

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



Diseño y construcción de robot explorador destinado a la recolección de desechos sólidos en las playas de Guatemala

Trabajo de graduación presentado por

Juan Tomás García Orellana

para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Mecatrónica

Guatemala,

2018

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



Diseño y construcción de robot explorador destinado a la recolección de desechos sólidos en las playas de Guatemala

Trabajo de graduación presentado por

Juan Tomás García Orellana

para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Mecatrónica

Guatemala,

2020


Vo.Bo.:

(f) 
José Antonio Bagúr Nájera

Tribunal Examinador:

(f) 
José Antonio Bagúr Nájera

(f) 
Carlos Alberto Esquit Hernández

(f) 
Miguel Enrique Zea Arenales

Fecha de aprobación: Guatemala, 20 de junio de 2018.

CONTENIDO

Lista de figuras.....	vi
Lista de cuadros	ix
Resumen.....	x
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. OBJETIVOS.....	2
A. Objetivo general.....	2
B. Objetivos específicos del módulo	2
III. METODOLOGÍA	3
A. Fase de investigación	3
1. Identificación de la necesidad	3
a. Justificación	3
2. Investigación preliminar.....	4
a. Antecedentes.....	4
b. Análisis de megaproyecto Sistema explorador robotizado y autárquico.....	5
• Módulo de electromecánica	5
• Módulo de electrónica.....	6
• Módulo de inteligencia artificial	7
• Módulo de telecomunicaciones.....	7
c. Tipos de robots	7
• Robot rover	8
• Robot segway.....	8
• Robots colaborativos.....	8

• Robots industriales.....	8
d. Análisis de megaproyecto Robot explorador.....	9
e. Sistemas de limpieza de playas	9
3. Materiales disponibles.....	9
a. Metales.....	9
Ventajas y desventajas	10
• Aceros.....	10
• Aluminio.....	10
b. Polímeros	10
Ventajas y desventajas	11
• Ácido Poliláctico (PLA).....	11
• Acrilonitrilo Butadieno Estireno (ABS).....	11
4. Tipos de sistemas de tracción.....	11
a. Tracción por ruedas	12
b. Tracción por orugas	12
c. Tracción por patas	13
d. Análisis de sistemas.....	14
5. Sistemas de dirección (giro del robot).....	15
a. Piñón y cremallera	15
b. Dirección por dos motores.....	17
c. Comparativa de sistemas de direccionamiento.....	18
6. Motores disponibles	18
7. Especificaciones de desempeño	19
a. Requerimientos del sistema	19
8. Ideación e invención.....	21
a. Propuesta de diseño 1: diseño original del explorador	21
b. Propuesta de diseño 2	22
c. Propuesta de diseño 3	22
B. Fase de análisis	23
1. Selección del diseño	23
a. Selección de sistema de tracción	23
b. Selección de Sistema de dirección.....	24
C. Fase de diseño	24
1. Selección de materiales	24
a. Material para el chasis	24
b. Material orugas	25
c. Material para ejes.....	25

2. Análisis de vigas.....	25
3. Análisis de ejes.....	27
4. Selección de motores.....	37
a. Cálculo de potencia eléctrica.....	37
b. Cálculo de torque ofrecido por el motor.....	41
5. Verificación y validación	41
a. Plan de verificación	41
b. Plan de mitigación de riesgos	41
D. Fase de manufactura y validación del sistema	42
1. Manufacturación del sistema / Maquinado de piezas.....	42
a. Ejes	42
b. Ensamblaje.....	43
IV. CONCLUSIONES	44
V. RECOMENDACIONES	45
VI. BIBLIOGRAFÍA	47

LISTA DE FIGURAS

Figura	Página
1. Playa pública del puerto san José, después de la semana santa 2016.....	4
2. Estado en el que se encontró el robot explorador	5
3. Robot con ruedas.....	12
4. Robot con orugas	13
5. Robot con patas.....	13
6. Robots de tamaños similares con distintos tipos de locomoción.....	15
7. Funcionamiento de sistema piñón-cremallera	16
8. Radio de giro al utilizar el sistema piñón-cremallera	17
9. Configuraciones de giro con sistema de dos motores.....	17
10. Propuesta de diseño 1: diseño original del explorador	21
11. Propuesta de diseño 2.....	22
12. Propuesta de diseño 3.....	22
13. Tren de tracción del robot explorador, en plateado, perfiles que serán modelados como vigas	25
14. Esfuerzos principales en vigas del sistema, en caso sobre estimado	25

15. Factor de seguridad en vigas del sistema, en caso sobre estimado	26
16. Eje a motor y cargas aplicadas a él	27
17. Shear force en eje a motor	28
18. Shear force, yz plane en eje a motor	28
19. Bending moment en eje a motor	29
20. Bending moment, yz plane en eje a motor.....	29
21. Deflection angle en eje a motor	29
22. Deflection en eje a motor	30
23. Deflection, yz plane en eje a motor.....	30
24. Bending stress en eje a motor	30
25. Bending stress, yz plane en eje a motor	31
26. Shear stress en eje a motor.....	31
27. Shear stress, yz plane en eje a motor	31
28. Torsional stress en eje a motor.....	32
29. Eje de soporte.....	32
30. Shear force en eje de soporte	33
31. Shear force, yz plane en eje de soporte.....	34
32. Bending moment en eje de soporte	34

33. Bending moment, yz plane en eje de soporte	34
34. Deflection angle en eje de soporte	35
35. Deflection angle, yz plane en eje de soporte.....	35
36. Deflection en eje de soporte.....	35
37. Deflection, yz plane en eje de soporte	36
38. Dending stress en eje de soporte	36
39. Shear stress en eje de soporte.....	36
40. Shear stress, yz plane en eje de soporte	37
41. Relación voltaje-potencia con 30kg de carga	40
42. Eje acoplado a motor	42
43. Eje de soporte.....	43
44. Estructura de oruga, responsable de la tracción del explorador.....	43
45. Ensamble final del robot explorador.....	44

LISTA DE CUADROS

Cuadro	Página
1. Comparativa de sistemas de tracción.....	14
2. Comparativa entre sistemas de direccionamiento.....	18
3. Requerimientos del sistema	19
4. Cargas aplicadas en eje a motor.....	27
5. Resultados de análisis en eje a motor	27
6. Cargas en eje de soporte	32
7. Análisis de eje de soporte	33
8. Potencia consumida sin carga al variar voltaje	37
9. Potencia al variar la masa alimentando el motor con 4v	38
10. Potencia al variar la masa alimentando el motor con 5v	38
11. Potencia al variar el peso alimentando el motor con 6v	39
12. Valores de potencia con carga de 30 kg a diferentes voltajes.....	40
13. Plan de verificación.....	41
14. Nomenclatura para identificación de riesgos.....	41
15. Identificación de riesgos y mitigación	41

RESUMEN

El trabajo realizado consistió en el diseño y la construcción de un robot explorador al poseer como base el robot construido en el Megaproyecto “Sistema explorador robotizado y autárquico”, del Departamento de Ingeniería Electrónica de la Universidad del Valle de Guatemala. El propósito será retomar la idea propuesta en el trabajo mencionado y aplicarla en un nuevo sistema robotizado con el uso de nuevas tecnologías y herramientas de análisis, capaz de trabajar en las playas de Guatemala.

El sistema original fue desarrollado en dos etapas, la primera, comprendida en el Megaproyecto “Sistema explorar robotizado y autárquico” y la segunda, en el Megaproyecto “Robot Explorador”. En la primera etapa, el diseño del robot se realizó con el fin de emular a un robot explorador espacial. En la segunda etapa, se modificó el concepto, cambiando la finalidad del robot a ser un recolector de basura.

Del mismo modo, se trabajó en la investigación, diseño e implementación de medios de locomoción, tracción, dirección y construcción del vehículo robotizado, de manera que este pueda cumplir con los requerimientos propuestos, y que el diseño sea lo suficientemente robusto y eficiente para poder desarrollarlo académicamente en fases posteriores. Este trabajo contempla la manufacturación y el diseño mecánico del robo. El apartado de Electrónica y Programación fue desarrollado por Javier Mérida, el cual puede ser consultado en el documento “Megaproyecto: Reingeniería de Megaproyectos Fase I. Módulo: Módulo de potencia y control de un robot explorador destinado a la recolección de desechos sólidos en las playas de Guatemala”.

I. INTRODUCCIÓN

El rápido avance de la Tecnología conduce a la aplicación de sistemas cada vez más potentes y versátiles para la resolución de problemas. La utilización de los robots exploradores es una muestra de la implementación de sistemas inteligentes para la recopilación de información; tal es el caso del Proyecto “Mars Exploration Rover”, impulsado por la NASA y destinado para explorar la superficie del planeta Marte; un hito histórico para la humanidad. Los robots exploradores existen con diferentes características y funcionalidades según su fin específico; así como el robot explorador desarrollado en el Megaproyecto denominado “Sistema Explorador Robotizado y Autárquico”, realizado en el año 2006 por el Departamento de Ingeniería Electrónica de la Universidad del Valle de Guatemala.

El propósito del Proyecto fue realizar una simulación de un explorador de Marte, al implementar una estación remota de control por medio de Internet y una estación local, y al utilizar un Sistema de Inteligencia Artificial que le permitía al robot realizar toma de decisiones.

Igualmente, en este Trabajo de graduación, se realizó una reingeniería de dicho Proyecto, al evaluar tanto fortalezas como limitantes de este. El objetivo final de este nuevo robot explorador es que sea capaz de recoger desechos sólidos en las playas de Guatemala, por lo cual se plantearon soluciones y alternativas para un nuevo diseño y control del robot, basándose en el ya existente. Asimismo, se dividió el Proyecto en dos módulos generales:

- Módulo de Electrónica y Control: el cual abarcó el manejo de potencia y el control.
- Módulo de Mecánica: el cual incluyó el diseño y la elaboración del sistema mecánico de este.

II. OBJETIVOS

A. Objetivo general

Contribuir al cuidado del medio ambiente y las masas de agua en Guatemala y al ecosistema que depende de ellas, a través del diseño y la construcción de un robot explorador capaz de retirar los desechos sólidos de las playas de la Costa Sur Guatemalteca, a partir del robot explorador construido en la Universidad del Valle de Guatemala en años anteriores.

B. Objetivos específicos del módulo

Diseñar y construir un chasis capaz de cumplir con los requerimientos del sistema.

Diseñar y construir un sistema de tracción que cumpla los requisitos de desplazamiento y locomoción del explorador.

Diseñar y construir un sistema de dirección que se adapte a las distintas superficies en las cuales debe desempeñarse el robot.

Implementar un módulo de potencia capaz de suministrar a los motores con la energía necesaria para desplazar al sistema.

III. METODOLOGÍA

Se asignaron tres semestres para la investigación, el diseño y el desarrollo del Robot Explorador, al iniciar en el 8° semestre de la carrera. Además, en este Trabajo de graduación, se trabajó en el diseño mecánico y de construcción del robot explorador según la metodología de Robert L. Norton para el proceso de Ingeniería Mecánica, la cual se detalla a continuación. Los procedimientos de diseño electrónico se realizaron a través del Trabajo de graduación de Javier Mérida, el cual se incluye en la Bibliografía de este documento.

A. Fase de investigación

1. Identificación de la necesidad

a. *Justificación*

La contaminación ambiental se ha vuelto uno de los problemas más grandes por afrontar en las generaciones actuales, no solo en Guatemala sino en el mundo. El problema más grande es la falta de educación ambiental y cultura de limpieza en el medio. De la misma manera, específicamente, la contaminación en las masas de agua es alarmante, si se considera la repercusión directa que estas poseen sobre la calidad de vida de las personas quienes dependen de ellas. Del mismo modo, más allá de los desechos y contaminantes no sólidos los cuales llevan las aguas de los cuerpos mencionados anteriormente, existe una gran cantidad de desechos sólidos que son depositados en las áreas aledañas a dichas masas, los cuales poseen un efecto directo sobre la flora y fauna local.

También, en ocasiones especiales, la deposición y acumulación de residuos y desechos sólidos en las playas aumentan exponencialmente, al ser una de estas ocasiones, y tal vez la más notable, la Semana Santa. Igualmente, en Guatemala, el Proyecto “Playas limpias, depende de ti” logró recolectar alrededor de 997.2 toneladas de residuos y desechos sólidos en 25 playas de 7 Departamentos del país (Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, 2015), durante la Semana Santa del año 2015.

Asimismo, dicha limpieza fue realizada por cuadrillas a lo largo de dos semanas de trabajo constante. Además, estas cuadrillas estuvieron conformadas por personal tanto civil como miembros de entidades públicas y privadas. Según el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, se contó con, por lo menos, 800 personas para la concretización de dicho Proyecto.

El diseño y la construcción del sistema en cuestión, posee como fin último la recolección de desechos sólidos en playas locales, y debido a los requerimientos planteados, estas pueden ser playas de ríos, mares o lagos. De la misma manera, podría significar un gran avance en cuanto a la implementación de sistemas de limpieza, como el proyecto mencionado anteriormente; al considerar, del mismo modo, que el producto final deberá ser fácilmente replicable para poder poseer, en un caso ideal, varios sistemas los cuales trabajen simultáneamente en varios puntos alrededor del país.

También, dada la falta de concientización de los usuarios de las playas, el proceso para la limpieza de estas es totalmente indispensable si se desea la conservación del ecosistema local, por lo que la repercusión de un sistema como el descrito es inmensa, pues realizaría una recolección de desechos más eficiente, al necesitar de una menor cantidad de personal, lo cual al final se traduce como una menor cantidad de recurso económico para lograr el fin deseado.

