

# Propuesta de desarrollo robótico para el desminado humanitario

## Proposal of Robotic Development for a Humanitarian Demining

Ángela María Bedoya Hernández<sup>1</sup>, Gustavo Adolfo Guzmán Cadavid<sup>2</sup>, José Andrés Chaves Osorio<sup>3</sup>.

*Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira, Colombia*

ambedoya@utp.edu.co

jachaves@utp.edu.co

gaguzman@utp.edu.co

**Resumen**— En el siguiente documento se presenta el inicio de la investigación para desarrollar un prototipo robótico enfocado en una de las tareas de desminado humanitario en Colombia, además de algunos esfuerzos que se han realizado alrededor del mundo para la detección de minas antipersonales. De igual forma se observa la verificación de ciertas propuestas en cuanto al perfeccionamiento de estrategias de exploración y localización de minas implementadas en robótica móvil, brindando así una posible solución desde el punto de vista tecnológico y científico para mitigar una problemática de carácter social y económico con la cual día a día se ven afectadas más personas en Colombia y otros países en conflicto.

**Palabras clave**— minas antipersonales, sensores, exploración, robótica móvil.

**Abstract**— This paper will present the beginning of a research to develop a robotic prototype focused in the humanitarian demining task and some efforts, has been conducted around the world for the landmines detection, even the verification of some proposals about the improvement of exploration strategies and mines location implemented in mobile robotics, this research give a possible solution from the technological and scientific view to mitigate a social and economic problem which every day more people are affected in Colombia and other countries in war.

**Key Word** — Antipersonnel mines, sensors, exploration, mobile robotics.

### I. INTRODUCCIÓN

En el mundo desde hace algún tiempo grupos de científicos y personas calificadas en diversos campos se han puesto en la tarea de investigar a profundidad en lo que inicialmente se creó como estrategia militar y de protección de fronteras, pero que hoy día es una problemática que afecta

varias poblaciones alrededor del mundo, las minas antipersonales. Las investigaciones buscan eliminar por completo o por lo menos disminuir en gran proporción el número de víctimas.

Avances importantes que se han desarrollado para contribuir en las tareas de desminado son los distintos tipos de sensores, detectores y radares, que permiten identificar y hallar una mina que sea potencialmente causante de daño; estos instrumentos de detección y medición en la mayoría de los casos son operados por personal capacitado como soldados o técnicos, lastimosamente esta labor es bastante peligrosa, pero gracias a los avances paralelos de la robótica en diferentes ramas de la ciencia se pueden asignar labores desagradables y peligrosas a los robots los cuales podrán realizar este tipo de tarea de forma efectiva y segura, sin arriesgar la vida de un ser humano.

### II. JUSTIFICACIÓN

El desarrollo de un prototipo robótico en Colombia podrá disminuir los riesgos a los que se enfrentan las personas encargadas de inspeccionar campos minados ya que estos operarios pueden convertirse en víctimas y padecer las inclemencias físicas que este tipo de arma no convencional conlleva al ser activada, mientras que si existe algún error con el dispositivo móvil y se acciona una mina, la pérdida será solo de tipo material.

De esta forma se propone un aporte al bienestar social y económico de diversas regiones principalmente en zonas rurales para el trabajo agrícola y la exploración del campo.

El trabajo de investigación y su implementación debe llevarse a cabo bajo ciertos parámetros de calidad para garantizar una efectividad y una aplicabilidad real, realizando con sensores especiales una caracterización profunda de los materiales con los que están siendo fabricadas las minas antipersonales; ya que en

<sup>1</sup> Estudiante Ingeniera Electrónica.

<sup>2</sup> Estudiante Ingeniera Electrónica.

<sup>3</sup> Ingeniero Electricista., Especialista en Pedagogía para el Desarrollo del aprendizaje autónomo, Magíster en Instrumentación Física.

la actualidad y principalmente en Colombia se construyen minas de tipo artesanal, con lo que se dificultan cada vez más las tareas de desminado. Gracias a las cifras alarmantes de víctimas en Colombia diversas instituciones se preocupan tanto por el bienestar de las mismas como la prevención de las personas más vulnerables a este tipo de accidente, una de las organizaciones más comprometidas es el programa Presidencial para la Acción Integral contra Minas Antipersonal, el cual realiza con cierta regularidad estudios de las zonas más minadas y donde ocurren en mayor proporción estos percances. Además comparten el mismo deseo de bienestar, instituciones que velan por el cuidado de la niñez en Colombia como la fundación “Mi Sangre”, la asociación “Niños de Papel” y el fondo internacional de las naciones unidas para la infancia “UNICEF”, entre otros, que velan por los derechos de los niños que se ven afectados directa o indirectamente con la problemática.

