

Universidad Autónoma de Querétaro

Facultad de Ingeniería

Desarrollo de un robot móvil para competencia Robot Rescue Major.

TESIS

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de Ingeniero en Automatización con Línea Terminal en Mecatrónica | Instrumentación y Control de procesos.

Presenta:

Ivan Santiago Salinas Lopez
Yadel Eduardo Vázquez Romero

Dirigido por:

Dr. Gerardo Israel Pérez Soto

Codirigido por:

Dra. Karla Anhel Camarillo Gómez

Índice

1. Introducción	3
1.1. Antecedentes	3
1.2. Justificación	4
1.3. Descripción del problema	4
1.4. Objetivos	4
1.4.1. Objetivo general	5
1.4.2. Objetivos específicos	5
2. Fundamentación Teórica	6
2.1. Robótica móvil	6
2.1.1. Robótica	6
2.1.2. Robot	6
2.1.3. Robots móviles	7
2.2. Descripción de la competencia	9
2.2.1. Consulta de lineamientos del manual de RoboCup Rescue	10
2.3. Teoría de falla de Von Mises	14
2.3.1. El diseño en Ingeniería	14
2.3.2. Fases del proceso de diseño	14
2.3.3. Resistencia estática	14
2.3.4. Teorías de falla	14
2.3.5. Teoría de la energía de distorsión para materiales dúctiles	15
2.3.6. Teoría de falla de Von Mises	16
2.4. Visión	16
2.5. OpenCV	17
2.5.1. OpenCV-Python	18
3. Desarrollo del robot móvil Kahlo	20
3.1. Metodología	21
3.2. Diseño conceptual	23
3.3. Primer diseño conceptual	24
3.3.1. Análisis estático del soporte del sistema de tracción	24
3.3.2. Selección de componentes	29
3.3.3. Desempeño y comprensión de las capacidades de Kahlo	31
3.4. Segundo diseño conceptual	32
3.4.1. Análisis estático de sistema de tracción	32
3.4.2. Análisis de Esfuerzos de los Elementos Críticos del Robot	33
3.4.3. Elementos críticos	33
3.4.4. Desempeño y comprensión de las capacidades de Kahlo	34
3.5. Tercer diseño conceptual.	36
3.5.1. Análisis estático	36
3.5.2. Selección de componentes	41
3.5.3. Desempeño y comprensión de las capacidades de Kahlo	42

4. Interfaz Gráfica y Sistema de Visión	43
4.1. Interfaz de usuario	43
4.1.1. Descripción de iconos dentro de la interfaz	44
4.2. Sistema de visión desarrollado para la competencia RoboCup Rescue Major .	46
4.3. Detección de víctimas.	46
4.4. Código QR	47
4.5. Señalética	48
5. Resultados y Conclusiones	52
5.1. Desempeño	52
Referencias	55

1. Introducción

En esta sección se mencionan los antecedentes del proyecto con el fin de explayar las bases desde las cuales se desarrolla. Un robot de la línea Robot Rescue puede definirse como un robot móvil cuyo diseño está orientado a actividades de inspección y rescate, con características útiles para la asistencia de cuerpos de rescate. En el presente trabajo, se presenta el desarrollo un robot de rescate que es capaz de llevar a cabo las pruebas en la competencia de robotica RoboCup Rescue Major - en el Torneo Mexicano de Robotica.

1.1. Antecedentes

En la literatura se encuentran reportados numerosos desarrollos de robots de rescate, algunos ejemplos son; el robot diseñado y construido por S. Kang *et al.* [11] llamado ROBHAZ-Rescue". El robot ROBHAZ-Rescue cuenta con un diseño de mecanismo de eslabonamiento pasivo del cuerpo trasero con el delantero que le permite adaptarse y moverse por terrenos irregulares, incluyendo escaleras. Por su parte, T. Kamegawa *et al.* [12] desarrollaron al robot de rescate "KOHGA", el cual, es un robot tipo serpiente formado por múltiples vehículos impulsados con orugas conectados en serie por medio de articulaciones pasivas de 3-DOF y activas de 2-DOF dando como resultado un robot con estructura larga y esbelta capaz de moverse por espacios reducidos e irregulares, así como trepar obstáculos. De forma similar, H. Tsukagoshi *et al.* [13] propusieron un pequeño robot de rescate diseñado para rodar sobre superficies planas y saltar sobre obstáculos y superficies irregulares, el robot emplea potencia eléctrica para rodar mientras que para saltar utiliza un pistón neumático impulsado por aire comprimido. S. A. A. Moosavian *et al.* [14] diseñaron un robot que integra un par de brazos compuestos por un mecanismo de orugas ajustable que no sólo le permite variar su tamaño dependiendo del terreno encontrado, sino también escalar obstáculos o subir escaleras. Algunos robots están diseñados para complementar las labores de recate limpiando el terreno o abriendo camino para que otros robots tengan acceso a zonas confinadas, tal es el caso del robot diseñado por J. Tanaka *et al.* [15] equipado con un gato hidráulico capaz de generar 100 KN de fuerza a una presión de 70 MPa con el objetivo de levantar escombros para mantener o hacer espacio para rutas de movimiento de otros robots de rescate o herramientas de rescate necesarias para rescatar a las víctimas bajo los escombros.

Con el fin de evaluar el desempeño de los robots de rescate en ambientes similares a los que se encontrarían en un despliegue real, la competencia internacional de robótica RoboCup cuenta con la categoría RoboCupRescue, en donde una serie de equipos con desarrollos de robots de rescate propios se enfrentan para evaluar el desempeño de los mismos en diversos ambientes representativos con el fin de extrapolar los desarrollos a robots de recate reales y al mismo tiempo promover la colaboración entre investigadores [16]. En este trabajo se presenta el diseño y construcción de un robot móvil impulsado por un mecanismo de orugas que le brindan la capacidad de moverse en superficies irregulares como arena, grava o superficies lisas con pendientes pronunciadas. El robot se diseña de tal forma que cumpla con los requerimientos necesarios para participar en la competencia RoboCup Rescue Major-TMR.

1.2. Justificación

En la actualidad, los avances tecnológicos en el área de la robótica incitan a desarrollar robots capaces de moverse a través de áreas sinuosas, resultado del colapso de edificios o estructuras posteriores a un desastre, realizando tareas de recolección de información vital para determinar tanto el grado de emergencia del desastre como la existencia de sobrevivientes. Estos robots reciben el nombre de robots de rescate. Por la naturaleza de la actividad que desarrollan, los robots de rescate se deben de diseñar de tal forma que puedan llevar a cabo las siguientes tareas:

- Búsqueda de víctimas y detección de peligros potenciales.
- Inspección de estructuras.
- Transporte de medicinas y suministros a zonas de difícil acceso.
- Actuar como repetidores de señal para ampliar los rangos de comunicación

Las tareas antes mencionadas se desempeñan en ambientes tales como el interior de estructuras colapsadas, en cuevas o túneles, y deben de ser llevadas a cabo de forma rápida y ordenada sin incrementar el riesgo en el que se encuentran las víctimas o los equipos de rescate [10].

El equipo LYNXBots ha participado de manera satisfactoria en diversas competencias nacionales e internacionales de robótica, representando a la Facultad de Ingeniería y a la universidad. Para darle un seguimiento apropiado a este proyecto es necesario no solo seguir trabajando acorde a las competencias en las que ya se ha participado, si no también diversificar las mismas, participando en nuevas categorías como lo es el área de respuesta y rescate. El equipo LYNXBots-recue se ha enfocado a lo largo de los últimos 3 años en el diseño y desarrollo de robots móviles de rescate bajo los lineamientos propuestos por RoboCup Rescue Robot League.

1.3. Descripción del problema

Los desastres naturales tales como terremotos, maremotos e incendios, al igual que los accidentes a gran escala que derivan en el colapso de edificios o estructuras, representan algunos de los eventos que registran una gran cantidad de pérdidas humanas y materiales. En el pasado, cuando los eventos antes mencionados tenían lugar, se requería una gran cantidad de capital humano para realizar las labores de remoción de escombros, así como las labores de búsqueda y rescate de cuerpos y sobrevivientes, estas labores tomaban un tiempo considerable ya que se tiene que trabajar en un terreno irregular con condiciones muchas veces representa un peligro inminente para la vida humana [9].

1.4. Objetivos

El objetivo general y los objetivos particulares se presentan a continuación.

1.4.1. Objetivo general

Diseñar, desarrollar e instrumentar un robot móvil teleoperado, orientado a competencias de robótica en el área de respuesta y rescate, respetando las pautas establecidas por RoboCup Rescue Major-TMR y las simulaciones correspondientes a cada una de las etapas en donde se requiera, para ampliar el número de competencias de robótica en las cuales la Facultad de Ingeniería participa, así como sentar un precedente para el seguimiento del proyecto por futuras generaciones.

1.4.2. Objetivos específicos

- Diseñar el chasis del robot móvil “Kahlo” implementando análisis de esfuerzos por elemento finito y tomando en cuenta las pautas de Robocup Rescue Major-TMR para la implementación del sistema de tracción, así como los demás sistemas que lo conforman.
- Seleccionar los materiales comerciales para el diseño de los elementos que comprende el robot móvil.
- Desarrollar un pre-prototipo del robot móvil “Kahlo” mediante la implementación de materiales comerciales para una previa muestra de la distribución de los sistemas y contemplar posibles cambios.
- Rediseñar el robot móvil “Kahlo” con la retroalimentación obtenida del pre-prototipo para realizar las correcciones y actualizaciones necesarias.
- Desarrollar la construcción del robot móvil “Kahlo” con sistema de tracción por orugas implementando las correcciones y actualizaciones correspondientes para la implementación de los sistemas que comprenden al robot.
- Instrumentar el robot móvil “Kahlo” con base a los dispositivos eléctricos-electrónicos adquiridos para su puesta en marcha.
- Implementar el sistema de visión del robot móvil “Kahlo” que cumpla con los requisitos seleccionados de la descripción de la competencia RoboCup Rescue Major-TMR para proporcionar un medio de visualización para el operador del robot.
- Probar que el conjunto de sistemas implementados en el robot móvil “Kahlo” se desempeñe de forma adecuada mediante pruebas tipo competencia o competencia RoboCup Rescue Major-TMR
- Desarrollar una interfaz de usuario que permita la comunicación remota con el robot de la manera más sencilla e intuitiva posible, así como la visualización de los parámetros correspondientes a los sensores.

2. Fundamentación Teórica

Este capítulo es dedicado a proporcionar nociones básicas sobre el estado del arte en cuanto a la robótica, así como a proporcionar el contexto sobre la problemática involucrada en cuanto al diseño, desarrollo e implementación de un robot de móvil. Igualmente se presenta una clasificación entre distintas categorías de robots, tales como robots teleoperados, robots de funcionamiento repetitivo y robots autónomos. Se plantea un esquema respecto a la composición de los mismos, seccionando en el área de diseño mecánico, telemetría y visión.

2.1. Robótica móvil

2.1.1. Robótica

El desarrollo de la robótica ha permitido la aplicación de diversos tipos de robots en desastres naturales, accidentes nucleares, localización de naufragios, exploración de volcanes, entornos peligrosos y viajes espaciales. Han evolucionado la manera en la que construimos, mantenemos la seguridad pública, el modo en que producimos y distribuimos energía y alimentos al mundo. Son también una herramienta para producir, trabajar y realizar labores peligrosas o con un ambiente en el que se ve imposible la intervención humana de forma directa. La robótica experimenta un crecimiento acelerado debido a los avances en los campos de la computación, instrumentación, electrónica, programación e informática.

Es posible que al escuchar el término robot, confluyan las imágenes de máquinas para la realización de trabajos productivos y de imitación de movimientos y comportamientos de seres vivos. Los robots actuales son obra y consecuencia del desarrollo de la ingeniería y como tales, concebidas para producir bienes y servicios o explotar recursos naturales a favor y servicio de la humanidad. Desde esta perspectiva son máquinas con las que se continúa una actividad que parte de los propios orígenes de la humanidad y que desde el comienzo de la edad moderna se fundamenta esencialmente en el conocimiento científico y el progreso tecnológico, es por esto que fue posible que los robots evolucionaran de tener como único objetivo la amplificación de la potencia muscular del hombre sustituyendo el trabajo físico manual, a transformarse en máquinas que además de esto, también son capaces de procesar información, complementando, o incluso sustituyendo al hombre en actividades intelectuales y/o cognitivas, sobre todo las relacionadas con el análisis de una gran cantidad de datos [8].

2.1.2. Robot

El término robot aparece por primera vez en 1921, se hace mención de la palabra en la obra R.U.R (Rossum's Universal Robots) del novelista y autor Karel Capek en cuyo idioma la palabra robot significa fuerza del trabajo o servidumbre. El término tuvo una amplia aceptación y se vio adoptado para los autómatas construidos en los años veinte y treinta que eran exhibidos en ferias promocionando productos y películas, dichos autómatas intentaban imitar movimientos de seres vivos, sin embargo también se demostraron técnicas de control remoto. Los robots industriales manan de la confluencia de las tecnologías correspondientes al control automático de máquinas, herramientas de manipuladores teleoperados y de la aplicación de computadores con la capacidad de operar en tiempo real. Mediante la aplicación del control automático se pretende concebir y realizar robots que permitan desempeñar un

proceso sin la intervención de agentes exteriores, especialmente de la intervención directa del hombre. En el año de 1972, aparece el microprocesador, este elemento propició de manera directa el impulso para la evolución del control automático por medio de computadores, esto hizo rentable numerosas aplicaciones entre las cuales se encuentra la ya mencionada inquietud por evitar la intervención directa del hombre en una actividad específica desempeñada por un robot.

Es posible definir a un robot como una máquina en la que se ven integrados tanto componentes mecánicos y eléctricos, así como electrónicos y de comunicaciones, esto aunado a la dotación de un sistema informático para el procesamiento y control de datos en tiempo real a través de la percepción de su entorno por medio de instrumentación. En la Figura 2.1 se muestra el esquema básico de un robot. En ella se identifica un sistema mecánico, actuadores, sensores y el sistema de control. Son los elementos básicos necesarios para cerrar el bucle de control [8].

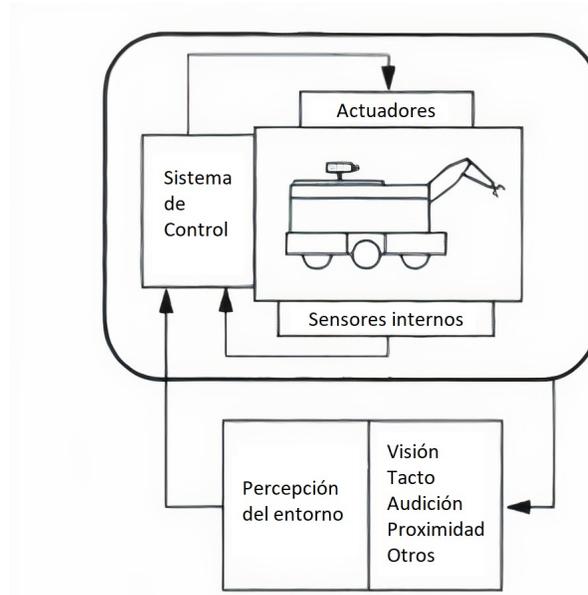


Figura 2.1: Esquema básico de un robot móvil. [8]

Para el procesamiento de información, en la robótica se involucran funciones de control de movimientos, percepción del entorno y planificación por medio de procesamiento. El sistema de control involucra tanto bucles de retroalimentación de la información procesada suministrada por los sensores internos, así como externos correspondientes al entorno. Los sensores internos miden el estado de la estructura mecánica y en particular giros o desplazamientos relativos entre articulaciones, velocidades, fuerzas y pares. Los sensores externos permiten dotar de sentidos al robot. La información que suministran es utilizada por el sistema de percepción para interactuar con el entorno [8].

2.1.3. Robots móviles

El desarrollo de robots móviles responde a la necesidad de extender el campo de aplicación de la Robótica, restringido inicialmente al alcance de una estructura mecánica anclada en

uno de sus extremos. También se busca limitar cada vez más la intervención humana durante el desempeño de los mismos.

Robots Autónomos: De acuerdo a su grado de autonomía, los robots pueden clasificarse en robots de funcionamiento repetitivo, teleoperados y autónomos o inteligentes [8].

- Las tareas repetitivas en la industria que conllevan ambientes no favorables respecto a la integridad física del personal, emplean robots de funcionamiento repetitivo, trabajan en condiciones predecibles e invariantes, con una limitada percepción del entorno. Son precisos, de alta repetibilidad y relativamente rápidos.



Figura 2.2: Robot industrial KR 6 R700 five [19].

