



IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO
DOCENTE
DEL AREA
MECANICA
DE LAS
INGENIERIAS

FoDAMI

PLATAFORMA MULTIPROPOSITO PARA APLICACIONES EN ROBOTS MANIPULADORES DE CARGAS PELIGROSAS

Mainetti Carlos^{1*}, Romero Andrés², Piovan Marcelo^{2,3}

¹ Grupo de Eléctrica y Mecánica de Automatización, UTN FRBB, 11 de Abril 461, 8000 Bahía Blanca, Argentina, mainetti@frbb.utn.edu.ar

² Centro de Investigaciones en Mecánica Teórica y Aplicada, UTN FRBB Bahía Blanca, Argentina. andresrom147@hotmail.com

³ CONICET, Argentina. mpiovan@frbb.utn.edu.ar

RESUMEN

Después de los atentados que sufrió la República Argentina, en la AMIA y la embajada de Israel durante los años noventa y con el incesante número de amenazas telefónicas a diversas instituciones públicas y/o privadas, se ha visto la necesidad de contar con equipamiento y tecnología adecuada para enfrentar esta situación. Para salvaguardar la vida de los agentes en operativos se emplean plataformas con tele-comando manual. Sin embargo, tales plataformas pertenecen a “know-how” extranjero de altísimo costo operativo, de mantenimiento y calibración.

En este trabajo se presentan resultados preliminares del desarrollo de una plataforma general y multipropósito para ser empleada con diferentes montantes. La plataforma está diseñada a partir de concepciones donde el costo de pérdida de un equipo completo no sea sensible como puede suceder con otros sistemas completos activos en Argentina (el robot ANDROS, de la Policía Bonaerense, fabricado por Northop-Grumann, cuesta más de 200.000 dólares). En este trabajo se abordan aspectos de diseño en los cuales se pretende aprovechar de la mejor manera los espacios, en virtud de una apropiada selección de los componentes funcionales (motores, baterías, sistemas de tracción) a partir de los disponibles en mercado nacional con la finalidad de reducir sustancialmente el costo constructivo del prototipo. También se desarrollan los sistemas de control para los motores y para el rastreo por tele-cámaras.

Así pues, la plataforma se monta sobre un sistema de tracción de orugas plásticas de alta resistencia. La alimentación del movimiento se efectúa con dos motorreductores con sistemas de control desarrollados ad-hoc, basados en un DSPIC para la modulación del ancho de pulso, de manera de lograr generalidad y portabilidad con diversos tipos de motores. El control del movimiento se logra con una plataforma inalámbrica. Se muestran una serie de pruebas de respuesta dinámica y cinemática de la plataforma ante diversos tipos de terrenos.

Palabras Claves: Plataforma robótica, rastreo, tele-operación.



1. Introducción

Las primeras investigaciones sobre los robots manipuladores de cargas explosivas datan de los años 60, denominados también EOD (del inglés Explosive Ordnance Disposal, Eliminación de Municiones y Artefactos Explosivos) y se han visto incrementadas en las últimas décadas después de diferentes ataques terroristas, tales como el de las Torres Gemelas de 2001. Varias compañías, universidades e institutos de investigación, como por ejemplo, Remotec, iRobot, Foster-Miller Inc. en los Estados Unidos, PW Allen y ABP en Inglaterra, Telerob en Alemania, Pedesco en Canadá, Universidad de Aeronáutica y Astronáutica de Beijing, etc., comienzan a desarrollar diferentes robots tales como el Andros F6A -Figura 1(a)-, tEODor -Figura 1(b)-, TALON -Figura 1(c)-, Packbot, entre otros [1,2,3].



(a) EOD AndrosF6A de Remotec.



(b) EOD tEODor de Telerob.



(c) EOD TALON de Foster-Miller Inc.

Figura 1. Diferentes modelos de plataformas robot para desactivación de bombas.