Figura 1. Playa pública del Puerto San José, después de la semana santa 2016

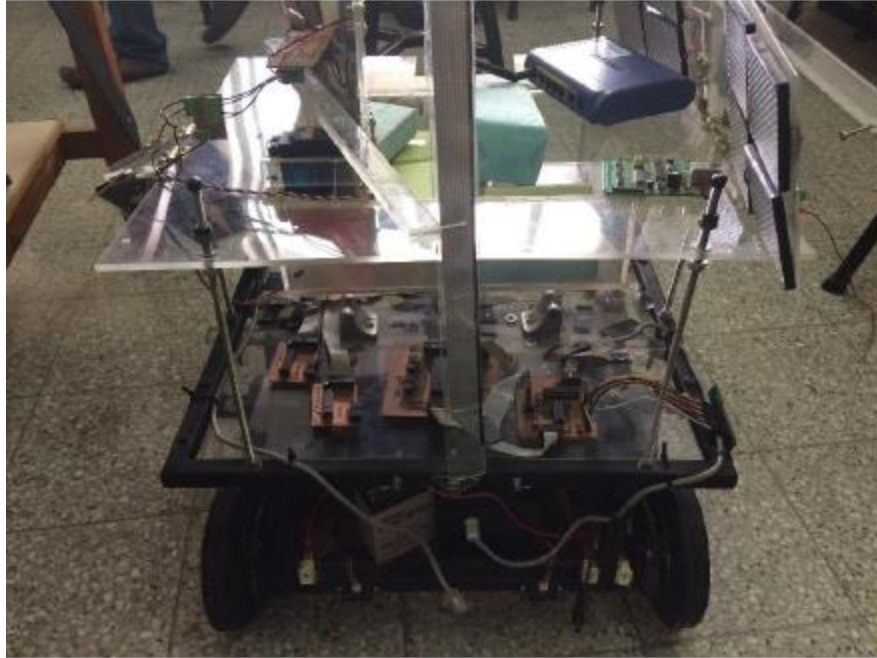


2. Investigación preliminar

a. Antecedentes

El conocer las generalidades acerca de los sistemas que componen a un robot es necesario, antes de poder diseñar y construir este. Igualmente, dada la amplia gama de robots existentes, fue menester analizar estos para poder adquirir ideas de diseños ya funcionales e integrarlas para lograr cumplir con los requerimientos deseados. Así, es necesario destacar que mucha de esta investigación previa ya había sido realizada por los Megaproyectos “Sistema explorador robotizado y autónomo”, de 2005 y “Robot explorador”, de 2008. Asimismo, al considerar que estos sentaron las bases para el desarrollo del proyecto actual, dichos recopilatorios aportaron mucha información de carácter investigativo.

Figura 2. Estado en el que se encontró el robot explorador



Además, a continuación, se presenta información existente previo al desarrollo del presente trabajo.

b. Análisis de megaproyecto “Sistema explorador robotizado y autárquico”

El Megaproyecto fue desarrollado en el año 2005 por estudiantes del Departamento de Ingeniería Electrónica de la Universidad del Valle de Guatemala, este tuvo como objetivo la creación de un robot que siguiera los lineamientos del enviado por la NASA a la misión “Mars Pathfinder: Sojourner”, la cual fue llevada a cabo en el año 1997 y poseía como fin la exploración del planeta Marte. El vehículo desarrollado por dicha agencia fue denominado Rover y llevo al éxito de la misión, pues exploró la superficie de susodicho planeta y envió la información pertinente a la tierra durante 30 días, en los cuales la misión estuvo activa. Así, los estudiantes del Departamento mencionado anteriormente bautizaron el robot desarrollado como Rover, y tuvo como fin el cumplir con las especificaciones de su homónimo de la NASA.

De la misma manera, para el desarrollo del trabajo en cuestión, se definieron cuatro módulos distintos que se detallan a continuación:

- *Módulo de electromecánica*

El módulo contemplaba todas las partes mecánicas del sistema, así como el acople mecánico-eléctrico/electrónico. Del mismo modo, se partió de un estudio bibliográfico con todas las tecnologías disponibles en la época para luego ponderarlas e implementarlas. También, este módulo abarcó el Sistema de dirección, electrónica de potencia y diagnóstico.

Igualmente, para el Sistema de dirección se implementó un Sistema de control electrónico para lograr una dirección “tipo tanque”, el cual consistió en ubicar un motor en cada lado del vehículo, el cual dio movimiento a las ruedas (Rivera, 2005).

Asimismo, con dicha configuración se puede lograr que el robot cambie de dirección al realizar que los motores giren en sentidos opuestos, y al alterar sus velocidades se puede lograr variar el radio de giro del vehículo. Además, se documenta el proceso de diseño y manufactura de los elementos utilizados tales como plataforma, ejes y sprockets.

De la misma manera, en el tema de potencia, se implementó una configuración de “puente H”, así como un circuito combinacional para realizar las distintas configuraciones del puente H y uno aislador para evitar que este último tuviese algún contacto con la electrónica digital. Del mismo modo, este puente H permitió, en definitiva, abastecer al robot con la potencia necesaria para su funcionamiento, y controlar la velocidad individual de cada uno de los motores los cuales controlaban a este.

Finalmente, se contó con un Sistema diagnóstico para este módulo, el cual poseía varios sensores, los cuales recolectaban información que sería procesada posteriormente por el controlador montado (en otro módulo del sistema), y así poder distribuir estos datos obtenidos al árbitro del vehículo y el control de este (Guzmán).

- *Módulo de electrónica*

El Sistema de control de los motores y el flujo de información fueron puntos notables, además de un submódulo de electrónica sensorial para monitorear factores propios del entorno del vehículo.

También, este módulo estuvo fuertemente ligado al de Inteligencia Artificial, pues era quien proveía al mismo de todos los medios necesarios para tomar decisiones y transmitirlos de regreso para que el Sistema de control pudiese implementarlas, lo cual fue logrado por medio de un muy eficiente Sistema transmisión bidireccional.

Igualmente, este módulo se comunicaba con el Módulo de Electromecánica, pues debía de ser capaz de controlar los actuadores mecánicos mediante sus partes electrónicas, las cuales eran, en su mayoría, electrónica de potencia que podía haber dañado la electrónica digital de este módulo de no haberse contemplado las precauciones pertinentes.

- *Módulo de inteligencia artificial*

Según este módulo fue uno de los más innovadores, pues proveyó de autonomía al robot, al lograr que pudiese desplazarse de una posición a otra al evitar obstáculos y solicitar ayuda cuando sufriese algún percance.

Asimismo, posee características muy avanzadas como lo son toma de fotos satelitales, búsqueda de un camino óptimo según distancia y obstáculos, así como la creación de un mapa del terreno explorado.

Además, este módulo fungía la función de arbitraje lógico entre los demás módulos del sistema, lo que permitió la comunicación de los métodos sensoriales y de obtención de datos con los de implementación de control y activación de actuadores.

La manera de operación del vehículo estuvo dada por este módulo, en la cual se tuvo una estación terrestre la cual se comunicaba directamente con el árbitro para que este se pudiese colocar en contacto con la parte mecánica y sensorial del sistema.

- *Módulo de telecomunicaciones*

El módulo tuvo la tarea de realizar la comunicación entre el vehículo y la estación de control. De la misma manera, fue realizada de manera inalámbrica vía Internet y contó además con manejo de video. Del mismo modo, y adicionalmente, en este módulo se establecieron los protocolos utilizados en cada uno de los módulos. Así, tuvo como fin diseñar e implementar el sistema para mantener un flujo adecuado entre cada uno de los submódulos y las estaciones.

El funcionamiento ocurrió mediante un canal de comunicación entre la estación y el vehículo, por medio del cual este último recibía las instrucciones enviadas por el árbitro de la estación y enviaba la información pertinente de esta. También, se utilizaron microcontroladores de radiofrecuencia para desarrollar módulos inalámbricos, los cuales comunicaban a los árbitros de la estación con el vehículo. Igualmente, cabe destacar, que se documentó un incidente en el cual se quemaron los dispositivos de radiofrecuencia, lo cual llevó a la implementación del canal a uno sólido de cobre.

Finalmente, se implementó en este módulo, dentro del canal, un control de flujo, secuencia y detección de errores, ya que dicho canal era muy propenso al ruido electrónico.

c. Tipos de robots

Según este trabajo recopilatorio, se pudo obtener una investigación muy sólida sobre clasificación de robots, pues cuenta con fuentes fidedignas. Asimismo, aunque es una investigación antigua, los temas abarcados no han avanzado de fondo pues los nuevos robots son, en su mayoría, modelos construidos a partir de estos mismos, por lo cual las clases en las cuales estos pueden enumerarse se mantienen. Así, por ello se incluye en este documento dicha investigación.

- *Robot rover*

La principal característica de este tipo de robot es que posee ruedas u orugas capaces de desplazarse por territorios de diferente naturaleza. Además, por lo general, es utilizado para investigar territorios hostiles donde resultaría peligroso, demasiado costoso o incluso imposible llevar a un ser humano.

- *Robot segway*

El robot fue desarrollado en los años recientes para presentar una solución al transporte personal, pero su diseño ha revolucionado la producción de robots, y ahora es considerado como un tipo de robot. De la misma manera, este tipo cuenta con dos ruedas que no están dispuestas en línea como en una bicicleta, sino en paralelo. El robot consigue mantener el equilibrio sobre el suelo gracias a sus múltiples sensores, los cuales proporcionan información sobre su estabilidad.

- *Robots colaborativos*

Los tipos de robots descritos anteriormente poseen características físicas que los definen dentro de su tipo, pero este en particular, lo cual lo define dentro de esta categoría, es que requiere de un conjunto de robots para realizar una tarea. Del mismo modo, estos pueden ser de diferente tipo y poseer cada uno de ellos una función determinada dentro del grupo de robots, o ser todos iguales con las mismas características y que en conjunto realicen alguna tarea en específico.

- *Robots industriales*

Los robots industriales son robots que se emplean para tareas vinculadas con la producción de bienes de origen manufacturado en fábricas o industrias. También, dentro de este tipo de robots existen robots muy diversos y especializados los cuales cumplen, en la mayoría de casos, una función específica. Igualmente, dentro de este tipo de robots se pueden mencionar los siguientes como los más comunes en la industria: Robots Paletizados, encargados de mover diferentes artículos dentro de un recinto; Robots de Soldadura, empleados muy comúnmente en el ensamblaje de vehículos y, por lo general, son brazos articulados; entre otros.

d. Análisis de megaproyecto Robot explorador

El Megaproyecto fue realizado en el año 2008 como continuación del Megaproyecto descrito anteriormente. Asimismo, tuvo como objetivos optimizar y mejorar dicho Megaproyecto, y adaptarlo para una nueva función: la recolección de desechos sólidos, al enfatizar en la limpieza de playas.

Además, ya que este fue un trabajo puramente de optimización, no se realizó ningún aspecto de diseño mecánico, salvo la implementación de un brazo robótico el cual permitiría al robot realizar tareas simples, las cuales pudiesen mejorar el tipo de actividades realizadas por este.

e. Sistemas de limpieza de playas

Actualmente, existe un sinnúmero de procedimientos para la limpieza de playas a un nivel de contaminación en capas profundas. De la misma manera, algunos de ellos son limpieza con agua caliente, limpieza de masas de fango que aparecen en el límite intermareal inferior, capas de fango continuas, cribado y aireado de arena profunda. Sin embargo, estos métodos no eliminan los desperdicios sólidos los cuales se encuentran en las playas. Así, es necesario, en todos los casos, recurrir a la limpieza activa: limpieza con medios mecánicos (uso de pala, arado y tamices) y manuales (con palas y tamices). Del mismo modo, la problemática en ambos casos es la presencia de personas inmiscuidas en el proceso, lo cual posee un costo tanto humano como económico.

También, en la búsqueda de soluciones a dicho problema, y al considerar que debido a la creciente densidad poblacional, muchas comunidades se ven obligadas a asentarse en locaciones aledañas al mar, sumado a que las playas son muy visitadas por los turistas, llevaron a plantear como solución el uso de robots autómatas dedicados a la limpieza. Así, actualmente existe una rama de la Robótica conocida como Robótica de Servicio, la cual posee como objetivo el diseño y la construcción de robots con aplicaciones prácticas y de utilidad directa para la sociedad, entre estas, la limpieza.

3. Materiales disponibles

a. Metales

Según la gran cantidad de materiales metálicos, es imposible clasificarlos todos dentro de una sola categoría, pues las propiedades de estos dependerán del elemento, de las aleaciones, los tratamientos aplicados y un sinnúmero de factores más que lo definen. Sin embargo, es posible hablar de ciertas propiedades generales las cuales son universales para cualquier material metálico.

Igualmente, algunas de dichas propiedades son la buena conducción al calor y la electricidad, y son materiales usualmente densos y sólidos a temperatura ambiente, los cuales generalmente poseen la capacidad de reflejar la luz y pueden unirse entre ellos (aleaciones).

