

## Robot rescatista para terremotos

Jesús Antonio Alvarez-Cedillo<sup>1\*</sup>, Adriana Nava Vega<sup>2</sup>, Teodoro Álvarez Sanchez<sup>3</sup>

<sup>1</sup>*Instituto Politécnico Nacional, UPIICSA, AV té 950, Col. Granjas México, CDMX, México*

<sup>2</sup>*Universidad Autónoma de Baja California, Tijuana, Calzada Universidad # 14418, Parque Industrial Internacional Tijuana, Tijuana, B.C., México.*

<sup>3</sup>*Instituto Politécnico Nacional, CITEDI, Instituto Politécnico Nacional # 1310, Tijuana, B.C., México*

\*jaalvarez@ipn.mx

Área de participación: Ingeniería y electrónica

### Resumen

La República Mexicana está situada en una de las regiones sísmicas muy activas del mundo, conocida como el cinturón del pacífico donde se concentra la mayor actividad sísmica del planeta. En los últimos 5 años se han producido terremotos de magnitud muy considerable que han afectando a estados como Oaxaca, Puebla, Morelos (Cuernavaca), Guerrero, Michoacán y la Ciudad de México. El número de personas que murieron atrapadas dentro de los escombros fue muy alto y en los próximos años se seguirá teniendo actividad sísmica constante. La necesidad de desarrollar un robot que permita detectar personas atrapadas no como un prototipo si no como una herramienta profesional de rescate es una prioridad. En este trabajo se propone el desarrollo de un robot rescatista diseñado con diversos sensores para detectar la temperatura, respiración detectar personas bajo los escombros. El robot propuesto se moverá entre los desechos para detectar a los humanos.

**Palabras clave:** Robótica, aplicaciones de robótica, algoritmos de navegación, Robot rescatista.

### Abstract

The Mexican Republic is located in one of the most active seismic regions in the world, known as the Pacific belt where the greatest seismic activity on the planet is concentrated. In the last 5 years, there have been earthquakes of considerable magnitude that have affected states like Oaxaca, Puebla, Morelos (Cuernavaca), Guerrero, Michoacán, and Mexico City. The number of people who died trapped inside the rubble was very high and constant seismic activity will continue in the coming years. The need to develop a robot that can detect trapped people not as a prototype but as a professional rescue tool is a priority. In this work, we propose the development of a rescue robot designed with various sensors to detect the temperature, detect respiration under the rubble. The proposed robot will move among the debris to detect humans

**Key words:** Robotics, robotics applications, navigation algorithms, Rescue robot.

### Introducción

Un temblor, sismo o terremoto, consiste en una serie de vibraciones en las rocas que se propagan en todas direcciones en forma de ondas, conociendo el hombre aquellas ondas superficiales que afectan su hábitat, debido a la fuerte intensidad de algunos de ellos. Estas ondas sísmicas son producidas por la liberación de energía ocurrida en los movimientos de grandes bloques de roca, los que son generados en grandes fallas (límites de placas tectónicas en separación, en colisión o en deslizamiento lateral); existen también temblores menores o locales (producidos por fallas pequeñas y por explosiones provocadas por volcanes o por el hombre). [1]

La voz popular denomina Temblor a aquellos movimientos que son sentidos por el hombre (baja magnitud); Sismo, al temblor que se siente y que causa algunos destrozos en construcciones (mediana magnitud); Terremoto, a aquellos movimientos que son tan fuertes que producen graves daños al hábitat del hombre (gran magnitud).

La "Sismología" estudia los temblores, sismos o terremotos y sus ondas sísmicas, registradas en forma precisa por instrumentos denominados sismógrafos.