La mayoría de estos robots provienen de la industria militar y tienen la particularidad de ser generalmente multifuncionales, es decir, a partir de una plataforma básica es posible intercambiar diferentes módulos a fin de poder realizar diferentes tareas. Accesorios tales como cámaras, pinzas, manipuladores, sensores, armas, originan configuraciones que permiten convertirlos en un robot EOD, de vigilancia y reconocimiento, de ataque, etc. Estos robots tienen un costo de adquisición elevado y se consiguen a no menos de U\$S 200000 cada uno.

Un inconveniente adicional es su “know-how”, o sea, al no poseer toda la información constructiva del mismo, la mayoría de las veces se hace necesario recurrir a la fábrica para su reparación y mantenimiento, produciendo un costo adicional importante. Como experiencia, en 2009, un EOD Andros del Escuadrón Antiexplosivos de la Policía de la Provincia de Buenos Aires fue reparado por el Centro de Investigaciones en Mecánica Teórica y Aplicada (CIMTA) y el Grupo de Investigación de Mecánica Aplicada (GEMA). Esto generó la presente línea de investigación con el objetivo de generar una plataforma móvil genérica de bajo costo.

La plataforma móvil diseñada que se presentará está en estado experimental y el objetivo principal era utilizar componentes de procedencia nacional, de fácil obtención y lo cual permitió abaratar los costos de armado.



2. Descripción de la plataforma móvil

Se trata de un vehículo de estructura simétrica con dos ejes de propulsión independiente vinculados a sendas orugas de tracción como se muestra en la Figura 2.

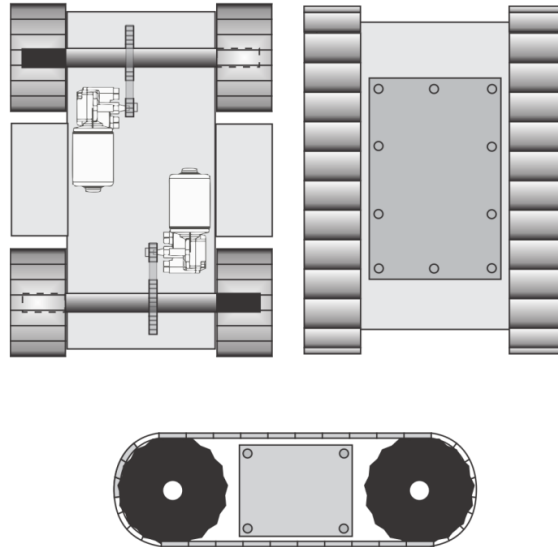


Figura 2: Configuración de tracción.

Los motores junto a las cajas reductoras del tipo sin fin corona conforman un bloque, como se muestra en la Figura 3, y luego se vinculan al eje de las orugas mediante una cadena de rodillos con su piñón y corona, que le proveen reducción adicional (Figura 4). A su vez, todos los mecanismos se encuentran alojados y protegidos por la estructura auto portante que conforma el cuerpo del vehículo.



Figura 3: Motor de CC (Industrias Breva S.R.L.)

La energía es provista por dos baterías recargables alojadas en compartimentos estancos entre las ruedas propulsoras de las orugas, como se ve en la Figura 5. El vehículo se encuentra completamente equilibrado tanto en sentido axial como transversal. Además se debe destacar que la configuración de moto-reductores empleada, garantiza la condición de auto bloqueo en el momento en que el móvil deba permanecer detenido; situación que no siempre se verifica con éxito, especialmente en aquellos sistemas donde el frenado se realiza por electroactuadores, muy frecuentemente susceptibles a fallas eléctricas [4].



IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO
DOCENTE
DEL AREA
MECANICA
DE LAS
INGENIERIAS

FoDAMI

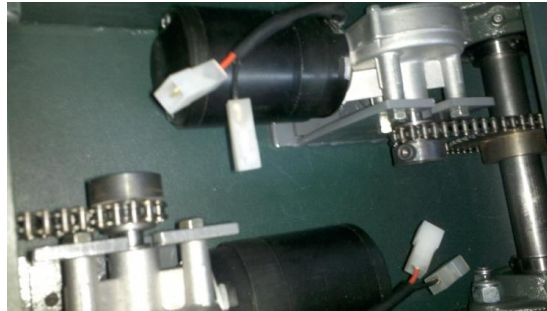


Figura 4: Sistema de tracción y disposición de motores



Figura 5: Alojamiento de baterías

Las orugas tractoras así como sus ruedas de engrane son de resina poliamídica de alta resistencia, auto lubricadas, aptas para cualquier ambiente ya que no se oxidan y su peso es reducido, además de su bajo costo. Los ejes de acero macizo de 25 mm se encuentran soportados por rodamientos auto alineables que absorben cualquier diferencia estructural que pudiera existir brindando una alineación perfecta además son sellados y con lubricación de larga duración, todo el conjunto estructura orugas y ejes es altamente robusto pudiendo soportar peso de hasta 200 kg. sin problemas, se han realizado ensayos de tracción con cargas normales de 100 kg y se obtiene tracción por más de 100 kg, lo que lo hace muy apto para casos de rescate. A las orugas les fue adherido asimismo tacos de goma para aumentar más aun el coeficiente de rozamiento entre la superficie y las orugas con el consiguiente aumento de tracción sin resbalamiento, también ha resultado provechoso para trepar obstáculos, escalones, salientes, etc. El vehículo se encuentra completamente balanceado, que lo hace particularmente interesante para la aplicación de sistemas de estabilización dinámica concordante con dispositivos a emplear a futuro. Debe destacarse que la mayor parte de las piezas son de fabricación estandarizada lo que garantiza su fácil reemplazo y operatividad, el sobredimensionamiento de las partes hace que el vehículo resulte sencillo de mantener y resista uso y abuso sin necesidad de mantenimiento periódico ni oneroso.

2.2 Modelo cinemático del robot



IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO
DOCENTE
DEL ÁREA
MECÁNICA
DE LAS
INGENIERÍAS

FoDAMI

El estudio de la cinemática de un robot permite establecer el modelo matemático que permite conocer el comportamiento teórico a partir de sus características físicas. En nuestro caso particular, se presenta una plataforma por guiado diferencial y se obtiene su modelo matemático, el cual es bien conocido [5], y por tanto no se abundará en detalles deductivos más allá de la simple descripción.

En la Figura 6, se muestra en (x,y) , la posición del centro del robot móvil y φ describe el ángulo que forma el eje de simetría del móvil respecto al eje X. Las variables de control son las velocidades de las ruedas laterales. Sean ω_i y ω_d , las velocidades de giro de las ruedas izquierda y derecha, respectivamente. Si el radio de la rueda es c , las velocidades lineales correspondientes serán $v_i = \omega_i c$ y $v_d = \omega_d c$. En este caso, la velocidad lineal y la velocidad angular correspondientes en el modelo son:

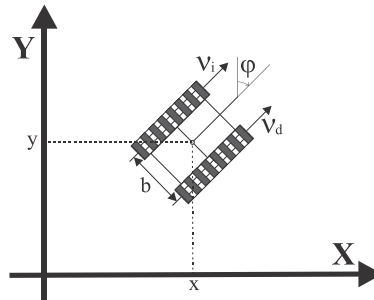


Figura 6: Esquema de una plataforma diferencial.

$$v = \frac{v_d + v_i}{2} = \frac{(\omega_d + \omega_i)c}{2} \quad (1)$$

$$\omega = \frac{v_d - v_i}{b} = \frac{(\omega_d - \omega_i)c}{b} \quad (2)$$

siendo b la vía del vehículo (distancia que separa las dos orugas). Por consiguiente, si se especifican la velocidad lineal v y angular ω del vehículo, las velocidades de giro que hay que aplicar a las ruedas izquierda y derecha son:

