

# Diseño y prototipado de un robot explorador que soporte las actividades de los bomberos

JUAN F. LÓPEZ-PRIETO <sup>(1)</sup>, CAMILO E. QUIJANO <sup>(2)</sup>,  
RICARDO A. MONCAYO <sup>(3)</sup>, JORGE H. PIEDRAHITA <sup>(4)</sup>, JESÚS D. JIMÉNEZ <sup>(5)</sup>,  
NELSON D. NAVARRO <sup>(6)</sup>, IRMA I. ANGARITA <sup>(7)</sup>

(1) juflopezpr@unal.edu.co

(2) cequijanog@unal.edu.co

(3) ramoncayomar@unal.edu.co

(4) jhpiedrahitao@unal.edu.co

(5) jdjimenezsa@unal.edu.co

(6) ndnavarro@unal.edu.co

(7) iangaritam@unal.edu.co

Departamento de Ingeniería Mecánica y Mecatrónica  
Universidad Nacional de Colombia  
Bogotá, Colombia

# Diseño y prototipado de un robot explorador que soporte las actividades de los bomberos

## RESUMEN

*Palabras clave:*

**Plataforma robótica;  
incendios; detección de fuego;  
procesamiento de video;  
rocker-bogie**

Diversos problemas se presentan al enfrentar un incendio en edificaciones o entornos naturales, el peligro que corren los bomberos y la detección del incendio en muchas ocasiones cuando está en estado avanzado son algunas de estas problemáticas. Se presenta el diseño y prototipo de una plataforma robótica (FireBot) cuyo sistema mecánico está basado en la suspensión rocker-bogie utilizada comúnmente en los robots tipo rover, con la diferencia del uso de un sistema de orugas en el mecanismo bogie en lugar de ruedas. Estas orugas se diseñaron con una geometría triangular logrando que la oruga pueda girar completamente cuando el sistema lo requiera, obteniendo dos modos de rotación controlados mediante un embrague electromagnético. En el primer modo de rotación la correa de la oruga se desliza para generar el desplazamiento lo cual da lugar al movimiento tradicional de la suspensión rocker-bogie, mientras que en el segundo modo todo el sistema de orugas gira como una rueda triangular con el fin de sobrepasar obstáculos de mayor dimensión, ya sean rocas o gradas. La estabilización de la plataforma se consigue mediante el uso de un sistema de ruedas traseras que ayudan a la tracción, cuando el sistema de orugas está girando. Adicionalmente la plataforma posee inclinación del chasis, lo que junto a las otras características permiten que el robot pueda recorrer diferentes terrenos, tanto inclinados como rocosos, y de trasladarse en edificaciones.

La plataforma FireBot cuenta entre sus elementos para detectar y prevenir incendios con tres (3) sensores de temperatura por infrarrojo para identificar zonas calientes, dos (2) cámaras de alta resolución para tener un mayor control de la escena y una tarjeta de desarrollo ODROID-XU3 Lite que es capaz procesar imágenes de vídeo para identificar fuego y alertar al controlador, la transmisión de video y el control manual de la plataforma mediante el uso de una red inalámbrica (WiFi). La identificación de fuego se logra segmentado la imagen con un cambio de espacio de color seguido de la aplicación de operaciones de umbral, morfológicas y substracción de fondo para reducir los falsos positivos. De esta manera se proporciona argumentos suficientes para la toma de decisiones respecto a los riesgos que se puedan encontrar en la zona en la cual se esté desarrollando.

Por lo expuesto, se puede resaltar la importancia de este tipo de prototipos al brindar la posibilidad de abrir campo al desarrollo de robótica para la disminución de exposición de personas en ambientes que representen alto riesgo para su integridad.

### I. INTRODUCCIÓN

De acuerdo al Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) en 2011 [1], se reportaron alrededor de 2.190 incendios forestales en los 32 departamentos de Colombia afectando cerca de 103.500 hectáreas de flora y fauna. Además de el alto peligro al que se exponen los bomberos al controlar un incendio y la escasez de herramientas para prevenir estos en distintos entornos. Se planteó y se realizó la construcción de una plataforma robótica versátil a cambios teniendo como principal objetivo servir como una herramienta de monitoreo y prevención de incendios forestales.

Para diseñar esta plataforma se analizó los distintos terrenos y condiciones en las suceden los incendios forestales principalmente, se diseñó entonces un sistema mecánico de tracción robusto a da su uso en diferentes terrenos.

Para lograr un buen diseño, primero se realizaron pruebas con un modelo a escala con el fin de detectar posibles fallos, logrando así mejorar y rediseñar el prototipo final. La plataforma FireBot pasó por un proceso de pruebas y mejoramiento en el se decidió implementar orugas dispuestas de forma triangular para pasar obstáculos de mayor dimensión y un sistema de ruedas dobles para mayor tracción.

El sistema de control y de sensores se diseñó para detectar y procesar rápidamente los datos del medio ambiente donde un incendio se puede desarrollar.

