

**UNIVERSIDAD RICARDO PALMA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**PROGRAMA DE TITULACIÓN POR TESIS**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECATRÓNICA**



**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE ROBOT TERRESTRE  
TELEOPERADO APLICANDO IMÁGENES TÉRMICAS PARA  
MITIGAR INCENDIOS EN RESIDENCIALES OPERADO POR  
BOMBEROS VICTORIA N°08**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO  
MECATRÓNICO**

**PRESENTADA POR:**

BACH. MORZAN SOTO, ARTURO ALEJANDRO

BACH. ZERGA TAPIA, BRUNO GIUSEPPE

**ASESOR:**

Mg. Ing. PALOMARES ORIHUELA, RICARDO JOHN

**LIMA-PERÚ**

**2018**

## **DEDICATORIA**

*Dedico esta tesis a mi familia y amigos quienes siempre me apoyaron durante toda mi carrera y lo siguen haciendo en cada etapa de mi vida. También a esa persona especial que ha estado apoyándome en las buenas y en las malas.*

*Arturo Morzan Soto*

*Dedico esta tesis a mis padres por ser el pilar fundamental en todo lo que soy, en toda mi educación, tanto académica, como de la vida, a mis amigos que siempre estuvieron presentes en las distintas etapas de mi vida y a mis maestros por ser los formadores de mis conocimientos.*

*Bruno Zerga Tapia*

## **AGRADECIMIENTO**

Nuestro más sincero agradecimiento a nuestra querida Universidad, que nos abrió las puertas del conocimiento; a la Estación de Bomberos La Victoria N°8 por permitirnos trabajar en conjunto para demostrar la viabilidad de este proyecto; y a todos nuestros maestros y seres queridos que de alguna forma nos apoyaron constantemente para llevar a cabo esta tesis.

## RESUMEN

La presente tesis titulada “Diseño e Implementación de Robot Terrestre Teleoperado aplicando imágenes térmicas para mitigación de fuego operado por bomberos de La Victoria N° 08” está compuesta por un robot terrestre teleoperado el cual es capaz de detectar focos de alta temperatura con la ayuda de la aplicación de imágenes térmicas.

La utilización de este robot terrestre teleoperado durante la mitigación del fuego en caso de algún incendio será determinante para lograr resultados rápidamente. Es gracias su diseño robusto, el cual le brinda una mayor estabilidad y precisión, que este robot logra actuar en entornos hostiles. Además, gracias a su sistema de detección de focos de alta temperatura, el robot le muestra al usuario a través de una interfaz amigable, donde es que este debe centrarse para mitigar el fuego eficientemente.

La adquisición de dichas imágenes térmicas se llevó a cabo mediante la instalación de una cámara infrarroja en el mismo robot, la cual proveerá de información relevante al usuario, quien es el responsable de controlar el robot.

Como resultado de la presente tesis, se implementó de manera exitosa un sistema complejo que une al hardware robusto y pesado con una interfaz amigable para el usuario. Dicho sistema permitirá que los bomberos cuenten con una herramienta más eficiente y poderosa para su labor de día a día.

**Palabras Claves:** Teleoperado, Cámara Infrarroja, Imágenes Térmicas, Focos de Fuego.

## **ABSTRACT**

This thesis entitled “Thermal imaging application on the design and implementation of a terrestrial tele operated robot for fire mitigation in case of urban conflagrations to be used by the Victoria’s N°8 fire station” is composed by a terrestrial tele operated robot that is capable of detecting high temperature points with thermal imaging help.

The utilization of this terrestrial tele operated robot during the mitigation of fire in case of any urban conflagration will be important to reach the main objective. It’s thanks to its robust design giving to it more stability and precision that makes this robot capable of operating in hostile environment. Furthermore, thanks to its high temperature points detection system, the robot shows to the user through a friendly interface, where does he should focus to mitigate the fire efficiently.

The thermal imaging acquisition was possible because of the installation of an infrared camera on top of the robot, where it can provide relevant information to the user, who is responsible for operating the robot.

As a result of this thesis, a complex system that unifies robust hardware with a friendly interface was successfully implemented. This system will allow firefighters count on one efficient and powerful tool for their daily work.

**Palabras Claves:** Tele operated, Infrared camera, Thermal Imaging, High Temperature Points.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTO.....	3
RESUMEN.....	4
ABSTRACT .....	5
INTRODUCCIÓN.....	7
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	10
1.1 Problematización.....	12
1.2 Objetivos .....	12
1.3 Justificación.....	13
1.4 Estructura de la Tesis .....	14
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	17
2.1 Antecedentes de la Investigación .....	17
2.2 Selección de Variables .....	20
2.3 Bases Teóricas .....	21
CAPÍTULO III: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA.....	48
3.1 Diseño Mecánico.....	48
3.2 Diseño Eléctrico .....	81
3.3 Diseño Electrónico .....	84
3.4 Diseño Informático .....	89
3.5 Implementación del Sistema.....	90
CAPÍTULO IV: PRUEBAS Y RESULTADOS.....	108
4.1 Pruebas.....	108
4.2 Resultados .....	110
CONCLUSIONES.....	122
OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES .....	123
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	124
ANEXOS.....	126

# INTRODUCCIÓN

En el Perú existe un crecimiento notable a través de los últimos años en lo que respecta a la población urbana. El Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) nos advierte que en tan solo 5 años la población ha superado los 30 millones de habitantes. La evolución de la población en un lapso de 5 años puede ser apreciada en la figura 1 adjunta donde se muestra una comparativa entre la población total y la urbana.

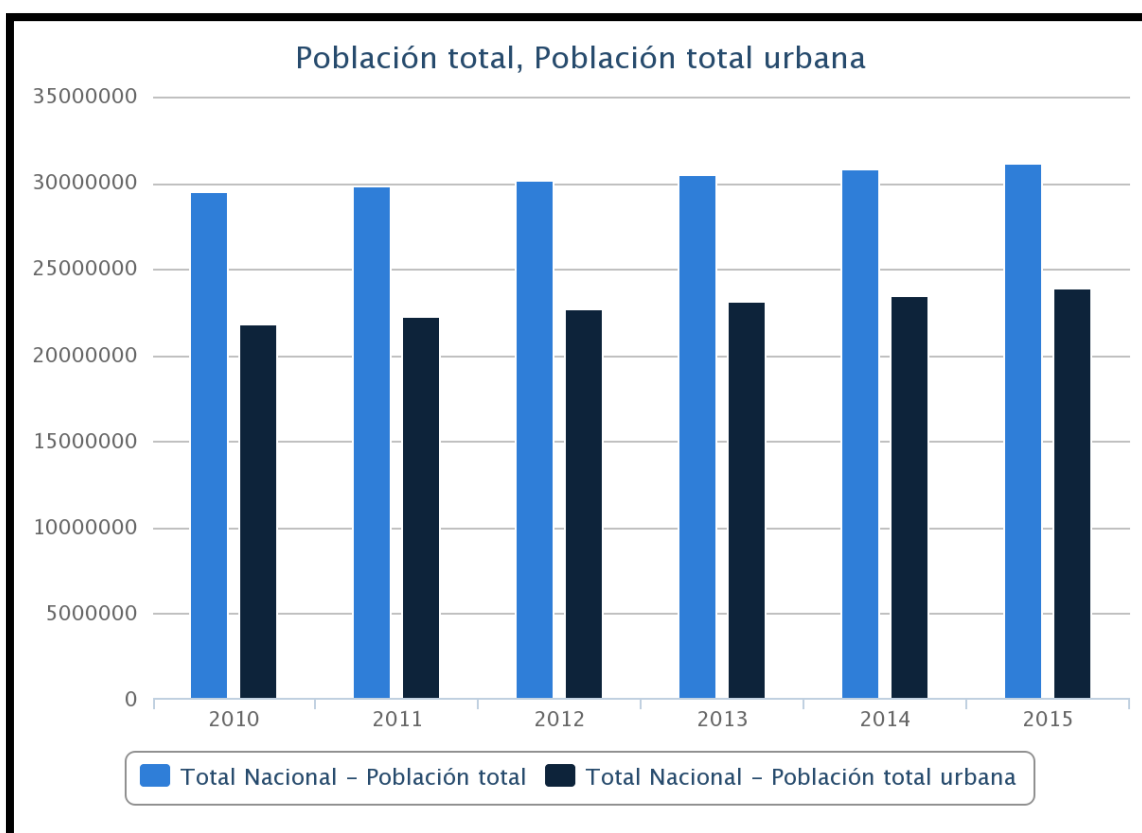


Figura 1. Estadísticas INEI Población Urbana vs Población Total

Fuente: <http://webapp.inei.gob.pe:8080/sirtod-series/>

Siguiendo lo mostrado en la figura, además de un crecimiento de la población en general, se registra un aumento de la población del sector urbano en igual o

mayor proporción que el número total de habitantes, superando así los 25 millones de personas.

Un aumento en la población urbana significa un aumento en la densidad poblacional en zonas urbanas, pues la población crece más rápido que los espacios habitables. Esto a su vez provoca que, con la finalidad de adaptarse a los espacios, se terminen construyendo viviendas que no cumplan con todas las condiciones de seguridad necesarias para evitar algún siniestro.

De la estadística obtenida gracias a la herramienta que proporciona la página web del INEI, es posible asumir que existirá una mayor cantidad de casos de emergencias para ser atendidos por los bomberos, siendo incluso la más recurrente la de incendios.

Con toda esta información recopilada, se formula la siguiente pregunta ¿Es posible brindarles a los bomberos una herramienta capaz de apoyarlos durante la atención de incendios? Y de ser así, ¿Esta herramienta determinará una mejora en el resultado final?

En la presente tesis “Diseño e implementación de robot terrestre teleoperado aplicando Imágenes térmicas para mitigar incendios en residenciales operado por bomberos Victoria N°08” se detallarán los principales problemas a los que están expuestos los bomberos durante su labor, descubriendo así mediante diversas pruebas piloto como un robot terrestre teleoperado puede convertirse en su principal herramienta de soporte.

El objetivo principal de la presente tesis fue el diseño implementación de un robot terrestre teleoperado que con la ayuda de imágenes térmicas en tiempo real sea capaz de ser operado para movilizarse en zonas de condiciones adversas y a su vez direccionar el flujo de agua correctamente. La investigación se ha estructurado de la siguiente manera:

CAPÍTULO I: Planteamiento del problema, objetivos generales y específicos, justificación, alcances y limitaciones de la investigación.

CAPÍTULO II: Marco teórico, donde se explican todas las condiciones necesarias para alcanzar los objetivos planteados, también se reúnen antecedentes



nacionales e internacionales para referencia, selección de variables para identificar el campo de estudio y finalmente las bases teóricas que sirven de pilares para la investigación.

CAPÍTULO III: Diseño e implementación del sistema, donde se detallan las etapas del mismo, tales como diseño mecánico, electrónico, eléctrico e informático.

CAPÍTULO IV: Pruebas y resultados, donde se comprueban los objetivos y se obtienen resultados satisfactorios.

Finalmente, las conclusiones, recomendaciones y observaciones forman parte del cierre de la presente investigación, sentando las bases para trabajos futuros sobre el tema.


## CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El Cuerpo General de Bomberos Voluntarios del Perú (CGBVP) tiene como uno de sus principales objetivos el de desarrollar acciones que permitan combatir, controlar y extinguir incendios, rescatar y salvar personas expuestas a peligro por incendios o accidentes en general, atendiendo las emergencias derivadas de los mismos y prestando atención y asistencia oportuna en la medida de sus posibilidades.

El CGBVP, está conformado por 25 comandancias departamentales, y estas a su vez se dividen en un total de 175 compañías de bomberos a nivel nacional las cuales se encuentran en constante labor, atendiendo las emergencias que se presenten.

De esto es posible deducir que la mayoría de las emergencias atendidas por el cuerpo general de bomberos corresponden al sector urbano, pues este representa una mayoría dentro la población total.

En la figura 2 es posible observar que tan solo en lo que va del 2018 se han registrado 5861 incendios, siendo esta una cifra significativa si se tiene en cuenta que el personal capacitado para combatir los incendios es escaso.



**CUERPO GENERAL DE BOMBEROS VOLUNTARIOS DEL PERU  
COMANDO NACIONAL**

**ESTADISTICA DE EMERGENCIAS ATENDIDAS A NIVEL NACIONAL  
TIPO DE EMERGENCIA - 2018**

TIPO DE EMERGENCIA	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
Incendios	1272	1017	1059	937	868	708	0	0	0	0	0	0	5861
Fuga de gas licuado	547	476	542	548	464	442	0	0	0	0	0	0	3019
Emergencias medicas	5004	4681	5404	5114	5476	4627	0	0	0	0	0	0	30306
Rescates	395	351	427	357	326	414	0	0	0	0	0	0	2270
Derrame de productos	3	7	5	9	6	6	0	0	0	0	0	0	36
Corto circuito	248	213	241	240	243	219	0	0	0	0	0	0	1404
Servicios especiales	543	466	556	716	735	492	0	0	0	0	0	0	3508
Accidentes vehiculares	1267	1189	1335	1304	1293	1145	0	0	0	0	0	0	7533
Falsa alarma	287	282	284	276	255	212	0	0	0	0	0	0	1596
Otros	232	225	241	171	143	269	0	0	0	0	0	0	1281
<b>TOTAL</b>	<b>9798</b>	<b>8907</b>	<b>10094</b>	<b>9672</b>	<b>9809</b>	<b>8534</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>56814</b>

Estadísticas procesada el al %  
FUENTE: CUERPO GENERAL DE BOMBEROS VOLUNTARIOS DEL PERÚ

Figura 2. Estadística de emergencias atendidas a nivel nacional

Fuente: [http://www.bomberosperu.gob.pe/po\\_muestra\\_esta.asp](http://www.bomberosperu.gob.pe/po_muestra_esta.asp)

Es una ocurrencia común durante los siniestros que existan pérdidas humanas, tanto de las personas afectadas como de los bomberos, siendo así la consecuencia más trágica de todas.

Generalmente esta incidencia de muertes está relacionada con la rapidez y eficacia del trabajo del bombero, sin embargo, la precariedad de sus herramientas limita a la organización al momento de combatir el incendio.

Por el ámbito económico tenemos las innumerables pérdidas materiales como consecuencia de un incendio. Esto lamentablemente es inevitable, sin embargo, sí es posible reducirlo y una vez más se encuentra relacionado con la rapidez y eficacia de la labor de los bomberos.

Dentro de la problemática, también existen factores previos al incendio que de una u otra manera repercuten en el manejo de este. La falta de un alto número de personal capacitado es uno de ellos, pues ser bombero no es una labor para cualquiera, ya que dentro el cuerpo de bomberos solicita ciertos requisitos y condiciones que los aspirantes deberán cumplir, además de someterse a un duro entrenamiento para poder formar parte del grupo. Entonces, se puede afirmar que el cuerpo de bomberos cuenta con personal altamente entrenado para combatir situaciones de riesgo, tanto para mitigar el fuego como para el rescate de personas afectadas.

Si se analiza con mayor detalle la labor del bombero, se tiene que, durante una llamada de auxilio, el equipo de bomberos se dirige al punto final, en el cual tendrán que iniciar con la instalación de su equipo para trabajar. Dentro de este proceso se dividen las labores para atacar el siniestro, unos realizarán las labores de rescate mientras otros se encargarán de la mitigación del fuego. Esto reduce el número de bomberos entrenados para el rescate, pues debido a la presión del agua es necesario de más de una persona para el manejo de la manguera.

Todo lo mencionado anteriormente forma parte de una misma problemática que es la de las pérdidas materiales, humanas y en conjunto de cómo afecta a la comunidad.

## **1.1 Problematización**

### **Problema General**

¿Cómo se aplicará el uso de imágenes térmicas para el diseño e implementación de un robot terrestre teleoperado para la mitigación del fuego en caso de incendio en zonas residenciales para ser utilizado por el cuerpo de bomberos La Victoria N°08?

### **Problemas Específicos**

- a) ¿Cómo realizar la selección de materiales que deberán utilizarse en el diseño del robot terrestre teleoperado para soportar las condiciones a las que será sometido durante la mitigación de fuego en caso de incendio en zonas residenciales?
- b) ¿Cómo diseñar e implementar al robot terrestre teleoperado de manera que este sea estable ante el paso del agua a altas presiones durante la mitigación de fuego en caso de incendio en zonas residenciales?
- c) ¿Cómo determinar las condiciones necesarias que permitan al robot terrestre teleoperado para expulsar el agua con precisión durante la mitigación de fuego en caso de incendio en zonas residenciales?

## **1.2 Objetivos**

### **Objetivo General**

Determinar la aplicación de imágenes térmicas para el diseño e implementación de un robot terrestre teleoperado para mitigar el fuego en caso de incendio en zonas residenciales para ser utilizado por el cuerpo de bomberos La Victoria N°8.

## **Objetivos Específicos**

- a) Realizar una selección adecuada de los materiales a utilizar en el diseño del robot terrestre teleoperado para soportar las condiciones a las que será sometido durante la mitigación de fuego en caso de incendio en zonas residenciales.
- b) Diseñar e implementar al robot terrestre teleoperado de manera que este sea estable ante el paso del agua a altas presiones durante la mitigación de fuego en caso de incendio en zonas residenciales.
- c) Determinar las condiciones necesarias que permitan al robot terrestre teleoperado expulsar el agua con precisión durante la mitigación de fuego en caso de incendio en zonas residenciales.

### **1.3 Justificación**

La justificación tecnológica implica el uso de imágenes térmicas, las cuales son captadas con la ayuda de una cámara infrarroja. Esta imagen provee información relevante al bombero usuario, pues le indica el foco de temperatura más importante para dirigir su atención al mismo y así mitigar el incendio de manera más eficiente. Asimismo, la transmisión inalámbrica de información permitirá un control a distancia, alejando al usuario del peligro.

La justificación social se da como una herramienta capaz de salvar vidas, pues el hecho de ser un robot teleoperado reduce considerablemente el riesgo al cual está sometido el bombero usuario. Por otro lado, también permitirá un control eficiente del incendio lo que reduciría tiempos en la mitigación del fuego, ampliando las posibilidades de salvar las vidas de los afectados.

La justificación económica consiste en reducir la cantidad de daños tanto a causa del fuego como del agua que lo controlará durante el siniestro. Esto, obviamente implica que exista un mejor control sobre el fuego, evitando así su propagación y que sea el causante de mayores consecuencias. Otro punto para revisar será el ahorro de agua que habrá gracias a la eficiencia del sistema, logrando así un ahorro de recursos a largo plazo.

## **Alcances y Limitaciones de la Investigación**

La presente tesis abarca tanto el diseño como la implementación de un sistema capaz de dirigir el chorro de agua hacia puntos de alta temperatura gracias a la aplicación de imágenes térmicas y al control del bombero usuario.

Sus principales características y atributos son los siguientes:

- a) Una cámara infrarroja capaz de proveer imágenes térmicas que permitan evidenciar los focos de alta temperatura.
- b) Estabilidad durante la dirección de agua a altas presiones.
- c) Sistema de locomoción tipo oruga para facilitar su movilización.
- d) Interfaz de usuario amigable para el manejo del robot.

Las principales limitaciones fueron las siguientes:

- a) La elección de un sistema de locomoción que dote al sistema de estabilidad y facilidad de movimiento.
- b) La selección de materiales capaces de resistir a altas temperaturas, pues pueden llegar a ser bastante costosos.
- c) Lograr una actualización de imagen capaz de ser de utilidad para el bombero usuario.
- d) Lograr la precisión adecuada en el manejo del agua a altas presiones, pues es clave para lograr el éxito de la presente tesis.

### **1.4 Estructura de la Tesis**

La tesis se encuentra dividida en (04) capítulos y las referencias bibliográficas.



Figura 3. Diagrama de estructura de la tesis

Fuente: Redacción propia

## Capítulo I: Introducción

En este capítulo se expone una introducción a la tesis, el planteamiento del problema, los objetivos de este mismo y la justificación de la investigación. Asimismo, se describe la estructura de la tesis, dando a conocer el contenido de cada uno de los capítulos.

## **Capítulo II: Marco Teórico**

En este capítulo se describe los antecedentes relacionados con el desarrollo de esta tesis y conceptos teóricos que enmarcan y sirven de guía para esta investigación. Se inicia por conocer más acerca de las variables y de su relación. Se investigan las condiciones del entorno al que se someten los bomberos, las presiones de agua con la que funcionan las cisternas, la transmisión de datos inalámbrica; todo esto para poder iniciar con el diseño del robot.

## **Capítulo III: Diseño e Implementación del sistema**

En este capítulo se describe el diseño e implementación de todo el sistema propuesto. Se inicia con la descripción del robot terrestre teleoperado y sobre las principales consideraciones que se tuvieron en cuenta durante su diseño e implementación. Se logra culminar el primer prototipo, el cual luego será sometido a prueba.

## **Capítulo IV: Pruebas y Resultados**

En este capítulo se describe las pruebas realizadas al robot y los resultados obtenidos durante la investigación. Se comprueba el desempeño del sistema en situaciones similares a las reales en ambientes controlados.

## **Conclusiones**

Se redactan las conclusiones en función a los objetivos propuestos inicialmente.

## **Observaciones y Recomendaciones**

Se redactan las observaciones y recomendaciones que se deberán tomar en cuenta para futuras líneas de investigación que se puedan generar.



# CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

## 2.1 Antecedentes de la Investigación

### Antecedentes Nacionales

Aznarán, I. y Reyes, G. (2016), en su tesis titulada Aplicación de la Termografía Infrarroja en Tableros Eléctricos de Distribución para Mejorar la Seguridad y la Calidad de la Energía Eléctrica, para titularse como Ing. Energía en la Universidad Nacional del Santa, Chimbote Perú; de su trabajo de grado, se puede rescatar en una de sus conclusiones el siguiente punto clave:

“Se analizaron los elementos eléctricos de operación en la actividad de mantenimiento y control de los tableros eléctricos, siendo las llaves térmicas el de mayor frecuencia (33%) por presentar elevada temperatura en sus bornes, falso contacto, corrosión” (p.76).

Se puede definir de ello la viabilidad de estas imágenes térmicas para encontrar futuros focos de alta temperatura en casos de fuego por fallas eléctricas.

Briceño, C. (2016), en su tesis titulada Diagnóstico Estructural y Análisis Sísmico de la Iglesia San Pedro Apóstol de Andahuaylillas, para titularse como Mg. Ing. Civil en la Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima Perú; en su trabajo de grado, se observa la aplicación de imágenes térmicas en diagnósticos estructurales; la autora brinda lo siguiente:

Las técnicas de experimentación in-situ no intrusivas son procedimientos de gran utilidad que permiten obtener información representativa del edificio bajo estudio.

Particularmente, en el caso de la identificación de anomalías fue necesario aplicar la termografía para obtener información que no era posible determinarla mediante inspecciones visuales pasadas. (p.36)

Bajo las técnicas experimentales desarrolladas en esta tesis (in-situ no intrusivas) y el uso de la termografía (imágenes térmicas) se define que no solo se verán focos de altas temperaturas, sino que también será un complemento preciso para identificar estructuras cerca de puntos de quiebre en incendios de alto riesgo.

Lancho, E. (2008), en su tesis titulada Mantenimiento Predictivo de Equipos e Instalaciones Eléctricas Mediante Termografía, para titularse como Ing. Electricista en la Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo Perú; en su trabajo de grado, se observa la aplicación de imágenes térmicas en diagnósticos estructurales; la autora brinda lo siguiente:

“Se puede localizar en forma exacta y con suficiente antelación de los potenciales problemas que se están presentando mediante el incremento de temperatura” (p. 119).

Bajo estas tesis podemos comprender que los resultados que se obtendrán en tiempo real serán muy eficiente y confiables, lo cual inmediatamente el robot podrá ejecutar una acción bajo supervisión del experto.

### **Antecedentes Internacionales**

Argudo, S. y Arpi, A. (2012), en su tesis titulada Diseño y Construcción de un Robot Móvil Teleoperado para Asistencia en Operaciones de Alto Riesgo del Cuerpo De Bomberos, para titularse como Ing. Electrónico en la Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca Ecuador; donde se puede encontrar en una de sus conclusiones y recomendaciones de su tesis de grado lo siguiente:

Se ve la necesidad de disponer de un sistema mecánico de amortiguación y suspensión, que permita minimizar estas vibraciones que actualmente comprometen la vida útil de los componentes mecánicos y ocasionan que los ajustes de los tornillos y tuercas tiendan a ceder. Las curvas de

corriente indicaron que cada uno de los motores se ve sometido a esfuerzos de forma aleatoria. (p. 120).

Por el cual se debe tener en cuenta como primer factor el clima y área de trabajo, este robot debe ser construido para poder ser manipulado a todo terreno, asumiendo que será sometido a altas temperaturas, suelos accidentados y gran cantidad de vibraciones.

Pérez, S. (2015), en su tesis titulada Prototipo de Robot Bombero Controlado a Distancia Mediante Dispositivo Móvil, para titularse como Ing. Electrónico en la Universidad de San Buenaventura Seccional Medellín, Medellín Colombia; su trabajo de grado tuvo como objetivo construir un robot de apoyo en caso de incendios, en sus conclusiones más importantes manifiesta que:

Se desarrollaron varias pruebas con el fin de determinar el rango de presiones de trabajo a las que el prototipo puede desempeñar sus funciones sin presentar fallas.

Se pudo construir un prototipo que de manera inicial cumple con las características básicas que debería tener un Robot bombero operativo. (p. 65).

Da a conocer que, gracias a la experiencia escrita en esta tesis, el robot tendrá mejor calidad haciéndolo más robusto y preciso antes situaciones complejas enfocándonos en el rango de presiones de trabajo.

Borja, R. y Bravo, H. (2016), en su tesis titulada Diseño e Implementación de un Robot Móvil Tipo Oruga para Exploración en Terrenos Irregulares, para titularse como Ing. Electrónica en Control y Redes Industriales en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba Ecuador; su trabajo de grado, tuvo como objetivo construir un robot móvil tipo oruga para exploración en terrenos irregulares donde manifiestan que utilizaron varios sistemas de control donde permite al robot tener una mayor estabilidad y maniobrabilidad, en sus conclusiones más importantes manifiesta que:

La tracción de tipo oruga del robot demuestra tener, mayor adaptabilidad a cada uno del terreno que fueron seleccionados para las pruebas, logrando obtener una mayor estabilidad en la plataforma.

El circuito de mando que utiliza el robot para el acondicionamiento de los sensores permite obtener las revoluciones por minuto que nos entrega el motor y la temperatura interna del robot permitiendo monitorear el estado del prototipo. (p. 91).

Teniendo en cuenta la tracción y estabilidad del robot descrita en esta tesis, podemos definir que es el ideal para una aplicación de nivel requerido, haciendo más confiable su desenvolvimiento en situaciones difíciles como terrenos irregulares y/o escombros.

## **2.2 Selección de Variables**

Para demostrar y comprobar las hipótesis, se detallan a continuación las variables y sus respectivos indicadores.

### **Variable Independiente**

La variable independiente de la presente tesis está conformada por las imágenes térmicas y su aplicación en la investigación.

Los indicadores que permitirán estudiar dicha variable son tanto la temperatura como la posición de los focos de calor. Estos indicadores permiten a grandes rasgos formar una matriz de información sobre la cual sea posible diseñar o plantear una solución al problema principal.

### **Variable Dependiente**

La variable dependiente de la tesis es el diseño del robot terrestre teleoperado, siendo sus principales indicadores los elementos que lo conforman, la estabilidad que es capaz de lograr y la precisión con la que controla el paso del agua.

Todos los indicadores descritos anteriormente han sido de utilidad para la formulación de los objetivos y con eso la demostración de las hipótesis.

El diseño e implementación de un robot terrestre teleoperado capaz de mitigar el fuego ha sido posible gracias a la aplicación de imágenes térmicas, pues es gracias a dichas imágenes que el bombero operador es capaz de visualizar los focos de temperatura, direccionando así el flujo de agua.

## **2.3 Bases Teóricas**

### **Imágenes Térmicas**

#### **Cámaras de Video.**

Las cámaras de video actualmente existen en diversas formas y tamaños, sirviendo para diversas aplicaciones. Millerson (2006) refiere. “Las cámaras de vídeo a grandes rasgos son dispositivos que capturan imágenes en movimiento para luego ser reproducidas” (p. 6).

#### ***La Imagen de Video.***

Para crear una imagen de video, la imagen del lente de la cámara es enfocada dentro de la superficie sensible a la luz del sensor de la cámara, generalmente un dispositivo de estado sólido llamado CCD (charged coupled device). Aquí un patrón de voltajes eléctricos es generado, el cual corresponde a la luz en cada parte de la imagen. Mientras estas cargas son escaneadas en una serie de líneas horizontales, sus valores son leídos en forma de voltaje fluctuante – la señal de video.

Para ser capaz de producir imágenes a color, el lente de la cámara está dividido en tres secciones idénticas, donde filtros de color analizan la escena sobre sus proporciones de color, produciendo las correspondientes ‘R. G. B.’ (red, green, and blue) señales de video. En la

figura 4 puede apreciarse una representación de lo descrito anteriormente. (Millerson, 2006, p. 8).

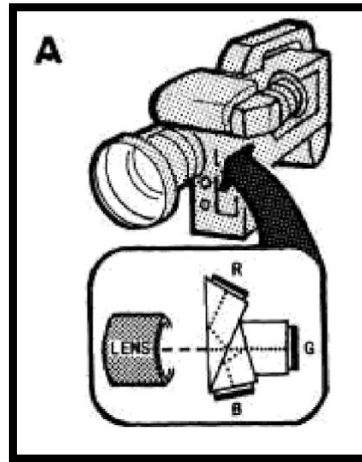


Figura 4: Imagen referencial de filtros RGB

Fuente: Millerson, G. (2006)

### ***Sensor de Imagen CCD***

El sensor de imagen CCD en grandes rasgos consiste en un panel plano, cubierto con cientos de millones de pequeños foto diodos. Estos están ordenados en filas horizontales muy cercanas que corresponden las líneas de escaneo de los monitores en los que reproducirán las imágenes.

Cada foto diodo tiene asociado un transistor. Cuando un pulso especialmente generado es aplicado a este transistor, la carga de este elemento es transferida a un próximo registro de cambio electrónico. Las cargas almacenadas ahí son decodificadas para luego convertirse en video. (Millerson, 2006, p. 8).

### **Termografía Infrarroja**

La Termografía Infrarroja (TIR) es una técnica de ensayo no destructivo (END) sin contacto, donde Cañada (2016) dice “Se puede obtener información térmica de un cuerpo a través de la captación de la radiación

infrarroja que emite, mediante un dispositivo de adquisición de imágenes térmicas a distancia” (p. 40).

### ***Historia***

Las primeras versiones de las cámaras térmicas que se conocieron contaban con detectores fotoconductores. Desde 1916 hasta 1918, el inventor americano Theodore Case experimentó con estos detectores para producir una señal a través de la interacción directa con fotones en vez de la interacción a través del calor. El resultado dio lugar a un detector más rápido y sensible. Durante 1941 y 1950, la tecnología de imagen térmica se expandió especialmente a nivel militar. Posteriormente, científicos alemanes descubrieron que, enfriando los detectores fotoconductores, el rendimiento global aumentaba.

No fue hasta el 1960 cuando los dispositivos de imagen térmica se empezaron a usar para aplicaciones no militares. Aunque los primeros dispositivos eran muy incómodos, lentos en la adquisición y tenían muy baja resolución, se usaban para aplicaciones industriales como en sistemas eléctricos de transmisión y distribución. Los continuos avances en la década de 1970 en aplicaciones militares dieron lugar a los primeros sistemas portátiles, más duraderos y fiables. (Cañada, 2016, p. 40).

A inicio de los años 80's, las cámaras térmicas se empleaban ya con fines médicos tales como en las industrias y también en inspecciones para edificios.

