

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/333631881>

# VALI: Desarrollo y Evolución de un Robot Para Neutralizar Explosivos

Article in *RISTI - Revista Iberica de Sistemas e Tecnologías de Informacao* · February 2019

CITATIONS

0

READS

206

3 authors, including:



**Oscar Fernando Avilés Sánchez**  
Nueva Granada Military University

122 PUBLICATIONS 111 CITATIONS

SEE PROFILE



**Olmer Garcia-Bedoya**  
Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano

30 PUBLICATIONS 67 CITATIONS

SEE PROFILE

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



Assessment system for patient's engagement and its influence in stabilometry therapies [View project](#)



Reinforcement learning in swarm robotics [View project](#)

## VALI: Desarrollo y Evolución de un Robot Para Neutralizar Explosivos

Ramirez H.F.<sup>1</sup>, Garcia-Bedoya O.<sup>2</sup>, Aviles O.<sup>1</sup>

hoffman.ramirez@unimilitar.edu.co , olmer.garciab@utadeo.edu.co, oscar.aviles@unimilitar.edu.co

<sup>1</sup> Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá, Colombia.

<sup>2</sup> Universidad de Bogota Jorge Tadeo Lozano, Bogotá, Colombia.

**Pages: 355–368**

**Resumen:** Este documento muestra de manera cronológica, el desarrollo del proyecto VALI (Vehículo Antiexplosivos Liviano), destinado a apoyar las labores de neutralización de explosivos de las fuerzas armadas de Colombia. Durante el desarrollo del proyecto, realizado en una alianza entre universidad- empresa-estado, se construyeron dos prototipos, VALI 1.0 y 2.0. En este documento se describen los parámetros de diseño de cada uno, las fortalezas y debilidades de cada prototipo, y se concluye con un análisis de las fallas obtenidas y las recomendaciones para mejorarlas. Este documento aborda el desarrollo desde un punto de vista analítico y cualitativo, con el fin de comprender aspectos clave en el diseño conceptual de un proyecto de esta clase.

**Palabras-clave:** Robot híbrido, diseño conceptual, neutralización de explosivos, teleoperación.

### *VALI: Development and Evolution of a Robot to Neutralize Explosives*

**Abstract:** This document shows the chronological way, the development of the VALI (Light Anti-Explosives Vehicle in spanish) project, designed to support the work of neutralization of the armed forces of Colombia. During the development of the project, carried out in an alliance between university-company-state, two prototypes, VALI 1.0 and 2.0, were built. This document describes the design parameters of each one, the strengths and weaknesses of each prototype, and concludes with an analysis of the failures and the recommendations for improvement. This document addresses development from Este documento muestra de manera cronológica, el desarrollo del proyecto VALI (Vehículo Antiexplosivos Liviano), destinado a apoyar las labores de neutralización de explosivos de las fuerzas armadas de Colombia. Durante el desarrollo del proyecto, realizado en una alianza entre universidad-empresa-estado, se construyeron dos prototipos, VALI 1.0 y 2.0. En este documento se describen los parámetros de diseño de cada uno, las fortalezas y debilidades de cada prototipo, y se concluye con un análisis de las fallas obtenidas y las recomendaciones para mejorarlas. Este documento aborda el desarrollo desde un punto de vista analítico y cualitativo, con el fin de comprender aspectos clave en el diseño conceptual de un proyecto de esta clase an analytical and qualitative point

of view, in order to understand key aspects in the conceptual design of a project of this kind.

**Keywords:** *hybrid robot*, conceptual design, tele-operation, explosives neutralization.

## 1. Introducción

En Colombia, el uso de artefactos explosivos con fines terroristas y bélicos han sido usados frecuentemente, dejando una gran diversidad de daños materiales y pérdidas humanas, sin contar los traumas y lesiones permanentes que dejan en las personas que sobreviven a dichos actos (Carrillo et al,2014), (Vasquez,2015). A nivel urbano, los artefactos explosivos fueron usados por la década de los 80 y 90 por delincuentes, que buscaban no solo la muerte de personas, sino dejar una marca en la sociedad de miedo y terror.

Los artefactos explosivos improvisados (AEI) son usados más comúnmente en zonas rurales o cascos urbanos ubicados cerca de las zonas rurales. Ataques a la población civil y personal de las fuerzas armadas son perpetrados por grupos al margen de la ley a través de cilindros bomba, paquetes bomba y minas quiebra pata. En algunas ocasiones estos elementos son detectados, ya sea por población civil o militar, haciendo que la desactivación o neutralización de dicho artefacto se vuelva una tarea de alta prioridad y riesgo.