Ventajas y desventajas

- **Aceros**
 - Según sus ventajas, se encuentra una alta resistencia con relación a su peso, lo cual permite poseer estructuras relativamente ligeras y de bajas dimensiones. Esta resistencia es tanto a compresión como a tracción, por lo que las estructuras con estos materiales son muy resistentes a la flexión. Tienen una enorme capacidad de absorción de energía, es decir una muy buena tenacidad. Son materiales dúctiles, lo que les da la capacidad de deformarse considerablemente antes de entrar a un estado plástico o de rotura. Es un material cien por ciento reciclable y totalmente degradable. Su costo es bastante bajo.
 - El más grande inconveniente es la facilidad con la cual se corroe, aunque puede corregirse mediante un tratamiento superficial sobre la pieza o estructura. Asimismo, otro inconveniente es que, por ser un material endotérmico, las estructuras con partes de este material propagan fácilmente el calor.
- **Aluminio**
 - Este metal cuenta con atractivas características, entre ellas destacan: peso sumamente ligero (aproximadamente un tercio de los aceros tradicionales), resistente a la corrosión, fácil de manipular para lograr estructuras y accesorios con geometrías complejas, puede llevar disolventes inflamables de manera segura y comercialmente se pueden encontrar accesorios con acabados de niquelado, anodizado, entre otros.
 - La principal debilidad de este material es su coste relativamente alto (sobre todo en comparación al acero), además presenta características las cuales podrían ser indeseables en aplicaciones en las cuales se requiera que la pieza o estructura soporte altos esfuerzos, pues este material posee una baja resistencia a la tracción. Así, fallará fácil ante esfuerzos de tensión o compresión.

b. Polímeros

Los materiales poliméricos son todos aquellos formados por macromoléculas (mayoritariamente provenientes del petróleo), que se sintetizan para presentar ciertas características específicas. De la misma manera, cotidianamente son conocidos como plásticos, y poseen un sinnúmero de aplicaciones al depender de las características propias de cada material. Del mismo modo, en general son materiales sumamente

versátiles y de precios accesibles los cuales son de vital importancia en cualquier proceso ingenieril en la actualidad.

Ventajas y desventajas

- **Ácido Poliláctico (PLA)**

El Ácido Poliláctico (PLA) es el polímero por excelencia en las impresiones 3D a nivel comercial, está hecho a base de plantas como el maíz, lo que lo vuelve un producto ecológicamente amigable. También, no emite gases nocivos, y al depender del diseño puede poseer una dureza bastante deseable. Igualmente, posee un costo sumamente bajo.

Asimismo, su mayor desventaja es que no resiste las altas temperaturas, pues se empieza a descomponer a partir de los 50 grados centígrados, por lo cual no es un candidato para aplicaciones industriales.

- **Acrilonitrilo Butadieno Estireno (ABS)**

El Acrilonitrilo Butadieno Estireno (ABS) es el polímero apto para aplicaciones industriales sencillas, es el material del cual están hechas las piezas de Lego. Además, posee un punto de fusión alto, y puede limarse, pulirse, lijarse, agujerarse, entre otros; sin deformarse.

De la misma manera, su principal desventaja radica en los gases nocivos que este desprende al alcanzar su punto de fusión.

4. Tipos de sistemas de tracción

Según las necesidades actuales y el alto desarrollo tecnológico con el que se cuenta hoy en día, existe un sinfín de robots para satisfacer cada tarea en la cual son requeridos, cada uno de estos cuenta con distintas características. Una característica en general la cual comparten la mayoría de robots, es la capacidad para moverse de un lugar a otro. Así, otra vez, da lugar a la existencia de distintos tipos de locomoción: el tipo de movimiento utilizado por estos para cambiar de lugar.

Del mismo modo, más allá de la locomoción, se analizará el sistema de tracción que el robot poseerá, lo cual hace referencia al mecanismo implementado para realizar la locomoción.

También, el movimiento de un robot es un tema el cual ha venido desarrollándose desde que los primeros robots fueron diseñados, y aunque es tal vez la parte más complicada del robot, existen muchos antecedentes los cuales facilitan este punto.

a. Tracción por ruedas

La tracción por ruedas es el estándar en vehículos convencionales, esto se debe a la sencillez y facilidad de construcción presentada, pueden soportar cargas más altas que otros mecanismos y se pueden transformar en vehículos de radio control para ser utilizados como bases de robots.

La desventaja de este sistema es su pobre funcionamiento en terrenos irregulares, pues no puede superar obstáculos mayores al diámetro de sus ruedas, y al depender del tipo de rueda que posea, se le dificultará movilizarse sobre terrenos deslizantes. Igualmente, cabe resaltar que al utilizar ruedas de diámetro grande o con alto coeficiente de rozamiento se soluciona este problema, pero posee como coste un mayor torque necesario para mover dichas ruedas.

Figura 3. Robot con ruedas



b. Tracción por orugas

La tracción por orugas permite al robot superar obstáculos de mayor tamaño en comparación a las ruedas. Asimismo, presenta más resistencia a daños por el entorno como piedras o arena. La construcción de las orugas está diseñada para sistemas mecánicos robustos, los cuales puedan moverse sobre terrenos irregulares y superficies deslizantes.

Además, algunos inconvenientes que presenta este tipo de tracción es la dificultad de construcción, tanto del sistema de tracción como del robot en general. De la misma manera, posee un costo sumamente elevado en comparación a su contraparte de ruedas, pues se construyen sobre fajas o cadenas y con materiales metálicos o poliméricos con propiedades muy específicas, para lograr la fuerza de fricción deseada. Del mismo modo, este último punto repercute, también, en que la energía necesaria para desplazar el robot de un punto a otro debe de ser mayor que la de las llantas.

Figura 4. Robot con orugas



c. Tracción por patas

El sistema de tracción por patas está diseñado para una rama específica de robots, los cuales emulan el comportamiento de humanos o animales. Igualmente, en teoría, pueden superar terrenos irregulares y obstáculos con cierta facilidad; sin embargo, usualmente pueden cargar poco peso sobre sus patas pues el fin de este diseño no es cargar elementos.

Además, presentan una alta dificultad en su construcción debido al número de grados de libertad los cuales requieren estos sistemas, esto mismo causa que su costo sea muy elevado pues se requiere, por lo menos, dos motores por pata para garantizar un correcto funcionamiento. De la misma manera, ello aumenta la complejidad de control y desarrollo del sistema y disminuye su fiabilidad. Del mismo modo, los algoritmos de control deben de ser sumamente sofisticados para coordinar todos los movimientos conjugados.

Figura 5. Robot con patas



d. Análisis de sistemas

Según el análisis de sistemas existen muchos criterios por seguir para poder escoger cuál tipo de tracción se va a aplicar en el explorador; entre ellos: el peso, la durabilidad y el espacio físico que ocupan.

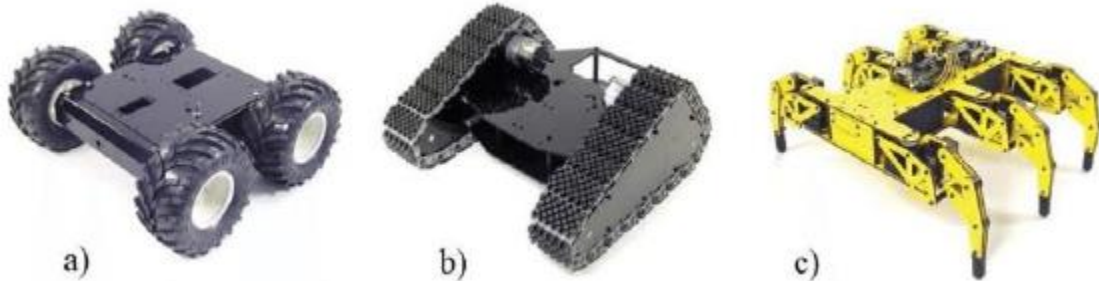
También, cada uno de los métodos de tracción descritos anteriormente cuentan con ventajas y desventajas propias. Igualmente, en la Tabla No. 1 se detalla una comparativa de estas:

Tabla 1. Comparativa de sistemas de tracción

Sistema/Rubro	Ruedas	Oruga	Patas
Construcción	Sencillo	Complicado	Muy complicado
Control	Sencillo, uno o dos motores.	Sencillo, uno o dos motores.	Complicado, por lo menos dos motores por pata, y complejo algoritmo de control.
Carga soportada	Elevado, dependerá del torque que el motor pueda entregar.	Elevado, dependerá del torque que el motor pueda entregar.	Limitado, usualmente no puede cargar más que el peso del propio robot.
Superación de obstáculos	Limitado, dependerá del tamaño de sus ruedas.	Elevado, depende del diseño seleccionado, pero en general son muy buenos en este aspecto.	Muy elevado, su diseño permite superar obstáculos sin problema aparente.
Durabilidad	Muy alta	Alta, dependerá del material que estén hechas las orugas.	Muy frágil
Mantenimiento	Muy sencillo	Sencillo	Muy complicado y proporcional al número de patas.
Componentes	Ruedas y ejes	Ruedas, ejes, sprokets,	Articulación especial,

Sistema/Rubro	Ruedas	Oruga	Patas
Construcción	Sencillo	Complicado	Muy complicado
necesarios		oruga.	materiales metálicos o poliméricos para la extremidad.
Costo	Bajo	Alto	Muy Alto

Figura 6. Robots de tamaños similares con distintos tipos de locomoción



5. Sistemas de dirección (giro del robot)

Según los Sistemas de dirección es de notable importancia que el explorador posea la capacidad de moverse de un lugar a otro, al esquivar obstáculos y brindar giros de ser necesario. Asimismo, al depender del tipo de tracción existen varias formas de generar que el robot realice estos movimientos.

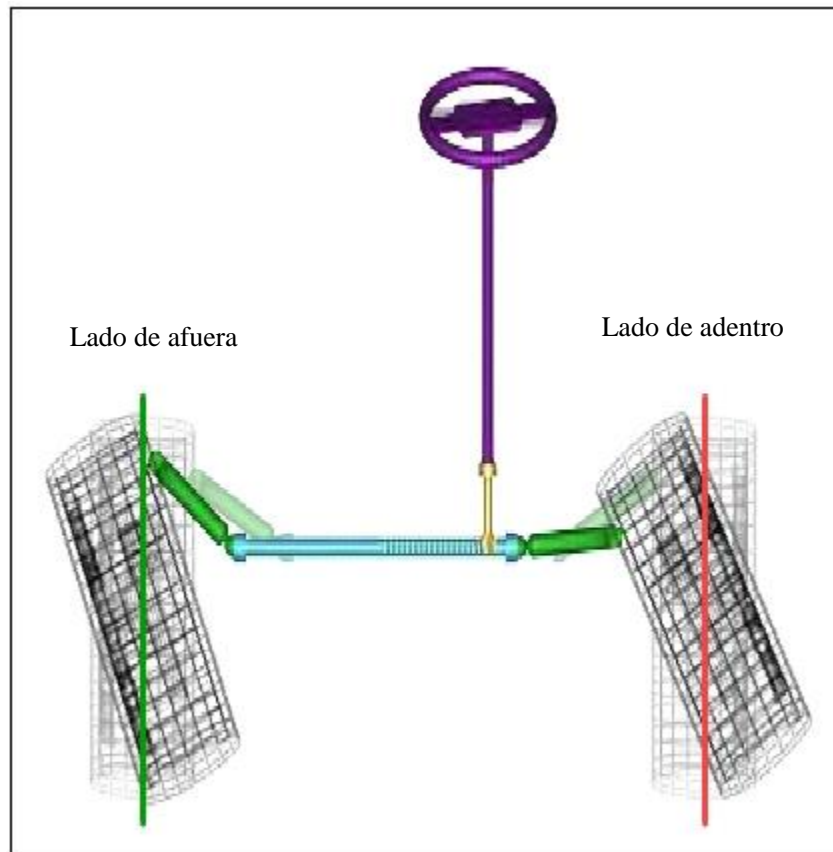
Además, puesto que en los Sistemas de orugas y ruedas se puede aplicar el mismo Sistema de dirección, y en el Sistema de patas el movimiento está dado exclusivamente por un algoritmo implementado (que no añade requerimientos mecánicos al sistema); se analizarán dos tipos de movimientos. El primer movimiento será el Sistema de piñón-cremallera, el cual es convencionalmente utilizado en los automóviles convencionales. De la misma manera, este tipo de movimiento utiliza un eje de tracción y otro que solo lo sigue. Del mismo modo, en el caso de las llantas (al asumir cuatro llantas), dos de estas estarán sujetas al Sistema de dirección y la otras dos de la tracción. También, en el caso de la oruga, sería necesario introducir un par de llantas para aplicar este tipo de Sistema de dirección.

El segundo movimiento es utilizar dos motores, habitualmente, ese es el sistema que utilizan los tanques. Igualmente, ofrece ventajas como lograr que el robot gire sobre su propio eje, pues permite que cada lado de las ruedas/orugas sea totalmente independiente del otro, a diferencia del anterior en el cual las llantas de ambos lados estaban unidas a un mismo eje o motor.

a. Piñón y cremallera

El método de Piñón y cremallera es tal vez el más utilizado para direccionamiento de vehículos. Asimismo, es el sistema por excelencia para los automóviles. Además, en este sistema, las llantas no se mueven de forma paralela al cruzar, sino que cada llanta posee un ángulo diferente (ver Figura 7). Así, la llanta exterior posee un ángulo menor que la interior, para lograr que el giro se lleve a cabo de la mejor forma posible, pues las llantas realizarán círculos con radios distintos al girar, lo cual se alcanzará mediante las uniones en el Sistema de dirección.

Figura 7. Funcionamiento de sistema piñón-cremallera



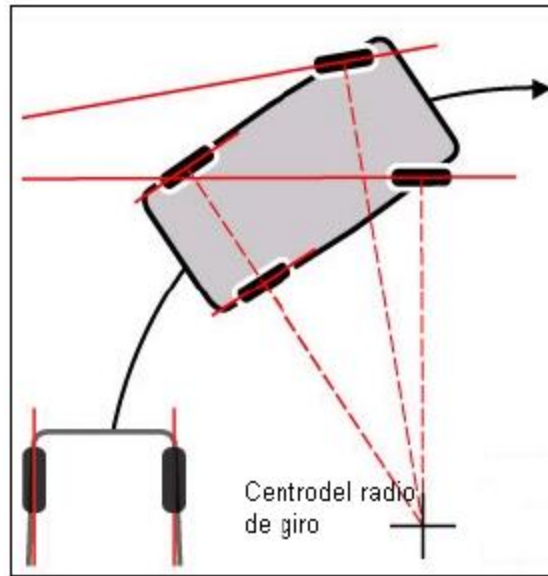
De la misma manera, dicho sistema está compuesto por engranajes puestos sobre una barra metálica los cuales están en contacto con la cremallera, la cual a su vez posee una barra de amarra a cada extremo, y esta se conecta con la base de un cojinete por medio de un brazo de giro, el cual permite que la llanta gire libremente al direccionar el vehículo.

