **Unidad de Procesamiento:** Este sistema implementa los algoritmos de control y navegación mediante la programación de un dispositivo embebido. Utiliza los datos de los sensores como entradas y controla los actuadores como salidas, determinando así el comportamiento del robot. La unidad de procesamiento define las características de precisión y fidelidad en el desplazamiento del robot.

Estos subsistemas trabajan en conjunto de manera coordinada para permitir que el robot móvil realice tareas complejas con eficacia. La integración adecuada de la estructura mecánica, los sensores, los actuadores y la unidad de procesamiento es esencial para el desarrollo de robots móviles que puedan cumplir funciones específicas, como la limpieza de playas[31].

**VII-B5. Aplicaciones de la robótica móvil:** Los robots terrestres están desempeñando un papel cada vez más significativo en una amplia gama de aplicaciones en la actualidad. En el ámbito militar y policial, estos dispositivos son utilizados para realizar tareas críticas, como la desactivación de explosivos, la exploración de terrenos peligrosos y la recolección de información en áreas hostiles. Su capacidad para operar en situaciones de alto riesgo reduce la exposición de los seres humanos a peligros potenciales. Además, en contextos de rescate, los robots se han convertido en herramientas valiosas para localizar y ayudar a personas atrapadas en estructuras colapsadas, como edificios dañados por desastres naturales. En el sector médico, los robots móviles están siendo incorporados como asistentes en la atención y cuidado de pacientes. Estos dispositivos pueden ayudar en la administración de medicamentos, el monitoreo de signos vitales y la asistencia en procedimientos quirúrgicos, mejorando la eficiencia y la precisión en el cuidado de la salud. Así mismo, en el ámbito del entretenimiento, los robots están siendo utilizados en diversas actividades, desde espectáculos interactivos hasta juegos, ofreciendo experiencias innovadoras al público. Con el avance de la economía global, la logística se ha convertido en un aspecto esencial para las empresas que se dedican a la distribución de recursos. En este contexto, la gestión de almacenes mediante robots móviles se ha vuelto una práctica cada vez más común en la industria de la cadena de suministro. La implementación de enjambres de robots en grandes almacenes permite optimizar procesos logísticos que son cada vez más complejos. Estos robots pueden trabajar de manera coordinada para realizar tareas como el almacenamiento, la recolección y el transporte de mercancías, lo que mejora la eficiencia operativa y reduce costos. La investigación en la coordinación de sistemas de múltiples robots es un área de creciente interés, ya que permite una gestión más efectiva de los recursos en entornos industriales. Además, ya estamos observando la aparición de robots que realizan entregas en nuestras ciudades, facilitando el transporte de productos y mejorando la experiencia del cliente en el comercio electrónico. Estos robots de entrega pueden navegar de forma autónoma por calles y aceras, adaptándose a las condiciones del tráfico y evitando obstáculos en su camino. Por otro lado, los robots aéreos han ganado popularidad en diversas aplicaciones. Estos dispositivos, conocidos como UAVs (vehículos aéreos no tripulados), tienen la capacidad de volar en diferentes configuraciones, como alas, hélices o turbinas. Dependiendo de su diseño y propósito, pueden ser controlados manualmente o funcionar de manera autónoma. En el sector agrícola, los UAVs se utilizan para el monitoreo de cultivos, permitiendo a los agricultores detectar enfermedades o plagas de manera temprana. También son empleados para supervisar áreas de riesgo, como cuencas fluviales, ayudando en la gestión de recursos hídricos y la prevención de desastres.



Figura 11. Aplicaciones de robot móviles. Fuente: Autores

En el ámbito del entretenimiento, hemos visto un auge en el uso de drones para espectáculos aéreos, donde enjambres de UAVs realizan coreografías impresionantes, creando experiencias visuales únicas para el público. En el sector militar, el uso de drones se ha vuelto cada vez más común, abarcando desde operaciones de vigilancia y reconocimiento hasta misiones ofensivas. Estos vehículos pueden llevar a cabo tareas que antes eran demasiado peligrosas para los humanos, aumentando así la eficacia de las operaciones militares. La exploración de cuerpos de agua es otra área donde los robots han demostrado ser de gran utilidad. La exploración subacuática puede ser peligrosa para los humanos, por lo que se han desarrollado robots con capacidades de movilidad en entornos acuáticos. Estos robots son utilizados para realizar operaciones de exploración, recolección de datos y rescate, y pueden operar a diversas profundidades. Por ejemplo, los robots submarinos han sido empleados en la búsqueda de naufragios, proporcionando información valiosa que de otro modo sería difícil de obtener. En conclusión, los robots móviles han revolucionado la forma en que interactuamos con la tecnología, abriendo nuevas líneas de investigación que son cada vez más relevantes para la comunidad científica. Con el continuo avance de los componentes electrónicos, mecánicos, sensores y sistemas de control, las posibilidades de aplicación de los robots móviles están en constante expansión. En conclusión, es probable que en los próximos años, viéramos cómo la presencia de estos dispositivos se convertiría en algo habitual en nuestra vida cotidiana, quebrando industrias y permitiendo la eficiencia en una serie de áreas. Por último, la tecnología de la información utiliza robots en una serie de formas igualmente diversas y fascinantes. Este campo reúne diversas tecnologías y disciplinas, y permite la realización de ideas sin fin que remodelan múltiples áreas de la industria y la sociedad, logrando eficiencias, seguridad y capacidades operativas significativas en la mayoría de los sectores.

## VIII. MARCO METODOLÓGICO

Este proyecto se basa en un enfoque de investigación aplicada y desarrollo tecnológico, que busca combinar diversas disciplinas para abordar el problema de la recolección de residuos sólidos en playas. Se centra en encontrar soluciones concretas a desafíos específicos, y en este contexto, se pretende la mejorar las condiciones de limpieza de las playas, una tarea que tradicionalmente requiere un gran esfuerzo humano y recursos. El desarrollo tecnológico implica la creación de un prototipo funcional de un robot móvil radio controlado. Este proceso abarca varias áreas, comenzando con el diseño mecánico, que se enfoca en la construcción de un chasis robusto, construcción del rastrillo y un sistema de locomoción adecuado para operar en el entorno arenoso y variable de las playas. La selección de materiales y la configuración del diseño son cruciales para asegurar que el robot pueda soportar las condiciones del entorno y realizar su función de manera efectiva. La electrónica es otro componente fundamental del proyecto. Se seleccionarán y configurarán diversos elementos electrónicos, como motores, baterías y controladores, que permitirán que el robot funcione de manera controlada. La integración de todos estos componentes es esencial para lograr que el sistema sea eficiente como fácil de operar. El control remoto es un aspecto clave que permitirá al usuario guiar y supervisar el robot desde una distancia segura. Esto no solo facilita la operación, sino que también permite adaptarse a diferentes situaciones y entornos, mejorando la versatilidad del prototipo. A continuación, se visualiza en la figura 12, un diagrama general donde se encuentra las fases consideradas en el proceso del desarrollo del prototipo.

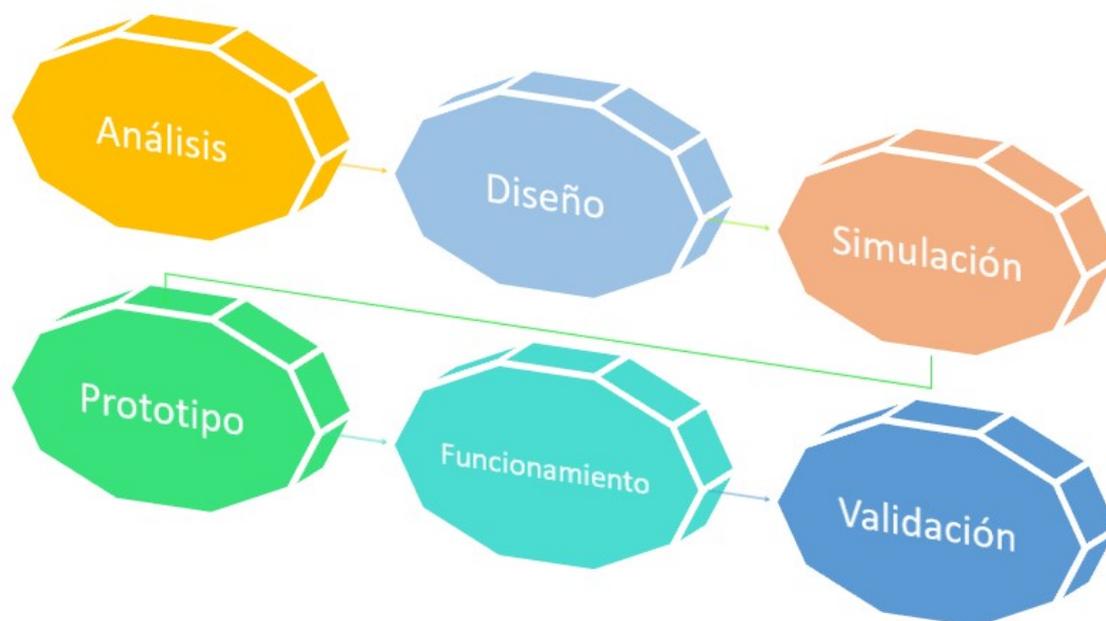


Figura 12. Diagrama del proceso de robot. Fuente: Autores

Con este enfoque, se busca desarrollar un dispositivo que resuelva un problema que va creciendo y generar un conocimiento aplicado en futuras investigaciones y desarrollos en el campo de la robótica móvil. El prototipo servirá como prueba de concepto y proporcionará una base para futuras mejoras y adaptaciones que puedan implementarse en otros contextos de recolección de residuos. Al integrar el diseño mecánico, la electrónica y el control remoto, se espera contribuir significativamente a la mejora de los procesos de limpieza en playas y otros entornos similares, ofreciendo una alternativa eficiente y sostenible a las prácticas tradicionales de recolección de residuos.

### VIII-A. Selección de componentes

La selección de estos componentes se realizó considerando factores como la resistencia a la corrosión, la eficiencia energética, la durabilidad en ambientes arenosos y salinos, y la facilidad de mantenimiento. Esta combinación de elementos permite crear un prototipo robusto y eficiente, capaz de enfrentar los desafíos específicos de la recolección de residuos en entornos playeros.

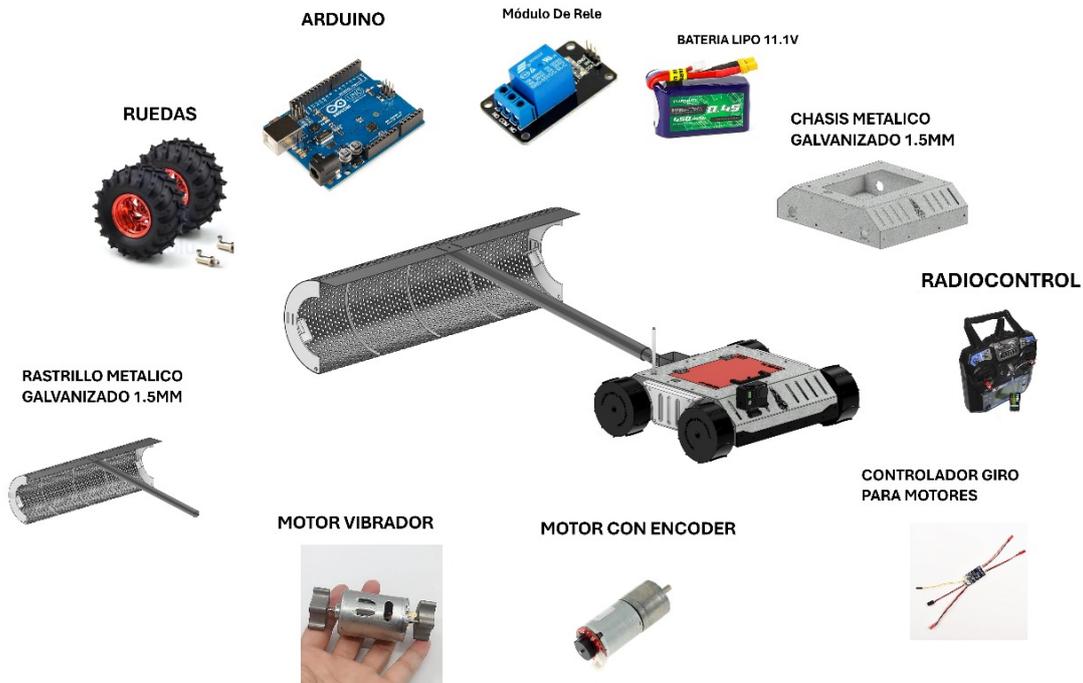


Figura 13. Diagrama general del prototipo de robot. Fuente: Autores

**Sistema de Control Remoto:** En el sistema de control del robot móvil de recolección de residuos, se utiliza un radio control marca Flysky en conjunto con un receptor FS-IA6B, lo que permite el manejo remoto de las diversas funciones del robot mediante transmisión de señales a través de la frecuencia de 2.4 GHz. Este sistema de control se emplea para dirigir los movimientos del robot y gestionar el funcionamiento del sistema de recolección de desechos. Mediante los canales del radio control, es posible controlar tanto la dirección como la velocidad del robot, asignando canales específicos para mover el robot hacia adelante, atrás o girar a la izquierda y derecha, mientras que los controladores de los motores eléctricos reciben las señales correspondientes para ajustar la velocidad de acuerdo con las órdenes enviadas desde el transmisor. Además, este sistema permite la activación remota del mecanismo de recolección de residuos, que puede incluir componentes como un motor para la recolección de desechos o un sistema de blower accionado por engranajes, lo que facilita el control del flujo de aire o la activación del mecanismo de recolección en el momento adecuado. A través de canales adicionales del radio control, se puede activar y desactivar el sistema de recolección, además de ajustar la potencia y velocidad de los componentes involucrados, brindando un control dinámico y preciso sobre el proceso de limpieza de residuos sólidos. El receptor FS-IA6B, una vez emparejado con el transmisor Flysky, garantiza la recepción de las señales de control sin interferencias externas gracias al protocolo de salto de frecuencia digital AFHDS 2A, lo que asegura una operación continua y estable incluso en entornos abiertos como las playas, donde puede haber otras señales de radiofrecuencia. Este sistema permite un monitoreo en tiempo real de las funciones del robot, asegurando que el operador pueda realizar ajustes rápidos y precisos en el desempeño del robot durante la operación, maximizando su eficiencia y efectividad en la recolección de residuos sólidos en áreas costeras.