La desactivación de un artefacto de este tipo muchas veces no es compleja, pero siempre presenta un alto grado de riesgo para la persona que lo realiza. La neutralización, que se puede considerar como una desactivación destructiva, busca neutralizar el artefacto explosivo, destruyendo componentes o sistemas clave para su funcionamiento por cualquier medio. Debido a que la neutralización no requiere un manejo delicado del artefacto explosivo, comparado con una desactivación, reduce el riesgo para las personas involucradas, en parte por el menor tiempo de con acto o cercanía al artefacto explosivo y la distancia que se maneja.

Las formas más comunes de neutralización de un artefacto explosivo son la destrucción de componentes clave (baterías, circuitos, cables) del artefacto por medio de cargas disruptoras (agua, arena, proyectiles de plastilina o de cobre, etc), o por medio de contra cargas explosivas que se colocan cerca del artefacto. Estas últimas, también son utilizadas para hacer otro tipo de operaciones, que son las activaciones controladas de los artefactos explosivos, gracias a la simpatía de la explosión que se da cuando un explosivo detona cerca de otro. La Figura 1 presenta de forma simplificada un proceso de neutralización realizado por las fuerzas armadas.

Para cualquier escenario, ya sea por medio de cargas disruptoras (Alford,2003) o por medio de contra cargas, siempre es necesario llevar dicho elemento cerca del AEI. Esta fase presenta el mayor riesgo para el personal antiexplosivos, pues es cuando los artefactos estallan, ya sea por activación remota o por un error humano durante el procedimiento. El personal antiexplosivo cuenta con trajes blindados, los cuales le dan a la persona un grado de protección a la onda explosiva, y especialmente, a la metralla que sale disparada durante la explosión. Sin embargo, estos trajes no dan una protección del 100%, y si la explosión es muy fuerte o la persona se encuentra cerca al AEI, la onda explosiva destruye los órganos internos de la persona, generando lesiones graves que pueden llevar a la muerte.



Figura 1 – Neutralización de un artefacto explosivo

Para reducir el riesgo durante un procedimiento de neutralización, el personal antiexplosivo usa vehículos controlados remotamente, los cuales están encargados de llevar los elementos hasta el AEI y de la manipulación del artefacto posterior a la neutralización, para verificar la efectividad del disparo con carga disruptiva o de la destrucción del paquete con contra carga.

El presente artículo está organizado de la siguiente manera: en el capítulo 2 se describen los referentes más relevantes que se tuvieron en cuenta para diseñar los prototipos 1 y 2 del robot; el capítulo 3 describe de manera breve los sistemas mecánico y electrónico de cada prototipo; el capítulo 4 expone los sistemas de fabricación e implementación; el capítulo 5 muestra las pruebas que se realizaron sobre cada robot; y finalmente, el capítulo 6 muestra las conclusiones y recomendaciones mas relevantes sobre los dos desarrollos.

## 2. Referentes de diseño

Los vehículos que fueron usados de referente por parte de los diseñadores del VALI 1.0 y 2.0, se basan en las recomendaciones del personal de antiexplosivo de las Fuerzas Armadas de Colombia, quienes, basados en su experiencia con el manejo de estos equipos, determinaron las ventajas y falencias, con el objeto de definir los requisitos de los prototipos a crear.

Uno de los vehículos tele operados que se tienen dentro de los inventarios de las fuerzas armadas, y que ha sido usado en labores de neutralización, es el Andros de Northrop Grumman. Este vehículo posee un sistema de orugas, el cual puede ser escalado a un sistema de ruedas. Posee un brazo manipulador con diferentes configuraciones, un efector final tipo pinza con mecanismo de 4 barras, sistema de cámaras, y una gran capacidad de carga. Posee los accesorios para llevar cañones disruptores, y un control remoto basado en pulsadores e interruptores. Este equipo posee un alto peso, lo que lo hace difícil de transportar. Por esta razón, sumado a su tipo de control y tecnología obsoleta, no es un equipo muy usado para operaciones de neutralización de explosivos.

Otro equipo que poseen las fuerzas armadas para operativos de neutralización es el Allen Vanguard. Se trata de un equipo pequeño, fácil de transportar por dos personas, y que se puede llevar al sitio del operativo fácilmente en un vehículo pequeño tipo camioneta pick up. Posee un sistema de tracción por oruga y un brazo manipulador. Debido a su tamaño, posee una capacidad de carga limitada, pero es suficiente para llevar un cañón disruptor sin problemas. Su efector final es una pinza, su control posee botones y palancas tipo

joystick, y su sistema visión posee varias cámaras. Este equipo fue uno de los referentes más importantes para el diseño de los prototipos VALI 1.0 y 2.0.