$$\omega_i = \frac{v - \left(\frac{b}{2}\right)\omega}{c} \quad (3)$$

$$\omega_d = \frac{v + \left(\frac{b}{2}\right)\omega}{c} \quad (4)$$

Sustituyendo (1) y (2), el modelo puede expresarse en función de estas variables de control como:

$$\begin{bmatrix} \dot{x}(t) \\ \dot{y}(t) \\ \dot{\varphi}(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -(c \cdot \text{sen}(\varphi))/2 \\ (c \cdot \text{cos}(\varphi))/2 \\ -c/b \end{bmatrix} \omega_i + \begin{bmatrix} -(c \cdot \text{sen}(\varphi))/2 \\ (c \cdot \text{cos}(\varphi))/2 \\ c/b \end{bmatrix} \omega_d \quad (5)$$



IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO
DOCENTE
DEL ÁREA
MECÁNICA
DE LAS
INGENIERÍAS

FoDAMI

$$\begin{bmatrix} \dot{x}(t) \\ \dot{y}(t) \\ \dot{\phi}(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -(c \cdot \text{sen}(\varphi))/2 & -(c \cdot \text{sen}(\varphi))/2 \\ (c \cdot \text{cos}(\varphi))/2 & (c \cdot \text{cos}(\varphi))/2 \\ -c/b & c/b \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \omega_d \\ \omega_i \\ 0 \end{bmatrix} \quad (6)$$

donde:

$$\begin{bmatrix} v \\ \omega \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\text{sen}(\varphi) & \text{cos}(\varphi) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \dot{x}(t) \\ \dot{y}(t) \\ \dot{\phi}(t) \end{bmatrix} \quad (7)$$

A partir de la información de velocidad ($\dot{x}(t)$, $\dot{y}(t)$, $\dot{\phi}(t)$), de la ecuación (6) puede obtenerse la velocidad angular de las ruedas (ω_d y ω_i).

3. Sistema de comunicación y software

Controlar este tipo de robot a distancia permite mantener en una zona segura al personal ante maniobras con elementos explosivos o en atmósferas con un potencial peligro de explosión. También permite, inspeccionar áreas donde implique riesgo a la salud humana como agentes químicos o gases tóxicos.

Por ello se decidió utilizar una arquitectura como la mostrada en la Figura 7, la cual se basa en el estándar IEEE 802.11, el cual define las características de una red inalámbrica local (WLAN) y que actualmente es de uso cotidiano en hogares y negocios. Para ello, se utilizó un router inalámbrico, de uso hogareño estándar y se implementó una red wifi entre el robot y una consola de control. Esta consola consta de una computadora personal y un joystick, y en el cual se ejecuta el programa de control del robot. El operador envía comandos a la plataforma mientras observa el entorno por donde el móvil se desplaza mediante una cámara IP de video colocada sobre el robot.

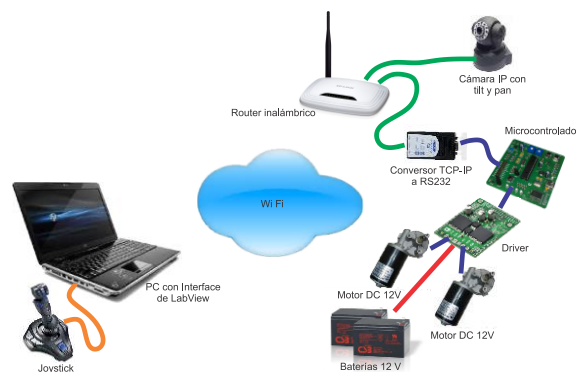


Figura 7 : Arquitectura del sistema de control del robot.

El programa que se ejecuta en la computadora personal (PC) se basa en el lenguaje LabView® de National Instruments, el cual a partir de la información ingresada mediante un joystick (dirección y orientación del movimiento), se transforma en velocidades para cada uno de los motores según la ecuación (6). La interface gráfica puede verse en la figura 8, y en él se representa un vector que indica el módulo y ángulo del movimiento de la plataforma, la potencia entregada a cada motor y el estado del joystick.



IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO
DOCENTE
DEL ÁREA
MECÁNICA
DE LAS
INGENIERÍAS

FoDAMI



Figura 8 : Consola de control de la plataforma móvil

La PC envía una trama de datos serial RS2322 vía TCP IP inalámbrica, con información codificada de la potencia de cada motor y su sentido de giro, la cual se detalla a continuación en la Figura 9.

M	S	P ₅	P ₄	P ₃	P ₂	P ₁	P ₀								
M: motor		Pn: potencia del motor													
0: der.		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Valor</th> <th>Potencia</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>63</td> <td>100%</td> </tr> <tr> <td>...</td> <td>...</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>0%</td> </tr> </tbody> </table>						Valor	Potencia	63	100%	0	0%
Valor	Potencia														
63	100%														
...	...														
0	0%														
1: izq.															
S: sentido															
0: positivo															
1: negativo															

Figura 9 : Descripción de la trama de datos

En la placa del microcontrolador (Figura 10(a)), se convierte dicha trama en un tren de pulsos PWM (Pulse Width Modulation), los cuales alimentan y controlan los motores mediante una interface de potencia (Figura 10(b)).



(a) Placa con microcontrolador



(b) Placa control de motores

Figura 10: Placas de control de movimiento

Dado que la trama se envía en forma inalámbrica a la placa del microcontrolador, se utiliza un módulo conversor TCP- IP a Rs2322 de marca MOXA (Figura 11). Esta comunicación inalámbrica puede llevarse a cabo, si se quisiera, a más de 150 metros con antena exterior [6].



IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO
DOCENTE
DEL ÁREA
MECÁNICA
DE LAS
INGENIERÍAS

FoDAMI



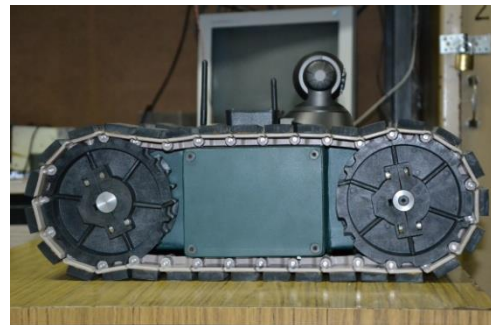
Figura 11 : Alojamiento del sistema de control electrónico

Todo el sistema de comunicación inalámbrica se encuentra vinculado a internet con lo cual es posible teniendo el software adecuado su manipulación por un operador remoto desde cualquier lugar del mundo. El vehículo en esta oportunidad tiene adosado una cámara de video IP con control de movimiento y con sonido incorporado como se ve en la Figura 12.

Todo esto convierte a la plataforma en un robot de exploración, pudiendo enfocar y recorrer el campo visual con comandos independientes, además brinda una gran versatilidad en caso de exploración de lugares inaccesibles.



(a) Frontal



(b) Lateral

Figura 12: Vistas de la plataforma móvil

Su gran capacidad de tracción lo hace muy apropiado para rescatar objetos pesados e incluso para trasladar herramientas repuestos, etc. a lugares de difícil acceso. Su capacidad operativa es de unas 7 horas de trabajo continuo a carga media.

4. Ensayos

El objetivo del ensayo es medir la fuerza de tracción de la plataforma en diferentes suelos para lo cual se construyó una bancada experimental (Figura 13a) para tal fin. La bancada consta de un marco metálico con sus respectivos puntos de anclaje así como una base para poder intercambiar las distintas superficies sobre las cuales efectuar las mediciones de capacidad tractiva. El ensayo consistió en colocar el móvil sobre la una superficie predeterminada, vinculando el móvil a un punto de anclaje (Figura 13b) a una celda de carga, de modo tal que al hacer funcionar a tracción el mismo, toda la fuerza actuará sobre el elemento sensor pudiendo registrar el estado de cargar en la celda.



IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



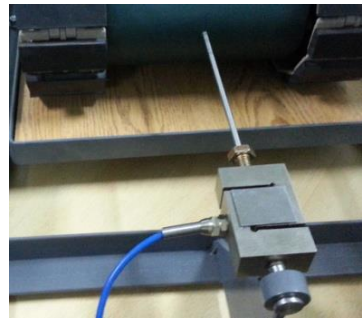
UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO
DOCENTE
DEL AREA
MECANICA
DE LAS
INGENIERIAS

FoDAMI



(a) Sistema medición de fuerza



(b) Celda de carga

Figura 13: Configuración del ensayo de medición.

Debe destacarse que el vehículo no fue sobrecargado, recurriendo solo al propio peso como fuerza normal, asimismo uno de los componentes resulto invariable (goma de las orugas), mientras que la otra superficie fue cambiada por los siguientes materiales: madera, goma, concreto, según se aprecia en la Figura 14.



(a) madera



(b) goma



(c) concreto

Figura 14: Superficies ensayadas.

El protocolo de ensayo se efectuó de la siguiente forma: primero se estableció una precarga mínima (menor al 1% de la carga registrada) para evitar juego en el sensor. Luego se incrementó, paulatinamente, la potencia del motor. Esto derivó en un aumento de la fuerza de tracción, la cual se estabilizó (condición de fricción con μ estático) y posteriormente descendió al producirse el resbalamiento de las superficies mencionadas (condición de fricción con μ dinámico). En la Figura 15 se observa una evaluación típica de este ensayo.



IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO
DOCENTE
DEL ÁREA
MECÁNICA
DE LAS
INGENIERÍAS

FoDAMI

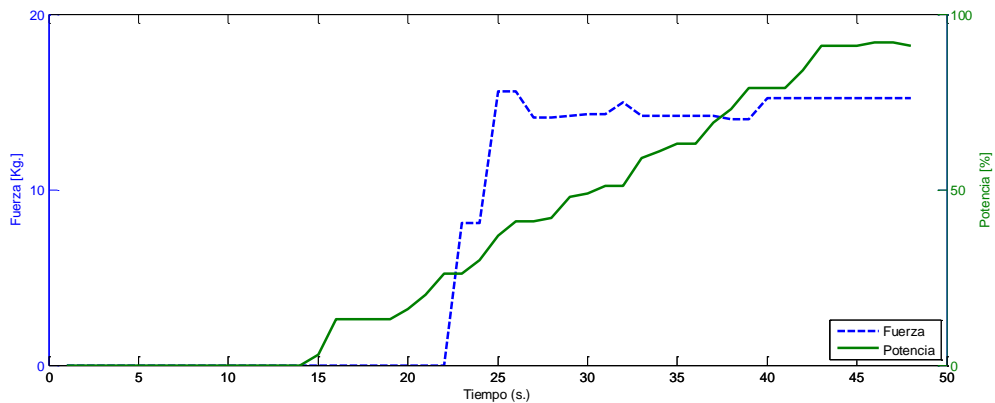


Figura 15: Fuerza vs Potencia.

En la Figura 16 puede verse el resultado de la fuerza obtenida por la plataforma móvil en las distintas superficies. En ella puede verse que en el concreto se obtuvo el mayor agarre de las orugas y donde se alcanzó hasta 55 kg de fuerza de arrastre sin carga adicional. Cabe aclarar que la variación de la medición en este tipo de piso fue debido a la no homogeneidad del mismo.