### III. DESARROLLOS EN LA DETECCIÓN E IDENTIFICACIÓN DE MINAS TERRESTRES.

#### A. Imágenes de minas terrestres con detector de metales MD y radar de penetración terrestre GPR [1].

La unión de dos tecnologías usadas comúnmente en la detección de minas, logra obtener resultados interesantes como es el sistema avanzado de imágenes de minas terrestres o sus siglas en inglés (ALIS Advanced Landmine Imaging System). Este sistema es el resultado del uso simultáneo del GPR (Ground Penetrating Radar) y el MD (Metal Detector), estos instrumentos de alta confiabilidad son compatibles entre sí aunque requieren ser operados por personal calificado como se observa en la Figura 1. El montaje consiste en tener el MD y el GPR simultáneamente en un cabezal de búsqueda, monitoreados por una cámara CCD (dispositivo de carga acoplada) ubicada en la cabeza del operario, esta entrega la información de posición referenciando dos puntos ( $x, y$  para formar un plano), junto con una pantalla inalámbrica que puede ser manipulada y observada por otra persona, quien evalúa la imagen adquirida por ALIS; además una pequeña pantalla de visualización frontal; donde el operario puede ver las señales entregadas por el MD.

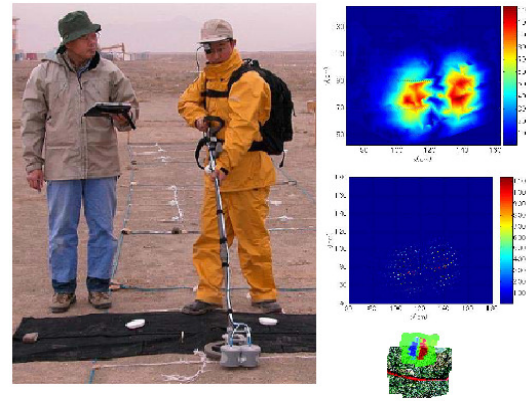


Figura 1. Sistema ALIS. [1]

El escaneo de la superficie en cuestión debe estar a una altura fija y el equipo procesará la imagen tomada en determinada área, este procesamiento toma como base los datos adquiridos por el detector de metales MD y del GPR realizando una interpolación de los puntos irregulares de ambas fuentes.

La experimentación a base de estas dos tecnologías y el procesamiento posterior de los datos adquiridos arrojan imágenes de dos y tres dimensiones respectivamente, las cuales pueden fácilmente tras una interpretación, definir la posición de la mina.

Además con este proceso se puede discriminar entre un metal y la mina real, pues el detector de metales no diferencia una pieza metálica o una mina, simplemente produce un silbido al encontrar cualquiera de estos dos; otro de los resultados de esta experimentación realizada en Afganistán en escenarios reales es que con el MD no es posible detectar las minas a grandes profundidades mientras que con el GPR se puede de forma más certera ubicar una mina que se encuentra a una profundidad aproximada de 20 cm.

#### B. Espectroscopia de la inducción electromagnética en minas antipersonas [2,3].

La espectroscopia de la inducción electromagnética (EMIS) puede darse en el momento en que un objeto es expuesto a un campo electromagnético de baja frecuencia, y éste a su vez produce un campo magnético secundario.

Al medir el espectro de banda ancha del campo secundario, se obtiene una firma de espectrales que pueden identificar el objeto. Con base en la respuesta, se puede obtener por decirlo de alguna forma la "huella digital" del objeto.

Para comprobar la veracidad de dicha teoría aplicada en el reconocimiento de las minas antipersonas emplearon el dispositivo GEM3 observado en la figura 2, que consiste en un sensor electromagnético de banda ancha usado para la investigación geofísica del suelo. El GEM3 tiene un ancho de banda de 24 kHz a 30 kHz para su operación.