A finales de los 80 las matrices del plano focal (FPA), ya empleadas con anterioridad en aplicaciones militares, se empezaron a comercializar en el mercado. Esto fue una mejora significativa con respecto a los detectores originales y el resultado fue un aumento en la calidad de la imagen y resolución espacial.

El desarrollo de la tecnología FPA ha ido aumentando con el paso de los años y su coste ha descendido significativamente en los últimos 10 años. Además, hoy en día, prácticamente todas las cámaras térmicas existentes

en el mercado disponen de un software que facilita el análisis de las imágenes. (Cañada, 2016, p. 40).

### ***Aplicabilidad y Limitaciones***

Cañada (2016), nos dice que las principales ventajas de la termografía infrarroja como método de inspección son:

- Gran rapidez en comparación con otros métodos.
- No existe contacto con el material que se examina, lo que permite mantener al usuario alejado del equipo inspeccionado, cuestión fundamental en trabajos potencialmente peligrosos como la inspección eléctrica de elementos en carga.
- Es bidimensional, por lo que resulta posible la comparación entre múltiples zonas de un mismo cuerpo. Se puede medir la temperatura de cuantos puntos se quieran dentro de la misma imagen de cara a su comparativa, constituyéndose líneas, áreas de diferentes formas, perfiles y cualquier geometría que se necesite.
- La interpretación de los resultados obtenidos es relativamente sencilla.
- Su uso no es nocivo.
- Se puede aplicar a un amplio rango de materiales, así como a áreas relativamente extensas. (p. 41).

La termografía infrarroja para Cañada (2016) presenta también algunas limitaciones que deben tenerse en cuenta a la hora de fijar objetivos e interpretar los resultados obtenidos:

- Capacidad de inspeccionar profundidades limitadas de material bajo la superficie. Si los defectos se encuentran a una profundidad excesiva, los resultados obtenidos pueden ser confusos y dar lugar a errores de interpretación. En tales casos sería necesario contar con equipos de elevadas sensibilidades térmicas. En casos en los que los espesores del material a inspeccionar sean muy elevados es posible que no se pueda aplicar la termografía infrarroja o que sea necesario complementarla con otras técnicas no destructivas.



- Necesidad de una adecuada evaluación de las pérdidas térmicas por convección o radiación.
- Dificultad de calentamiento de grandes superficies o volúmenes de forma rápida, uniforme y con contraste térmico significativo.
- Dificultad en la medición de defectos que lleven asociados variaciones térmicas. (p. 41).

En algunos casos puede ser necesario determinar correctamente la emisividad de los materiales analizados, así como la influencia de la radiación de los elementos del entorno.

### ***Detectores de Radiación***

Probablemente la parte más importante de una cámara termográfica es el detector o el arreglo de detectores. Williams (2009) explica que:

Esto determina el nivel de potencial de resolución térmica y espacial que puede ser alcanzada, así como también la complejidad que es requerida para lograr ese potencial.

Básicamente existen dos tipos de detectores térmicos infrarrojos (IR detectors). El primero depende de la radiación infrarroja estimulando el elemento detector, con la temperatura resultante aumentando y luego activando otros mecanismos físicos que son tomados como una medida de la radiación cayendo sobre el elemento. Este tipo de detector es generalmente conocido como detector térmico.

El segundo tipo de detector es uno en el que los fotones, que son la radiación incidente, interactúan en un nivel atómico o molecular con el material del detector para producir conductores de carga que generan un voltaje a través del elemento detector, o un cambio en su resistividad. Este mecanismo usualmente involucra un electro absorbiendo un fotón, y como resultado, moviéndose de un nivel de energía cuántico a otro. Este tipo de detector es usualmente denominado detector cuántico o detector de fotones.

En general, los detectores cuánticos proveen mayor sensibilidad que los detectores térmicos. Sin embargo, para lograr esa mejor performance estos detectores cuánticos necesitan ser enfriados para que los conductores de carga puedan alcanzar los niveles de energía cuántica en donde puedan tener la interacción deseada con los fotones incidentes. La necesidad de enfriar los detectores de este tipo es un factor determinante tanto en el diseño como en la aplicación de las imágenes térmicas. (pp. 18-19).

Williams (2009) define que:

Para seleccionar el tipo adecuado de detector a utilizar para la adquisición de imágenes térmicas se tienen diversos factores. Los principales son:

- El rango de longitudes de onda en el que trabaja.
- La respuesta de frecuencia.
- La sensibilidad térmica y la resolución espacial que puede ser alcanzada.
- Requerimiento de enfriamiento y la complejidad asociada.
- Confiabilidad y costo. (p. 20).

### **Cámaras Termográficas**

Gómez, Salazar, Domínguez, Iborra, de la Fuente, y de Córdova (2015). explican que:

Una cámara térmica o cámara infrarroja es un dispositivo que, a partir de las emisiones de infrarrojos medios del espectro electromagnético de los cuerpos detectados, forma imágenes luminosas visibles por el ojo humano. Estas cámaras trabajan con longitudes de onda en la zona del infrarrojo térmico, es decir, 3  $\mu\text{m}$ . y 14  $\mu\text{m}$ . (p. 234).

Los autores también refieren que para elegir una cámara termográfica hay que tener en cuenta numerosos factores:

Se tiene que tener en cuenta la precisión de la cámara. Es imprescindible que le muestre en la pantalla la emisividad y la temperatura reflejada. En

cuanto a la resolución debe fijarse en la correspondiente al detector térmico utilizado, mas no a la de la pantalla. (Gomez *et al.*, 2015, p. 150).

### **Detección del Fuego**

El conocimiento sobre el que el estudio está basado es en algoritmos de detección de fuego donde Chacón, Sandoval y Vega (2015) se refiere que:

Para la detección de fuego se implementa una técnica de crecimiento de regiones, similar a la descrita según Chacón *et al.*, (2015), a partir de los pixeles que representan una mayor temperatura en la imagen. Las imágenes térmicas son pre-procesadas para mejorar su contraste mediante la técnica descrita según Chacón y otros. El algoritmo localiza el valor máximo de gris,  $g_{max}$ , dentro la imagen pre-procesada para a partir de un porcentaje de este valor define el umbral de binarización. Las regiones dentro de la imagen binarizada son consideradas como candidatos a ser regiones de fuego, ya que la decisión final se basa en análisis de características que definen el comportamiento típico del fuego como la irregularidad en su entorno y su alta luminosidad dentro de la imagen.

La metodología de este algoritmo puede ser dividida en 4 secciones principales las cuales son típicas en algoritmos de procesamiento de imágenes. (p. 4).

Estas son descritas según los autores que es apoyada por la figura 5:

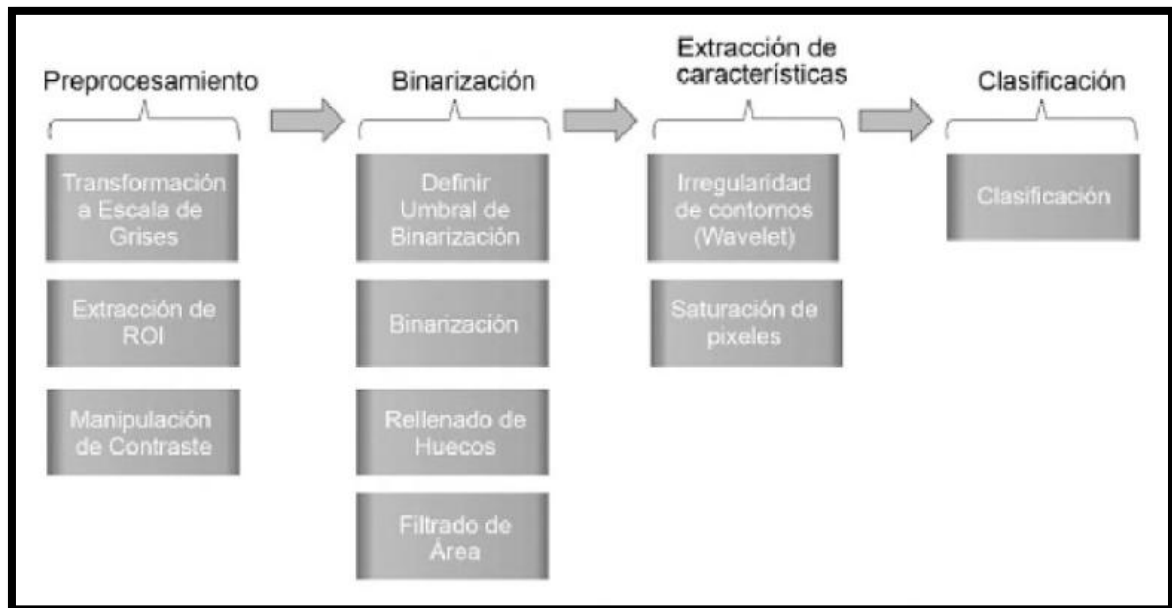


Figura 5: Diagrama a bloques de algoritmo para Detección de Fuego.

Fuente: Chacón, M.; Sandoval, R. y Vega, J. (2015).

## Robot Terrestre Teleoperado

### Arquitectura de robot

Son robots manipulados a distancia desde un centro de control o vía remota. Este robot tiene un sistema de locomoción muy particular por el cual fue seleccionado por un motivo en específico y es que pueda trabajar en cualquier tipo de terreno teleoperado, el tipo de locomoción seleccionado es el tipo oruga, a continuación, Ollero (2001) afirma que “En el diseño de la arquitectura de un robot se emplean frecuentemente requerimientos sobre programabilidad, eficiencia, capacidad de evolución, adaptabilidad y reactividad” (p. 149).

### ***Programabilidad***

Ollero (2001) explica que:

Con la programabilidad se hace alusión a la posibilidad de ejecutar múltiples tareas, a la especificación de tareas como acciones que es

necesario ejecutar, o simplemente formulando objetivos que es necesario cumplir, y a la posibilidad de planificar acciones de acuerdo con el estado actual del robot de su entorno.

Existen distintas técnicas para secuenciar operaciones, con mayor o menor intervención del operador humano, desde la especificación de objetivos generándose automáticamente las especificaciones, a la simple especificación y su secuencia para cumplir con dicho objetivo. (p. 149).

### ***Eficiencia***

Se refiere tanto a la eficiencia en la realización de una tarea (tiempo de ejecución, precisión) como a los recursos empleados (potencia, “hardware” y “Software necesarios).

En principio, la eficiencia se consigue disponiendo de modelos apropiados del robot y de su entorno, y empleando planificadores eficientes que permitan determinar soluciones optimas de acuerdo con estos modelos.

En cualquier caso, es interesante llegar a definir, de la forma más precisa posible, límites sobre control necesarias para la ejecución de las operaciones específicas.

Conviene también poner de manifiesto que la eficiencia esta también relacionada con modos de comportamiento consistentes con planes y objetivos, no puramente dirigido por estímulos del entorno o, en otros términos, que la reacción antes estímulos externos este también guiada por objetivos que se pretenden cumplir. (Ollero, 2001, p. 149).

### ***Capacidad de Evolución***

Ollero (2001) afirma lo siguiente: “Es un requerimiento de especial interés en arquitecturas concebidas para proyectos innovadores, o de demostración, en los cuales pueden producirse revisiones significativas, e incorporación de nuevas tecnologías, en equipos y componentes”

(p.149). (Directamente dicho, debe ser totalmente amigable ante cualquier acoplamiento entre tecnologías y de uso para el experto).

### ***Grado de Autonomía***

(...) otra especificación básica en el diseño de la arquitectura y también nos comenta que es frecuente contemplar una transición gradual desde un control esencialmente teleoperado hacia comportamientos autónomos. Puede considerarse también un modo dual con posibilidad de teleoperación y funcionamiento autónomo. A este respecto conviene insistir aquí en los comentarios de la introducción sobre las funciones autónomas básicas cuando existen dificultades para teleoperación eficiente y razones de seguridad en funcionamiento teleoperado.

Obviamente, el funcionamiento dual (autónomo/teleoperado) tiene implicaciones en el diseño de la arquitectura, especialmente en los niveles superiores. Por ello, se hace necesario considerar tanto las arquitecturas de control inteligente propuestas teniendo en cuenta una operación esencialmente autónoma, como las que contemplan de forma explícita la teleoperación. (Ollero, 2001, p. 150).

### ***Fiabilidad***

Cabe la redundancia decir que está relacionada con la no dependencia de un único sistema o subsistema para todas sus acciones. De esta forma, se tiende a incluir redundancias en cuanto a funciones, estableciendo formas diferentes de realizar la misma tarea. La redundancia puede llegar hasta duplicar recursos "hardware" para aumentar la seguridad de funcionamiento. (Ollero, 2001, p. 150).

Ollero (2001) también hace notar que:

La redundancia en los sensores esta también relacionada con la disminución de la incertidumbre asociada a todo proceso de percepción

En algunos sistemas móviles, tales como los aéreos o los terrestres con patas, las redundancias del “hardware” están restringidas por las limitaciones de carga a bordo.

No obstante, además de las redundancias oportunas en el “hardware” de la estación de control y supervisión, parece interesante, por razones de seguridad, considerar también ciertas redundancias en el “hardware” a bordo, y entre este y el de supervisión. (p. 150).

### ***Adaptabilidad***

Ollero (2001) afirma que:

Está relacionado con la flexibilidad, entendida como capacidad de funcionamiento en entornos de diversos, poco conocidos, con capacidad de responder ante cualquier eventualidad.

En general, la adaptabilidad puede concebirse con la modificación de comportamientos de acuerdo con las circunstancias en las que se encuentre el robot o, en otros términos, como la capacidad de razonamiento para analizar situaciones y producir/seleccionar las relaciones oportunas ante cambios en el entorno y, en general, condiciones de trabajo del robot. Por consiguiente, la reactividad de una determinada arquitectura viene dada por la capacidad de detectar temporalmente acondicionamientos y reaccionar de acuerdo con el contexto y la tarea, lo cual está relacionado fundamentalmente con la capacidad sensorial y la capacidad de generación suficientemente rápida de respuestas.

Algunos de los requerimientos mencionados en los aparatos anteriores pueden llegar a ser conflictivos entre sí. Así, la eficiencia en la ejecución de una determinada tarea empleando unos de los determinados recursos debe estudiarse frente a la capacidad de ejecutar múltiples tareas, capacidad en evolución, robustez, adaptabilidad y reactividad.

En particular, en el diseño actual de arquitecturas, se discute el compromiso entre la eficiencia (robots dirigidos por objetivos o planes) y

la adaptabilidad y capacidad de reacción (robots más dirigidos por datos), lo cual ha dado origen a diversos tipos de arquitecturas que se consideran de forma introductoria en el próximo apartado.

En la arquitectura de control nos explica que también existe la posibilidad de soluciones de bajo costo en las que un único computador se emplea para implementar las funciones de todos los niveles de la arquitectura jerárquica del robot RAM-1, excepto algunas funciones en las que se emplean tarjetas y procesadores especializados. Este es el caso de la arquitectura de control del robot AURORA, que se muestra en la figura 6. Esta arquitectura está diseñada para que sea posible tanto el funcionamiento autónomo como la teleoperación. (pp. 150-151).

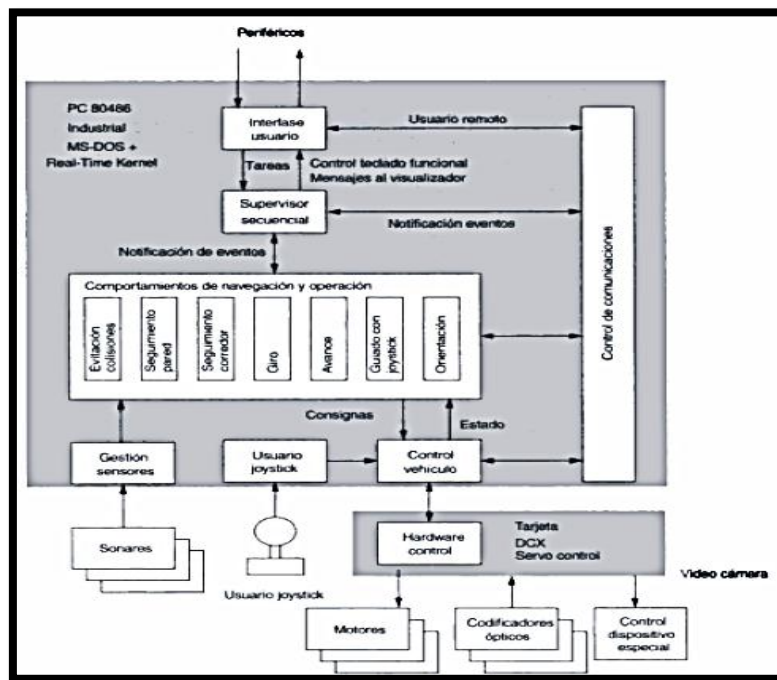


Figura 6: Arquitectura de Control de Aurora.

Fuente: Ollero, A. (2001).

## Modelamiento Dinámico de la Robótica

Barrientos, Peñin, Balaguer y Araceli (2007) explica a detalle:

La dinámica se ocupa de la relación entre las fuerzas que actúan sobre un cuerpo y el movimiento que en él se origina. Por tanto, el modelo





un dispositivo analógico o digital. El modelado del motor de corriente continua controlado por inducido (figura 7) responde a las ecuaciones que a continuación se deducen.

Cuando el rotor gira, se induce en él una tensión  $e_b$  directamente proporcional a la velocidad angular y que se conoce como fuerza contra electromotriz:

$$e_b = k_b * \dot{\theta} \dots \dots \dots (1)$$

La velocidad de giro se controla mediante la tensión  $e_a$ , salida del amplificador de potencia. La ecuación diferencial del circuito del rotor es:

$$L_a * \dot{i} + R * i + e_b = e_a \dots \dots \dots (2)$$

Por otra parte, el motor desarrolla un par proporcional al producto del flujo en el entre hierro  $\varphi$  y la intensidad  $i$ , siendo el flujo en el entrehierro:

$$\varphi = k_f * i_f \dots \dots \dots (3)$$

Donde  $i_f$  es la corriente de campo. De esta manera, la expresión del par desarrollado por el motor es la siguiente: (p.244)

$$\tau = k_l * i * \varphi \dots \dots \dots (4)$$

Para una corriente de campo  $i_f$  constante, el flujo se vuelve constante, y el par es directamente proporcional a la corriente que circula por el rotor:

$$\tau = k_p * i \dots \dots \dots (5)$$

Este par se emplea en vencer la inercia y la fricción, además de posibles pares perturbadores:

$$J * \ddot{\theta} + B * \dot{\theta} = \tau - \tau_p \dots \dots \dots (6)$$

Por tanto, las ecuaciones del motor de corriente continua controlado por inducción son:

$$e_b = k_b * \dot{\theta} \dots \dots \dots (1)$$

$$(Ls + R) * i + e_b = e_a \dots \dots \dots (7)$$

$$\tau = k_p * i \dots \dots \dots (5)$$

$$\dot{\theta} = \frac{\tau - \tau_p}{J s + B} \dots \dots \dots (8)$$

Donde todas las variables son en transformada de Laplace. (pp. 243-244).

Donde podemos definir los siguientes términos:

- $e_b$  : Tensión que induce el rotor.
- $k_b$  : Constante respecto al rotor.
- $\dot{\theta}$  : Velocidad angular
- $e_a$  : Tensión que controla la velocidad de giro.
- $i$  : Tensión que circula por el motor.

- $R$  : Resistencia.
- $\dot{i}$  : Derivada de la tensión.
- $L_a$  : Inductancia.
- $\Phi$  : Flujo en el entre hierro.
- $\tau$  : Es el torque.
- $J$  : Es la constante de inercia del motor.
- $\ddot{\theta}$  : Es la aceleración.
- $B$  : Coeficiente de fricción.

Para el control del motor se incluyen las etapas de potencia y control, utilizándose realimentación de intensidad y velocidad, tal y como se representa en la figura 8.

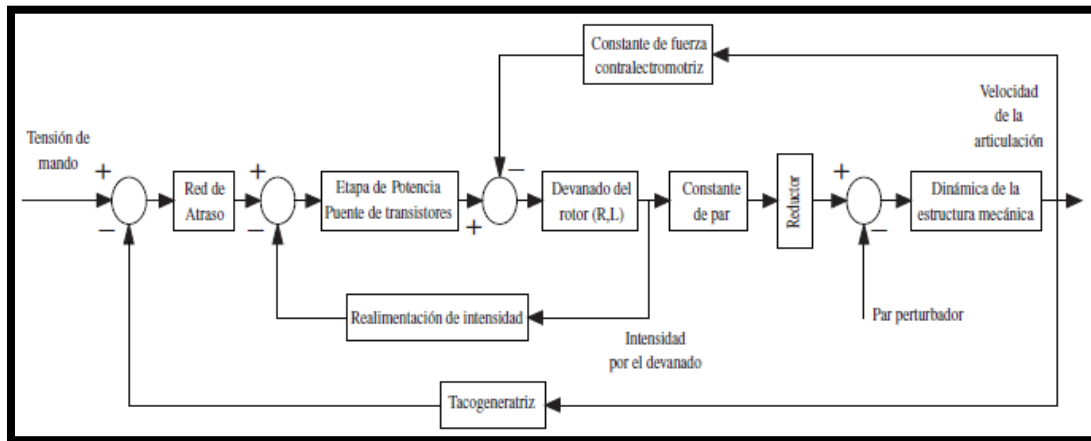


Figura 8: Esquema de bloques del modelo de motor eléctrico de corriente continua.

Fuente: Barrientos, A.; Peñin, L.; Balaguer, C. y Araceli, R. (2007).

En la figura 9 se ha representado el diagrama de bloques correspondiente haciendo uso de funciones de transferencia [OGATA-03] y [D'AZZO-95], donde pueden realizarse ciertas simplificaciones:

$$G_1 = k * \frac{s + a}{a + b} \approx k_1 \dots \dots \dots (9)$$

$$G_2 = k_2 \dots \dots \dots (10)$$

$$L \approx 0 \dots \dots \dots (11)$$

$J, B$ : Inercia y rozamiento viscoso equivalentes vistos a la salida del eje del rotor.

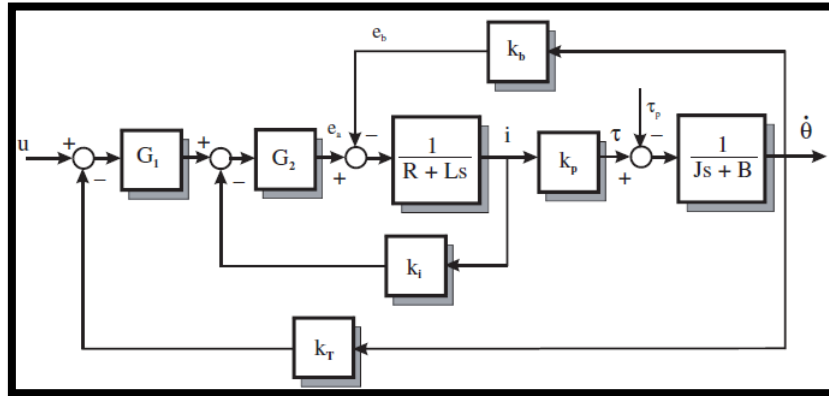


Figura 9: Diagrama de bloques del modelo de motor eléctrico de corriente continua.

Fuente: Barrientos, A.; Peñin, L.; Balaguer, C. y Araceli, R. (2007).

Las simplificaciones del anterior diagrama permiten obtener (en ausencia de perturbaciones):

$$\frac{\dot{\theta}(s)}{u(s)} = \frac{k_p * k_1 * k_2}{(R + k_i * k_2) * (Js + B) + k_p * (k_b + k_T * k_1 * k_2)}$$

$$= \frac{k_m}{T_m s + 1} \dots \dots \dots (12)$$

$$\frac{\tau(s)}{u(s)} = \frac{k_p * k_1 * k_2 * (Js + B)}{(R + k_i * k_2) * (Js + B) + k_p * (k_b + k_T * k_1 * k_2)}$$

$$= \hat{k}_m * \frac{\hat{T}_m s + 1}{T_m s + 1} \dots \dots \dots (13)$$

Donde se tiene que: (p.245)

$$k_m = \frac{k_p * k_1 * k_2}{k_p * (k_b + k_T * k_1 * k_2) + B * (R + k_i * k_2)} \dots \dots \dots (14)$$

$$\hat{k}_m = \frac{B * k_p * k_1 * k_2}{k_p * (k_b + k_T * k_1 * k_2) + B * (R + k_i * k_2)} \dots\dots\dots(15)$$

$$T_m = \frac{J * (R + k_i * k_2)}{k_p * (k_b + k_T * k_1 * k_2) + B * (R + k_i * k_2)} \dots\dots\dots(16)$$

$$\hat{T}_m = \frac{J}{B} \dots\dots\dots(17)$$

Se observa, por tanto, que el comportamiento tensión-velocidad del motor de corriente continua responde al de un sistema de primer orden. En cuanto a la relación tensión-par, responde a un par polo-cero. En la práctica, la calidad de los motores utilizados en servo-accionamientos y las elevadas prestaciones de sus sistemas de control, hace que esta relación pueda considerarse casi constante (sin la dinámica propia de los polos y ceros). (Barrientos *et al.*, 2007, pp. 244-245)

### **Control Unilateral**

En los primeros desarrollos de sistemas de teleoperación maestro-esclavo el control implantado era de tipo unilateral o también llamado de bucle abierto (con respecto a la tarea o entorno). En este tipo de control no existe realimentación de señal alguna desde el esclavo hacia el maestro, no estando este último motorizado en sus articulaciones.

El nombre de unilateral deriva de la noción de que únicamente se puede realizar un control en un sentido, es decir, que el manipulador esclavo se mueve al mover el manipulador maestro, pero no a la inversa. Es decir, en el control unilateral el maestro genera las señales de referencia o deseadas, ya sean de posición o velocidad, para los bucles de control de las articulaciones del esclavo. Se podría decir que el esclavo posee un

sistema de control como el de un robot industrial, pero que, en vez de recibir las referencias para los bucles de control de las articulaciones desde un programa de la unidad de control, las recibe generadas por las articulaciones del maestro. En verdad, tal y como se verá ahora, el control del esclavo es mucho más sencillo que el de la mayoría de los robots industriales. (...)Control Independiente y control Integrado. (...) En primer lugar, cabe distinguir entre el control independiente o por interruptores (analytical o switch control) y el control integrado (integrated control). El control independiente o por interruptores se realiza con dispositivos maestros en los que al mismo tiempo únicamente se pueden generar referencias o mandar señales de control que, generalmente, son del tipo todo o nada en velocidad, a una articulación del esclavo. Es decir, cada eje del esclavo o está parado o se mueve a una velocidad fija de forma totalmente independiente a los demás. Se suelen utilizar botoneras con distintos pulsadores o interruptores, uno para cada eje. Un ejemplo muy característico de dispositivo esclavo con este tipo de control es los puentes grúa.

Por contra, en el control integrado, existe un dispositivo maestro (hand controller, master) que genera señales de referencia de uso simultáneo en todos los bucles de control del esclavo (véase la figura 10). La relación de señales de referencia obtenidas de las articulaciones del dispositivo de control manual no tiene porqué ser aplicadas directamente sobre los bucles de las articulaciones del esclavo, sino que pueden existir unas transformaciones cinemática intermedias de forma que se consiga que el movimiento en posición y orientación del mando del maestro se transformen en comandos de posición y orientación para el extremo del esclavo.

También afirma Barrientos y otros (2007). “En el primer caso, se hablará de control integrado con manipuladores maestros de cinemática equivalente, y en el segundo, denominado en algunas ocasiones como control resuelto, de control integrado con dispositivos maestros y que en algunos casos pueden ser similares a un joystick. En este último caso, lo

que habrá es una asociación entre grados de libertad (GDL) articulares o cartesianos del maestro a GDL cartesianos del esclavo.

Como se podría fácilmente deducir, el control independiente es de poca utilidad comparado con el control integrado en la realización de tareas que necesiten un poco de soltura y/o rapidez (relación 1:10 en el tiempo de ejecución) y por ello únicamente se utiliza para manipuladores de grandes dimensiones, tipo grúa. Sin embargo, la diferencia entre utilizar un control integrado con maestro con y sin cinemática equivalente, no es clara y dependerá del tipo de tarea y de la disposición de los dispositivos que se comparen. (Barrientos y otros, 2007, pp. 515-516).

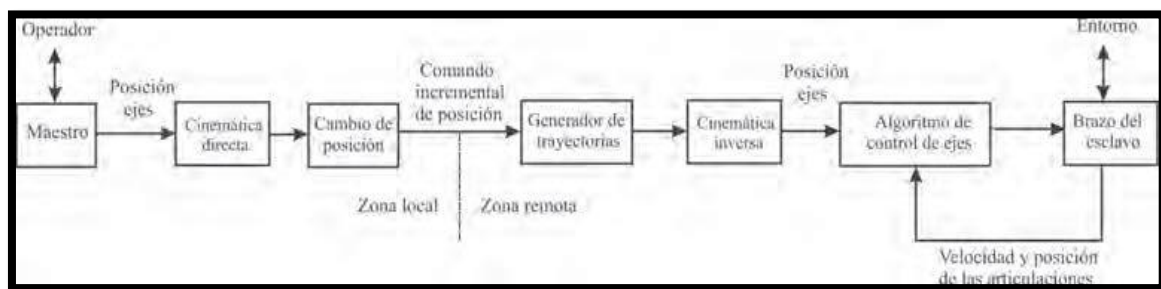


Figura 10: Esquema general de control unilateral integrado.

Fuente: Barrientos, A.; Peñin, L.; Balaguer, C. y Araceli, R. (2007).

## Incendios en Zonas Residenciales

### Ciencia del Fuego y Combustión

Como un proceso, el fuego puede tomar muchas formas, Drysdale (2011) menciona a detalle que:

Todas de ellas implican reacciones químicas entre especies de combustibles y oxígeno del aire. Controlado adecuadamente, es capaz de ser utilizado como fuente de poder y calor para satisfacer nuestras necesidades domésticas y en la industria, pero sin el cuidado apropiado, puede causar enormes daños materiales y sufrimiento humano.



Mayores avances en el combate de fuego descontrolado son imposibles de lograr si únicamente se continúan aplicando los métodos tradicionales. Lo que se requiere es un enfoque que deberá ser aplicado fundamentalmente en la etapa de diseño, más que solo apoyarse de los mismos incidentes para llamar la atención a las señalizaciones de fuego. Un enfoque como tal requiere un entendimiento detallado del comportamiento del fuego desde un punto de vista de un ingeniero. Por esta razón, se sabe que el estudio de la dinámica del fuego es tan esencial para el ingeniero de protección contra el fuego como el estudio de la química lo es para el ingeniero químico.

El modo de arder del fuego depende más del estado físico y la distribución del combustible, y su entorno, que de su naturaleza química. Se pueden citar dos ejemplos: un tronco de madera es difícil de encender, sin embargo, pequeñas astillas de la misma madera pueden ser encendidas fácilmente y arder vigorosamente si se colocan juntas; una capa de polvo de antracita arderá lentamente, pero podría causar una explosión si es dispersada y encendida mientras forma una nube de polvo. Mientras estos son quizá casos extremos, nos demuestran la complejidad del comportamiento del fuego y que su entendimiento requiere de mayor conocimiento, no solo de química sino también de otras materias relacionadas con las disciplinas de ingeniería (transferencia de calor, dinámica de fluidos, etc.). Incluso el término “dinámica del fuego” ha sido escogido para describir la materia del comportamiento del fuego pues implica el uso de recursos de las materias descritas. (pp. 16-17).