**Chasis Metálico Galvanizado:** Se seleccionó un chasis metálico galvanizado de 1.5mm de espesor para proporcionar una estructura resistente y duradera, capaz de soportar las condiciones adversas del ambiente playero y el peso de los residuos recolectados.

**Sistema de Locomoción:** El sistema de locomoción permitirá que el prototipo se traslade de forma controlada y eficiente sobre la superficie arenosa de la playa. Consta de ruedas, motores con encoder y un controlador de giro, cada uno seleccionado cuidadosamente para optimizar el rendimiento del robot en su entorno de operación.

- **Ruedas.-** En el diseño de nuestro robot móvil, hemos considerado varias opciones para el sistema de propulsión. Las ruedas omnidireccionales, que permiten movimiento en múltiples direcciones, y las orugas, que mejoran la tracción, fueron alternativas interesantes. Sin embargo, para este primer prototipo, decidimos usar ruedas de goma estándar. ¿Por qué esta elección? Bueno, siendo nuestro modelo inicial, las ventajas de los sistemas más avanzados no son realmente necesarias para las tareas básicas que queremos que realice. Las ruedas de goma son simples, fiables y cumplen perfectamente con lo que necesitamos ahora mismo. Esto no significa que descartemos las otras opciones para siempre. A medida que avancemos con el proyecto y tengamos requisitos más específicos, seguramente reconsideraremos usar ruedas omnidireccionales u orugas. Estas podrían ser mejoras valiosas en futuras versiones del robot. En resumen, empezamos con lo básico, pero mantenemos la mente abierta para futuros cambios. Es un enfoque paso a paso que nos permite ir mejorando el diseño conforme aprendemos más sobre las necesidades reales del robot en acción.



Figura 14. Ruedas de goma del prototipo del robot.

- **Motor de engranaje planetario.-** Para seleccionar el motor adecuado para nuestro robot, utilizamos un proceso detallado que toma en cuenta varios factores clave relacionados con el Motor de Engranaje Planetario de Alto Torque, 36-36ZY, DC 12V, 24V. Primero, consideramos el peso total del robot, incluyendo no solo la estructura y los componentes, sino también cualquier carga adicional que pueda llevar. Este factor es crucial porque afecta directamente la potencia necesaria del motor. A continuación, analizamos la carga máxima que el robot podría soportar. Este aspecto es importante ya que define la fuerza adicional que los motores deben manejar en condiciones de carga máxima. También tuvimos en cuenta la velocidad nominal deseada para el robot, ya que esta velocidad determina las revoluciones por minuto (RPM) que el motor debe alcanzar para cumplir con los requisitos de rendimiento. Finalmente, elegimos motores de engranaje debido a su alto torque para asegurar un control preciso sobre el movimiento y la velocidad del robot. Los motores de engranaje permiten un monitoreo más eficiente de la posición y velocidad, lo cual es fundamental para una navegación efectiva en entornos complejos.



Figura 15. Motor de engranaje planetario de alto Torque.

- **Controlador de Giro para Motores.-** El KINGModel A10X2 se fue seleccionado para controlar de manera eficiente la dirección y la velocidad de los motores del robot, garantizando maniobras precisas en superficies como la arena, donde las irregularidades del terreno y la baja tracción exigen un control adecuado. Este kit proporciona una solución completa para el manejo de motores de corriente continua, combinando potencia y precisión necesarias para operar en entornos complejos. Gracias a su controlador dual, permite gestionar dos motores de forma independiente, facilitando el control diferencial del robot y permitiendo giros y ajustes de dirección con gran exactitud. Además, su capacidad para soportar cargas elevadas resulta crucial para mantener el rendimiento del robot cuando transporta residuos de mayor peso o volumen. El KINGModel A10X2 se integra fácilmente con el sistema de radio control, recibiendo las señales enviadas por el transmisor Flysky para ejecutar las órdenes de movimiento con eficacia, lo que garantiza un desempeño óptimo del robot incluso en condiciones cambiantes propias de los entornos de playa.



Figura 16. Controlador de velocidad

**Sistema de Alimentación:** Consta de una Batería LiPo 11.1V.- Se eligió una batería LiPo de 11.1V por su alta

densidad energética, peso ligero y capacidad de proporcionar la potencia necesaria para todos los componentes del robot durante períodos prolongados de operación.

#### ***Sistema de Recolección:***

- **Rastrillo Metálico de Galvanizado.**- Se incorporó un rastrillo metálico galvanizado como mecanismo principal de recolección. Su diseño permite la captura de residuos sólidos de diversos tamaños sin dañar la superficie de la playa.
- **Motor Vibrador.**- Se añadió un motor vibrador para asistir en la recolección de residuos más pequeños o incrustados en la arena, mejorando la eficiencia del proceso de limpieza. Este motor está específicamente destinado a accionar el rastrillo de arrastre del robot. La incorporación de un rastrillo de arrastre sugiere que el robot está diseñado para tareas que involucran la manipulación o el movimiento de materiales en su entorno. El motor vibrador proporciona un movimiento oscilatorio controlado al rastrillo, lo que será útil para permitir que la arena se no se acumule en el rastrillo aumentando la el peso de los residuos.

***Sistema de Control y Procesamiento (Arduino):*** Se seleccionó una placa Arduino como unidad central de procesamiento debido a su versatilidad, facilidad de programación y amplia compatibilidad con diversos sensores y actuadores. Este componente es crucial para la integración y control de todos los sistemas del robot.

***Componentes Auxiliares:*** Como componente auxiliar se incluyó un módulo de relé para controlar componentes de alta potencia, como los motores, asegurando una gestión eficiente de la energía y protegiendo los circuitos de control.

#### ***VIII-B. Diseño del prototipo de robot***

***VIII-B1. Sistema mecánico del prototipo:*** La estructura mecánica del robot debe cumplir condiciones importantes que permitan el correcto desplazamiento de este, además de soportar el peso total de sus componentes como sus placas de expansión, batería, controlador y motores. La selección del un material adecuado para ambientes corrosivos, el diseño de piezas del robot se realizó mediante software de modelado 3D de Autodesk Fusion 360. Además, se consideró la ergonomía, la resistencia y la eficiencia en el diseño mecánico tanto del chasis de robot como la herramienta para la recolección de residuos para garantizar un rendimiento óptimo y una durabilidad adecuada. El diseño del prototipo se despliega en dos partes complementarias para el correcto funcionamiento del sistema donde se consideró el diseño del chasis del robot móvil y el diseño de la herramienta de limpieza es decir el rastrillo del prototipo que permitirá realizar la recolección de los residuos.

***Diseño mecánico del chasis del prototipo.***- Para el chasis del robot se ha optado en emplear un diseño compacto, con el propósito de lograr una distribución de los elementos electrónicos, garantizando así un desempeño sin contratiempos en sus respectivas funciones. Para el material del chasis, se ha elegido utilizar de aleación de acero recubierta con zinc también conocido como acero galvanizado, debido a su alta rigidez, resistencia a la corrosión y extensa duración con el objetivo de asegurar una durabilidad superior.

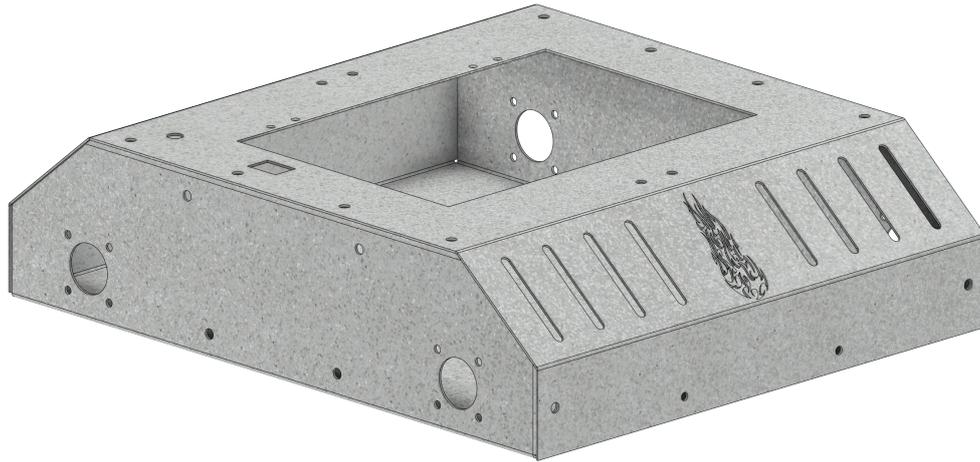


Figura 17. Diseño del chasis del prototipo de robot. Fuente: Autores

Tabla II  
PARÁMETROS Y DATOS DEL ROBOT

Parámetro	Valor
Peso del robot [kg]	1.328
Factor de seguridad (%)	50
Carga máxima [kg]	1.872
Velocidad nominal [m/s]	0.1

**Diseño mecánico del rastrillo del prototipo.-** Para el rastrillo del robot se considero un diseño desmontable, compacto y ajustable con el propósito de mejoras del prototipo. Para el material del rastrillo se utilizo un aleación de acero recubierta con zinc, debido a su alta rigidez y resistencia, con el objetivo de asegurar que vaya a realizar su función.

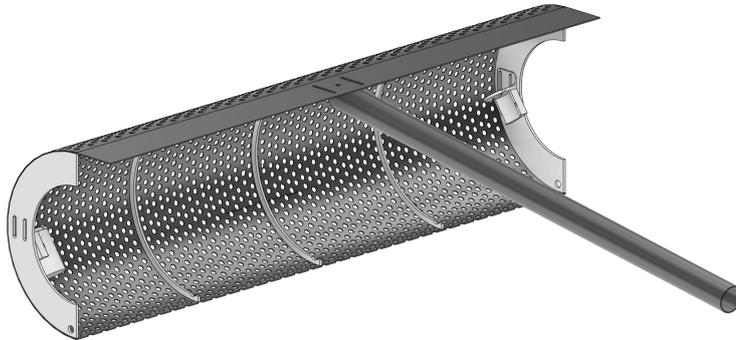


Figura 18. Diseño del rastrillo del prototipo de robot. Fuente: Autores

Tabla III  
PROPIEDADES FÍSICAS DEL RASTRILLO

Propiedades Físicas	Valores
Masa	$1,138 \times 10^5$ g
Volumen	$1,450 \times 10^7$ mm <sup>3</sup>
Densidad	0,008 g/mm <sup>3</sup>
Área	$4,406 \times 10^5$ mm <sup>2</sup>
Universal X, Y	834.80 mm, 72.49 mm
Centro de masa	862.969 mm, 80.538 mm

### VIII-C. Sistema electrónico y eléctrico del prototipo

La parte electrónica del prototipo se encargará de integrar los componentes electrónicos necesarios para el funcionamiento del dispositivo. Esto va a incluir microcontroladores, sensores, actuadores, módulos electrónicos y otros elementos electrónicos: radiocontrolador, batería lipo 3s 11.1V, motor de 12V, Cables y módulos de control.

