

# Diseño Mecánico de una Plataforma para Investigación en Vehículos Terrestres no Tripulados

Elkin A. Taborda\*, Luis B. Gutiérrez\*, Diego A. Flórez\*, Juan A. Ramírez\*

\*Universidad Pontificia Bolivariana  
Grupo de Automática y Diseño A+D  
Circular 1 #70-01 Escuela de Ingenierías. Medellín, Colombia.

elkin.taborda@upb.edu.co, lbgutie@ieee.org, diego.florez@upb.edu.co, juan.ramirez@upb.edu.co

---

**Abstract:** This article shows the requirements and conditions taken into account by the Design and Automation Group A+D of the Universidad Pontificia Bolivariana in the design of an unmanned ground vehicle. The vehicle was designed to be a testing platform for guidance, navigation and control strategies, also for testing mobility over irregular terrains and to study new applications that could be useful in this country. The designed vehicle is characterized for being modular, compact and easily modifiable in order to be equipped with new devices.

**Keywords:** Unmanned ground vehicles, mechanical design, multipurpose vehicle.

---

## 1. INTRODUCCIÓN

El Grupo de Automática y Diseño A+D de la Universidad Pontificia Bolivariana ha ganado experiencia a través de los años en el diseño, construcción y control de vehículos no tripulados. Específicamente se ha estado trabajando con vehículos sumergibles no tripulados (Gutiérrez et al., 2007; Ramírez et al. 2007ab) y con vehículos aéreos no tripulados (Vásquez et al., 2006). Ahora se quiere llenar el vacío existente en el conocimiento de los vehículos terrestres no tripulados y del problema de la navegación autónoma en tierra. Para cumplir este objetivo se ha iniciado un proyecto que tiene como objeto introducir al Grupo de Investigación en esta área y servir como inicio al fortalecimiento y posterior profundización en ella.

Dicho fortalecimiento inició con un estudio del estado del arte en el área de vehículos terrestres no tripulados, profundizando en aplicaciones que pueden ser importantes para el país e indagando sobre los desarrollos que se han hecho a nivel local en este ámbito. Además se considera importante ganar experiencia práctica en el diseño de este tipo de robots. Para lograrlo, se decidió diseñar y construir un prototipo económico, versátil y durable que se acondicione fácilmente para otros proyectos en el futuro.

Este documento muestra las consideraciones y requerimientos para el diseño mecánico del vehículo terrestre no tripulado, que servirá como plataforma de inicio para los trabajos en esta área. Las condiciones de diseño se enfocaron en la versatilidad que debe tener para servir como instrumento en investigaciones futuras y lograr, por ejemplo, desarrollos de sistemas de guía, navegación y control, así como visión artificial, entre otros.

## 2. ANTECEDENTES

El Grupo de Automática y Diseño A+D adelanta labores de investigación aplicada en las líneas de Automatización, Teoría del Control, Mecatrónica, Teoría de Mecanismos y Diseño Mecánico. Es de interés para el Grupo el desarrollo de vehículos no tripulados capaces de desempeñar diferentes labores en ambientes peligrosos o difíciles para los seres humanos, dado que esta temática es transversal a cada una de las líneas ya definidas.

Los vehículos no tripulados (*unmanned vehicles*) conforman una importante rama de la robótica, la cual se divide en tres grupos básicos: terrestres (UGV: *unmanned ground vehicles*), aéreos (UAV: *unmanned aerial vehicles*) y acuáticos (UUV: *unmanned underwater vehicles*). Como se ha dicho anteriormente es de interés para el Grupo complementar las experiencias ganadas en los trabajos previos con UAVs y UUVs, por ello se está llevando a cabo un proyecto para realizar un primer acercamiento al diseño y control de un UGV. De esta forma se podrá obtener información acerca de las diferentes alternativas y tendencias en las que se trabaja actualmente y determinar cuales son más apropiadas para su utilización en nuestro país, con miras a plantear un posterior desarrollo que pueda adaptarse a múltiples tareas y condiciones de operación.