Del mismo modo, este mecanismo descrito anteriormente, convierte el movimiento circular dado por un actuador (en caso de los automóviles, el timón), en movimiento lineal que efectuará la acción de

direccionamiento en las llantas, y también provee una reducción de engranajes la cual minimiza el esfuerzo requerido para mover las ruedas.

El giro en este diseño estará dado sobre un radio (ver Figura 8), y no sobre el centro geométrico del vehículo/robot:

Figura 8. Radio de giro al utilizar el sistema piñón-cremallera



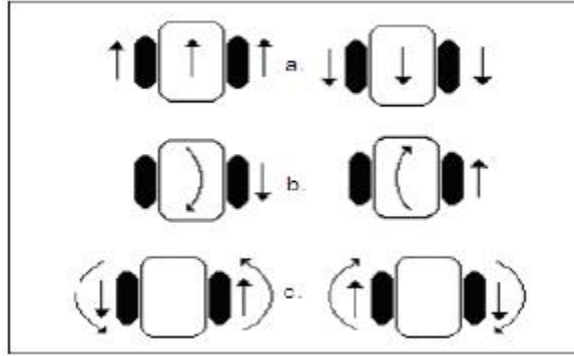
b. Dirección por dos motores

Según esta configuración se sitúa un motor a cada lado del vehículo/robot, el cual gira las ruedas/orugas independientemente de cada lado de este. Así, si se giran ambos motores en el mismo sentido y con la misma velocidad el robot se desplazará hacia delante o hacia atrás, y se deberán hacer girar los motores con sentidos opuestos para lograr que el robot realice un giro. También, en este último caso, si la velocidad de giro de los motores es la misma, el robot girará sobre su eje.

La implementación de este tipo de sistema puede ser lograda con la colocación de motores DC. Sin embargo, se puede alcanzar una locomoción más exacta con motores de precisión como lo son, por ejemplo, los motores paso a paso.

Igualmente, esta configuración permite entonces que el explorador gire a una cantidad específica de grados:

Figura 9. Configuraciones de giro con sistema de dos motores



c. Comparativa de sistemas de direccionamiento

Tabla 2. Comparativa entre sistemas de direccionamiento

Sistema/Rubro	Piñón y cremallera	Dos motores
Implementación	Muchas características mecánicas.	Implementación con lógica electrónica y circuitería interna.
Elementos mecánicos por implementar	Construcción o implementación del piñón y cremallera, barras de amarre y brazo de giro.	Acoples eje-motor.
Elementos electrónicos por implementar	Motor de paso o servomotor.	Módulo de potencia electrónico (puente H, relevadores magnéticos).
Forma de giro	Para girar es necesario realizar un desplazamiento, gira sobre un radio externo.	Permite girar sobre un radio reducido, sobre su propio eje, o sobre un radio predefinido.
Consumo energético	Demanda energía para realizar giros.	Demanda energía todo el tiempo, aun cuando el vehículo se desplaza únicamente en línea recta.
Costo	Alto	Medio

Dado a que se estaba realizando reingeniería sobre un sistema ya existente, se prosiguió a utilizar los motores ya presentados, los cuales eran motores de corriente continua de limpia brisas de automóvil.

Asimismo, en la documentación existente solo se indicaba que se obtuvieron en una huesera local, sin brindar hoja de datos ni ninguna ficha técnica en la cual se especificasen sus características.

A partir del párrafo anterior, fue necesario realizar pruebas para determinar la potencia eléctrica demandada y la potencia mecánica suministrada. Así, dichas pruebas se detallan en el módulo “Módulo de potencia y control de un robot explorador destinado a la recolección de desechos sólidos en las playas de Guatemala” de este mismo Megaproyecto.

El principio del funcionamiento de estos motores es básicamente el magnetismo. Además, estos aprovechan las fuerzas magnéticas para producir rotación. De la misma manera, sus componentes principales son el rotor y el estator, y este último es un imán fijo el cual provee un campo magnético constante. El rotor, por su parte, es la parte móvil, un embobinado sobre el cual se hace fluir una corriente, lo cual crea una fuerza electromagnética la cual genera que se repela del estator.

7. Especificaciones de desempeño

a. *Requerimientos del sistema*

Tabla 3. Requerimientos del sistema

No.	ID	Requerimiento	Prioridad	Padre	Hijo
1	SYSR-01	Las dimensiones totales deben de ser menores a 1 x 1 x 0.7 metros.	Alta	-	-
2	SYSR-02	El peso total debe de ser inferior a 70 libras.	Alta	-	SYSR-03
3	SYSR-03	El material de la estructura debe de ser aluminio.	Media	SYSR-02	-
4	SYSR-04	Debe ser desarmable.	Alta	-	SYSR-06 SYSR-07
5	SYSR-05	La temperatura del motor no podrá exceder los 80°C.	Media	-	-
6	SYSR-06	Debe contar con uniones de acero y aluminio para la sujeción de la estructura.	Baja	SYSR-04	-
7	SYSR-07	Debe de poseer piezas de PLA para la sujeción de los motores a la estructura.	Baja	SYSR-04	-

No.	ID	Requerimiento	Prioridad	Padre	Hijo
8	SYSR-08	Debe de poseer una base de acero de 1/16" para el soporte de los sistemas no mecánicos (circuitería, baterías y sensores).	Baja	-	-
9	SYSR-09	Deberá realizarse mantenimiento cada 50 horas de uso, según el Manual de usuario.	Alta	-	-
10	SYSR-10	Deberá de almacenarse por separado de las baterías, los sensores y la circuitería.	Media	-	-
11	MECR-01	Debe contar con tracción tipo oruga.	Alta	-	MECR-02 MECR-05 MECR-06 MECR-08 MECR-13
12	MECR-02	Deberá utilizar sistema de direccionamiento por dos motores.	Alta	MECR-01	-
13	MECR-03	Debe de contar con ejes maquinados en acero.	Baja	-	MECR-04 MECR-19
14	MECR-04	El diámetro más pequeño de los ejes debe ser de 12 mm.	Media	MECR-03	-
15	MECR-05	La oruga debe estar hecha de Santoprene TPE.	Media	MECR-01	-
16	MECR-06	La oruga debe poseer un tensor por lado.	Alta	MECR-01	-
17	MECR-07	Se debe utilizar sprockets ANSI 35.	Baja	-	-
18	MECR-08	Debe utilizarse iddler sprockets para los ejes que no transmitan potencia.	Alta	MECR-01	-
19	MECR-09	Debe poseer tracción trasera.	Media	-	-
20	MECR-10	La potencia debe de transmitirse del motor al sprocket trasero, mediante una cadena ANSI 35.	Media	-	MECR-11 MECR-12
21	MECR-11	La cadena de potencia debe de poseer un tensor.	Alta	MECR-10	-
22	MECR-12	El tensor de la cadena debe ser de	Baja	MECR-10	-

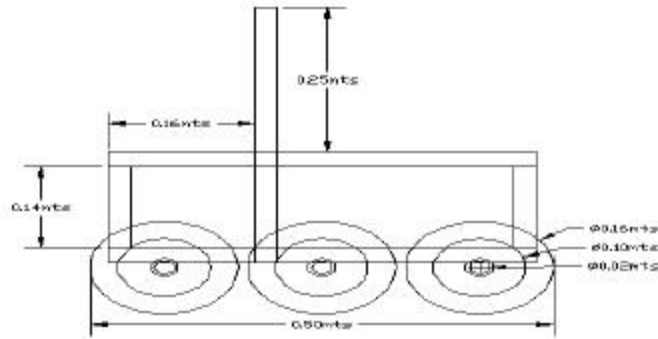
No.	ID	Requerimiento	Prioridad	Padre	Hijo
		PLA.			
23	MECR-13	Los tensores de la oruga deben de ser de PLA.	Baja	MECR-01	-
24	MECR-14	Los acoples del motor hacia el eje deben de ser de PLA.	Baja	-	-
25	MECR-15	Deben utilizarse extrusiones de aluminio de 20 x 20 mm para la estructura.	Media	-	MECR-16 MECR-18
26	MECR-16	Debe utilizarse tuercas de tío T-nuts para la sujeción de todos los elementos a la estructura	Media	MECR-15	MECR-17
27	MECR-17	Deben utilizarse tornillos M4 para la sujeción de todos los elementos a la estructura	Media	MECR-16	-
28	MECR-18	Los perfiles de aluminio deben de estar anodizados	Media	MECR-15	-
29	MECR-19	Los ejes deben de estar bañados con un tratamiento de silicona	Alta	MECR-03	-

8. Ideación e invención

a. Propuesta de diseño 1: diseño original del explorador

La Propuesta de Diseño 1 posee tres ruedas convencionales unidas a un chasis estructural rígido, sin posibilidad de desensamblaje.

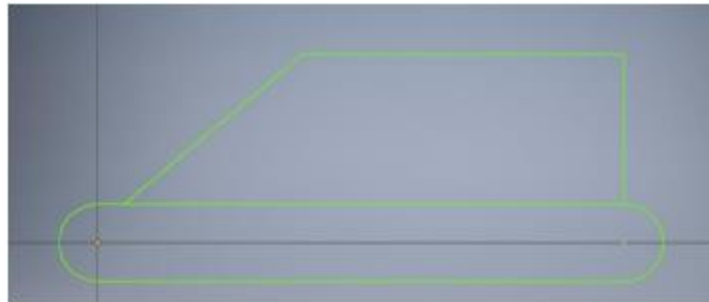
Figura 10. Propuesta de diseño 1: diseño original del explorador



b. Propuesta de diseño 2

Según la Propuesta de diseño 2 se presenta un diseño con orugas, en este caso, las orugas van directamente anidadas al chasis:

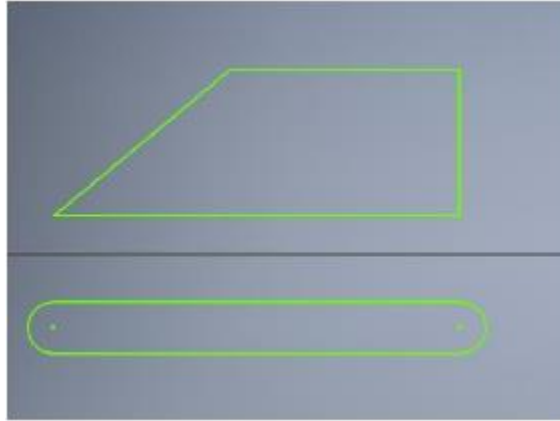
Figura 11. Propuesta de Diseño 2



c. Propuesta de diseño 3

La Propuesta de diseño 3 es un caso similar al anterior; sin embargo, aquí se presenta el chasis general como una parte separada a la estructura de la oruga, para que este pueda ir “montado” sobre la estructura de tracción:

Figura 12. Propuesta de diseño 3



B. Fase de análisis

1. Selección del diseño

a. Selección de sistema de tracción

Uno de los mayores inconvenientes del explorador original fue su falta de versatilidad en cuanto a las superficies sobre las cuales podía movilizarse. Así, este punto fue fuertemente analizado durante este Trabajo de graduación, pues es necesario que un robot de este tipo, destinado a la recolección de desechos sólidos en playas, sea capaz de movilizarse sobre terreno irregular, por lo cual las ruedas convencionales quedaron prácticamente descartadas.

El siguiente punto importante por considerar fue el costo que suponía implementar cada tipo de locomoción. Del mismo modo, luego de realizar cotizaciones en distintos lugares, se llegó a la conclusión que el uso de orugas o de ruedas de diámetro grande era básicamente el mismo, pues aunque el de oruga tenía un costo más elevado, era necesario implementar una mayor cantidad de llantas grandes.

El último punto considerado fue la dificultad de implementación: acá se encontró que la tracción por oruga era considerablemente más difícil de implementar que una locomoción por llantas grandes. Sin embargo, dados los puntos anteriores, se decidió utilizar tracción por orugas para realizar la locomoción del explorador.

También, seguidamente, tras analizar la facilidad de construcción del explorador, se optó por construir el Sistema de orugas como una pieza separada del resto del chasis. Así, al seguir la Propuesta de Diseño 3, el chasis general estaría “montado” sobre el Sistema de orugas.

b. Selección de Sistema de dirección

Según la selección del Sistema de dirección, se basó en la documentación disponible del Megaproyecto “Robot explorador”, pues a partir del análisis ahí descrito, y porque se contaba con los motores de dicho proyecto, fue conveniente implementar el Sistema de dirección tipo tanque para aprovechar las ventajas de implementación que este ofrecía.

C. Fase de diseño

1. Selección de materiales

A partir de poseer el diseño del robot explorador por construir, se prosiguió a seleccionar los materiales con los cuales se construiría este. Así, se consideraron las propiedades de cada material disponible, las dificultades que presentaron los materiales seleccionados para la construcción del primer robot explorador, la facilidad del ensamblaje y el costo de estos.

a. *Material para el chasis*

Según la construcción del chasis se seleccionó el aluminio, debido a que uno de los principales inconvenientes del material anterior era el peso presentado, el aluminio en cambio era un material sumamente ligero y perfecto para la aplicación. Asimismo, se consideró que, al estar sometido a las condiciones ambientales tan adversas presentes en las playas (altas temperaturas, humedad y salitre), este podría estar muy propenso a sufrir daños, por lo cual se buscó un material el cual tuviese un tratamiento de anodizado.