Siguiendo con la descripción de equipos para neutralización de explosivos usados por las fuerzas armadas en Colombia, encontramos el iRobot (Yamauchi,2004). Este equipo, similar al Allen Vanguard, posee sistema de tracción por medio de orugas y brazo manipulador. Es un robot compacto, de bajo peso que puede ser llevado por una persona en distancias cortas, y que posee una pinza para manipulación de objetos.

Finalmente encontramos al Talon, uno de los equipos más conocidos y usados a nivel mundial, y que está a disposición de los técnicos antiexplosivos en Colombia. Este equipo fue el referente más fuerte al momento de diseñar los robots del proyecto VALI. El Talon es un robot rápido, robusto, compacto, de bajo peso y que puede ser transportado por dos personas. Ocupa un volumen pequeño, y es transportable en vehículos pequeños. Posee un brazo manipulador con capacidad de llevar cañón disruptor, y pinza multi propósito para manipulación de objetos. También posee sistema de cámaras y un buen alcance inalámbrico.

Otros referentes utilizados se basan en los trabajos presentados por (Wei,2009), (Xuewen,2009) y (Fracchia,2015).

### **3. Estructuración del diseño**

El prototipo VALI 1.0, además de tener la dificultad de ser el primero de ellos, tuvo un corto tiempo para su desarrollo. Este factor, el tiempo, no permitió realizar de manera completa la definición de características de cliente, y, por consiguiente, las especificaciones técnicas finales del VALI 1.0 no fueron las mejores.

Las características iniciales que se tomaron en cuenta para el diseño del VALI 1.0 fueron: Bajo peso; Capacidad de andar en terrenos no estructurados; Capacidad de manipular elementos; Teleoperado.

El diseño del VALI 1.0 fue elaborado a partir de las características anteriores y de los referentes que existían en las Fuerzas Armadas, particularmente el Allen Vanguard. Una vez finalizado este prototipo, la estructuración del Vali 2.0 fue sencilla, pues en parte consistió en mejorar las fallas del Vali 1.0, y por otra parte fue más fácil identificar los aspectos clave de este prototipo por parte de los clientes potenciales (fuerzas armadas).

El proyecto se dividió en dos partes: estructura mecánica y sistema electrónico. Inicialmente cada aspecto fue desarrollado de manera independiente, pero a medida que el diseño mecánico y electrónico fueron avanzando, la comunicación entre las dos partes se dio de manera natural, particularmente cuando se tenían que definir los siguientes subsistemas: motores, sensores finales de carrera, equipos electrónicos por montar en el robot, cámaras y cableado.

#### **3.1. Sistema Mecánico.**

Los robots Vali son robots híbridos, es decir, constan de una plataforma móvil y de un brazo manipulador. La Figura 2 presenta los diseños finales de ambos prototipos, los cuales tenían las siguientes características en común:

1. Poseían un sistema de orugas de motores independientes, para desplazarse en terrenos no estructurados, poder dar giros sobre su eje, subir escaleras y arrastrar cargas pesadas.
2. Tenían servomotores DC con cajas reductoras y frenos, para poder controlar la velocidad, brindar un alto torque, y mantener la posición del brazo, incluso estando sin energía.
3. Brazo manipulador antropomórfico, de 4 GDL en el Vali 1.0, y de 5 GDL en el Vali 2.0, con pinza de dos dedos para manipulación de elementos.
4. Sistema de cámaras y luces para facilitar el desplazamiento de la plataforma y la operación del brazo manipulador del robot.
5. Estación para la teleoperación del robot, con capacidad para conectarse inalámbrica o alámbricamente, y sistema de operación con dispositivo tipo gamepad

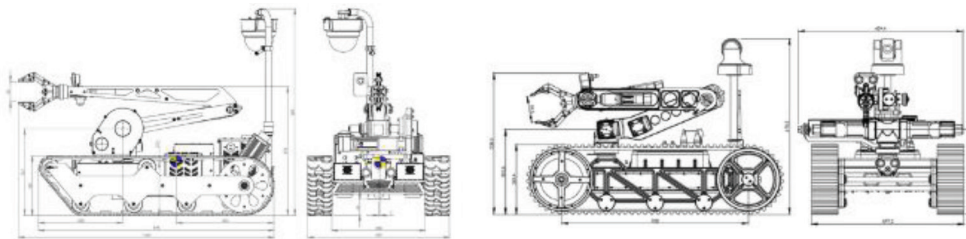


Figura 2 – Vistas ortogonales y dimensiones de los robot Vali 1.0 y Vali 2.0

Los prototipos finales de ambos robot se ven en la Figura 3.