### ***Combustible y el Proceso de Combustión***

La mayoría de los incendios son causados por combustibles sólidos, aunque en muchos sectores de la industria, también los ha habido causados por combustibles líquidos y gaseosos. El término combustible es utilizado para describir el objeto que está ardiendo, sea cual sea su estado de materia, o si es un combustible convencional o algún objeto del

hogar. La mayoría de los combustibles son basados en el carbono. (Drysdale, 2011, p.18).

### ***La Naturaleza de los Combustibles***

El rango de combustibles que son importantes para la investigación es bastante amplio, desde la simple forma de hidrocarburos gaseosos hasta sólidos de alta densidad molecular y gran complejidad química, algunos propios de la naturaleza como la celulosa, y otros fabricados por el hombre (polietileno y poliuretano).

Todos arderán cuando existan las condiciones propicias, reaccionando con el oxígeno del aire, generando productos de la combustión y liberando calor. Así, un chorro de un hidrocarburo gaseoso puede ser encendido en el aire para dar una llama, la cual es vista como la parte visible del volumen del gas en la que ocurre el proceso de oxidación. La llama es un fenómeno de fase gaseosa y, claramente, las llamas de la combustión de líquidos o sólidos son resultado de una primera conversión a la forma gaseosa. Para los líquidos, este proceso se da por los gases liberados durante la evaporación en la superficie, sin embargo, para casi todos los sólidos, una descomposición química es necesaria para producir elementos de la suficiente baja masa molecular que les permita volatilizarse de la superficie y convertirse en llama. Esto requiere de mucha mayor energía que una simple evaporación. Una breve recopilación de los combustibles más comunes se puede apreciar en las tablas descritas a continuación. (Drysdale, 2011, pp. 18-19).

Common name <sup>b</sup>	Formula	Melting point (°C)	Boiling point (°C)	Density (liq) (kg/m <sup>3</sup> )	Molecular weight
Hydrogen	H <sub>2</sub>	-259.3	-252.8	70	2
Carbon monoxide	CO	-199	-191.5	422	28
Methane	CH <sub>4</sub>	-182.5	-164	466	16
Ethane	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	-183.3	-88.6	572	30
Propane	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	-189.7	-42.1	585	44
<i>n</i> -Butane	<i>n</i> -C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	-138.4	-0.5	601	58
<i>n</i> -Pentane	<i>n</i> -C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	-130	36.1	626	72
<i>n</i> -Hexane	<i>n</i> -C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	-95	69.0	660	86
<i>n</i> -Heptane	<i>n</i> -C <sub>7</sub> H <sub>16</sub>	-90.6	98.4	684	100
<i>n</i> -Octane	<i>n</i> -C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>	-56.8	125.7	703	114
iso-Octane <sup>c</sup>	iso-C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>	-107.4	99.2	692	114
<i>n</i> -Nonane	<i>n</i> -C <sub>9</sub> H <sub>20</sub>	-51	150.8	718	128
<i>n</i> -Decane	<i>n</i> -C <sub>10</sub> H <sub>22</sub>	-29.7	174.1	730	142
Ethylene (ethene)	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	-169.1	-103.7	(384)	28
Propylene (propene)	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub>	-185.2	-47.4	519	42
Acetylene (ethyne)	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	-80.4	-84	621	26
Methanol	CH <sub>3</sub> OH	-93.9	65.0	791	32
Ethanol	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH	-117.3	78.5	789	46
Acetone	(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> CO	-95.3	56.2	790	58
Benzene	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	5.5	80.1	874	78

<sup>a</sup>Data from Lide (1993/94).  
<sup>b</sup>It should be noted that IUPAC (International Union of Pure and Applied Chemistry) has defined a standard chemical nomenclature which is not used rigorously in this text. 'Common names' are used, although the IUPAC nomenclature will be given where appropriate. See, for example, 'iso-octane' and 'ethylene' in this table.  
<sup>c</sup>2,2,4-Trimethyl pentane.

Tabla 1: Tabla de las propiedades de combustibles líquidos y gaseosos

Fuente: Drysdale, D. (2011).

	Density (kg/m <sup>3</sup> )	Heat capacity (kJ/kg·K)	Thermal conductivity (W/m·K)	Heat of combustion (kJ/g)	Melting point (°C)
<b>Natural polymers</b>					
Cellulose	V <sup>b</sup>	~1.3	V	16.1	chars
<b>Thermoplastic polymers</b>					
Polyethylene					
Low density	940	1.9	0.35	46.5	
High density	970	2.3	0.44	46.5	130–135
Polypropylene					
Isotactic	940	1.9	0.24	46.0	186
Syndiotactic				46.0	138
Polymethylmethacrylate	1190	1.42	0.19	26.2	~ 160
Polystyrene	1100	1.2	0.11	41.6	240
Polyoxymethylene	1430	1.4	0.29	15.5	181
Polyvinylchloride	1400	1.05	0.16	19.9	–
Polyacrylonitrile	1160–1180	–	–	–	317
Nylon 66	~ 1200	1.4	0.4	31.9	250–260
<b>Thermosetting polymers</b>					
Polyurethane foams	V	~ 1.4	V	24.4	–
Phenolic foams	V	–	V	17.9	chars
Polyisocyanurate foams	V	–	V	24.4	chars

<sup>a</sup>From Brandrup and Immergut (1975) and Hall (1981). Heats of combustion refer to CO<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>O as products.  
<sup>b</sup>V = variable.

Tabla 2: Tabla de las propiedades de combustibles sólidos

Fuente: Drysdale, D. (2011).

## Conceptos Básicos de Termodinámica.

Casal, Montiel, Planas y Vílchez (1999) explica brevemente sobre los conceptos básicos de termodinámica de la siguiente forma:

**Calor de formación:** El calor de formación de un compuesto se define como el incremento de entalpía que se produce cuando se forma 1 mol de este compuesto a partir de sus elementos en condiciones normales (1 atm y 273 K)

El calor de formación permite comparar estabilidades relativas de diferentes compuestos químicos y permite también calcular el calor de reacción en los casos en los que este calor no se puede determinar experimentalmente.

Por definición, el calor de formación de todos los elementos equivale a cero a cualquier temperatura. Así se puede calcular el calor de reacción partiendo del calor de formación de reactivos y productos.

$$\Delta H_r = \Delta H_f(\text{productos}) - \Delta H_f(\text{reactivos}) \dots \dots \dots (18)$$

Cuando un compuesto tiene un calor de formación ( $\Delta H_f$ ) positivo significa que es endotérmico y, por lo tanto, más inestable que otro con  $\Delta H_f$  negativo o menos positivo

**Calor de combustión:** El calor de combustión de un compuesto ( $\Delta H_c$ ) se define como la cantidad de calor emitido cuando una unidad de este compuesto se oxida completamente para dar un producto final estable. Al ser las reacciones de oxidación exotérmicas,  $\Delta H_c$  por convenio es negativo. Para los cálculos en incendios se debe utilizar el calor neto de combustión, que corresponde al calor de combustión cuando el agua se emite en forma de vapor.

Normalmente, los valores de  $\Delta H_c$  a 25 °C se pueden encontrar tabulados para muchos compuestos. En general, para los cálculos de incendios se

podrán utilizar tal cual; si bien, en algunos casos, puede ser necesario determinar un  $\Delta H_c$  para temperaturas más elevadas y en este caso debe recordarse que:

$$(\Delta H_c)^{T2} = (\Delta H_c)^{T1} + \int_{T1}^{T2} (\Delta c_p) dT \dots \dots \dots (19)$$

Dónde:

$$\Delta c_p = \sum c_p(\text{productos}) - \sum c_p(\text{reactivos}) \dots \dots \dots (20)$$

Y  $c_p$  es función de la temperatura, normalmente del tipo:

$$c_p = a + bT + cT^2 \dots \dots \dots (21)$$

Temperatura adiabática de llama: Si se considera un sistema donde hay una mezcla de vapor inflamable y aire, y se supone que es adiabático (por lo tanto, no hay transferencia de calor desde o hacia el sistema), se puede calcular lo que se denomina temperatura adiabática de la llama. Evidentemente esta temperatura será mucho más elevada que la temperatura que se pueda observar en un incendio real, (...) hay pérdidas de calor por radiación y, además, a temperaturas muy elevadas los productos de reacción se disocian y absorben una parte de la energía. De todas formas, la temperatura adiabática permite obtener una estimación al alta de la temperatura de las llamas. (pp. 94-95).

### Velocidad de Combustión

El concepto de velocidad de combustión es quizá un tanto ambiguo, pero a pesar de ello, muy útil, principalmente porque puede expresarse de muchas maneras: como una pérdida de masa (kg/s), como una emisión de calor (kW) o incluso como una disminución de nivel de un líquido (m/s).

En el caso de los combustibles líquidos, la velocidad de combustión depende entre otros factores del diámetro del charco, ya que según sea éste varía el mecanismo de transferencia de calor (véase la figura 11).

<i>Diámetro (m)</i>	<i>Mecanismo</i>
< 0,05	Convectivo, laminar
0,05 - 0,2	Convectivo, turbulento
0,2 - 1,0	Radiante, ópticamente delgado
> 1,0	Radiante, ópticamente grueso

Figura 11: Mecanismo de transferencia de calor dominante.

Fuente: Casal, J.; Montiel, H.; Planas, E. y Vílchez, J. (1999)

En charcos de más de 1 m de diámetro, la radiación es el mecanismo dominante, principalmente por el hecho de que la llama es muy grande y se comporta como un cuerpo negro, ópticamente grueso 1. Cada punto de la superficie del charco puede recibir radiación desde todas las direcciones del hemisferio que lo cubre. Para la mayoría de los hidrocarburos, la concentración de partículas de ceniza incandescente entre las llamas es muy elevada. Algunos estudios han demostrado que, a medida que el camino recorrido por la radiación aumenta, ésta también aumenta, pero sólo hasta un máximo para posteriormente mantenerse aproximadamente constante. Los hidrocarburos pesados producen concentraciones mayores de ceniza y, por lo tanto, la radiación alcanza su máximo por una vía más rápida. (Casal *et al.*, 1999, p.98).

### Emisividad

El concepto de llama ópticamente gruesa o delgada surge de la expresión que permite determinar la emisividad:

$$\epsilon_{\lambda} = 1 - e^{-k_{\lambda} * s} \dots\dots\dots(22)$$

El término  $k_\lambda * s$  se denomina camino óptico u opacidad. Si para una determinada longitud de onda,  $\lambda$ , el camino óptico es  $\ll 1$ , se dice que es ópticamente delgado. Por el contrario, si es  $\gg 1$ , se dice que es ópticamente grueso y la ecuación anterior se puede aproximar mediante: (Casal *et al.*, 1999, p.98).

$$\epsilon_\lambda = 1 \dots \dots \dots (23)$$

# **CAPÍTULO III: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA**

Durante la presente investigación se realizó tanto el diseño como la implementación de un robot terrestre teleoperado capaz de brindar una solución viable a la problemática planteada.

## **3.1 Diseño Mecánico**

El robot es utilizado para la mitigación del fuego en caso de incendios en zonas residenciales, por lo tanto, estará expuesto a un entorno adverso. Su principal función es la de brindar soporte visual a los bomberos durante su labor, permitiendo detectar los focos de alta temperatura en todo el campo de acción.

Al estar expuesto a altas temperaturas, el sistema debe permanecer en condiciones de operar ante estas circunstancias, además de proveer protección a los componentes internos de control que no son capaces de soportar dichos niveles de temperatura y contacto con agua.

### **Condiciones Iniciales**

Inicialmente se plantean las siguientes condiciones base para dar inicio con el diseño:

- Ancho: 60 - 80 cm
- Largo: 90 - 120 cm
- Alto: 60 - 80 cm
- Peso: 60 - 120 kg
- Velocidad: 5 - 8 km/h
- Temperatura máxima de operación: 100 - 130 °C
- Altura máxima de obstáculo: 15 - 20 cm

Con estas condiciones le es posible al sistema cumplir con los objetivos definidos.



En la figura 12 se muestra el resultado final de la parte mecánica del sistema.

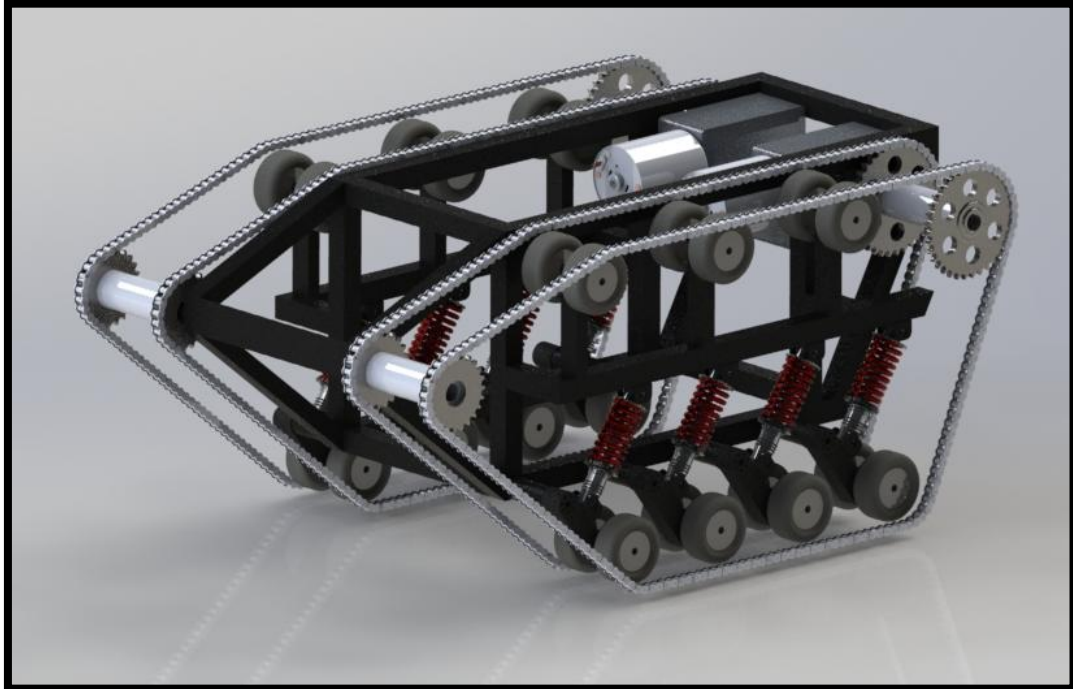


Figura 12: Diseño mecánico del sistema

Fuente: Elaboración propia

El diseño mecánico está dividido en cuatro etapas:

- a) Elección de materiales
- b) Diseño de la estructura
- c) Diseño del sistema de locomoción
- d) Diseño del sistema de disparo de agua

## **Elección de Materiales**

Partiendo de lo mencionado anteriormente, el robot debe funcionar aun cuando la temperatura exterior aumente. Por lo tanto, se requiere de una selección de materiales adecuada.

El robot se encuentra expuesto a las mismas temperaturas que están expuestos los bomberos durante la mitigación de fuego en caso de incendios. Estas temperaturas ascienden hasta los 130 °C. Temperatura con la cual se realizan los cálculos.

Los materiales utilizados pueden dividirse por zonas, las cuales son:

- a) Esqueleto del sistema
- b) Recubrimiento del sistema
- c) Aislante térmico del sistema
- d) Otros componentes

### **Esqueleto del Sistema**

Se necesita de una estructura capaz de soportar el peso de los componentes tales como baterías, motores, engranajes y ruedas; los cuales en conjunto suman una carga importante al sistema.

Es oportuno pensar en elementos metálicos para la implementación del sistema; esto gracias a su elevado punto de fusión y su rigidez.

Por su abundancia y facilidad en el modelado se tiene como alternativas al acero y al aluminio. Sin embargo, considerando la información de la siguiente tabla 3 es posible realizar la elección correcta.

<b>PROPIEDAD</b>	<b>ALUMINIO</b>	<b>ACERO</b>
Módulo de rigidez cortante, kg/cm <sup>3</sup>	280000	840000
Peso específico, kg/cm <sup>3</sup>	0.0027	0.008
Coefficiente de expansión lineal	23 x 10 <sup>-6</sup>	13 x 10 <sup>-6</sup>

Tabla 3: Cuadro comparativo entre acero y aluminio

Fuente: Elaboración propia

De la tabla, se puede observar que el acero resulta ser un material de mayor rigidez y peso en relación al aluminio. Además, se tiene un punto de fusión superior al aluminio por lo que se convierte en el material ideal para ser utilizado como esqueleto de la estructura.

Se optó por el tubo LAC cuadrado mecánico de 40x40 mm, esto debido a que se ajusta con los parámetros de peso y dimensiones del sistema, además de facilitar el acople de los otros componentes con la estructura.

En la figura 13 se puede apreciar finalmente el material utilizado.

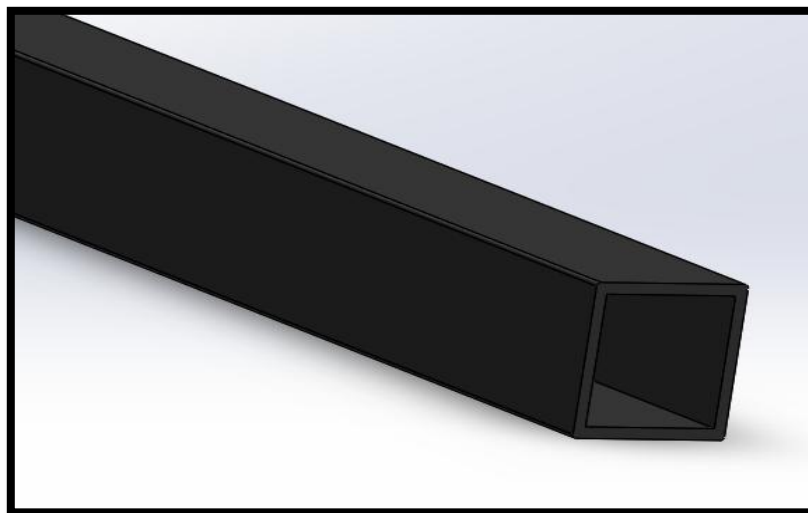


Figura 13: Tubo LAC 40x40 mm sin galvanizar

Fuente: Elaboración propia

Con ayuda de la tabla del Anexo 2 se puede realizar un cálculo aproximado del peso del esqueleto del sistema.

Ya obtenida la información de la tabla en el Anexo 2, se observó que para las dimensiones exteriores seleccionadas existen 3 espesores distintos. El principal determinante del espesor es el peso del esqueleto, el cual debe ser elevado para lograr la estabilidad deseada.

Se tiene entonces, que para un espesor de 3 mm el peso en kg/m de tubo es 3.32 kg lo cual, genera un peso total de 40 kg aproximadamente.

### **Recubrimiento del Sistema**

Debido a las condiciones de trabajo del sistema se requiere de un recubrimiento capaz de soportar dichas condiciones las cuales son:

- a) Alta temperatura
- b) Elevada humedad
- c) Posibles colisiones

Es necesario entonces de un material con resistencia a las condiciones mencionadas anteriormente. Por lo que se presentan como posibles alternativas los metales. Sin embargo, es necesario también considerar que los metales son elementos conductores de calor.

Finalmente se presentan como alternativas elementos rígidos y con bajo coeficiente de conducción de calor. Para esto se tiene como opciones a los polímeros y a la fibra de vidrio laminada.

En la siguiente tabla 4 se muestran las temperaturas de transición vítrea y temperaturas de fusión del poliestireno y derivados.

<b>POLÍMERO</b>	<b>TEMP. TRANSICIÓN VÍTREA</b>	<b>TEMP. FUSIÓN</b>
-----------------	--------------------------------	---------------------

Polietileno	-125 °C	140 °C
Poliestireno	100 °C	240 °C
Policarbonato	150 °C	267 °C

Tabla 4: Temperatura de transición vítrea y temperatura de fusión

Fuente: Elaboración propia

De la tabla analizada, el policarbonato es el material que presenta las condiciones necesarias para realizar el trabajo deseado.

En la siguiente tabla 5 se analiza la conductividad térmica del policarbonato.

<b>MATERIAL</b>	<b>CONDUCTIVIDAD TÉRMICA</b>	<b>CALOR ESPECÍFICO</b>	<b>DENSIDAD</b>
PC Policarbonato	0.19 – 0.22 W/(m.K)	1200 J/(kg.K)	1200 Kg/m <sup>3</sup>

Tabla 5: Propiedades del PC Policarbonato

Fuente: Elaboración propia

Como una segunda alternativa, se tienen a los distintos tipos de fibras de vidrio, cuyas propiedades se observan en la tabla 6 a continuación.

PROPIEDADES	FIBRAS DE VIDRIO				
	VIDRIO E	VIDRIO R	VIDRIO ECR	Advantex <sup>R</sup>	VIDRIO S
Densidad [kg/m <sup>3</sup> ]	2620	2550	2670	2620	2480
Punto de reblandecimiento [°C]	850	950	880	915	1050
Conductividad Térmica [W/(m.K)]	0.04				

Tabla 6: Propiedades de los distintos tipos de fibras de vidrio comerciales

Fuente: Elaboración propia

De la información presentada, se concluye que la fibra de vidrio presenta una mejor alternativa de solución, ya que posee un menor coeficiente de conductividad térmica. Este material fue utilizado en forma de planchas rígidas las cuales recubren el sistema.

### **Aislamiento Térmico del Sistema**

De momento se sabe que la etapa de electrónica y de control no es capaz de soportar las condiciones de humedad y temperatura a las que el sistema estará expuesto, por lo cual se debe de aislar del exterior.

Para el aislamiento térmico del sistema se propone utilizar un material que cuente con las propiedades necesarias para atenuar el flujo de calor que penetra las paredes del sistema.

Si bien el material seleccionado anteriormente para el recubrimiento cuenta con un bajo coeficiente de conductividad térmica, no es suficiente para alcanzar las condiciones necesarias internamente pues debido a la presencia de componentes electrónicos, se requiere de condiciones especiales.

Se tiene como materiales aislantes al poliestireno y a la lana de vidrio (derivado de la fibra de vidrio), los cuales son los materiales más utilizados para esta labor.

A continuación, en la tabla 7 se observa el valor de conductividad térmica del poliestireno, coeficiente de referencia para la selección del material.

<b>MATERIAL</b>	<b>CONDUCTIVIDAD TÉRMICA</b>	<b>CALOR ESPECÍFICO</b>	<b>DENSIDAD</b>
PS Poliestireno extruido	0.029	1300 J/(kg.K)	1050 Kg/m <sup>3</sup>

Tabla 7: Propiedades del PS Poliestireno

Fuente: Elaboración propia

Al comparar al poliestireno extruido con la fibra de vidrio se tiene que el primero presenta un menor coeficiente de conductividad térmica, lo que significa que se requiere de un menor espesor de material para conseguir el mismo resultado.

A continuación, en la figura 14 se tiene el cálculo de espesor de material para conseguir una temperatura interna de 40°C. Esto se realizó gracias al software AISLAM (Universidad Técnica de Valencia, 2017).

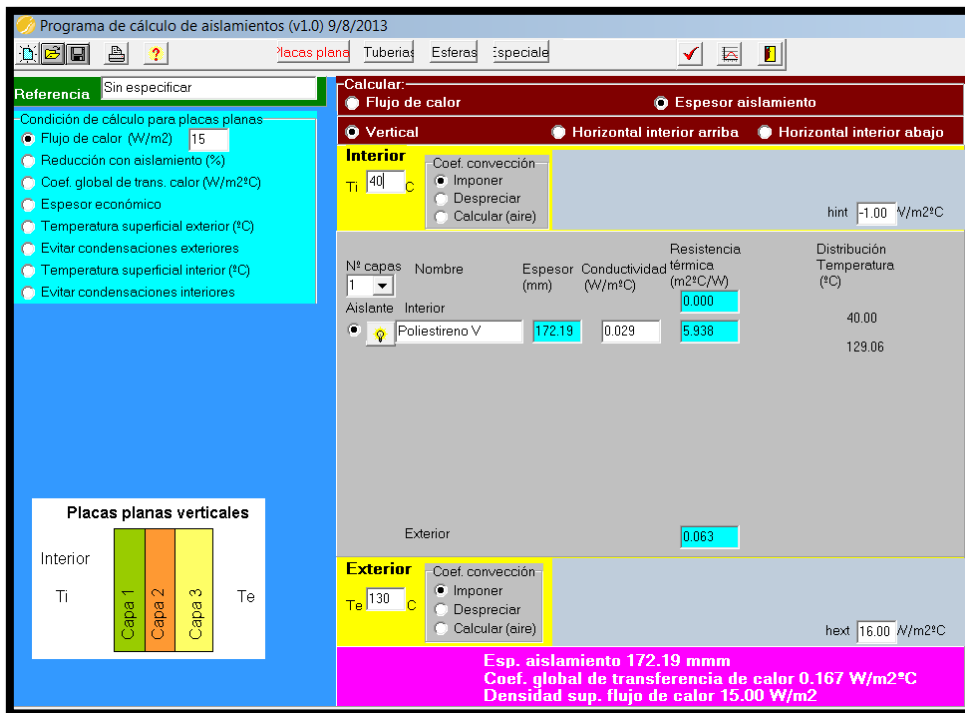


Figura 14: Captura de software AISLAM

Fuente: Elaboración propia

De la figura 14 se concluye que es necesario un aislamiento de 18 cm para los componentes electrónicos los cuales funcionan correctamente hasta una temperatura de 40°C.

### Otros Componentes

Teniendo como principales componentes los descritos anteriormente, quedan en este apartado los siguientes elementos:

- Manguera para disparo de agua
- Boquillas para ingreso y salida de agua
- Llantas de soporte y faja de oruga en sistema de locomoción

### ***Manguera para Disparo de Agua***



Las mangueras consisten en un tubo flexible para su manipulación. Es necesario que sean seguras, para ello deben ser, además de flexibles, impermeables y el forro interior, liso.

Existen los siguientes tipos de mangueras:

- a) Manguera de alta presión: su diámetro varía entre 19 y 25mm. Tanto la cubierta como la tubería interior son de goma y además tienen un refuerzo textil.
- b) Manguera de chaqueta tejida: la tubería interior es de goma, pero la cubierta es de uno o dos más tejidos reforzados con tela. Diámetro: 25 a 150mm.
- c) Manguera impermeable de chaqueta sencilla: tanto la cubierta como la manguera interior están elaboradas con materiales polímeros y reforzadas con tela. Diámetro de 12,5mm a 38mm.
- d) Manguera flexible de admisión de chaqueta dura: la cubierta y la manguera interior son de goma, pero están reforzadas, además de con materiales textiles, con plástico helicoidal o con alambre. El diámetro es de 65mm a 150mm.

Para el caso de la presente tesis se utilizó la manguera flexible de admisión de chaqueta dura, pues se requería de un mayor refuerzo contra cualquier posible fuga debido a los componentes electrónicos que se encuentran en la vecindad de esta misma.

### ***Boquillas para Ingreso y Salida de Agua***

Las boquillas o acoples para ingreso y salida de agua existen en diversos materiales, sin embargo, para la presente tesis fue necesario considerar las fabricadas en acero, puesto que permiten ser soldadas a la estructura, siendo ese el factor determinante.

### ***Llantas de Soporte***

El principal aspecto a considerar en estos componentes es la tracción que estos son capaces de lograr con las varillas de acero que forman parte de la faja de oruga.

Se tienen como alternativa al caucho y a ruedas de acero, sin embargo, se conoce que el coeficiente de rozamiento del acero en contacto con acero es de 0.35; un valor muy debajo de los 0.6 que corresponden al contacto de caucho con acero.

A continuación, en la tabla del Anexo 3 se muestra los tipos de cauchos sintéticos y las temperaturas que estos son capaces de soportar.

Lo cual del Anexo 3 se concluye que para el trabajo a realizar es conveniente utilizar aquel cuya temperatura de operación se encuentre por encima de la temperatura máxima a la que estará expuesta el sistema.

En este caso se opta por el caucho HNBR debido a que cumple las condiciones necesarias.

### ***Faja de Oruga en Sistema de Locomoción***

Para el diseño de la faja de oruga se debe considerar el material utilizado para la fabricación de la cadena. En este caso se trata de una cadena acerada.

Como alternativas se tienen al caucho y a varillas de acero para su construcción. Sin embargo, se opta por el caucho ya que, la tracción que permite es lo necesario para evitar movimientos no deseados, además de facilitar el sorteo de obstáculos.



Figura 15: Varillas de acero recubiertas con caucho como faja de oruga

Fuente: Elaboración propia

### **Diseño de la Estructura**

Para el diseño del robot terrestre tele operado, se debe considerar el tipo de terreno al que estará expuesto. En el caso de la presente tesis, se conoce que el sistema es utilizado para mitigar el fuego en caso de incendios residenciales, puesto que el terreno en el que se trabajará es en plano con una presencia mínima de obstáculos, siendo los principales, las bermas e incluso pequeños peldaños.

## Estructura Base

En la figura 16 se tiene la referencia utilizada para el posterior diseño e implementación del sistema.

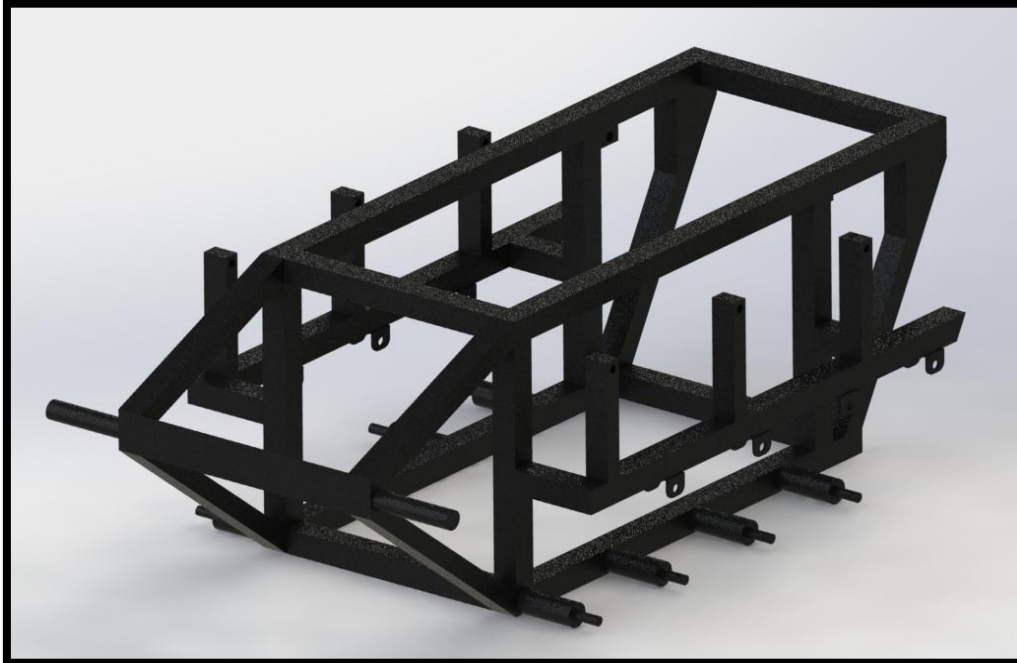


Figura 16: Vista isométrica estructura robot terrestre teleoperado

Fuente: Elaboración propia

Con las dimensiones del robot ya acotadas inicialmente, es posible realizar un cálculo geométrico para alcanzar un diseño capaz de superar los obstáculos ya mencionados.

En la figura 17 se puede apreciar la vista de corte de un peldaño, con la que es posible calcular la forma de la parte frontal del robot.