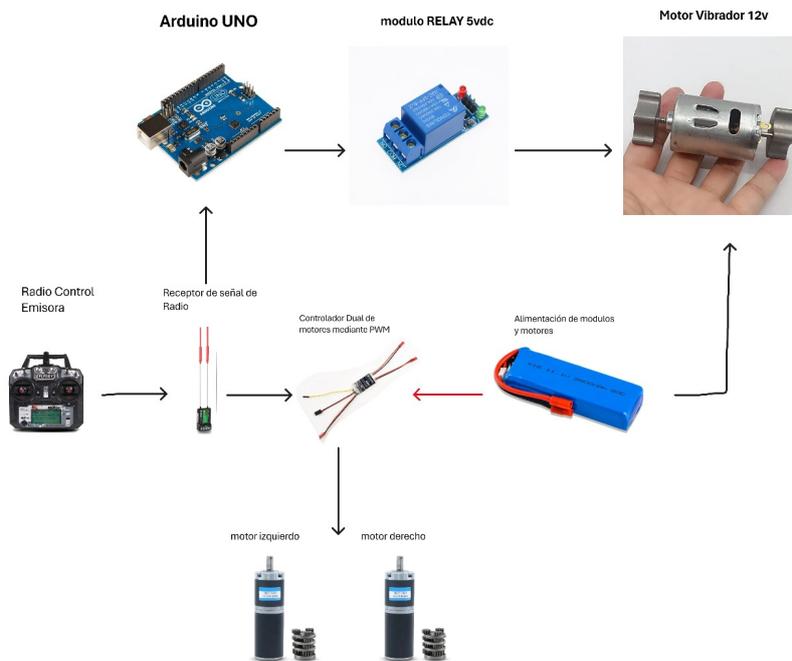


Figura 19. Diagrama de elementos electrónicos. Fuente: Autores

En el diseño del sistema electrónico y eléctrico del prototipo de robot móvil radiocontrolado para la recolección de residuos sólidos en playas, se ha seleccionado una serie de componentes cuidadosamente integrados para garantizar un funcionamiento eficiente y confiable en un entorno desafiante. El núcleo de este sistema es un microcontrolador Arduino UNO, que actúa como el centro de operaciones del robot, coordinando todas las funciones y respondiendo a los comandos del operador. La comunicación entre el operador y el robot se realiza a través de un sistema de radiocontrol. El operador utiliza una emisora para enviar comandos, los cuales son recibidos por un receptor de señal de radio conectado al Arduino UNO. Este receptor convierte las señales de radio en instrucciones digitales que el microcontrolador interpreta y ejecuta, permitiendo el control remoto del robot. Esta capacidad de recibir instrucciones a distancia es crucial para la operación en entornos abiertos y extensos como las playas. Para el manejo de dispositivos que requieren más potencia, como el motor vibrador de 12V, se ha incorporado un módulo relé de 5VDC. Este relé permite al Arduino controlar el encendido y apagado del motor vibrador sin tener que manejar directamente las corrientes elevadas necesarias para su funcionamiento, protegiendo así el microcontrolador y otros componentes electrónicos sensibles. El motor vibrador es un elemento clave para la función de recolección de residuos, ya que facilita la separación de los desechos del suelo mediante vibraciones controladas. El movimiento del robot es gestionado por un controlador dual de motores, que recibe señales PWM (modulación por ancho de pulso) del Arduino para regular la velocidad y dirección de los motores izquierdo y derecho. Estos motores permiten que el robot se desplace con precisión en distintas direcciones y a diferentes velocidades, adaptándose a las condiciones del terreno. La capacidad de ajustar individualmente la velocidad de cada motor es fundamental para maniobrar en un entorno con obstáculos y superficies irregulares. La energía necesaria para el funcionamiento de todos estos componentes proviene de una batería LiPo de 11.1V, que proporciona una fuente de energía estable y de alta capacidad. Esta batería es ideal para aplicaciones móviles debido a su densidad energética y capacidad de entregar corrientes sostenidas, lo que asegura que el robot pueda operar durante períodos prolongados sin interrupciones. En conjunto, la selección de estos componentes y su integración en el sistema electrónico y eléctrico del prototipo aseguran un rendimiento óptimo en la recolección de residuos sólidos en playas. La combinación del Arduino UNO con un sistema de radiocontrol, un módulo relé para manejar dispositivos de alta potencia, y un controlador dual de motores para la movilidad, todo alimentado por una batería de alta capacidad, proporciona un balance efectivo

entre control, potencia y autonomía, permitiendo que el robot cumpla su función de manera eficiente y confiable en un entorno real.

*VIII-D. Simulación de la estructura mecánica prototipo de robot.*

*VIII-D1. Análisis de deformación del chasis del robot:* Para este análisis, se tuvieron en cuenta diversas fuerzas de deformación que son fundamentales para comprender el comportamiento del sistema bajo estudio. Entre ellas, se incluyeron el factor de seguridad, el estrés y el desplazamiento. El factor de seguridad es un parámetro crucial para evaluar la capacidad de un material o estructura para soportar cargas sin fallar. Este factor se calcula comparando la resistencia máxima del material con las cargas esperadas, y se utiliza para garantizar un margen de seguridad adecuado. Al considerar el factor de seguridad, se puede determinar si el diseño actual es lo suficientemente robusto para soportar las condiciones de funcionamiento previstas.

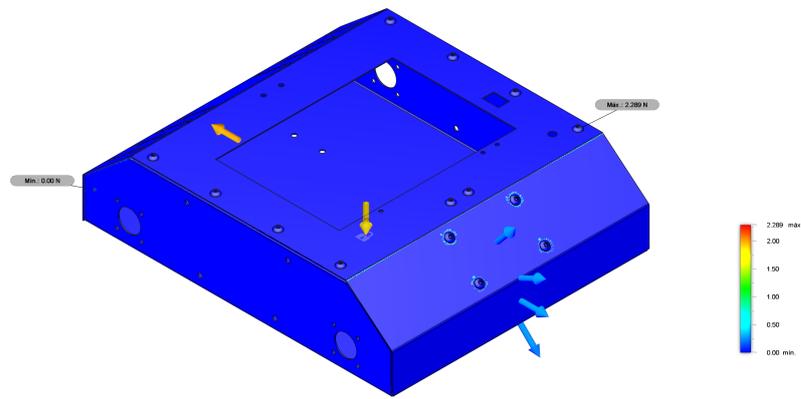


Figura 20. Chasis aplicando la deformación para coeficiente de seguridad.

Por otro lado, el estrés se refiere a la distribución de fuerzas internas en un material cuando se le aplica una carga externa. Cuando se analiza el estrés, se puede determinar cómo se deforma el material bajo diferentes condiciones de carga. Esto es especialmente importante en aplicaciones donde se requiere una deformación mínima o donde se deben evitar concentraciones de estrés que puedan conducir a fallas prematuras.

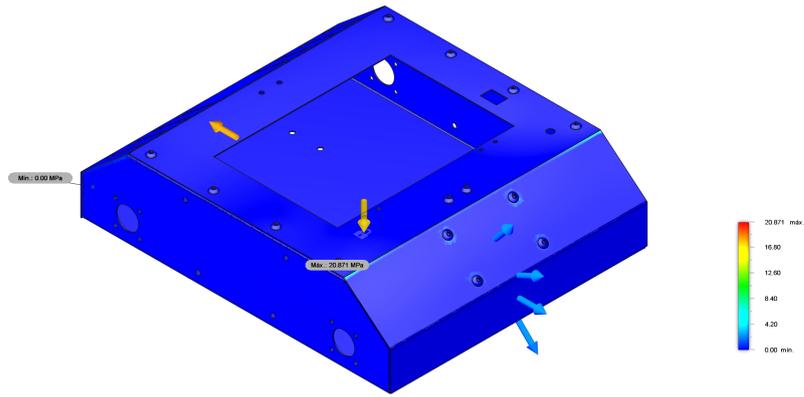


Figura 21. Chasis aplicando la deformación por estrés.

Finalmente, el desplazamiento indica la cantidad de movimiento que experimenta un punto en la estructura debido a las fuerzas aplicadas. Al analizar el desplazamiento, se puede evaluar la integridad estructural y el rendimiento del sistema en condiciones de carga. Esto es crucial para asegurar que el sistema funcione dentro de los límites de diseño especificados y que no se produzcan deformaciones excesivas que puedan afectar el rendimiento o la seguridad.

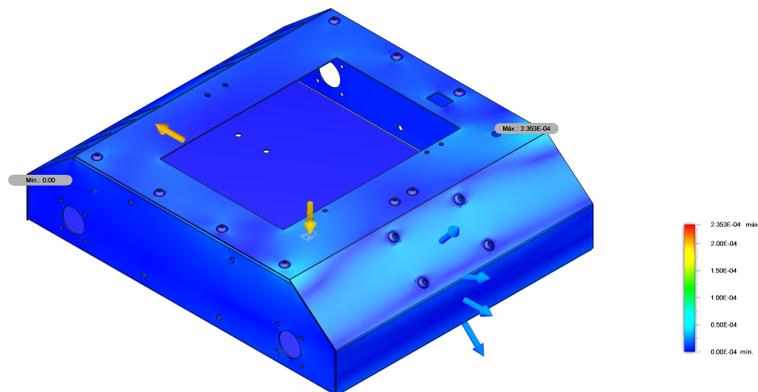


Figura 22. Chasis aplicando la deformación por estrés.

Al considerar estas fuerzas de deformación, se busca obtener una comprensión más completa de cómo las cargas afectan el comportamiento del material o la estructura en cuestión. Esto permite tomar decisiones informadas en el diseño y la implementación del proyecto, asegurando que el sistema sea seguro, confiable y eficiente en su funcionamiento.

#### VIII-E. Implementación del prototipo.

En la implementación del prototipo se divide en dos apartados en donde el primer apartado se realizó el prototipo de prueba que fue realizado en mdf y el prototipo final que se lo realizó en galvanizado en cual se le realizó mejoras con el fin de optimizar su funcionamiento y rendimiento en el momento de su funcionamiento.

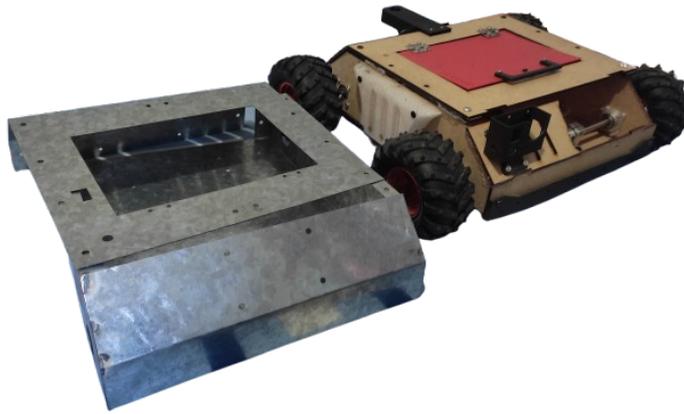


Figura 23. Prototipo del robot movil. Fuente: Autores.

*VIII-E1. Primer Prototipo-Validación Inicial del Diseño:* Para la validación inicial del diseño, se construyó un primer prototipo utilizando MDF, un material de bajo costo que facilitó la rápida elaboración y evaluación preliminar del concepto. El prototipo fue fabricado mediante corte láser, lo que permitió una alta precisión en las dimensiones y un ajuste adecuado de las piezas. Este primer prototipo incorporó todos los elementos mecánicos y electrónicos previstos en el diseño, incluyendo el controlador, las baterías, los motores de radiocontrol y el receptor de radiocontrol. En esta fase, se llevaron a cabo pruebas independientes para evaluar el funcionamiento de cada componente por separado, asegurando que todos los elementos operaran correctamente en combinación. Posteriormente, se realizaron pruebas básicas con el prototipo ensamblado, permitiendo observar el rendimiento del chasis de MDF en condiciones reales de funcionamiento. Estas pruebas fueron cruciales para identificar problemas de diseño, tales como debilidades estructurales, dificultades en el montaje y posibles incompatibilidades entre los componentes. Los resultados obtenidos revelaron varias falencias que fueron minuciosamente documentadas, proporcionando una base sólida para realizar ajustes y mejoras en el diseño. Esta etapa permitió obtener una visión clara de las limitaciones del primer prototipo y estableció los fundamentos necesarios para desarrollar una versión mejorada.

*VIII-E2. Segundo Prototipo-Prototipo Final y Mejoras:* Una de las mejoras más destacadas fue el reemplazo del MDF por plancha galvanizada, lo que no solo aumentó la robustez del prototipo, sino que también optimizó su rendimiento general. El segundo prototipo fue sometido a una serie exhaustiva de pruebas para validar las mejoras implementadas y verificar su rendimiento en condiciones reales. Estas pruebas confirmaron la efectividad de las modificaciones y garantizaron que el diseño final cumpliera con los requisitos de funcionalidad y durabilidad. Con base en las lecciones aprendidas del primer prototipo, se procedió al desarrollo del segundo prototipo, que incorporó una serie de mejoras significativas para optimizar el diseño y funcionalidad del robot. En esta fase, se optó por fabricar el chasis en acero galvanizado de 1.5 mm en lugar de MDF, buscando así una mayor resistencia y durabilidad del prototipo. El acero galvanizado fue procesado mediante plegado para conformar el chasis, proporcionando una estructura más robusta y estable que resistiera mejor las condiciones de operación en playas. Se realizaron importantes modificaciones en el diseño original, comenzando por la adaptación de los orificios de ajuste para los pernos, lo cual mejoró la precisión en el ensamblaje y aseguró un ajuste más firme de los componentes. Además, se rediseñó la base destinada a los componentes electrónicos, facilitando un montaje más ordenado y eficiente. Se incorporó una tarjeta Arduino Uno para gestionar el módulo de relé, mejorando la capacidad de control del sistema y permitiendo una mayor flexibilidad en la programación de las funciones del robot. También se reforzó el área de ajuste de los motores para proporcionar un mejor agarre y estabilidad al fuselaje, lo cual resultó en una mayor fiabilidad durante la operación.