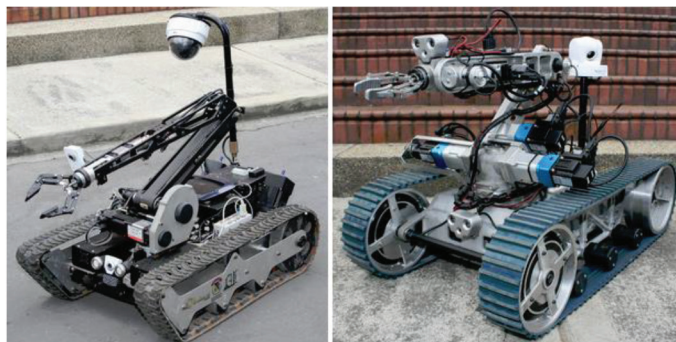


Figura 3 – Prototipo final VALI 1.0 (izquierda) y VALI 2.0 (derecha)

### 3.2. Sistema Electrónico.

Esta sección del robot contempla todos los componentes de hardware y software del robot como son los sistemas de actuación, comunicaciones, visión, centrales de procesamiento de datos, fuentes de energía entre otros elementos que son necesarios

para el cumplimiento de su función. La arquitectura del sistema Electrónico de VALI 1.0, tanto en hardware como en software, es presentado (Garcia,2010).

Desde la perspectiva de hardware la arquitectura de VALI 1.0 tenía como unidad procesamiento un sistema embebido con Linux como sistema operativo (SO), conectado a una red CANOpen (Pfeiffer,2008) a través de un gateway a una red de servomotores (con especificaciones MIL-STD-810, MIL-STD-127 5 y MIL-STD-704) y a través de ethernet a tres cámaras IP; finalmente, como estación de control se utiliza un computador para entornos industriales. La arquitectura de hardware del robot VALI 2.0 con respecto a la de VALI 1.0, en su concepto fue muy similar, sin embargo, los dispositivos que la componen cambiaron con la finalidad de disminuir el consumo de energía y los costos. Las cámaras fueron cambiadas por usb y las comunicaciones ethernet fueron integradas en el sistema embarcado, eliminando la necesidad de un router. Por otro lado, el manejo de señales de análogas y digitales fueron enviados a un microcontrolador conectado por protocolo USB, lo que permitió realizar estas tareas con baja latencia y aumentar la capacidad de tareas de grande procesamiento en el sistema con SO Linux.

Otra deficiencia solucionada en el segundo prototipo fue la comunicación inalámbrica, dado que al eliminarse el router en el robot se pudo probar diferentes comunicaciones punto a punto con sistemas de antenas MIMO que permitieron aumentar la distancia de trabajo y las latencias de comunicaciones. Adicionalmente, esto abrió un manejo granular de las comunicaciones entre el robot y la estación de control a través del uso de *iptables* en el sistema embarcado, permitiendo tener una red local segura en el robot.

Desde el punto de vista de software, el robot empleo una arquitectura de software modular basado en servicios independientes ejecutándose en el sistema embarcado, con comunicaciones internas basadas en diferentes estrategias de comunicación entre proceso como: Memoria compartida, arreglos FIFO (*first input, first output*) y el uso de semáforos. Para la comunicación con la estación central se desarrolló un protocolo REST (*Representational State Transfer*) sobre HTTP ejecutando procesos por cgi (*Common Gateway Interface*). Uno de los problemas encontrados en VALI 1.0 sobre esta arquitectura es que las peticiones tomaban cerca de 10ms entre dos computadores cableados en una misma subred, causado principalmente por los tiempos que requiere un programa para ser creado a través del protocolo cgi, por lo tanto, se cambió al protocolo fastcgi porque permite la ejecución persistente de los programas que procesan las peticiones HTTP, sin perder la seguridad de ejecutarse en procesos aislados del servidor web.

La Figura 4 presenta un diagrama de los procesos que se ejecutan en el robot, donde los servicios de DPIC y DSERIAL se comunicaban directamente con el hardware del robot, los cuales son consumido por el programa DCDM que tiene programado todas las reglas de comportamiento del robot, que a su vez puede recibir comandos desde peticiones HTTP o a través de un joystick conectado por infrarrojo al sistema embebido. Finalmente, el computador también ejecuta los programas del servidor web, de transmisión web de las cámaras web conectadas al vehículo y de administración de las funciones de red.

## 4. Implementación

Aunque los robots poseen configuraciones similares, las diferencias entre ellos de diseño, se vieron reflejadas en la forma como cada uno de ellos se implementó. En esta sección se hace una breve descripción del proceso de fabricación e implementación de cada uno.