El objetivo del proyecto es entonces explorar el estado del arte actual de los vehículos terrestres no tripulados y diseñar, construir y controlar un primer prototipo.

## 3. DISEÑO PRELIMINAR

El problema del diseño mecánico del vehículo se ha abordado desde una metodología clásica de diseño de ingeniería, por ello es importante iniciar el proceso con un estudio juicioso del estado del arte que permita tener una base sólida para

iniciar el diseño. De esta forma se espera aprovechar las experiencias y conocimientos adquiridos por otros y tratar de llegar de la mejor forma a una solución que cumpla adecuadamente las funciones que se decida tener.

### 3.1 Estado del arte

Los vehículos terrestres no tripulados son una de las diversos tipos de robots existentes actualmente. Como respuesta al objetivo principal de la robótica en general, los UGV han sido desarrollados con el fin de realizar tareas difíciles o peligrosas para el ser humano, tales como:

- Exploración y documentación de áreas de difícil acceso.
- Recolección de muestras.
- Inspecciones.
- Búsqueda y rescate de objetivos.
- Exploración en otros planetas.
- Detección y manipulación de explosivos.
- Detección de sustancias tóxicas o peligrosas.
- Labores de mantenimiento de equipos o infraestructura en ambientes peligrosos.

Todas estas labores pueden ser adelantadas sin comprometer la integridad y seguridad de las personas involucradas en la misión, ya sea que controlen el vehículo de forma remota o que estén interesadas en la información que éste obtenga de manera autónoma según lo programado.

El desarrollo histórico de los UGV se inició cerca de 1960, principalmente en universidades de Estados Unidos, (Gage, 1995). Posteriormente estos desarrollos se han expandido alrededor del mundo, pero centrados en los países más industrializados.

Precisamente las universidades de esos países han acumulado experiencia en el desarrollo de este tipo de vehículos, una muestra de ello es el DARPA *Grand Challenge*, evento auspiciado por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos en el cual diferentes UGV cumplen misiones de interés militar. Un ejemplo claro es la Universidad de la Florida, representada por el Team CIMAR, la cual ha hecho desarrollos en diferentes campos relacionados con los vehículos terrestres no tripulados, como el desarrollo de sistemas de sensores que permiten a los vehículos la detección de obstáculos (Crane et al., 2005).

También se han desarrollado plataformas de prueba para los nuevos proyectos, que consisten en vehículos terrestres comerciales modificados y automatizados (Tobler, 2004).

Son muy interesantes además los desarrollos de trabajo cooperativo integrando UAV y UGV, donde el vehículo aéreo se encarga de explorar el terreno y generar un mapa que luego será transmitido al vehículo terrestre para la navegación e identificación de objetos (Macarthur, 2005).

Si bien los principales desarrollos se concentran en los países industrializados, en América Latina se tiene referencia de estudios y proyectos adelantados desde hace varios años, referentes al control y detección de obstáculos en UGV (Bastos et al., 1998; Esquivel et al., 1998; Secchi, 1998).

En Colombia también se presenta gran interés en el desarrollo de sistemas terrestres autónomos. De acuerdo a la revisión de información actualizada, se puede identificar que se está trabajando en diferentes lugares del país y se han adelantado desarrollos en diferentes campos de la ingeniería, que finalmente pueden integrarse al desarrollo de UGV. Dentro de esa revisión se ha identificado lo siguiente:

- Desarrollo de sistemas de visión artificial, lo cual es importante para lograr que el vehículo se ubique en el entorno que lo rodea y pueda identificar objetivos, evadir obstáculos, etc (Calderón, 2005; González, 2005).
- Existen trabajos en los cuales se han desarrollado prototipos con aplicaciones en siniestros debido a incendios (Sierra et al., 2005).
- Desarrollos pensados en aplicaciones de desminado (Parra et al. 2005).
- Diseño y construcción de vehículos autónomos a pequeña escala con posibilidad de desplazamiento en terrenos difíciles, (Hernández et al., 2006), inspirados en los exploradores espaciales desarrollados por la NASA.