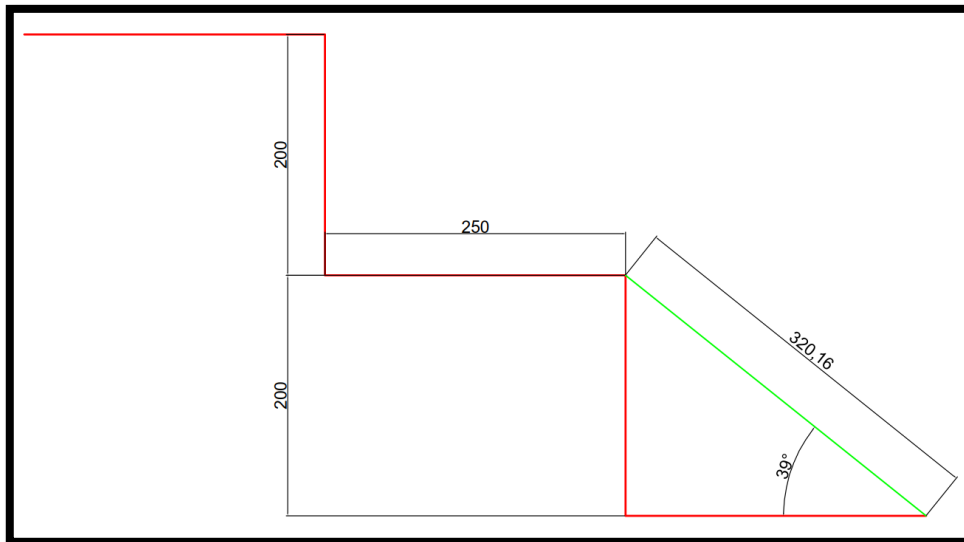


Figura 17: Cálculo geométrico para parte frontal del robot teleoperado

Fuente: Elaboración propia

En la figura 18, se tiene la vista lateral de la estructura en la que se observa como la parte frontal de la misma forma un ángulo de 39° grados con la base. Obedeciendo a los cálculos realizados anteriormente.

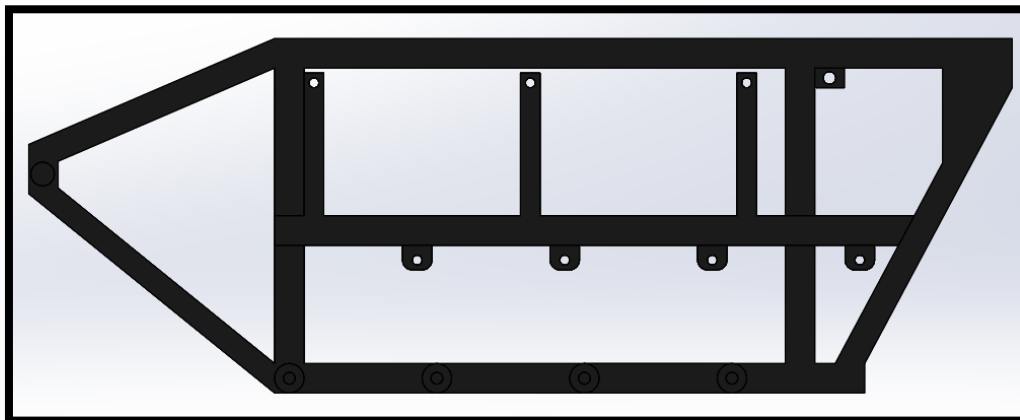


Figura 18: Vista lateral de la estructura del sistema

Fuente: Elaboración propia

De la figura vemos que se requieren de  $39^\circ$  grados para que el sistema sea capaz de tener tracción sobre la esquina superior del peldaño y así poder superar el obstáculo.

Para el resto del sistema se tiene en cuenta el tamaño de los componentes y las dimensiones asignadas inicialmente. La forma del sistema se adecua para que sea compatible con el sistema de locomoción elegido, el cual será explicado posteriormente. En la figura 19 a continuación se muestran las dimensiones generales del sistema.

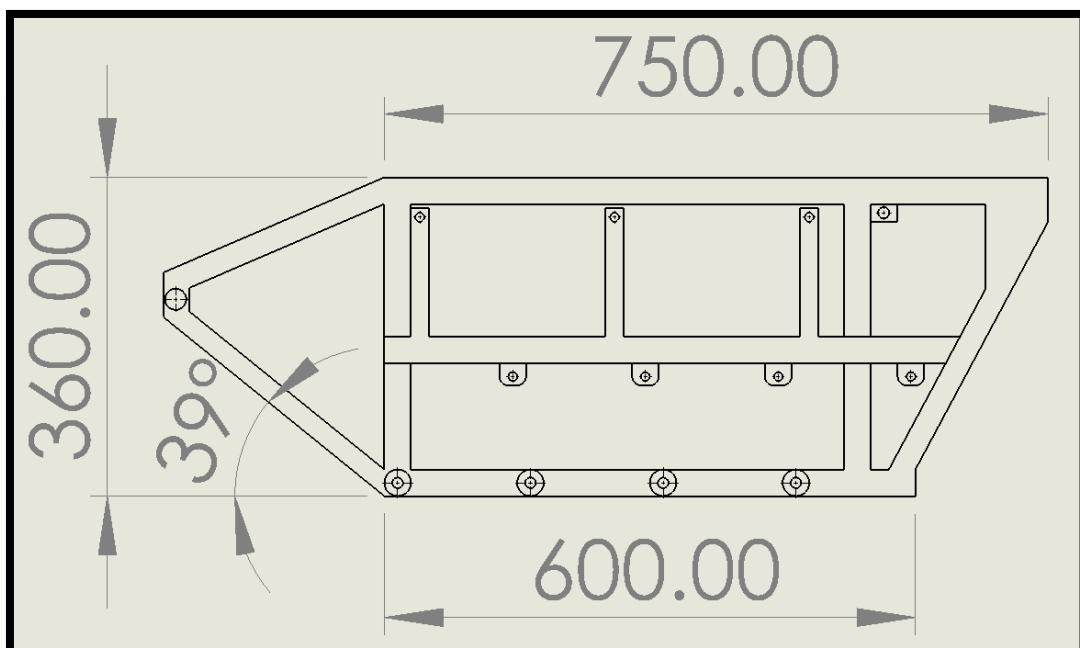


Figura 19: Dimensiones generales de la estructura

Fuente: Elaboración propia

## Estructura de Soporte para Sistema de Locomoción

La estructura del sistema se encuentra ampliamente relacionada con el sistema de locomoción escogido por lo que es necesario diseñar dicha estructura de manera que facilite el proceso.

Primero, se debe considerar la existencia de 4 soportes por lado para las ruedas inferiores. Estos son unidos a otra estructura conformada por la rueda y su eje.

En la figura 20 se puede observar la manera en la que se colocan dichos soportes para las ruedas. Dichos soportes están conformados por tubos cilíndricos de 7 cm de largo y 4 cm de diámetro, los cuales finalizan en un tubo más pequeño el cual servirá de acople para el rodamiento de la estructura auxiliar de cada eje de rueda.

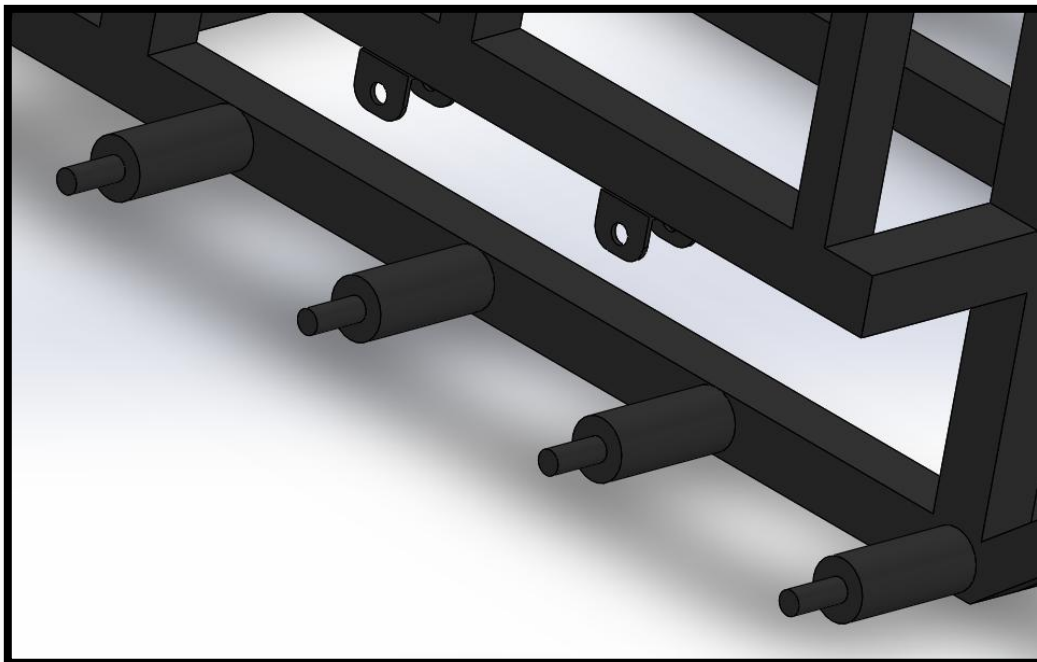


Figura 20: Soportes para ruedas inferiores de sistema

Fuente: Elaboración propia

Dentro de la construcción del sistema también se tienen los ejes de las ruedas de soporte superiores tal cual se muestran en la siguiente figura 21.

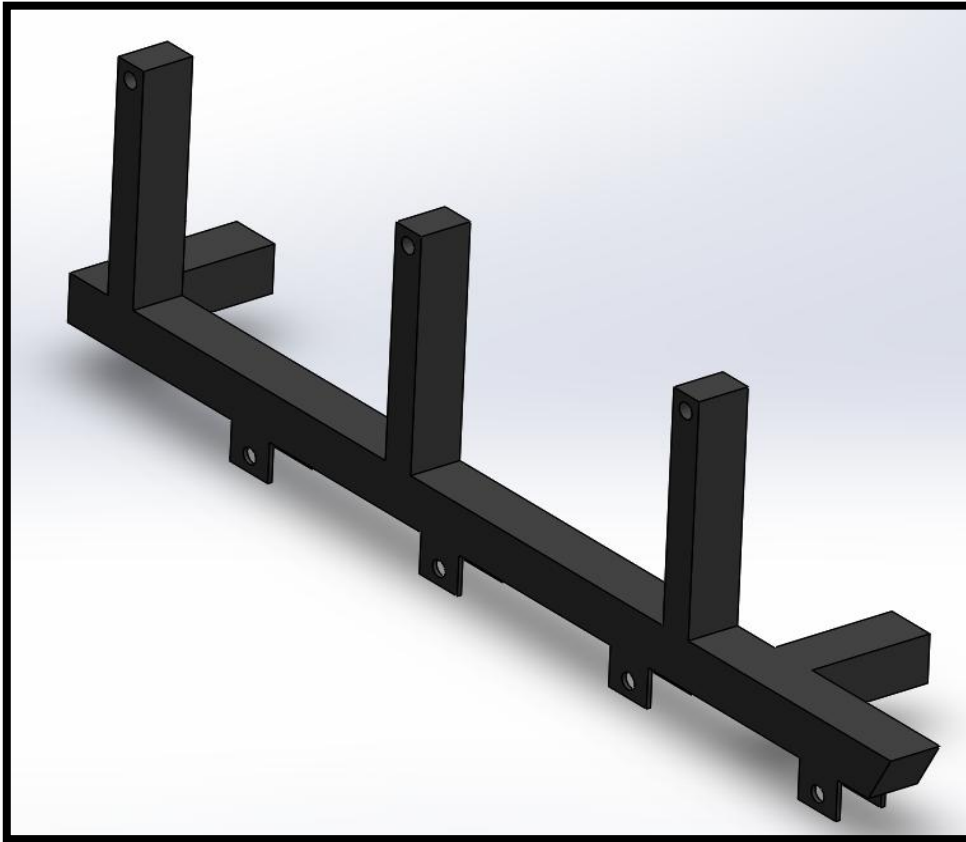


Figura 21: Barra lateral de soporte y ejes de ruedas de soporte superiores

Fuente: Elaboración propia

Para el diseño de esta pieza es necesario tomar en consideración la posición del eje de las ruedas, pues este debe encontrarse alineado a dicho eje a fin de lograr un mecanismo de locomoción alineado y estable. A continuación, se detallan las dimensiones del elemento en la figura 22.



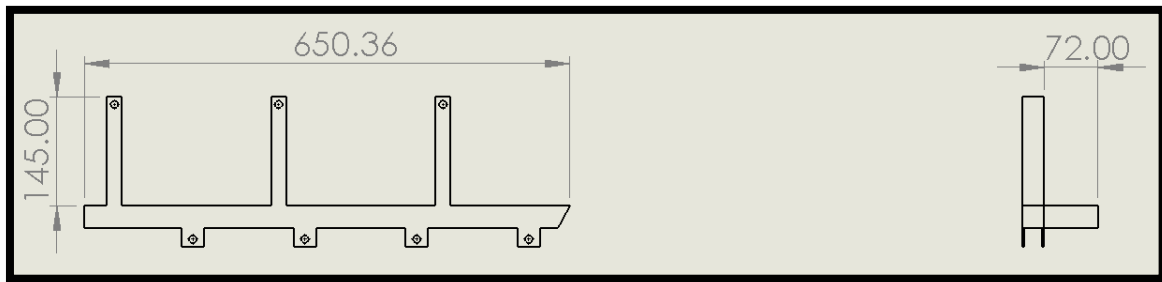


Figura 22: Dimensiones barra lateral y ejes de ruedas de soporte superiores

Fuente: Elaboración propia

### Diseño del Sistema de Locomoción

Para el diseño del sistema de locomoción se emplea el de tipo arrastre por fajas de oruga. Dicho sistema fue elegido por tener una mayor superficie de contacto con el piso que otro tipo de locomoción. Además, también es capaz de alcanzar un radio de giro igual a cero. Lo cual es ideal para desempeñarse en las condiciones a las que estará expuesto.

A continuación, se muestra el sistema de locomoción culminado y acoplado a la estructura en la figura 23.

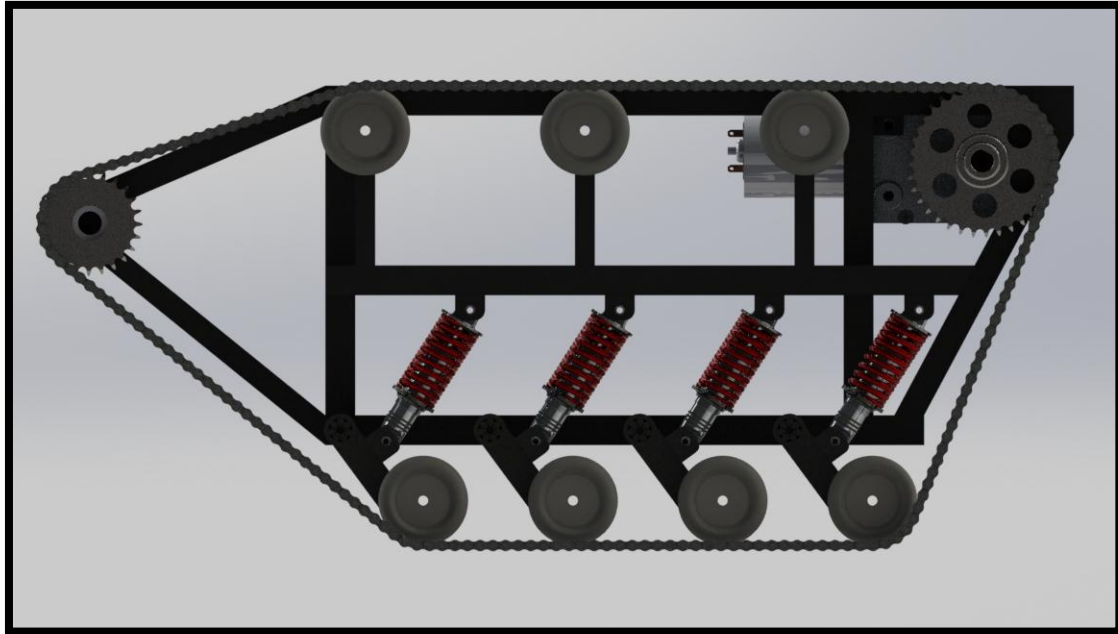


Figura 23: Vista lateral de sistema de locomoción

Fuente: Elaboración propia

El diseño del sistema de locomoción puede dividirse en las siguientes etapas:

- a) Fajas de oruga
- b) Ruedas de soporte
- c) Suspensión
- d) Cadena
- e) Catalinas
- f) Motores

### **Fajas de Oruga**

Para el apoyo del sistema al suelo y para lograr la tracción deseada se optó por elegir varillas de acero como material para las fajas de oruga. Se realizó la unión directamente entre las varillas y la cadena de manera que cubra toda la superficie dejada por ambas cadenas como se muestra en la figura 24.

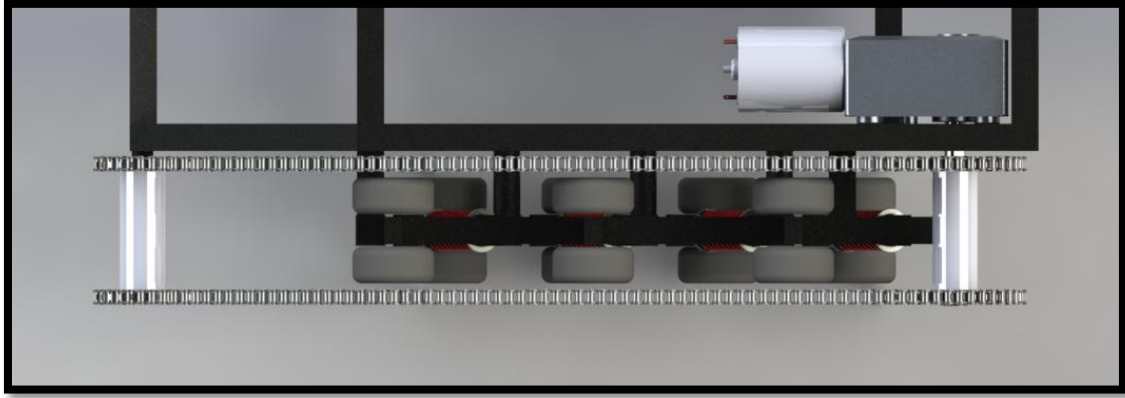


Figura 24: Vista planta del sistema de locomoción

Fuente: Elaboración propia

### **Ruedas de Soporte**

Las ruedas de soporte tienen la función de tensar la faja de oruga para evitar pérdida de potencia y atascamientos no deseados, además de brindar soporte a la estructura como tal.

Dichas ruedas están fabricadas a partir del material elegido, tienen un diámetro exterior de 10 cm y un espesor de 4 cm cada una.

Dichas ruedas pueden dividirse en:

- a) Ruedas de soporte superiores
- b) Ruedas de soporte inferiores

### ***Ruedas de Soporte Superiores***

La función principal de estas ruedas es la de soportar el peso de la cadena en la parte superior mientras ejerce la tensión suficiente para mantener la cadena libre de atascamientos

En la siguiente figura 25 se observa la distribución de las ruedas superiores según los ejes diseñados en la estructura.

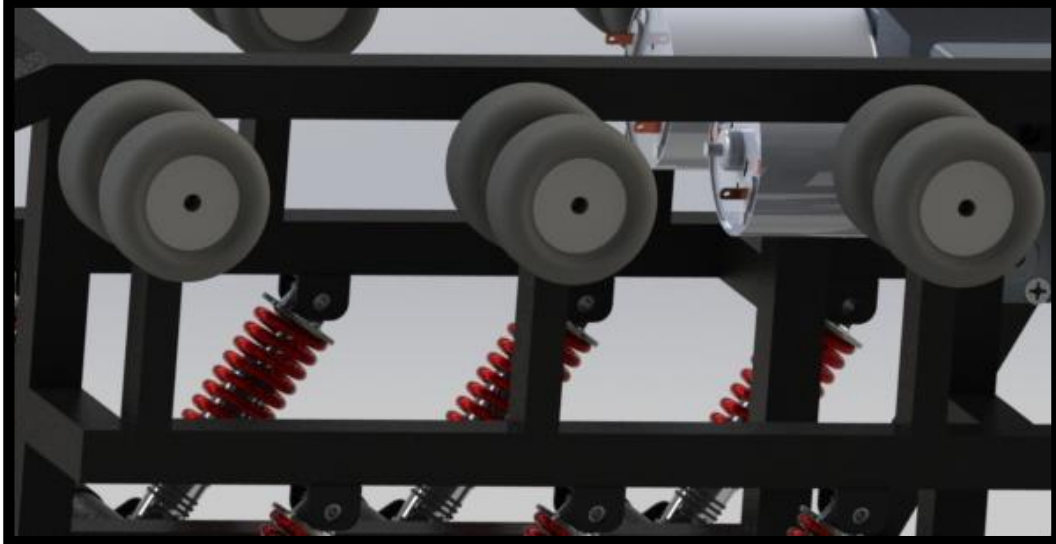


Figura 25: Ruedas de soporte superior

Fuente: Elaboración propia

### ***Ruedas de Soporte Inferiores***

Para las ruedas inferiores se ha diseñado un eje individual para cada par de ruedas. Dicho eje está acoplado a los soportes cilíndricos de la estructura. En la figura 26 se muestra el eje de cada par de ruedas.

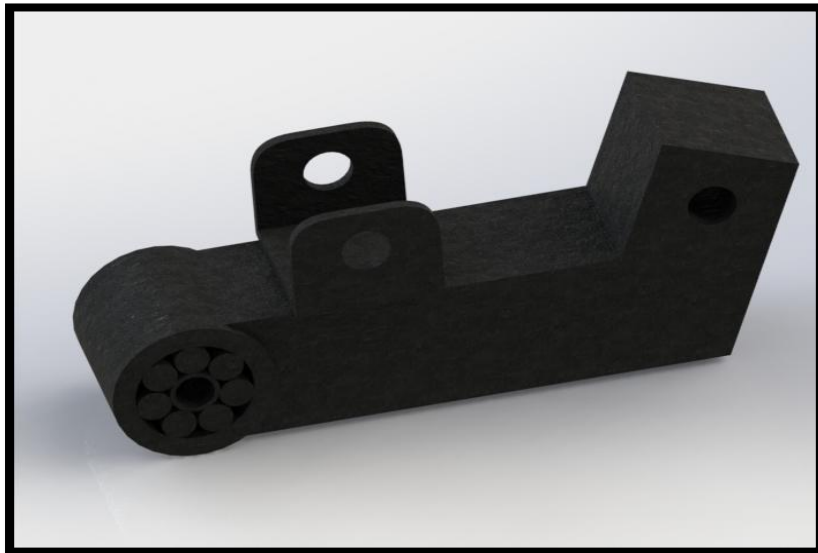


Figura 26: Eje para ruedas de soporte inferiores

Fuente: Elaboración propia

Dicho eje debe estar acoplado a la estructura mediante un rodamiento para que este pueda estar sometido a los efectos de la suspensión. A continuación, se observa en la figura 27 el eje acoplado a la estructura y a sus respectivas ruedas.

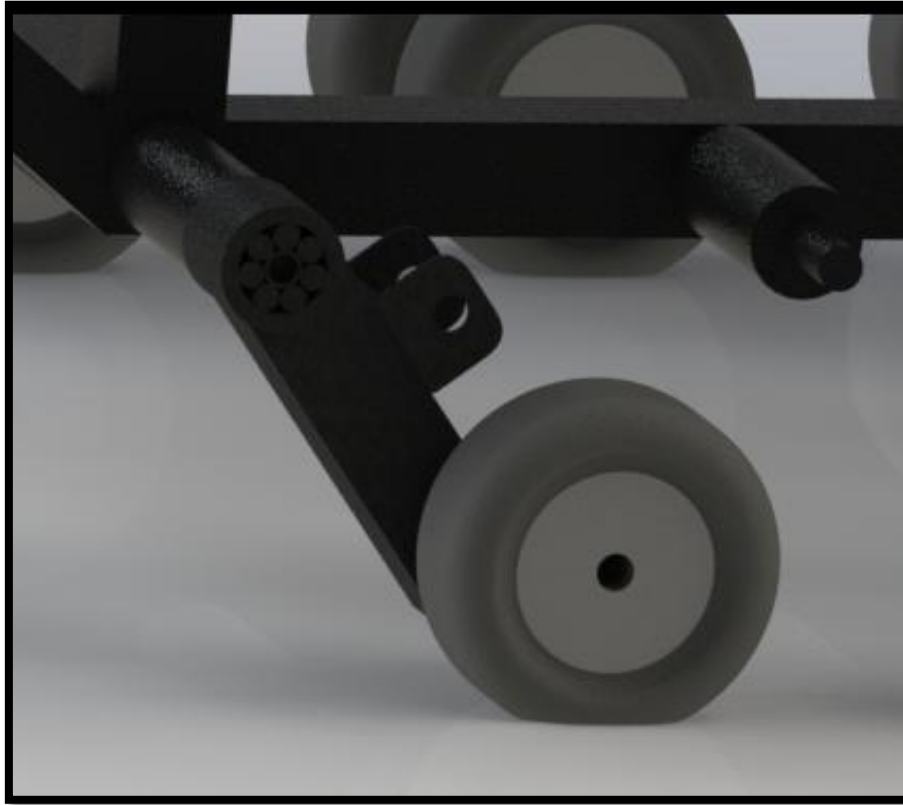


Figura 27: Ruedas de soporte inferiores

Fuente: Elaboración propia

## **Suspensión**

Uno de los objetivos de la presente investigación es lograr dotar al sistema de estabilidad para la realización de su trabajo. Durante su operación, es posible que se requiera movilizar el robot por lo que se debe alcanzar dicha estabilidad tanto en reposo como en movimiento.

Es por lo mencionado anteriormente que se optó por elegir amortiguadores independientes a cada eje a fin de suavizar al máximo el desplazamiento del sistema y a su vez absorber gran parte de la fuerza ejercida por la misma presión de agua.

En la siguiente figura 28 se observa de qué manera se instala la suspensión en el sistema.

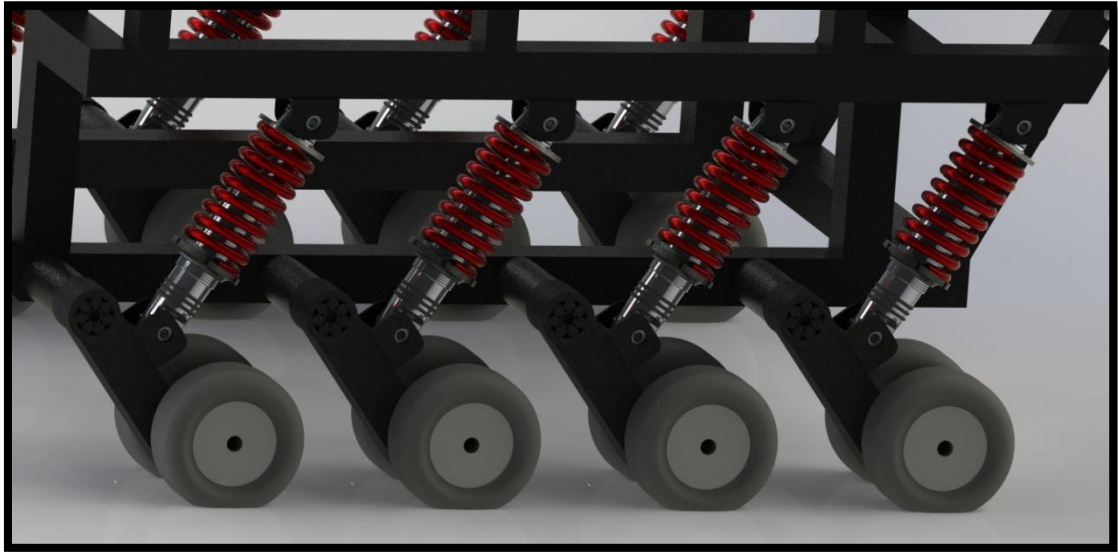


Figura 28: Acople suspensión sistema de locomoción

Fuente: Elaboración propia

## **Cadenas**

Para lograr un mayor aprovechamiento de la potencia de los motores, es necesario contar con un sistema de transmisión de potencia que evite el rozamiento como sucede con fajas comunes. Para la presente tesis se optó por utilizar cadenas de motocicleta con la finalidad de brindarle rigidez y tracción al sistema.

En la figura 29 se realiza un acercamiento a la cadena utilizada.

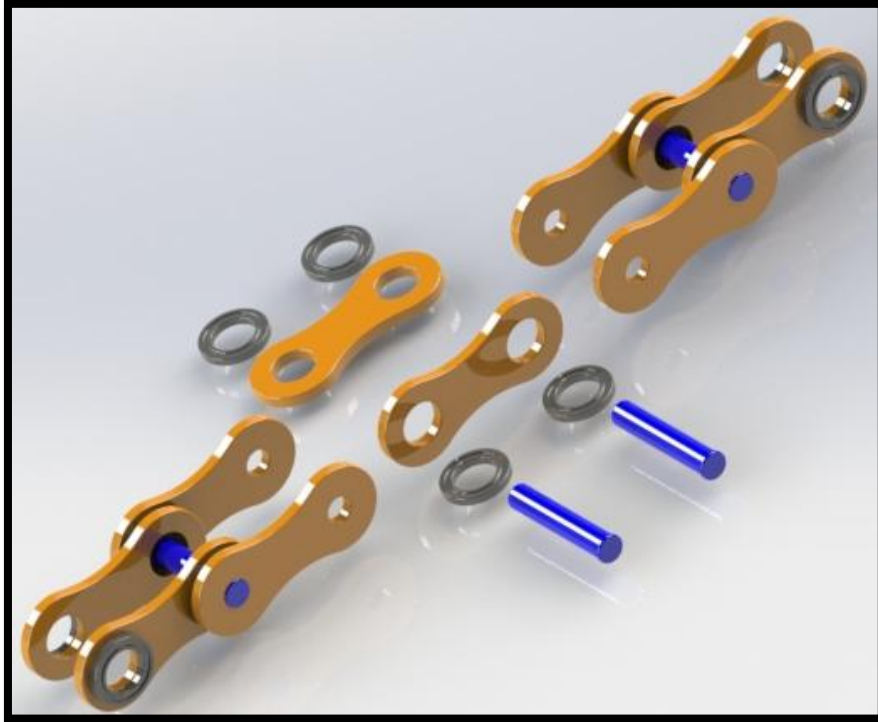


Figura 29: Acercamiento a cadena utilizada

Fuente: Elaboración propia

## Catalinas

Para lograr el movimiento del sistema se requiere transferir el movimiento del motor a la cadena. Esto se realiza con la ayuda de catalinas de motocicleta.

Para la selección de la catalina principal se debe tener en cuenta la velocidad que se desea alcanzar como el torque que debe ser suministrado por el motor.

En el caso de la presente tesis, se buscó trabajar con un tamaño de catalina promedio para equilibrar la velocidad y torque requerido, siendo la catalina principal de 36 dientes por ser la dimensión estándar, ya que el presente sistema no presenta cambio de velocidades. El diámetro de dicha rueda dentada es de 16 cm.

Para la catalina secundaria, se considera que debe ser de menor diámetro, por lo que se opta por una de 24 dientes y de 12 cm de diámetro.

Dichas catalinas deben estar agrupadas en pares y unidas mediante un tubo cilíndrico de 8 cm de diámetro de manera que existan 4 grupos de catalinas, 2 por eje.

En la figura 30 se muestran las catalinas principales con su unión respectiva.



Figura 30: Conjunto trasero de catalinas

Fuente: Elaboración propia

En la siguiente figura 31 se observan las catalinas secundarias.