- En los robots teleoperados, las tareas de percepción del entorno, planificación y manipulación compleja son realizadas por humanos. Es decir, el operador actúa en tiempo real cerrando un bucle de control. Los sistemas evolucionados suministran al operador retroalimentación sensorial del entorno (imágenes, fuerzas, distancias). Estos robots son interesantes para trabajos en una localización remota (acceso difícil, medios contaminados o peligrosos), en tareas difíciles de automatizar u en entornos no estructurados.



Figura 2.3: Robot teleoperado y su estación de operación [18].

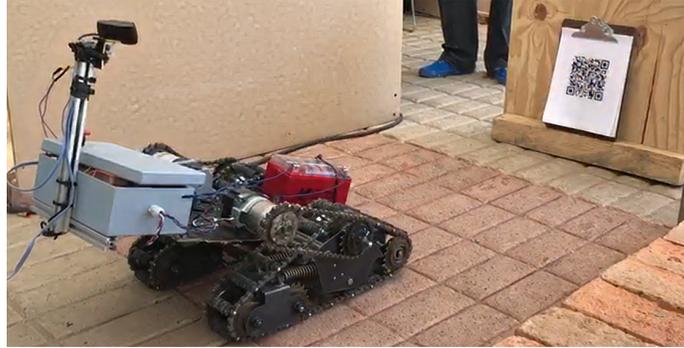


Figura 2.4: Robot de rescate teleoperado "Kahlo", TMR 2019.

El robot de rescate Kahlo se encuentra dentro de la categoría de robot teleoperado Figura 2.4.

- Los robots autónomos o inteligentes son los más sofisticados desde el punto de vista de la retroalimentación de los sensores y el procesamiento de información [8].



Figura 2.5: Robot autónomo "Scout" de Amazon [20].

Son capaces de percibir, modelar el entorno, planificar y actuar para alcanzar objetivos sin la intervención de supervisores humanos. Pueden trabajar en entornos poco estructurados y dinámicos, realizando las acciones en respuesta a contingencias variadas en dicho entorno. Esto los dota de las herramientas necesarias para ser utilizados con fines variados, que van desde fines militares Figura 2.3, aplicaciones industriales Figura 2.2, hasta propósitos comerciales Figura 2.5 [8].

2.2. Descripción de la competencia

RoboCup Rescue Robot League es una liga internacional de robótica cuyo objetivo es fomentar el desarrollo de robots móviles orientados a dar respuesta de emergencia, esto mediante competencias anuales para evaluar y difundir las mejores soluciones en el área. La liga organiza competencias anuales con la finalidad de:

- Aumentar la conciencia sobre los desafíos que implica el desarrollo de robots para aplicaciones de respuesta a emergencias.
- Proveer de evaluaciones objetivas del rendimiento de los robots móviles que operan en entornos complejos.
- Promover la colaboración entre investigadores. Los equipos demuestran sus capacidades en movilidad, percepción sensorial, localización y mapeo, manipulación, funcionalidad de la interfaz del operador y el desempeño autónomo de asistencia.

La competencia RoboCup Rescue esta diseñada para asemejar a los ejercicios de un Robot de respuesta y rescate reales. Cada robot es evaluado y puesto a prueba con métodos estándar durante las competencias preliminares para demostrar la funcionalidad, confiabilidad, habilidad del operador y capacidades autónomas y de asistencia. Los puntajes resultantes los calificaran para una competencia en un escenario más complejo en las finales. Esto permitirá oportunidades de prueba concurrentes para que más robots capturen un rendimiento estadísticamente significativo. También alentará las pruebas en entornos más complejos o difíciles, desafiando a los robots mas allá de su zona de confort para recabar mas puntos.

2.2.1. Consulta de lineamientos del manual de RoboCup Rescue

El desarrollo del robot móvil es proyectado para uso y participación en la competencia Robot Rescue Major, por lo cual, el apego a los lineamientos, establecidos por el Comité Internacional de RoboCup Rescue League [17], es primordial. La competencia está diseñada en torno a métodos estándar de prueba que evalúan las capacidades de cada robot individualmente de una manera sistemática. La competencia consta de 20 pruebas terrestres que se estructuran en cuatro categorías: maniobrabilidad, movilidad, destreza y exploración. A partir de los lineamientos que las rigen se tomaron en cuenta medidas físicas de longitud, consideraciones de diseño respecto a funcionalidad, así como consideraciones de desarrollo de software. No se considera necesario explayar todas las pruebas es posible elegir en que pruebas participará el robot.

- Maniobrabilidad: Consta de 6 pruebas de conducción básica en terrenos intrincados, podrán ser completadas en orientaciones de conducción hacia adelante y hacia atrás para robots teleoperados.

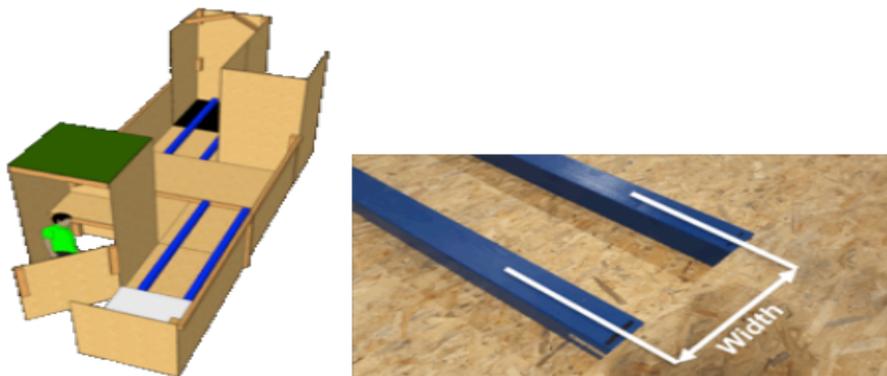


Figura 2.6: Pruebas de maniobrabilidad [?].

En una de las pruebas se alinean dos barras para cruzar, estas se establecen en la dimensión exterior del contacto con el suelo del robot, de las definiciones de las pruebas de la competencia se toman las restricciones asociadas a la longitud y el peso del robot, Figura 2.6.

- Movilidad: Consta de 5 pruebas de conducción por terrenos de dificultad media a difícil. Los robots pueden dar la vuelta (cambiar de dirección).

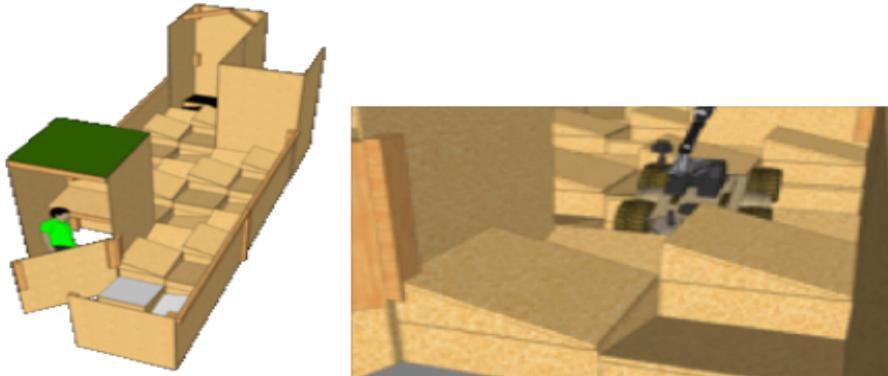


Figura 2.7: Pruebas de movilidad [17].

En una de estas pruebas se colocan estructuras de madera de 60 cm con cimas inclinadas a 35 grados, con la ayuda de la definición de estas pruebas se toman algunos determinantes que más adelante se usan para el análisis del chasis, Figura 2.7.

- Destreza: Consta de 5 pruebas diferentes: líneas paralelas, tuberías omnidireccionales, tubos cilíndricos, apertura de puerta, apuntalamiento.



Figura 2.8: Prueba de destreza [17].

En la Figura 2.8 se muestra un escenario donde es preciso para los robots de rescate abrir una puerta.

- Exploración: Consta de pruebas de cartografía, reconocimiento y detección de objetos y terrenos



Figura 2.9: Prueba de exploración [17].

En la Figura 2.9 se muestra una fotografía del entorno donde se llevan a cabo las pruebas de exploración.

En la categoría de exploración se somete a prueba tanto el software como el hardware con pruebas de sistema de inspección, interfaz de usuario, capacidad de mapeo y despliegue de mapa 2D, formatos en interfaz de usuario para las pruebas de: “Victimas encontradas”, códigos QR, señalética, identificación de objetos y test de sistemas de sensores Figura 2.10.



Figura 2.10: Pruebas de visión [17].

Adicionalmente se especifican normativas sobre funcionalidades correspondiente a la seguridad, así como dimensiones, categorías y reglamentos de desempeño.

- Todos los robots necesitan un botón físico de fácil acceso (grande, de color rojo) para realizar una parada de emergencia.
- La interfaz del operador debe caber en la cabina del operador (ancho máximo de 110 cm). Y el peso máximo del equipo es de 30 kg.
- Clases de robots: Los robots autónomos, semi-autónomos y teleoperados se comparan juntos ya que compiten exactamente en el mismo terreno, obstáculo o repeticiones de tareas[17].

En el caso del Robot de Rescate desarrollado en el presente trabajo, se conceptualiza dentro de la categoría de Robot Teleoperado, en la cual se permite la intervención de un operador desde un puesto de operación. La subcategoría en la cual se desarrolla el Robot de Rescate, es Regular Robot: cualquier robot demasiado grande o pesado para ser un robot pequeño, con un peso máximo de 100 kg (2019). La participación en la competencia no depende del cumplimiento de todas las pruebas a hardware y software, se cuenta con la flexibilidad de poder escoger las pruebas a realizar dentro de la competencia. En el caso del Robot de Rescate “Khalo” se genera un enfoque en las pruebas de maniobrabilidad, movilidad y sistema de inspección de códigos QR, señalética. La selección de estas pruebas a participar, parte de la investigación sobre las competencias y torneos teniendo iniciativa de participar en las pruebas mencionadas anteriormente con la intención de crear una plataforma móvil de fácil modificación, para en un futuro poder agregar los elementos faltantes para completar las demás pruebas.

2.3. Teoría de falla de Von Mises

En este capítulo habla sobre las bases de diseño mecánico que se utilizaron para la elaboración de los diseños del robot de rescate Kahlo.

2.3.1. El diseño en Ingeniería

El diseño abordado desde la perspectiva de un ingeniero involucra áreas de la mecánica, tales como mecánica de sólidos, de fluidos, análisis de masa y momento, procesos de manufactura y teoría eléctrica y de la información. Hasta el análisis de los elementos mas sencillos de un sistema llega a involucrar mecánica de fluidos, fricción, transferencia de energía, selección de materiales, tratamientos termomecánicos, etc.

2.3.2. Fases del proceso de diseño

El diseño mecánico se debe entender como un proceso que inicia desde el momento que se concibe una idea, que posiblemente dará solución a un problema determinado, pasando por una serie de pasos que ayudan en última a llevar a la realidad esta idea. Este proceso se realiza mediante el uso de técnicas especializadas como lo son el CAD (diseño asistido por computador) y CAE (Ingeniería asistida por computador) [1].

2.3.3. Resistencia estática

Para el diseño de una pieza, es necesario contar con información sobre el material considerado para su fabricación, información que incluye pero no se limita a la resistencia de dicho material.

Categorías de diseño:

- Si una falla del elemento representa peligro en la vida humana o se fabrica de manera masiva; entonces se elabora un programa de ensayos durante el diseño.
- Si se produce el elemento en cantidades suficientes; se diseña una serie moderada de ensayos.
- Si se fabrica en cantidades muy pequeñas; no se justifican los ensayos.
- Ya se ha fabricado y ensayado antes; se realiza un análisis para saber por qué el elemento es satisfactoria y qué hacer para mejorarlo [7].

2.3.4. Teorías de falla

No existe una teoría universal de falla de materiales, sin embargo, a través de los años se han formulado hipótesis ampliamente aceptadas, las cuales nos han guiado a practicas aprobadas; teorías. Usualmente los materiales se clasifican como dúctiles cuando $\epsilon_f < 0,05$ y cuando tienen una resistencia a la fluencia que usualmente es la misma en compresión que en tensión, tal que $S_{yt} = S_{yv} = S_y$. Los materiales frágiles $\epsilon_f < 0,05$ no cuentan con la resistencia a la fluencia cuantificable. y se identifican por su ultima resistencia a la tensión (S_{ut}) y a la compresion (S_{uc}), [7].

2.3.5. Teoría de la energía de distorsión para materiales dúctiles

Se predice la falla de un material sometido a un esfuerzo y temperatura constante cuando la energía de deformación total por unidad de volumen alcanza o supera la energía de deformación por unidad de volumen de la resistencia a la fluencia en tensión o compresión del material en cuestión. Esta teoría fue desarrollada con base en la observación y comprobación sobre el comportamiento de los materiales dúctiles respecto al sometimiento a esfuerzo hidrostáticos, los cuales presentan resistencias a la fluencia que exceden los valores que resultan de los ensayos de tensión simples. A partir de esto se formuló que la fluencia no es un fenómeno derivado de la tensión-compresión, sino que está relacionado con la distorsión angular de los elementos.

Teniendo σ_1, σ_2 y σ_3 como esfuerzos tridimensionales aplicados en la Figura ?? a, se da por entendido que los esfuerzos promedio, σ_{prom} , se obtienen de la ecuación 1, correspondiendo al elemento de la Figura ?? b, el cual experimenta un cambio de volumen puro, sin la intervención de la distorsión angular. El elemento de la Figura 1 c, se encuentra sometido a distorsión angular pura, sin ningún cambio de volumen.

$$\sigma_{prom} = \frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3}{3} \quad (1)$$

a) Esfuerzos triaxiales b) Componente hidrostático c) Componente de distorsión

Figura 2.11: La suma de los esfuerzos hidrostáticos más la suma de los esfuerzos de distorsión es igual a los esfuerzos tri axiales

Considerando un elemento sometido a una tensión simple σ , se obtiene que la fluencia ocurrirá cuando $\sigma \geq S_y$ de esta manera el lado izquierdo de la ecuación 2 se considera como un esfuerzo simple, equivalente o efectivo, también llamado esfuerzo de Von Mises, σ' , resumiendo esta expresión a la ecuacion 3, donde el esfuerzo de Von Mises esta representado por la ecuación 4.

$$\left[\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}{2} \right]^{\frac{1}{2}} \geq S_y \quad (2)$$

$$\sigma' \geq S_y \quad (3)$$

$$\sigma' = \left[\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}{2} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (4)$$

Dada esta teoría y empleando las componentes de esfuerzo tridimensional xyz , el esfuerzo de Von Mises se define en la ecuación 5, y para un esfuerzo plano se ve representado en la ecuación 6.

$$\sigma' = \frac{1}{\sqrt{2}}[(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 + 6(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2)]^{\frac{1}{2}} \quad (5)$$

$$\sigma' = (\sigma_x^2 - \sigma_x\sigma_y + \sigma_y^2 + 3\tau_{xy}^2)^{\frac{1}{2}} \quad (6)$$

"La falla ocurre siempre que el esfuerzo cortante de cualquier estado de esfuerzo es igual o mayor al esfuerzo cortante con el cual falla la pieza de ensayo a tensión simple". Ocurrendo la fluencia para $\sigma = S_y$ y $\sigma_2 = \sigma_3 = 0$.

Un esfuerzo complejo se presenta por medio del valor del esfuerzo de Von Mises, siendo este equivalente a la fluencia del material. Esta teoría no predice falla sobre presión hidrostática por ende es la más apropiada para materiales dúctiles aplicados a problemas de diseño.

2.3.6. Teoría de falla de Von Mises

La teoría de la energía de deformación máxima o teoría de falla de Von Mises, predice que la falla por deformación a esfuerzo y temperatura constante, ocurre cuando la energía de deformación total por unidad de volumen alcanza o excede la energía de deformación por unidad de volumen correspondiente a la resistencia a la fluencia en tensión o en compresión del material en cuestión. La teoría de la energía de distorsión, trabaja correctamente con los datos de materiales de comportamiento dúctil para la predicción de fallas, por esto es la teoría más recomendada para problemas de diseño. Los componentes con formas sencillas como vigas y barras se analizan fácilmente, sin embargo en las aplicaciones reales los elementos mecánicos no suelen ser tan simples, es por esto que surge la necesidad de obtener aproximaciones mediante soluciones aproximadas por experimentación o métodos numéricos [7]. En el área de diseño asistido por computador para el robot de rescate Kahlo, se empleó el software Solid Works, específicamente se utilizaron herramientas de "método de elementos finitos", esta es una técnica de cálculo y análisis, entra en el proceso de diseño como una herramienta CAE (Ingeniería Asistida por Computador) que agiliza y optimiza los procedimientos de cálculo en el Diseño Mecánico [1].