Habiendo explorado las aplicaciones y desarrollos de estos vehículos alrededor del mundo y haciendo énfasis en las necesidades e investigaciones previas que se encontró a nivel local, se procedió a definir los requerimientos que ha de cumplir este nuevo diseño.

### 3.2 Definición de los requerimientos del vehículo

Se diseñó un prototipo destinado a servir como plataforma de pruebas para múltiples aplicaciones y desarrollos posteriores. Por lo anterior el diseño del vehículo contempla los espacios y la flexibilidad para portar diversos elementos de hardware.

Algunas de las principales características que condicionaron el diseño del vehículo fueron las siguientes:

Capacidad de carga: el vehículo debe estar en capacidad de transportar su propia estructura, fuentes de potencia y movimiento, sensores básicos (*GPS*, unidad inercial, etc) y sistema central de procesamiento. Adicionalmente, debe transportar otros elementos que dependen de la aplicación que se requiere en determinado momento, tales como cámaras fotográficas o de video, sensores de especializados, manipuladores robóticos, etc.

Tamaño: el diseño pretende ser tan pequeño y compacto como lo permitan los componentes que debe portar, con el fin de facilitar el transporte y la manipulación del vehículo. Además se buscará minimizar la altura con el fin de permitir el acceso a sitios confinados y obtener mayor estabilidad. El tamaño condiciona el peso, se estimó que el peso máximo total del vehículo debería ser aproximadamente 10kg.

Disponibilidad comercial de los componentes: con el propósito de garantizar la intercambiabilidad de componentes y hacer el diseño económico, modular y reproducible, se utilizará la mayor cantidad de elementos comerciales disponibles en el mercado local.

Fuente de potencia: Después de contemplar los requerimientos de capacidad de carga, tamaño y disponibilidad comercial se decidió utilizar fuentes de potencia eléctrica, dado que son de fácil consecución y mantenimiento (con baterías recargables), los motores eléctricos son más compactos, permiten controlar la velocidad de forma más sencilla y en general tienen una relación menor peso potencia que los de combustión.

Maniobrabilidad: dado que el vehículo será una plataforma de pruebas para múltiples aplicaciones, se pretende que sea capaz de desplazarse por diferentes tipos de terrenos (grama, arena, tierra, piedras moderadamente homogéneas, pendientes hasta del 50%) con posibilidad de virar a izquierda y derecha con radios de giro menores a 0,50m y que pueda ejecutar movimiento en reversa.

Este requerimiento implica la realización de acuerdos entre la altura del vehículo y su estabilidad, dado que para mejorar la manipulación en terrenos irregulares es necesario tener altura, pero al aumentar la altura se pierde estabilidad del vehículo; por otro lado, el tamaño de las llantas también es crucial cuando se pretende enfrentar un terreno irregular, lo cual genera un requerimiento de torque mayor en las ruedas, al aumentar la distancia entre el centro de rotación y la superficie de desplazamiento.

Flexibilidad y modularidad: la intención de que el vehículo pueda portar diferentes equipos, crea la necesidad de tener espacios libres, con posibilidad de fijar elementos dentro de un límite de peso y tamaño; para ello se pretende que su estructura esté compuesta por módulos de fácil acceso, con posibilidad de ser ampliados o extendidos de acuerdo a las necesidades. Otros componentes del prototipo deberán ser fácilmente removibles, intercambiables y ajustables, para permitir hacer adaptaciones rápidas con presupuestos moderados.

Control: Se pretende implementar una estrategia de control automático que permita el desplazamiento autónomo del vehículo por rutas preestablecidas. El sistema de control requiere el uso de un GPS para determinar el posicionamiento global de vehículo, una unidad inercial, un procesador y actuadores que posibiliten el desplazamiento del vehículo por las trayectorias que se programen a las velocidades requeridas. Tanto las trayectorias como las velocidades estarán limitadas por la versatilidad del vehículo de acuerdo con su diseño mecánico.