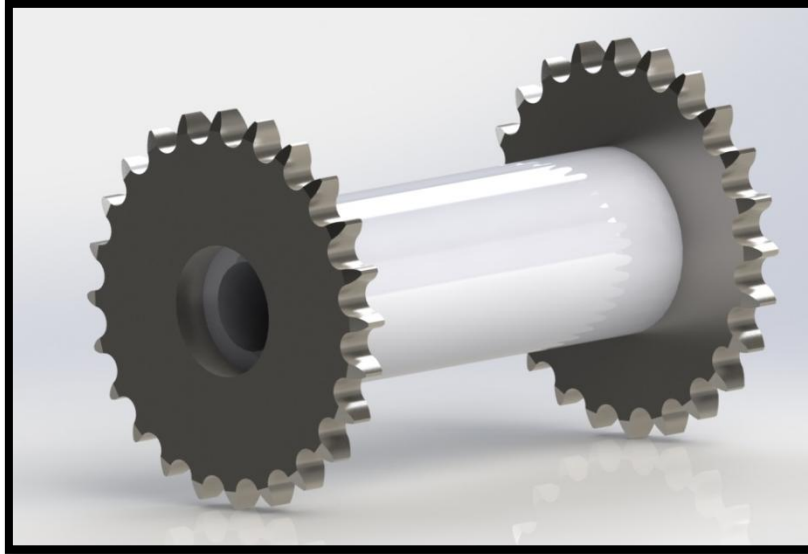


Figura 31: Conjunto delantero de catalinas

Fuente: Elaboración propia

## **Motores**

La selección de motores se dejó para el final, puesto que ya conociendo los componentes con los que se trabajarán, es posible realizar los cálculos de torque del motor.

En la siguiente tabla 8 se realiza un cálculo de masas del sistema.

	MASA UNITARIO	CANTIDAD	MASA TOTAL
Estructura	34	1	34
Rueda	0.25	28	7
Catalina principal	0.35	4	1.4
Catalina secundaria	0.3	4	1.2
Uniones catalinas	0.6	4	2.4
Cadena	4.5	2	8
Suspensión	0.35	8	2.8
Cámara	0.2	1	0.2
Recubrimiento y aislante	2	1	2
Batería	44.3	1	44.3
Motores de las orugas	5.35	2	10.7
Motor de la manguera	14.02	1	14.02
Circuito de control	0.15	1	0.15
			128.17 [Kg]

Tabla

8:

Distribución de las masas en el sistema

Fuente: Elaboración propia

De la tabla 10 se tiene que el sistema tiene una masa aproximada de 128.17 kg, sin embargo, para la selección de motores se le añadirá un factor de seguridad del 5% teniendo entonces 135 kg aproximadamente.

En vista que el robot debe sortear obstáculos, es necesario considerar que el motor debe ser capaz de mover todo el peso del sistema.

Multiplicando la masa por la gravedad obtenemos un peso de 1316 N. Sin embargo, se cuentan con 2 motores por lo que el peso se divide entre 2, resultando 658 N.

Para el cálculo del torque se tomó la siguiente consideración (radio de la rueda 8 cm)

$$T = r * Fr = 0.08 * 658 = 52.65 \text{ Nm} \dots \dots \dots (24)$$

Dónde:

T: Torque del motor

r: radio de rueda dentada

Fr: Fuerza que debe ejercer el motor para mover el sistema

El valor obtenido es el torque mínimo que el motor y la caja reductora deben generar para mover todo el carro transportador.

Por otro lado, también se tiene que respetar la velocidad deseada planteada inicialmente, la cual debe encontrarse entre 5 a 7 km/h equivalentes

$$w = \frac{v}{2 * \pi * r} = \frac{7 * 1000 / 3600}{2 * \pi * 0.08} = 3.88 \text{ rps} \cong 233.3 \text{ rpm} \dots \dots \dots (25)$$

De lo calculado anteriormente se requiere de lo descrito en la tabla 9.

<b>CARACTERÍSTICAS</b>	<b>VALOR</b>	<b>UNIDADES</b>
Torque	52.65	Nm
Velocidad	233.3	RPM

Tabla 9: Características deseadas para motores de fuerza

Fuente: Elaboración propia

Según los datos calculados previamente, se escogieron 3 motores con las especificaciones similares, es redundante mencionar que estos motores trabajan a 24[V], sin embargo, el fabricante aclara que pueden trabajar a 12[V] teniendo como resultado un funcionamiento al 50% el RPM sin carga y torque como se muestra en la siguiente tabla 10.

	<b>F30-400-G</b>	<b>A28-150-G</b>	<b>E30-400-G (Eco.)</b>
Torque	65.55[N-m]	57.62[N-m]	43.5[N-m]
RPM sin Carga	270[RPM]	360[RPM]	340[RPM]
Peso	5.35[Kg]	3.31[Kg]	4.26[Kg]
HP pico	2.5[HP]	3[HP]	2.1[HP]
Amperaje Pico	26[A]	40[A]	29[A]
*Valores en funcionamiento a 12[V] como especifica el fabricante			

Tabla 10:

Especificaciones técnicas de motores DC.

Fuente: Elaboración propia

Después de definir la velocidad y el torque como prioridad, podemos discriminar al motor “E30-400-G (Eco.)” por no cumplir con el torque requerido, por último, se analizó el amperaje pico como consumo de los motores teniendo como selección al motor “F30-400-G” el cual a pesar de tener un consumo menor tiene un torque superior al “A28-150-G” haciendo que el motor no genere sobrecarga en su rotor con cierta facilidad, teniendo como beneficio 270[RPM] como velocidad en la transmisión del tren de oruga.

### **Diseño del Sistema de Disparo de Agua**

El sistema de disparo de agua está conformado por:

- a) Acople de entrada
- b) Manguera
- c) Acople de salida
- d) Motor paso a paso

### **Acople de Entrada**

Para el acople de entrada se utilizará según la elección de materiales, un acople de acero de 3 pulgadas, tal cual se muestra en la figura 32 a continuación.

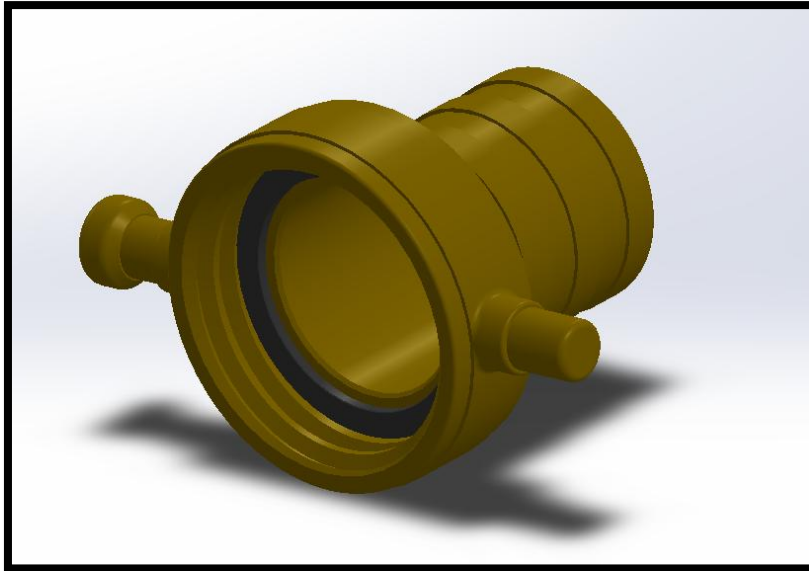


Figura 32: Acople de ingreso de agua

Fuente: Elaboración propia

### **Manguera**

Se realizará con una manguera reforzada según lo seleccionado anteriormente. Esa manguera atravesará el sistema y desembocará en la parte superior.

### **Acople de Salida**

Para este acople se utilizará también el acero como se observa en la figura 33.



Figura 33: Acople de salida y motor paso a paso de dirección

Fuente: Elaboración propia

### **Motor Paso a Paso**

En este caso se necesita de un motor Paso a Paso capaz de brindar el torque necesario para movilizar la manguera durante su operación y a su vez bloquear el movimiento evitando que existan cambios no deseados de dirección.

Para ello se realizaron cálculos de presiones en los ejes donde el motor estará instalado de forma estable:

Datos:

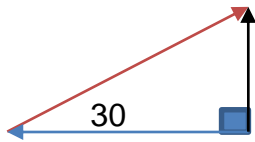
Angulo de dirección de disparo: 30° - 80°

Voltaje: 12 [V]

Presión de la manguera: 150 PSI

Para hallar las fuerzas resultantes en el caso 1:

$$\sqrt{F1^2 + F2^2} = 150PSI.....(26)$$



$$\operatorname{Tg}(30^\circ) = \frac{F2}{F1} \dots\dots\dots(27)$$

$$F2 = F1 * \operatorname{Tg}(30) \dots\dots\dots(28)$$

Reemplazando la ecuación 28 en la ecuación 26 se tiene:

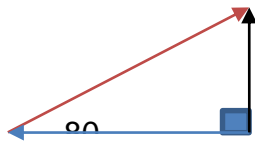
$$\sqrt{F1^2 + (F1 * \operatorname{Tg}(30^\circ))^2} = 150 \text{ PSI}$$

$$F1^2 * (1 + \operatorname{Tg}(30^\circ))^2 = 22500$$

$$F1 = 95.1 \text{ PSI}$$

$$F2 = 57.9 \text{ PSI}$$

Para hallar las fuerzas resultantes en el caso 2 se hace nuevamente uso del Teorema de Pitágoras como se observa en la fórmula 29:



$$\sqrt{F1^2 + F2^2} = 150 \text{ PSI} \dots\dots\dots(29)$$

$$\sqrt{F1^2 + F2^2} = 150 \text{ PSI} \dots\dots\dots(30)$$

$$F2 = F1 * \operatorname{Tg}(80) \dots\dots\dots(31)$$

Reemplazando la ecuación 31 en la ecuación 29 se tiene:

$$\sqrt{F1^2 + (F1 * \operatorname{Tg}(80^\circ))^2} = 150 \text{ PSI}$$

$$F1^2 * (1 + \operatorname{Tg}(80^\circ))^2 = 22500$$

$$F1 = 22.5 \text{ PSI}$$

$$F2 = 127.5 \text{ PSI}$$

Teniendo en cuenta en el caso más extremo donde la presión de la manguera en el eje donde estará ubicado el motor paso a paso es en el

ángulo de 80° (caso 2), se toma como referencia la fuerza 2 donde la resultante es de 127.5 PSI, a continuación, se realizará el cálculo de torque necesario del motor para poder hacer su selección.

Se utiliza la fórmula 32 que se refiere al cálculo del torque o momento ejercido respecto a un eje.

Datos:

Presión = 879 N

$$T = r * Fr = 0.006 * 879 = 5[\text{N} - \text{m}] \dots \dots \dots (32)$$

Una vez hallado el torque necesario para la manipulación del motor paso a paso que se encuentra acoplado a la cámara, se procederá a hacer la selección, por el cual se procedió a seleccionar 3 motores como muestra en la tabla 11 para su previo análisis.

	Nema 23 (OMHT23-603)	Nema 24 (OMHT24-108 )	Nema 34 (OMHT34-504 )
Torque	2.5[N-m]	2.5[N-m]	2.8[N-m]
Peso	14.97[Kg]	14.02[Kg]	15.88[Kg]

Tabla 11: Motores Nema – Torque Según su Modelo

Fuente: Elaboración propia

Para poder considerar los motores seleccionados en la tabla 13, fue necesario buscar motores que contengan la mitad del torque hallado ya que se usara una reducción 1:2 para duplicar el torque del motor para asegurar el ángulo de disparo a una velocidad angular promedio, para ello el motor tiene acoplado en su eje (reductor) un esparrago auto-roscante los cuales son de la misma dimensión de su propio eje y los mismos irá instalado a un lado de la boquilla. Como resultado se seleccionó el motor “Nema 24 (OMHT24-108)” ya que el peso es un factor determinante entre los 3 motores seleccionados.



### 3.2 Diseño Eléctrico

Luego de contar con la estructura y todo elemento mecánicos diseñados, es correcto dar inicio con los cálculos necesarios para encontrar que tipo de suministro eléctrico es el adecuado.

#### Condiciones Iniciales

Gracias a que se trata de un sistema móvil es indiscutible pensar en baterías de CC. Inicialmente se plantean las siguientes condiciones base para dar inicio con el diseño:

- Autonomía: 3 – 4 horas a plena carga
- Peso: 10 – 15 kg
- Alto: 20 – 30 cm
- Ancho: 15 - 30 cm
- Amperaje máximo en arranque: 500 – 700 A

#### Selección de Batería

Para la selección de batería fue muy importante realizar todos los cálculos de consumo de potencia que se realizaron previamente para ellos a continuación vamos a presentar en las siguientes tablas 12 y 13 el análisis y la sumatoria de todos los componentes utilizado en el robot excluyendo al sistema emisor de señal que tiene un consumo de energía independiente al igual que la cámara.

	Voltaje	Amperaje	Cantidad
Motor + Controlador	12[A]	*285[A]	2
Modulo Receptor	6[V]	0.4[A]	1

Motor de Paso + Controlador	12[V]	6[A]	2
*Amperaje de arranque – El motor cuenta con 26[A] nominal			

Tabla 12: Componentes eléctricos y electrónicos usados en el robot.

Fuente: Elaboración propia

Se realiza un cálculo del requerimiento energético durante el arranque de manera que sea posible vencer la inercia causada por el peso del sistema.

	Amperaje Arranque	Amperaje Nominal
Motor + Controlador	570[A]	52[Ah]
Modulo Receptor	0.5[A]	0.5[Ah]
Motor de Paso + Controlador	12[A]	12[Ah]
Total	582.5[A]	64.5[Ah]

Tabla 13: Consumo de Corriente total.

Fuente: Elaboración propia

Visto el consumo total de amperaje, se procede a realizar un análisis de baterías, en las cuales brinden 582.5[A] en arranque, para eso hemos seleccionado 3 baterías de las cuales según las siguientes características en la tabla 14 realizaremos la selección:

	Bosch N200 MF	Capsa 288D	Solite CMF70018
Arranque	1150[A]	1600[A]	1050[A]
Amperios	200[Ah]	200[Ah]	200[Ah]
Peso	51.8[Kg]	49.93[Kg]	44.3[Kg]

Tabla 14: Peso y Amperaje de Arranque de las Baterías.

Fuente: Elaboración propia

Debido al peso del robot y la potencia calculada de los motores previamente, optamos por seleccionar la batería “Solite CMF70018” la cual además de ser liviana nos brinda un amperaje de arranque suficiente para poder alimentar a todo el robot.

El consumo nominal de corriente de los motores es de 52[Ah], que al ser sumados a los 12.5[Ah] de los demás componentes y motor paso a paso se convierten en un aproximado de 64.5[Ah] de consumo para el sistema.

La batería seleccionada cuenta con 200[Ah], donde al dividir entre el consumo del sistema nos arroja un resultado de 3:06 horas de funcionamiento.

En la siguiente figura 34 se observa el circuito de alimentación para los motores y el controlador.

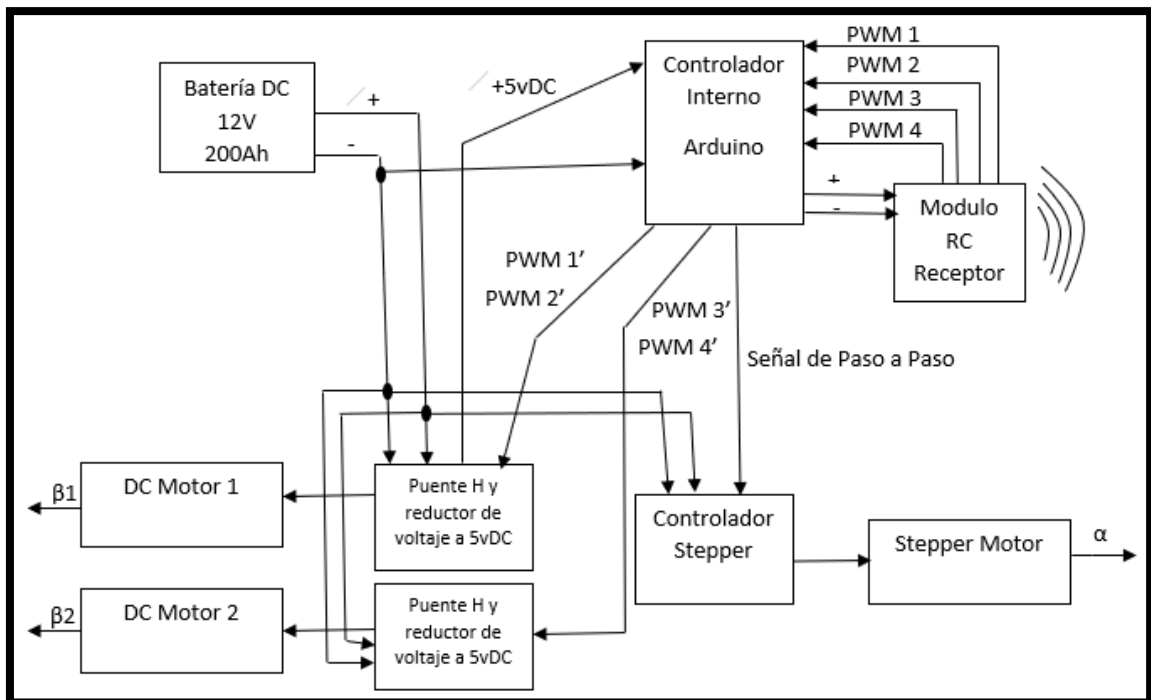


Figura 34: Circuito de Alimentación

Fuente: Elaboración propia

### **3.3 Diseño Electrónico**

El diseño y estudio de la parte electrónica del robot es la clave para obtener los mejores resultados en el fin del proyecto para ello es necesario definir acerca de qué tipo tecnología será empleada en el robot, es decir: cámara, motor paso a paso, motor DC, sistema de comunicación, controlador, batería y sensores.

#### **Condiciones Iniciales**

Se tienen como condiciones iniciales para el diseño electrónico las siguientes características:

- Voltaje de trabajo: 12 V
- Temperatura de trabajo: 40°C

#### **Diseño de PCB en Software Proteus:**

Proteus es un software donde se puede realizar diseños de placas donde a su vez también pueden ser simuladas previamente para la rectificación de su trabajo, este software consta de dos paquetes: ISIS y ARES, donde cuentan con una gran cantidad de componentes eléctricos y electrónicos.

Se diseñó la placa donde recibirá la señal digital y controlará el robot mediante este software con la finalidad de poder ejecutar un sin fin de simulación para poder llegar al funcionamiento deseado, en la figura 35 se observa el diseño de la placa.

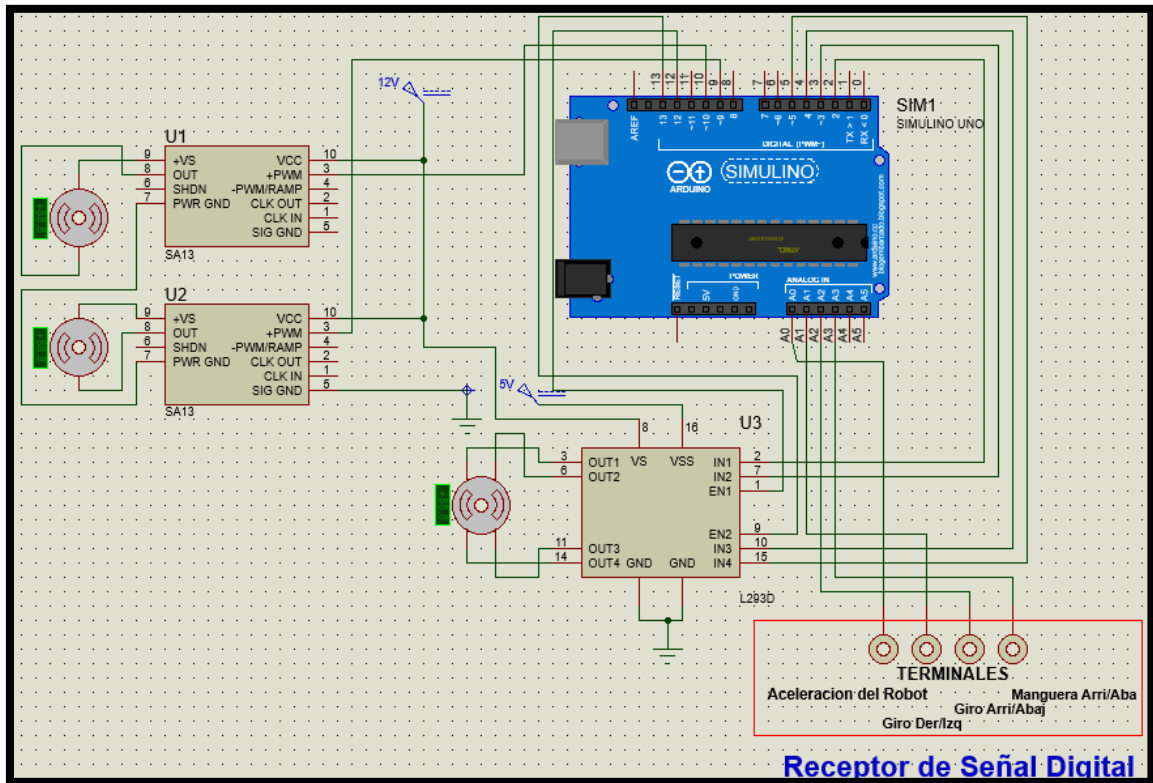


Figura 35: Receptor de Señal y Controlador del Robot en Proteus – ISIS

Fuente: Elaboración propia

La programación del microcontrolador se encuentra en el Anexo 4, donde explica como es el funcionamiento del robot respecto a las señales recibidas por el mando.

### Selección de Componentes

Para poder armar nuestro robot fue necesario realizar una serie de cálculos el cual define la eficiencia y fiabilidad de nuestro sistema para esto hicimos un estudio de ellos.

### Selección del Controlador para Motores

Los puentes H son controladores de potencia para poder manipular el control de giro de los motores y frenado de forma brusca de los mismos.

Para poder hacer la selección del puente H más eficiente es necesario saber los datos de la placa del motor como voltaje nominal, y potencia para proceder a calcular la corriente que consumen, de esta forma hemos obtenido un funcionamiento correcto del robot.

Datos:

Potencia del motor = 3 [HP]

Voltaje del motor= 12 [V]

$$P = V * I \dots\dots\dots(33)$$

$$3 * \frac{745.7[Watts]}{1[HP]} = 12 * I$$

$$I = \frac{2237.1}{12}$$

$$I = 186.43 [A]$$

Una vez analizado el cálculo de potencia para la selección de puente H donde el consumo de corriente de los motores es de 186.43 [A]; seguimos a buscar el componente que se asemeje a estas características dando un 25% para el factor de seguridad:

$$Fs = I * 1.25% \dots\dots\dots(34)$$

$$Fs = 186.43 * 1.25%$$

$$Fs = 233 [A]$$

Según resultados obtenidos en el último cálculo de estimación de consumo de corriente bajo el factor de seguridad, optamos por 3 controladores en la tabla 15.

Tabla 15: Tabla comparativa de controladores según sus especificaciones técnica.

	OSMC Speed Controller	Vex Pro Victor BB	Vyper Speed Controller
Voltaje Alimentación	13[V] - 50[V]	12[V] - 50[V]	7.5[V] - 42[V]
Amperaje Nominal Salida	160[A]	20[A]	120 [A]
Amperaje Pico de Salida	>400[A]	>300[A]	>250[A]
Limitador de Corriente	Opcional	Si	Opcional

Fuente: Elaboración propia

El modelo “Vex Pro Victor BB” recomendado por la marca de los motores seleccionados AmpFlow, recomienda utilizar este driver por diversos motivos sin embargo se pasó a realizar un estudio y análisis con el driver “OSMC” y “Vyper” como se ha mostrado en la tabla anterior, por el cual es un nos regimos a seleccionar sin duda el “Vex Pro Victor BB” por el limitador de corriente incorporado que tiene, esta configuración se puede realizar mediante su mismo software y nos proporciona la facilidad de proteger tanto al circuito como a los motores de sobrecargar y picos de voltaje que vayan a suceder en futuros.

El controlador seleccionado trabaja de forma independiente para cada motor, es decir se utilizarán 2 controladores para el funcionamiento adecuado del robot, los controladores son alimentados a 12 [V] de forma respectiva, luego se conecta los cables del motor a sus respectivas borneras y la señal PWM en conjunto con el polo negativo.

### **Mando de Radio Control**

Es un sistema de extremadamente versátil el cual puede ser utilizado tanto principiantes como expertos. Este Mando de control tiene canales de emisión el cual pueden ser utilizados especialmente para servomotores y motores, el mando cuenta con un sistema de programación previa para distinguir la finalidad del uso.

Básicamente el sistema consta de tres componentes esenciales: Transmisor (Tx), Módulo RF de señal, y Receptor (Rx).

### **Selección de Mando**

Para poder realizar la selección del mando hemos tenido que definir la cantidad de canales que vamos a usar y la distancia de control robusto, para ello en la siguiente tabla 16 vamos a mostrar los componentes en uso.

Componentes	Cantidad de Canales Requeridos
Motor Derecho	2
Motor Izquierdo	2
Motor Paso a Paso	1
Total de Canales	5

Tabla 16: Componentes Teleoperado

Fuente: Elaboración propia

En los motores de derecha e izquierda se han colocado 2 canales cada uno, esto se debe a que el robot realizara giros sobre su mismo eje, es decir abra un movimiento combinado entre ambos motores, para ellos se requiere 2 canales adicionales.

Una vez identificado la cantidad de canales que ser requiere para la teleoperación del robot, se procede a realizar la selección del mando, para ello hemos identificado 3 radio controles los cuales contienen como mínimo 2 joystick para operar de forma amigable al robot, a continuación, se mostrara en la tabla 17 los 3 radio controles.

	Turnigy 9x	Flysky th9x	Radiolink at9
Canales	9	9	9
Distancia de Control	1200[m] - 2600[m]	350[m] - 400[m]	900[m] - 1500[m]

Tabla 17: Canales y Distancias de Control – Radiocontrol



Fuente: Elaboración propia

Es el receptor de sistema de control el cual cuenta con 2.4GHz con tecnología glitch free antena y un peso de 18g. Sus dimensiones son: 52x35x15mm.

### 3.4 Diseño Informático

Para poder definir el tipo de comunicación inalámbrica se seleccionó el tipo de tecnología para la tele-operación del robot (Radio Control) y a su vez se definió el tipo de comunicación que tendrá la cámara térmica (Wifi) ya que ambos trabajaran en conjunto y a su vez forma independiente, para ello el receptor de la cámara es un celular o Tablet que contiene la aplicación de la misma.

#### Transmisión de Imágenes Térmicas por Wifi

En este punto se analizará el tipo de cámara térmica que se usara en el robot, para ello es necesario saber sus compatibilidades y sus rangos de trabajo de la misma cámara, para ello hemos seleccionado 3 tipos de cámaras como se muestra en la tabla 18, con las especificaciones que denominamos como redundantes para la detección de focos de fuego.

	Keysight TrueIR	Flir E5	Fluke Tis 20
Temperatura máxima	350 °C	250 °C	350 °C
Horas de trabajo	4H	4H	4H
Comunicación por Wifi	No	Si	Si
Resolución del Sensor de Detección de Radiación Infrarroja	160x120 Micro Bolómetros	120x90 Micro Bolómetros	120x90 Micro Bolómetros

Tabla 18: Cámaras térmicas con conectividad Wifi

Fuente: Elaboración propia

Después de su análisis podemos definir que las horas de trabajo son iguales y la resolución es muy parecida por lo que dimos prioridad en primer lugar a la comunicación por Wifi ya que el robot será tele-controlado con imágenes térmicas en tiempo real observadas desde una "Tablet" o "Celular" que cuente con la misma aplicación de la cámara térmica seleccionada, por último pasamos a discriminar por temperatura en este caso será de 350 °C (ya prevista) por el cual hemos seleccionado la cámara térmica "Fluke Tis 20".

### **3.5 Implementación del Sistema**

Se da inicio a la implementación del prototipo del sistema, iniciando con la construcción de la estructura principal para luego instalar en ella los componentes mecánicos y electrónicos.

#### **Instalación Mecánica**

Para la construcción del sistema se realiza la preparación de los materiales necesarios para formar la estructura. Luego, según el diseño inicial, se unen los tubos cuadrados LAC de 40x40 mm con soldadura TIG. A continuación, se muestra la cara lateral del sistema en la figura 36.



Figura 36: Pared lateral del sistema

Fuente: Elaboración propia

Luego se continúa con la unión de las demás partes de la estructura base. Logrando armar el esqueleto principal tal cual se ve en la siguiente figura 37.



Figura 37: Esqueleto principal del sistema

Fuente: Elaboración propia

Una vez armada la estructura base, se procede a fabricar las partes pequeñas que se acoplarán al sistema, como son los soportes de las ruedas y suspensión. A continuación, lo descrito en la figura 38.

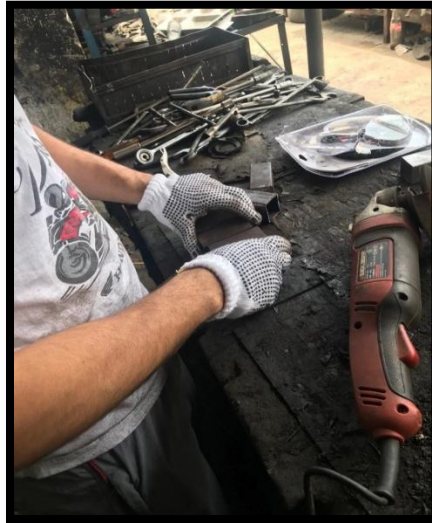


Figura 38: Fabricación de componentes menores de la estructura

Fuente: Elaboración propia

Luego de pulida la estructura, se tiene la base del proyecto según se muestra en la siguiente figura 39.



Figura 39: Estructura base terminada

Fuente: Elaboración propia

Con la estructura base terminada, se unen las demás partes mediante soldadura TIG, como se muestra en la figura 40 a continuación.



Figura 40: Estructura y soporte para ruedas

Fuente: Elaboración propia

Se prosigue con la instalación del sistema de suspensiones para dotar de estabilidad al sistema. En la siguiente figura 41 se observa cómo, mediante soldadura TIG se procede a fijar los demás componentes.

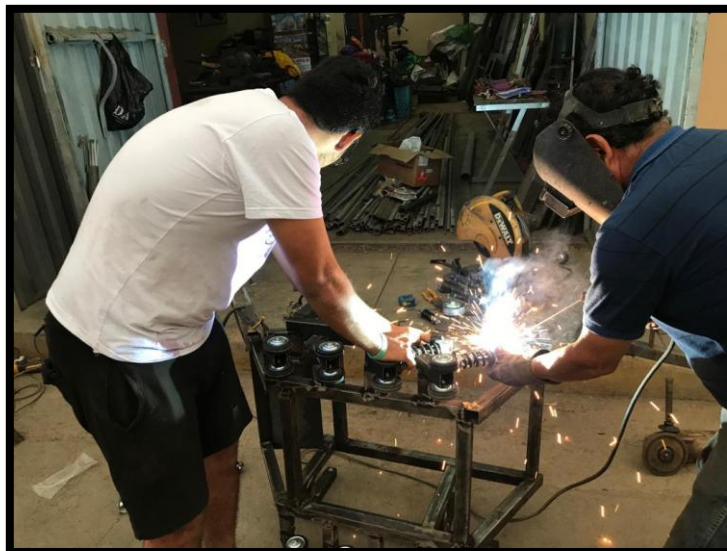


Figura 41: Fijación del sistema de amortiguamiento

Fuente: Elaboración propia

Una vez instalado el sistema de amortiguamiento se procede a colocar las ruedas de soporte superiores las cuales actúan como tensores para la faja de oruga. En la figura 42 se observa plena instalación de dichas ruedas.



Figura 42: Sistema y ruedas de soporte superiores

Fuente: Elaboración propia

Con la estructura base terminada se continúa con la instalación de planchas metálicas para el soporte de los componentes internos como la batería y demás. En la siguiente figura 43 se muestra la estructura terminada y las planchas metálicas mencionadas.