Finalmente, se consideraron los fines didácticos y académicos que pudiese presentar este robot, por lo cual se decidió buscar un material el cual permitiese un fácil ensamblaje y des ensamblaje. Además, al considerar estas condiciones, se seleccionaron las extrusiones de aluminio para construir el chasis del explorador.

De la misma manera, dada la versatilidad que presentaban estos perfiles, fue posible escoger un tipo de perfil distinto para cada parte del ensamblaje, al presentar la facilidad de haber podido modelarse y analizarse antes de construir el prototipo.

Del mismo modo, y adicionalmente, las juntas, las uniones y los accesorios pudieron ser adquiridos específicamente para estos perfiles, lo cual presentó una gran ventaja sobre otros materiales.

b. Material orugas

Según la poca demanda que existe por este tipo de llantas para este tipo de aplicación específica (usualmente se ocupan para robots mucho más pequeños), se optó por obtener un tipo de orugas hecho de caucho y producido por la empresa Tank Chain. También, esta oruga presenta la ventaja de que viene estandarizada para utilizarse con sprockets ANSI 35.

c. Material para ejes

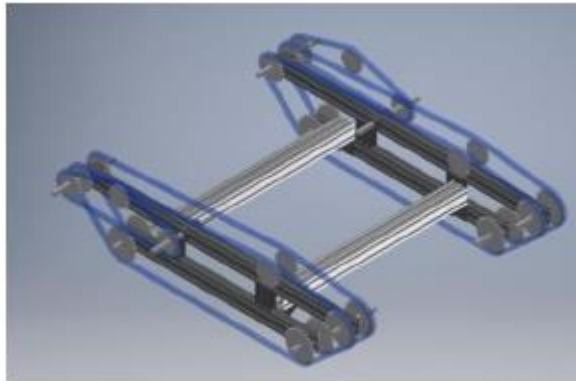
A partir de que no se tuvo ningún requerimiento inicial para los ejes, se prosiguió a diseñarlos en función de los sprockets disponibles. Igualmente, el material se seleccionó puramente a partir del costo, el cual fue el acero.

2. Análisis de vigas

Según la Figura 13, se consideraron los dos perfiles en plateado como vigas, pues fue posible modelar el esfuerzo el cual debían soportar dichas vigas, ya que en estas recaía el peso del sistema.

Asimismo, se modeló como una fuerza puntal en el centro y se analizó al utilizar un frame analysis de Autodesk Inventor.

Figura 13. Tren de tracción del robot explorador, en plateado, perfiles que serán modelados como vigas



Además, como resultado se obtuvieron esfuerzos principales que pudieron compararse con el esfuerzo último del aluminio utilizado, al obtener un factor de seguridad de 15 unidades. De la misma manera, esto se puede observar en las Figuras 14 y 15:

Figura 14. Esfuerzos principales en vigas del sistema, en caso sobre estimado

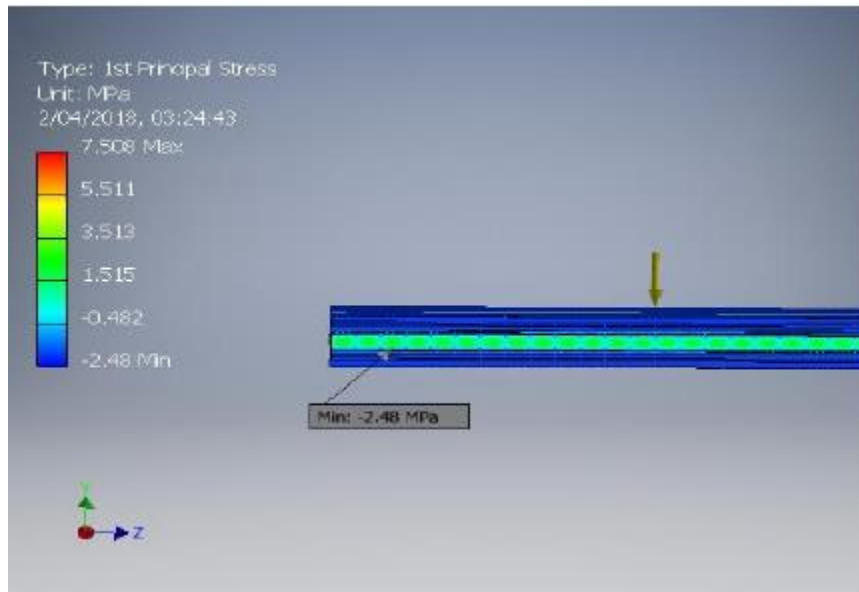
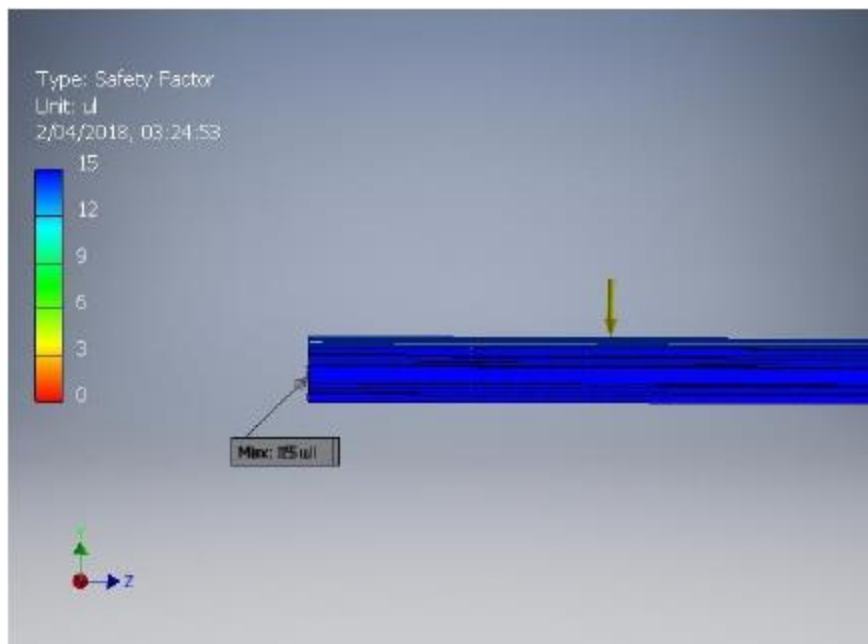


Figura 15. Factor de seguridad en vigas del sistema, en caso sobre estimado



Del mismo modo, es claro entonces que este perfil, el cual será el que estará sometido a mayor esfuerzo en todo el sistema, será con creces, suficiente para el propósito del robot; y aunque el factor de seguridad sea bastante alto para la aplicación se aprueba, pues cumple con el requerimiento al utilizar el material disponible.

3. Análisis de ejes

Se analizaron ambos tipos de ejes, tanto los que aportaban tracción como los puramente de soporte, al enfatizar en estos últimos pues eran los que mayor carga axial soportaban. Los resultados se detallan a continuación:

Figura 16. Eje a motor y cargas aplicadas a él

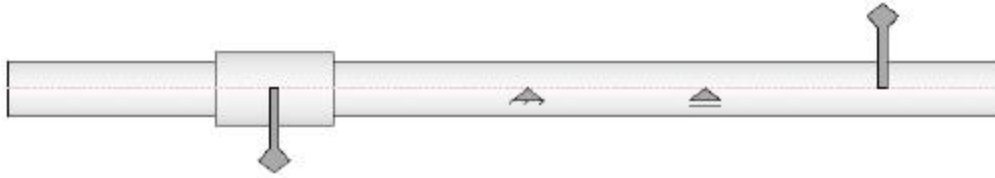


Tabla 4. Cargas aplicadas en eje a motor

Index	Location	Torque	Deflection				Deflection Angle
			Y	X	Size	Direction	
1	45 mm	-30.000 N m	-0.219 microm	0.219 microm	180.00 deg	0.00 deg	
2	148 mm	30.000 N m	-0.055 microm	0.055 microm	180.00 deg	0.00 deg	

Tabla 5. Resultados de análisis en eje a motor

Length	L	168.000 mm
Mass	Mass	0.162 kg
Maximal Bending Stress	σ_B	0.231 MPa
Maximal Shear Stress	τ_s	0.010 MPa
Maximal Torsional Stress	τ	88.419 MPa
Maximal Tension Stress	σ_T	0.000 MPa

Maximal Reduced Stress	σ_{red}	153.147 MPa
Maximal Deflection	f_{max}	0.525 microm
Angle of Twist	φ	-1.02 deg