El documento se organiza como sigue. En la segunda sección se estudian otros diseños de robots para asistir al cuerpo de bomberos, Luego se presenta la metodología como se desarrolló la idea, posteriormente la sección Diseño y Construcción de un modelo a escala es presentada, con este modelo se buscaron las posibles fallas y mejoras que podría tener el sistema final junto con la sección de pruebas en el prototipo. A continuación en la sección de Diseño y manufactura se muestra el desarrollo del prototipo final. Se presenta los resultados y los principales hallazgos que se observaron y finalmente la sección de discusión y conclusiones.

### II. ESTADO DEL ARTE

En el desarrollo de la plataforma robot bombero, se estudian diferentes artículos que presentan robots con características similares, estos artículos investigados son presentados a continuación.

En la plataforma presentada por Shin y colegas en [2], se realizó una plataforma robótica móvil portátil para el apoyo de la acción de los bomberos la cual tiene como grandes avances la resistencia a impactos, estando equipado con algunos sensores de temperatura, gases y una cámara, en el sistema mecánico se encuentra equipado solo de 2 ruedas siendo un dispositivo de un tamaño pequeño.

Por su parte el equipo de Chang en [3] muestra el diseño una plataforma robot bombero, que cuenta con cámaras IR y un sistema mecánico de oruga, el cual le da capacidad para desplazarse en terrenos irregulares, mostrando especialmente el control de la plataforma hecho a partir de un sistema remoto, mediante el cual se envían datos de control, para que se movilice en el espacio donde se encuentra, además de retornar a partir de la cámara IR información de temperaturas del terreno.

En el artículo presentado en [4], se resalta la importancia de proteger a los bomberos y a las víctimas de un desastre, adopta el concepto de robots operados a distancia, clasifica en cuatro grandes grupos, monitor nozzle (rociador, línea de agua dependiente y control a distancia), reconnaissance robot (explorador), searching robot (buscador), rescue robot (rescatista), resalta el peso de los robots del departamento de bomberos de Tokio, que se aproxima a las 4 toneladas en promedio, con un costo de funcionamiento alto, al ser alimentados con Diésel y requerir altos niveles de energía para activar sus accesorios en cada caso, las interfaces de uso son de gran tamaño, alto consumo y baja portabilidad. El autor recomienda un estándar comercial, o una plataforma adaptable.

Por último en [5], se detallan las consideraciones tomadas en el desarrollo de la suspensión tipo Rocker-Bogie, la cual se destaca por la facilidad con la que supera obstáculos, los materiales utilizados,

además de brindar los argumentos que primaron en la determinación del uso de la misma en los robots exploradores, dándolos a partir de las pruebas realizadas y las simulaciones hechas, además de detallar la selección de materiales de la misma para que se desenvuelva de manera adecuada en terrenos complejos como el del planeta Marte.

### III. METODOLOGÍA

Se encontró que el cuerpo de bomberos, no tiene un fácil acceso a zonas más propensas a incendios forestales ni una rápida detección de este tipo de incendios, lo cual se puede solucionar mediante un sistema de identificación de variables ambientales, como temperatura, humedad del aire, entre otros. Así mismo los bomberos arriesgan su vida al entrar en edificaciones, sin conocer previamente las condiciones en las que se encuentra la edificación (temperatura interna, químicos inflamables, estado de la estructura, personas en la edificación) por lo que una plataforma que permitiera explorar una edificación previamente para identificar riesgos potenciales, esto permitiría reducir el riesgo que tienen los bomberos al estar en estos lugares.

Se plantea la necesidad de desarrollar una plataforma robótica que permita acceder y permanecer en entornos naturales, desplazarse sin inconvenientes por los múltiples terrenos que puedan encontrarse en estos entornos, que pueda ser controlada remotamente por el cuerpo de bomberos, y alerte cuando encuentre una posible fuente de fuego o condiciones ambientales que hagan probable un incendio como temperatura y humedad. Esta plataforma debe ser capaz de acceder a espacios habitados como edificaciones, bodegas y desplazarse por estos lugares, por lo que se encuentra la necesidad de subir escaleras, evitar obstáculos en el suelo y ser de un tamaño adecuado para pasar por lugares estrechos como puertas y pasillos. Dadas las condiciones a las que se puede enfrentar la plataforma es necesario que esta sea modular y permita realizar cambios en sensores, sistema de tracción, modos de operación y permita ser mejorada posteriormente.

#### *Parámetros de diseño:*

1. Capacidad de desplazamiento en lugares de difícil acceso.
2. Posibilidad de desplazamiento en múltiples escenarios.
3. Movimiento del chasis con el propósito de poder cambiar la posición de este y adaptarlo a las necesidades mediante el control remoto.
4. Control hecho remotamente para dirigirlo a los lugares del cual se necesite obtener información.
5. Visión de máquina con el fin práctico de obtener información clara de la zona observada.
6. Consideraciones para realizar cálculos.