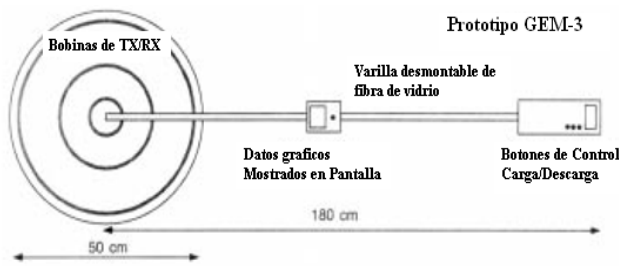


Figura 2. Diagrama esquemático del prototipo GEM-3 [2]

Por otra parte en la figura 3 se detalla que el sensor está compuesto por un par de bobinas circulares las cuales transmiten una señal electromagnética de banda ancha controlada digitalmente, estas dos bobinas conectadas con polaridad negativa, se encuentran ubicadas en lugares y dimensiones precisas, creando un área de cavidad magnética en el centro de las bobinas. La bobina receptora del GEM-3 se ubica dentro de la cavidad magnética para detectar solo las señales débiles, el campo secundario regresaría desde la tierra o los objetivos en cuestión (en este caso las minas).

Estas frecuencias son convertidas por el programa incluido en el GEM-3 a flujo de datos digitales para construir las formas de ondas para su posterior análisis. La señal se reconstruye por PWM (Pulse Width Modulation).

El switcheo de transmisión trabaja con una frecuencia de 96KHz.

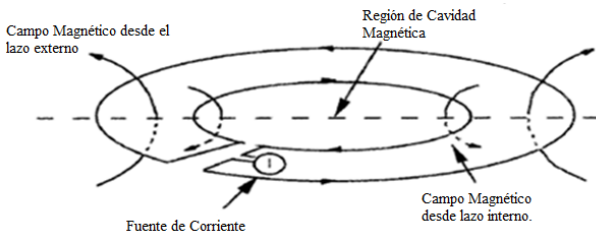


Figura 3. Representación de la cavidad magnética en el circuito cerrado conectado con polaridad opuesta [2].

El resultado de la inducción electromagnética es una respuesta compleja donde la parte real es llamada "Inphase" y la parte imaginaria es "Quadrature".

En sí lo que explora el GEM-3 es la conductividad ( $\mu$ ) y la permeabilidad magnética ( $\sigma$ ) del objeto explorado.

En este caso en particular se examinan las propiedades de algunos metales que son comúnmente usados para desarrollar armas y minas terrestres.

	Conductividad Eléctrica $\times 10^6$ Siemen/m	Susceptibilidad Magnética $\times 10^{-6}$ (mks)
--	--	--

Cobre	58,82	-9,4
Latón	14,29	-
Aluminio	35,71	21,0
Monel (Aleación Níquel y Cobre)	2,38	-
Plomo	4,55	-17,0
Estaño	8,70	31,0
Zinc	17,24	-11,4
Níquel	1,28	Ferroso
Plata	62,50	-26,0
Oro	40,98	-34,0

Tabla 1. Conductividad eléctrica y Susceptibilidad Magnética de metales No ferrosos comunes [2].

	Conductividad Eléctrica $\times 10^6$ Siemen/m	Permeabilidad Magnética Relativa @ $\beta=20Gauss$
Acero laminado	10,0	100
Hierro	10,0	200
Hierro purificado	10,0	5.000
Hierro 4% Silicio	1,7	500
45 Permalloy (Aleación Magnética Níquel y Acero)	2,2	2.500
78 Permalloy	6,3	8.000
4-79 Permalloy	1,8	20.000
2-81 Permalloy	0,0001	125
Súper Permalloy	1,7	100.000
Mu Metal (Aleación Níquel y Hierro)	1,6	20.000
Hipérico	4,0	650
Hypernik	2,0	4.500
Monimax	1,3	2.000
Sinimax	1,1	3.000
Permendur	14,3	800
2V Permendur	3,8	800

Tabla 2. Conductividad eléctrica y Permeabilidad Magnética de metales ferrosos comunes [2].

Un atributo a tener en cuenta para la identificación de objetos es la respuesta conductiva "Inphase" de metales la cual es siempre positiva, mientras en metales no ferrosos tienen una respuesta de conductividad ( $\mu > 1$ ) "Inphase" negativa a bajas frecuencias.