2.4. Visión

Todo sistema necesita ser monitoreado para ser controlado, también se necesita constatar el estado de funcionamiento y tomar acciones preventivas y correctivas a tiempo en caso de ser necesario.

Un sistema de telemetría típico está formado por los siguientes elementos:

- Sensores y/o actuadores: Son los dispositivos que se encargan de realizar la medición en sí (sensores) y/o ejecutar los comandos recibidos (actuadores). Pueden ser digitales o análogos. En el caso del robot de rescate "Kahlo", la cámara es el sensor con el cual

se captan las condiciones del entorno y los motores son los actuadores a los cuales se les envían los comandos necesarios para su desempeño.

- RTU (Remote Telemetry Units, Unidades de Telemetría Remotas): Son pequeñas unidades computarizadas (o microcontroladas) que sirven como punto local de recolección de datos de los sensores y transmiten los comandos recibidos a los actuadores. En el caso de los tres prototipos de Kahlo, esta función la cumple el mismo elemento, la placa Raspberry Pi.
- Medio de transmisión: Es el canal de comunicación usado entre el RTU y la estación central. En el robot Kahlo, esta función está cubierta por el cable Ethernet por el cual se envía la información desde la placa Raspberry Pi, hasta la estación de control (PC).
- Suministro de energía: Puede ser directamente de la red eléctrica o mediante baterías. En el robot Kahlo, las baterías de gel son las encargadas de suministrar la energía requerida por el sistema.
- Estación central: Dispositivo donde se reciben las mediciones de todos los sensores, se acumulan y se procesan de acuerdo a las necesidades. Una computadora personal, o laptop es suficiente para cumplir esta función. siempre y cuando cuente con el software necesario y con una entrada Ethernet [8].

El desarrollo de un sistema de visión Figura 2.12, consta de la implementación de una cámara hasta el desarrollo de un algoritmo de análisis de imágenes con el fin de interpretar el entorno del robot e implementar sentencias de control.

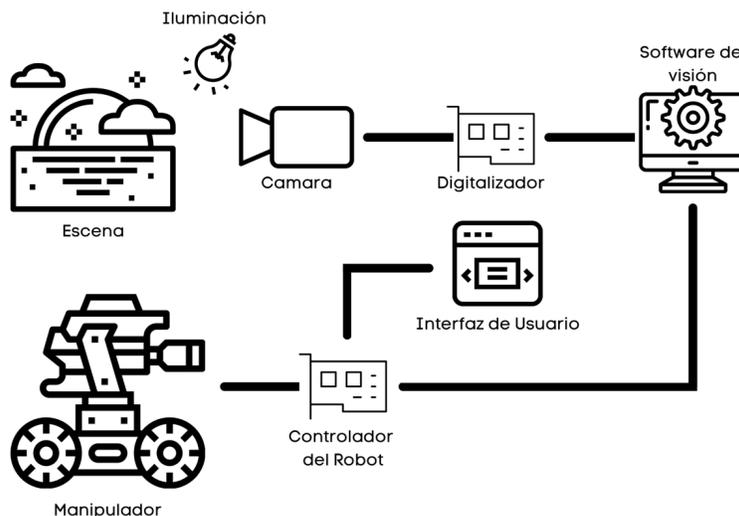


Figura 2.12: Ejemplo de un sistema de visión.

2.5. OpenCV

Para el desarrollo de sistemas de visión, en cada uno de los diferentes lenguajes de programación, existe una variedad de librerías de visión por computadora. En este caso en

particular, se hace referencia a la librería OpenCV, la cual admite diversos algoritmos relacionados con visión por computadora y aprendizaje automático, pudiendo emplearse en una gran variedad de lenguajes de programación como C++, Python, etc. OpenCV-Python, es la API (Application Programming Interface) de Python y OpenCV, la cual cuenta con la combinación de las cualidades de OpenCV y el lenguaje de programación Python.

OpenCV 3.0, es considerada la versión más funcional, estable y rápida dentro de las versiones de esta librería, pasando pruebas en los diversos sistemas operativos como lo son Windows, Linux, Mac, etc. Entre las características a resaltar de esta versión se encuentra la introducción de T-API (Transparent API), que usa OpenCL (Open Computing Language), cuando OpenCL se encuentra disponible lo detecta y lo emplea, permitiendo el incremento de la eficiencia de procesamiento.

2.5.1. OpenCV-Python

OpenCV-Python Python es un lenguaje de programación de propósito general, el cual gana popularidad por su simplicidad, permitiendo expresar las ideas en menos líneas de código simplificando la legibilidad. Python en comparación con otros lenguajes de programación como C/C++, muestra ser más lento, pero al mismo tiempo muestra una fácil compatibilidad con C/C++, esto permite generar grandes códigos complejos en C/C++ empleando Python como envoltura, y esto a la vez emplearlo como módulos de Python, obteniendo como resultado un código igual de rápido que el original (C/C++) y sencillo de programar en Python. OpenCV-Python funciona de este modo, siendo una envoltura de Python alrededor de la implementación original en C++.

La implementación del procesamiento de imágenes mediante OpenCV-Python, se ve simplificado debido a que OpenCV integra las morfologías matemáticas como lo son la erosión Figura 2.13, dilatación Figura 2.14, apertura Figura 2.15, entre otras.



Figura 2.13: Ejemplo de erosión empleando un elemento estructurante de 5x5



Figura 2.14: Ejemplo de dilatación empleando un elemento estructurante de 5x5

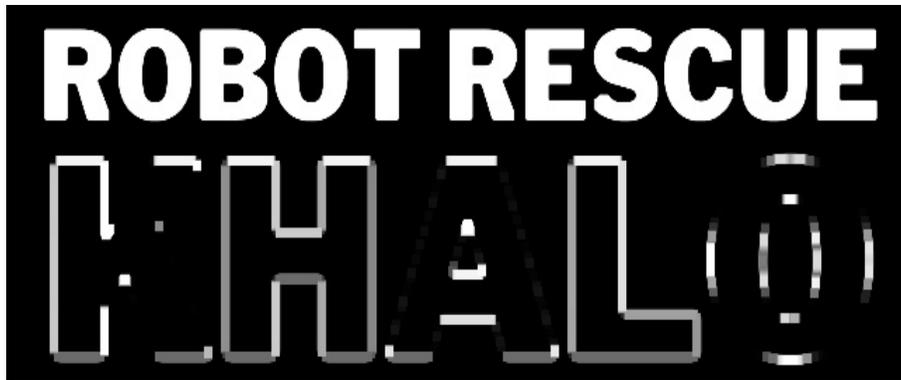


Figura 2.15: Ejemplo de apertura empleando un elemento estructurante de 5x5

Son empleadas para la aplicación de filtros, como lo son filtro Gaussiano, mediana, filtro bilateral, etc. Los cuales son empleados para el filtrado de ruido en las imágenes, mejora de calidad, resaltar detalles, entre otras aplicaciones, en las cuales funcionan como bases para aplicaciones distintas, como lo es la lectura de códigos QR, lectura de códigos de barra, identificación y clasificación de objetos, etc.

3. Desarrollo del robot móvil Kahlo

En esta sección se presenta el proceso de desarrollo del robot móvil. Proceso comprendido desde la proyección de una idea como un bosquejo, pasando por una etapa de análisis y evaluación de elementos, hasta llegar a un diseño viable para manufactura y ensamble de prototipo.

3.1. Metodología

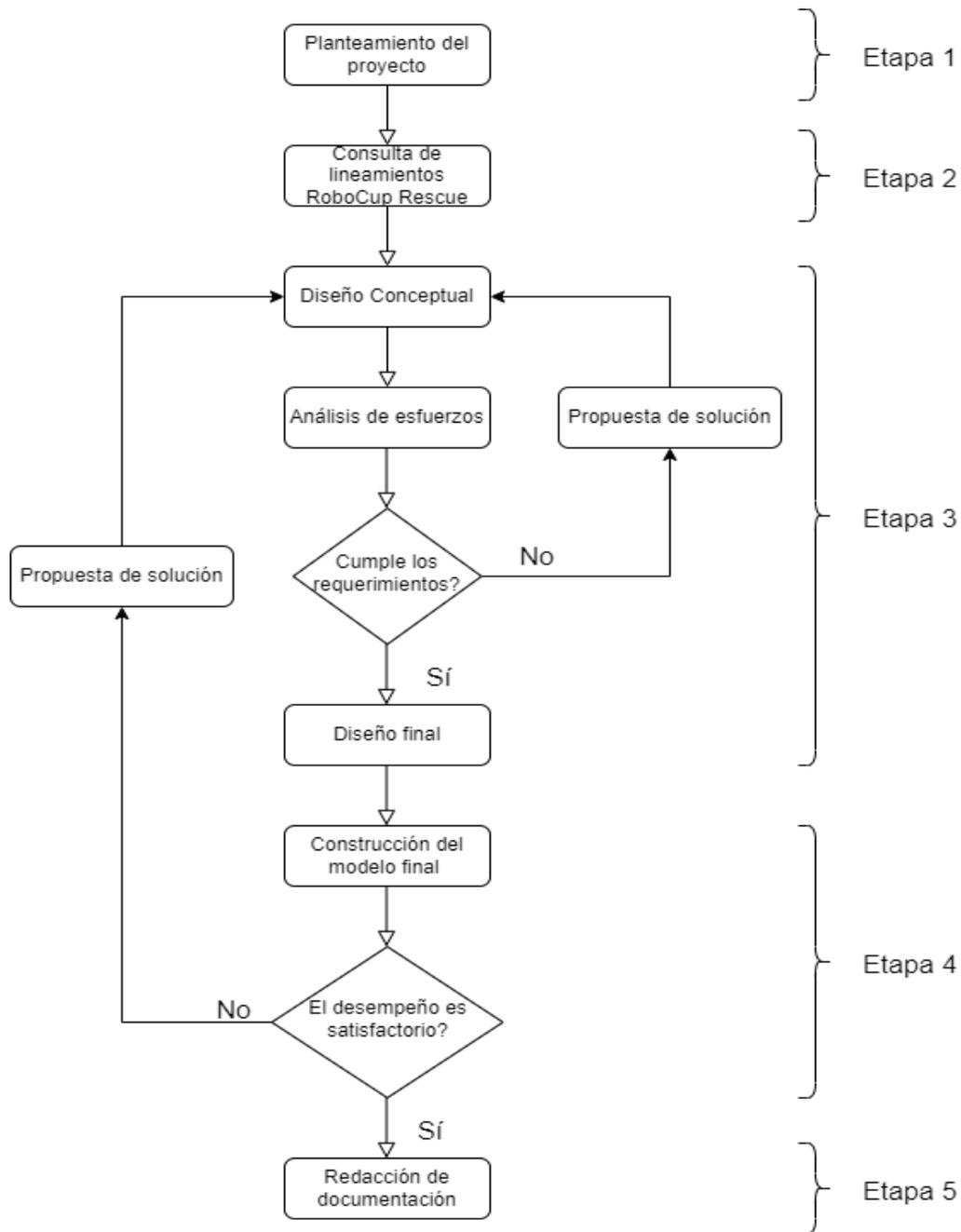


Figura 3.1: Metodología

Enseguida se muestra un desglose de las etapas presentadas en la Figura 3.1.

- Etapa 1: Análisis previo de la competencia RoboCup Rescue y sus lineamientos para establecer objetivos y estrategias.
- Etapa 2: Consulta de tareas a realizar, dimensiones, peso, materiales permisibles, restricciones entre otros detalles importantes a tener en cuenta a lo largo del desarrollo de

robot.

- Etapa 3: Mediante la aplicación de un software CAD se realiza la conceptualización del modelo con base en la etapa 2, mediante el empleo de un software basado en la teoría de elementos finitos, se realiza un análisis de esfuerzos y deformaciones y se determina si el modelo propuesto cumple con los requerimientos necesarios en la parte de diseño así como su viabilidad mecánica, en caso de no contar con un diseño satisfactorio, se regresa a la fase de diseño conceptual.
- Etapa 4: Si el diseño del robot cumple con los requerimientos de carga y lineamientos de la competencia de forma satisfactoria, se puede proceder a las etapas de manufactura y ensamble. Engloba la compra de piezas comerciales, manufactura de elementos únicos para el diseño, así como el ensamble de los componentes.
- Etapa 6: Realizar la documentación pertinente.

3.2. Diseño conceptual

Una vez examinados los lineamientos para el robot móvil "Kahlo", se realiza una lluvia de ideas e investigación que eventualmente nos lleve a un bosquejo de un diseño viable, en el cual sean consideradas las posibles problemáticas a las que pueda enfrentarse el robot, así como las posibles soluciones, un diseño que contemple las dimensiones de los escenarios estándares de la competencia, la electrónica necesaria, ensambles, tolerancias, presupuesto, método de fabricación, materiales disponibles y la mayor cantidad de elementos mecánicos comerciales posibles debido a la viabilidad económica de manufactura.

Una vez considerados estos puntos, mediante la aplicación de un software CAD se realiza la conceptualización del modelo.

3.3. Primer diseño conceptual

En esta subsección se muestra el primer diseño conceptual concebido del robot de rescate Kahlo.

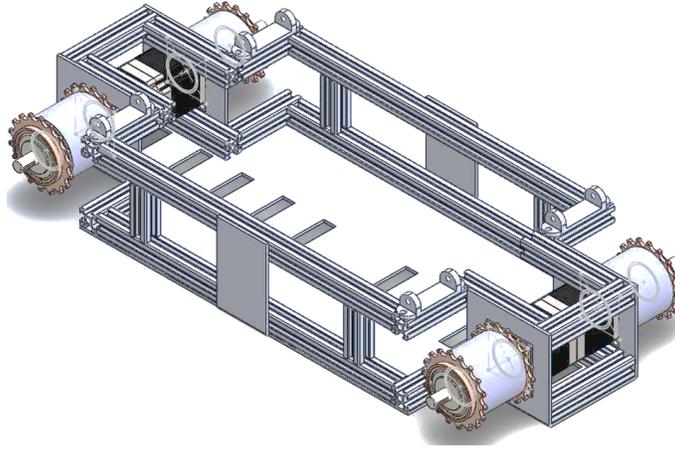


Figura 3.2: Primer diseño conceptual.

La Figura 3.2 muestra el primer prototipo planteado. El dispositivo es un vehículo de tracción por orugas que pretende permitir un desplazamiento frontal y en reversa; Se realizó una investigación de materiales accesibles en nuestra zona, seleccionando una aleación de aluminio 1060 con el modelo de perfil tipo Bosch.

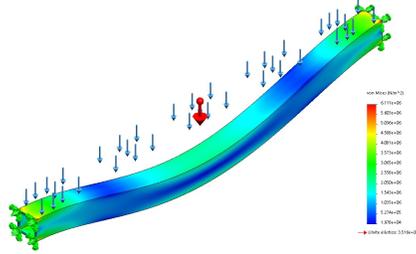
3.3.1. Análisis estático del soporte del sistema de tracción

El siguiente paso es realizar un análisis estático de los elementos mecánicos del sistema a través del uso de un software CAE para garantizar que todas las piezas tengan la resistencia necesaria, para esto se toma en cuenta el peso aproximado del robot, situaciones críticas, donde por la posición física del robot pueda considerarse el peso máximo sobre ciertos elementos mecánicos. Los elementos mecánicos principales del robot son geoméricamente propensos a patrones de carga complejos, lo que hace que resolver las ecuaciones de tensión-deformación sea complicados. Esto se vuelve significativo cuando se estudia la falla por fatiga debido a ciclos de carga en diferentes circunstancias. Para investigar de manera eficiente esos casos y optimizar nuestro diseño, empleamos la simulación de análisis de elementos finitos (MEF).

Los materiales considerados para realizar los análisis esfuerzo-deformación, son el aluminio 1060 y el acero 1020. Se considera un peso total de 2870g. Los materiales seleccionados para las pruebas parten de la consideración de las medidas del diseño conceptual, el valor monetario del material, así como su disponibilidad y viabilidad.

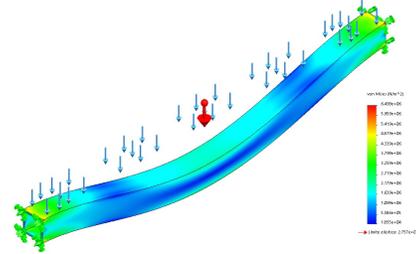
Se realizó la propuesta de un elemento crítico de $0.35m$ siendo sometido a una carga uniformemente distribuida de $98.1N$ con el elemento empotrado por ambos lados de sus caras y sometido a flexión, como lo muestra la Figura 3.3, para realizar la discriminación del tipo de material a usar, se consideró como prioridad el peso, las tensiones Max. y Min., y sus desplazamientos. En las Figuras 3.3a y 3.3b puede observarse los resultados de los análisis estáticos que se realizaron a partir de la exposición a dicha carga.