Los motores se escogieron en base al cálculo de los momentos críticos en lo que estos se someterían en las peores condiciones y con base a estos cálculos se da un factor de seguridad adecuado en el que se garantice un correcto funcionamiento, igualmente para escoger el material y las dimensiones adecuadas para los ejes se procede a hacer un análisis teniendo en cuenta los esfuerzos cortantes y los momentos flectores en condiciones críticas, entonces se procede a calcular dichas dimensiones y dando un respectivo factor de seguridad para estos, para escoger la relación correcta de engranes para las orugas, se tuvo en cuenta que las velocidades de las orugas y las llantas serán iguales.

#### *A. Alternativas y criterios de solución*

Como una solución al problema de la plataforma mecánica se planteó inicialmente una plataforma robot explorador terrestre tipo rover de 6 ruedas con sistema de amortiguamiento Rocker bogie, el cual le permite superar obstáculos con facilidad además de garantizar la tracción por lo menos de alguna de las ruedas, acoplándose al terreno, y por lo tanto teniendo ventajas ante sistemas clásicos de todo terreno como la oruga simple. Este sistema permite que la plataforma pueda desplazarse en terrenos donde hay variedad de obstáculos, además de evitar transmisión directa de la energía al chasis debido a este sistema. Para verificar este sistema se procedió a la construcción de un modelo funcional a escala.

La construcción del modelo de menor escala se estableció con el objetivo primordial de analizar la cinemática y la dinámica del sistema mecánico diseñado y para realizar las pruebas de los sensores necesarios para el funcionamiento de la plataforma antes de la construcción del prototipo final.

### B. Diseño y Construcción de un Modelo a Escala

El diseño del modelo a escala se basó en la suspensión Rocker Bogie utilizada en varios de los robots construidos por la NASA [5], pero usando el eslabón libre como la parte frontal de la plataforma de esta manera permite sobrepasar obstáculos de mayor dimensión, esto se observó en el prototipo a escala. El diseño del modelo se muestra en la Fig.1 .

Fig.1. Modelo CAD del modelo



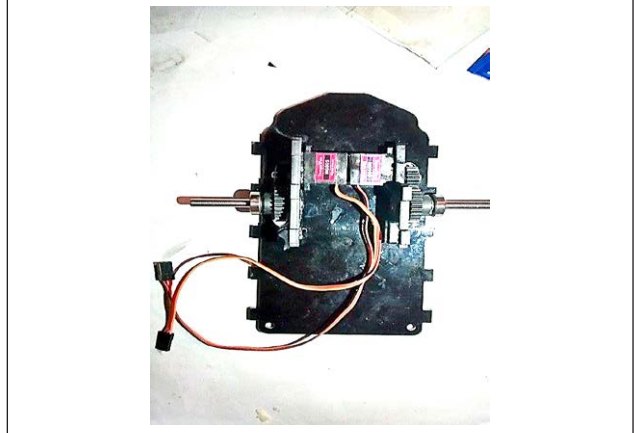
Una vez se obtuvo el diseño CAD, la fabricación de la estructura del modelo a escala se hace en acrílico de 5mm de espesor cortado mediante tecnología láser.

Otra de las diferencias de la suspensión Rocker bogie original es que los ejes que soportan el eslabón principal no están conectados mediante una relación diferencial sino que cada uno dispone de un servomotor que controla su movimiento independientemente. El sistema de transmisión del servomotor al eje se realiza mediante engranajes como se puede ver en la Fig.2.

Adicionalmente al hacer que los ejes de la suspensión tengan un movimiento independiente, se logra un sistema de nivelación de la plataforma que le da la posibilidad de permanecer en una posición paralela al terreno por donde se mueve y que le permite esquivar obstáculos como rocas que se presenten en

el espacio central debido el ancho de la plataforma. Este sistema de nivelación se muestra en la Fig. 2.

Fig. 2. Sistema de transmisión servomotor eje y sistema de balanceo



Para asegurar el eje al eslabón principal de la suspensión se utiliza un acople mecánico en aluminio. Puede apreciarse también que para que el sistema funcione todas las ruedas de la suspensión deben ejercer tracción por lo que tienen un motor acoplado a cada una. Este modelo es capaz de participar en concursos de detección y apagado de fuego, por lo que se implementa un soplador como sistema principal de apagado de fuego. El movimiento y control de los motores se hace mediante la tarjeta de control arduino.

### C. Pruebas En el Prototipo

Al tener prototipo a escala ensamblado se procede a realizar distintas pruebas de funcionamiento en distintos terrenos.

En el momento de pasar obstáculos con grandes pendientes el sistema de tracción delantera cedía, siendo el principal fallo encontrado, debido a la falta de control de el grado de libertad número (2) de la Fig 3. También en esta misma se observan algunas pruebas de obstáculos realizadas.

Una vez se observó este fallo se reemplazó el sistema de tracción delantera por orugas dispuestas en forma triangular y agregando control de rotación mediante un embrague se dio la posibilidad de que todo el sistema de orugas gire libre o rote sobre el mismo eje.