La amplitud de las ondas sísmicas permite clasificar a los temblores dentro de una escala denominada "Escala de Richter" (de uso mundial). Su magnitud está basada en el logaritmo de la amplitud máxima de la onda sísmica, ajustada por un factor que toma en cuenta la intensidad o debilidad de las ondas y su dispersión a partir del foco (centro de dispersión de las vibraciones de un temblor). Debido a que estas magnitudes están basadas en una escala logarítmica, un incremento en magnitud de una unidad, corresponde a un incremento de 10 veces, en el tamaño de un temblor, por ejemplo un temblor de magnitud 8 será 10,000 veces mayor que un temblor de magnitud 4 (esto es  $10^8/10^4$ ).

Cada año ocurren numerosos temblores registrados por sismógrafos, pequeños de magnitud inferior a 1 hasta magnitud 3.4, sin ser sentidos por el humano; a partir de la magnitud 5 empiezan a ocurrir daños y son sentidos prácticamente por todos, incrementándose estos daños en temblores de intensidad superior hasta llegar a 8 y más, con la casi destrucción total, siendo estos grandes temblores, que ocurren cada 5 a 10 años, registrados en la historia por los grandes disturbios provocados.

Debido a la gran sismicidad reportada de sismos en México, nuestro proyecto de investigación consiste en diseñar, construir y programar un robot autónomo capaz de búsqueda de víctimas en un edificio colapsado por el terremoto y justificar un robot no prototípico.

Los puntos a destacar que deben de ser cubiertos es que debe de desplazarse en un cuadrado de prueba de 20 x 20 metros., inclinaciones de hasta 50 grados, debe de evitar obstáculos y detectar sobrevivientes.

Es posible contar con un mapa de la construcción, pero los obstáculos resultantes del terremoto se dejaron como incógnitas. Nuestro robot tiene que acercarse a las víctimas identificadas y reportar a la central. Un sensor GPS muestra la posición real del robot en el espacio.

## Metodología

Se plantea la necesidad de desarrollar una plataforma robótica que permita acceder y permanecer en entornos naturales, desplazarse sin inconvenientes por los múltiples terrenos [2].

Nuestro método de construcción se basa en dos áreas fundamentales:

1. El cuerpo del robot: Se decidió que para que este tipo de robot tenga éxito, debe ser capaz de viajar en un camino no muy recto, alcanzar alturas de 20 centímetros, y ser capaz de escalar hasta 60 grados. El diseño debe de mantener su integridad estructural resistente. El robot tendría que ser lo suficientemente potente como para viajar por la rampa para comprobar si hay víctimas en diferentes niveles. Por último, tendría que ser modificado fácilmente si se necesitan piezas adicionales o modificaciones del diseño.
2. La exploración: Para llevar a cabo los viajes camino recto y giros precisos se creó un sistema de doble accionamiento diferencial. La ventaja de este tipo de sistema es que un motor se utiliza para el movimiento hacia adelante y hacia atrás, mientras que un segundo motor se utiliza para hacer los éste escalamiento de obstáculos. Esta configuración tiene la intención de hacer que las dos ruedas motrices se mueven exactamente lo mismo si se viaja hacia delante o hacia atrás o exactamente lo contrario si se activa el motor de escalada. Para probar el éxito de nuestra unidad de doble diferencial que mide la forma recta el robot conducir sin ningún control de retroalimentación y la precisión con la que sería girar 90 grados. Los resultados para la siguiente línea recta eran buenos, pero las vueltas eran un poco de un problema.

#### Parámetros de diseño

Los parámetros usados en el diseño son los siguientes:

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 maquina con el fin práctico de obtener información clara de la zona observada.
6. Consideraciones para realizar cálculos.

#### Mecánica del robot

Los robots de rescate de hoy en día no tienen grandes sistemas de cómputo muy sofisticados en términos de inteligencia artificial (IA). La IA es una forma de programar a la computadora que le permite al robot procesar información y tomar algunas decisiones por sí mismo. En lugar de una IA independiente, la mayoría de los robots rescatistas son controlados remotamente por los operadores humanos. Vehículos terrestres no tripulados (UGV) o vehículos aéreos no tripulados (UAV) [3].

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 vectores 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 [4].

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.

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 sobreponer obstáculos de mayor dimensión, esto se observó en el prototipo a escala. El diseño del modelo se muestra en la Figura 1.