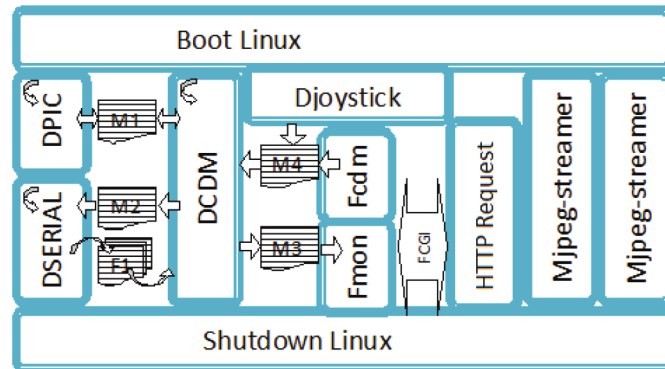


Figura 4 – Arquitectura de software en el sistema embebido del robot VALI 2.0

### 4.1. VALI 1.0

Las partes más grandes de este robot, pertenecientes al chasis de la plataforma móvil y a los eslabones del brazo manipulador, fueron creados a partir de chapa de duraluminio ANSI 6063 de 0.25” de espesor. Este material fue cortado por agua y todas las chapas fueron implementadas de manera recta, es decir, ninguna tenía pliegues, debido a la dificultad para plegar este material. El sistema de orugas también fue implementado en este material y con los mismos métodos manufactura, pero en un calibre menor (calibre 12).

La chapa metálica en acero AISI 1023 de 1.2mm de espesor también fue utilizada para la creación de otras partes, tanto de estructura mecánica como de soporte electrónico. Por ejemplo, todo el sistema electrónico fue contenido en cajas hechas con chapa de acero, y las uniones de las partes que conforman el chasis de la plataforma móvil, así como los elementos que dieron soporte al cableado y al sistema de la cámara panorámica fueron implementados también con chapas de acero, con diversos pliegues para aumentar la rigidez de las partes. Esta chapa procesada por punzonado cnc, y los plegados fueron hechos con plegadoras de penetración manuales.

Las demás partes fueron mecanizadas en máquinas convencionales y cnc, a partir perfiles comerciales de diferentes materiales. La Figura 5 presenta algunas de las piezas anteriormente descritas.

El sistema de orugas (banda y catarina motriz) fue adquirido por internet, y era parte de un sistema de orugas de una máquina para trabajos agrícolas. Lamentablemente este sistema no funcionó muy bien, debido a que el paso de la banda se perdía respecto al paso de la catarina, y a que la oruga se salía del sistema cuando el robot daba giros sobre su eje (Ramirez,2014).





Figura 5 – Chapas de duraluminio cortadas por agua (izquierda). Chapas de acero punzonadas (centro). Piezas mecanizadas de diversos materiales (derecha).

El sistema electrónico en este robot fue algo complejo (Figura 6), en parte por los sistemas que se usaron, los cuales requerían demasiadas conexiones, y por la ausencia de modelado del cableado en el diseño CAD. Si bien se tenían planos sobre las conexiones necesarias para el robot, los calibres, número de cables, radios de curvatura y empalmes electrónicos fueron subestimados, resultando en el verdadero reto de implementación al momento de montar los sistemas en el robot.



Figura 6 – Conexión manual de los diferentes sistemas en el robot (izquierda). Vista interna de la caja de control de motores (centro). Tráfico de cables que bajan del brazo manipulador a las cajas de control ubicadas en la plataforma móvil (derecha).

#### 4.2. VALI 2.0

Debido a las limitaciones en geometría que se vieron con el prototipo VALI 1.0, en este segundo prototipo se trabajaron diversas partes en fundición de aluminio. Gracias a que la tecnología del prototipado rápido es muy conocida y ofertada, contratar dicho servicio no es tan costoso como lo era unos años atrás. Partes del chasis de la plataforma móvil, la catarina del sistema de orugas, los eslabones del brazo manipulador y algunas partes centrales de los diferentes mecanismos que operan el brazo manipulador fueron hechas en fundición de aluminio, con su respectivo mecanizado posterior (Figura 7).

En este robot la chapa metálica no tuvo una participación tan alta como en su predecesor, el Vali 1.0. En este prototipo solo se usó la chapa metálica para crear parte del cuerpo de la caja electrónica.



Figura 7 – Eslabones del brazo manipulador ensamblados a la cadera del robot (izquierda). Partes fundidas y mecanizadas de la plataforma móvil y listas para ensamble (centro). Caja del sistema electrónico con algunos componentes dentro de ella (derecha).