## D. Diseño y Manufactura

**Fig.3.** Arriba: Grados de libertad del sistema, Centro y abajo: pruebas de obstáculos



Basados en las ventajas y desventajas halladas mediante las pruebas del modelo a escala se diseñó el prototipo a escala real. Se mantiene el acople del armazón al sistema de tracción por medio de un eje a cada lado, ya que esto facilita la absorción de momentos, además de contribuir al control del posicionamiento del chasis. Debe tenerse en cuenta que para que el sistema de tracción haga que el robot se desplace debe vencer una fuerza determinada por la ecuación (1), donde  $\mu$  corresponde al coeficiente de rodadura entre las ods superficies en contacto,  $m$  la masa del robot,  $g$  la aceleración debido a la gravedad y  $\theta$  el ángulo de la pendiente del suelo con respecto a la horizontal.

$$F_{requerida} = \mu(mg \cos(\theta)) + mg \sin(\theta) + F_{inerciales} \quad (1)$$

El primer término de la derecha de la ecuación 1 se refiere a la fuerza de fricción entre las llantas y el suelo que se ve afectado por el ángulo de la pendiente por donde se desplaza. El segundo término se refiere a la componente del peso del robot que al entrar en una

pendiente se vuelve significativo. El último término corresponde a las fuerzas inerciales debidas a las aceleraciones causadas por el movimiento del robot. El torque que tendría que hacer cada rueda para mover el robot estaría determinado por la ecuación (2), donde  $N$  corresponde al número de ruedas a tracción.

$$T_{requerido} = F_{requerida} * R_{rueda} / N \quad (2)$$

Sin embargo, debe tenerse en cuenta que el torque que se le puede pedir a una rueda está determinado por el peso del robot y el coeficiente de fricción  $f$  entre el suelo y las llantas según la ecuación (3).

$$T_{max\_tractivo} = \frac{f(mg)R_{rueda}}{N} \quad (3)$$

De esta forma para que las ruedas puedan transmitir el torque requerido sin deslizar, este torque debe ser menor al torque máximo tractivo.

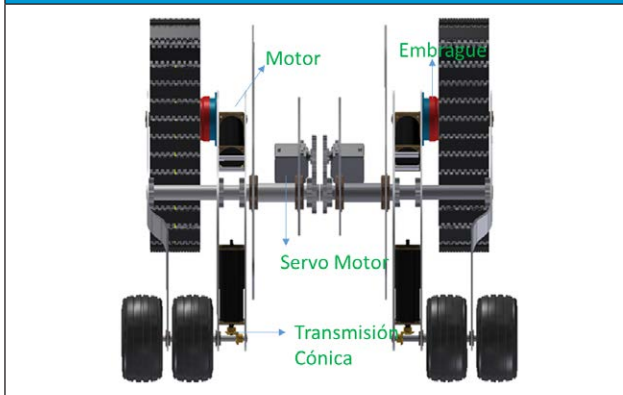
Con respecto a las ruedas delanteras, uno de los inconvenientes que se encontró fue la falta de una rueda que completara un triángulo en el eslabón libre de la suspensión rocker bogie para que cuando este eslabón girara completamente al tratar de sobrepasar obstáculos de tamaño superior al modelo, el robot pueda seguir funcionando correctamente. Para esto se utilizó un sistema de reducción epicicloidial con el fin de formar el triángulo deseado a partir de los planetarios dispuestos en la reducción donde se acoplan las ruedas con el fin de poder mover este sistema solo con un motor acoplado al engranaje solar y disminuir el consumo energético. Para superar los percances detectados se diseñó un prototipo a escala real. El prototipo se muestra en la Fig.4. donde es fácil apreciar distintos cambios que se le hicieron con respecto a la versión anterior.

**Fig. 4.** Prototipo plataforma escala real



El prototipo se aprecia como lo muestra la Fig.5. si no fuera visible el armazón central. Así, puede verse con más claridad la disposición de los elementos dentro de la caja, además de algunos detalles entre los cuales se destaca la conservación del sistema de transmisión de potencia de los servomotores centrales a los ejes.

Fig. 5. Estructura plataforma



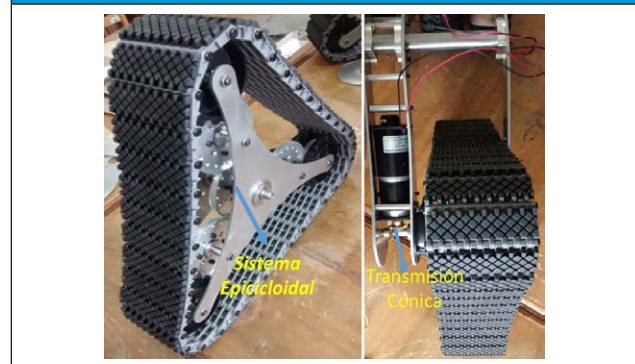
Adicionalmente, a la reducción epicicloidal dispuesta en la parte delantera del prototipo con el fin de obtener 3 ruedas en una geometría triangular, se sustituyeron estas ruedas por un sistema de oruga triangular. Si se tiene en cuenta que la potencia para que se accione el movimiento de la oruga la ofrece el motor delantero, y que los eslabones que sostienen la oruga pueden girar libremente con respecto al eslabón principal, se pueden notar que el sistema de transmisión en realidad no ha cambiado, sino que solo cambió el sistema de potencia de dos motores a cada llanta a un solo motor que alimenta el movimiento de la oruga. En adición las ventajas de una oruga como lo es la distribución de su peso y que puede atravesar terrenos con más obstáculos.