En la Figura 4 se muestra el EMIS de varias minas especializadas y dentro de las cuales hay dos en particular (M14 y PMA3) por el material que están hechas que es el plástico ya que es de difícil detección pues en su carcasa no hay materiales metálicos ni con alto contenido ferroso, además de contener partes metálicas muy pequeñas en su mecanismo de activación [4]. Se puede apreciar que el espectro para cada mina es único por sus curvas de "Inphase" y "Quadrature".

De las particularidades a observar en las gráficas de EMIS son la amplitud de la respuesta, el pico de frecuencia en cuadratura, los cruces por cero y las componentes "Inphase" negativas para bajas frecuencias en metales ferrosos.

Un resultado importante que arroja la investigación es que gracias al análisis de los datos obtenidos con la técnica de espectroscopía por inducción electromagnética se puede

discriminar (en un alto grado) si en realidad el objeto encontrado corresponde a una mina o por el contrario son simplemente restos de metal dejados en el lugar, ya sea que estén allí por un combate ocurrido con anterioridad o sencillamente es basura en el lugar de exploración.

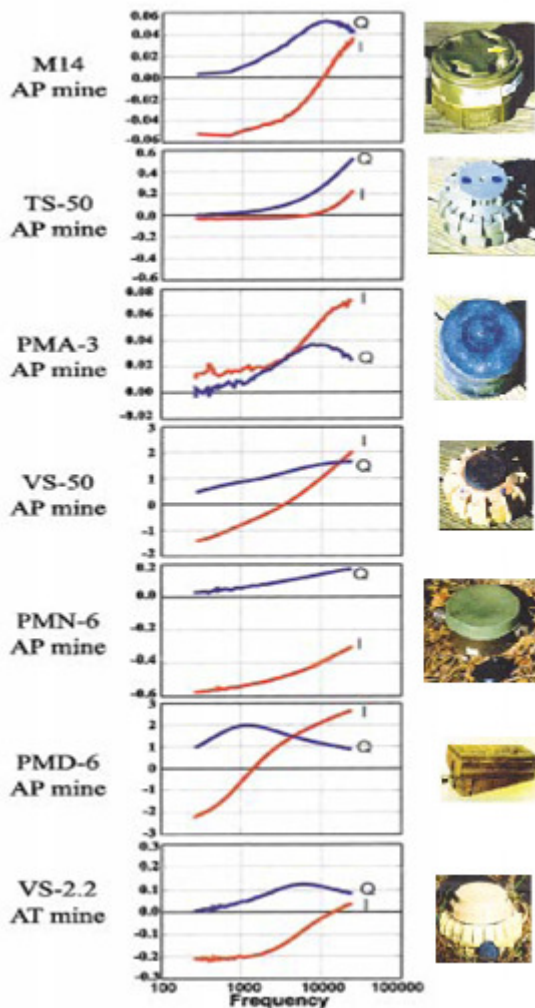


Figura 4. Espectros de EMIS adquiridos por el GEM-3 de minas de difícil detección con detectores de metales portátiles a excepción de la mina PMD-6. (ppm-vs-Hz. AP-AT *Antipersonal mines and Antitanque mines*) [5].

#### IV. ESTRUCTURAS MÓVILES PARA EL DESMINADO HUMANITARIO.

##### A. Silo-6 Robot de seis extremidades para desminado humanitario [6].

Para la implementación de un robot se debe tener en cuenta su forma de desplazamiento, ésta puede ser a base de llantas pues es económica y simple, o también puede ser de tipo oruga la cual es ventajosa para moverse sobre la mayoría de terrenos, pero en este caso se observa un desarrollo a base de extremidades que puede servir en materia de desminado [7].

En algunos casos se toma de base a la naturaleza como formas de insectos para construir este tipo de prototipos.

El robot Silo-6 está compuesto por el cabezal del sensor que contiene un control de altura para mantenerlo a una distancia específica del suelo y por un detector de metales comercial para hallar posibles minas, luego viene el manipulador del escaneo el cual hace que se mueva el cabezal del sensor en los terrenos irregulares, después de este está el localizador, el cual marca la posición exacta de una posible mina y almacena dicha posición para una posterior remoción; todos estos segmentos se encuentran en la plataforma móvil, mostrada en la figura 5 haciendo referencia al hexápodo articulado.