Reporte de resultados de análisis de elementos finitos
 Nombre del usuario: [Nombre de usuario]
 Fecha de generación: [Fecha]
 Versión de software: [Versión]



(a) Perfil Cuadrado tipo PTR de acero 1020.

Reporte de resultados de análisis de elementos finitos
 Nombre del usuario: [Nombre de usuario]
 Fecha de generación: [Fecha]
 Versión de software: [Versión]



(b) Perfil cuadrado tipo PTR de aluminio 1060.

Figura 3.3: Análisis estático del soporte del sistema de tracción.

A continuación se presentan los valores numéricos correspondientes al peso en Newtons, tensión máxima y tensión mínima en $(\frac{N}{m^2})$, así como los desplazamientos en (mm).

	Perfil tipo PTR de aluminio 1060	Perfil tipo PTR de acero 1020
Peso (N)	1.028	3.505
Tensión máxima $(\frac{N}{m^2})$	6.499e+06	6.111e+06
Tensión mínima $(\frac{N}{m^2})$	1.855e+04	1.978e+04
Desplazamiento (mm)	2.864e-02	9.82e-03

A continuación se presenta una gráfica que muestra de manera visual la comparativa entre los valores numéricos de los resultados obtenidos.

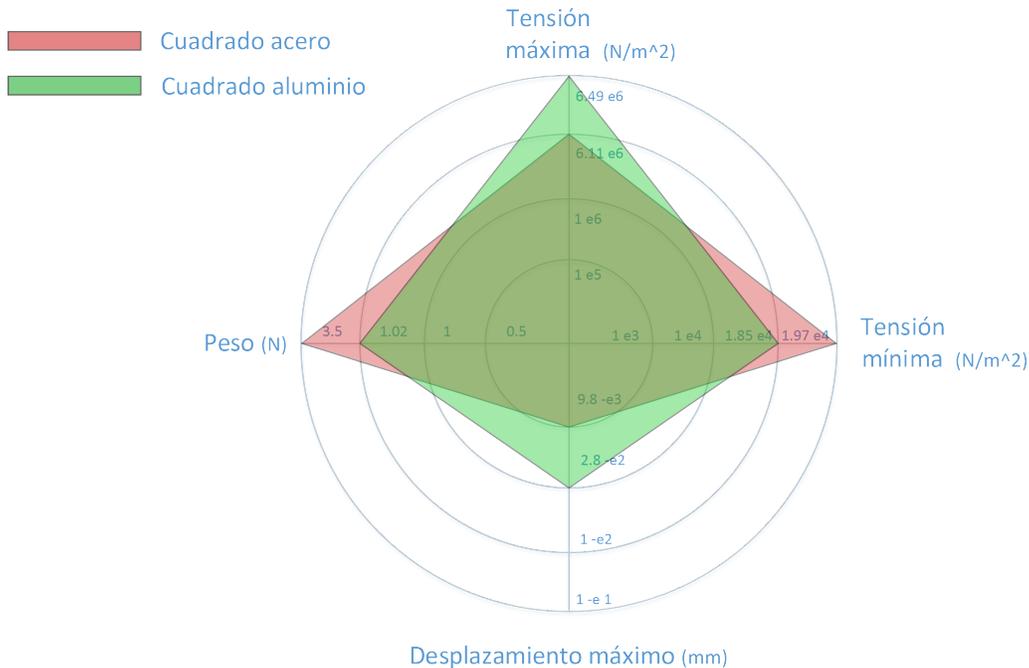
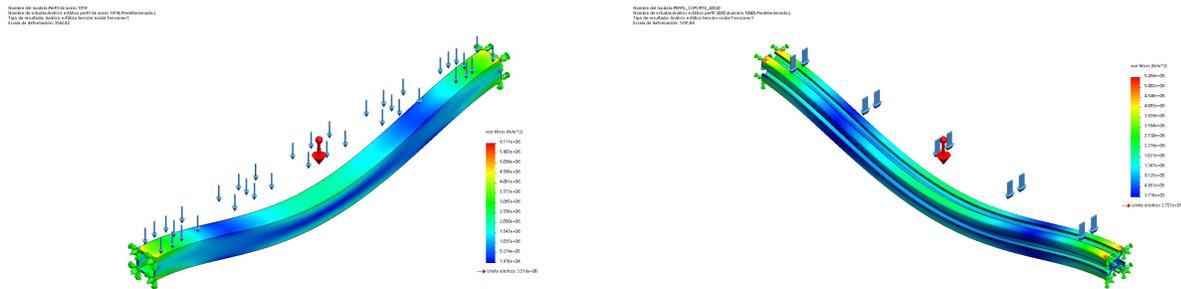


Figura 3.4: Perfil tipo PTR de aluminio 1060 vs Perfil tipo PTR de acero 1020.

Analizando los resultados numéricos, se puede observar que en cuestión de peso, el perfil tipo PTR de aluminio es más ligero, en cuanto a las tensiones mínimas y máximas, el cuadrado tipo PTR de aluminio sufre de tensiones menores, sin embargo el cuadrado tipo PTR de acero cuenta con un desplazamiento máximo menor, Figura 3.4. Al no presentarse un material óptimo bajo este análisis, se procede a hacer una comparación de estos materiales contra un perfil de aluminio tipo Bosch.

Para realizar el siguiente análisis se considera el perfil tipo PTR de acero 1020 en comparativa con un perfil tipo bosch de aluminio 1060.



(a) Perfil tipo PTR de acero 1020.

(b) Perfil extruido tipo Bosch de aluminio 1060.

Figura 3.5: Análisis estático del soporte del sistema de tracción.

En las Figuras 3.5a y 3.5b puede observarse el resultado del análisis estático a partir de la exposición a una carga uniformemente distribuida de $98.1N$ al igual que en el análisis anterior.

A continuación se presentan los valores numéricos correspondientes al peso en Newtons, tensión máxima y tensión mínima en $(\frac{N}{m^2})$, así como los desplazamientos en (mm) .

	Perfil tipo PTR de acero 1020	Perfil tipo PTR de aluminio 1060
Peso (N)	3.505	1.534
Tensión máxima $(\frac{N}{m^2})$	6.111e+06	5.456e+06
Tensión mínima $(\frac{N}{m^2})$	1.9783+04	3.718e+03
Desplazamiento (mm)	9.824e-03	2.709e-02

Es posible observar diferencias significativas en la comparación de los valores respectivos a las tensiones, desplazamientos y el peso de los perfiles. Para observar dichas diferencias de manera visual, se diseñó la siguiente gráfica, Figura 3.6.

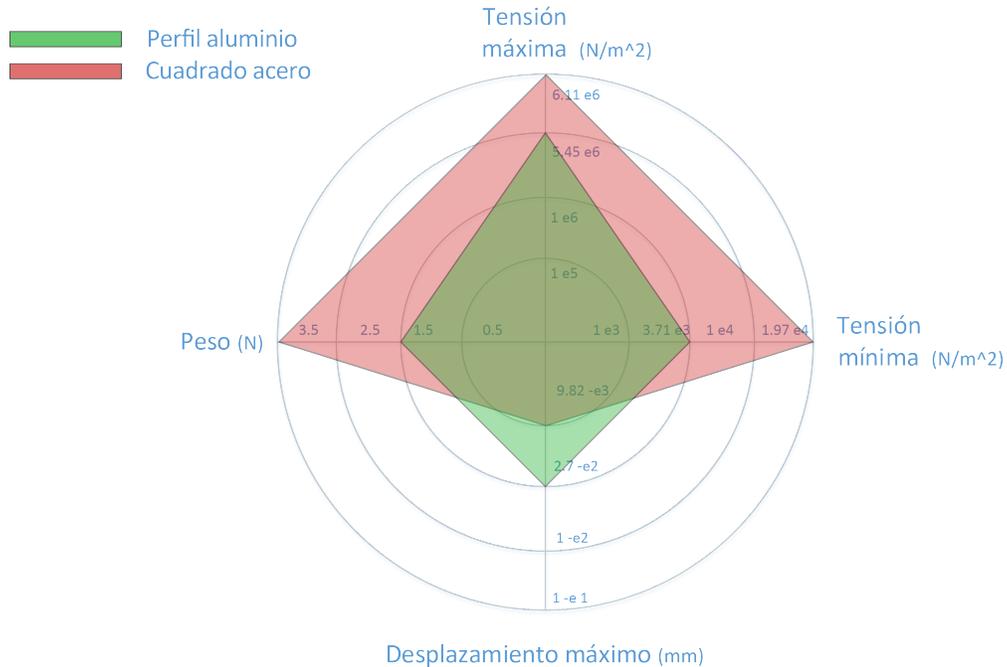
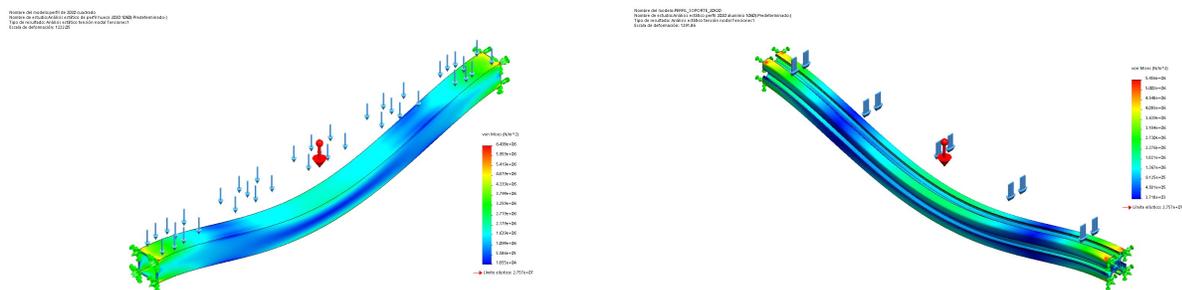


Figura 3.6: Perfil tipo PTR de aluminio 1060 vs Perfil extruido tipo Bosch de aluminio 1060.

En la Figura 3.6 se observa de manera visual, como es que los esfuerzos mecánicos resultantes bajo la misma carga, afecta de distinta manera a los dos perfiles. El polígono color rojo representa al perfil cuadrado tipo PTR de acero 1020, el polígono de color verde representa el perfil de aluminio 1060 tipo Bosch. Podemos observar que los esfuerzos máximos, esfuerzos mínimos así como los desplazamientos máximos son mayores en el cuadrado de aluminio.

Al observar el analisis anterior podemos deducir que el aluminio es mejor opción que el acero para este proyecto en particular, en esta etapa de los analisis se procede a hacer la misma comparativa, esta vez entre un perfil tipo PTR de aluminio 1060 y un perfil extruido tipo Bosch de aluminio 1060.



(a) Perfil tipo PTR de aluminio 1060.

(b) Perfil extruido tipo Bosch de aluminio 1060.

Figura 3.7: Análisis estático del soporte del sistema de tracción.

	Perfil aluminio1060	Perfil aluminio 1060
Peso (N)	1.028	1.534
Tensión máxima ($\frac{N}{m^2}$)	6.499e+06	5.456e+06
Tensión mínima ($\frac{N}{m^2}$)	1.855e+04	3.718e+03
Desplazamiento (mm)	2.864e-02	2.709e-02

Los valores numéricos correspondientes a las variables de los perfiles de aluminio, muestran que el perfil tipo Bosch de aluminio se ve afectado en menor manera respecto a las tensiones máximas y mínimas, así como el desplazamiento máximo también es menor.

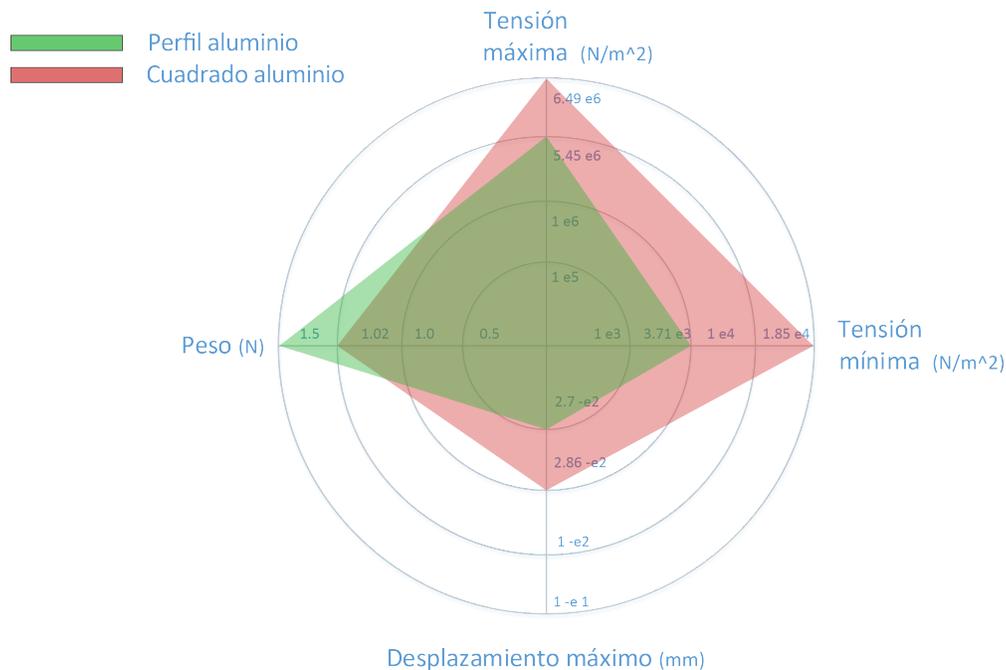
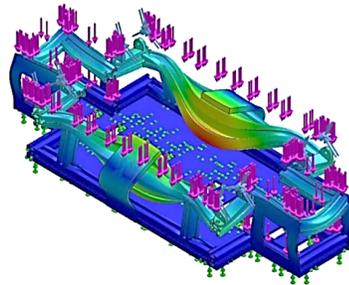


Figura 3.8: Cuadrado acero vs Perfil soporte.

Con los datos expresados de manera visual, es posible concluir que el material óptimo para utilizar respecto a las variables consideradas, como el precio monetario, la disponibilidad y esto aunado a la facilidad de manejo en cuanto a sujeciones, es el perfil de aluminio tipo Bosch, Figura 3.8.

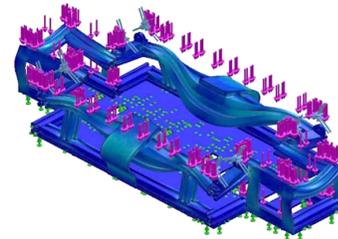
Respecto a los resultados de los análisis estáticos anteriores, se utilizó el perfil extruido tipo Bosch de 20 x 20 mm, así como una placa-lamina de 3mm de aluminio 1060 como base y sujeción de motores, siendo perforada en la parte inferior para reducir el peso. Revisando los resultados de las tensiones de Von Misses, Figura 3.7b, puede apreciarse que no existe ningún elemento en el chasis que infrinja el límite elástico con un esfuerzo mínimo $7,038 \cdot 10^6 \frac{N}{m^2}$ de y máximo de $7,038 \cdot 10^6 \frac{N}{m^2}$. Puede apreciarse cuales son los elemento con mayores tensiones, siendo estos los perfiles de mayor longitud en la parte superior del chasis.

Nombre del modelo: CHESIS MODIFICADO
Nombre de estudio: Analisis estatico (1) (Predefinido)
Tipo de resultado: Desplazamiento (Escala local por defecto)
Escala de deformación: 0.020001



(a) Desplazamiento en mm

Nombre del modelo: CHESIS MODIFICADO
Nombre de estudio: Analisis estatico (1) (Predefinido)
Tipo de resultado: Tensiones de Von Mises (Escala local por defecto)
Escala de deformación: 0.020001



(b) Tensiones de Von Mises

Figura 3.9: Análisis estático del primer diseño conceptual.

Los desplazamientos obtenidos no infringen el límite elástico y por ello se consideran despreciables, habiendo obtenido un desplazamiento mínimo de $0,00 \cdot 10^0 mm$ y un máximo de $1,19 \cdot 10^{-2} mm$, viéndose mayormente afectada el área de la viga de mayor tamaño sometida a flexión por una sección de placa, Figura 3.9b.

3.3.2. Selección de componentes

En esta sección se argumenta la selección de los componentes electrónicos, así como de los actuadores.

- Selección de hardware de procesamiento: Se optó por utilizar una Raspberri pi, debido a su capacidad de procesamiento de imágenes, así como sus entradas y salidas digitales y analógicas, útiles para el correcto control del sistema de tracción. Al correr en lenguaje python también cuenta con la arquitectura de programación adecuada para el correcto manejo de distintas variables y procesos paralelos.
- Selección de actuadores: Se seleccionaron los actuadores debido a el voltaje, corriente, torque y dimensiones necesarios. Se selecciono elmotor a pasos Nema 23.
- Selección de controlador para actuador: Una vez seleccionado el actuador, es necesario seleccionar el controlador que permitirá el correcto funcionamiento del motor a pasos. Para el funcionamiento del modelo Nema 23 se seleccionó el controlador TB560.
- Selección de fuente de alimentación: Una vez seleccionado el modelo de actuador es posible determinar la fuente de alimentación tomando en cuenta el voltaje necesario para alimentar todo el sistema. Se optó por utilizar baterías Ytx9lbs.