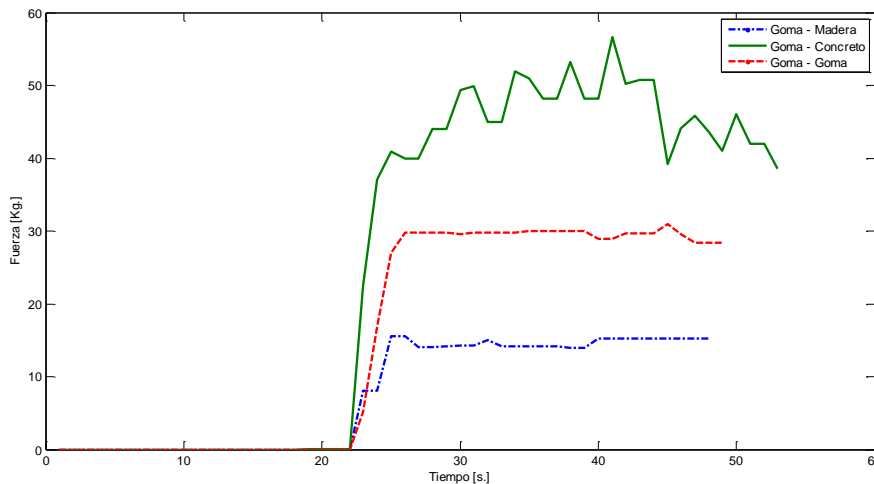


Figura 16: Gráfica comparativa entre distintos materiales.

Pruebas similares, no expresadas en este trabajo por razones de espacio, se realizaron con una persona como carga dando resultados satisfactorios en la capacidad tractiva. Además, respuestas diversas se obtuvieron en pruebas con distintos obstáculos como por ejemplo escaleras lo que está motivando nuevos estudios.

4. Conclusiones

De lo expuesto se puede concluir que el prototipo desarrollado cuenta con una gran perspectiva de éxito para la adaptación a funciones específicas de diversas actividades. Puede entreverse un gran potencial en áreas de uso industrial, aplicaciones a rescatistas, bomberos,



IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE INGENIERÍA

Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO
DOCENTE
DEL ÁREA
MECÁNICA
DE LAS
INGENIERÍAS

FoDAMI

manipulación de productos radioactivos, seguimiento en terrenos de producción agraria y/o baldía, etc.

Como gran virtud del trabajo realizado se debe destacar que descartando el costo de la ingeniería aplicada por los profesionales actuantes, ha sido posible construirlo con materiales sumamente económicos y de uso común, con lo que una vez refinado el modelo los costos de producción son bajísimos en relación a un dispositivo similar fabricado fuera del país. Para mencionar un dato de costo la suma actual de lo invertido en todos los aspectos no supera los 8000 pesos.

Finalmente, este trabajo permitió adquirir el conocimiento de fabricación y control de este tipo de vehículos. A futuro se comenzará a realizar estudios de vibración de la plataforma a fin de poder minimizarlos, pretendiendo desarrollar estrategias de control de estabilidad del vehículo para poder resolver algunos aspectos que se han notado limitados (en las pruebas experimentales) en el comportamiento dinámico general de la plataforma.

Referencias

- [1] Boyu Wei, et al, "Design of a Large Explosive Ordnance Disposal Robot", Second International Conference on Intelligent Technology and automation, 2009.
- [2] Li Xuewen, Men Cai, Liang Jianhong, "Research on Simulation and Training System for EOD Robots", IEEE International Conference on industrial informatics[C], pp 810-814, 2006.
- [3] F.M. Vergara, E.G. Gulino, "Diseño Mecánico de un Vehículo Teleoperado", Segundo Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica (II CAIM), Ciudad de San Juan, Argentina - Noviembre 2010.
- [4] A.E. Romero y M.T. Piován, "Alternativa mecánica para un problema de bloqueo en robot para desactivación de explosivos". Tercer Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica (III CAIM), CABA, Argentina - Noviembre 2012.
- [5] A. Ollero Baturone, "Robotica: Manipuladores y robots móviles", Marcombo, 2007.
- [6] M.W. Carey, E.M. Kurz, J.D. Matte, T.D. Perrault, and T.Padir, "Novel EOD Robot Design with Dexterous Gripper and Intuitive Teleoperation", World Automation Congress (WAC 2012).

Agradecimientos

Los autores de este trabajo desean agradecer a la SGCyT de la Universidad Tecnológica Nacional y al CONICET por el apoyo financiero.