Con el sistema triangular el sistema de orugas puede dar vueltas completas y mantener tracción constante lo que no pasaba en el prototipo a escala con las dos ruedas delanteras.

La Fig. 6. muestra el sistema de orugas armado y ensamblado al motor que le da potencia. Como puede verse el diseño de este sistema está basado en una relación de engranes epicicloidal de doble planetario, en donde los soportes laterales funcio-

narían como portaplanetarios. Estos soportes están apoyados en el eje mediante rodamientos con el fin de que puedan girar libremente. Así mismo sobre el eje se encuentra el engranaje sol que está relacionado con los engranajes planetarios. Si se detalla se puede dar cuenta de que los planetarios a su vez están relacionados con otros engranes que también están soportados mediante el portaplanetarios. Esto se hace en primer para brindar más espacio para que la oruga pueda doblarse al enfrentarse a obstáculos y en segundo lugar para que el segundo modo de rotación gire en la misma dirección cuando el haga avanzar hacia adelante. La relación de engranes del sistema completo se logra de tal manera que la rueda trasera del robot pueda ir a la misma velocidad que la oruga cuando los motores giren a la misma velocidad.

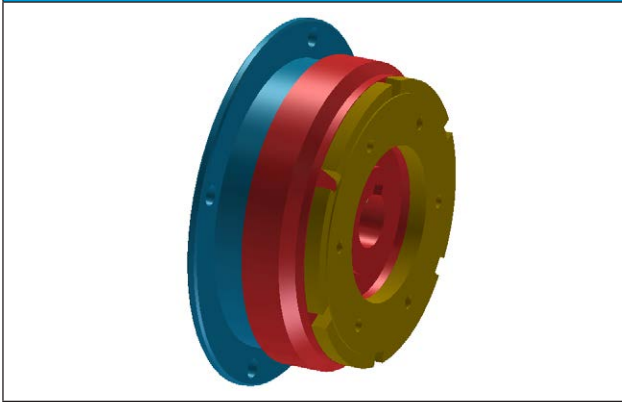
Fig.6. Sistema Oruga, Sistema Epicicloidal



Adicionalmente este sistema de orugas se diseñó con esta geometría con el fin de añadir un segundo modo de rotación a este sistema mediante un embrague electromagnético. El embrague electromagnético hace que el sistema de orugas que inicialmente está libre con respecto al eje del motor se acople a este movimiento de tal forma que cuando el eje del motor gire no solo gire la oruga sino que gire todo el sistema portaplanetarios. De esta manera se tendría una rueda triangular de mayor radio, que permitirá sobrepasar obstáculos que en el primer modo no se podrían. En la Fig.7. se muestra el embrague electromagnético utilizado (SunRise FCD-006 de 12mm) y que consta de 3 partes: La primera parte, resaltada en azul es la parte fija y esta tiene la conexión del embrague que funciona como electroimán y se ali-

menta de 24V. la segunda parte resaltada en rojo es la parte que va acoplada al eje que transmite la potencia del motor mediante una cuña dispuesta en este, por lo que se mueve solidaria al eje.

**Fig. 7.** Embrague electromagnético



La tercera parte es una lámina cilíndrica con propiedades magnéticas que debe estar separada una distancia aproximadamente de 0,2 mm de la segunda pieza para que pueda girar libremente. Como esta lámina está separada, debe estar sujeta a la estructura que se pretende embragar, en este caso al sistema portaplanetarios que está apoyado en el eje mediante rodamientos para que pueda girar libremente. Por el otro lado, el sistema trasero del robot cuenta con un sistema de dos llantas a cada lado que hace que el peso se reparta entre ellas como se ve en la Fig.8.(arriba), también se puede apreciar como el motor le transmite la potencia al eje donde van acopladas las llantas mediante engranajes cónicos cuya relación es 1:1. Puede notarse que este sistema de transmisión es idéntico al usado en la parte delantera del robot.

El diseño del armazón central se hizo con el fin de que pudiera proteger toda la parte de electrónica y de alimentación que podría sufrir daños al estar expuesta a ambientes hostiles. En la Fig.8.(centro) puede verse que en las paredes laterales del armazón se ubica un rodamiento encargado de soportar gran parte de la carga debida a los ejes principales del robot.