Velocidad: No existe un requisito estricto de velocidad ni de aceleración; siendo consecuentes con la función principal del prototipo y con las restricciones de peso, tamaño y maniobrabilidad, se considera más importante dar capacidad de portar equipos y transportarlos por terrenos irregulares; se privilegia entonces que la potencia suministrada al vehículo se consuma en fuerza principalmente, no en velocidad. Se

considerará aceptable una velocidad de 4 km/h, similar a la de una persona caminando.

Robustez: Se buscará realizar un diseño mecánico robusto, seguro, estable, con capacidad de soportar fácilmente las cargas a las que se pretende someter; disminuyendo tanto como sea posible las pérdidas por fricción y así aprovechar al máximo la potencia que se suministre. Debe ser durable, de alta confiabilidad y poco mantenimiento.

Apariencia: El aspecto es fundamental en un equipo de este tipo, es importante que las piezas acoplen armónicamente dando la sensación de estabilidad, fortaleza y confiabilidad; de esta forma se favorecen las posibilidades de encontrar financiación para posteriores desarrollos en aplicaciones específicas.

Costos: Dado que es un proyecto interno, patrocinado por la Universidad, el presupuesto es limitado, se buscará que los componentes sean económicos, sacrificando algunas características técnicas de alto desempeño, algunos componentes se construirán en la misma Universidad o en talleres metalmecánicos con máquinas herramientas convencionales y se buscarán materiales de bajo costo.

### *3.3 Definición de la solución del problema*

Una vez estudiado el estado del arte de los UGV, revisando los requerimientos y contrastándolos contra las necesidades y recursos del proyecto, se definió la solución del problema, solución que permitió el desarrollo del diseño mecánico en los niveles básico y de detalle. La definición se expresó en los siguientes términos:

Se diseñará un vehículo terrestre tipo UGV, que pesará alrededor de 10 kg., suficientemente compacto para ser fácilmente transportado, pero con disponibilidad de espacio para portar equipos adicionales.

Estará apoyado en cuatro ruedas suficientemente grandes para sortear terrenos irregulares; se dotará con suspensión, dirección y frenos y su desempeño en su desempeño se privilegiará la capacidad de carga y el torque sobre la velocidad.

El diseño permitirá adaptaciones futuras, facilitará el mantenimiento, sin descuidar aspectos como la apariencia, la robustez, los costos de fabricación.

## **4. DISEÑO MECÁNICO**

Con miras a cumplir los requerimientos que se plantearon para el vehículo, se abordó el problema dividiéndolo en los siguientes subsistemas:

### *4.1 Subsistema de generación de potencia*

Agrupar fuente de alimentación, los motores y su respectiva transmisión de potencia hasta las ruedas.

Dados los requerimientos planteados y las ofertas comerciales disponibles se optó por utilizar motores eléctricos con reductores por engranajes planetarios. Esta combinación permite tener un paquete compacto que entrega

torques relativamente altos, además se posibilita el frenado del vehículo mediante el bloqueo electromagnético de los motores. Para simplificar la transmisión de potencia, reducir pérdidas, propiciar la flexibilidad y mejorar el desempeño, se decidió tener una configuración con un motor independiente para cada rueda acoplado de forma directa. Esto puede observarse en la Fig. 1.

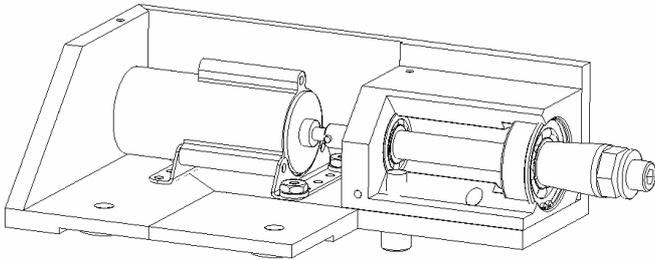


Fig. 1. Motor y eje de transmisión a la rueda.