#### VIII-F. *Funcionamiento y validación del sistema de recolección de residuos.*

Se desarrolló e integró un sistema macatrónico basado en un sistema de radiocontrol, permitiendo la movilidad eficiente del prototipo en distintas superficies. El sistema de radiocontrol demostró ser una herramienta fiable para el manejo del robot, proporcionando una transmisión de señal sin interrupciones y con alta capacidad de respuesta, lo que permitió validar su capacidad de maniobrar en áreas con condiciones cambiantes. Durante las pruebas de validación, se constató que el sistema ofrecía un control preciso sobre la velocidad y dirección del robot, permitiendo realizar maniobras complejas como giros en espacios reducidos, detenciones controladas y ajustes de velocidad según las condiciones del terreno. Este nivel de precisión fue confirmado por las simulaciones previas, que habían pronosticado un desempeño satisfactorio en términos de control y adaptabilidad. Las pruebas en entornos reales validaron estas expectativas, ya que el sistema cumplió con los requisitos de rendimiento esperados, tanto en velocidad como en capacidad de maniobra.



Figura 24. Pruebas del prototipo en entorno arenoso. Fuente: Autores.

El sistema de recolección de desechos sólidos fue diseñado para manejar residuos con una variabilidad en volumen y peso. Las pruebas demostraron que el prototipo puede identificar y recoger residuos sólidos eficientemente, adaptándose a diferentes tamaños y pesos. La capacidad de carga del sistema fue validada a través de múltiples ensayos, en los cuales se comprobó que el prototipo puede operar de manera continua sin perder estabilidad o eficiencia en la recolección. Este sistema permite una recolección efectiva, respetando las restricciones de volumen y peso establecidas en el diseño inicial. El prototipo fue sometido a rigurosas pruebas para evaluar su capacidad de carga y autonomía, estableciendo como metas la recolección de hasta 3 kg de residuos y 2 horas de operación continua. Los resultados obtenidos durante la fase de validación demostraron que el robot es capaz de recolectar un promedio de 3.0 kg de residuos por cada ciclo de operación, cumpliendo e incluso, en algunos casos, superando las metas de diseño establecidas. Asimismo, en lo referente a la autonomía, el prototipo mostró un rendimiento consistente, logrando operar durante 2.0 horas por carga, lo que asegura su viabilidad en operaciones prolongadas sin la necesidad de recargas frecuentes. Además de su capacidad de carga, se evaluó su efectividad en la manipulación de desechos de diferentes tamaños, alcanzando una tasa de recolección del 80 % para residuos como bolas de papel con diámetros entre 5.3 mm y 8.0 mm. Estos resultados confirman que el robot no solo es capaz de adaptarse a residuos de distintas características, sino que también proporciona una solución eficiente para mejorar la limpieza en playas. El rendimiento observado refuerza la idea de que el prototipo representa una alternativa viable frente a las limitaciones de las herramientas convencionales, contribuyendo de manera significativa a la preservación del medio ambiente y al fomento del turismo sostenible.



Figura 25. Prototipo del robot móvil. Fuente: Autores.

Las pruebas finales se llevaron a cabo en un entorno controlado que simulaba las condiciones reales de operación del prototipo en una playa. Durante estas pruebas, se evaluó la capacidad del prototipo para realizar la limpieza de áreas determinadas, logrando una recolección completa de residuos dentro de los parámetros establecidos. La efectividad del sistema se midió a través de métricas de rendimiento, como el tiempo de operación y la cantidad de residuos recolectados. Los resultados obtenidos confirmaron que el prototipo cumple con los requisitos funcionales y de rendimiento, validando así que cumple con la aplicación prevista, que estarán detalladas en la sección de resultados los datos obtenidos de nuestras pruebas.



Figura 26. Recolección de residuos. Fuente: Autores.

## IX. RESULTADOS

### IX-A. Capacidad de Carga y Autonomía

Para validar el indicador de capacidad de carga y autonomía del prototipo de robot radiocontrolado de limpieza de playas, se estableció una meta de capacidad de autonomía de 2 horas y carga de 3 kg. Se realizaron una serie de pruebas en condiciones reales de operación para evaluar el rendimiento del sistema de recolección. En la cual se delimito un área y se establecido una cantidad en peso de los residuos en base a las dimensiones del rastrillo de arrastre que maneja el robot. Los resultados se presentan a continuación en el siguiente tabla.

Tabla IV  
RESULTADOS DE PRUEBAS DE RECOLECCIÓN DE RESIDUOS

Prueba	Peso recolectado (kg)	Tiempo de operación (horas)	Meta de carga	Meta de autonomía
1	2.8	1.9	93.3 %	95 %
2	3.1	2.1	103.3 %	105 %
3	2.9	2.0	96.7 %	100 %
4	3.2	2.2	106.7 %	110 %
5	3.0	1.8	100 %	90 %

En base a los datos obtenidos de las pruebas, se realizaron los cálculos de las desviación estándar del peso y el tiempo que nos permitirá comprobar el rendimiento y el desempeño que demuestra que el robot puede mantener un nivel de desempeño estable en la recolección de residuos, garantizando que el robot pueda cumplir de manera fiable con las tareas de limpieza de playas.

#### IX-A1. Cálculos de la Media, Varianza y Desviación Estándar:

- *Media con respecto al peso(Kg).*

$$\text{Media} = \frac{1}{5} (2,8 + 3,1 + 2,9 + 3,2 + 3,0) = \frac{15,0}{5} = 3,0 \text{ kg}$$

- *Media con respecto al tiempo(Horas).*

$$\text{Media} = \frac{1}{5} (1,9 + 2,1 + 2,0 + 2,2 + 1,8) = \frac{10,0}{5} = 2,0 \text{ horas}$$

- *Varianza del peso (Kg).*- Se realizo la resta de la media en cada valor del peso obtenidos en cada una de las pruebas y se procedió a elevar al cuadrado el resultado.

$$(2,8 - 3,0)^2 = (-0,2)^2 = 0,04$$

$$(3,1 - 3,0)^2 = (0,1)^2 = 0,01$$

$$(2,9 - 3,0)^2 = (-0,1)^2 = 0,01$$

$$(3,2 - 3,0)^2 = (0,2)^2 = 0,04$$

$$(3,0 - 3,0)^2 = (0,0)^2 = 0,00$$

Para obtener la varianza del peso se suman todos los valores cuadrados obtenidos en el paso anterior y dividimos por  $n - 1$  donde  $n$  es el número de datos es decir las pruebas realizadas que en este caso son 5.

$$\text{Varianza} = \frac{0,04 + 0,01 + 0,01 + 0,04 + 0,00}{5 - 1} = \frac{0,10}{4} = 0,025 \text{ kg}^2$$

- Con respecto al tiempo (Horas): Se realizó la resta de la media en cada valor del peso obtenidos en cada una de las pruebas y se procedió a elevar al cuadrado el resultado.

$$(1,9 - 2,0)^2 = (-0,1)^2 = 0,01$$

$$(2,1 - 2,0)^2 = (0,1)^2 = 0,01$$

$$(2,0 - 2,0)^2 = (0,0)^2 = 0,00$$

$$(2,2 - 2,0)^2 = (0,2)^2 = 0,04$$

$$(1,8 - 2,0)^2 = (-0,2)^2 = 0,04$$

Para obtener la varianza del tiempo, sumamos los valores al cuadrado obtenidos en el paso anterior y dividimos por  $n - 1$ , donde  $n$  es el número de datos de las pruebas realizadas.

$$\text{Varianza} = \frac{0,01 + 0,01 + 0,00 + 0,04 + 0,04}{5 - 1} = \frac{0,10}{4} = 0,025 \text{ horas}^2$$

- Desviación Estándar del Peso:

$$\text{DEP} = \sqrt{0,025} \approx 0,16 \text{ kg}$$

- Desviación Estándar del Tiempo:

$$\text{DET} = \sqrt{0,025} \approx 0,1581 \text{ horas}$$

El rendimiento del robot alcanzó un promedio de 3.0 kg de residuos recolectados por ciclo de operación, cumpliendo exactamente con la meta establecida. La desviación estándar de 0.16 kg indica una variabilidad relativamente baja, sugiriendo un rendimiento consistente del sistema de recolección. Mientras que el rango de rendimiento Varió entre 2.8 kg (93.3 % de la meta) y 3.2 kg (106.7 % de la meta), demostrando que el robot es capaz de alcanzar y ocasionalmente superar la meta. El robot operó un promedio de 2.0 horas por carga, cumpliendo exactamente con la meta establecida. La desviación estándar con respecto a la autonomía de 1 robot alcanzo un promedio de 0.16 horas muestra una variabilidad aceptable en la duración de la batería. Con un rango de rendimiento que Varió entre 1.8 horas (90 % de la meta) y 2.2 horas (110 % de la meta), indicando que en la mayoría de los casos, el robot cumple o supera la meta de autonomía. Al Relacionar la carga entre la autonomía Se observa una ligera correlación positiva entre la cantidad de residuos recolectados y el tiempo de operación, sugiriendo que el consumo de energía está bien optimizado para la tarea de recolección. El alcance de radiocontrol remoto demostró ser efectivo durante todas las pruebas, permitiendo una operación continua sin pérdidas de señal significativas que afectaran el rendimiento. Aunque no se muestra en la tabla, se confirmó que el tiempo de carga de 4 horas fue consistente y suficiente para alcanzar la capacidad total de la batería en cada ciclo de prueba.

### IX-B. Volumen total de los desechos

Para evaluar el indicador de volumen total de los desechos se realizó varias pruebas experimentales donde se establecieron 10 probetas que en este caso fueron bolas de papel, las cuales tenían distinto diámetro con el fin de poder establecer si son recortables según nuestro rango mínimo y máximo establecido. Con la finalidad de que permitirá detectar si el prototipo cumple con la meta establecida de volumen recolección de la herramienta. A continuación en la Tabla V se muestra los datos obtenidos de las pruebas experimentales realizadas con nuestro prototipo.

Tabla V  
EXPERIMENTO DE PROBETAS DE BOLAS DE PAPEL

Probeta	Diámetro (mm)	Volumen (mm <sup>3</sup> )	Recolectable
1	5.5	87.1	Sí
2	6.2	124.8	Sí
3	7.0	179.6	Sí
4	5.8	102.1	Sí
5	6.5	143.8	Sí
6	8.0	268.1	Sí
7	5.3	77.9	Sí
8	7.5	220.9	Sí
9	4.5	47.7	No
10	4.0	33.5	No

Posterior a los datos obtenidos en nuestras pruebas, se puede obtener que la distribución de las probetas recolectadas nos dio como resultado de que de las 10 probetas, una cantidad de 8 de nuestro total de 10 fueron recogidas por nuestro prototipo, dando una tasa de recolección del 80 %, lo que indica que nuestro prototipo cumple con una alta eficacia de la herramienta de recolección. El rango que va desde 5.3 mm a 8.0 mm de diámetros establecidos para nuestras pruebas, nos demuestra una buena capacidad para manejar una variedad de tamaños de desechos dentro de este rango. Además, se puede evidenciar que las probetas no recolectables tienen diámetros menores a 5.3 mm, lo que indica que la herramienta es efectiva en excluir partículas pequeñas.

## X. CRONOGRAMA

A continuación se muestra el cronograma de trabajo en la tabla VI.

Tabla VI  
CRONOGRAMA

CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES														
SEDE: GUAYAQUIL			ESTUDIANTE AUTOR (1):											
CAMPUS: CENTENARIO			SUSANA VALERY MACIAS VALAREZO											
CARRERA: MECATRONICA			ESTUDIANTE AUTOR (2):											
PERIODO: 2024-2024			ALVARO SEBASTIAN RIZZO ORTEGA											
TEMA DE TRABAJO DE TITULACIÓN: DISEÑO DE UN ROBOT MÓVIL RADIO CONTROLADO PARA RECOLECCIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS EN PLAYAS														
TUTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN:			MES 1		MES 2		MES 3		MES 4		MES 4			
ACTIVIDADES			SEMANA 1	SEMANA 2	SEMANA 3	SEMANA 4	SEMANA 1	SEMANA 2	SEMANA 3	SEMANA 4	SEMANA 1	SEMANA 2	SEMANA 3	SEMANA 4
			SELECCIÓN DEL TEMA											
1	REVISIÓN DEL TEMA													
2	CONFIRMACIÓN DEL TEMA													
			INICIO DE PROYECTO											
3	PLANIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN													
4	ORIGEN, CAUSA EFECTO Y PROBLEMÁTICA													
5	OBJETIVOS DE INVESTIGACIÓN													
6	ESTADO DEL ARTE													
7	BASE DE DATOS DE ARTÍCULOS													
8	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA													
			MARCO TEÓRICO REFERENCIAL											
9	BÚSQUEDA Y ELABORACIÓN DEL MARCO TEÓRICO													
10	MARCO TEÓRICO													
11	MARCO METODOLÓGICO													
12	JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA													
13	HIPÓTESIS													
14	PROPUESTA DE SOLUCIÓN													
15	REFERENCIAS													
			TRABAJO CONSOLIDADO											
16	ANÁLISIS DEL PRESUPUESTO													
17	PRESUPUESTO													

## XI. PRESUPUESTO

A continuación se muestra una tabla de presupuesto estimado en la figura VII.