El diseño de este robot tuvo diversas mejoras, pero entre las más relevantes tenemos:

1. Se diseñó el acople entre el brazo manipulador y la plataforma móvil de manera que el ensamble fuera más sencillo, sin tener que afectar sistemas adicionales como la parte electrónica o los puntos de soporte de los cables.
2. El sistema de orugas se construyó a partir de una banda entera, es decir, no requería de una unión mecánica para mantenerla unida. Se eliminó el dentado en la banda de manera que no hubiera problemas por pérdida de sincronía del dentado de la catarina con la banda. Además, se incluyó un sistema de tensión robusto, que permitiera el ajuste de la distancia entre centros de las ruedas con herramientas manuales.
3. Se concentró toda la electrónica en una sola caja (Figura 8), de manera que se redujera el tráfico de cables exterior y se asegurara la integridad de los diferentes componentes electrónicos. Además, se diseñó completamente sellada, con conexiones a prueba de agua, para garantizar la operabilidad del sistema bajo condiciones adversas.
4. Se agregó un grado de libertad adicional en la muñeca, para facilitar la manipulación de objetos.
5. El sistema de soporte de la cámara panorámica se diseñó de una manera más robusta para evitar las vibraciones en las imágenes transmitidas a la estación remota.



Figura 8 – Caja electrónica con los componentes montados y conectados (izquierda). Caja electrónica completamente armada y cerrada (centro). Brazo manipulador conectado a la caja electrónica (derecha).

## 5. Pruebas

El VALI 1.0 solo tuvo una prueba de campo, en la que se verificó la capacidad del sistema de orugas para desplazarse en terrenos no estructurados, y la capacidad de manipulación de objetos por parte del brazo manipulador. El VALI 2.0 tuvo diferentes pruebas de campo, en las que además de verificar la capacidad de desplazamiento del sistema de orugas y la manipulación de objetos del brazo manipulador, se verificó la potencia del sistema de tracción, la rigidez del brazo ante disparos con cañón disruptor, el alcance de la señal inalámbrica y la calidad del sistema de visión para teleoperar el robot.

### 5.1. VALI 1.0

Las pruebas de este robot se llevaron a cabo en un campo donde se llevan a cabo pruebas de equinos. Se eligió este terreno debido a la gran dificultad que representa para el desplazamiento de un vehículo. Además, posee diferentes obstáculos que fueron útiles para verificar la capacidad del robot para sobrepasar obstáculos.

Una de las pruebas consistió en verificar la capacidad del robot para subir planos inclinados como se muestra en la Figura 9. Gracias a los elementos disponibles en el campo de pruebas, se pudo armar una rampa, en la cual se evidenció la capacidad del robot para subir rampas de 30° sin arranque inicial, es decir, partiendo desde el reposo en la misma rampa.



Figura 9 – Prueba de desplazamiento en pendientes (izquierda). Prueba de paso de obstáculos consecutivos (centro). Prueba de superación de obstáculos de gran tamaño (derecha).

### 5.2. VALI 2.0

A este robot, gracias al conocimiento adquirido con su antecesor, se le realizaron diversas pruebas para verificar la funcionalidad del mismo. En la Figura 10, por ejemplo, se ven las pruebas que se le realizaron al sistema de orugas para verificar la capacidad de desplazamiento del robot en escaleras y terrenos inclinados.



Figura 10 – Prueba subiendo escaleras (izquierda). Prueba de desplazamiento sobre pendientes (centro). Desplazamiento sobre terrenos inclinados (derecha).

Otra prueba que se la aplicó a esta plataforma fue la de carga, en la que se verificó la capacidad del robot de arrastrar pesos muertos. En la Figura 11 se ve al robot arrastrando un peso de 45kg en una superficie de caucho, así como a un vehículo de más de 1000 kg en un terreno plano.

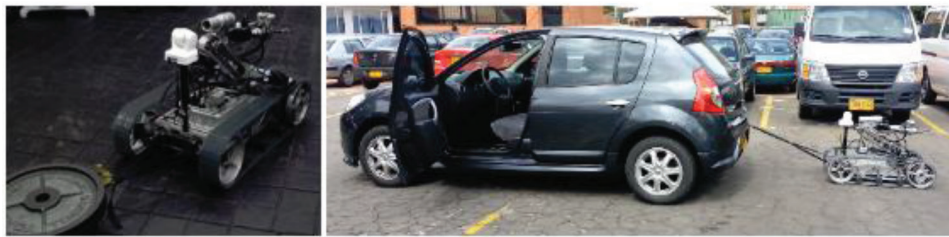


Figura 11 – Prueba de arrastre de peso muerto con alta fricción (izquierda). Prueba de arrastre de peso muerto con un vehículo (derecha).