Con la selección de los componentes anteriormente mencionados se busca controlar de manera efectiva los actuadores integrados en la estructura mecánica, derivar diversos sensores para percibir con precisión el entorno y controlar el sistema, el objetivo es representar una descripción general del sistema desde las perspectivas de la selección de componentes electrónicos o mecánicos y la razón de su adquisición.

Como ilustra la Figura 3.10, el módulo de plataforma de robot se desempeña mediante una tarjeta Raspberry Pi 3B para manejar periféricos y para la comunicación con el sistema de control, se utiliza este componente por su versatilidad en cuanto a conectividad con sensores

y sistemas de control, en cuanto a los actuadores, se incorporaron motores a pasos Nema 23 debido a sus características de relación de consumo eléctrico y torque proporcionado gracias a su caja de engranes planetarios, empleando estos una etapa de potencia dada por los drivers TB560 para su correcto funcionamiento, para la alimentación eléctrica, se emplearon dos baterías de gel YTX9LBS, las cuales fueron seleccionadas por voltaje y Amper hora proporcionados.

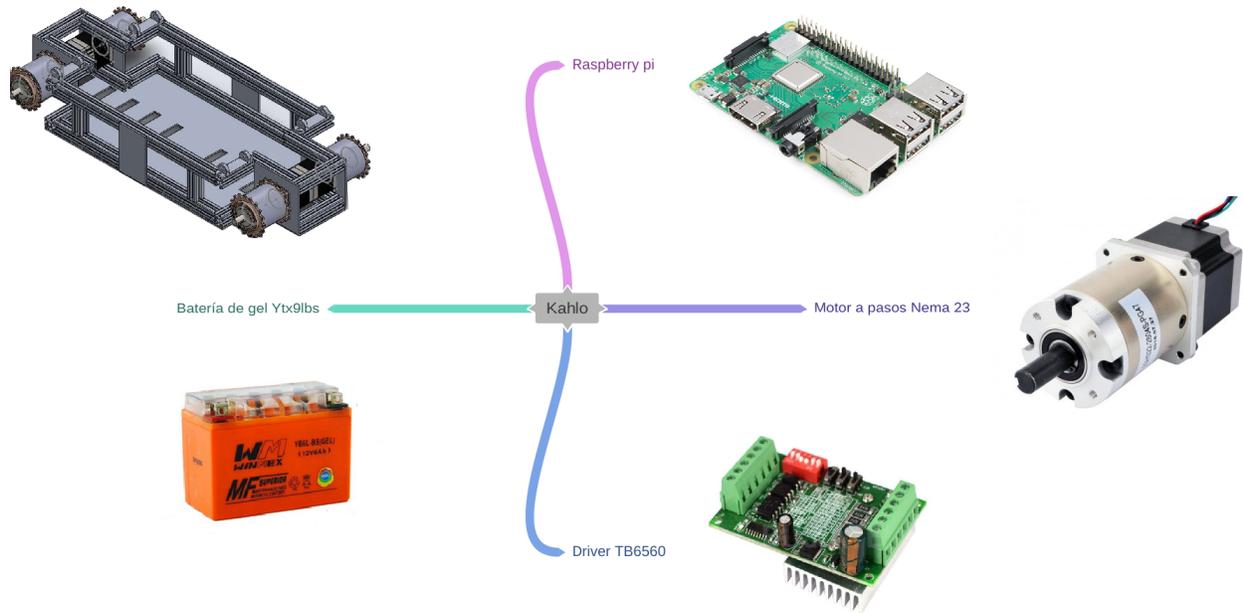


Figura 3.10: Componentes seleccionados

En la siguiente tabla se presenta el desglose y las características técnicas respecto a dimensiones físicas, alimentación, conectividad, y memoria de los componentes seleccionados.

Componente	Categoría	Características
Raspberry pi	Controlador	Dimensiones: 85x56x17mm Alimentación: 5V, 2.5A Conectividad: Ethernet, 40 pines 2.54 mm, CSI-2 cámara Memoria: Micro SD I/O
Nema 23	Actuador	Tipo: Motor a pasos Voltaje: 24 V Amperaje: 2.8 A Dimensiones: 60x60x50mm
TB6560	Controlador	Voltaje: 10 - 35V Potencia: 105W Dimensiones: 75x50x35mm
Baterías YTX9LBS	Alimentación	Dimensiones: 143x102x8 Voltaje: 12V Amperaje: 9A

Dado que los análisis resultaron de manera satisfactoria, se procedió al desarrollo del prototipo, Figura 3.11.

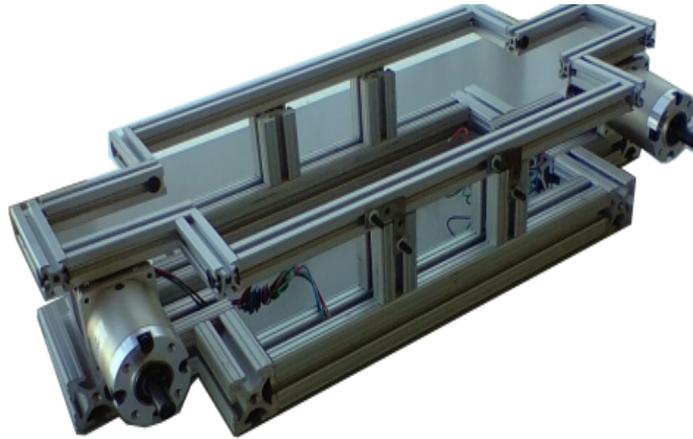


Figura 3.11: Primer prototipo.

Sin embargo el diseño no contemplaba la fricción generada por las orugas sobre el chasis; por lo tanto, al llevar acabo las pruebas de movilidad, no se generaba un desplazamiento apropiado sobre las superficies de prueba, por lo que fue necesario realizar un rediseño y nuevas propuestas de solución.

3.3.3. Desempeño y comprensión de las capacidades de Kahlo

Teniendo en cuenta los estándares de evaluación, las pruebas de rendimiento de campo se han realizado para validar el rendimiento de Kahlo en movilidad, inspección, resistencia y comunicación de una manera genérica y sin ensayar. Los resultados experimentales del desempeño y comportamiento de los actuadores dan a notar importantes consideraciones respecto a la pérdida de potencia debido a las fricciones evidentes, así como problemas importantes de descarrilamiento. En el diseño conceptual no fueron consideradas las fricciones del sistema de tracción contra el propio chasis del robot, lo cual resultó en una perdida importante de potencia por fricción. Tampoco fue considerada de manera correcta la guía que debía tener el sistema de de tracción, específicamente la cadena, por lo cual, la fricción generada entre la superficie de movilidad y el chasis terminaba descarrilando las propias cadenas. Cabe recalcar que el robot no fue probado con todos sus aditamentos, por ejemplo, el manipulador que mencionado en las especificaciones del manual de reglas no fue desarrollado, esto debido a las consideraciones de los requisitos mínimos necesarios para competir en el torneo mexicano de robótica y la viabilidad económica.

3.4. Segundo diseño conceptual

El segundo diseño conceptual, Figura 3.12, considera el sistema de tracción con orugas reconfigurables, esto quiere decir que las orugas pueden cambiar su geometría para ajustarse a las demandas del terreno en el cual se desempeñe, teniendo así una mayor o menor área de contacto con las superficies, o generar cierta movilidad extra para su desplazamiento.

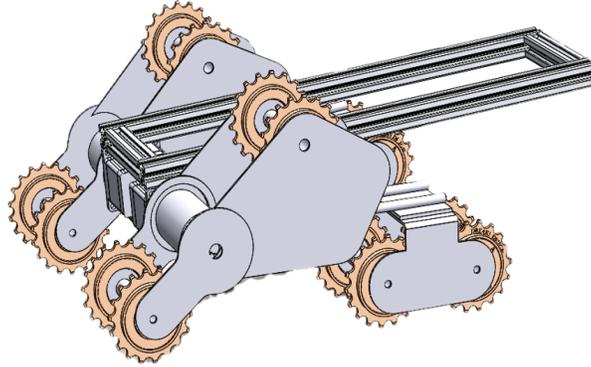


Figura 3.12: Segundo diseño conceptual.

Las orugas están constituidas por sprocks y cadenas comerciales de bicicletas, dos motores a pasos proveen de movilidad a las orugas, mientras los dos restantes cambian la posición de los sprocks frontales Figura 3.12 permitiendo al robot cambiar la geometría de sus orugas para subir, bajar, evadir o desplazarse en los obstáculos. Se incorporan dos resortes a compresión por oruga, este sistema asegura la tensión sin importar la configuración del sistema de tracción del robot.

3.4.1. Análisis estático de sistema de tracción

En la Figura 3.13 se muestra el análisis de esfuerzos de Von Mises del sistema de tracción. En el cual, las flechas verdes indican las caras que se seleccionan como sujeción y las flechas rosas las cargas propuestas aplicadas, con un total de 166.77 N aplicados (considerando la carga de los elementos que componen al robot 41.49N, incluido su mismo peso, a demás de una carga propuesta como máxima a soportar de 125.28N) como se indica en la Figura 3.13.

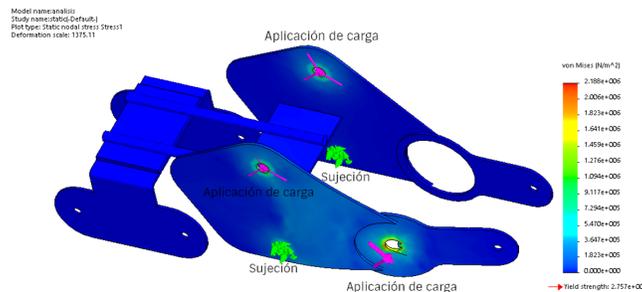


Figura 3.13: Conjunto de sistema de tracción

La simulación muestra que el sistema de tracción tiene un factor de seguridad por arriba de un valor numérico de 10, basado en la teoría de falla de Von Mises, sin embargo, es posible

detectar las piezas que presentan mayor esfuerzo, éstas se consideran como críticas y en la siguientes secciones se muestra su análisis individual.

3.4.2. Análisis de Esfuerzos de los Elementos Críticos del Robot

En esta sección se presentan los análisis de esfuerzos de los elementos críticos que conforman al robot de rescate, obtenidos previamente con el análisis del conjunto mecánico del robot, proponiendo las cargas y posiciones críticas a las cuales estará sometido.

Conocer las cargas y posiciones críticas a las que será sometido el chasis del robot es importante por varias razones, dado que es un robot diseñado con base en lineamientos de competencias nacionales e internacionales, en dichas competencias pueden presentarse fallas mecánicas, si se tiene un conocimiento previo de donde podrían presentarse, es posible anticiparlas.

Se realizaron varios análisis estáticos considerando distintos elementos del robot utilizando el software COSMOSWorks, integrado con el software de SolidWorks. Las cargas aplicadas se proponen tomando en cuenta el peso del robot, considerando tanto la batería como la electrónica implementada. En cuanto a las condiciones de frontera, es decir, los puntos de sujeción del robot, se proponen con base en la configuración del mismo robot de rescate.

3.4.3. Elementos críticos

El elemento mostrado en la Figura 3.14, es el encargado de la sujeción del eje en el cual recae el peso del chasis, sistema eléctrico y de alimentación. La carga considerada es de 41.5 N, considerando el peso de los elementos eléctrico-electrónicos además del peso que comprende la parte del chasis que recae sobre este elemento, aplicada donde se indica en la Figura 3.14.

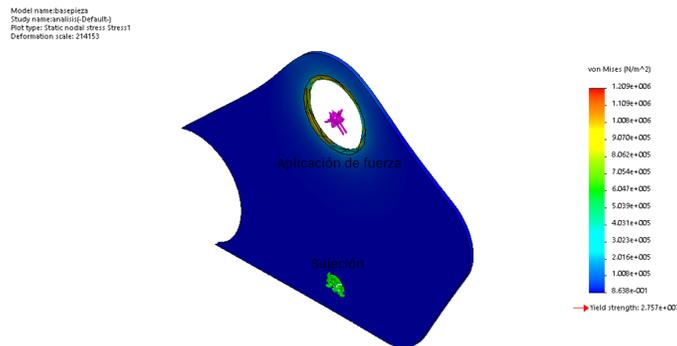


Figura 3.14: Pieza crítica 1

La Figura 3.15 muestra el elemento que se encarga de transmitir el movimiento para la reconfiguración de las orugas. Aún cuando es el elemento sujeto a mayores esfuerzos del robot de rescate, su factor de seguridad está por encima de 10, en base a la teoría de falla de Von Mises.

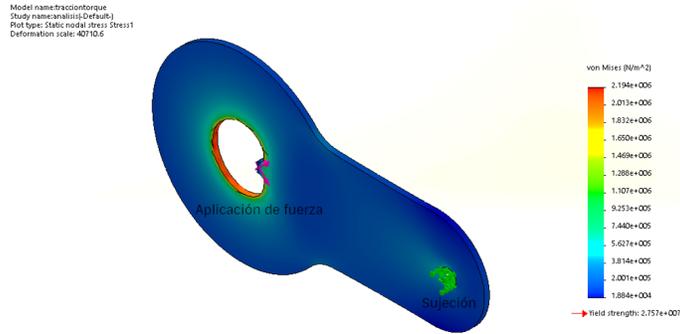


Figura 3.15: Pieza crítica 2

Los resultados mostrados en esta sección, son el punto de partida para la manufactura del segundo diseño conceptual del robot.

El diseño mostrado en la Figura 3.13 se consideró viable ya que al ser sometido a simulación, no se encontraron fallas en sus respectivos componentes. Emplea baleros cónicos incrustados en los Sprocks, lo cual reduce la fricción ocasionada por la oruga, lo cual permite adecuarse a los diversos terrenos, siendo un ejemplo de esto, al desplazarse por arena se genera una mayor área de contacto sobre la superficie, facilitando la movilidad del robot.



Figura 3.16: Segundo prototipo

El sistema de tracción reconfigurable desarrollado, Figura 3.16, mostró ser funcional y cumplir con la tarea de generar una mayor área de contacto sobre la superficie, además de generar un extra en la adaptación del terreno por la reconfiguración de la geometría.

3.4.4. Desempeño y comprensión de las capacidades de Kahlo

Teniendo en cuenta los estándares de evaluación, las pruebas de rendimiento de campo se han realizado para validar el rendimiento de Kahlo en movilidad, inspección, resistencia y comunicación de una manera genérica y sin ensayar. Los resultados experimentales del desempeño y comportamiento de los actuadores mostraron que el rediseño completo del sistema de tracción arregló los problemas de pérdida de fricción causados por el contacto entre el chasis contra las cadenas de tracción, eso resulta en una movilidad mas uniforme, así como una mejor autonomía al no perder potencia por la fricción. En cuanto al descarrilamiento

de las cadenas de tracción también se corrigió de manera importante, sin embargo, después de varios días utilizando el robot en los escenarios de Torneo Mexicano de Robótica, estos problemas volvieron a presentarse de manera distinta, ya que el sistema completo de tracción, al someterse a pruebas constantes durante varios días, ciertos elementos comenzaron a pandearse, lo cual desembocó de nuevo en un descarrilamiento de las cadenas de tracción.

3.5. Tercer diseño conceptual.

En esta sección se muestra el tercer diseño subdividido en la parte superior y la parte inferior.



Figura 3.17: Tercer diseño conceptual, parte superior.

La Figura 3.17 muestra el diseño conceptual del tercer chasis; es un contenedor parcialmente sellado, con dos orificios que cumplen la función de orientar y permitir cierto juego para poder ajustar los motores. en las partes trasera y delantera se encuentra una especie de parrilla, que permite la ventilación de los sistemas internos.



Figura 3.18: Tercer diseño conceptual, parte inferior.

En la Figura 3.18 se puede observar que el sistema de tracción emplea piñones de 9 dientes fijos al eje del motor y otros dos piñones colocados en las ruedas dentadas que transmiten el movimiento a las orugas. Se emplean soportes de aluminio SH12 para sujetar los ejes, rodamientos 6001, perfil estructural y ruedas dentadas de nylamind y PBC.