Figura 1. Prototipo del robot construido.

Los robots más comunes son robots pequeños y planos montados en huellas de tanques en miniatura. Estos robots son resistentes, capaces de ingresar por huecos y edificios y generalmente tienen una variedad de sensores integrados, que incluyen la vigilancia de audio y video y la detección de vida humana. Estos robots son versátiles, con diferentes sensores o herramientas que se pueden montar. Prácticamente todos son portátiles. El robot propuesto se maneja con un joystick de control, tiene siete configuraciones de velocidad (la velocidad

máxima es de 1,8 metros por segundo y puede usar sus huellas para subir escaleras, maniobrar entre los escombros e incluso tomar muestras.

Nuestra versión más simple incluye dispositivos de audio y video y un brazo mecánico. Una versión ligera de 27 kg omite el brazo.

El robot es controlado por un procesador Pentium con dispositivo empaquetado, un sistema GPS, una brújula electrónica y sensores de temperatura integrados. Puede moverse a más de 8 mph (13 kph), puede desplegarse en minutos y puede soportar una caída de 1,8 metros sobre el concreto, el equivalente a 400 g de resistencia.

Para su fabricación se realizó el modelo en 3D usando el programa Blender para su diseño. La Figura 2. Muestra diferentes vistas del modelo en 3D.

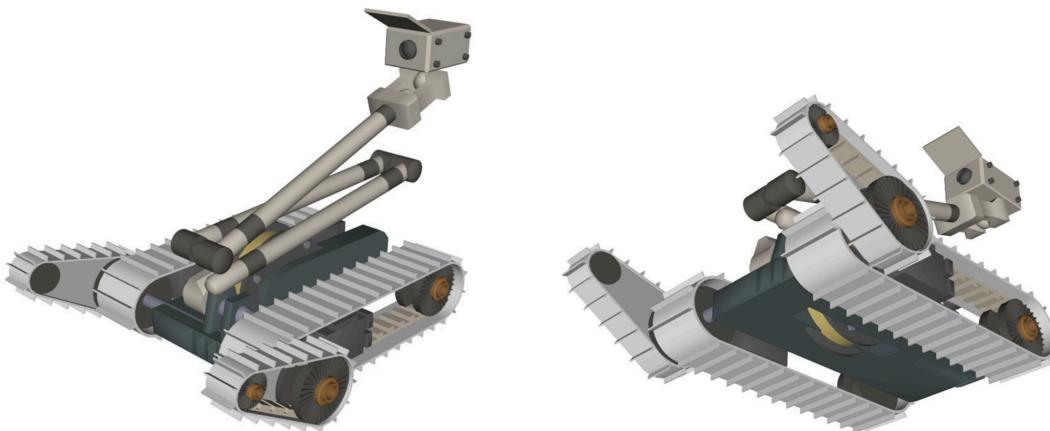


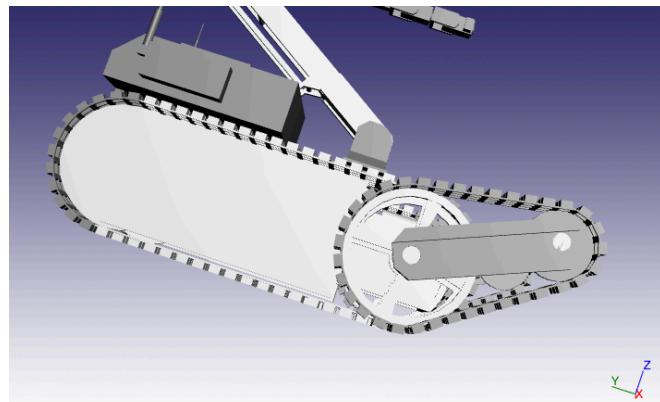
Figura 2. Vistas del Modelo 3D.

A partir del modelo en 3D creado se maquinó cada pieza en Aluminio en el Laboratorio de pesados de UPIICSA para tener la estructura y se adquirieron las orugas para el montaje de cada rueda.