En la Figura 12 se ven las pruebas que se le realizaron al robot con su cañón disruptor, disparando munición de cobre a un objetivo que simulaba ser una maleta con material explosivo. Posterior al disparo, el cual acertó en su objetivo, se verificó que el brazo y los sistemas que lo componen no habían variado su funcionalidad.



Figura 12 – Preparación de la prueba para disparo con munición de cobre (izquierda). Momento del disparo del cañón (centro). Confirmación del impacto del disparo hacia el objeto (derecha).

Otra prueba bastante importante con el cañón fue la de disparar agua a alta presión a un objetivo determinado (Figura 13). En esta prueba se cargó todo el cuerpo del cañón con agua, se tapó el extremo libre del cañón, y se procedió a armar el cañón con un cartucho de pólvora sin proyectil.



Figura 13 – Acercamiento del robot hacia el objetivo (izquierda). Disparo del cañón con carga de agua (centro). Ruptura del brazo por la explosión del cañón (derecha).

La prueba, aunque efectivamente destruyó su objetivo, generó fallas en el eslabón del antebrazo del brazo manipulador, debido a que el cañón se sobrecargó, produciendo

que este explotara (Figura 14). La prueba anterior produjo una fractura catastrófica en el eslabón del antebrazo, la cual fue rápidamente solucionada, dado que se tenía un modelo fundido adicional de dicho elemento. Una vez en el taller, solo fue mecanizar y colocar la pieza fracturada en el robot. Es de resaltar que el diseño del cañón disruptor fue la responsabilidad de la empresa con la que se realizó el proyecto.



Figura 14 – Cuerpo del cañón destrozado por la explosión del mismo (izquierda). Eslabón del antebrazo mecanizado junto al eslabón fracturado (centro). Reemplazo del eslabón fracturado en el brazo manipulador (derecha).

## 6. Conclusiones

El sistema de orugas debe garantizar que la banda no se salga de la catarina. Para este fin las guías de la banda deben ser más altas, para mantener la alineación con la catarina y los patines. Fabricar una oruga es una labor compleja, por tal motivo la mejor alternativa es usar una banda comercial y adaptarla a la plataforma. Las catarinas y patines de soporte no presentan una dificultad al momento del diseño y la implementación.

Los motores de la locomoción deben ser calculados teniendo en cuenta que el robot debe poder girar sobre su eje en terrenos no estructurados y con coeficientes de fricción altos. Además, se deben tener presente que dichos giros se dan con el robot en reposo, es decir, se debe romper la inercia de la plataforma. Además, el manejo del sistema de orugas sin sistema de control, y únicamente con la retroalimentación visual del operador, implica que el sistema de giros bruscos, muchas veces sin lograr o sobrepasando el ángulo de giro deseado. Un sistema de control con retroalimentación por acelerómetros debe ser implementado para un manejo apropiado de la plataforma móvil.

La capacidad de carga del brazo fue suficiente para levantar y manipular las cargas bajo las cuales se habían diseñado ambas plataformas. Sin embargo, la potencia de los motores no fue aprovechada al máximo, dado que estos motores típicamente trabajan a altas velocidades. Los motores de bajas velocidades y alto torque requieren el rediseño de todo el sistema de locomoción lo que mejoraría el robot en peso y facilidad de cableado, sin embargo, aumenta la complejidad del diseño. Otra elemento a tener en cuenta, es eliminar los frenos eléctricos con sistemas de reducción autobloqueantes como los sistemas epicicloidales o armónicos.

El sistema de visión implementado en el extremo del brazo manipulador y al frente de la plataforma móvil fueron apropiados. Cada uno de ellos debe tener su cerramiento y sistema de luces. El sistema de la cámara panorámica es crítico, pues permite ubicar el robot en su entorno. Además de tener su cerramiento para proteger la cámara del

entorno, debe poseer un buen sistema de amortiguación para atenuar las vibraciones del robot mientras se desplaza. Este sistema debe ser reforzado con un sistema digital que filtre el ruido, para garantizar una imagen lo más clara y estable posible.

El sistema de cableado debe reducir el número de cables independientes exteriores en el robot. Tener solo dos cables, uno para potencia y otro para datos es lo apropiado. Para facilitar el montaje y desmontaje de los diferentes sistemas, es necesario tener puntos de paso, para conectar y desconectar los sistemas electrónicos de manera rápida. Siempre que sea posible, los cables deben estar dentro de la estructura o anclada de manera apropiada, y tener presente la flexibilidad del cable en las diferentes articulaciones.