Tabla VII  
PRESUPUESTO

PRESUPUESTO DEL PROYECTO				
<b>SEDE:</b>	GUAYAQUIL	<b>ESTUDIANTE AUTOR (1):</b>		
<b>CAMPUS:</b>	CENTENARIO	SUSANA VALERY MACIAS VALAREZO		
<b>CARRERA:</b>	MECATRÓNICA	<b>ESTUDIANTE AUTOR (2):</b>		
<b>PERIODO:</b>	2024-2024	ALVARO SEBASTIAN RIZZO ORTEGA		
<b>TEMA DE TRABAJO DE TITULACIÓN:</b>	DISEÑO DE UN ROBOT MÓVIL RADIO CONTROLADO PARA RECOLECCIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS EN PLAYAS			
<b>TUTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN:</b>	TOMÁS SANTIAGO GAVILÁNEZ GAMBOA			
No.	DESCRIPCIÓN	MESES	PRECIO	
1	TRANSPORTE	5	\$ 20,00	\$ 100,00
2	ESTUDIOS (LICENCIAS DE SOFTWARE)		\$ 200,00	\$ 200,00
3	ALIMENTACIÓN	5	\$ 20,00	\$ 100,00
4	INTERNET	5	\$ 18,00	\$ 90,00
5	COMPONENTES (ELECTRONICOS Y MECANISMO)	1	\$ 500,00	\$ 500,00
6	GASTOS VARIOS	5	\$ 50,00	\$ 250,00
<b>TOTAL</b>			<b>\$</b>	<b>1.240,00</b>

## XII. CONCLUSIONES

En conclusión, el desarrollo del prototipo de robot para limpieza de playas ha culminado exitosamente, validando varios conceptos técnicos clave. La estructura, fabricada en plancha galvanizada, demostró una resistencia óptima a la corrosión sin comprometer la maniobrabilidad esencial para su función. La implementación de un sistema de radiocontrol con un protocolo de comunicación robusto. Esta configuración aseguró un control fiable incluso en presencia de interferencias electromagnéticas típicas de entornos costeros. El sistema de locomoción, diseñado específicamente para superficies arenosas, se complementó con un mecanismo eficiente de recolección de residuos. Esta sinergia permitió una navegación efectiva y un desempeño funcional superior en condiciones playeras variadas. La gestión energética fue objeto de una optimización exhaustiva, logrando un equilibrio notable entre autonomía operativa y capacidad de trabajo. Este aspecto fue crucial para mantener ciclos de operación prolongados sin comprometer la eficacia en la recolección de desechos. En conjunto, estas innovaciones técnicas posicionan al robot como una solución viable y eficaz para la gestión de residuos en zonas costeras. El proyecto no solo representa un avance en robótica ambiental, sino que también establece un nuevo referente en la automatización de limpieza de playas. Si bien hay margen para futuras mejoras, los resultados actuales son prometedores. El robot demuestra potencial para contribuir significativamente a la conservación de ecosistemas costeros, ofreciendo una alternativa tecnológica a métodos tradicionales de limpieza de playas. Además, demostró la viabilidad técnica de utilizar una estructura fabricada en plancha galvanizada, optimizando la resistencia a la corrosión sin comprometer la movilidad. La integración de un sistema de radiocontrol con un protocolo de comunicación robusto aseguró un control confiable en entornos con potenciales interferencias electromagnéticas. Así mismo, la selección de un sistema de tracción adecuado para terrenos arenosos, junto con un diseño eficiente del sistema de recolección de residuos y una gestión energética optimizada, permitió alcanzar un equilibrio efectivo entre autonomía operativa y capacidad funcional, posicionando al robot como una solución innovadora y eficaz para la gestión de residuos en entornos costeros.

### XIII. RECOMENDACIONES

En el desarrollo del robot autónomo para limpieza de playas, es fundamental adoptar un enfoque técnico riguroso que integre diseño estructural y sistemas electrónicos avanzados. La estructura de plancha galvanizada debe optimizarse mediante análisis de elementos finitos, equilibrando resistencia a la corrosión y ligereza para minimizar el impacto en la cinemática del robot. El sistema de radiocontrol requiere un análisis exhaustivo de frecuencias y protocolos de comunicación, implementando tecnología de espectro ensanchado por salto de frecuencia (FHSS) para mitigar interferencias en entornos costeros. Las ruedas deben diseñarse con perfiles especializados para arena, complementadas por un sistema de suspensión adaptativo que ajuste la configuración en tiempo real según las irregularidades del terreno. El sistema de recolección de residuos debe incorporar sensores avanzados y algoritmos de aprendizaje automático para una discriminación precisa entre basura y arena, mientras que la gestión energética debe optimizarse mediante un sistema inteligente de administración de batería y algoritmos de planificación de rutas que consideren la topografía y las condiciones del terreno. La integración de estos elementos, junto con un robusto sistema de navegación autónoma basado en SLAM y sensores múltiples, garantizará un rendimiento eficiente y sostenido en las condiciones desafiantes de las playas, maximizando la autonomía y la efectividad en la limpieza de residuos.

## REFERENCIAS

- [1] J. S. Borbor, *Contaminación por residuos sólidos en tres playas: chipipe, la carioca y ballenita, provincia de santa elena – ecuador, abril- agosto 2022*. La libertad, Ecuador: Universidad estatal península de santa elena facultad de ciencias del mar carrera de biología, 2022.
- [2] Noticias ONU, *Cómo la basura afecta al desarrollo de América Latina*, Accedido: 15-02-2024, 2018. dirección: <https://news.un.org/es/story/2018/10/1443562>.
- [3] Ministerio del Ambiente, *Playas limpias, otro reto en Ecuador*, Accedido: 3-01-2024, 2012. dirección: <https://www.ambiente.gob.ec/playas-limpias-otro-reto-en-ecuador/>.
- [4] E. V. P.-S. C. Pacheco-bustos, *Perspectivas sobre el impacto ambiental de las actividades antropogénicas y la generación de residuos sólidos en playas del Caribe colombiano*. Rio hacha, Colombia: universidad del Norte, Facultad de ingeniería, Barranquilla, colombia, 2021.
- [5] O. Chávez, «Peligro de contaminación en playas del Ecuador,» 2024.
- [6] E. V. P.-S. C. Pacheco-bustos, *Mar del Plata fragilidad Costera*. Mar del Plata, Argentina: Universidad Nacional de Mar Del Plata, 2005.
- [7] S. Acuña, «Basuras en playas: tendencias e influencias en la acumulación de residuos en zonas costeras a través de experiencias en ciencia ciudadana.,» 2017.
- [8] O. Chávez, *Peligro de contaminación en playas del Ecuador*, Accedido: 17-03-2024, 2024. dirección: <https://antroyproyectos.net/articulo/peligro-de-contaminacion-en-playas-del-ecuad/>.
- [9] M. J. C. F. O. S. J. C. Iglesias, *Contaminación ambiental y su influencia en la salud*. Huánuco, Perú: Revista investigacion upelipb, 2021.
- [10] ClaerWater, *Clean Water Action y Clean Water Fund Informe Anual 2019*, Accedido: 5-04-2024, 2019. dirección: <https://cleanwater.org/es/publications/clean-water-action-and-clean-water-fund-2019-annual-report>.
- [11] ethic, *Mapamundi de la basura marina*, Accedido: 3-06-2024, 2020. dirección: <https://ethic.es/2020/06/mapamundi-de-la-basura-marina/>.
- [12] Arely Areanely Cruz Salas, Alethia Vázquez Morillas y Juan Carlos Álvarez Zeferino, *Microplásticos en playas: realidad y percepción*, Accedido: 5-04-2024, 2021. dirección: [https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/73\\_2/PDF/07\\_73\\_2\\_1435\\_ResiduosSolidos.pdf](https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/73_2/PDF/07_73_2_1435_ResiduosSolidos.pdf).
- [13] S. Acuña, «Basuras en playas: tendencias e influencias en la acumulación de residuos en zonas costeras a través de experiencias en ciencia ciudadana.,» 2017.
- [14] El diario, *Contaminación de playas*, Accedido: 3-04-2024, 2012. dirección: <https://www.cuidomidespensa.com/blog/basura-en-la-playa>.
- [15] A. C. C. Silva, *Diseño e implementación de un robot móvil para la recolección de desperdicios en la playa*. Repositorio institucional - urp, 2019.
- [16] D. V. L. E. L. T. I. S. C. Higuera, «Robot Móvil con reconocimiento y navegación hacia botellas de plástico,» 2022.
- [17] Raquel Garrido, *Rastrillos para la playa con mucho imán*, Accedido: 10-04-2024, 2008. dirección: [https://www.malagahoy.es/malaga/Rastrillos-playa-iman\\_0\\_162584016.html](https://www.malagahoy.es/malaga/Rastrillos-playa-iman_0_162584016.html).
- [18] Qiarq.rog, *La aspiradora para limpiar el microplástico de las playas del mundo*, Accedido: 5-04-2024, 2023. dirección: <https://qiarg.org/2023/08/10/la-aspiradora-para-limpiar-el-microplastico-de-las-playas-del-mundo/>.
- [19] M. M. V. Gomez, *Principales parámetros de diseño de una máquina cribadora de vermicomposta*. Estado de México, México: Revista ciencias técnicas agropecuarias, 2022.
- [20] Beach Trotters, *Limpiaplayas Magnum Evolution*, Accedido: 5-04-2024, 2023. dirección: <https://www.beach%20trotters.com/productos/limpiaplayas-magnum-evolution-1>.
- [21] Utopia Urban City, *Hoola One: la aspiradora revolucionaria de microplásticos en las playas*, Accedido: 5-04-2024, 2023. dirección: <https://utopiaurbana.city/2023/08/24/hoola-one-la-aspiradora-revolucionaria-de-microplasticos-en-las-playas/>.

- [22] A. F. B. Carrión, *Implementación de un sistema de navegación autónoma para un robot móvil de tracción diferencial*. Guayaquil, Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana, 2023.
- [23] Limpieza Inform, *BeBot de 4Ocean, un robot de limpieza de playas*, Accedido: 7-04-2024, 2023. dirección: <https://www.limpiezainform.com/noticias-2/conoce-a-bebot-de-4ocean-un-robot-de-limpieza-de-playas/>.
- [24] B. sotelovictor Ricardo Garcia Sánchez José Rafael Silvia Ortigoza Ramón, «Robots Móviles: Evolución y Estado del arte,» 2007.
- [25] Enrique Vivanco Font, *Plásticos y microplásticos Impacto de los microplásticos en los océanos*, Accedido: 7-05-2024, 2024. dirección: [https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/35877/1/BCN\\_Plasticos\\_Microplasticos\\_2024\\_FINAL.pdf](https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/35877/1/BCN_Plasticos_Microplasticos_2024_FINAL.pdf).
- [26] Guadalupe Morena, *Los robots que quieren conquistar las fábricas*, Accedido: 7-05-2024, 2022. dirección: <https://es.statista.com/grafico/21449/instalacion-anual-de-robots-industriales/>.
- [27] L. A. A. Zea, *Diseño e implementación de un robot móvil con control de trayectoria mediante principios odométricos*. Lima, Perú: Universidad nacional mayor de san marcos, 2015.
- [28] RobotNik, *Robot movil*, Accedido: 3-04-2024, 2012. dirección: <https://robotnik.eu/es/aplicaciones-de-robotica-movil-mas-seguridad-y-productividad-para-tu-planta/>.
- [29] R. C. C. M. Aguilar, *Diseño y fabricacion de un ROV acuático recogedor de basura marina*. San Pedro Sula, Honduras: Universidad Tecnológica Centroamericana, San Pedro Sula, Honduras, 2021.
- [30] A. O. gabriela Magdalena, *Modelación identificación y control de robots móviles*. Quito, Ecuador: Escuela Politécnica Nacional, 2011.
- [31] J. carolai Burbano Merino Luis Alberto Cárdenas León, *Desarrollo de un robot móvil con sistema de recolección de objetos controlado remotamente para fines didácticos*. Guayaquil, Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana, 2022.