El material utilizado para la fabricación de la estructura del robot es aluminio 6061 T6, y su manufactura se hizo por corte de láser de una lámina de 3 mm de espesor. La lámina que se dobló para que pudiera

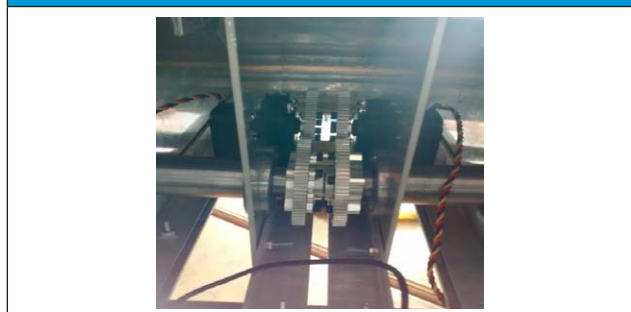
verse como aparece el contorno mostrado en la Fig.8 (derecha). El ensamble con las paredes del armazón se hizo utilizando ángulos normalizados de aluminio.

**Fig.8.** Arriba: Sistema trasero del prototipo, Centro: Láminas cortadas del prototipo, Abajo: Armazón del prototipo



El sistema de nivelación del armazón central que se puede ver en la Fig.9. se logra al igual que en el modelo escala mediante el uso de dos servomotores que hacen girar los ejes principales mediante el uso de engranes. El torque de los servomotores utilizados (HS-755MG 1/4 Scale) es suficiente para poder nivelar el armazón (200 oz-in) ya que el prototipo se diseñó para que contando todos los elementos se tuviera una distribución de peso óptima, lo que permite que la relación de los engranes sea de 1:1.

**Fig. 9.** Sistema de nivelación central





Para evitar que los ejes principales tuvieran elevada deflexión debido al significativo momento que tienen que soportar al cargar con todo el sistema de locomoción en voladizo se diseñaron con un diámetro de 1 pulgada en la parte más crítica del eje y se unieron en el centro mediante un elemento que permite el giro independiente de los ejes mediante un sistema de esferas como lo tienen los rodamientos. Esto hace que la deflexión en los ejes se reduzca y que se tenga un factor de seguridad aproximadamente de 2 para estos ejes.

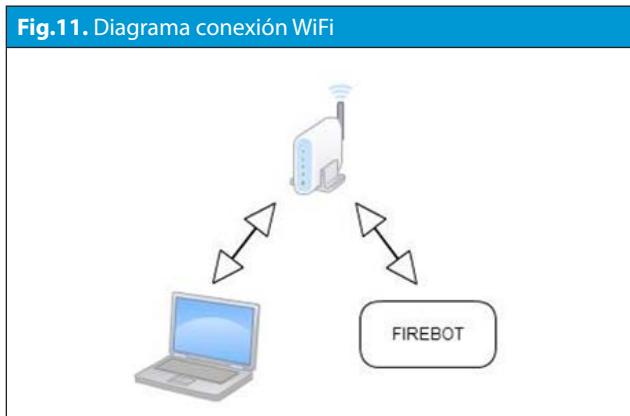
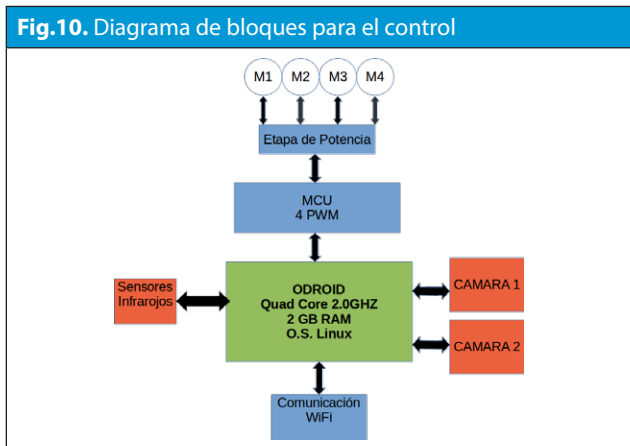
Puede notarse que en los ejes que soportan la oruga y las llantas traseras no se tiene cargas en voladizo debido a que una tercera lámina sirve de apoyo a estos ejes en los extremos. Sin embargo esta placa está totalmente apoyada sobre el eje principal y por eso el elevado momento que soporta.

**E. Diseño electrónico**

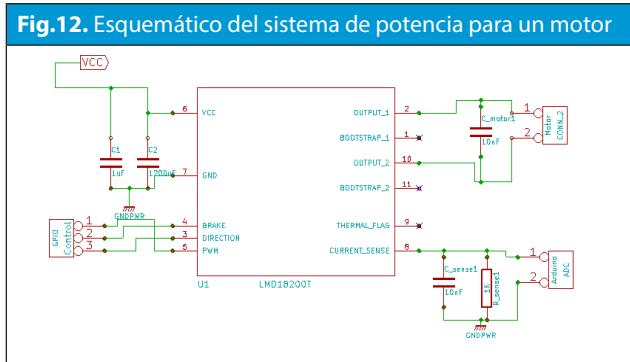
La plataforma consta de 3 sensores de temperatura infrarrojos MLX90614 que obtienen la temperatura del objeto con una precisión de 0,05°C y un rango de visión menor a 10°, mide temperaturas entre -70°C a 380°C se comunica mediante protocolo I2C .