El sistema final cuenta de tres motores de 12 voltios para accionar las orugas una batería de acido plomo basado en un electrolito de ácido sulfúrico disuelto en agua, 60–110 Wh/l, eficiencia carga/descarga: 50–95% y temperatura de carga: mín. -40 °C, máx. 50 °C.

El sistema tiene dos puentes H para controlar los motores y un sistema basado en Intel para su control y operación.

Otra de las diferencias de la suspensión Rocker Bogie original es que los ejes que soportan el eslabón principal no se encuentran conectados mediante una relación diferencial sino que cada uno dispone de un servomotor que controla su movimiento independientemente [6][7][9]. El sistema de transmisión del servomotor al eje se realiza mediante engranajes como se puede ver en la Figura 3.



**Figura 3. Sistema de engranajes.**

Basados en las ventajas y desventajas halladas mediante las pruebas del modelo a escala se diseña 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 [7].

$$Fr = \mu(mg \cos(\theta)) + mg \sin(\theta) + Fin \quad (1)$$

El primer término de la derecha de la ecuación 1 ( $F_r$ ) 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 iniciales 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 [8].

$$\text{Tr} = \text{Fr} * \frac{\text{Rrueda}}{N} \quad (2)$$

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).

$$T_m = f(mg) \cdot R_{rueda} \quad (3)$$

De esta forma para que las ruedas transmitan el torque requerido sin deslizar, este torque debe ser menor al torque máximo tracción ( $T_m$ ). Con respecto a las ruedas delanteras, uno de los criterios que se considera es que la fuerza de tracción no exceda la fuerza de rozamiento entre la llanta y el suelo.

completamente al tratar de sobreponer obstáculos de tamaño superior al modelo, el robot pueda seguir funcionando correctamente. Para esto se utilizó un sistema de reducción Epicicloidal. Para superar los percances detectados se diseñó un prototipo a escala real. El prototipo se muestra en la Figura 4. Donde se aprecian cambios respecto a la versión anterior.

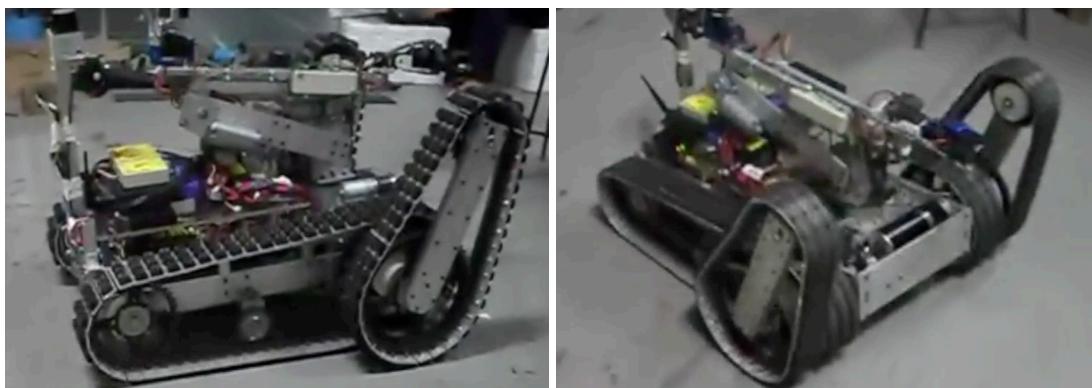


Figura 4. Robot final.

#### Sistema Mecánica del robot

Tres son los objetivos fundamentales de la estación [10][11]. El primer objetivo es simplificar la tarea del operador para ello el sistema contará con:

- 1) Interface hombre/maquina: Nuestro sistema fue desarrollado con LIVE CODE community
- 2) Visualizar la información que proviene de las cámaras panorámicas del robot.
- 3) Mostrar los datos provenientes de la cámara del brazo manipulador así como los datos de los sensores.
- 4) Mostrar los datos de los sistemas de posicionamiento global e inercial así como la posición actual del manipulador.
- 5) Proporcionar una herramienta de manipulación (joystick) que permitan manipular tanto el robot como el manipulador de una manera intuitiva.