#### 4.2 Subsistema de suspensión

De acuerdo a la decisión tomada en el subsistema de potencia, se tiene tracción independiente en las cuatro ruedas. Sin embargo, si se utilizara una configuración rígida de las ruedas podría causar pérdidas de tracción en alguna de ellas, especialmente si el terreno es irregular. Debido a lo anterior es importante contar con un sistema de suspensión independiente en cada rueda que ayude a mantener el contacto permanente con la superficie y de ser posible ayude a mejorar la capacidad de movilidad del vehículo.

Se opta entonces por un sistema de suspensión pasiva independiente en las cuatro ruedas. Este tipo de suspensión implica que no existe un control sobre los elementos que la conforman, por lo que el vehículo simplemente se adapta al terreno por medio de sus amortiguadores y resortes.

Las llantas forman parte del sistema de suspensión, y su tamaño es el responsable de definir el máximo obstáculo que podrá sortearse. La altura del obstáculo mayor que puede pasarse es un poco menor que el radio de las ruedas. Después de una revisión de la disponibilidad comercial de estos elementos se seleccionaron de 150mm de diámetro, por lo que se estima que el vehículo puede sortear obstáculos hasta de unos 70mm. El material, labrado y ancho son adecuados para mejorar el agarre. La Fig. 2 muestra un módulo de suspensión y su rueda.

En cuanto al sistema de dirección, si bien un sistema articulado tiene grandes ventajas por su eficiencia, aumentaría la complejidad y el costo del prototipo por requerir de mecanismos articulados más complejos y precisos. Además se restaría modularidad al diseño. Con lo anterior se decidió usar un método más simple, aunque menos eficiente, que se facilita al tener motores independientes en las cuatro ruedas, este sistema es conocido como *differential steering*. Este sistema es fácil de controlar, robusto y permite tener radios de giro iguales a cero.

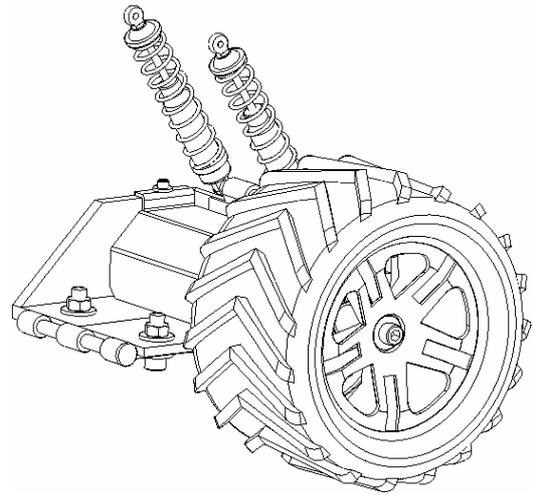


Fig. 2. Suspensión.

#### 4.3 Chasis

Este subsistema permitirá la flexibilidad del vehículo y su posibilidad de servir como plataforma para diferentes instrumentos en investigaciones futuras. Además, debe proveer un sistema de unión confiable con los demás subsistemas y un soporte adecuado al hardware y los equipos opcionales que puede cargar, además del espacio suficiente para hacerlo.

Se llegó a un diseño robusto a partir de perfiles de aluminio comerciales unidos por medio de tornillos, esto facilita que la plataforma pueda desarmarse para cambiar piezas y alterar las dimensiones del chasis o adaptar piezas especialmente diseñadas para fijar otros elementos. En la Fig. 3 puede observarse que se ubicaron múltiples agujeros con la finalidad de disminuir peso y brindar puntos de anclaje.

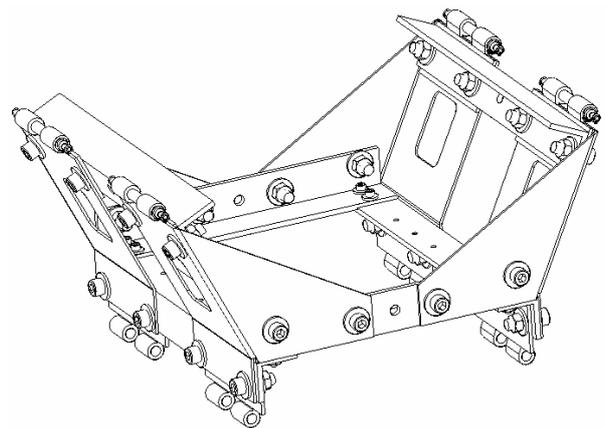


Fig. 3. Chasis.