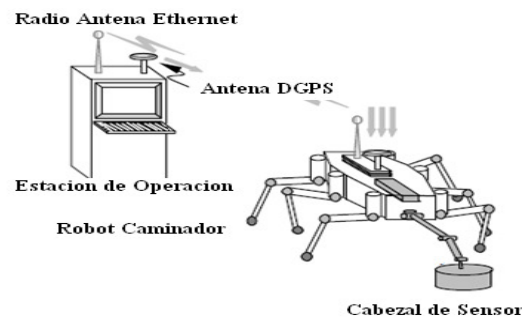


Figura 5. Sistema DYLEMA (Detección Y Localización Eficiente de Minas Antipersonas) [8].

Además de la plataforma móvil, está el control global del sistema que se encuentra distribuido en dos partes, una permanece en el robot caminador y la otra es la estación de operación.

La primera controla y coordina los movimientos de los pies, la comunicación con el DGPS (Differential Global Positioning Systems), el detector de metales y la comunicación con la estación por radio Ethernet; y la segunda compuesta por un computador remoto encargado de almacenar los datos obtenidos desde la plataforma móvil.

##### B. Sistema multi-robot para la detección de minas.

En el desminado humanitario se han hecho desarrollos en robótica, compuestos principalmente por un solo dispositivo móvil terrestre, pero poco a poco se han desarrollado avances para este tipo de tareas. Los helicópteros no tripulados son uno de los avances que hacen parte del sistema multi-robot estos recolectan datos multiexpectrales desde el aire. Un ejemplo de ello es el Camcopter que toma datos por medio de cámaras infrarrojas-multiespectrales y por sistemas GPR (Ground Penetrating Radar) [10].

Estos helicópteros son de un costo alto y con complejos sistemas de control.

A pesar del valor económico que representa, es beneficioso tener a varios elementos realizando distintas tareas para llegar al

objetivo principal; en este caso cada uno de los robots se encarga de ejecutar diferentes labores de exploración para sí llegar a varios lugares en un mismo tiempo optimizando el proceso.

Guardando una armonía entre cada uno de los actores del sistema gracias a la arquitectura de funciones mostrada en la figura 6, donde los agentes cumplen tareas específicas.

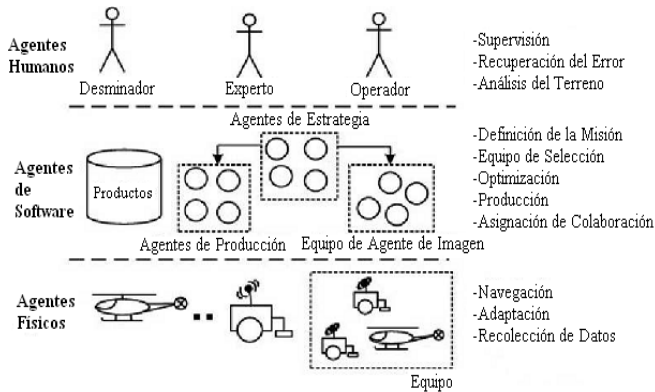


Figura 6. Arquitectura del sistema Multi-Robot [9].

La estrategia de operación del sistema multi-robots es adquirir datos desde la plataforma del helicóptero no tripulado donde muestre por medio de imágenes multispectrales los posibles lugares minados y la forma del terreno, la base de este método es el conocimiento heurístico del terreno (por ejemplo, la altura de los arbustos, rocas, etc.), que podría extenderse al conocimiento probabilístico, siempre y cuando haya suficientes datos sobre las características del terreno.

C. Sistema móvil para la detección y localización de minas antipersonales SCAN [12].

Un grupo de estudiantes colombianos desarrollaron una plataforma móvil expuesta en la figura 7 donde reúnen cinco bloques de trabajo estos son: el bloque de potencia, el de sensado, de orientación, de medición, de detección y control de ruta.