Figura 17. Shear force en eje a motor



Figura 18. Shear Force, YZ Plane en eje a motor

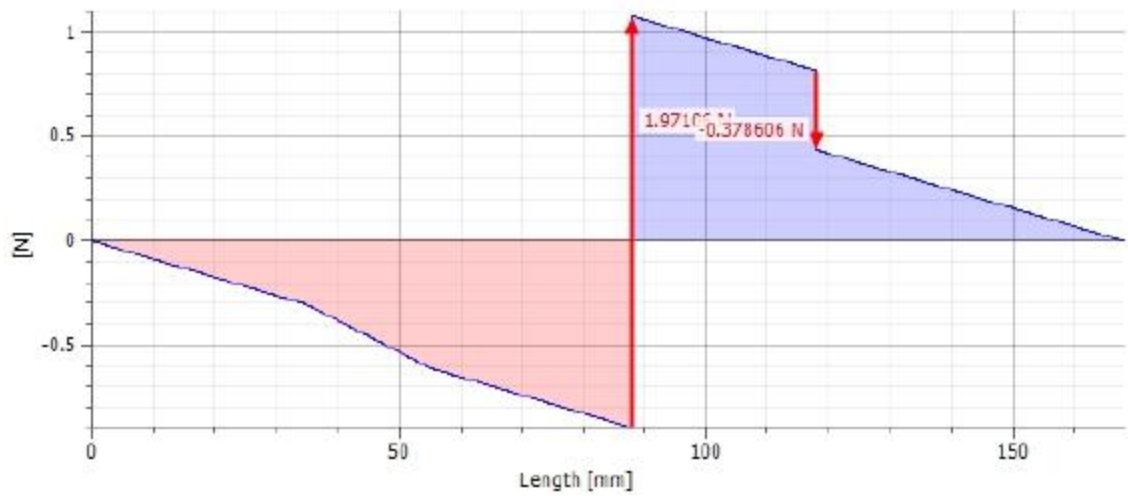


Figura 19. Bending moment en eje a motor

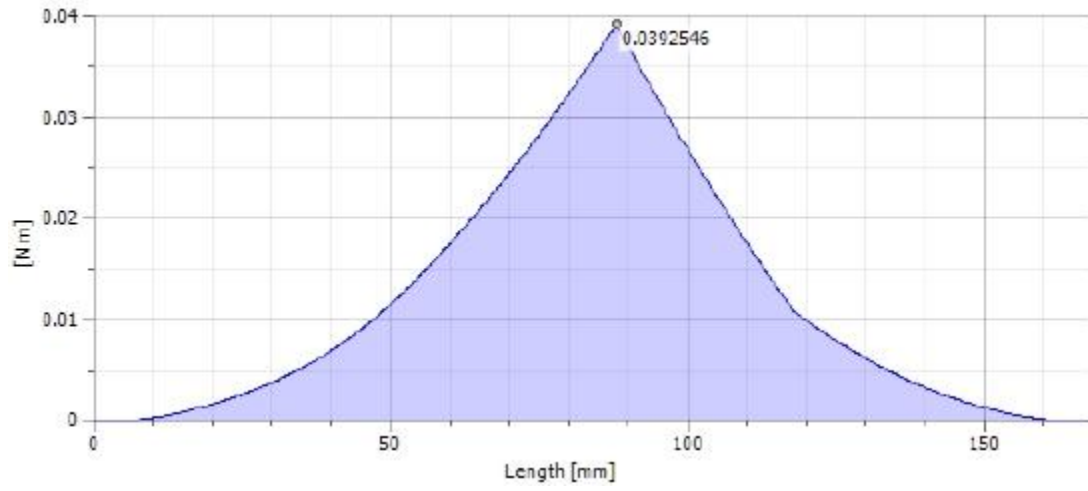


Figura 20. Bending moment, yz plane en eje a motor

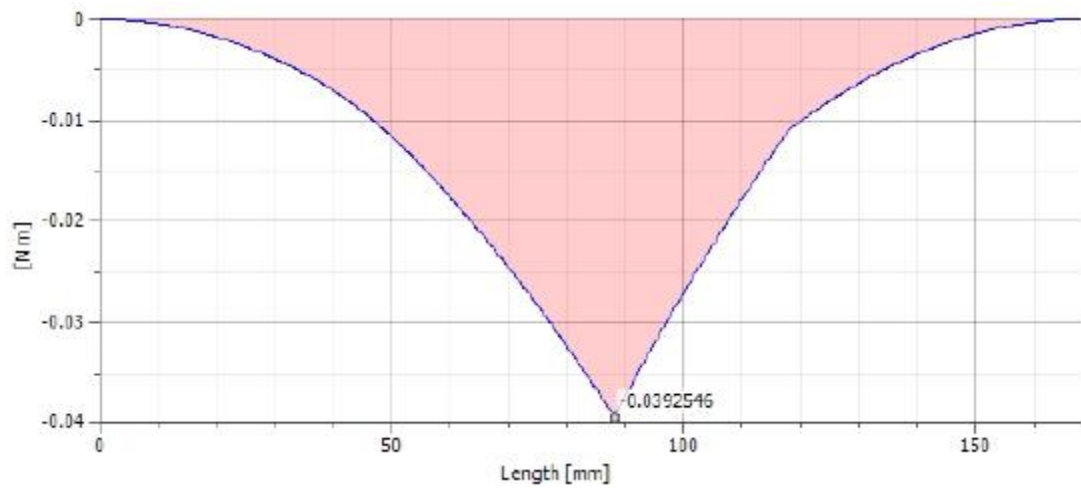


Figura 21. Deflection angle en eje a motor

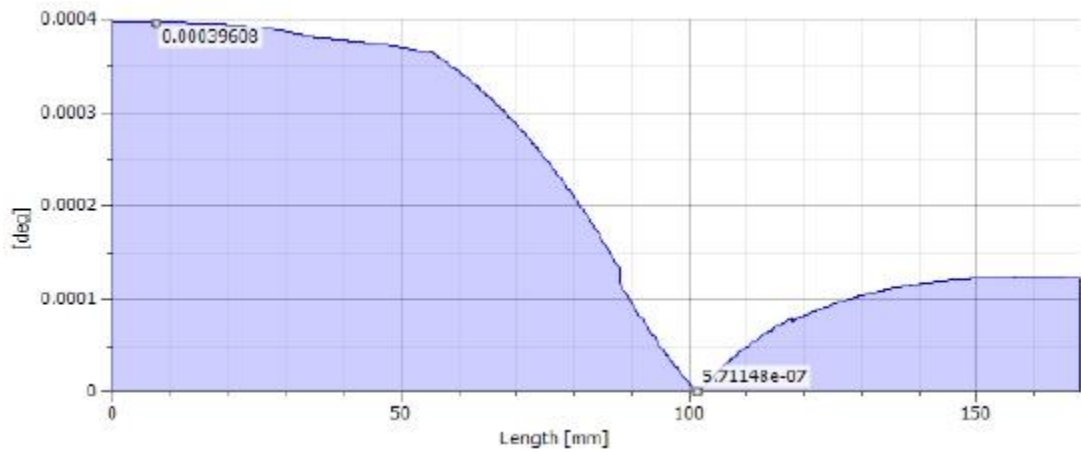


Figura 22. Deflection en eje a motor

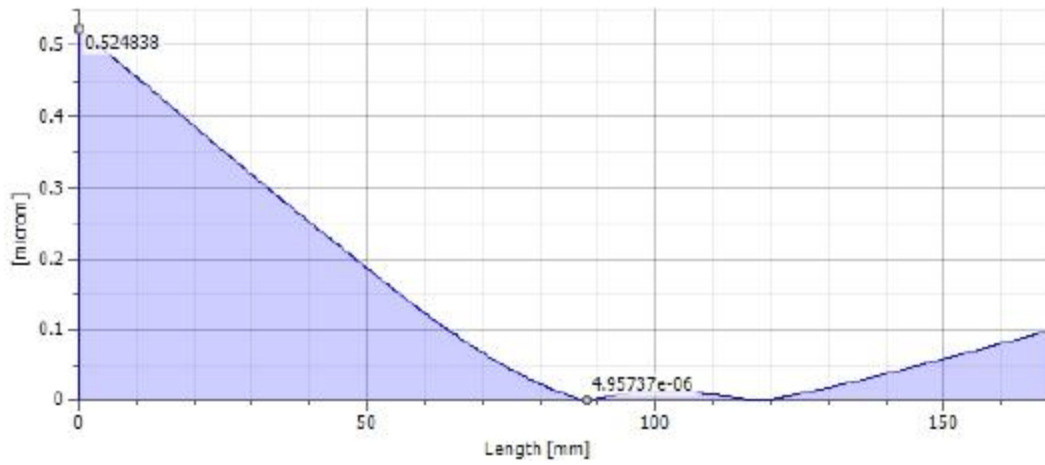


Figura 23. Deflection, yz plane en eje a motor

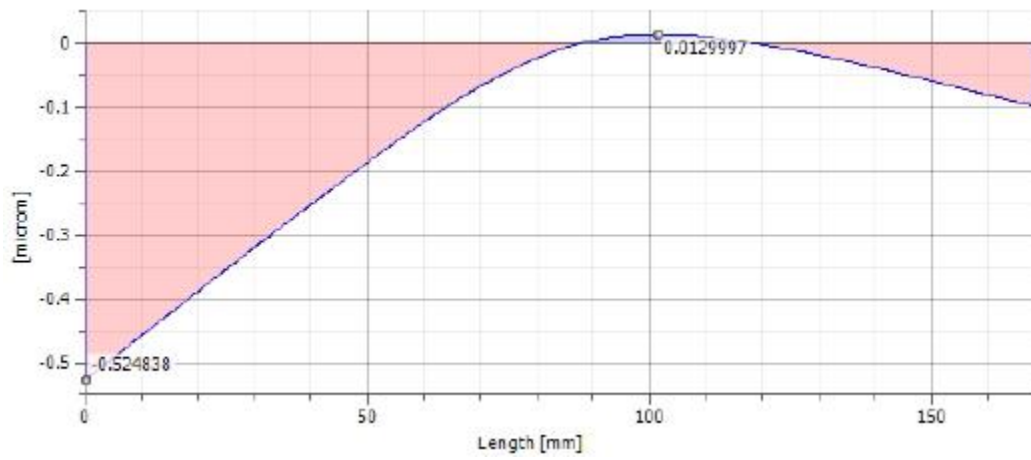


Figura 24. Bending stress en eje a motor

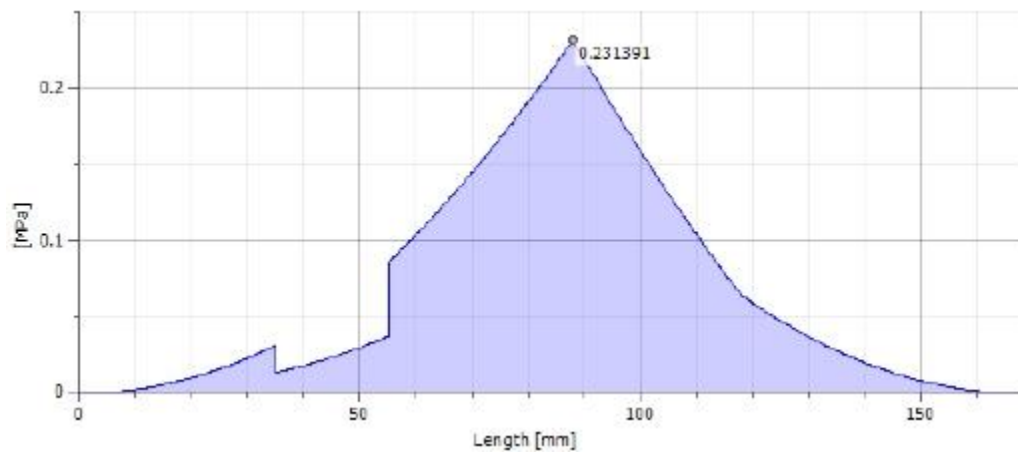


Figura 25. Bending stress, yz plane en eje a motor

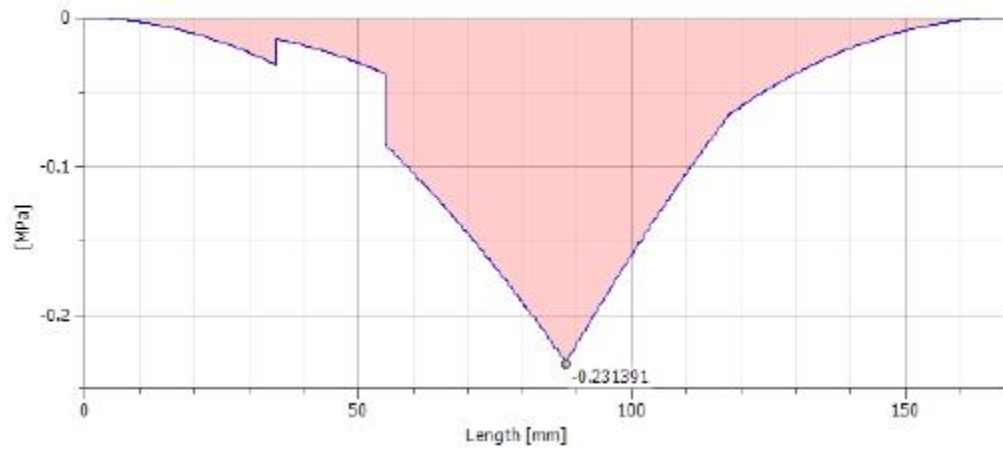


Figura 26. Shear stress en eje a motor

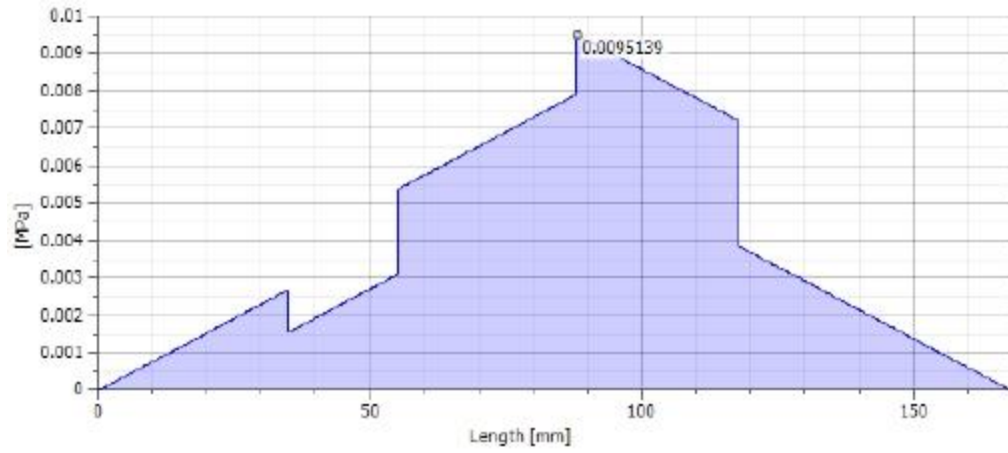


Figura 27. Shear stress, yz plane en eje a motor

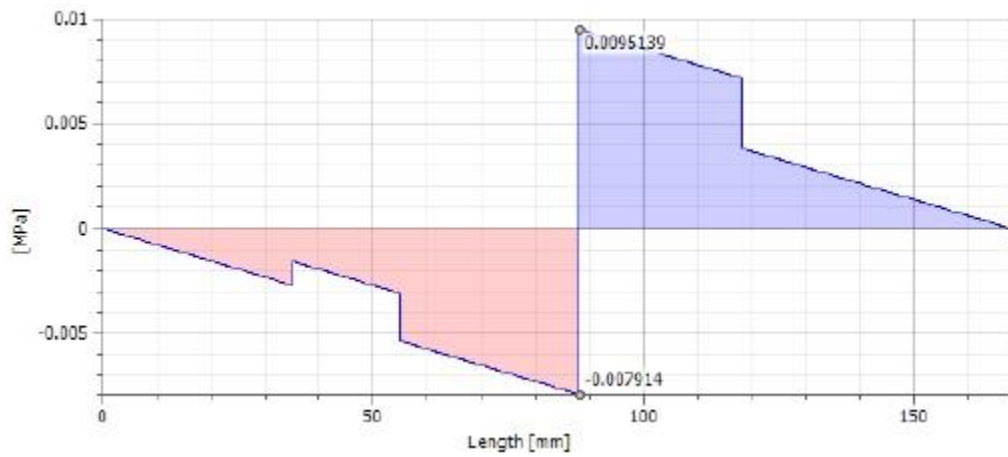


Figura 28. Torsional stress en eje a motor

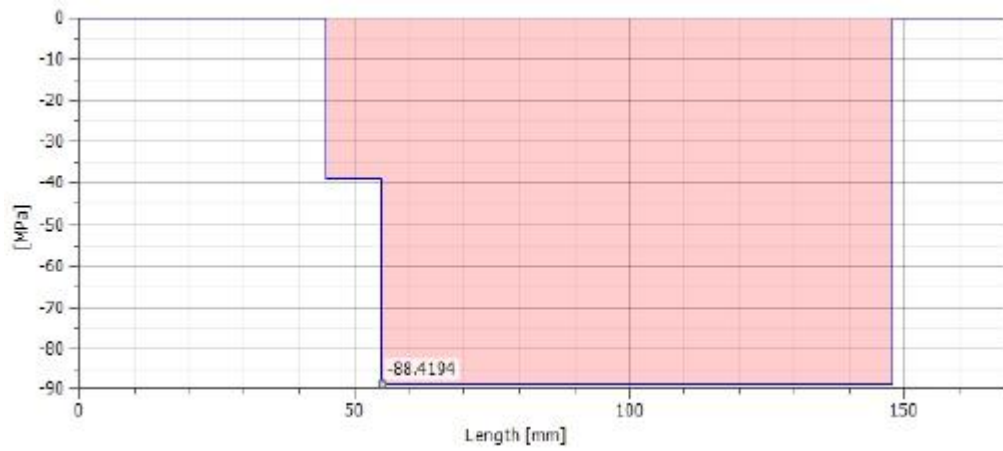


Figura 29. Eje de soporte

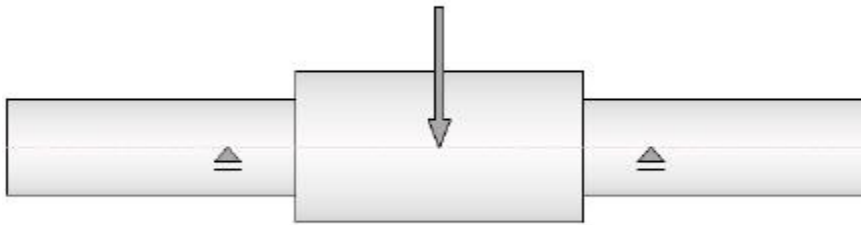


Tabla 6. Cargas en eje de soporte

Index	Location	Radial Force				Deflection				Deflection Angle
		Y	X	Size	Direction	Y	X	Size	Direction	
1	60 mm	156.800	156.800	N	N	-1.766	1.766	180.00	microm microm deg	0.00 deg