#### 4.4 Hardware

El *hardware* básico que contiene el vehículo consiste de un microprocesador con acelerómetros integrados, un módulo de *GPS*, un magnetómetro y un *router* inalámbrico. Este hardware se encargará de alimentar y ejecutar los algoritmos de control que se diseñen, además permite la comunicación

con una estación fija, donde se monitoreará el estado del vehículo y se recibirá información de los instrumentos instalados en el mismo. La fuente de potencia del *hardware* será independiente de la que alimenta los motores, con el fin de no tener inconvenientes con los picos de consumo.

La Fig. 4 muestra un explosionado del *hardware* con respecto al vehículo. Los circuitos principales están protegidos por una caja de aluminio diseñada para este propósito.

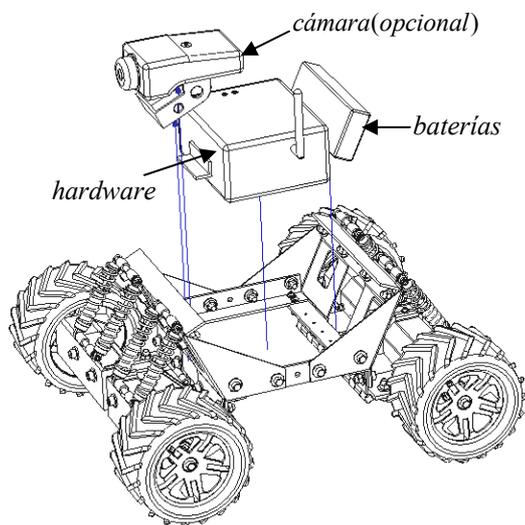


Fig. 4. Elementos de hardware

#### 4.5 Integración y especificaciones finales

La interacción entre los subsistemas ya descritos puede verse de forma gráfica en la Fig. 5. y el vehículo diseñado se observa en la Fig. 6.

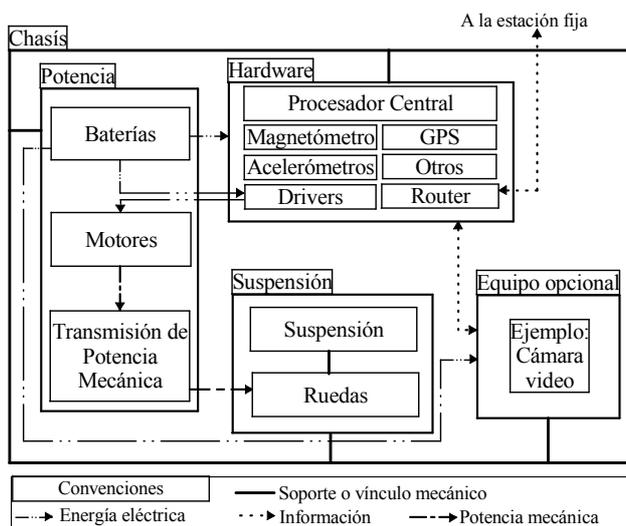


Fig. 5. Subsistemas del vehículo

El resultado es un vehículo de aproximadamente 8 kg, con posibilidad de cargar 3 kg adicionales, con una velocidad máxima esperada de 4.5 km/h, tracción en sus cuatro ruedas, capaz de superar obstáculos de aproximadamente 70 mm de altura y desplazarse por pendientes del orden de 58%.

Además está en capacidad de comunicarse con una estación fija en tierra por medio de un enlace inalámbrico.