3.5.1. Análisis estático

Los materiales considerados para realizar los análisis esfuerzo-deformación, son el aluminio 1060 y el acero 1020. Tomando en cuenta el desempeño que tuvo el modelo anterior, se decidió optar por perfiles de una mayor dimensión. Los materiales seleccionados para las

pruebas parten de las mismas consideraciones que se utilizaron en el primer modelo, aunado el aumento de tamaño. La propuesta de un elemento crítico de $0.35m$ de longitud de cada uno de los materiales disponibles se mantiene, siendo sometidos a una carga uniformemente distribuida de $98.1N$, con el elemento empotrado por ambos lados de sus caras y sometido a flexión, así como lo muestran las Figuras 3.19a y 3.19b.

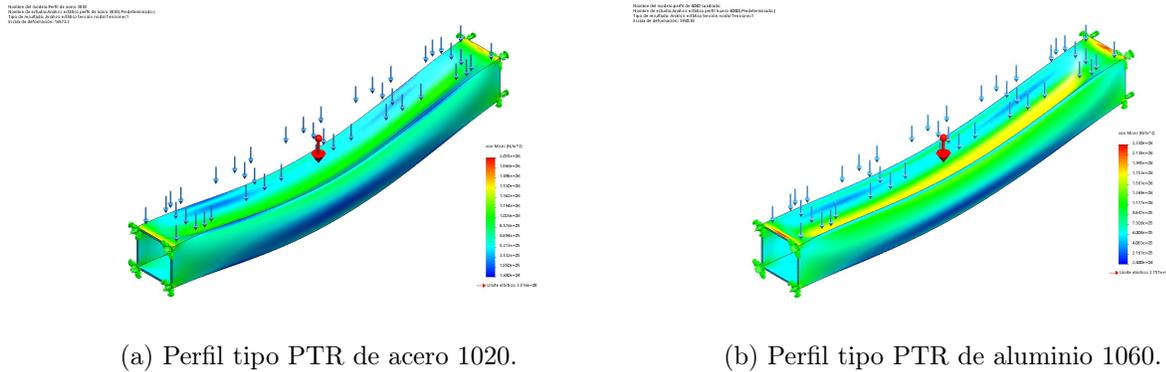


Figura 3.19: Análisis estático de los perfiles de acero y de aluminio tipo PTR.

Es importante resaltar que ninguno de los materiales presenta un fallo estructural con la carga aplicada, sin embargo existen algunos factores que podemos considerar para tomar una decisión correcta de material de construcción.

A continuación se muestra una tabla donde residen los valores numéricos arrojados por los análisis estáticos, estas variables son las que serán tomados en cuenta como factores para la decisión sobre de que material emplear.

	Perfil tipo PTR de aluminio1060	Perfil tipo PTR de acero 1020
Peso (N)	2.139	7.397
Tensión máxima ($\frac{N}{m^2}$)	2.33e+06	2.035e+06
Tensión mínima ($\frac{N}{m^2}$)	2.4e+04	1.693+04
Desplazamiento (mm)	8.905e-03	2.112e-03

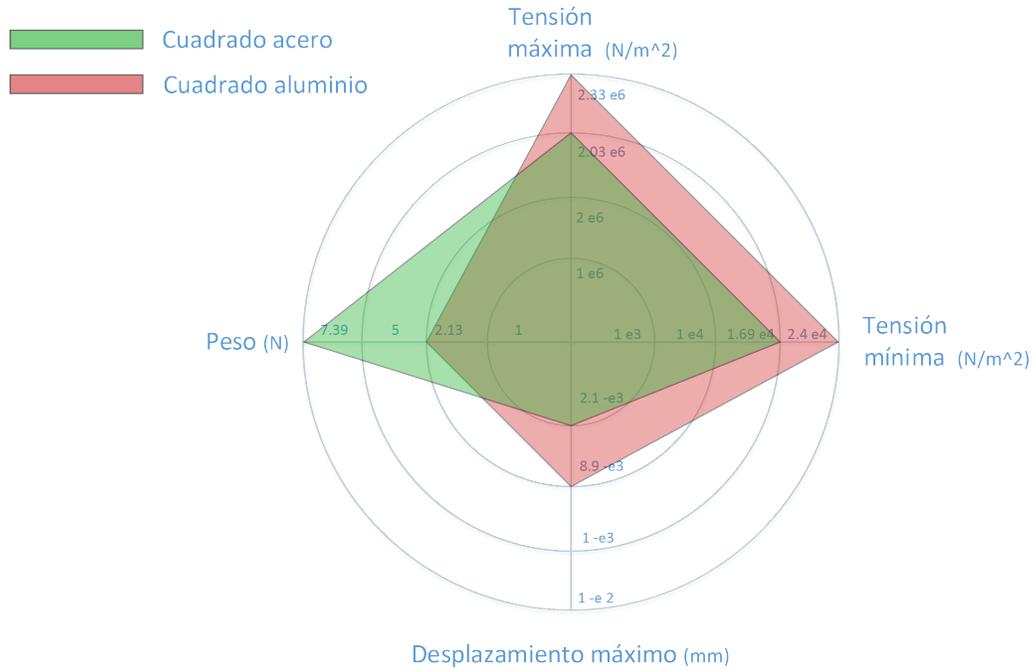
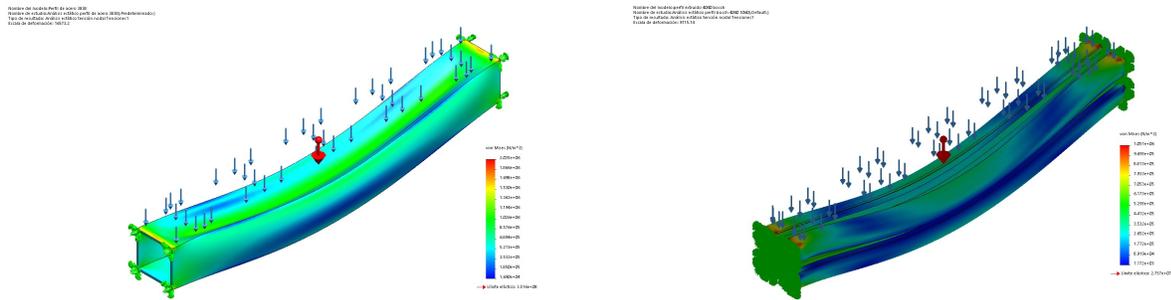


Figura 3.20: Perfil tipo PTR de aluminio 1060 vs Perfil tipo PTR de acero 1020.

Es posible observar tanto en la Figura 3.20, como en la tabla que los valores de tensiones Max y Min, así como el desplazamiento máximo, resulta favorable para el perfil tipo PTR de acero. Es por esto que se procede a compararlo contra un perfil de aluminio extruido del fabricante Bosch.



(a) Perfil tipo PTR de acero 1020.

(b) Perfil extruido tipo Bosch de aluminio 1060.

Figura 3.21: Análisis estático de las probetas.

En las Figuras 3.21a y 3.21b se muestran los resultados de los análisis estáticos del perfil PTR de acero 1020 y del perfil tipo Bosch 1060 respectivamente.

	Perfil tipo PTR de aluminio1060	Perfil tipo PTR de acero 1020
Peso (N)	5.147	7.397
Tensión máxima ($\frac{N}{m^2}$)	1.057e+06	2.035e+06
Tensión mínima ($\frac{N}{m^2}$)	1.172e+03	1.693+04
Desplazamiento (mm)	3.608e-03	2.112e-03

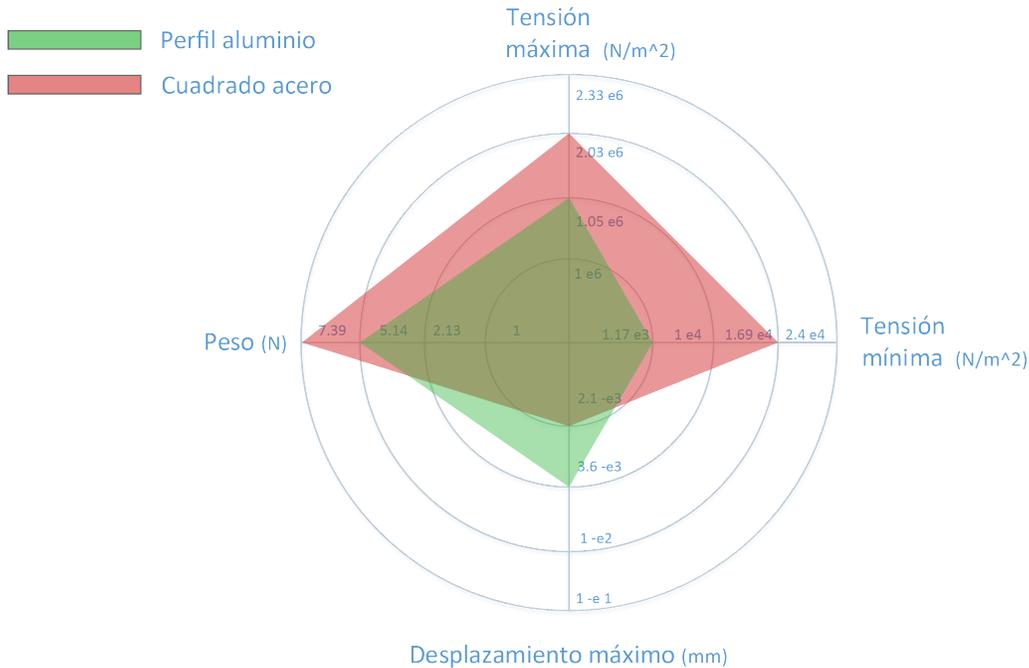


Figura 3.22: Perfil extruido tipo Bosch de aluminio vs Perfil tipo PTR de acero 1020.

Es posible observar en la Figura 3.22 que en cuanto a las tensiones máximas y mínimas, así como en peso del perfil, resulta favorable utilizar el perfil extruido de aluminio del fabricante Bosch. Aunque el desplazamiento máximo en este análisis es mayor en el perfil de aluminio, por su magnitud lo consideramos despreciable y procedemos a utilizar dicho perfil.

El peso de los elementos que descansan sobre el chasis es de 30 kg, el material es aluminio 1060 con un límite elástico de $2,76e7 \frac{N}{m^2}$. Una vez que se realiza el análisis estático, Figura 3.23, el desplazamiento máximo es 0.01246 mm y la tensión máxima en Von Mises es $5.259e6 \frac{N}{m^2}$.

Este resultado significa que la deformación es insignificante, porque está dentro del comportamiento elástico; la tensión máxima que soporta es inferior al 20 % que puede soportar el material antes de alcanzar el límite elástico.

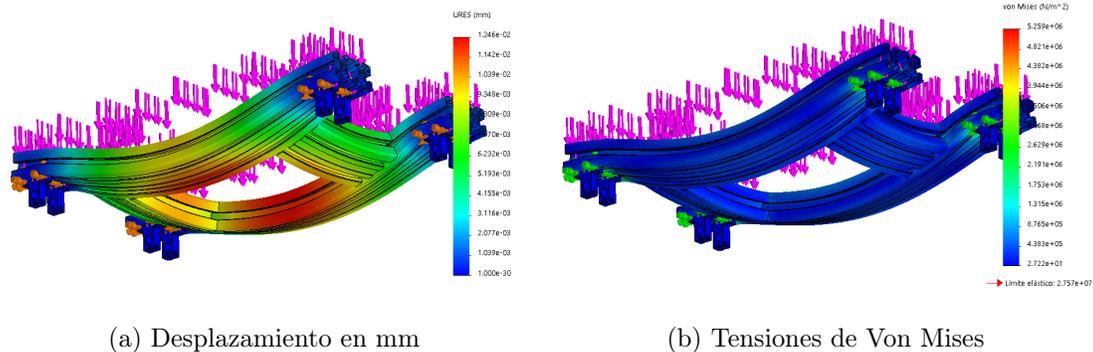


Figura 3.23: Análisis estático del chasis

El material del eje es acero inoxidable recocido con un límite elástico de $2.92e8 \frac{N}{m^2}$, la deformación estimada que ejerce la goma elástica sobre el eje es de 273.5N. El cubo que se muestra en la Figura 3.24 es para fines prácticos.

La Figura 3.25a muestra el desplazamiento en mm, el desplazamiento máximo es 0.3292 mm en la punta del eje. La Figura 3.24b muestra la tensión en Von Mises con un valor máximo de $1.226e8 \frac{N}{m^2}$ en el punto de contacto del eje con el soporte.

Como el valor máximo de tensión es casi la mitad del límite elástico del material, el eje experimenta una deformación dentro del comportamiento elástico; esto significa que, una vez que se elimina la tensión, el material vuelve a su forma original.

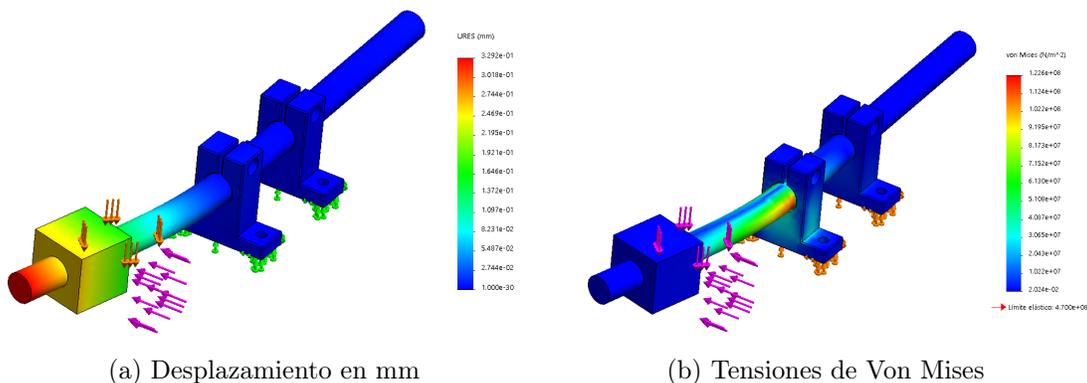
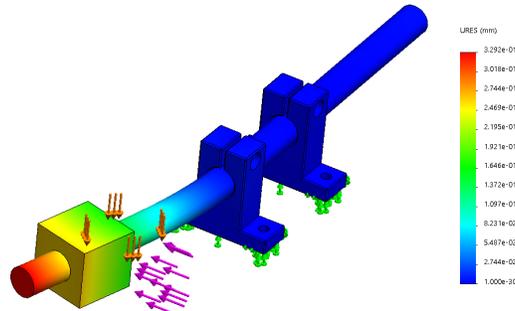


Figura 3.24: Análisis estático de los ejes



(a) Desplazamiento en mm

3.5.2. Selección de componentes

Debido al desempeño de Khalo se decidió hacer la adquisición de nuevos actuadores que mejoren la velocidad de desplazamiento.

- Selección de actuadores: Se decidió adquirir dos motores Alfa Wheels MY1020 dado que estos motores de DC proporcionan una mayor velocidad y mayor torque.
- Selección del controlador para los actuadores: Para emplear correctamente los actuadores, se optó por adquirir los drivers Alfa Wheels YK31, estos drivers permiten un control más eficaz al permitir cambiar de dirección de giro, esto representa una importante ventaja de tiempo, así como de agilidad y movilidad del sistema.
- Selección de fuente de alimentación: Cabe mencionar que se adquirieron otras dos baterías Ytx9lbs para complementar el voltaje necesario para los nuevos actuadores.

En la siguiente tabla se presenta el desglose y las características técnicas de los nuevos componentes.

Componente	Categoría	Características
Alfa Wheels MY1020	Actuador	Tipo: Motor DC, escobillas, imán permanente Voltaje: 48 V Amperaje: 20.8 A Dimensiones: 215.9x147x145mm
Alfa Wheels YK31	Controlador	Voltaje: 24V Potencia: 500W Dimensiones: 170.9x107.9x59.9mm

3.5.3. Desempeño y comprensión de las capacidades de Kahlo

El robot mostró una notoria mejora en la movilidad en cuanto a velocidad de movimiento, así como una mayor firmeza estructural. Se destaca que el robot puede realizar giros sobre su propio eje; esto permite una mejor movilidad en espacios estrechos.

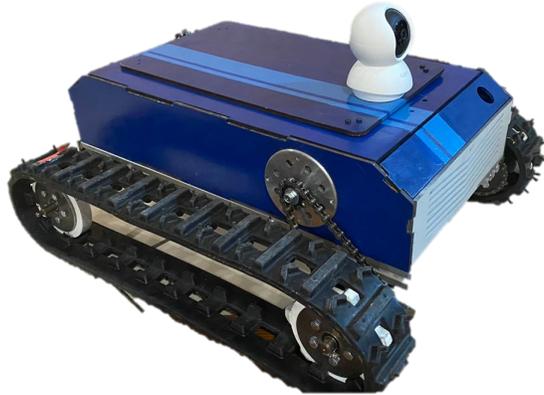


Figura 3.25: Tercer prototipo del robot "Kahlo".

En la Figura 3.25 se muestra el prototipo terminado.