También se encuentra equipado con 2 cámaras HD que permiten el monitoreo remoto y el análisis de imagen. Tanto el control del robot como el envío de la imagen se hacen por medio de una red WiFi , el control del sistema de potencia lo realiza un microcontrolador que entrega la modulación por pulso PWM que a su vez se comunica mediante protocolo UART con un sistema embebido marca ODROID con procesador ARM Quad core de 2.0 GHz, 2GB de memoria RAM y chip gráfico MALI-T628 con sistema operativo Linux, el diagrama de bloques se presenta en la Fig.10.

La comunicación se realizó mediante WiFi para esta se implementaron dos puertos tanto en el computador (control remoto) y el FireBot (plataforma) los cuales se utilizaban uno para enviar imágenes e información del FireBot al computador y otro en donde el Firebot recibe comandos en formato ASCII para el control remoto de este estos datos se envían detectando la IP pública del computador y la tarjeta ODROID y transmitiendo los datos Fig.11.



Cada motor se controla con un circuito integrado LMD18200T capaz de suplir la potencia necesaria (máxima de 4,4 W por motor) y el control de dirección y velocidad se realiza mediante el uso de la plataforma arduino y los GPIOs de este, el esquema utilizado por cada uno de los 4 motores se muestra en la Fig.12.



**F. Detección de Fuego con Procesamiento de Imágenes**

El robot FireBot mediante la cámara y la tarjeta ODROID es capaz de segmentar las regiones de la

imagen que se captura donde se encuentra una presunta fuente de fuego, el proceso de detección se explica aquí.

La imagen que se captura en el espacio de color RGB es transformada al espacio Y'UV, ecuación (4).

$$\begin{bmatrix} Y' \\ U \\ V \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,299 & 0,587 & 0,114 \\ -0,147 & -0,289 & 0,436 \\ 0,615 & -0,515 & -0,10 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (4)$$

Dado que el fuego tiene altas componentes de luminancia y también se asocia al color rojo se elimina el canal de crominancia, esto es  $U(x,y)=0$ .

Después de esto se aplica un treshold básico esto con el fin de segmentar las áreas con mayor intensidad de la imagen, ecuación (5).

$$I'(x, y) = \begin{cases} 0 & I(x, y) > 145 \\ 1 & I(x, y) < 145 \end{cases} \quad (5)$$

Donde  $I(x,y)$  es la imagen con los canales Y'V y  $I'(x,y)$  la imagen segmentada.

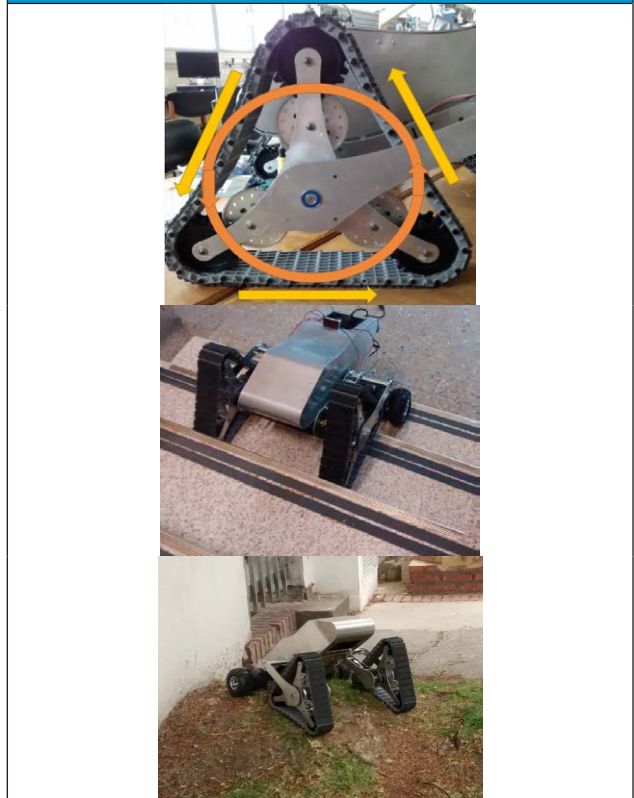
Para evitar falsos positivos con fuentes de alto brillo similares al fuego a la imagen  $I'(x,y)$  se aplica el método de substracción de fondo propuesto por Stauffer en [6], ene esta técnica la intensidad de cada pixel se modela con un modelo de mezcla gaussiana para determinar cuáles pixeles corresponden al fondo, esto con el fin de segmentar el movimiento de las llamas que ocurre con la combustión de los objetos.

#### IV. RESULTADOS

Al haber realizado la plataforma robot bombero y realizar las pruebas pertinentes, se obtienen los diferentes resultados los cuales se encuentran descritos a continuación.