El sistema de mando usado tipo gamepad es usado por diversos robots para su operación. Sin embargo, este sistema no permite un manejo natural, particularmente con el brazo manipulador, en el cual se encuentran múltiples grados de libertad que son imposibles de accionar al mismo tiempo con las dos manos del operador. Para este fin, un dispositivo tipo exoesqueleto puede ser implementado para permitir un manejo más sencillo e integral de la plataforma (Ramirez, 2015).

La distancia inalámbrica es un aspecto clave en esta clase de plataformas. Ninguno de los robots superó los 100m línea de vista de alcance inalámbrico. Para aumentar este alcance es necesario equipar el robot y la estación de control con antenas direccionales, o usar repetidores de señal (que el mismo robot puede ir dejando en su camino). El sistema de respaldo alámbrico también es vital, pues existen circunstancias bajo las cuales el sistema inalámbrico no funciona o no pueda ser usado. Un sistema de fibra óptica es buena opción, pero para que sea práctico, este sistema debe contar con un sistema de disponga de los más de 100m de fibra que el robot puede requerir.

Las baterías de LiPo usadas en los prototipos son las apropiadas, debido a su gran capacidad de entrega de corriente y bajo peso. Sin embargo, ellas deben ser fácilmente removibles, pues el tiempo de carga de este sistema está entre las 2 y 3 horas. Contar con un sistema de baterías de reemplazo permite que el robot se pueda operar de manera continua.

## Referencias

- Alford, S. C. (2003). U.S. Patent No. 6,584,908. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- Carrillo, J., Arciniegas Londoño, L., & Molina Figueroa, J. A. (2014). STATISTICAL ASSESSMENT OF BRIDGE COLLAPSE IN COLOMBIA BY BLAST LOADING. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 24(2), 157-175.
- Fracchia, M., Benson, M., Kennedy, C., Convery, J., Poultney, A., Anderson, J. W., ... & Clayton, G. M. (2015, May). Low-cost explosive ordnance disposal robot for deployment in Southeast Asia. In *Humanitarian Technology Conference (IHTC2015)*, 2015 IEEE Canada International (pp. 1-4). IEEE.
- Garcia, O. S., Aviles, L., & Niño, P. O. (2010, September). Hardware and software architecture of a mobile robot with anthropomorphic arm. In *ANDESCON*, 2010 IEEE (pp. 1-6). IEEE.

- Pfeiffer, O., Ayre, A., & Keydel, C. (2008). Embedded networking with CAN and CANopen. Copperhill Media.
- Ramirez, H., Aviles, O. & Hernandez J.C. (2014). Tracks for Locomotion of Robotic Platforms. In Second International Conference on Advanced Mechatronics, Design, and Manufacturing Technology - AMDM 2014
- Ramirez Guio, Hoffman Fernando & Mauledoux, M.F. & Avilés Sánchez, Oscar & Dutra, Max. (2015). Conceptual design process of a passive exoskeleton for human upper limb. 10. 42298-42304.
- Vásquez, H. T. (2015). Conflicto armado y terrorismo en Colombia. El terrorismo de las Farc-EP de acuerdo con la Jurisprudencia de la Corte Constitucional colombiana. Iustitia, (13), 11-34.
- Wei, B., Gao, J., Zhu, J., & Li, K. (2009, October). Design of a large explosive ordnance disposal robot. In Intelligent Computation Technology and Automation, 2009. ICICTA'09. Second International Conference on (Vol. 3, pp. 403-406). IEEE.
- Xuwen, L., Cai, M., Jianhong, L., & Tianmiao, W. (2006, August). Research on simulation and training system for eod robots. In Industrial Informatics, 2006 IEEE International Conference on (pp. 810-814). IEEE.
- Yamauchi, B. M. (2004, September). PackBot: A versatile platform for military robotics. In Unmanned Ground Vehicle Technology VI (Vol. 5422, pp. 228-238). International Society for Optics and Photonics.



ISSN: 1646-9895

Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação  
Iberian Journal of Information Systems and Technologies

F e v e r e i r o 1 9 • F e b r u a r y 1 9



©AISTI 2019 <http://www.aisti.eu>

Nº E18





### **Edição / Edition**

Nº. E18, 02/2019

**ISSN:** 1646-9895

### **Indexação / Indexing**

Academic Journals Database, CiteFactor, Dialnet, DOAJ, DOI, EBSCO, GALE, Index-Copernicus, Index of Information Systems Journals, Latindex, ProQuest, QUALIS, SCImago, SCOPUS, SIS, Ulrich's.

### **Propriedade e Publicação / Ownership and Publication**

AISTI – Associação Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação

Rua Quinta do Roseiral 76, 4435-209 Rio Tinto, Portugal

**E-mail:** aistic@gmail.com

**Web:** <http://www.aisti.eu>