4. Interfaz Gráfica y Sistema de Visión

En esta sección se presenta el diseño de la interfaz de usuario del robot móvil, contemplando este proceso desde la proyección de ideas conceptuales, así como la retroalimentación obtenida durante la competencia TMR 2019. Llevando las ideas conceptuales al diseño y desarrollo de una interfaz acorde a los requerimientos y funcionalidades del robot móvil, así como el desarrollo del sistema de visión para el Robot de Rescate "Khalo", partiendo de las características de las pruebas de la competencia que ponen a prueba el software del robot en el área de inspección.

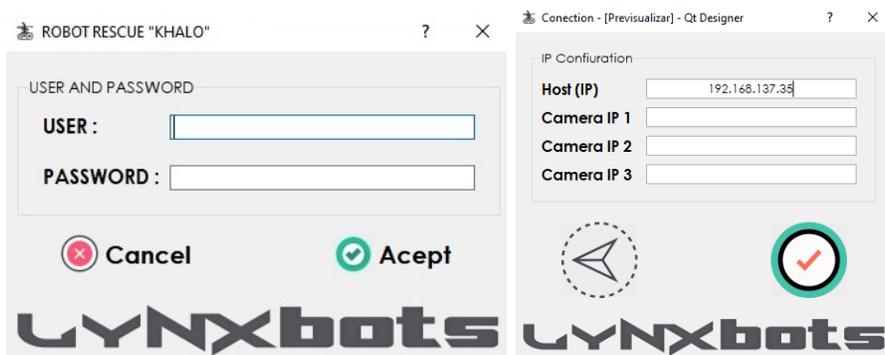
4.1. Interfaz de usuario

El diseño de la interfaz de usuario fue basado en ciertas características de videojuegos, con la intención de hacerla mas atractiva visualmente e intuitiva. Esto sin descuidar las características mencionadas en el reglamento de la competencia. Se encuentra conformada por tres ventanas principales: Login Window, Main Window y Connection Window.

Login Window, Figura 4.1a, permite realizar un inicio de sesión, creada con la intención de crear un registro por cada uno de los usuarios del robot, y de esta manera poder generar un histórico de desempeño del robot y del usuario.

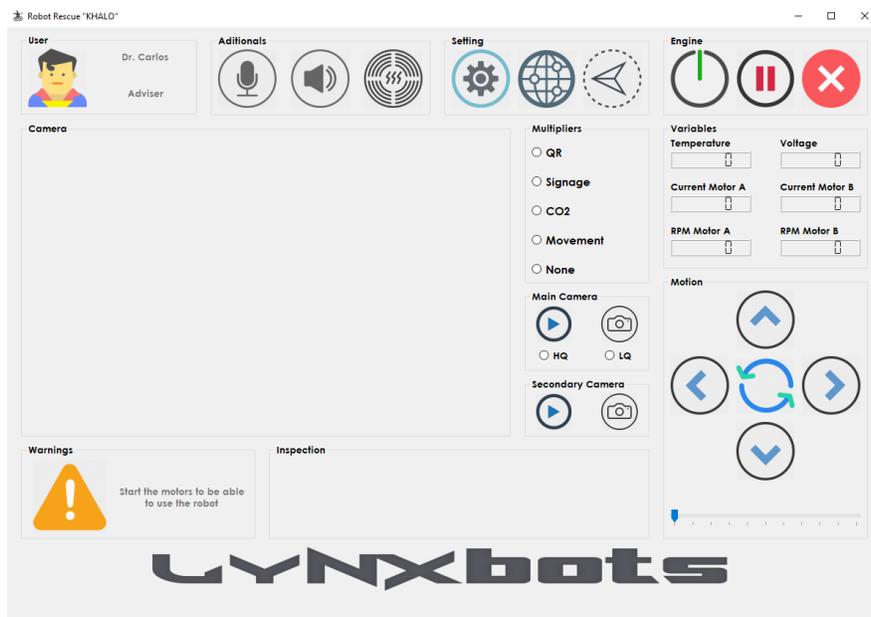
Connection Window, Figura 4.2b, permite introducir las direcciones IP en caso de requerir activar o desactivar una cámara; Generando, una nueva ventana donde se muestra únicamente la transmisión de la cámara añadida.

Main Window, Figura 4.1c, cuenta con los accesos a ventanas adicionales, que permiten dar más funcionalidades al robot. Los Iconos de la interfaz se encuentran direccionados a teclas específicas, para un manejo mas rápido y sencillo y se despliega la información mas relevante a monitorear del robot. Para las secciones de competencia se cuenta con un área en la cual se proyecta la transmisión de la cámara principal, en otra área se despliegan las advertencias importantes a atender por el usuario, y un área donde se presenta la información obtenida por la parte de visión del robot, siendo esta desplegada de acuerdo a lo indicado en el reglamento de la competencia. Con la intención tener un menor consumo de recursos, las diversas inspecciones por medio de visión son activadas en otra área desplegada en la ventana principal.



(a) Login

(b) Connection



(c) Main

Figura 4.1: Interfaz de usuario

4.1.1. Descripción de iconos dentro de la interfaz

Cada una de las secciones de las ventanas, específicamente la ventana principal, Figura 4.1 c, cuenta con subdivisiones dedicadas a actividades específicas del robot en las cuales se hace el uso de iconos, en esta sección se presenta la interpretación de cada uno de ellos.

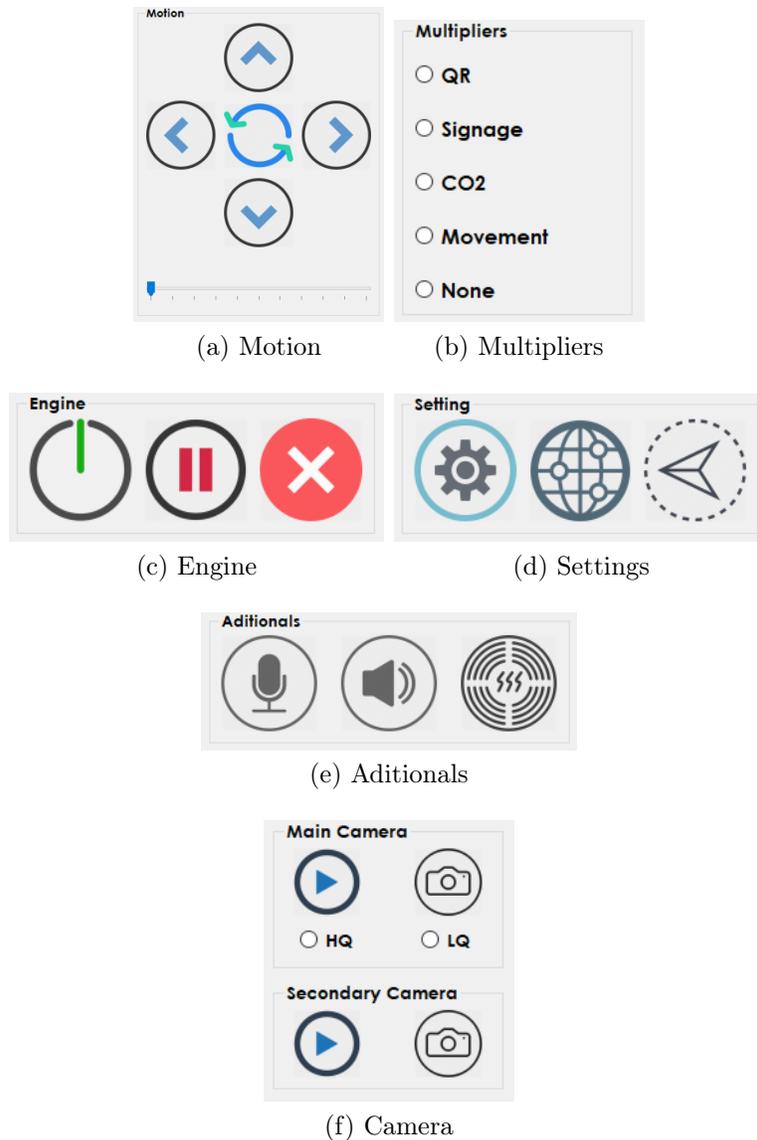


Figura 4.2: Interpretación de iconos

La sección "Motion", Figura 4.2a, contiene los iconos correspondientes para mover el robot, siendo estos movimientos: avanzar, retroceder, girar a la derecha, girar a la izquierda, y rotar. Además contiene un slider, el cual se emplea para la velocidad a la cual se desplaza.

La sección "Multipliers", Figura 4.2b, contiene las acciones que se pueden llevar a cabo con la cámara, estas se activan mediante el uso de un radio button restringiendo así la ejecución de acciones a una a la vez.

En la Figura 4.2c, se encuentran los iconos de ".Engine", estos tres iconos representan: Encendido del robot o habilitación de motores, el siguiente icono representa la sección pausa hacia la transmisión de vídeo, procesamiento de imágenes, etc, por ultimo se encuentra el icono correspondiente para abandonar la interfaz de usuario.

Dentro de la sección "Settings", Figura 4.2d, se encuentran los iconos correspondientes para, ir a la ventana de "Settings", realizar la conexión con los dispositivos IP adicionales y

eliminar o restablecer la configuración inicial.

La sección ".Additional", Figura 4.2 e, se creó con la intención de agregar funciones futuras, si bien su funcionamiento no se encuentra activado, la interpretación de los iconos corresponde a: activación del micrófono, activar altavoz, encender alarma o sirena.

Para inicializar la transmisión de vídeo de la cámara principal y una cámara secundaria, se cuenta con la sección "Main camera" y "Secondary camera", Figura 4.2 f, en estas secciones se cuenta con los iconos para iniciar la transmisión y tomar alguna captura cuando sea requerido. adicional a esto se puede seleccionar la calidad de vídeo de la cámara principal.

4.2. Sistema de visión desarrollado para la competencia RoboCup Rescue Major

El sistema de visión en los robots de rescate en la competencia Robocup Rescue Major, se emplean para la "detección de víctimas", lectura de códigos QR, interpretación de señalética, identificación de objetos. Además de ser parte indispensable para proporcionar una perspectiva al usuario del robot para visualizar el entorno en el que se encuentra.

Durante las competencias, y de acuerdo al reglamento, las pruebas antes mencionadas al ser consideradas habilidades extras de los robots; se emplean como multiplicadores de puntaje. Para el caso del robot de rescate "khalo" fueron seleccionadas las áreas de detección de víctimas, lectura de códigos QR e interpretación de señalética.

La programación del sistema de visión del robot de rescate, fue desarrollada en Python, empleando auxiliares existentes, como lo es OpenCV y algunas librerías existentes, para mejorar ciertas características del código.

4.3. Detección de víctimas.

La prueba, Detección de víctimas, se ejecuta inspeccionando un área especificada, en la cual se debe de detectar el movimiento y resaltar con un rectángulo las áreas sobre las cuales se produjo movimiento, el movimiento producido se interpreta como la existencia de una víctima.

Para el desarrollo de esta habilidad en el robot de rescate "Khalo", se implementa la comparación de matrices, para ello el robot permanece de manera estática habiendo tomado una captura del área a inspeccionar (vista general del usuario), después se realiza una comparación en N ocasiones, recordando que en la comparación de matrices ambas deben ser del mismo tamaño, obteniendo la zona de movimiento gracias a la variación en los números equivalentes al color de cada píxel, y de esta manera denotarla. Se considera un rango de error (sensibilidad) ante la interpretación de estos cambios, ya que se depende de la iluminación existente en ese momento, así como de las vibraciones externas.

La solución empleada para el desarrollo de esta habilidad es susceptible a los cambios de iluminación, ya que se generan sombras o ruido, provocando el realzar áreas sobre las cuales no se presentan cambios significativos. Para solucionar la problemática del de este ruido se emplea una tolerancia sobre los píxeles de la matriz que van cambiando.

4.4. Código QR

La lectura de códigos QR, Figura 4.3, durante la competencia, se ejecuta identificando los códigos QR existentes en la competencia mediante la observación del operador hacia el entorno proporcionado por la transmisión de video, ya que estos pueden contener información o instrucciones a realizar. La información de los códigos QR se debe ver plasmada sobre la interfaz de usuario, de acuerdo a las indicaciones del reglamento.

Esta habilidad en el robot "Khalo", se logra desenvolver cuando el robot se encuentra en movimiento, de esta manera se propicia el aprovechar el tiempo disponible para ejecutar la tarea.

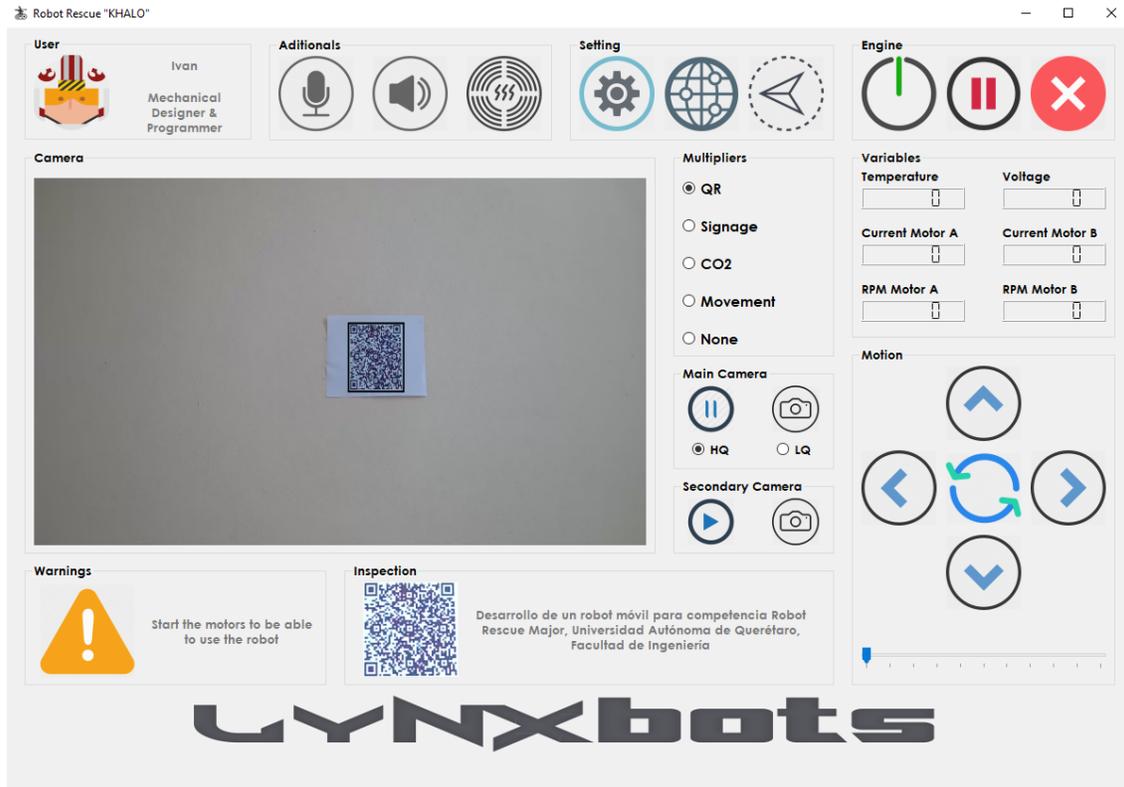


Figura 4.3: Identificación de código QR por el sistema de visión.

Para ello se realiza la identificación de la forma cuadrada del código QR, esto permite crear una ampliación a la cual se le implementa la discriminación por área permitiendo eliminar elementos no deseados en la figura, posteriormente se aplica una erosión sobre la imagen, reduciendo el ruido en la imagen generada por elementos no deseados o separando elementos unos de otro, qué por la distorsión de la imagen pudiesen aparentar estar juntos todo esto constituye una parte importante para poder realizar la lectura de los códigos QR a una distancia considerable. La interpretación de los códigos QR se realiza mediante librerías ya existentes en el ambiente de desarrollo de Python.

4.5. Señalética

La lectura de señaléticas durante la competencia, se ejecuta identificando señaléticas existentes en la competencia, siendo la primera identificación iniciada por el operador, con la finalidad de identificar las precauciones a tener o identificar áreas con características críticas. Una vez identificada una señalética, se debe plasmar la captura y el significado de esta en la interfaz de usuario.

Dicha habilidad del robot "Khalo", se puede ejecutar cuando el robot se encuentra estatico o en movimiento, para así aprovechar el tiempo durante la competencia como lo puede ser el cambiar de posición, avanzar o realizar algún ajuste. Para realizar esta clasificación e identificación de las señaléticas, se realiza una preclasificación, según la clasificación de la norma ISO 7010:2019 Figura 4.4, comenzando por el color (amarillo, verde, azul y rojo) y con esta identificar entre señaléticas de obligación Figura 4.5, advertencia Figura 4.6, salvamento o seguridad Figura 4.7 y prohibición o incendios. Una vez realizada esta preclasificación, con las señaléticas de obligación, advertencia y evaluación, se realiza una comparación de la captura de la señalética obtenida por el robot con un conjunto de imágenes de señaléticas previamente almacenadas de acuerdo a la categoría a la que pertenece en la preclasificación, de esta manera se obtiene el resultado de la interpretación de la señalética mediante la comparación y encuentro de similitudes.