En la modificación realizada al sistema de suspensión rocker bogie se resalta principalmente los 2 tipos de movimiento, los cuales son el movimiento de desplazamiento plano y el movimiento rotacional para la superación de obstáculos, descrito en la trayectoria amarilla y naranja respectivamente de la Fig.13. (Arriba)

**Fig.13.** Arriba: Movimientos Suspensión rocker bogie modificada, Centro: Subiendo escaleras, Abajo: Desplazamiento en pendiente



La plataforma posee dos tipos de movimientos generales básicos, para su desplazamiento los cuales son el movimiento lineal, en el cual puede llegar a alcanzar velocidades de hasta 1.256km/h y los movimientos rotacionales que pueden ser totales o parciales.

Desplazamiento en lugares de difícil acceso. La plataforma se caracteriza por el poder desplazarse por terrenos en los cuales la dificultad de desplazamiento es alta, como lo pueden ser escaleras, las cuales puede superar gracias al sistema de amortiguamiento Roker Bogie modificada, Fig.13. (centro) además de tener la potencia par superar pendientes Fig.13. (Abajo).

En la Fig.14. se muestra el resultado de la segmentación de fuego en 3 secuencias, la primera es una prueba de un pequeño incendio dentro de una edificación las otras 2 sobre incendios forestales, con este método se pretende dar una herramienta de vigilancia más rápida.

Fig. 14. Resultados método propuesto análisis de imagen



## V. CONCLUSIONES

El sistema mecánico implementado con una suspensión rocker bogie modificada, permite superar las diferentes adversidades del terreno. Además de brindar gran información para la toma de decisiones como lo son imagen normal del entorno, imagen procesada para detección de fuegos que facilite la segmentación del entorno, temperatura de objetos.

Esta información junto con el control remoto del usuario amplía las decisiones que se pueden tomar frente a una emergencia.

El sistema Epicicloidal con oruga aumenta la tracción y estabilidad del robot, ya que la oruga está en contacto permanente con la superficie. Sin embargo requiere de una mayor potencia en los motores delanteros para que el sistema de rueda triangular mueva el robot con facilidad.

Se resalta que el sistema implementado disminuye el número de motores de la configuración rocker bogie tradicional en 2 motores, haciendo un control más efectivo de la potencia que necesita el sistema en cada instante de tiempo. La segmentación y procesamiento de imágenes propuesto se plantea como una ayuda adicional al operario con

el fin de aumentar el tiempo de respuesta y la labor de vigilancia continua.

## VI. DISCUSIÓN Y TRABAJO FUTURO

En el proceso de diseño y manufactura de la plataforma FireBot se puede apreciar la importancia de la utilización de plataformas robóticas como soporte de las diferentes actividades del ser humano, ya que le brinda una reducción de riesgos a los cuales se debe exponer el individuo. Además de brindar una solución que permite ser portada a diferentes ambientes en los cuales se puede desenvolverse de la mejor manera.

Teniendo en cuenta el gran impacto que puede llegar a tener el robot se desean realizar algunos cambios que contribuyan a la disminución de consumo energético para incrementar el tiempo de autonomía de la plataforma, además de realizar pruebas en ambientes extremos que la exijan al máximo con el fin de poder observar las fallas que puedan presentarse en situaciones muy similares a las que se exponga.

## REFERENCIAS

- [1] IDEAM, "Número de Incendios Área Afectada Reportada por Departamentos en 2011," IDEAM, 2011. [Online]. Available: [http://www.ideam.gov.co/documents/13257/14494/Estadisticas\\_Incendios\\_2011.pdf](http://www.ideam.gov.co/documents/13257/14494/Estadisticas_Incendios_2011.pdf).
- [2] D. Shin, J. An, and Y. Kang, "Design consideration for shock-absorbing spring at the tail of firefighter-assistive robot," *Control. Autom. Syst. ( ...)*, pp. 1702–1705, 2011.
- [3] P. Chang, Y. Kang, G. R. Cho, J. H. Kim, M. Jin, J. Lee, J. W. Jeong, D. K. Han, J. H. Jung, W. Lee, and Y. Kim, "Control Architecture Design for a Fire Searching Robot using Task Oriented Design Methodology," *SICE-ICASE Int. Jt. Conf. 2006*, pp. 3126–3131, 2006.
- [4] H. Amano, "Present status and problems of fire fighting robots," *Proc. 41st SICE Annu. Conf. SICE 2002.*, vol. 2, pp. 880–885, 2002.
- [5] B. D. Harrington and C. Voorhees, "The Challenges of Designing the Rocker-Bogie Suspension for the Mars Exploration Rover," *Proc. 37th Aerosp. Mech. Symp.*, pp. 185–195, 2004.
- [6] C. Stauffer and W. E. L. Grimson, "Adaptive background mixture models for real-time tracking," *Proc. 1999 IEEE Comput. Soc. Conf. Comput. Vis. Pattern Recognit. Cat No PR00149*, vol. 2, no. c, pp. 246–252, 1999.