#### Resultados

Al haber realizado la plataforma robot rescatador para terremotos y realizar las pruebas pertinentes, se obtienen los diferentes resultados los cuales se encuentran descritos a continuación:

1. 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.

2. 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.
3. 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, también tuvo la potencia para superar pendientes.

En el proceso de diseño y manufactura del robot 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 desenvolver 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 y con esto observar las fallas que puedan presentarse en situaciones muy similares a las que se exponga.

### **Trabajo a futuro**

Los investigadores interesados en continuar nuestra investigación podrían concentrarse en los la mejora de la circuitos y métodos de programación y en la estructura rocker bogie.

### **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, detección de vida y temperatura.

Esta información junto con el control remoto del usuario se amplía 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.

## Agradecimientos

Agradecemos las facilidades otorgadas para la realización de este trabajo al Instituto Politécnico Nacional a través de la Secretaría de Investigación y Posgrado con el proyecto SIP 20180023. A la Unidad Interdisciplinaria de Ingeniería y Ciencias Sociales y Administrativas, Centro de Innovación y Desarrollo Tecnológico en Cómputo y Centro de Investigación y Desarrollo de Tecnología Digital. Asimismo, al Programa de Estímulo al Desempeño de los Investigadores (EDI) y al Programa de Estímulo al Desempeño Docente (EDD).

## Referencias

1. Montalvo, A.; Juan, C. (2009). El potencial de riesgo sísmico en el noreste de México y sus implicaciones en la zona metropolitana de Monterrey, N. L. Ciencia UANL, Vol. XII, Núm. 4, octubre-diciembre, , pp. 398-408.
2. Eric, M.; Young, Thomas, J. W. and Nilanjan, S. (2017). Design of intention-based assistive robot for upper limb, Advanced Robotics, 31:11, 580-594, DOI: 10.1080/01691864.2017.1295883.
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. (2006). Control Architecture Design for a Fire Searching Robot using Task Oriented Design Methodology, SICE-ICASE Int. Jt. Conf. 2006, pp. 3126–3131.
4. Young-Duk K.; Yoon-Gu K.; Seung-Hyun L.; Jeong-Ho K.; Jinung A.(2009). Portable fire evacuation guide robot system, Intelligent Robots and Systems 2009. IROS 2009. IEEE/RSJ International Conference on, pp. 2789-2794.
5. Jong-Hwan K.; Brian K.; Brian Y. L. (2013). Sensor fusion based seek-and-find fire algorithm for intelligent firefighting robot, Advanced Intelligent Mechatronics (AIM) 2013 IEEE/ASME International Conference on, pp. 1482-1486, ISSN 2159-6247.
6. H. Amano. (2002). Present status and problems of regthing robots, Proc. 41st SICE Annu. Conf. SICE 2002., vol. 2, pp. 880–885.
7. B, D. Harrington and C, Voorhees. (2004). The Challenges of Designing the Rocker-Bogie Suspension for the Mars Explora- tion Rover, Proc. 37th Aerosp. Mech. Symp., pp. 185–195.
8. C. Stauer and W, E. L. Grimson. (1999). 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.
9. Anh-Tuan, N.; Francois, B. (2014). Background subtraction in people detection framework for RGB-D cameras, Advanced Video and Signal Based Surveillance (AVSS) 2014 11th IEEE International Conference on, pp. 241-246.
10. J.-P.R. Renno; J. Orwell; G.A. Jones. (2004). Evaluation of shadow classification techniques for object detection and tracking, Image Processing 2004. ICIP '04. 2004 International Conference on, vol. 1, pp. 143-146 Vol. 1, ISSN 1522-4880.
11. Li Jinping; Guo Yukun; Ma Liwen. (2017). MCSHM: A simple and practical method for moving objects detection in dynamic scenes, Chinese Automation Congress (CAC) 2017, pp. 5112-5118.