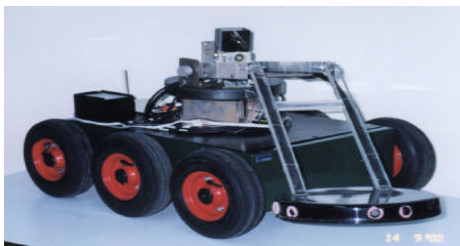


Figura 7. Plataforma mecánica SCAN I [12].

Se observaron las características de cada bloque de trabajo, en primer lugar en el módulo potencia adaptaron el sistema para las necesidades y exigencias del terreno con motores de corriente directa, en la parte de sensores de posicionamiento y orientación implementaron estrategias

para que el dispositivo pueda desplazarse de manera autónoma dentro del campo sin que se tropiece con obstáculos; del mismo modo está el bloque de medición para saber en qué lugar esta y cuanto se ha desplazado dentro del terreno; para la detección de metales los estudiantes contemplaron utilizar varios tipos de sensores pero fueron descartados por “el hecho de que las tecnologías de detección de minas que actualmente se encuentran siendo desarrolladas, resultan muy costosas (como el GPR); y la segunda es la difícil consecución de las mismas. Basados en esto y en el hecho que el proyecto se encuentra enmarcado en Colombia, donde las minas son fabricadas en su mayoría con diversos componentes metálicos (dígame tornillos, tuercas, clavos, etc.), se optó por un detector de metales, el cual cumpliera con los requerimientos de la aplicación”<sup>1</sup>. Para la plataforma SCAN utilizaron un microcontrolador, integrando cada una de las señales adquiridas y proporcionadas por cada módulo. Además de cada uno de los bloques crearon una interfaz gráfica en Labview la cual proporciona información valiosa de monitoreo para las acciones que realice la plataforma.

D. Comet: Robot de 6 patas con dos manipuladores para las detección de minas antipersonas [14].

El profesor japonés Nanomi Kenzo y su grupo de investigación han desarrollado varios robots de 6 patas usados para la detección y el desminado humanitario en todas las versiones llamado Comet (II, III y IV) [16]. El Comet II mostrado en la figura 8 tiene un peso total de 100Kg utilizando en su estructura CFRP (Polímero de Fibra de Carbono Reforzado) para reducir su peso y consumo de energía, este contiene un sensor laser para detección de obstáculos finos como cables; el Comet II contiene una fuente de poder con un generador DC usando gasolina, la cantidad de gasolina disponible infliere sustancialmente en el tiempo de trabajo, normalmente puede recorrer un campo de 600m<sup>2</sup> en una hora lo cual es rápido para ser un robot con extremidades.



Figura 8. Vista General de Comet II [14].

El robot Comet II está equipado con cámara infrarroja y de luz visible, mecanismos de control de altura y un GPS (Sistema de Posicionamiento Global). Para la movilidad este posee estructuras capaces de desplazarse en varias direcciones y explorar distintas trayectorias inclusive terrenos agrestes. Para la detección de las minas contiene un sistema combinado de sensores conformados por dos GPR (Ground Penetrating Radar) y un Detector de Metales, uno de los GPR se encuentra en la

parte inferior interna del cuerpo. Por último la comunicación del robot se da por medio de dispositivos de tele-operación que envían y reciben imágenes y reciben y transfieren comandos de control, además una vez establecida la comunicación se pueden ver los resultados de movimiento del robot en una interfaz grafica en tiempo real.

## V. CONCLUSIONES.

- La unión de las tecnologías MD y GPR son un gran complemento, ya que se puede excluir si lo de detectado es un metal cualquiera o una mina real, además con la interpolación de los datos adquiridos se pueden dar resultados más confiables.
- Gracias a las investigaciones realizadas sobre la espectroscopia de la inducción electromagnética (EMIS) y las pruebas de ensayo y error sobre los tipos de materiales de los que están hechas las minas, se pueden obtener gráficas características correspondientes al tipo de mina ayudando así a su discriminación por material.
- En cuanto a los prototipos realizados de robots de seis patas se puede observar su gran facilidad de desplazamiento sobre cualquier tipo de superficie, aunque presentan desventajas en cuanto al tamaño para su manipulación y transporte a zonas de difícil acceso.
- Los sistemas de multi-robot al utilizar varios dispositivos móviles (terrestres y aéreos) pueden trabajar de forma cooperativa, optimizando el tiempo de exploración y detección de objetivos peligrosos.
- Las nuevas formas para construir robots detectores de minas son cada vez más eficientes y confiables por su gran capacidad sensorial y de reacción frente a obstáculos y elementos explosivos, además de su comportamiento en terrenos hostiles brindando seguridad a las personas que se deben desplazar por zonas peligrosas y cumplen tareas de desminado.