Figura 43: Estructura y planchas metálicas

Fuente: Elaboración propia

Culminada la estructura principal se da inicio a la construcción del sistema de locomoción. Como primer paso se tiene la fabricación de los carretes de catalinas para la sujeción de la cadena tal como se muestra en la siguiente figura 44.



Figura 44: Centrado de carrete de catalinas

Fuente: Elaboración propia

El resultado final se observa en la figura 45.



Figura 45: Carretes de fuerza

Fuente: Elaboración propia

Se procede a hacer lo mismo con las catalinas de menor tamaño para la fabricación de los carretes guía. En la siguiente figura 46 se observan los carretes guías ya instalados en la estructura.



Figura 46: Carretes guías instalados

Fuente: Elaboración propia

Luego se coloca la cadena entre ambos carretes para que sea posible el movimiento del sistema.



Figura 47: Cadena de sistema de locomoción

Fuente: Elaboración propia



Con la cadena instalada se procede con la instalación de los motores, los cuales son los responsables de movilizar al sistema. En la figura 48 se muestra su instalación.



Figura 48: Motores acoplados a la estructura

Fuente: Elaboración propia

Posteriormente se continua con el pintado tal como se muestra en la figura 49.



Figura 49: Estructura base del sistema pintada

Fuente: Elaboración propia

Una vez se tiene la estructura preparada, se inicia con la instalación de las varillas que harán de faja de oruga tal cual se muestra en la figura 50.



Figura 50: Varillas para faja de oruga

Fuente: Elaboración propia

Se culmina con la instalación de las fajas de oruga, obteniendo como resultado los mostrados en la figura 51.



Figura 51: Sistema de oruga instalado

Fuente: Elaboración propia

Una vez el sistema de locomoción ha sido instalado, se requiere de la instalación del sistema de disparo de agua.

Para la presente tesis se utilizará un tramo de tubo de acero galvanizado, que provee rigidez y estabilidad al paso del agua a altas presiones. Dicho tramo se instala como se observa en la figura 52.

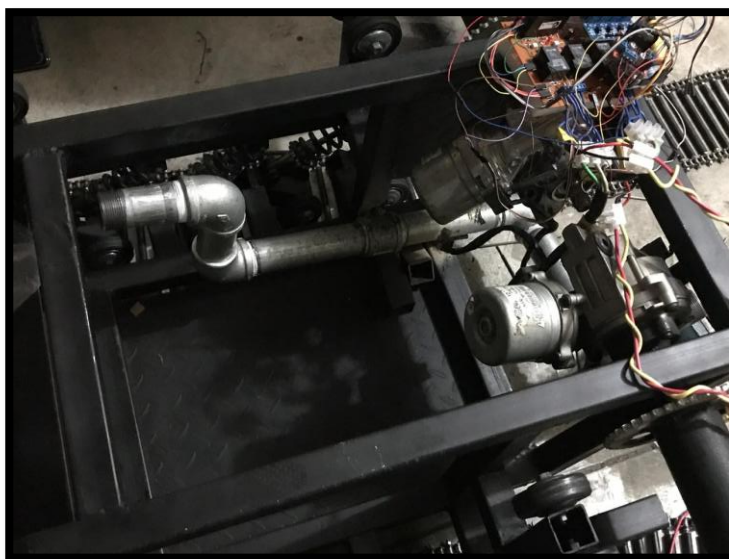


Figura 52: Instalación de tramo de tubo de acero para disparo de agua

Fuente: Elaboración propia

En la figura 53 se muestra el proceso de instalación de la boquilla que realizará el disparo, así como también la instalación del motor paso a paso que es el responsable de direccionar el flujo de agua.



Figura 53: Instalación de boquilla de disparo, motor paso a paso y cámara

Fuente: Elaboración propia

Finalizando con el sistema de disparo de agua, se coloca el acople trasero, que será responsable de recibir el agua a altas presiones. Dicho acople evita cualquier fuga de agua y queda instalado en el sistema tal como se muestra en la figura 54.



Figura 54: Acople de ingreso de agua

Fuente: Elaboración propia

Finalmente se instala el sistema eléctrico y electrónico del sistema, el cual se aprecia ya implementado en la siguiente figura 55.

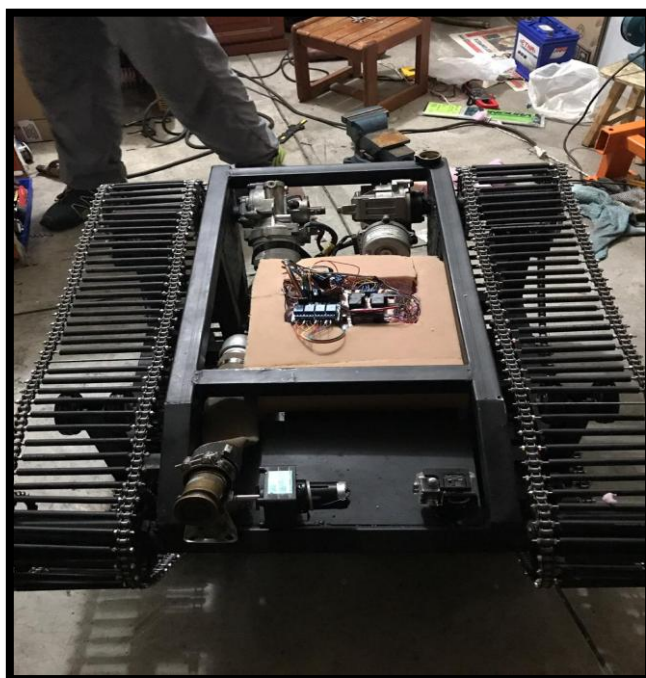


Figura 55: Instalación de sistema electrónico/eléctrico y aislamiento térmico

Fuente: Elaboración propia

## Instalación Eléctrica

Para la presente tesis, el sistema eléctrico consta de la batería y el sistema de alimentación. Es por lo mencionado anteriormente que este apartado es breve. En la figura 56 se observa la batería a ser utilizada, la cual proviene de un vehículo de construcción. A su lado, una batería de auto para comparación de tamaño.

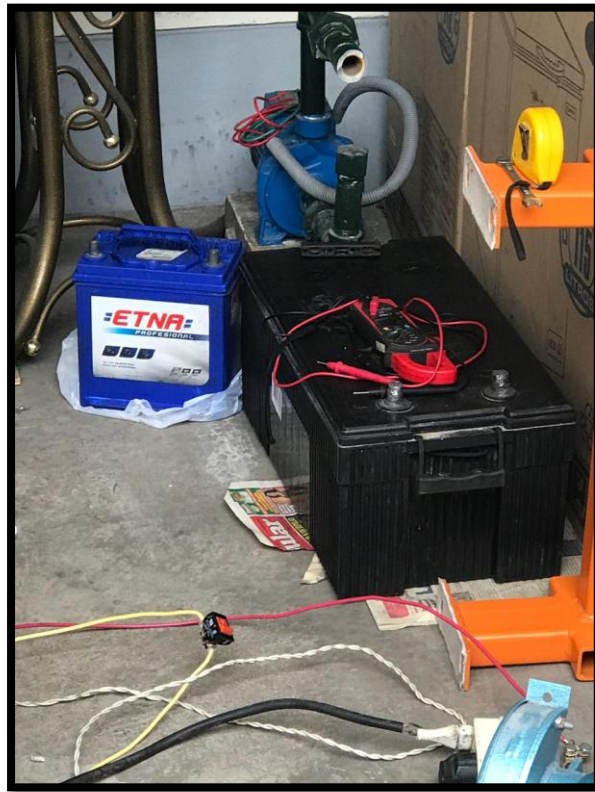


Figura 56: Batería de 12 V a utilizarse

Fuente: Elaboración propia

Se procede a colocar la batería en un espacio destinado para esta dentro del sistema. El peso de la batería será capaz de compensar el peso

generado por la presión del agua a su paso, estabilizando el sistema. En la figura 57 se observa la batería ya instalada.

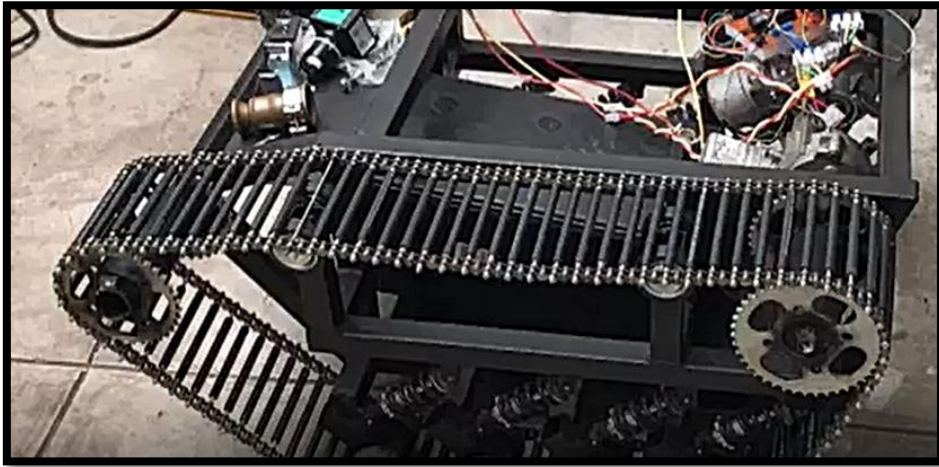


Figura 57: Batería instalada durante primera prueba del sistema de locomoción

Fuente: Elaboración propia

Finalizando con la etapa de alimentación eléctrica se tiene construye el circuito responsable de alimentar a los motores y conectarlos a la etapa de electrónica. En la figura 58 se observa el circuito mencionado.

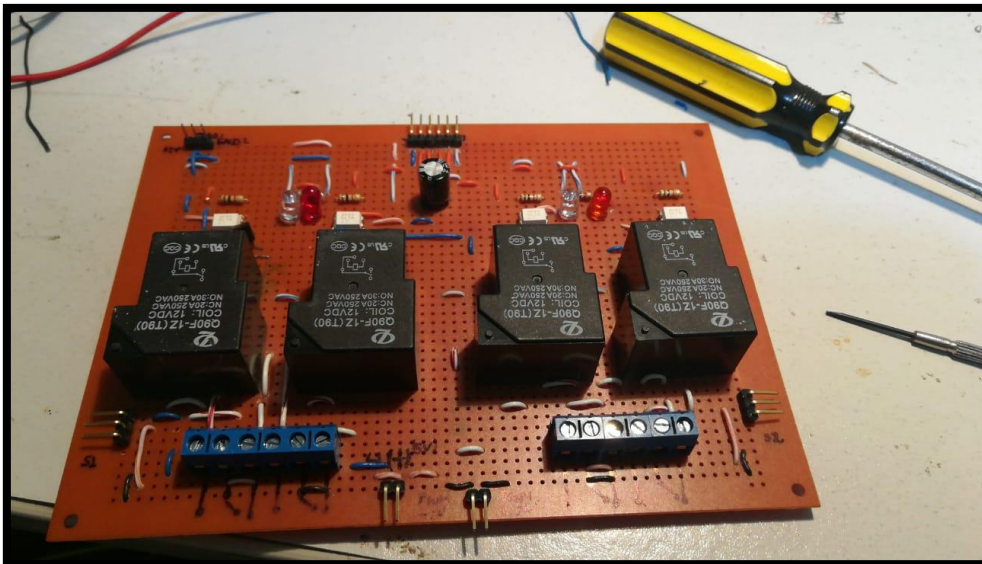


Figura 58: Circuito de fuerza e interconexión a etapa electrónica.

Fuente: Elaboración propia

## Instalación Electrónica

Se inicia con la instalación electrónica teniendo como base el circuito de interconexión mencionado anteriormente.

En la figura 59 se muestra con mayor detalle el circuito, visualizando su parte posterior, la cual muestra las conexiones realizadas.

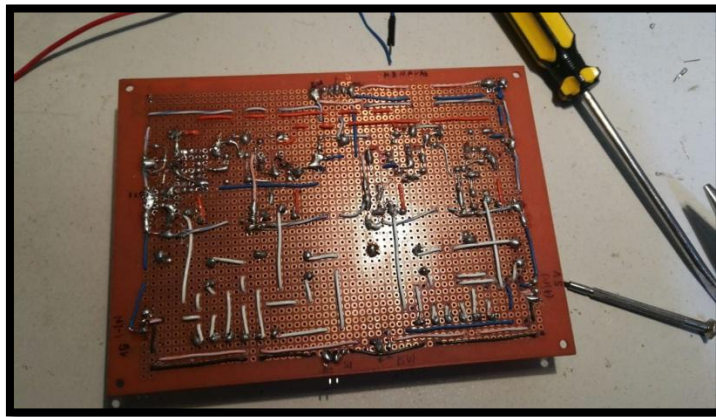


Figura 59: Conexiones de circuito de interconexión

Fuente: Elaboración propia

En base a lo presentado en el apartado de Diseño Electrónico se procede con la implementación del sistema electrónico, el cual consta de los drivers para los motores Brushless, la etapa de control mediante arduino, y finalmente el receptor de señal RF. En la figura 60 se muestra lo mencionado.



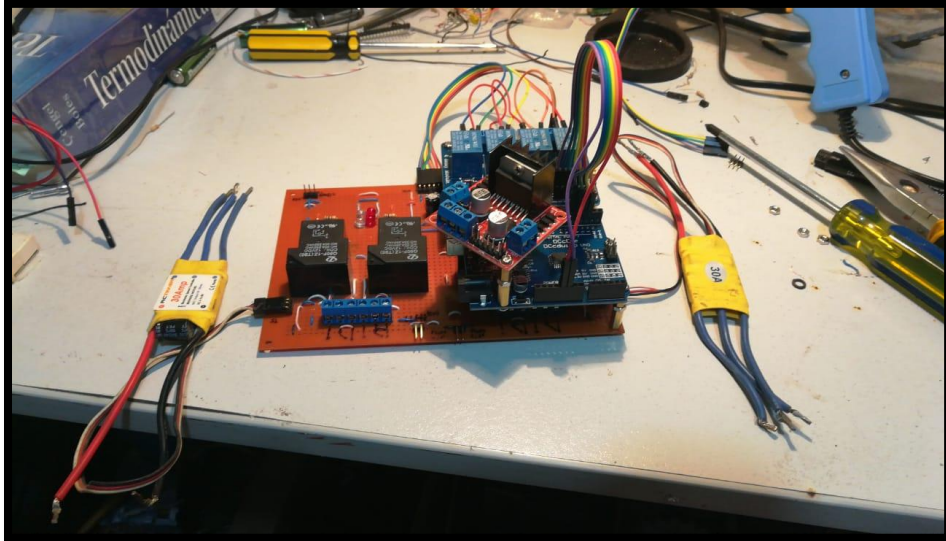


Figura 60: Sistema electrónico y eléctrico

Fuente: Elaboración propia

En la figura 61 se puede observar el control RF utilizado, el cual cuenta con un transmisor capaz de conectarse directamente al sistema electrónico antes mostrado.



Figura 61: Control RF de 9 canales

Fuente: Elaboración propia

Este control RF permite el control de motores del sistema de locomoción y también del motor paso a paso responsable de la dirección del flujo de agua.

A continuación, en la figura 62 se aprecia el controlador de los motores de fuerza, pues se trata de motores brushless de 12 V.



Figura 62: Controlador motor brushless

Fuente: Elaboración propia

Con lo presentado anteriormente, se da inicio a la instalación de la etapa electrónica / eléctrica dentro del robot tal como se muestra en la figura 63.

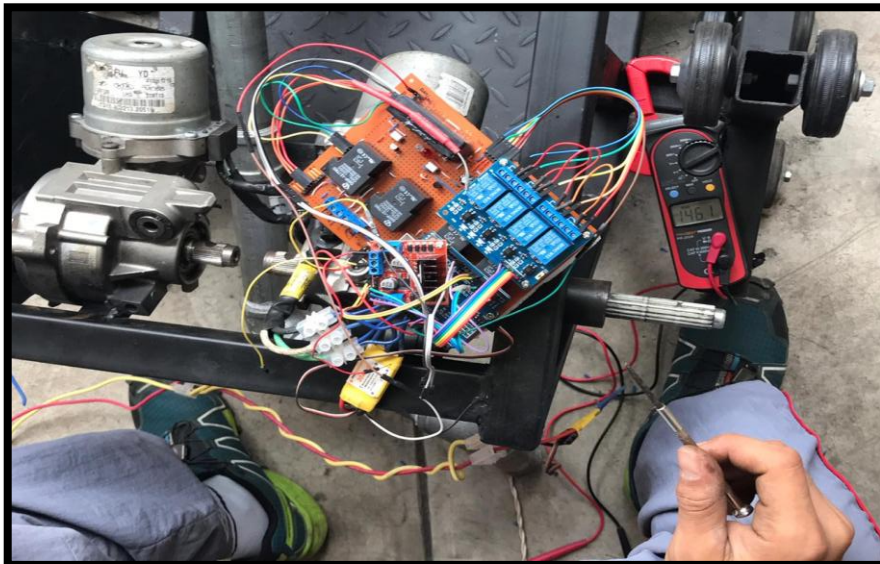


Figura 63: Instalación de etapa eléctrica/electrónica

Fuente: Elaboración propia

Finalmente, una vez culminada la integración de todas las etapas mencionadas anteriormente, se tiene un sistema capaz de cumplir los objetivos planteados.

En la figura 64 se observa el sistema concluido y operativo.



Figura 64: Sistema integrado y operativo

Fuente: Elaboración propia

## **CAPÍTULO IV: PRUEBAS Y RESULTADOS**

En el presente capítulo se abarcan las pruebas realizadas y a su vez los resultados obtenidos de las mismas.

### **4.1 Pruebas**

Para demostrar que el sistema diseñado es efectivo en el cumplimiento de los objetivos planteados, se procede a someter a dicho sistema a las pruebas descritas a continuación.

#### **Prueba 1**

Corresponde a la capacidad del sistema de soportar las condiciones de temperatura y humedad a las que será sometido durante la mitigación de fuego en caso de incendio en zonas residenciales. La prueba consiste en someter el sistema a condiciones que superan las de funcionamiento por un corto periodo de tiempo con la finalidad de observar sus efectos en dicho sistema.

Para esta prueba se procede a provocar fuego en el propio sistema y ver cómo reacciona.

Se considera satisfactorio si después de realizada la prueba el robot aún se encuentra operativo.

#### **Prueba 2**

Consiste en analizar la estabilidad del sistema y su capacidad de aguantar la presión del agua que será ejercida sobre él y a su vez el peso de los componentes. Esto se da gracias al arreglo de amortiguadores colocados a lo largo de la estructura y a la robustez de la misma.

Para la realización de esta prueba se requiere someter al sistema a la presión de operación y evaluar los efectos que esta tiene sobre él.

### **Prueba 3**

Consiste en evaluar la precisión que se logra alcanzar para expulsar agua durante mitigación de fuego en caso de incendio en zonas residenciales. Se evaluará la dirección del mismo y el funcionamiento del motor paso a paso.

Para dicha prueba, se simulará un incendio con un objeto en llamas y se procederá a mitigar el fuego utilizando el robot. Para una mejor evaluación, se utilizará un objetivo pequeño a una distancia considerable, con la finalidad de conocer realmente si es posible alcanzar la precisión deseada.

### **Prueba 4**

Consiste en evaluar la calidad de imagen de la cámara a ser utilizada por el sistema para facilitar la identificación de focos de temperatura. Se requiere que el usuario pueda distinguir sin dificultad los puntos de alta temperatura en la zona afectada, por lo que es necesario contar con un contraste elevado entre elementos observados por la cámara.

Para esta prueba se trabaja únicamente con la cámara y se realiza una filmación en tiempo real de una cocina, con las luces encendidas. Esto con la finalidad de que la cámara pueda capturar imágenes sin confundir la luz con focos de alta temperatura.

Se considera resultado satisfactorio si se es capaz de distinguir la llama de la cocina.

### **Prueba 5**

Consiste en enfrentar al sistema a los obstáculos que encontraría normalmente durante su funcionamiento como, por ejemplo, pequeñas

rocas o alguna berma. Esta prueba se realiza con la finalidad de probar si la fuerza de los motores es capaz de superar a la ejercida por el peso del sistema.

En esta prueba se coloca al robot frente a obstáculos, siendo uno de estos un pequeño muro.

Se considera un resultado satisfactorio si el obstáculo es superado sin causar efectos negativos en la infraestructura o conexiones del sistema.

### **Prueba 6**

Consiste en realizar una prueba del sistema de teleoperación del equipo. Dicho sistema recae principalmente en el mando RF detallado anteriormente y su receptor.

La prueba será el control básico de movimiento del sistema, siendo resultado satisfactorio un movimiento uniforme y sin desviaciones.

## **4.2 Resultados**

Se procedió con la evaluación de los resultados a las pruebas realizadas, demostrando así la viabilidad del proyecto o en su defecto, mejoras a implementar en un futuro.

### **Resultado de la prueba 1**

Para la realización de esta prueba se tuvo que realizar diversas pruebas de esfuerzo a los materiales que conforman el sistema.

Se provocó un incendio como se muestra en la figura 65 ubicándolo muy cerca al robot.

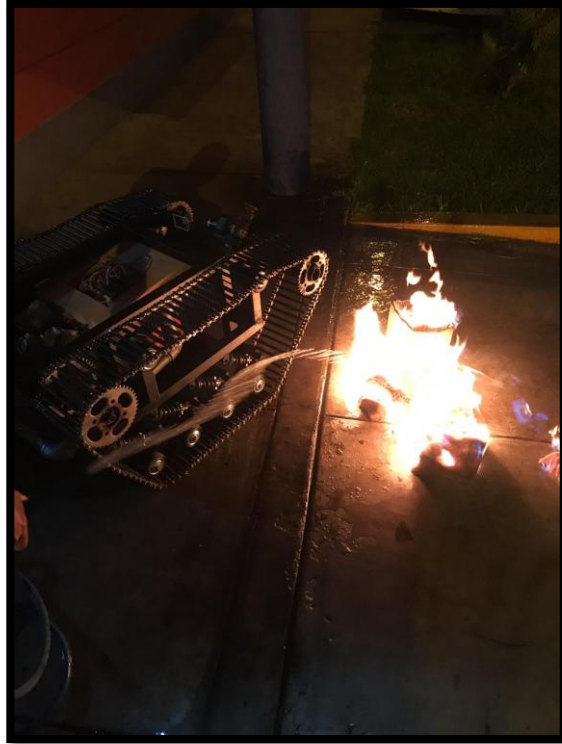


Figura 65: Incendio provocado 1

Fuente: Elaboración propia

Luego del primer incendio, el robot aún se encontraba operativo, por lo que se procedió con la segunda etapa y se provocó un segundo incendio tal como se muestra en la figura 66.



Figura 66: Incendio provocado 2

Fuente: Elaboración propia

Se concluye de lo experimentado que el sistema es capaz de soportar condiciones elevadas de temperatura gracias al aislamiento térmico en la etapa de elementos sensibles.

### **Resultado de la prueba 2**

En la prueba 2 se evaluó el movimiento del sistema sin presión de agua para poder medir su estabilidad y esfuerzo según la carga que soporta.



Durante la realización de la prueba se comprobó que el sistema de amortiguamiento se adaptaba a la distribución de cargas a lo largo de la estructura.

Durante esta prueba, el sistema redujo su velocidad de movimiento a un 50% debido al elevado peso total.

En la siguiente tabla 19 se muestra cómo se comporta el sistema ante diversas cargas.

<b>CARGA APLICADA</b>	<b>REDUCCIÓN DE VELOCIDAD</b>
20 Kg	0 %
40 Kg	10%
60 Kg	15%
80 Kg	40%
100 Kg	80%

Tabla 19: Reducción de velocidad vs Carga aplicada al sistema

Fuente: Elaboración propia

De la tabla 19 mostrada, se utiliza la información para la construcción de un gráfico en el que se puede apreciar más detalladamente la relación entre ambas variables. A continuación, se muestra el gráfico en la figura 67.

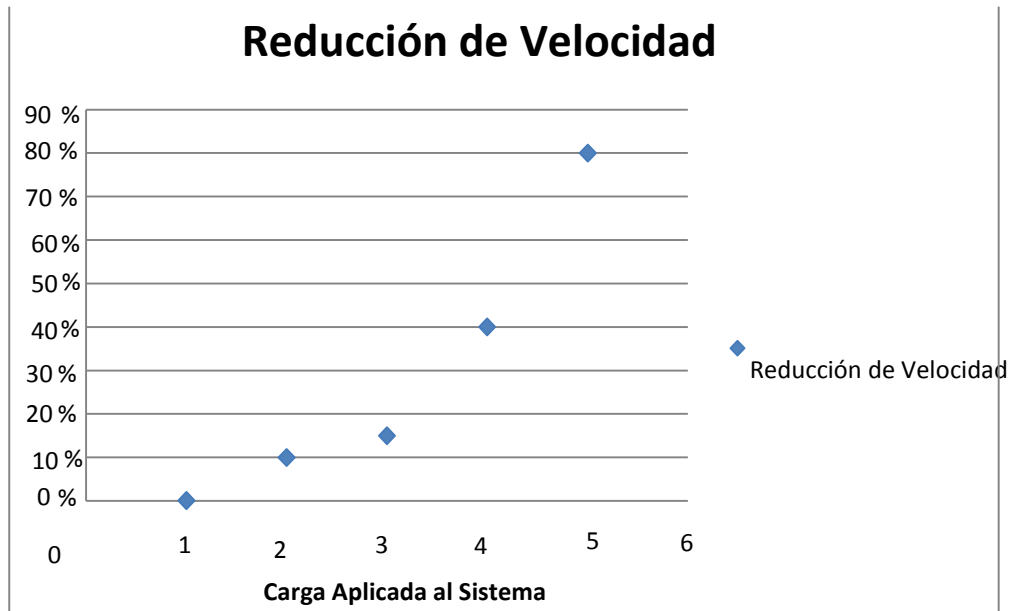


Figura 67 : Gráfico Carga aplicada vs Reducción de velocidad del sistema

Fuente: Elaboración propia

De la información presentada, vemos que el sistema es capaz de soportar sin sacrificar el cumplimiento de sus objetivos un 50% de su peso total.

De la figura 68 a continuación se puede observar una pequeña muestra del sistema cuando se encuentra sometida a presión de agua elevada.



Figura 68: Sistema sometido a presión de agua elevada

Fuente: Elaboración propia

Finalmente se concluye que el sistema es estable tanto durante su movimiento como durante su operación.

### Resultado de la prueba 3

Se realiza la prueba provocando un incendio a una distancia poco menor a un escenario real. Se procede a reducir el diámetro del chorro de agua para que sea posible evaluar la precisión del sistema.

Se realiza la prueba con el sistema utilizando una bomba conectada directamente al sistema para simular la presión en situaciones reales. Se comprueba que no existen fugas en el recorrido de la manguera y que el disparo de agua no genera vibraciones ni interferencias con algún otro componente del sistema.

Vale recalcar que el movimiento del acople es sobre un solo eje y el giro hacia los lados se da gracias al giro de los motores principales.

En la figura 69 se observa el escenario planteado.

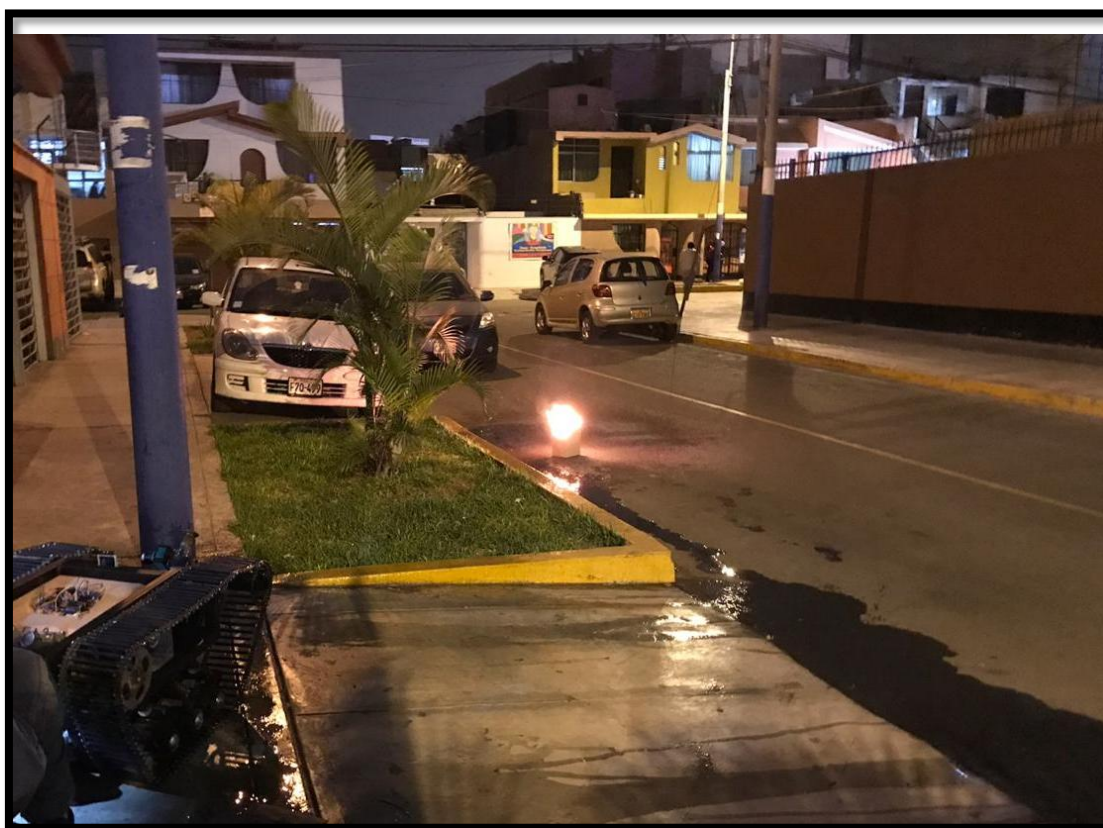


Figura 69: Escenario para prueba 3

Fuente: Elaboración propia

Una vez planteado el escenario se enciende la bomba de agua y se observa primero la figura 70.



Figura 70: Encendido de bomba y llenado de conductos

Fuente: Elaboración propia

Una vez se hayan cargado de agua los conductos del sistema y la presión se haya estabilizado, se procede a direccionar el flujo de agua de manera que sea posible apagar el fuego del incendio provocado tal como se muestra en la figura 71.



Figura 71: Incendio provocado es apagado

Fuente: Elaboración propia

Finalmente se concluye que el sistema cuenta con la precisión necesaria para mitigar el fuego eficientemente.

#### **Resultado de la prueba 4**

En la prueba número 4, se evalúa la calidad de imagen tomada por la cámara de manera que sea fácil distinguir los puntos de alta y baja temperatura.

A continuación, en la figura 72 se demuestra lo deseado.