Tabla 7. Análisis de eje de soporte

Length	L	120.000 mm
Mass	Mass	0.160 kg
Maximal Bending Stress	σ_B	4.277 MPa
Maximal Shear Stress	τ_s	0.698 MPa
Maximal Torsional Stress	τ	0.000 MPa
Maximal Tension Stress	σ_T	0.000 MPa
Maximal Reduced Stress	σ_{red}	4.444 MPa
Maximal Deflection	f_{max}	2.249 microm
Angle of Twist	φ	0.00 deg

Figura 30. Shear force en eje de soporte

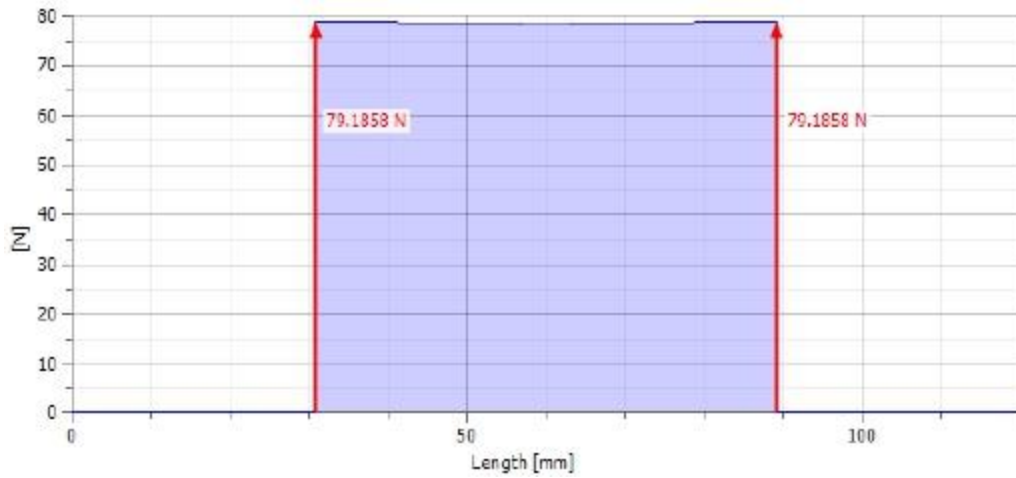


Figura 31. Shear force, yz plane en eje de soporte

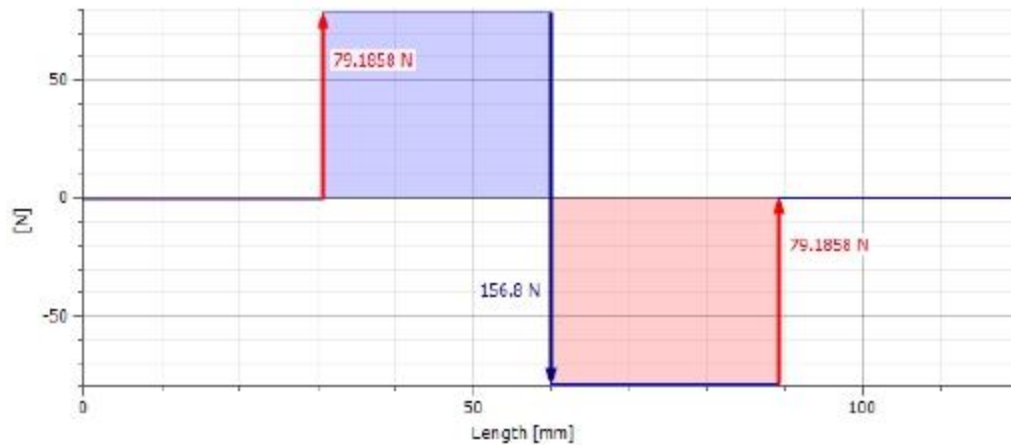


Figura 32. Bending moment en eje de soporte

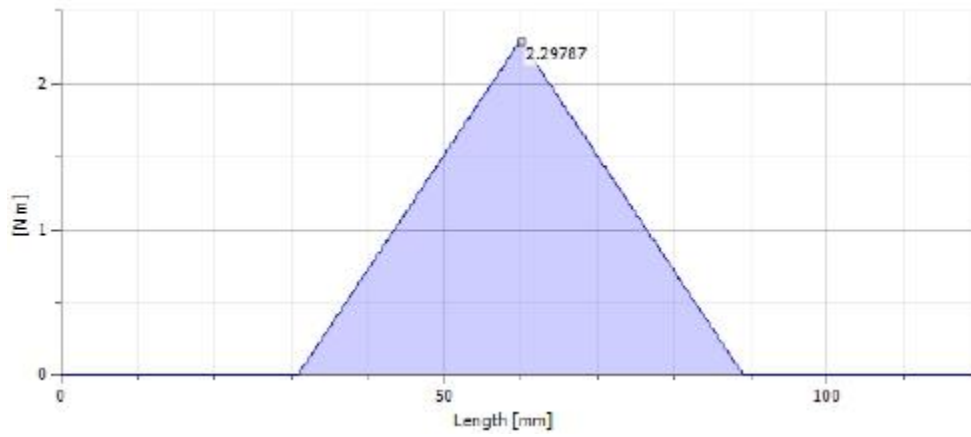


Figura 33. Bending moment, yz plane en eje de soporte

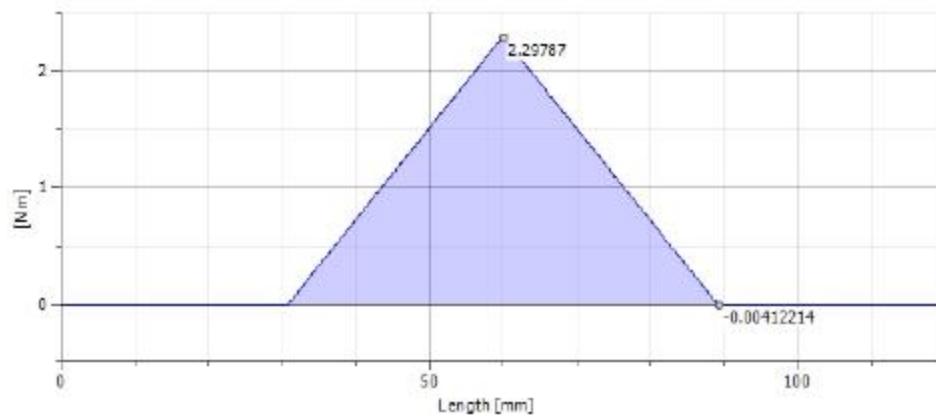


Figura 34. Deflection angle en eje de soporte

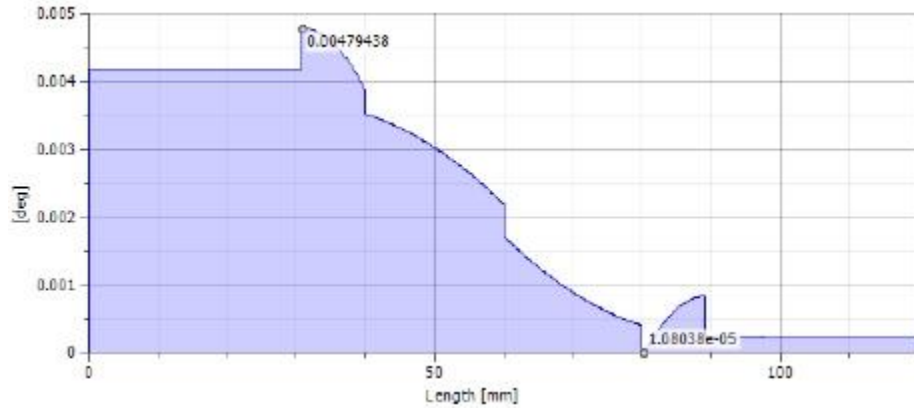


Figura 35. Deflection angle, yz plane en eje de soporte



Figura 36. Deflection en eje de soporte

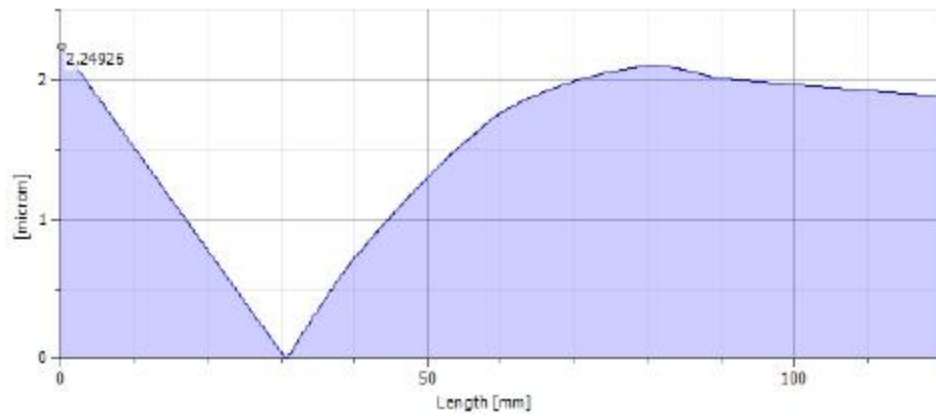


Figura 37. Deflection, yz plane en eje de soporte

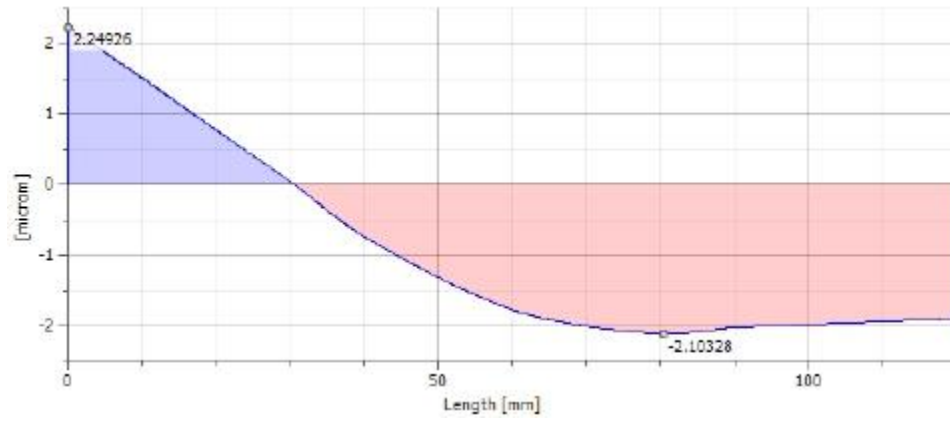


Figura 38. Bending stress en eje de soporte

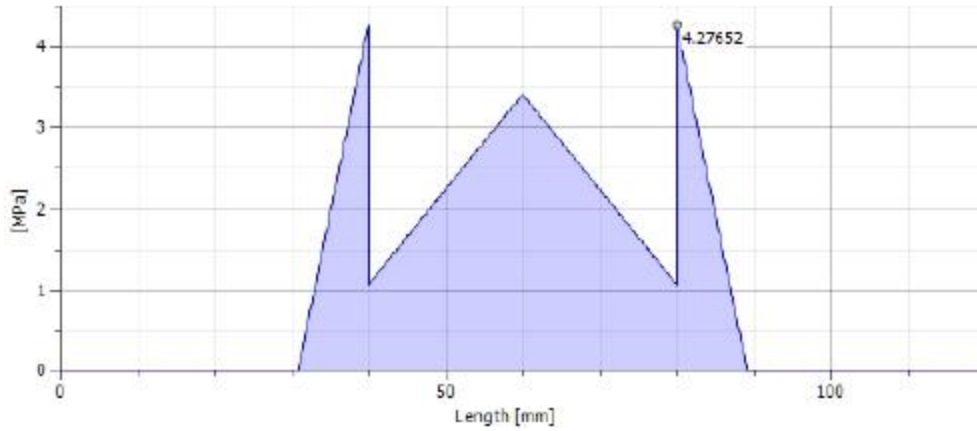


Figura 39. Shear stress en eje de soporte

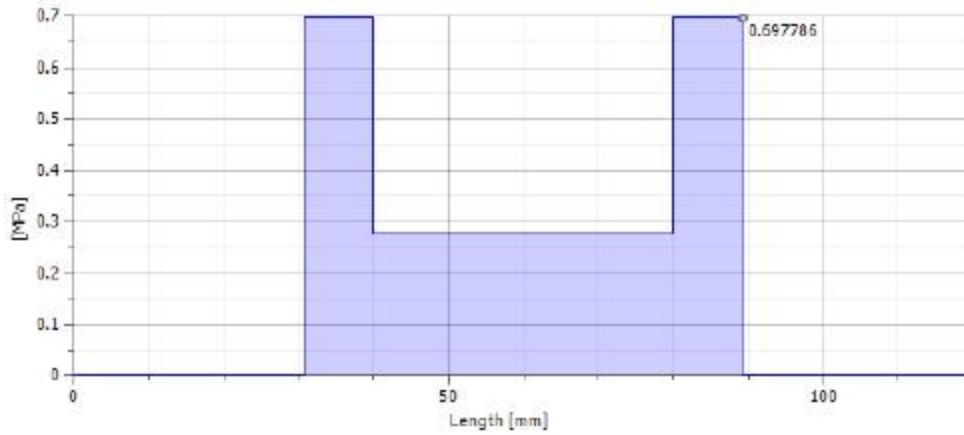
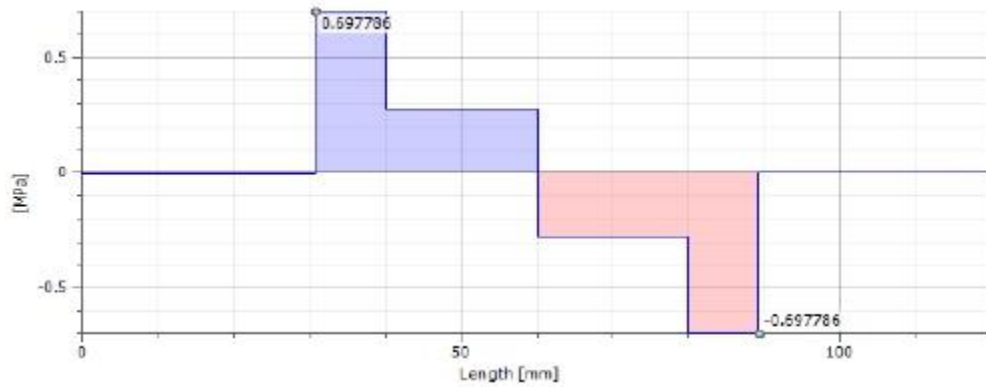


Figura 40. Shear stress, yz plane en eje de soporte



También, como se puede apreciar, para ambos casos, los esfuerzos provocados por toques y cargas están muy alejados de ser un problema para el funcionamiento del sistema, pues en ambos casos se obtuvieron factores de seguridad mayores a 100 unidades.