## REFERENCIAS

- [1] Xuan, Feng. Motoyuki, Sato. "Landmine imaging by a Hand-held GPR and metal detector sensor (ALIS)" *IEEE Geoscience and Remote Sensing Symposium*, 2005.
- [2] I. J. Won, Dean A. Keiswetter, and Thomas H. Bell. "Electromagnetic Induction Spectroscopy for Clearing Landmines." *IEEE Trans. On geosciences and remote sensing*, vol. 39, no. 4, April 2001.
- [3] Haoping Huang, I.J. Won. "Automated Identification of Buried Landmines Using Normalized Electromagnetic Induction Spectroscopy". *IEEE Trans on Geoscience and remote sensing*, vol. 41 march 2003.
- [4] *Mine Recognition and Warfare Handbook*. Fort Monroe, VA: U.S. Army Engineer Center, 1990.
- [5] Graphics from Aeroquest sensor technologies of geophysical research and instrumentation [Online]. Available: [http://www.geophex.com/GEM%203/EMIS/EMI\\_S.htm](http://www.geophex.com/GEM%203/EMIS/EMI_S.htm)
- [6] P. Gonzalez De Santos. E. Garcia. J.A. Cobano. A. Ramirez. IAI-CSIC Spain. "Silo6: a Six-legged Robot for Humanitarian De-mining Tasks". *IEEE Automation congress, 2004. Proceedings. World Volume 15*.
- [7] Gonzalez de Santos, P., Garcia, E., Cobano, J.A. and Guardabrazo, T., "Using Walking Robots for Humanitarian De-mining Tasks", *Proceedings of the 35<sup>th</sup> International Symposium on Robotics, Paris, France, March 23-26, 2004*.
- [8] González de Santos, Pablo. García Armada, Elena. Estremera, Joaquín. Armada, Manuel A. "DYLEMA: Using walking robots for landmine detection and location" *International Journal of Systems Science Vol. 36, No. 9, 15 July 2005*.
- [9] Santana, Pedro. Barata, José. Cruz, Hildebrando. Mestre, Antonio. Lisboa Joao. Flores, Luis. "A multi-robot system for landmine detection". *IEEE conference Emerging Technologies and Factory Automation, September 2005*.
- [10] S. Burke. The U.S. department of defense humanitarian demining research and development program. *Journal of Mine Action, 7.1, April 2003*.
- [11] Santana, Pedro. Barata, Jose. "Unmanned Helicopters Applied to Humanitarian Demining". *IEEE conference Emerging Technologies and Factory Automation, September 2005*.
- [12] Coronado, Javier. Rizo, Javier. Campo, Camilo. "Sistema Móvil para la Detección y Localización de Minas Antipersonales". *Pontificia Universidad Javeriana. Artículo Proyecto de grado Ingeniería Electrónica 2002*.
- [13] Coronado, Javier. Rizo, Javier. Campo, Camilo. "Sistema Sensorial para un Robot Aplicado a la Detección y Localización de Minas Antipersonales". *IEEE Latin American CAS Tour 2002 Ponencia: año:2002*.
- [14] Kenzo, Nonami, Qing-Jiu Huang. "Humanitarian Mine Detection Six-Legged Walking Robot COMET- II with Two Manipulators". *Kenzo, Nonami's Home Page*. Dr. Eng. Professor, Department of Electronics and Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Chiba University, Japan. [Online]. Available: <http://mec2.tm.chiba-u.jp/~nonami/dfile/comet-II-eng.pdf>
- [15] Kenzo, Nonami. "Development of Mine Detection Robot COMET-II and COMET-III". *SICE 2002. Proceedings of the 41st SICE Annual Conference. 5-7 Aug. 2002*.
- [16] H. Ohroku, A. Irawan, K. Nonami, A. "3D Simulator modelling for Hydraulic-drive Hexapod walking Robot using." *ICGST- ARAS Journal, Volume (09), Issue (1), December, 2009*.