ANEXO A  
PLANOS

Planos de las piezas acotadas en Fusion 360:

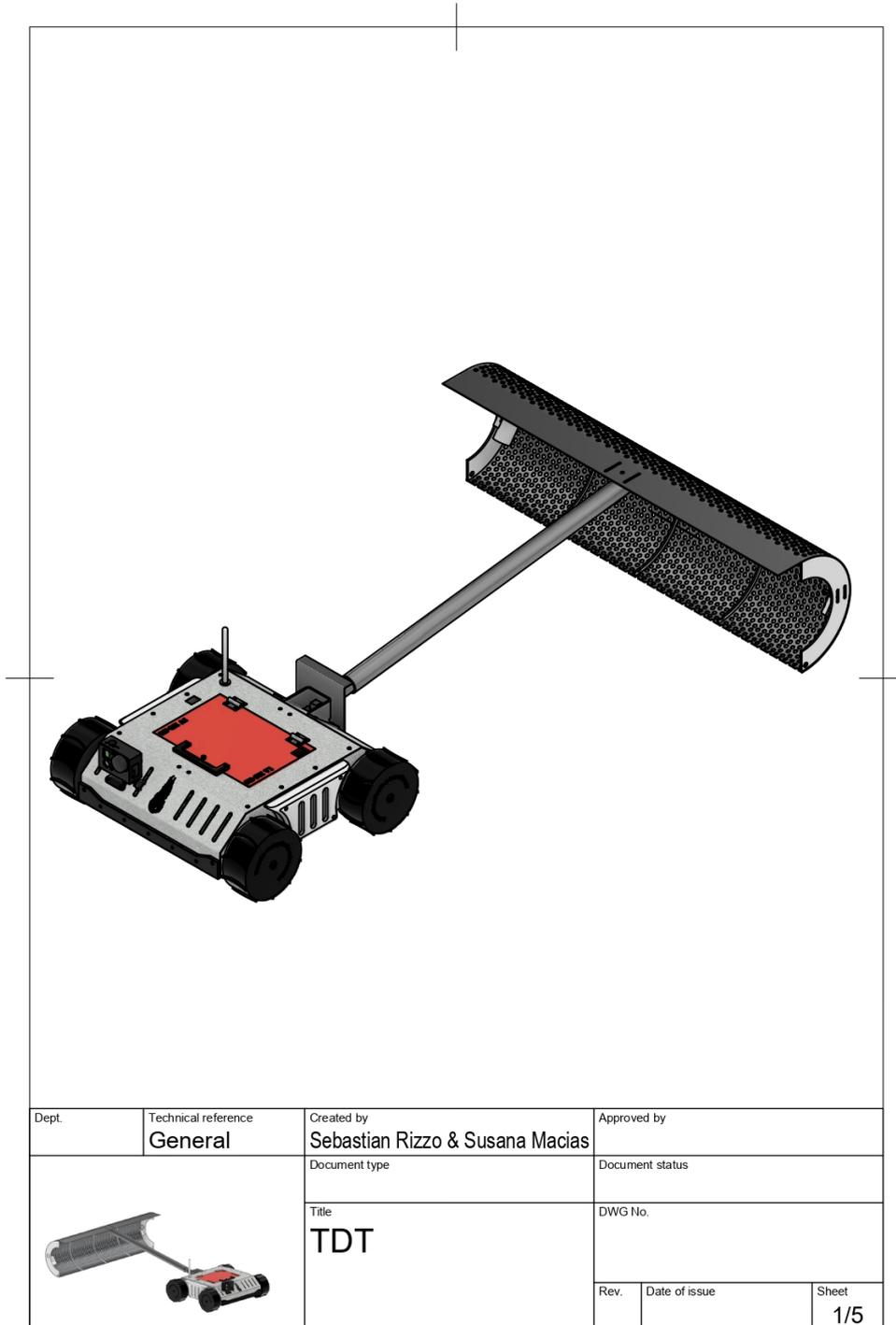
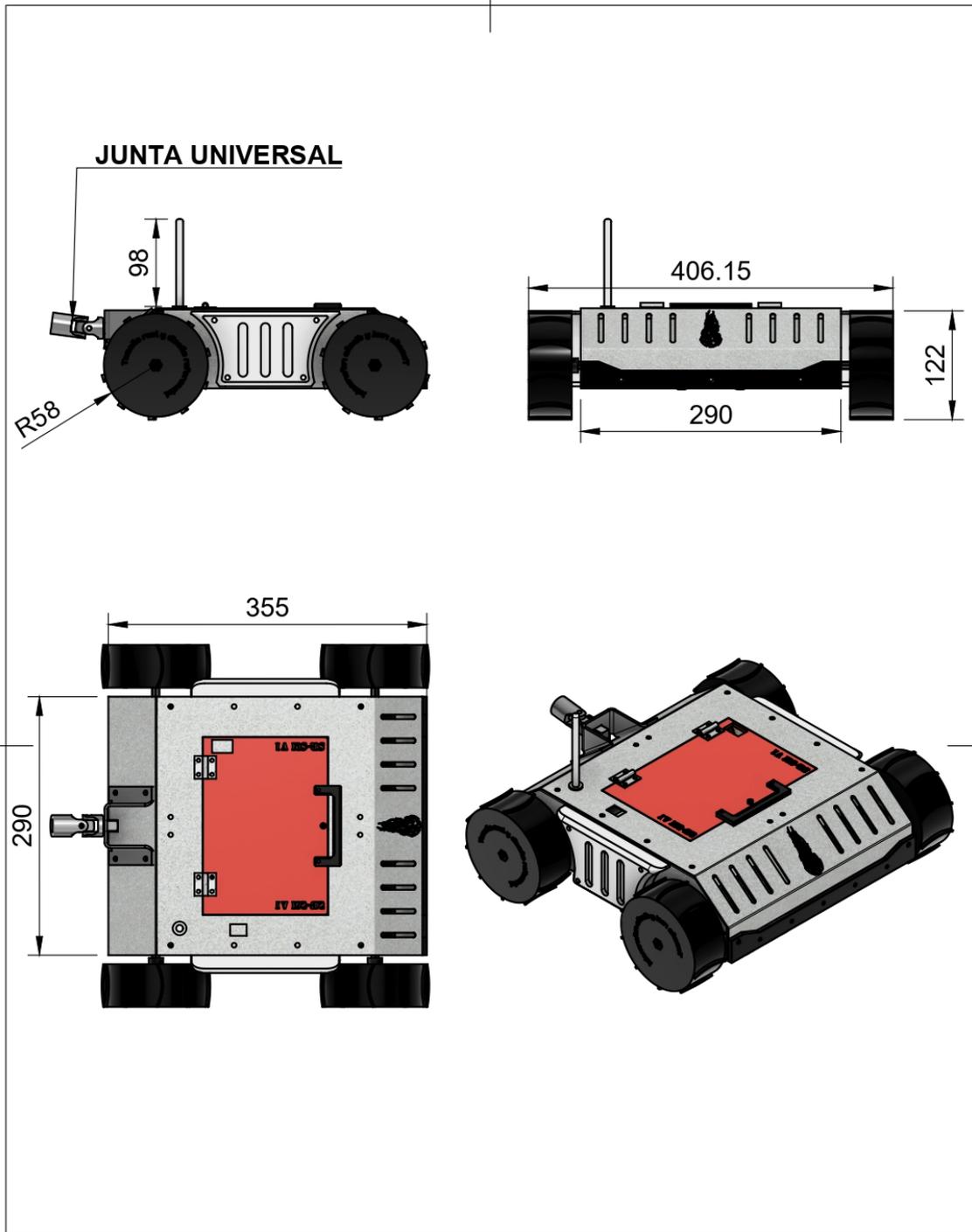
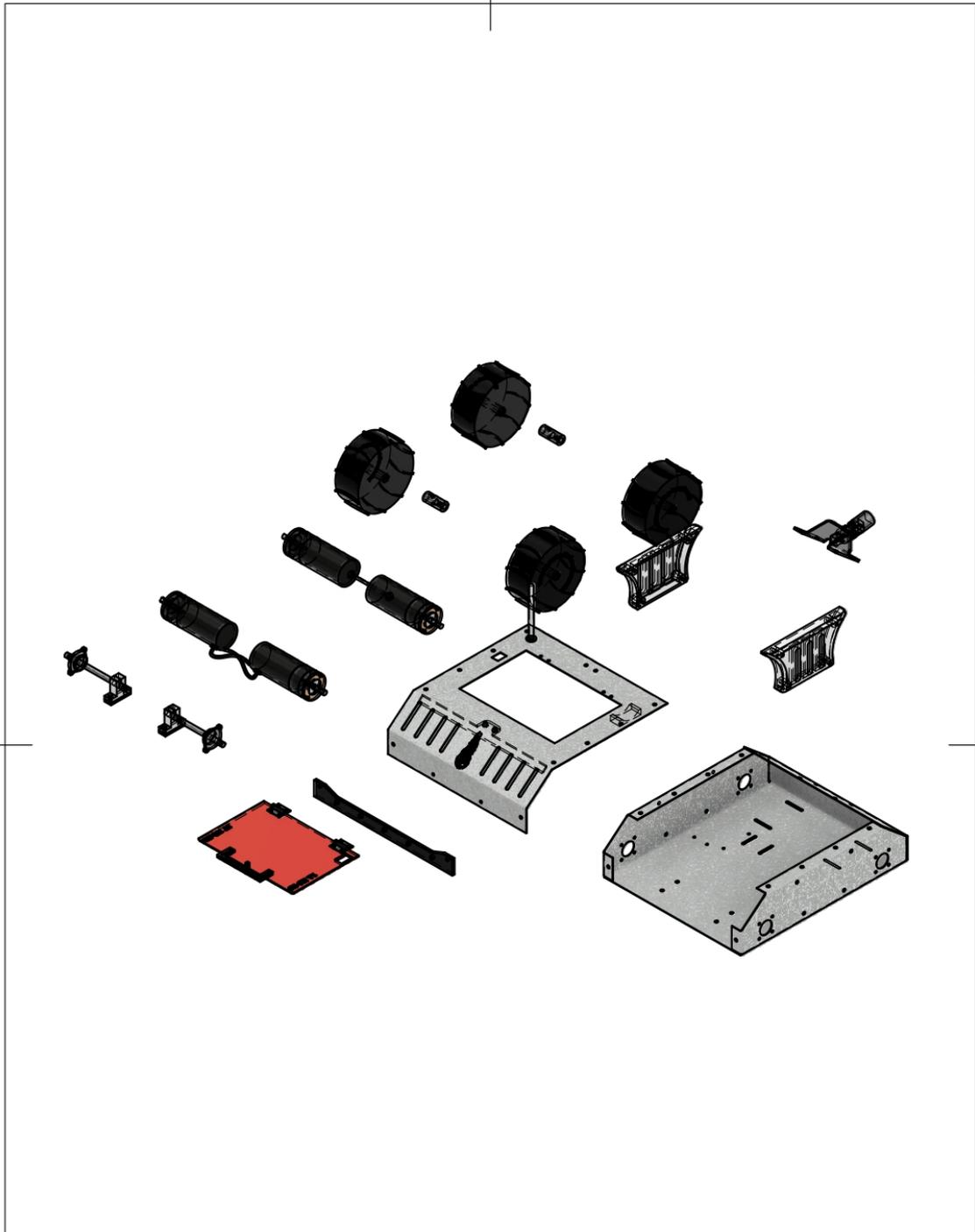


Figura 27. Plano general de prototipo, Autodesk Fusion360



Dept.	Technical reference	Created by <b>Sebastian Rizzo &amp; Susana Macias</b>	Approved by	
	Document type		Document status	
	Title <b>TDT</b>		DWG No.	
	Rev.	Date of issue	Sheet <b>2/5</b>	

Figura 28. Lámina acotada de las dimensiones generales del robot, Autodesk Fusion360



Dept.	Technical reference <b>Explosionado</b>	Created by <b>Sebastian Rizzo &amp; Susana Macias</b>	Approved by	
	Document type	Document status		
	Title <b>TDT</b>	DWG No.		
	Rev.	Date of issue	Sheet <b>4/5</b>	

Figura 29. Lámina acotada del soporte del sistema de abertura, Autodesk Fusion360