	Category				
	E	F	M	P	W
	Evacuation route, location of safety equipment or safety facility, safety action (safe condition signs)	Fire equipment signs	Mandatory action signs	Prohibition signs	Warning signs
Safety sign					
Reference number	E001	F001	M001	P001	W001
Referent	Emergency exit (left hand)	Fire extinguisher	General mandatory action sign	General prohibition sign	General warning sign
Safety sign					
Reference number	E002	F002	M002	P002	W002
Referent	Emergency exit (right hand)	Fire hose reel	Refer to instruction manual/booklet	No smoking	Warning; Explosive material
Safety sign					
Reference number	E003	F003	M003	P003	W003
Referent	First aid	Fire ladder	Wear ear protection	No open flame; Fire, open ignition source and smoking prohibited	Warning; Radioactive material or ionizing radiation

Figura 4.4: Ejemplo de señáletica según ISO 7010:2019.



Figura 4.5: Identificación de señalética de obligación por el sistema de visión.

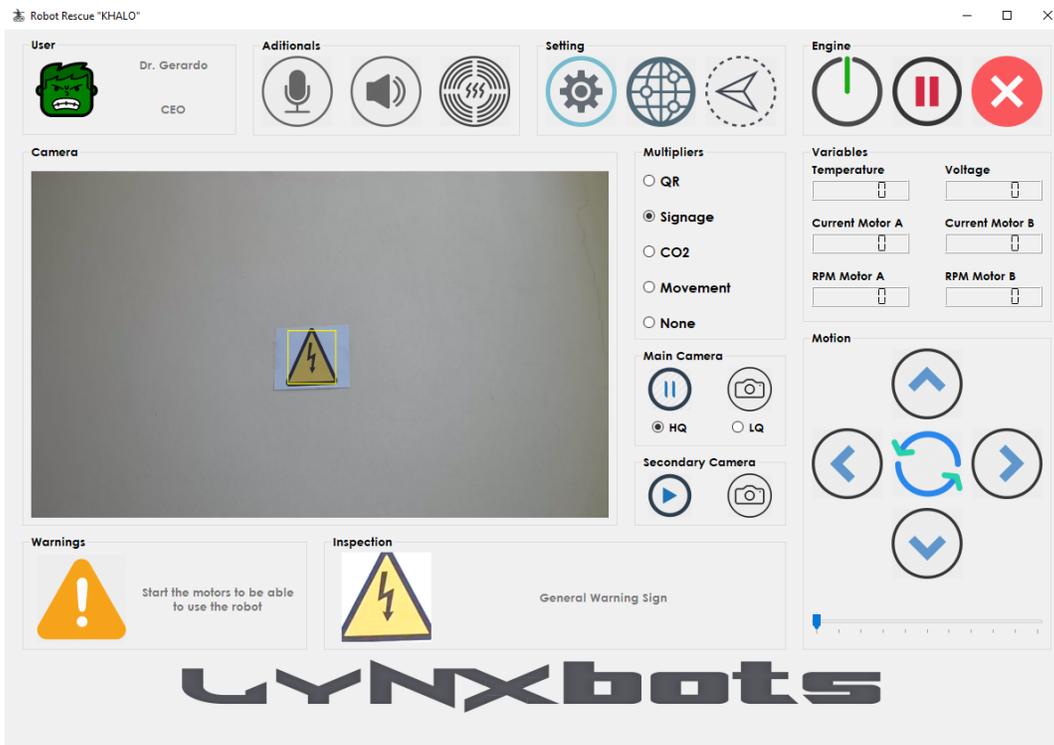


Figura 4.6: Identificación de señalética de precaución por el sistema de visión.

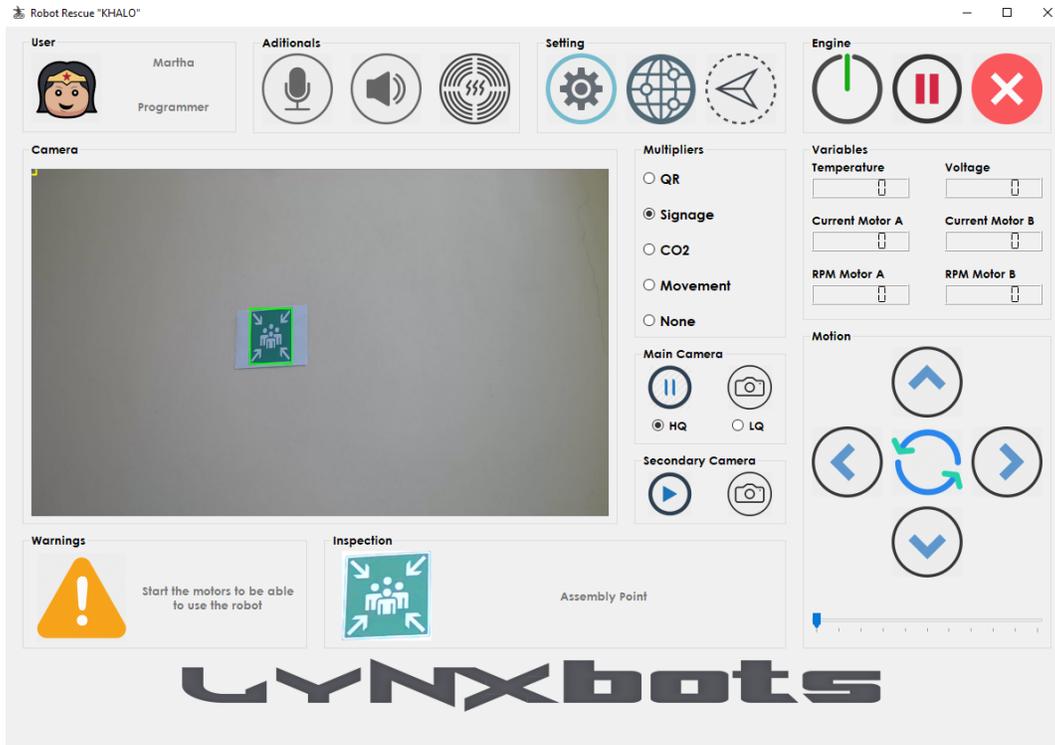


Figura 4.7: Identificación de señalética de salvamento por el sistema de visión.

En el caso de la clasificación por color rojo, se realiza una clasificación por forma (círculo, cuadrados). Esto permite la clasificación entre señalética de prohibición y señalética de incendios. Una vez realizado este paso, se procede a comparar la señalética a evaluar con un conjunto de imágenes correspondientes, para su identificación, como se menciono anteriormente.

Cabe denotar que la identificación de señalética depende del tipo de imágenes almacenada a identificar, esto marca una limitante ya que el sistema es propicio a no encontrar una solución, además de depender de la iluminación existente para la preclasificación por color. Esta limitante se cubre parcialmente mediante el ajuste de parametros en el lugar de competencia, además de añadir las imagenes de señaléticas más comunes a aparecer en competencia.

5. Resultados y Conclusiones

Este trabajo presenta la metodología para diseñar e implementar un robot de rescate Khalo, capaz de cumplir el desempeño esperado de los robots de respuesta en misiones del mundo real: movilidad, destreza y exploración. Nuestro enfoque se basa en la evaluación de la competencia RoboCup Rescue Robot. Analizando comparativamente cada diseño respecto al anterior y, por lo tanto, presentamos un desarrollo mejorado para Khalo. Los resultados experimentales y las evaluaciones de prueba de nuestro trabajo confirman que la integración del conocimiento sobre las necesidades del mundo real (Diseño del sistema de tracción, dimensiones, duración de batería, etc.) en el proceso de diseño e implementación puede ser de gran apoyo en el desarrollo integral del robot. Esperando que el método propuesto sienta bases útiles para que los desarrolladores mejoren los futuros robots de rescate. Con base en las dimensiones y la delimitación del presupuesto identificamos el rango de operación de los motores considerando la condición de carga útil extrema como base para la operación continua de nuestro sistema. A través de pruebas de evaluación integral, el desempeño de nuestro robot ha sido puesto a prueba mediante experimentación y la competencia de Robótica RoboCup-TMR. Además las pruebas reiterativas en los modelos del robot, así como las diversas participaciones y desarrollos de documentación como lo fueron, diversos proyectos FOPEFI, presentación de Papers y el desarrollo de un artículo, verifican las mejoras a causa de la metodología de rediseño, además de demostrar la aplicación de una mejora continua con la intención de desarrollar un mejor proyecto.

5.1. Desempeño

Esta sección analiza la evaluación del desempeño en campo de Kahlo. En términos generales, los métodos de prueba estandarizados presentan conjuntos de pruebas estructurados y reproducibles. Estas ayudan a los desarrolladores a pruebas desafiar las capacidades prácticas del robot y obtener información sobre los diseños y desarrollos futuros. Aunque el robot falló en una prueba de validación como se ilustra en la Tabla 4, su desempeño integral satisfice adecuadamente los objetivos de la misión. En las pruebas de movilidad, cada elemento de la prueba se considera completado / aprobado cuando el robot realiza con éxito dos repeticiones sobre el terreno de prueba. Dicho esto, el robot realizó de manera eficaz múltiples pruebas de movilidad como maniobrar en rocas, atravesar rampas, atravesar campos de arena y superar obstáculos no estructurados. Entre todas estas pruebas de movilidad, las escaleras de tabiques es la más desafiante, ya que cuestiona instantáneamente la movilidad y estabilidad del robot y la destreza del operador.

Resultados de traducción Como nota final sobre la movilidad del robot, su desempeño en diferentes elementos de prueba diseñados originalmente para los primeros respondedores humanos fue satisfactorio, aunque la depreciación del robot fue significativamente más alta en comparación con el desempeño en las suites de prueba del RRL.

A continuación, ponemos a prueba las capacidades de inspección del robot a través de cuatro pruebas prácticas, a saber, inspección de automóviles, exploración de pasillos oscuros, exploración de pasillos llenos de humo e inicio de áreas por debajo del nivel del suelo. Una prueba de inspección se considera completa cuando el robot se acerca al objetivo determinado de cerca y luego transmite información aguda y perspicaz del objetivo. En este sentido, el

robot inspeccionó con éxito el espacio dentro del automóvil desde la distancia disfrutando del amplio espacio de trabajo del manipulador. Durante todas las pruebas de movilidad e inspección, la calidad de la comunicación inalámbrica entre el robot y la OCU ha sido monitoreada constantemente para corroborar su funcionalidad.

Prueba	Nombre de la prueba / Descripción
	Colinas: Terreno rocoso
Movilidad	Rampas elevadas: Terreno de colinas de ladrillos Rampa: Campo de rampas de 15 grados Obstáculos: Obstáculo de tabiques 20 cm de altura para subir y bajar.
Exploración	Test de Visión: Serie de identificación de señalética y códigos QR
Maniobrabilidad	Centro: Pasillo con giro ajustado Negociar: Conjunto de palos verticales y diagonales móviles para empujar (sin romper)



(a) Funcionamiento en rocas.



(b) Funcionamiento en ladrillos.



(c) Prueba de visión



(d) Funcionamiento en arena.

Figura 5.1: Pruebas de funcionamiento del segundo prototipo del robot de rescate "Kahlo".

En las Figuras 5.1 pueden observarse las pruebas de funcionamiento obtenido durante el TMR 2019 celebrado en Guadalajara, Jal.



(a) Funcionamiento en pavimento.



(b) Funcionamiento en terreno terroso.



(c) Funcionamiento en escalones.

Figura 5.2: Pruebas de funcionamiento del tercer prototipo del robot de rescate "Kahlo".

En las Figuras 5.2 pueden observarse las pruebas de funcionamiento del tercer prototipo del robot de rescate "Kahlo".

Referencias

- [1] Jaramillo Suárez, Héctor. (2001). Diseño Mecánico por Elementos Finitos.
- [2] Ochoa Suárez Diana Milena, Vivas Juliana y Santafé Rangel Elkin Rodolfo (2009). USO DEL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS (MEF) PARA LA DETERMINACIÓN DE ESFUERZOS Y DEFORMACIONES EN UN MODELO DE POZO. *Fuentes el reventón energético*, 7(1), 27-35.
- [3] F. P. Beer, E. R. Johnston, Jr, J. T. DeWolf, D. F. Mazurek. (2010). Mecánica de materiales. 5ta. ed., México: Mc Graw Hill.
- [4] J. Marino Dodge.. (2011). Telemetry using Cellular Phone Data Networks. 2011, de Universidad Libre-Barranquilla Sitio web: <https://revistas.unilibre.edu.co/index.php/ingeniare/article/view/646/504>
- [5] Ortiz Zamora, F., 2002. Procesamiento Morfológico De Imágenes En Color. Aplicación A La Reconstrucción Geodesica. Doctorado. Universidad de Alicante.
- [6] Valladares Yanñez, M. M. A. E. S. R. R. A. R. R. J. P. S. G. I., K., y Camarillo Gómez, K. A. (2017). Desarrollo e implementación de un sistema de visión para la toma de decisiones en el control de movimientos de robots humanoides. Memorias del XIX Congreso Mexicano de Robótica.
- [7] Budynas, R., y Nisbett, J. 2008. Diseño en ingeniería mecánica de Shigley. Mc Graw Hill.
- [8] Ollero Baturone, Aníbal. (2001). Manipuladores y robots móviles. España: Marcombo.
- [9] F. Matsuno and S. Tadokoro, "Rescue robots and systems in Japan", Proc. - 2004 IEEE Int. Conf. Robot. Biomimetics, IEEE ROBOT 2004, pp. 12–20, 2004.
- [10] A. Jacoff, E. Messina, B. A. Weiss, S. Tadokoro, and Y. Nakagawa, "Test Arenas and Performance Metrics for Urban Search and Rescue Robots", IEEE Int. Conf. Intell. Robot. Syst., vol. 4, no. October, pp. 3396–3403, 2003.
- [11] S. Kang, W. Lee, M. Kim, K. Shin, and Y. Robotics, "ROBHAZ-Rescue: Rough-terrain negotiable teleoperated mobile robot for rescue mission", Proc. 2005 IEEE Int. Work. Safety, Secur. Rescue Robot., vol. 2005, no. June, pp. 105–110, 2005.
- [12] T. Kamegawa, T. Yamasaki, H. Igarashi, and F. Matsuno, "Development of the snake-like rescue robot "KOHGA", Proc. - IEEE Int. Conf. Robot. Autom., vol. 2004, no. 5, pp. 5081–5086, 2004.
- [13] H. Tsukagoshi, M. Sasaki, A. Kitagawa, and T. Tanaka, "Design of a higher jumping rescue robot with the optimized pneumatic drive", Proc. - IEEE Int. Conf. Robot. Autom., vol. 2005, no. April, pp. 1276–1283, 2005.
- [14] S. A. A. Moosavian, H. Semsarilar, and A. Kalantari, "Design and manufacturing of a mobile rescue robot", IEEE Int. Conf. Intell. Robot. Syst., pp. 3982–3987, 2006.

- [15] J. Tanaka, K. Suzumori, M. Takata, T. Kanda, and M. Mori, “A mobile jack robot for rescue operation”, Proc. 2005 IEEE Int. Work. Safety, Secur. Rescue Robot., vol. 2005, no. June, pp. 99–104, 2005.
- [16] H. Kitano, S. Tadokoro, I. Noda, H. Matsubara, T. Takahashi, A. Shinjou and S. Shimada, “RoboCup rescue: search and rescue in large-scale disasters as a domain for autonomous agents research”, Proc. IEEE Int. Conf. Syst. Man Cybern., vol. 6, pp. 739–743, 1999.
- [17] Robocup Rescue. (s.f.). [League Overview – RoboCupRescue Robot League]. Recuperado 25 agosto, 2019, de <https://rrl.robocup.org/league-overview/>
- [18] Cerón Correa, A. (2005). Sistemas robóticos teleoperados. Ciencia E Ingeniería Neogranadina, 15, 62-72. <https://doi.org/10.18359/rcin.1255>
- [19] KUKA Robots industriales, 2016 www.Kuka-robotics.com
- [20] Amazon Scout: el nuevo robot autónomo repartidor de la compañía, 2019 <https://www.insights.la/2019/01/25/amazon-scout-robot-autonomo-repartidor/>
- [21] Lic. Adrián Estrada Corona. (10 de septiembre 2004). PROTOCOLOS TCP/IP DE INTERNET. Revista Digital Universitaria, Volumen 5 Número 8, 7.