Las características de modularidad están sustentadas en la posibilidad de intercambiar diferentes elementos del chasis, que permiten extender la longitud de vehículo, permitiendo la instalación de equipo adicional. También el sistema de transmisión puede ser reconfigurado, permitiendo tener tracción sólo por dos ruedas, esto aumentaría la autonomía en terrenos poco demandantes. Cabe anotar que si se construyen varios vehículos de este tipo, los componentes serían fácilmente intercambiables entre ellos.

El resumen de características principales del vehículo diseñado se puede ver en la Tabla 1.

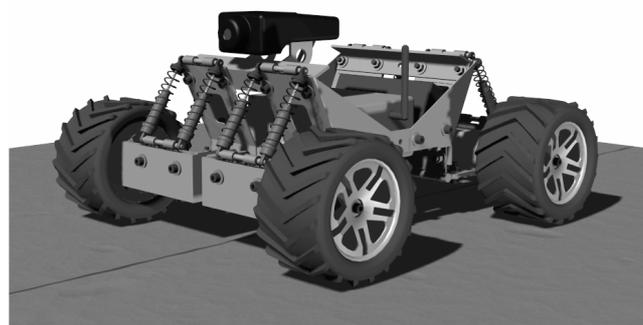


Fig. 6. Vista general del vehículo portando una cámara IP.

Tabla 1. Características generales.

Característica	Especificación
Tamaño (mm): Largo x Ancho x Alto.	475 x 435 x 132
Peso sin equipo adicional.	8 kg
Velocidad máxima.	4.5 km/h
Autonomía esperada.	30 minutos
Pendiente máxima en terreno homogéneo	58% - aprox. 30°
Carga máxima adicional	3 kg
Sistema de comunicación con estación	Ethernet inalámbrico

Para la construcción del prototipo se trabajará con elementos comerciales como motores, ruedas y suspensión. Las piezas que deben fabricarse son de aluminio y acero y fueron diseñadas de tal modo que requieren procesos básicos de manufactura como cortes, fresado, taladrado, doblado y soldadura que son de fácil elaboración a nivel local.

#### 5. TRABAJOS FUTUROS

Actualmente los componentes comerciales para el prototipo ya han sido adquiridos y los demás se encuentran en construcción y se espera armarlo en el corto plazo. Inicialmente se pretende verificar el desempeño del vehículo verificando su velocidad, capacidad de subir pendientes y autonomía de batería. Estas características se pueden

comprobar por medio de pruebas sencillas en ambientes controlados.

Se podrán implementar aplicaciones específicas mediante la adaptación de manipuladores robóticos, cámaras especializadas, equipos especializados para toma de muestras y otros.

En este sentido, se pretende seguir trabajando alrededor del tema, implementando diferentes estrategias de control y probando diferentes tipos de sensores, que permitan superar obstáculos, optimizar recorridos y consumos de potencia y mejorar la maniobrabilidad. Se requiere además profundizar los conocimientos del Grupo en el tema de visión artificial y la familiarización con el uso de ladares, radares y otros instrumentos de percepción del entorno, que permitan mejorar la autonomía en la navegación terrestre.

La plataforma diseñada también permite la evaluación mecánica del sistema de dirección basado en la diferencia de tracción entre dos ruedas, conocido como *differential steering*, de la misma forma se pueden estudiar las ventajas de tener tracción adelante, atrás o en las cuatro ruedas de acuerdo con el terreno por el que se transite y con las funciones que se pretenda desempeñar.

Este diseño también podría ser escalable para adaptarse a tareas con mayores requerimientos de movilidad, velocidad y capacidad de carga.

## 6. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Universidad Pontificia Bolivariana que apoyó el proyecto a través del Centro Integrado para la Investigación CIDI y las facultades de Ingeniería Mecánica e Ingenierías Eléctrica y Electrónica.

## 7. CONCLUSIONES

El vehículo diseñado es una plataforma fácilmente adaptable, con posibilidad para probar diferentes estrategias de control. Permite además la utilización de diferentes equipos especializados para múltiples aplicaciones que pueden comercializarse en el futuro.