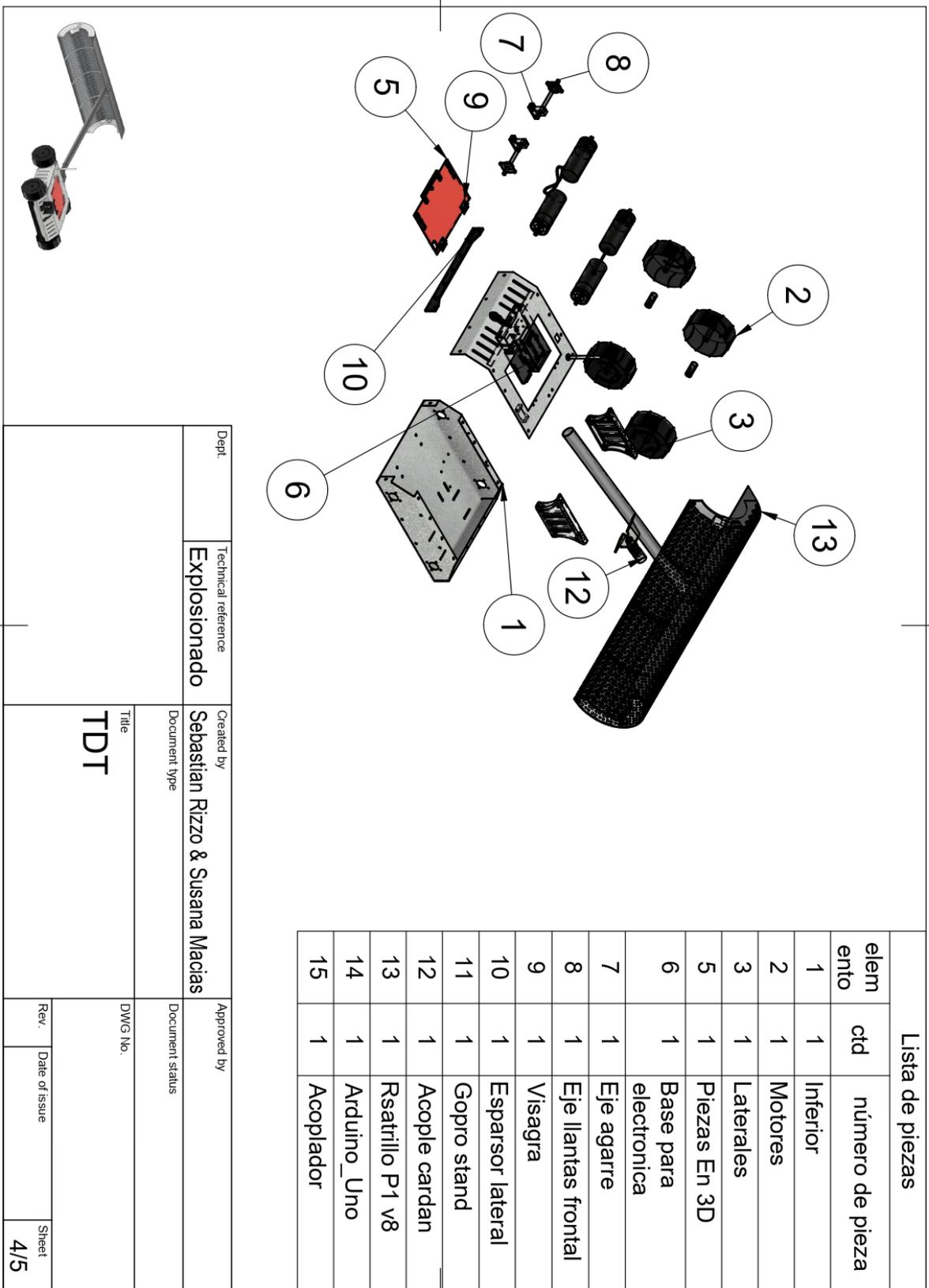
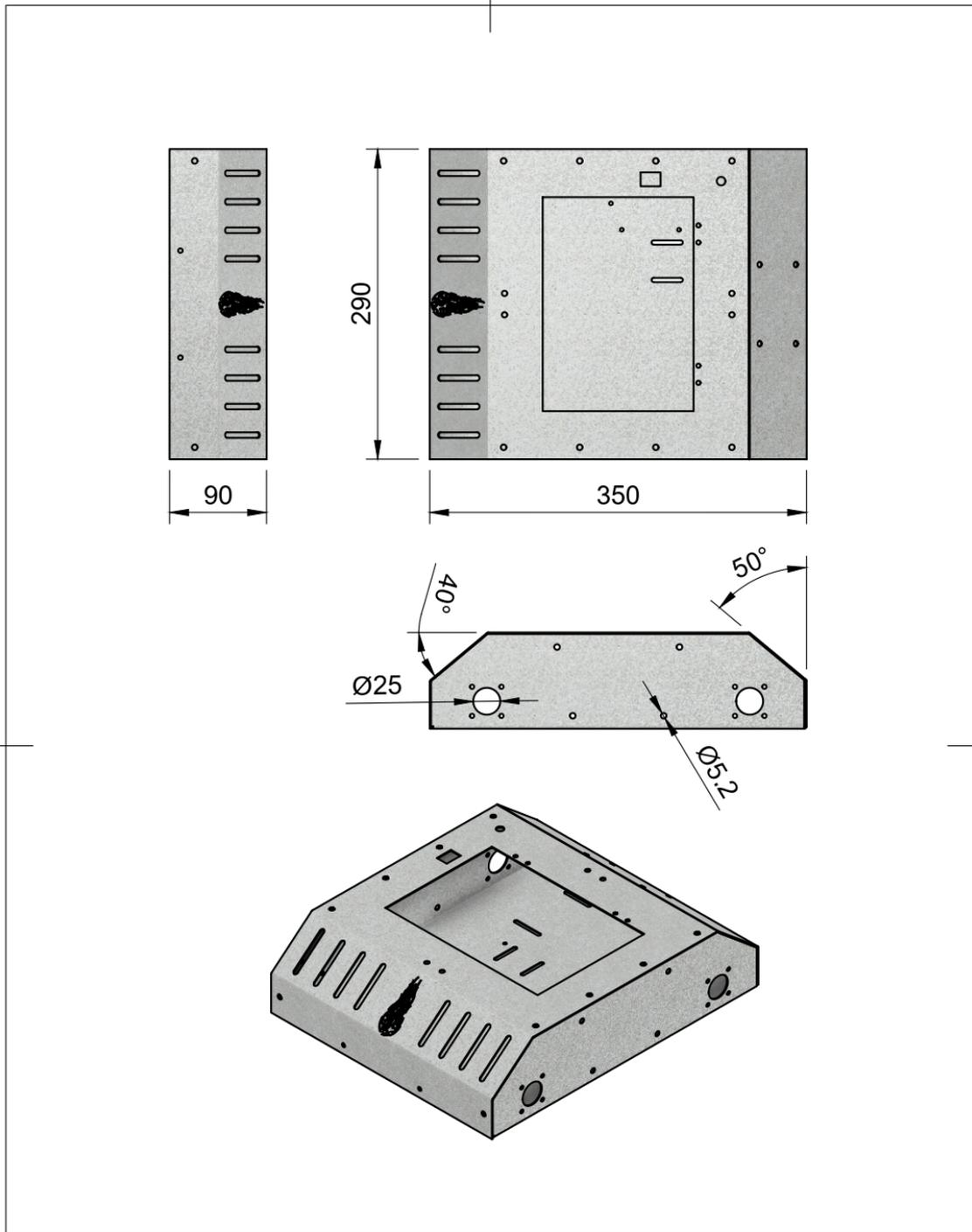
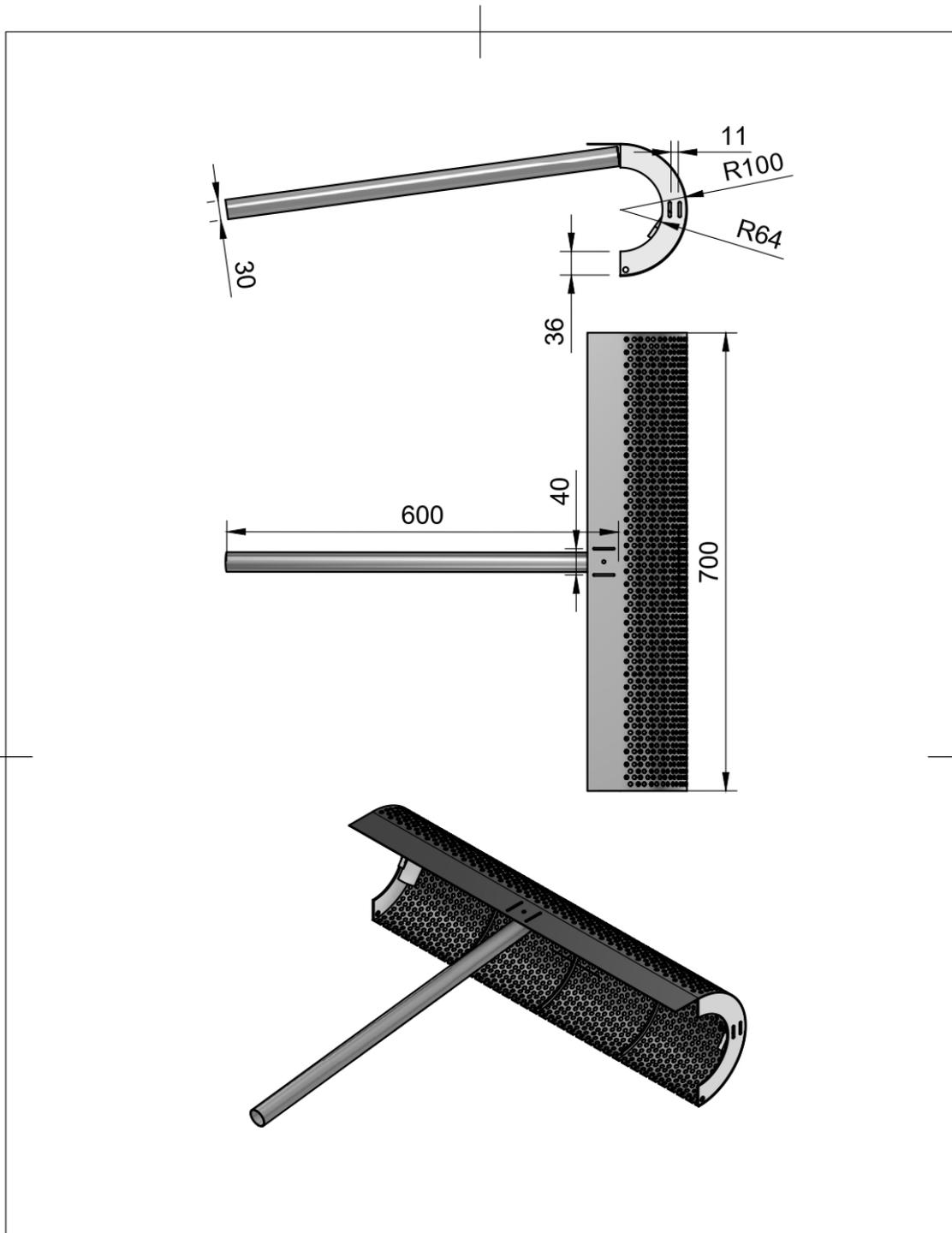


Figura 30. Lámina de expoliación de los componentes, Autodesk Fusion360



Dept.	Technical reference	Created by <b>Sebastian Rizzo &amp; Susana Macias</b>	Approved by	
	Document type		Document status	
	Title <b>TDT</b>		DWG No.	
	Rev.	Date of issue	Sheet <b>5/5</b>	

Figura 31. Lámina acotada del soporte del servomotor, Autodesk Fusion360



Dept.	Technical reference	Created by <b>Sebastian Rizzo &amp; Susana Macias</b>	Approved by	
	Document type		Document status	
	Title <b>TDT</b>		DWG No.	
	Rev.	Date of issue	Sheet <b>3/5</b>	

Figura 32. Lámina acotada de la herramienta de arrastre (rastrillo), Autodesk Fusion360

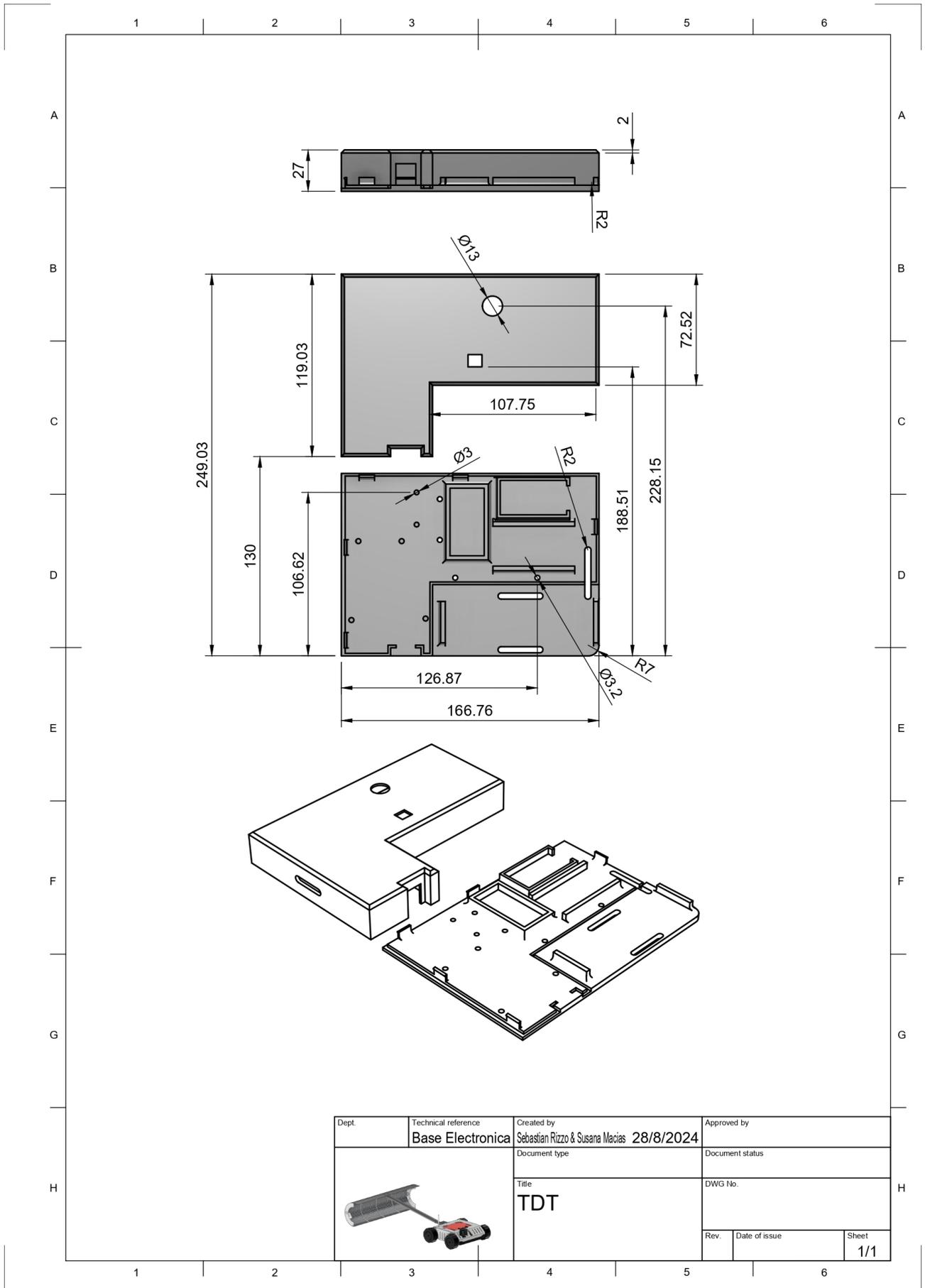


Figura 33. Lámina acotada de la base de soporte de la electrónica, Autodesk Fusion360