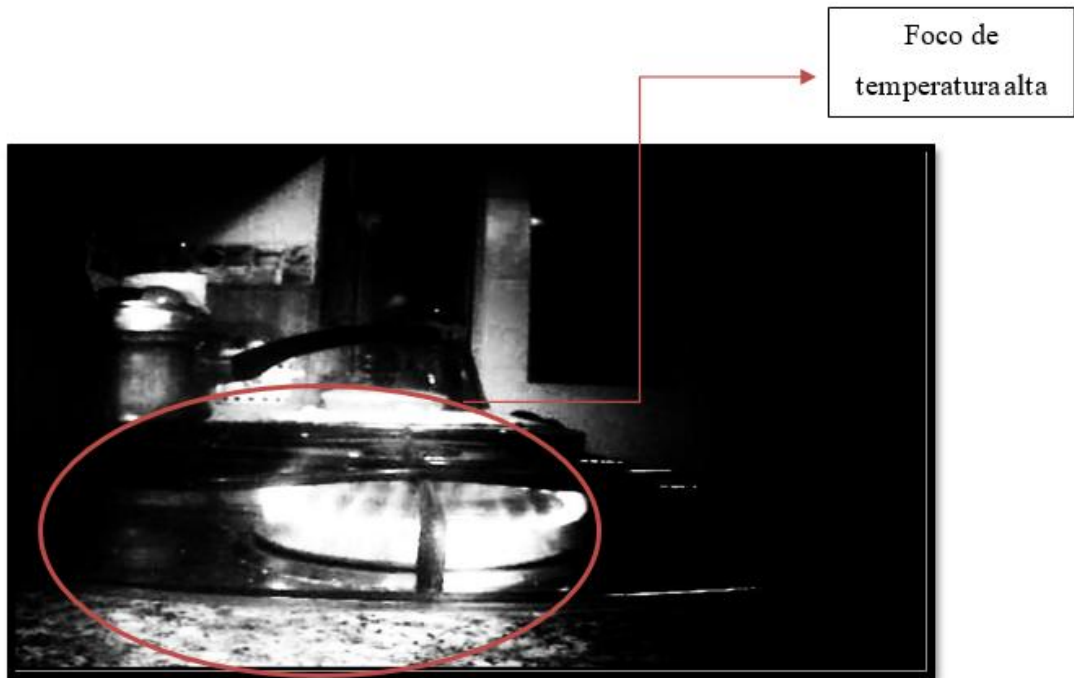


Figura 72: Captura de cámara térmica

Fuente: Elaboración propia

En la figura 71 se muestra como ejemplo la captura de imagen de térmica de una hornilla, de tal manera que permita diferenciar fácilmente los focos de temperatura, concluyéndose que el resultado fue satisfactorio.

### **Resultado de la prueba 5**

El sistema se comportó según lo esperado, utilizando la faja de oruga como elemento de enganche a dicha berma y ejerciendo la suficiente fuerza como para impulsarse por encima del obstáculo.

En la figura 73 se observa al sistema pasando por encima del obstáculo propuesto.



Figura 73: Robot pasando por obstáculo

Fuente: Elaboración propia

Finalmente se concluye que el sistema es capaz de sortear los posibles obstáculos sin dificultad, manteniendo la estabilidad ya antes evaluada.

### **Resultado de la prueba 6**

Se realiza la primera prueba de teleoperación del sistema. El robot es capaz de avanzar, retroceder y girar sobre su eje para ambos sentidos.

Se concluye que el resultado fue satisfactorio.

En la figura 74 se muestra la prueba de teleoperación del sistema por el Bombero Sub. Tnte. CBP. Alejandro Reynaga:





Figura 74: Prueba de teleoperación.

Fuente: Elaboración propia

En la figura 75 se muestra la etapa de mitigación de fuego por el Bombero Sub. Tnte. CBP. Alejandro Reynaga:



Figura 75: Mitigación de fuego.

Fuente: Elaboración propia

## CONCLUSIONES

De la presente investigación, podemos dar las siguientes conclusiones:

1. Fue posible realizar una selección de materiales adecuada en un sistema capaz de soportar las condiciones a la que será sometido durante la mitigación de fuego, para ello en la prueba uno se evidenció que el acero laminado al caliente y poliestireno extruido, fueron materiales correctos para el ambiente y función. Adicionalmente no existió deformaciones ni cambios de dichos componentes, manteniendo la operatividad del sistema.
2. Fue posible diseñar e implementar al robot terrestre teleoperado de manera que sea estable ante el paso de agua a altas presiones, para ello en las pruebas dos, tres y cinco se evidenció que el sistema de amortiguamiento se adapta a la distribución de cargas, demostró que no existen fugas en el recorrido de la manguera, tampoco genera vibraciones ni interferencias. Asimismo, se revela la fuerza de motor paso a paso, ejerciendo el enganche de la faja de oruga para impulsarse encima del obstáculo. Dicho todo esto se concluye que es un sistema estable en su totalidad.
3. Fue posible determinar las condiciones necesarias que permitan al robot terrestre teleoperado, expulsar el agua con precisión, la cual fue demostrada en la prueba tres. Gracias a la ayuda de la calidad de imagen térmica obtenida, fue posible distinguir focos de alta temperatura, direccionando en tiempo real el flujo de agua para una mitigación de fuego eficiente.

## OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES

1. La dirección del chorro de agua fue precisa, sin embargo, debido al peso agregado del acople y el agua circulante, fue más lento de lo esperado.
2. La estructura fue lo suficientemente estable, sin embargo, durante el sorteo de obstáculos los movimientos fueron muy bruscos, generando vibraciones. Se recomienda utilizar suspensiones de menor resistencia.
3. La batería utilizada es capaz de proporcionar la energía requerida, sin embargo, esta puede resultar difícil de recargar a 100% debido a que se trata de una batería de automóvil. Se recomienda utilizar arreglos de baterías con la finalidad de alcanzar los niveles de energía deseados, pero sin complicar la recarga de los mismos.
4. Es posible mejorar el diseño de la distribución eléctrica del sistema. Realizar un mejor diseño de rutas y aislantes para los cables.
5. Se recomienda la instalación de un sistema de ventilación dentro de la estructura para cuando se requiera un trabajo continuo y prolongado.
6. Se recomienda respetar los parámetros característicos de diseño del robot ya que, a pesar de ser un sistema totalmente robusto, no puede exponerse a temperaturas mayores de 130 °C, presiones de ingreso de agua no mayores de 150 PSI y relevar las baterías cada 4 Horas.
7. Se recomienda seguir los puntos explicados anteriormente si es que se desea tomar la presente tesis como referencia a futuras investigaciones.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. Argudo, S. y Arpi, A. (2012). Diseño y Construcción de un Robot Móvil Teleoperado para Asistencia en Operaciones de Alto Riesgo del Cuerpo De Bomberos. (Tesis Pregrado). Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca-Ecuador.
2. Aznarán, I. y Reyes, G. (2016). Aplicación de la Termografía Infrarroja en Tableros Eléctricos de Distribución para Mejorar la Seguridad y la Calidad de la Energía Eléctrica. (Tesis Pregrado). Universidad Nacional del Santa, Chimbote-Perú.
3. Barrientos, A.; Peñin, L.; Balaguer, C. y Araceli, R. (2007). Fundamentos de Robótica. (2ª ed.). España, Madrid: McGRAW-HILL Interamericana de España, S.A.U.
4. Borja, R. y Bravo, H. (2016). Diseño e Implementación de un Robot Móvil Tipo Oruga para Exploración en Terrenos Irregulares. (Tesis Pregrado). Control y Redes Industriales en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba-Ecuador.
5. Briceño, C. (2016). Diagnóstico Estructural y Análisis Sísmico de la Iglesia San Pedro Apóstol de Andahuaylillas, (Tesis Postgrado). Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima-Perú.
6. Cañada, M. (2016). Termografía Infrarroja Nivel II. España, Madrid: Fundación Confemetal.
7. Casal, J.; Montiel, H.; Planas, E. y Vílchez, J. (1999). Análisis del riesgo en instalaciones industriales. España, Barcelona: Ediciones UPC.
8. Chacón, M.; Sandoval, R. y Vega, J. (2015). Percepción Visual Aplicada a la Robótica. México D.F.: Alfaomega Grupo Editor, S.A. de C.V.
9. Drysdale, D. (2011). An Introduction to Fire Dynamics (3º ed.). U.K., Escocia: John Wiley & Sons, Ltd.
10. Gómez, E.; Salazar, E.; Domínguez E.; Iborra, O.; de la Fuente, J. y de Córdova, M. (2015). Neuro-Termografía y Termografía Psicosomática. España, Granada: Fundación Internacional Artecitta.

11. Lancho, E. (2008). Mantenimiento Predictivo de Equipos e Instalaciones Eléctricas Mediante Termografía. (Tesis Pregrado). Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo-Perú.
12. Millerson, G. (2006). Video Camera Techniques (2° ed.). Great Britain: Lightning Source UK Ltd.
13. Ollero, A. (2001). Robótica: Manipuladores y robots móviles. España, Barcelona: MARCOMBO, S.A.
14. Pérez, S. (2015). Prototipo de Robot Bombero Controlado a Distancia Mediante Dispositivo Móvil. (Tesis Pregrado). Universidad de San Buenaventura Seccional Medellín, Medellín-Colombia.
15. Williams, T. (2009). Thermal Imaging Cameras: Characteristics and Performance. Estados Unidos, Florida: Taylor & Francis Group, LLC.

# ANEXOS

## Anexo 1: Matriz de Consistencia

“Diseño e implementación de robot terrestre teleoperado aplicando Imágenes térmicas para mitigar incendios en residenciales operado por bomberos Victoria N°08”

<b>PROBLEMA GENERAL</b>	<b>OBJETIVO GENERAL</b>	<b>VARIABLES</b>	<b>INDICADORES</b>
¿Cómo se aplicará el uso de imágenes térmicas para el diseño e implementación de un robot terrestre teleoperado para la mitigar el fuego en caso de incendio en zonas residenciales para ser utilizado por el cuerpo de bomberos La Victoria N°8?	Determinar la aplicación de imágenes térmicas para el diseño e implementación de un robot terrestre teleoperado para mitigar el fuego en caso de incendio en zonas residenciales para ser utilizado por el cuerpo de bomberos La Victoria N°8	<b>VARIABLE INDEPENDIENTE</b> Imágenes Térmicas	- Temperatura - Contraste
<b>PROBLEMAS ESPECÍFICOS</b>	<b>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b>		
a) ¿Cómo realizar la selección de materiales que deberán utilizarse en el diseño del robot terrestre teleoperado para soportar las condiciones a las que será sometido durante la mitigación de fuego en caso de incendio en zonas residenciales?	a) Realizar una selección adecuada de los materiales a utilizar en el diseño del robot terrestre teleoperado para soportar las condiciones a las que será sometido durante la mitigación de fuego en caso de incendio en zonas residenciales.	<b>VARIABLE DEPENDIENTE</b> Diseño de Robot Terrestre Teleoperado	- Materiales - Estabilidad - Precisión

<p>b) ¿Cómo diseñar e implementar al robot terrestre teleoperado de manera que este sea estable ante el paso del agua a altas presiones durante la mitigación de fuego en caso de incendio en zonas residenciales?</p> <p>c) ¿Cómo determinar las condiciones necesarias que permitan al robot terrestre teleoperado para expulsar el agua con precisión durante la mitigación de fuego en caso de incendio en zonas residenciales?</p>	<p>b) Diseñar e implementar al robot terrestre teleoperado de manera que este sea estable ante el paso del agua a altas presiones durante la mitigación de fuego en caso de incendio en zonas residenciales.</p> <p>c) Determinar las condiciones necesarias que permitan al robot terrestre teleoperado expulsar el agua con precisión durante la mitigación de fuego en caso de incendio en zonas residenciales.</p>		
---	--	--	--

## Anexo 2: Dimensiones y pesos nominales de tubos de acero

**DIMENSIONES Y PESOS NOMINALES en Kg/m:**

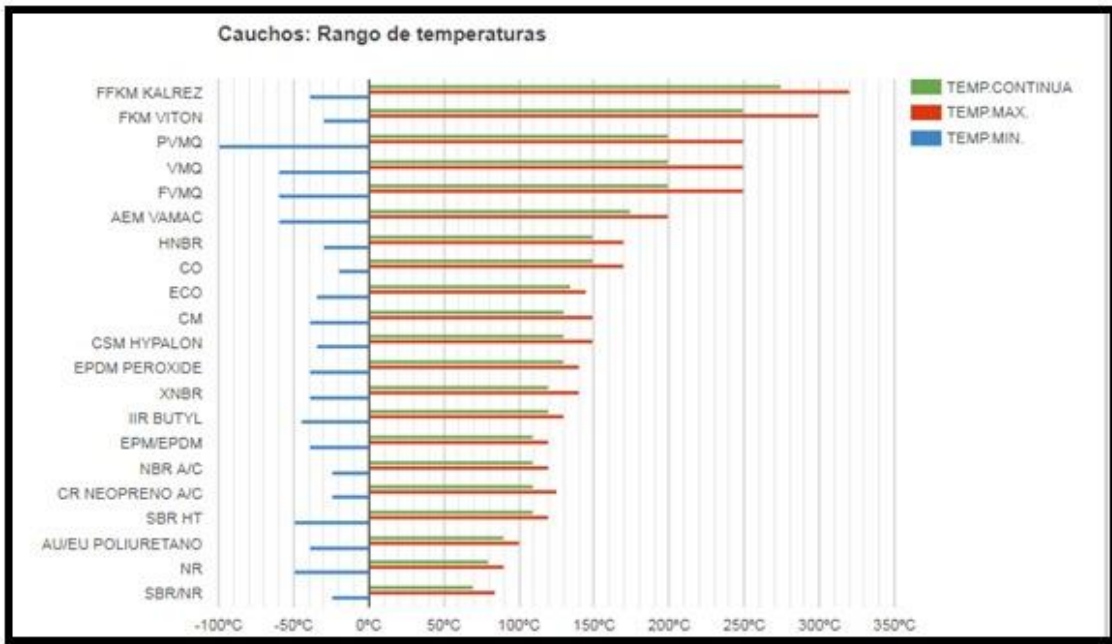
DESIGNACIÓN NOMINAL		DIMENSIÓN EXTERIOR (mm)	ESPEORES (mm)								
			1.5	1.8	2	2.5	3	4	4.5	6	
REDONDO	NOMINAL	1/2"	21,3		0,866	0,952	1,159				
		3/4"	26,7		1,105	1,218	1,492				
		1"	33,4		1,403	1,549	1,905	2,249			
		1 1/4"	42,2		1,793	1,983	2,448	2,900			
		1 1/2"	48,3		2,064	2,284	2,824	3,351			
		2"	60,3		2,597	2,876	3,564	4,239			
		2 1/2"	73,0			3,502	4,347	5,179			
		3"	88,9			4,285	5,327	6,355			
		4"	114,3			5,539	6,892	8,234			
CUAD	L.E.	-	25x25	1,061	1,460						
		-	30x30	1,300	1,700						
		-	40x40	1,770	2,244		3,320				
		-	50x50	2,250	3,122	3,872	4,316				
		2"	50,8		3,122	3,872	4,316				
		-	75x75		4,500	5,560	6,810				
		-	100x100		6,165	7,675	9,174	12,133	13,594	16,980	

■ Negro y Galvanizado

Fuente: [www.acerosarequipa.com](http://www.acerosarequipa.com)



### Anexo 3: Tipos de cauchos sintéticos



Fuente: <http://www.eric.es/web/caucho-sintetico/>

## Anexo 4: Programación del controlador del sistema

```
int esc1 = 9;

int esc2 = 10;

const int m10 = 2; // Declaro pin2 para control motor1 a la derecha.

const int m01 = 3; // Declaro pin3 para control motor1 a la izquierda.

const int m20 = 4; // Declaro pin4 para control motor2 a la derecha.

const int m02 = 5; // Declaro pin5 para control motor2 a la izquierda.

const int Arriba = 6; // Declaro para subir la manguera.

const int Abajo = 7; // Declaro para bajar la manguera.

const int Control = 11; // Desactiva o Activa el motor.

const int ON = 12; // Desactiva o Activa el motor.

//-----Comunicacion-de-Datos-----//

const int chA=A0; // Constantes donde se recibira la señal para la Manguera

const int chB=A1; // Constantes donde se recibira la señal para el Motor 1

const int chC=A2; // Constantes donde se recibira la señal para el Motor 2

const int Pot=A3; // Señal de l potenciómetro

const int chD=A4; // Control de Manguera

const int chE=A5; // Verificacion de datos

int ch1;

int ch2;

int ch3;

int ch4; // Control de Manguera

int ch5; // Verificacion de datos

//-----//

void setup(){

Serial.begin(9600);

pinMode(m10, OUTPUT); //Declaro m10 como salida
```

```

pinMode(m01, OUTPUT); //Declaro m01 como salida
pinMode(m20, OUTPUT); //Declaro m20 como salida
pinMode(m02, OUTPUT); //Declaro m02 como salida
pinMode(Arriba, OUTPUT); //Declaro Arriba como salida
pinMode(Abajo, OUTPUT); //Declaro Abajo como salida
pinMode(Control, OUTPUT); //Declaro Parar como salida
pinMode(ON, OUTPUT); //Declaro Parar como salida
//-----Comunicacion-de-Datos-----//
// Modificacion de Pines como entradas//
pinMode(chA,INPUT);
pinMode(chB,INPUT);
pinMode(chC,INPUT);
pinMode(chD,INPUT);
pinMode(chE,INPUT);
}
//-----//
void loop(){
float val1; // Creamos variable Val1 para avanzar y retroceder al robot
float val2; // Creamos variable Val2 para rotar sobre su eje hacia la derecha e izquierda
float val3; // Creamos variable Val3 para controlar la aceleracion del robot
float val4; // Creamos variable Val4 para controlar la manguera en un rango de 50 grados
float P; // Creamos variable Val3 para controlar la manguera en un rango de 50 grados
ch1 = pulseIn (chA,HIGH); // Lee y almacena en el Canal 1
    ch2 = pulseIn (chB,HIGH); // Lee y almacena en el Canal 2
        ch3 = pulseIn (chC,HIGH); // Lee y almacena en el Canal 3
            ch4 = pulseIn (chD,HIGH); // Lee y almacena en el Canal 4
//-----Actualizacion-de-Datos-y-Tabla-de-Rangos-----//
val1= (ch3-1028)*0.12224938875305623471882640586797 ;// Rango de lectura [0-100] ; Mitad
[48.8-49.6] || Rango de lectura [0-818] ; Mitad [398-405] "Avanza - Retrocede" A2

```

```

val2= (ch2-1026)*0.12391573729863692688971499380421 ;// Rango de lectura [0-100] ; Mitad
[50.4-51.5] || Rango de lectura [0-807] ; Mitad [407-416] "Derecha - Izquierda" A1

val3= (ch1-1045)*0.31481481481481481481481481481481 ;// Rango de lectura [0-100] ; Mitad
[48.8-50.0] || Rango de lectura [0-810] ; Mitad [395-405] "Aceleracion" A0

//*****Manguera*****//

val4= ((ch4-1028)*0.03950617283950617283950617283951)+280;// Rango de lectura [0-100] ;
Mitad [48.8-50.0] || Rango de lectura [0-810] ; Mitad [395-405] "Manguera" A4

P= analogRead(Pot)*0.375; // Lectura [0-300]

//-----Comunicacion-de-Datos-----//

/*

Serial.print ("Ch1:"); // Se muestra en la pantalla los valores del Canal 1

Serial.println (val3);

Serial.print ("|");

Serial.print ("Ch2:");

Serial.println (val2);

Serial.print ("|");

Serial.print ("Ch3:");

Serial.println (val4);

Serial.print ("|");

Serial.println ("-----x-----");

Serial.print ("|");// */

//-----Tabla-de-Rangos-----//

//val1=[40-60] en espera

//va11<40 retrocede

//val1>60 avanza

//-----Configuración avance y retroceso del Robot-----//

if ((val1 >= 40) && (val1 <= 60) && (val2 >= 40) && (val2 <= 60)) {

analogWrite(esc1,0);

analogWrite(esc2,0);

```

```

digitalWrite(m10, LOW); // m10 Modo espera
digitalWrite(m01, LOW); // m10 Modo espera
digitalWrite(m20, LOW); // m20 Modo espera
digitalWrite(m02, LOW); // m20 Modo espera
}

if ((val1 < 40) && (val2 >= 40) && (val2 <= 60)) {
digitalWrite(m10, HIGH); // m10 Retrocede
digitalWrite(m01, HIGH); // m01 Retrocede
digitalWrite(m20, HIGH); // m20 Retrocede
digitalWrite(m02, HIGH); // m02 Retrocede
delay(200);
analogWrite(esc1,val3); //(40-val1)*6.25
analogWrite(esc2,val3); //(40-val1)*6.25
}

if ((val1 > 60) && (val2 >= 40) && (val2 <= 60)) {
digitalWrite(m10, LOW); // m10 Modo espera
digitalWrite(m01, LOW); // m10 Modo espera
digitalWrite(m20, LOW); // m20 Modo espera
digitalWrite(m02, LOW); // m20 Modo espera
delay(200);
analogWrite(esc1,val3); //(val1-60)*6.25
analogWrite(esc2,val3); //(val1-60)*6.25
}

//-----//
//-----Configuración de Rotacion del Robot-----//
if ((val2 < 40) && (val1 >= 40) && (val1 <= 60)) {
digitalWrite(m10, LOW); // m10 Retrocede
digitalWrite(m01, LOW); // m01 Retrocede
digitalWrite(m20, HIGH); // m20 Retrocede

```

```

digitalWrite(m02, HIGH); // m02 Retrocede
delay(200);
analogWrite(esc1, val3); //(40-val2)*5.9
analogWrite(esc2, val3); //(40-val2)*5.9
}
if ((val2 > 60) && (val1 >= 40) && (val1 <= 60)){
digitalWrite(m10, HIGH); // m10 Retrocede
digitalWrite(m01, HIGH); // m01 Retrocede
digitalWrite(m20, LOW); // m20 Retrocede
digitalWrite(m02, LOW); // m02 Retrocede
delay(200);
analogWrite(esc1, val3); //(val2-60)*5.9
analogWrite(esc2, val3); //(val2-60)*5.9
}
//-----//
//-----Configuración-de-Direcciones-del-Robot-----//
if ((val2 < 40) && (val1 > 60)) {
digitalWrite(m10, LOW); //
digitalWrite(m01, LOW); //
digitalWrite(m20, LOW); //
digitalWrite(m02, LOW); //
delay(200);
analogWrite(esc1, val3); // ((val2-40)*6.3)-255
analogWrite(esc2, val3); // ((val1-60)*6.25)
}
if ((val2 > 60) && (val1 > 60)) {
digitalWrite(m10, LOW); // m10 Retrocede
digitalWrite(m01, LOW); // m01 Retrocede
digitalWrite(m20, LOW); // m20 Retrocede

```

```

digitalWrite(m02, LOW); // m02 Retrocede
delay(200);
analogWrite(esc1, val3); // ((val1-60)*6.25)
analogWrite(esc2, val3); // (255-(val2-60)*5.9)
}
if ((val2 < 40) && (val1 < 40)) {
digitalWrite(m10, HIGH); //
digitalWrite(m01, HIGH); //
digitalWrite(m20, HIGH); //
digitalWrite(m02, HIGH); //
delay(200);
analogWrite(esc1, val3); // (255-(40-val2)*6.3)
analogWrite(esc2, val3); // ((40-val1)*6.25)
}
if ((val2 > 60) && (val1 < 40)) {
digitalWrite(m10, HIGH); //
digitalWrite(m01, HIGH); //
digitalWrite(m20, HIGH); //
digitalWrite(m02, HIGH); //
delay(200);
analogWrite(esc1, val3); // ((40-val1)*6.25)
analogWrite(esc2, val3); } // (255-(val2-60)*5.9)
//-----Control-de-la-manguera-----//
digitalWrite(ON, HIGH);
if ((val4 == P)){ //|((val4 = 280)&&(P = 280))|((val4 = 315)&&(P = 315))
digitalWrite(Arriba, LOW);
digitalWrite(Abajo, LOW);
digitalWrite(Control, LOW);}
if (P < val4){

```

```

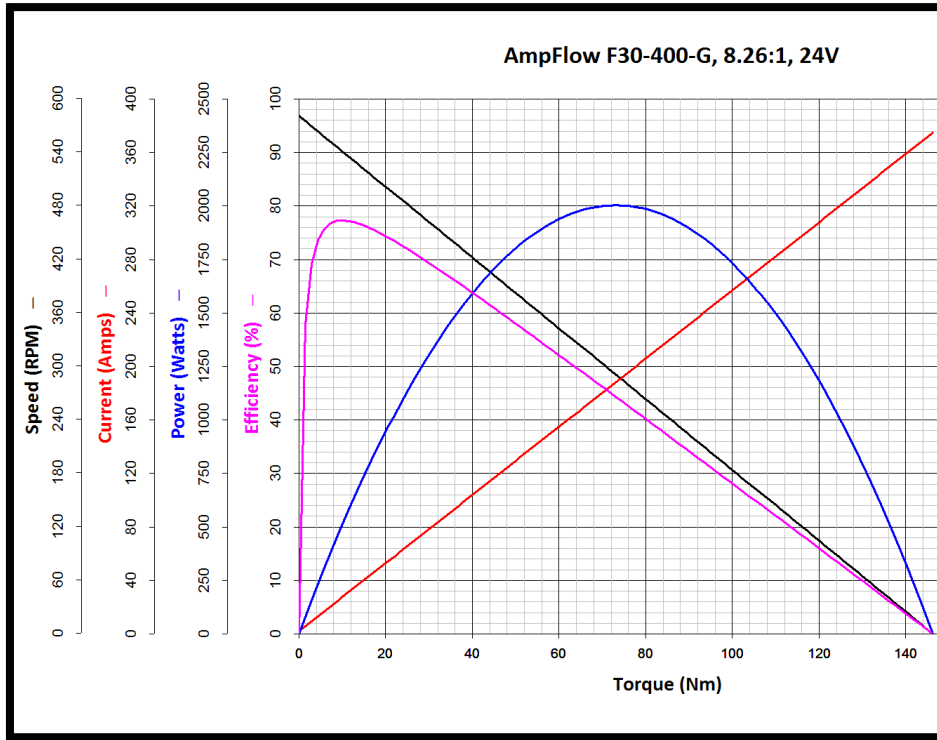
digitalWrite(Arriba, LOW);
digitalWrite(Abajo, HIGH);
digitalWrite(Control, HIGH); }
if (P > val4){
digitalWrite(Arriba,HIGH);
digitalWrite(Abajo, LOW);
digitalWrite(Control, HIGH); }
//-----//
//-----Retorno-de-Datos-PWM-----//
ch4 = pulseIn (chD,HIGH);
Serial.print ("d9 PWM %:");
Serial.println (P);
Serial.print ("|");
ch5 = pulseIn (chE,HIGH);
Serial.print ("d10 PWM %:");
Serial.println (val4);
Serial.print ("|");
Serial.println ("-----x-----");
Serial.print ("|");
delay (3000);
}

```



## Anexo 5: Ficha técnica de los motores ampflow.

Performance del motor F30-400-G:



Fuente: [http://www.ampflow.com/F30-400-G\\_Chart.png](http://www.ampflow.com/F30-400-G_Chart.png)


Descripción de los motores Ampflow:

Type	High-Performance		Mid-Range		Economy	
Model	A28-400-G	A28-150-G	F30-400-G	F30-150-G	E30-400-G	E30-150-G
Peak Horsepower	4.3	3.0	2.5	2.3	2.1	1.0
Motor Diameter (inches)	3.0	3.0	3.1	3.1	3.1	3.1
Reduction Ratio	8.3:1	8.3:1	8.3:1	8.3:1	8.3:1	8.3:1
Stall Torque (in-lbs)	1930	1020	1160	710	770	360
Nominal Voltage	24*	24*	24*	24*	24*	24*
No-Load RPM	580	720	540	830	680	670
Pounds	10.4	7.3	11.8	8.2	9.4	7.1
Price	\$589	\$489	\$449	\$419	\$289	\$259
Pictures	<a href="#">A28-400-G</a>	<a href="#">A28-150-G</a>	<a href="#">F30-400-G</a>	<a href="#">F30-150-G</a>	<a href="#">E30-400-G</a>	<a href="#">E30-150-G</a>
Drawings	<a href="#">A28-400-G</a>	<a href="#">A28-150-G</a>	<a href="#">F30-400-G</a>	<a href="#">F30-150-G</a>	<a href="#">E30-400-G</a>	<a href="#">E30-150-G</a>
Performance Charts	<a href="#">A28-400-G</a>	<a href="#">A28-150-G</a>	<a href="#">F30-400-G</a>	<a href="#">F30-150-G</a>	<a href="#">E30-400-G</a>	<a href="#">E30-150-G</a>
Order	<input type="button" value="Add to Cart"/>	<input type="button" value="Add to Cart"/>	<input type="button" value="Add to Cart"/>	<input type="button" value="Add to Cart"/>	<input type="button" value="Add to Cart"/>	<input type="button" value="Add to Cart"/>

\* The above specifications are for 24V. The motors can also be used at 12V or 18V. The RPM is proportional to the voltage so running at 12V will result in half the no-load RPM that is shown above for 24V. The lower voltage also reduces the maximum achievable torque by 50%. The motors have also been tested and used at higher voltages resulting in higher RPM, torque, and power. Shorter duty-cycles are recommended for higher voltages to allow the motors time to cool.