Es importante contar con una plataforma versátil para iniciar investigaciones en profundidad alrededor del tema de la navegación terrestre autónoma, dadas sus innumerables aplicaciones y la necesidad constante de evaluar y validar, diversas estrategias y sensores en forma rápida y a bajo costo.

## REFERENCIAS

Bastos, Teodiano y Indelicato, Alfonso. (1998). Object recognition for mobile robots using fuzzy logic and ultrasonic sensors. *Memorias del VIII Congreso Latinoamericano de Control Automático*. Chile.

Calderón, J.M. (2005). Sistema de navegación autónomo utilizando visión artificial para robot humanoide. En: *IEEE - CWRA 2005 Colombian Workshop on Robotics and Automation*. Bogotá, UPJ.

Crane, C., et al. (2005) Development of an integrated sensor system for obstacle detection and terrain evaluation for

application to unmanned ground vehicles. *SPIE Defense and Security Symposium*. Orlando.

Esquivel, Wilson y Chiang, Luciano. (1998). Control cinemático del vehículo agv-puc. *Memorias del VIII Congreso Latinoamericano de Control Automático*. Chile.

Gage, Douglas W. A. (1995). Brief history of unmanned ground vehicle (ugv) development efforts. En: *Unmanned Systems Magazine*.

González, Nestor. (2005). Sistema de visión por computadora para la medición de distancia e inclinación de obstáculos para robots móviles. En: *IEEE - CWRA 2005 Colombian Workshop on Robotics and Automation*. Bogotá, UPJ.

Gutiérrez, L. et al (2007). Diseño básico de un vehículo operado remotamente (ROV) para inspección subacuática de instalaciones portuarias. En: *Memorias del III IEEE Colombian Workshop on Robotics and Automation*. CWRA. Cartagena.

Hernández, D. et al (2006). Diseño y Construcción de un Vehículo Autónomo Tipo Rover "Didajo". En: *Memorias del II IEEE Colombian Workshop on Robotics and Automation*. CWRA. Bogotá.

Macarthur, E., et al. (2005). Use of cooperative unmanned air and ground vehicles for detection and disposal of simulated mines. In: *Proceedings of the SPIE conference on Intelligent Robots and Computer Vision XXIII: Algorithms, Techniques, and Active Vision*. Boston.

Parra, C., et al. (2005). Diseño del control de un brazo para desminado humanitario. En: *IEEE - CWRA 2005 Colombian Workshop on Robotics and Automation*. Bogotá, UPJ.

Ramírez, J. et al. (2007a). Mechanical/Naval Design of an Underwater Remotely Operated Vehicle (ROV) for Surveillance and Inspection of Port Facilities. In: *Proceedings of the ASME 2007 International Mechanical Engineering Congress and Exposition IMECE2007*. Seattle, WA.

Ramírez, J. et al. (2007b). Diseño Mecánico de un Vehículo Sumergido Operado Remotamente para Inspección Subacuática. En: *Memorias del VIII Congreso Iberoamericano de Ingeniería Mecánica CIBIM8*. Cusco, Perú.

Secchi, Humberto. (1998). AGV obstacle avoidance using impedance control based on ultrasonic sensing. *Memorias del VIII Congreso Latinoamericano de Control Automático*. Chile.

Sierra, Paulo y Bermúdez, Giovanni. (2005). Robot para detección de focos de incendios "Flamebot". En: *IEEE - CWRA 2005 Colombian Workshop on Robotics and Automation*. Bogotá, UPJ.

Tobler, C. (2004). Development of an autonomous navigation technology test vehicle. M.S. Thesis. University of Florida, 2004. Disponible en: [http://cimar.mae.ufl.edu/CIMAR/pages/thesis/tobler\\_MS.pdf](http://cimar.mae.ufl.edu/CIMAR/pages/thesis/tobler_MS.pdf)

Vásquez, J. et al. (2006). Diseño básico de un vehículo aéreo no tripulado de ala fija para misiones de inspección remota de rango medio. En: *Memorias del II IEEE Colombian Workshop on Robotics and Automation CWRA*. Bogotá.