ANEXO B  
EQUIPOS DE MANUFACTURA



Figura 34. Cortadora láser del prototipo en MDF, por Autores



Figura 35. Cortadora láser del prototipo en metal, por Autores

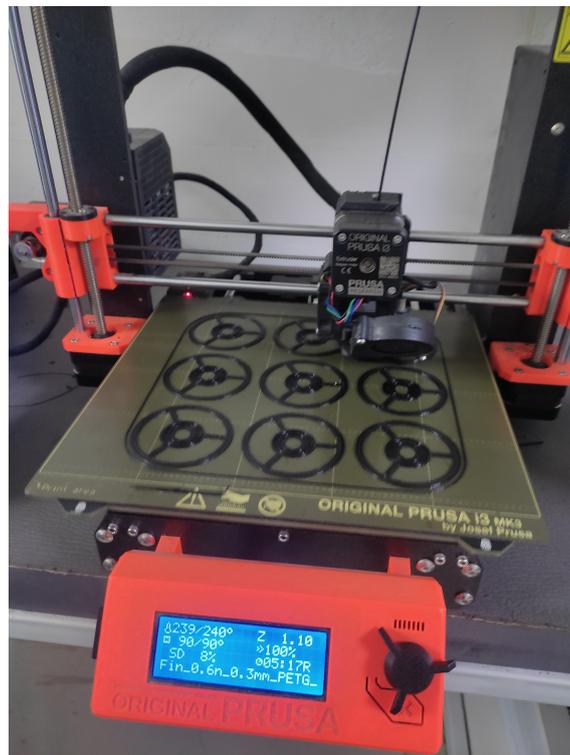


Figura 36. Impresión en 3D de las piezas.

ANEXO C  
EVIDENCIA

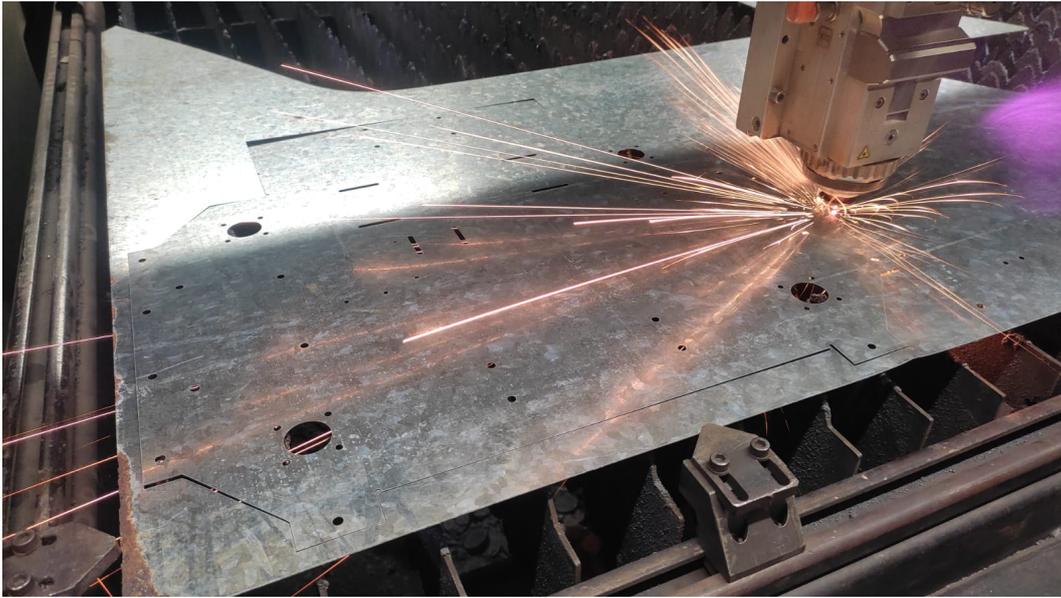


Figura 37. Corte del chasis del robot.



Figura 38. Prueba de funcionamiento del robot.

ANEXO D  
ANÁLISIS DE CARGAS DEL CHASIS DEL ROBOT

Para realizar las pruebas de análisis de carga se utilizó el software Autodesk Fusion 360. En este entorno, se evaluaron los esfuerzos de cargas estáticas y las deformaciones con el fin de comprobar la capacidad de carga de aguante del chasis del robot para estos tipos de ambientes salinos. A continuación se muestra en la Tabla II, los resultados obtenido con el estudio realizado en el diseño de nuestro chasis.

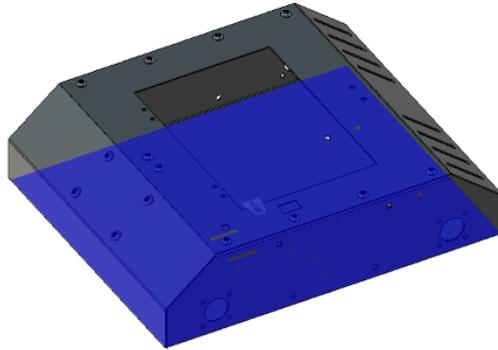


Figura 39. Chasis al inicio del análisis se carga. Fuente: Autores

*D-1. Análisis estático.:* A continuación, se presentarán tres tablas donde se evaluarán las principales cargas para este proyecto, que incluyen la gravedad, la fuerza y la carga global. Estas tablas proporcionarán una visión general de cómo se analizarán y cuantificarán estas cargas en el diseño del chasis del robot móvil para la recolección de residuos en playas.

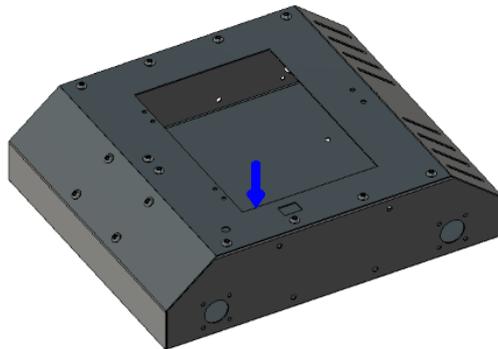


Figura 40. Chasis aplicando la carga de gravedad. Fuente: Autores

Tabla VIII  
RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE ESFUERZOS Y DEFORMACIONES

Nombre	Mínimo	Máximo
<b>Factor de seguridad</b>		
Coefficiente de seguridad (por cuerpo)	6.412	15.00
<b>Estrés</b>		
Von Mises	1.447E-06 MPa	32.284 MPa
Primera principal	-5.416 MPa	48.304 MPa
Tercera principal	-20.00 MPa	13.651 MPa
Normal XX	-13.084 MPa	20.296 MPa
Normal YY	-11.737 MPa	40.505 MPa
Normal ZZ	-9.449 MPa	20.229 MPa
Corte XY	-12.137 MPa	5.659 MPa
Corte YZ	-8.391 MPa	11.375 MPa
Corte ZX	-3.829 MPa	6.411 MPa
<b>Desplazamiento</b>		
Total	0.00 mm	0.024 mm
X	-0.001 mm	0.006 mm
Y	-0.024 mm	0.003 mm
Z	-0.002 mm	0.002 mm
<b>Fuerza de reacción</b>		
Total	0.00 N	0.514 N
X	-0.494 N	0.412 N
Y	-0.317 N	0.355 N
Z	-0.371 N	0.38 N
<b>Deformación</b>		
Equivalente	0.00	2.353E-04
Primera principal	-1.576E-07	2.672E-04
Tercera principal	-1.802E-04	1.700E-07
Normal XX	-4.411E-05	3.734E-05
Normal YY	-4.124E-05	1.350E-04
Normal ZZ	-3.201E-05	3.546E-05
Corte XY	-1.503E-04	7.006E-05
Corte YZ	-1.039E-04	1.408E-04
Corte ZX	-4.741E-05	7.937E-05
<b>Presión de contacto</b>		
Total	0.00 MPa	20.871 MPa
X	-9.984 MPa	13.367 MPa
Y	-12.621 MPa	10.121 MPa
Z	-9.642 MPa	16.128 MPa
<b>Fuerza de contacto</b>		
Total	0.00 N	2.289 N
X	-1.524 N	2.095 N
Y	-1.009 N	1.169 N
Z	-1.791 N	1.423 N

Tabla IX  
CONFIGURACIÓN DE LA GRAVEDAD

<b>Tipo</b>	Gravedad
<b>Magnitud</b>	9.807 m/s <sup>2</sup>
<b>Valor X</b>	0.00 m/s <sup>2</sup>
<b>Valor Y</b>	-9.807 m/s <sup>2</sup>
<b>Valor Z</b>	0.00 m/s <sup>2</sup>

Esta tabla analiza cómo se distribuye el peso de los diferentes componentes en el chasis y cómo afecta a la estabilidad general del robot. La ubicación de los componentes más pesados, como las baterías, cerca de la base del chasis, mejorará la estabilidad y reducirá el riesgo de vuelco.

Tabla X  
CONFIGURACIÓN DE LA FUERZA

Tipo	Fuerza
Magnitud	29.41 N
Valor X	29.41 N
Valor Y	0.00 N
Valor Z	0.00 N
Cambiar dirección	Sí
Fuerza por entidad	No

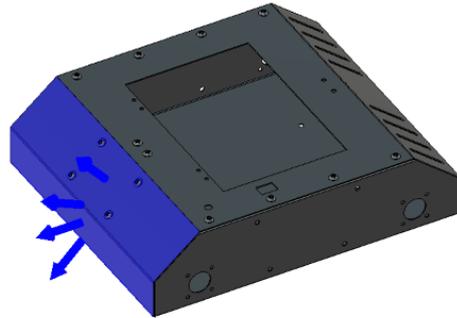


Figura 41. Chasis aplicando la carga de la fuerza1. Fuente: Autores

Esta tabla cuantifica las fuerzas que actuarán sobre el chasis durante el funcionamiento, como la fuerza de tracción generada por los motores, la fuerza de arrastre causada por la resistencia del aire y la fuerza de impacto en caso de colisiones o irregularidades en el terreno. Estas fuerzas se utilizarán para calcular el estrés y la deformación en el chasis mediante análisis de elementos finitos.

Tabla XI  
CONFIGURACIÓN DE LA CARGA GLOBAL LINEAL

Tipo	Carga global lineal
<b>Aceleración</b>	
Magnitud	5.00 m/s <sup>2</sup>
Ángulo X	0.0 deg
Ángulo Y	0.0 deg
Ángulo Z	0.0 deg

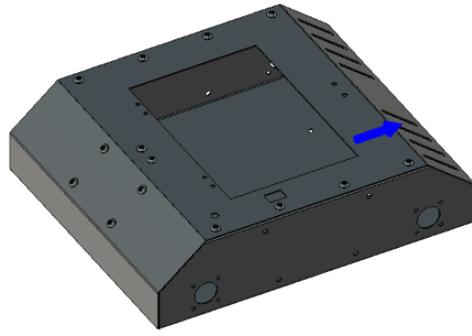


Figura 42. Chasis aplicando la carga global lineal1. Fuente: Autores

Esta tabla considera las cargas globales que actuarán sobre el chasis durante su vida útil, incluyendo cargas estáticas, dinámicas y ambientales. Estas cargas se utilizarán para evaluar la resistencia a largo plazo del chasis y garantizar que pueda soportar las condiciones de funcionamiento previstas sin fallar.