Fuente: [http://www.ampflow.com/ampflow\\_gearmotors.htm](http://www.ampflow.com/ampflow_gearmotors.htm)

## Anexo 6: Ficha técnica del controlador vex-pro



**Basic Design**

- Up to 12C (50v) battery input
- 300A continuous
- Forward and reverse control
- Fan-less
- Size is 3" x 3" x 1.5"
- Weight: 1.2 pounds
- The entire outside of the product is an aluminum heat sink.
- Fully sealed
- 8 AWG highly flexible wires for power and motor

**Features**

- PWM input. No signal booster needed.
- 5v Battery Eliminator Circuit.
- Calibrate button
- Brake On/Off button

**Advanced Features**

- Connect to a PC using USB to serial cable for advanced features including:
- Current limiting On/Off
- Set maximum current output with PID current limiting
- Set minimum throttle % to start
- Battery Eliminator On/Off

Fuente: [http://www.ampflow.com/vex\\_motor\\_speed\\_controller.htm](http://www.ampflow.com/vex_motor_speed_controller.htm)

## Anexo 7: Ficha técnica del motor nema 24 - OMHT24-108

Datos del motor NEMA 24- OMHT24-108:

RECOMMENDED MOTORS											
MODEL NO.	MOTOR CONNECTION 1 = SERIES 2 = PARALLEL 3 = UNIPOLAR	MOTOR LENGTH mm (inch)	MAXIMUM HOLDING TORQUE (oz-inch)	LEADS	STEP ANGLE (DEG)	VOLTS	AMPS	OHMS	MH	ROTOR INERTIA (oz-inch/ g-cm <sup>2</sup> )	MOTOR WEIGHT g (lb)
OMHT11-013	2	48 (1.87)	15	4	1.8	2.0	1.0	2.0	2.6	0.098/18	177 (0.39)
OMS014-842	2	40 (1.57)	26.0	4	1.8	4.8	1.0	4.3	5.5	0.109/20	213 (0.47)
OMHT17-075	1	47 (1.85)	62.8	8	1.8	5.7	0.85	6.6	12.0	0.37/88	331 (0.73)
	2		2.8			1.70	1.7	3.0			
	3		4.0			1.20	3.3	3.0			
OMHT17-275	1	48 (1.90)	62.3	8	1.8	5.7	0.85	6.6	10.0	0.44/82	357 (0.79)
	2		2.8			1.70	1.7	2.5			
	3		4.0			1.20	3.3	2.5			
OMHT17-278	1	63 (2.47)	113.0	8	1.8	6.4	1.0	6.4	12.0	0.66/121	357 (1.32)
	2		3.2			2.0	1.6	3.0			
	3		4.5			1.4	3.2	3.0			
OMHT23-393	1	39 (1.54)	76.6	8	1.8	7.4	0.71	1.7	21.6	0.66/120	454 (1.00)
	2		3.7			1.41	2.6	5.4			
	3		5.2			1.00	5.2	5.4			
OMHT23-593	1	41 (1.61)	79.3	8	1.8	7.4	0.71	10.4	26.1	0.73/135	417 (0.92)
	2		3.7			1.41	2.6	6.6			
	3		5.2			1.00	5.2	6.6			
OMHT23-397	1	54 (2.13)	177.0	8	1.8	5.1	1.41	3.6	10.0	1.64/300	699 (1.54)
	2		2.5			2.83	0.9	2.5			
	3		3.6			2.00	1.8	2.5			
OMHT23-597	1	54 (2.13)	177.0	8	1.8	5.1	1.41	3.6	10.8	1.42/260	599 (1.32)
	2		2.5			2.83	0.9	2.7			
	3		3.6			2.00	1.8	2.7			
OMHT23-400	1	76 (2.99)	264.0	8	1.8	6.4	1.41	4.5	14.4	2.62/480	998 (2.20)
	2		3.2			2.83	1.1	3.6			
	3		4.5			2.00	2.3	3.6			
OMHT23-600	1	76 (2.99)	264.8	8	1.8	6.4	1.41	4.5	15.6	2.51/460	998 (2.20)
	2		3.2			2.83	1.1	3.9			
	3		4.5			2.00	2.3	3.9			
OMHT23-603	1	111 (4.37)	354	8	1.8	5.0	2.5	2.0	8.8	4.02/735	1497 (3.30)
	2		2.5			5.0	0.5	2.2			
	3		4.5			2.00	2.25	3.8			
OMHT23-550 <sup>1</sup>	1	78 (3.05)	255.0	8	1.8	6.3	1.41	4.5	15.2	7.8/1400	998 (2.20)
	2		3.2			2.83	1.13	3.8			
	3		4.5			2.00	2.25	3.8			
OMHT24-100	2	44 (1.73)	123	4	1.8	2.0	2.8	0.73	1.6	1.42/260	599 (1.32)
OMHT24-105	2	54 (2.13)	177	4	1.8	1.7	4.0	0.43	1.1	2.46/450	830 (1.83)
OMHT24-108	2	85 (3.35)	354	4	1.8	2.6	4.0	0.65	2.4	4.91/900	1402 (3.09)
OMHT34-504	1	66 (2.62)	396	8	1.8	3.05	3.18	0.96	6.8	6.0/1100	1588 (3.5)
	2		1.51			6.3	0.24	1.7			
	3		2.16			4.5	0.48	1.7			
OMHT34-485	1	79 (3.11)	650	8	1.8	3.2	4.3	0.76	5.2	7.8/1400	2803 (6.18)
	2		1.6			8.6	0.19	1.3			
	3		2.26			6.0	0.38	1.3			
OMHT34-505	1	96 (3.78)	849	8	1.8	4.20	3.18	1.32	10.8	10.1/1850	2676 (5.9)
	2		2.08			6.3	0.33	2.7			
	3		2.97			4.5	0.66	2.7			

Fuente: [https://www.omega.com/auto/pdf/omht\\_series.pdf](https://www.omega.com/auto/pdf/omht_series.pdf)

## Anexo 8: Ficha técnica driver motor nema 24-omht24-08

Driver compatible según el fabricante:

OPTIMAL DRIVE/MOTOR COMBINATIONS—"X" INDICATES PRIMARY MOTOR CHOICE												
DRIVE												
MOTOR	1240I	2035	3540I	3540M	3540MO	SI3540	STR2	STR4	STR8	ST5-S/Si	ST10-S/Si	STAC6-S/Si
OMHT11-013	X	X					X					
OM5014-842	X	X					X					
OMHT17-075	X	X	X	X	X	X	X			X		
OMHT17-275	X	X	X	X	X	X	X			X		
OMHT17-278	X	X	X	X	X	X		X		X		
OMHT23-393	X	X	X	X	X	X	X			X		
OMHT23-593	X	X	X	X	X	X	X			X		
OMHT23-397		X	X	X	X	X		X		X		
OMHT23-597		X	X	X	X	X		X		X		
OMHT23-400		X	X	X	X	X		X		X		
OMHT23-600		X	X	X	X	X		X		X		
OMHT23-603			X	X	X	X			X		X	
OMHT24-100			X	X	X	X		X		X		
OMHT24-105								X		X		
OMHT24-108								X		X		
OMHT34-504									X		X	
OMHT34-485									X		X	
OMHT34-505									X		X	
OMHT34-486									X		X	
OMHT34-506									X		X	
OMHT34-487									X		X	
OMHT23-550												X
OMHT34-488												X
OMHT34-490												X

Fuente: [https://www.omega.com/auto/pdf/omht\\_series.pdf](https://www.omega.com/auto/pdf/omht_series.pdf)

## Anexo 9: Ficha técnica del microcontrolador Arduino

Según el fabricante nos manifiesta las siguientes especificaciones técnicas:

Overview:	
The Arduino Uno is a microcontroller board based on the ATmega328 (datasheet). It has 14 digital input/output pins (of which 6 can be used as PWM outputs), 6 analog inputs, a 16 MHz ceramic resonator, a USB connection, a power jack, an ICSP header, and a reset button. It contains everything needed to support the microcontroller; simply connect it to a computer with a USB cable or power it with a AC-to-DC adapter or battery to get started.	
The Uno differs from all preceding boards in that it does not use the FTDI USB-to-serial driver chip. Instead, it features the Atmega16U2 (Atmega8U2 up to version R2) programmed as a USB-to-serial converter.	
Revision 2 of the Uno board has a resistor pulling the 8U2 HWB line to ground, making it easier to put into DFU mode. Revision 3 of the board has the following new features:	
<ul style="list-style-type: none"><li>• 1.0 pinout: added SDA and SCL pins that are near to the AREF pin and two other new pins placed near to the RESET pin, the IOREF that allow the shields to adapt to the voltage provided from the board. In future, shields will be compatible both with the board that use the AVR, which operate with 5V and with the Arduino Due that operate with 3.3V. The second one is a not connected pin, that is reserved for future purposes.</li><li>• Stronger RESET circuit.</li><li>• Atmega 16U2 replace the 8U2.</li></ul>	
"Uno" means one in Italian and is named to mark the upcoming release of Arduino 1.0. The Uno and version 1.0 will be the reference versions of Arduino, moving forward. The Uno is the latest in a series of USB Arduino boards, and the reference model for the Arduino platform; for a comparison with previous versions, see the index of Arduino boards.	
Summary:	
Microcontroller	ATmega328
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V
Input Voltage (limits)	6-20V
Digital I/O Pins	14 (of which 6 provide PWM output)
Analog Input Pins	6
DC Current per I/O Pin	40 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	32 KB (ATmega328) of which 0.5 KB used by bootloader
SRAM	2 KB (ATmega328)
EEPROM	1 KB (ATmega328)
Clock Speed	16 MHz

Fuente: <https://www.farnell.com/datasheets/1682209.pdf>

## Anexo 10: Ficha técnica del mando Turnigy 9x



Fuente: [http://www.modeltronic.es/download/turnigy\\_9x\\_9ch.pdf](http://www.modeltronic.es/download/turnigy_9x_9ch.pdf)

## Especificaciones según el fabricante:

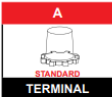
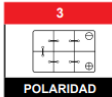


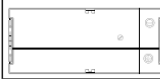

Number of Channel: <b>8ch ppm/9ch pcm</b>
Display: <b>128*64LCD</b>
Support Type: <b>Heli/Acro/Glid</b>
Support user: <b>8</b>
Stick model: <b>4</b>
Encoder type: <b>ppm/pcm</b>
Subtrim: <b>Yes</b>
Simulator Interface: <b>Yes</b>
Buzzer: <b>Yes</b>
Low Voltage Show: <b>Yes</b>
<b>Required:</b>
Battery
<b>Included:</b>
Turnigy 9x 9Ch Transmitter
Turnigy RF9X-V2 module
Turnigy 9X8C-V2 8-channel receiver
<b>Important.</b>
The <u>TURNIGY 9X</u> has been reflashed with the new v2 firmware, fixing previous menu and mixing issues. This firmware flash is only available from our <u>TURNIGY 9X</u> system as we flash each unit in our office before it is shipped.
Purchases of any other rebranded version of the <u>TURNIGY 9X</u> will not have the latest firmware and patches (even the OEM factory does not have these updates).
NOTE: "SWITCH ERROR" means you have one of the switches in the wrong position when you turn the radio on. It is not a fault.

Fuente: <https://kamami.com/retired-products/214218-hk-turnigy-9x-9ch-transmitter-w-module-amp-8ch-receiver-mode-2-v2-firmware-8992.html>



## Anexo 11: Ficha técnica de la batería Solite

SOLITE es una batería automotriz altamente confiable. El metal interno de calcio libre de óxido proporciona una excelente resistencia al calor y fuerte inmunidad contra algún cambio drástico de temperatura. Es un producto libre de mantenimiento que no necesita relleno de soluciones electrolíticas.

			
<b>B0</b>			
BASE HOLD - DOWN			
<b>DIMENSIONES</b>			
FRONTAL		LATERAL	
			
PLANTA			
			
<small>Producto Reciclable</small>			

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	
Norma Internacional	DIN (Alemania)
Tipo	Libre Mantenimiento
Equivalencia en Placas	33
Amperios Hora AH (20 Hrs)	200
Potencia Arranque CCA (-18°C)	1050(EN)
Capacidad de Reserva Rc (min.)	430
Largo (mm.)	503
Ancho (mm.)	216
Alto (mm.)	193
Alto (mm.) Inc. Postes	214
Peso (Kg.)	44.3
Polaridad	3
Postes o terminales	Standard (A)

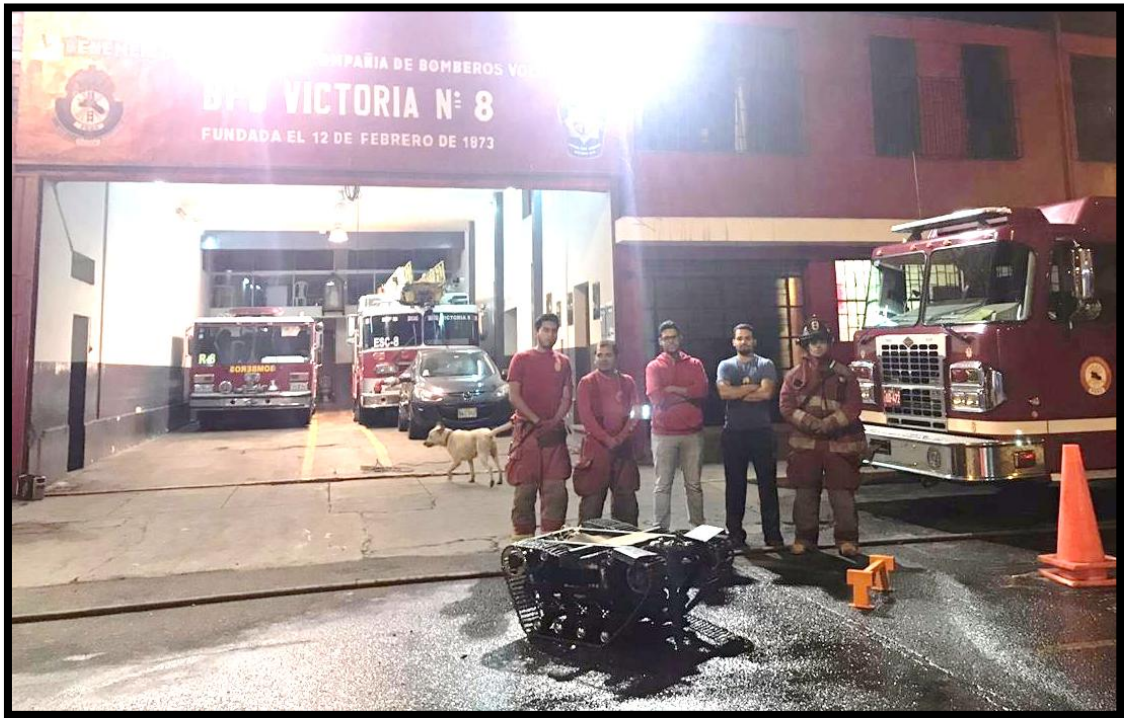
Fuente: <https://kamami.com/retired-products/214218-hk-turnigy-9x-9ch-transmitter-w-module-amp-8ch-receiver-mode-2-v2-firmware-8992.html>

## Estructura de batería CMF:



Fuente: <https://kamami.com/retired-products/214218-hk-turnigy-9x-9ch-transmitter-w-module-amp-8ch-receiver-mode-2-v2-firmware-8992.html>

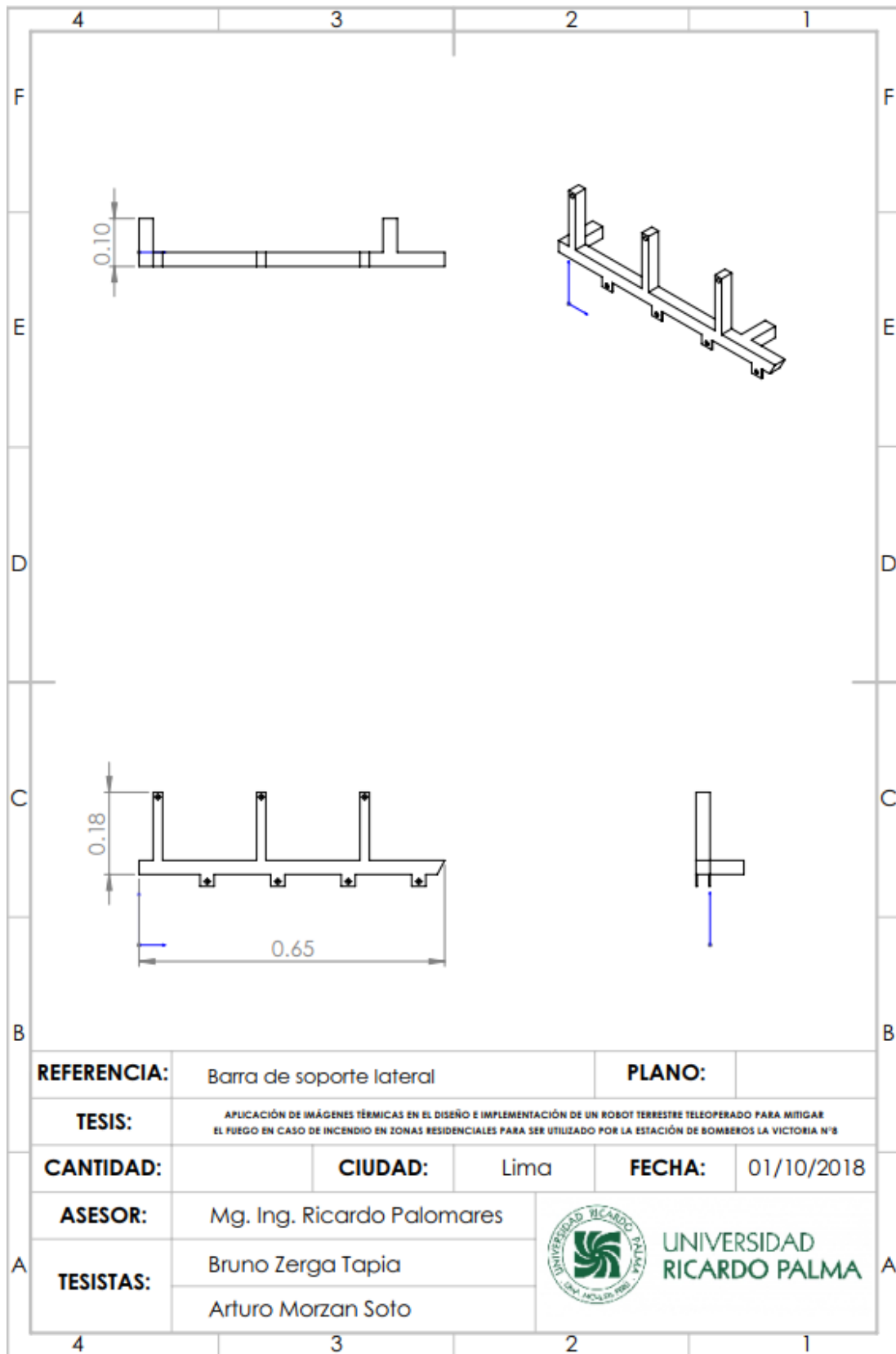
## Anexo 12: Lista de bomberos colaboradores



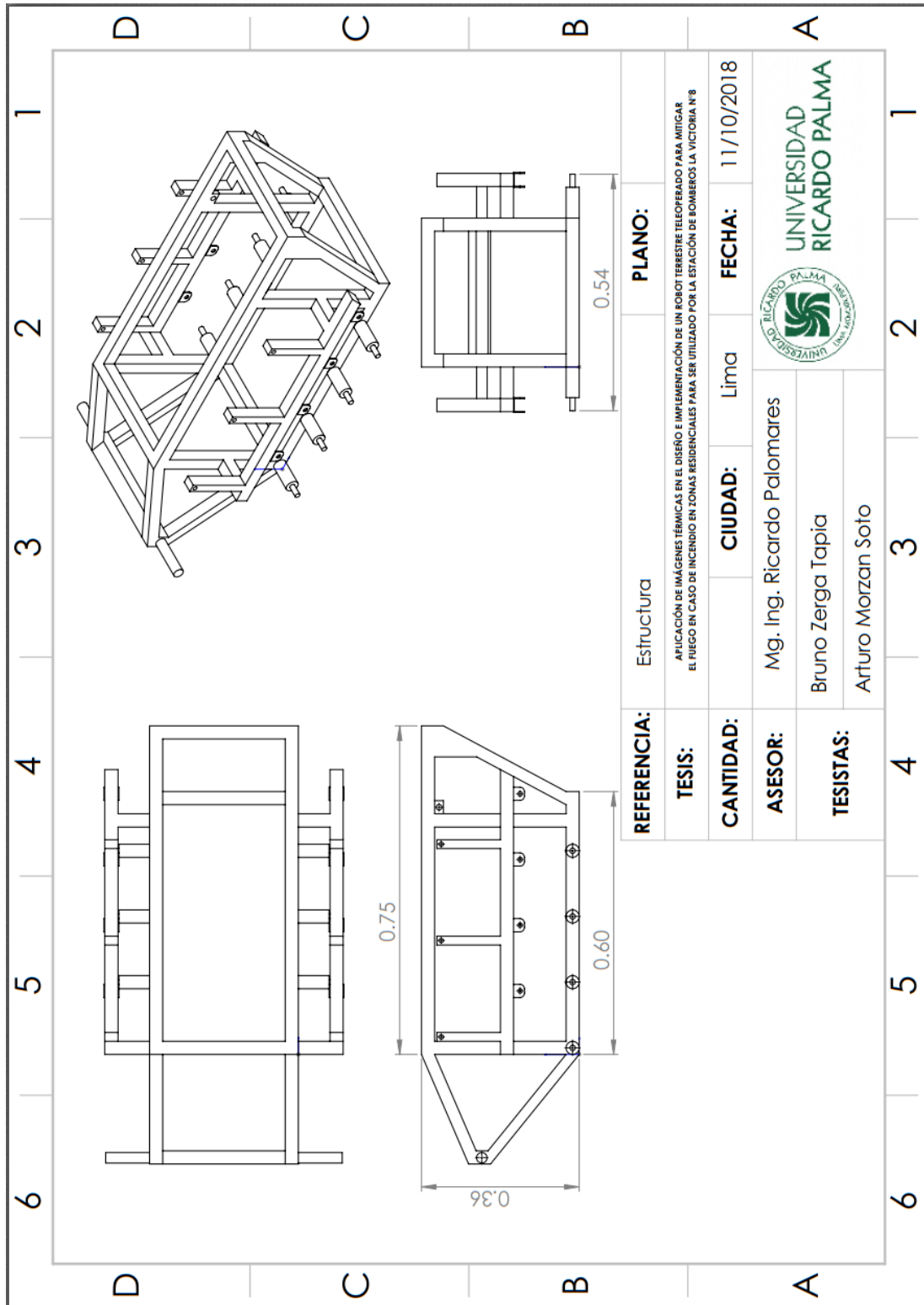
Fuente: Elaboración propia

- TNTE. BRIG. CBP. Eduardo Yaya Retamozo (2do Jefe De La Cia.)
- SUB. TNTE. CBP. Alejandro Reynaga Barahona
- SUB. TNTE. CBP. Claudia Reynaga Barahona
- SUB. TNTE. CBP. Eduardo Jimenez Sandi
- SECC. CBP. Luis Villacez Saldaña

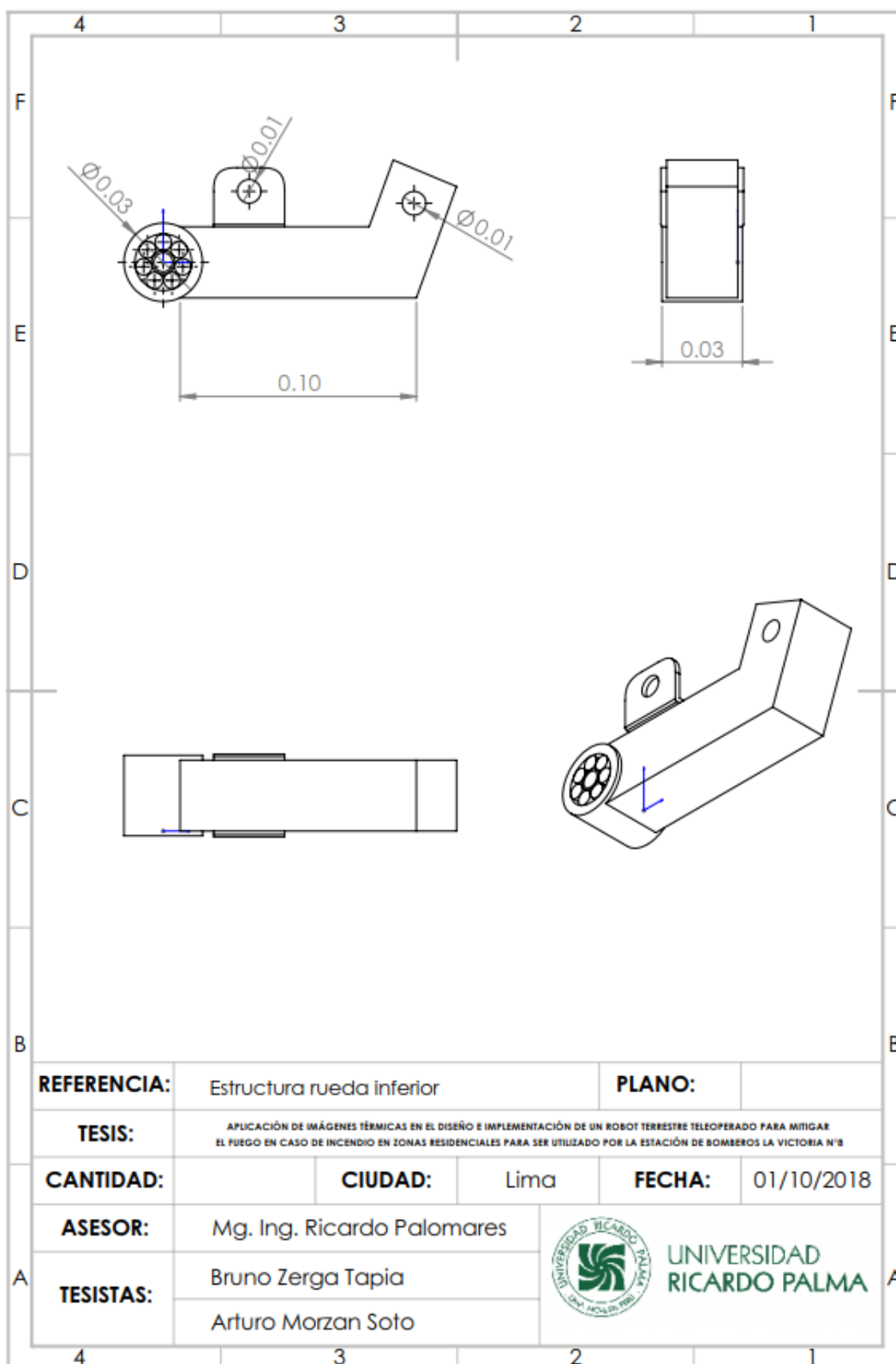
### Anexo 13: Barra de soporte lateral



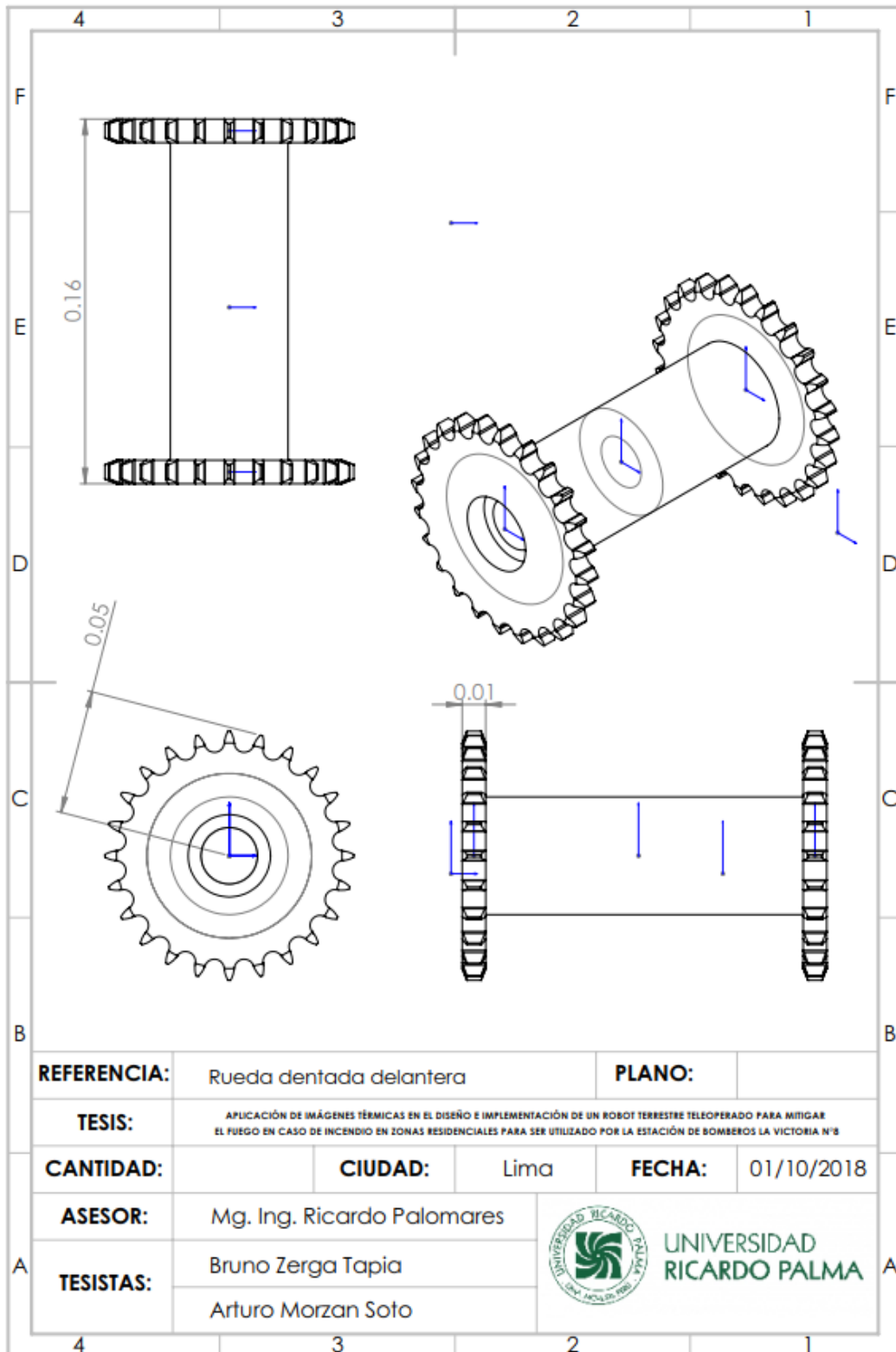
## Anexo 14: Estructura



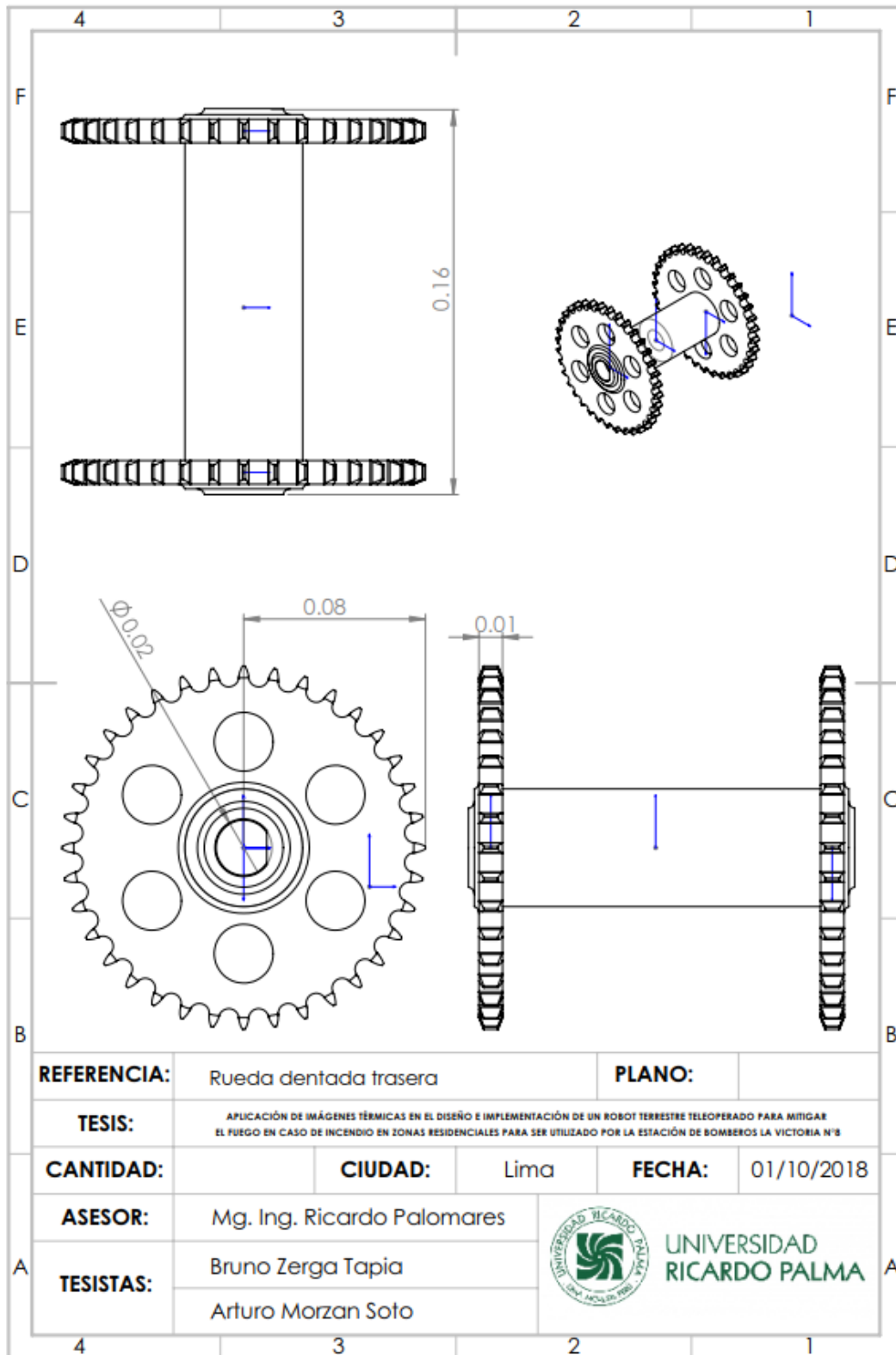
## Anexo 15: Estructura rueda inferior



## Anexo 16: Rueda dentada delantera



## Anexo 17: Rueda dentada trasera





## Anexo 18: Motor brushless con caja reductora