4. Selección de motores

Igualmente, puesto que se constaba con los motores del robot explorador original, se decidió utilizar estos para darle movimiento al nuevo, los cuales eran motores de limpia parabrisas de un automóvil convencional. Asimismo, se realizaron algunas pruebas para determinar la potencia eléctrica y el par de torsión que ofrecían estos, al encontrar los siguientes resultados:

a. Cálculo de potencia eléctrica

El cálculo de potencia eléctrica se realizó junto con el estudiante José Javier Mérida, como parte del “Megaproyecto de reingeniería de Megaproyectos Fase I”. Asimismo, para lograrlo se diseñó una estructura sobre la cual se podía agregar masas al motor, al variar dichas masas, el voltaje con el cual se alimentaba el motor y al medir la corriente consumida, se encontraron los siguientes resultados:

Tabla 8. Potencia consumida sin carga al variar voltaje

Voltaje (V)	Corriente (A)	Potencia (W)
0	0	0
1	1.276	1.276
1.5	1.38	2.07
2	1.46	2.92
2.5	1.82	4.55

Voltaje (V)	Corriente (A)	Potencia (W)
3	1.9	5.7
3.5	2.18	7.63
4	2.26	9.04
4.5	2.47	11.115
5	2.774	13.87
5.5	2.832	15.576
6	2.84	17.04
6.5	3.056	19.864
7	3.16	22.12
7.5	3.226	24.195
8	3.294	26.352
9	3.556	32.004
10	3.64	36.4
11	4	44
11.5	4.128	47.472

Tabla 9. Potencia al variar la masa alimentando el motor con 4V

Masa (kg)	Potencia (W)
0.25	9.28
0.5	9.288
1	9.24
1.5	9.4
2	9.488
2.5	9.504
3	9.624
3.5	9.6

Tabla 10. Potencia al variar la masa alimentando el motor con 5V

Masa (Kg)	Potencia (W)
0.25	13.2
0.5	13.3
1	13.33
1.5	13.4
2	13.5
2.5	13.5
3	13.5
3.5	13.6

Tabla 11. Potencia al variar el peso alimentando el motor con 6V

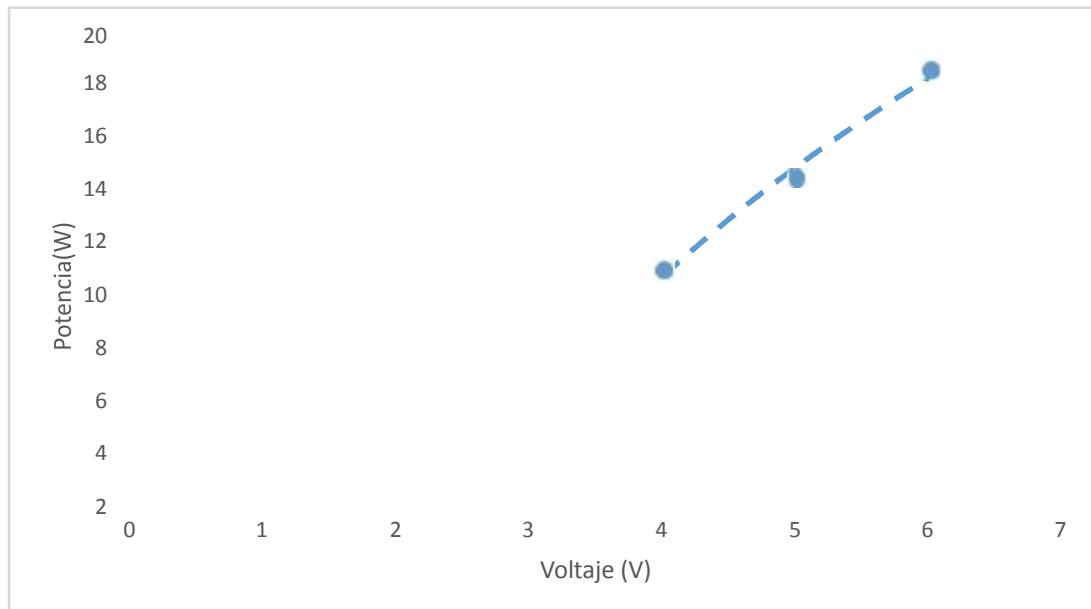
Masa (Kg)	Potencia (W)
0.25	17.04
0.5	17.364
1	17.58
1.5	17.64
2	17.82
2.5	18
3	18.216
3.5	18.24

Además, se calculó la potencia estimada la cual el motor consumiría al utilizar estos voltajes con un peso de 30 Kg, para poder poseer una relación de la potencia con el voltaje y peso del robot explorador:

Tabla 12. Valores de Potencia con carga de 30 Kg a diferentes voltajes

Función de Voltaje	Potencia con 30Kg (W)
4V	9.86867
5V	13.85289
6V	18.567752

Figura 41. Relación voltaje-potencia con 30Kg de carga



De la misma manera, al utilizar la función obtenida en esta relación, se estimó el valor de la potencia consumida con carga de 30Kg y con 12V de alimentación:

$$Potencia = 21.322 \ln(x) - 19.93$$

Al evaluar la función en $x = 30$, se obtiene una potencia de 52.59W

b. Cálculo de torque ofrecido por el motor

Del mismo modo, este cálculo fue bastante más simple que el anterior, pues se utilizó un freno Prony para medir dicho valor.

El principio del funcionamiento de este mecanismo es frenar el motor a toda marcha y ver el valor de peso el cual este puede mover, al estar sujeto a una barra de longitud conocida es fácil de calcular el par torsor.

La dificultad que presentó este experimento fue que el freno Prony disponible en la Universidad está diseñado para motores de combustión interna, por lo cual el método de freno es distinto. Sin embargo, se diseñó un acople especial para adaptar el motor eléctrico disponible a dicho mecanismo. También, se encontró que el valor del torque del motor era de 33.72 Nm.

5. Verificación y validación

a. Plan de verificación

Tabla 13. Plan de verificación

Numeración	Aspecto	Estado
1	Grasa en cadenas con buen nivel de limpieza	
2 b	Sistema eléctrico operando correctamente	
3	Corriente eléctrica apropiada	
$\frac{P}{l}$ 4	Pernos ajustados	
$\frac{a}{n}$ 5	Cables sin contacto a partes metálicas	
6	Sensores calibrados	

de mitigación de riesgos

Tabla 14. Nomenclatura para identificación de riesgos

IDENTIFICACIÓN

RSO-STR-00

Riesgo estructural

R	IDENTIFICACIÓN	RIESGO	MITIGACIÓN
S	RSO-STR-01	Corrosión en la estructura	Proporcionar tratamiento anticorrosivo.
O			
-	RSO-STR-02	Pernos no ajustados	Ajustar pernos, cambiar las arandelas.
M			
N	RSO-MNT-01	Fallo por cadena de oruga mal lubricada	Retirar oruga, limpiar la grasa sucia existente y reemplazarla.
T			
-	RSO-ELE-01	Cortocircuito	Revisar y reemplazar componentes eléctricos dañados.
0			Revisar conexiones y corregir las dañadas.
0			

R

Riesgo de mantenimiento

RSO-ELE-00

Riesgo eléctrico

Tabla 15. Identificación de riesgos y mitigación

D. Fase de manufactura y validación del sistema

1. Manufacturación del sistema / Maquinado de piezas

Igualmente, debido a los requerimientos del sistema, fue necesario el maquinar piezas para este, y estos procesos se realizaron tanto en torno como en impresora 3D.

a. Ejes

Asimismo, fue necesario maquinar los ejes de acero que proporcionarían movimiento al explorador, para esto se siguieron los planos vistos en las Figuras No. 42 y 43, y se maquinaron en el torno del Taller de metal mecánica de la Universidad del Valle de Guatemala:

b. Ensamblaje

Además, al poseer todos los elementos necesarios, se prosiguió a ensamblar el robot, para esto se utilizaron los tornillos M4, las juntas adquiridas con los perfiles de aluminio y todas las juntas y uniones extras diseñadas y manufacturadas en la impresora 3D.

El resultado final fue un robot ensamblable dividido en dos partes, el chasis y la estructura de la oruga, lo cual es posible observar en las Figuras No. 44 y 45.

Figura 44. Estructura de oruga, responsable de la tracción del explorador

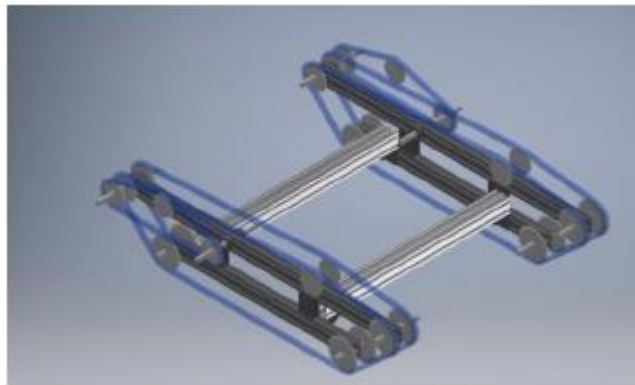


Figura 45. Ensamble final del robot explorador



IV CONCLUSIONES

- 1) Se logró diseñar y construir el robot explorador de manera satisfactoria.
- 2) Los altos factores de seguridad son un indicador de que se manufacturó cada elemento mecánico del sistema, con el fin de evitar fallas en este.
- 3) El tipo de tracción construida en el explorador garantiza su buen desplazamiento en terrenos irregulares.
- 4) La manera en la cual el explorador fue construido garantiza su fácil ensamblaje, lo que posee grandes beneficios en el ámbito académico.
- 5) Se logró calcular la potencia mecánica de los motores mediante el mecanismo “freno de Prony”, el cual mide el torque ofrecido por el motor eléctrico al simular un abrazo con fuerzas aplicadas.

V. RECOMENDACIONES

- 1) Brindar mantenimiento trimestral al robot al seguir los lineamientos indicados en el Plan de verificación.
- 2) En caso de fallas, seguir el Plan de mitigación de riesgos.
- 3) Dada la relevancia del Proyecto, brindar continuación a este en Megaproyectos futuros, para que logre su cometido inicial.
- 4) Utilizar motores de los cuales se posea una hoja de datos, en la cual se pueda obtener valores más confiables acerca de sus propiedades. Así, se puede mejorar el diseño tanto mecánico como electrónico.

VI. BIBLIOGRAFÍA

- 1) Rivera, L., *et al.* 2005. *Trabajo de graduación en modalidad de Megaproyecto: Sistema Explorador Robotizado y Autárquico*. Guatemala: Universidad del Valle de Guatemala..
- 2) Guzmán, Miguel. *Diseño y construcción del vehículo para un sistema explorador robotizado y autárquico*. Guatemala: Universidad del Valle de Guatemala. 73 págs.
- 3) Castillo, S., *et al.* 2008. *Trabajo de graduación en modalidad de Megaproyecto: Robot explorador*. Guatemala: Universidad del Valle de Guatemala. 95 págs.
- 4) Shigley, J. y C. Mischke. 1998. *Diseño de ingeniería mecánica*. México: McGraw-Hill Interamericana de México. 5^{ta} ed. 883 págs.
- 5) Exxon Mobile. *Santoprene coefficient friction*. <http://www.exxonmobilchemical.lu/Chem-English/Files/Resources/Content/tl-santoprene-coefficient-friction-steel-aluminum-pp.aspx> [2017]
- 6) ASCENT. *Autodesk Inventor 2017 Advanced Part Modeling*.[https://www.ascented.com/courseware-solutions/autodesk/courseware/autodesk-inventor/2017/autodesk-inventor-2017-\(r1\)-advanced-part-modeling](https://www.ascented.com/courseware-solutions/autodesk/courseware/autodesk-inventor/2017/autodesk-inventor-2017-(r1)-advanced-part-modeling) [2017]
- 7) ASCENT. *Autodesk Inventor 2017 Design Tools and Strategies – Mixed Units*.
<https://www.ascented.com/courseware-solutions/autodesk/courseware/autodesk-inventor/2017/inventor-2017-design-tools-and-strategies-mixed> [2017]
- 8) S.A. *Tecnología del taller mecánico. 1 Máquinas y herramientas. Serie Métodos gráficos de Aprendizaje “FASE A FASE”*. Barcelona: Editorial CEAC. 1972.
- 9) AEC. *Aluminium Extrusion Manual*
<https://www.nxtbook.com/nxtbooks/aluminumextruders/aluminumextrusionmanual4/index.php#/1>
- 10) Learning Engineering. *Dc Motor, How it Works?*. <http://www.learnengineering.org/2014/09/DC-motor-Working.html>