

**THE TMR-1. A TELEOPERATED MOBILE ROBOT****EL TMR-1. UN ROBOT MOVIL TELEOPERADO****Ing. Melvin Andrés González Pino, PhD. Cristhian Manuel Durán Acevedo****Universidad de Pamplona**

Ciudadela Universitaria. Pamplona, Norte de Santander, Colombia.

Tel: 57-7-5685303, Fax: 57-7-5685303 Ext. 156

E-mail: {ingmelvin, cmduran}@unipamplona.edu.co

**Abstract:** This article consists in the design and construction of a teleoperate robot TMR-1, which is a prototype developed for the care of high-risk situations in hostile environments. The robot can be controlled at a safe distance from a central command through of video cameras system. Consists of a modular system and configurable depending on the need, consisting of two manipulator arms, clamps grip and a control system that allows great maneuverability especially in enclosed spaces, through of a system of wheels with traction differential. This robot could perform tasks such as transport, manipulate, pushing and dragging objects, as well as conducting surveys of land, emergency or natural disaster, explosive ordnance disposal. The equipment can be updated through the location of other devices sensors.

**Resumen:** El artículo consiste en el diseño y construcción de un Robot TMR-1 teleoperado, el cual es un prototipo desarrollado para la atención de situaciones de alto riesgo en ambientes hostiles. El robot puede ser controlado a una distancia segura y desde una central de mando a través de un sistema de cámaras de video. Consiste de un sistema modular y configurable dependiendo de la necesidad y consta de dos brazos manipuladores con pinzas de agarre. El sistema de control permite una gran maniobrabilidad sobre todo en espacios cerrados a través de un sistema de ruedas con tracción diferencial. Este Robot podría realizar tareas como transportar, manipular, empujar y arrastrar objetos, así como realizar reconocimientos de terreno o situación de emergencia o desastre naturales, desactivación de artefactos explosivos. El equipo puede ser actualizado a través de la ubicación de otros dispositivos sensores.

**Keywords:** Teleoperate Mobile Robot, Manipulator arm, Camcorder, Exploration Earth.

**1. INTRODUCCIÓN**

A medida que la robótica avanza el hombre encuentra cada vez mas aplicaciones para los robots, cada vez son más frecuentes situaciones en donde se requiere la manipulación de sustancias peligrosas, tales como: Sustancias químicas, biológicas, explosivas o radioactivas; o en ciertos

casos el reconocimiento de ambientes hostiles o cubrimiento de zonas de alto riesgo de desastre.

En este artículo se describe el prototipo TMR1, un robot móvil desarrollado en la Universidad de Pamplona y único en la región, para realizar tareas de alto riesgo en el transporte y neutralización de artefactos explosivos improvisados. Estas tareas

son conocidas en el ámbito militar como operaciones EOD (*Explosive Ordnance Disposal*), además de tareas de atención de emergencias y rescate.

Desafortunadamente Colombia es el único país del continente que tiene un aumento permanente de víctimas debido a la ubicación estratégica de minas antipersonales por parte de los grupos terroristas. Las Fuerzas Militares (Policía Nacional), actualmente cuentan con robots importados de primera generación, como es el caso del MK7 y de segunda generación como el ANDROS, cuyo costo hoy supera los 1000 millones de pesos (500.000 Dólares USD) cada uno. Actualmente existen cuatro unidades distribuidas en igual número de ciudades, ofreciendo poca cobertura sobre el territorio nacional, estas unidades no están diseñadas específicamente para el tipo de situaciones que se presentan en Colombia, debido a que generalmente los artefactos explosivos son elaborados de forma artesanal.

Hoy en día estos escuadrones cuentan con una dotación de equipos y herramientas muy limitadas para atender estos casos de emergencia, y en muchos casos esta dotación no es la adecuada para manejar de forma óptima la situación de emergencia (Ver figura 1). Esto debido en parte a que la mayoría de sus equipos son donados por gobiernos extranjeros, en donde las características de sus conflictos son muy distintas y por esto los parámetros de diseño y funcionalidad difieren a los requeridos en el país.



Fig. 1. Desactivación Manual de Minas Terrestres

El Robot desarrollado en este trabajo es muy similar tecnológicamente a los que se encuentran en el mercado, entre los que se destacan a nivel mundial los equipos de segunda y tercera generación especializados en este tipo de aplicaciones: Como el ALLEN-VANGUARD

MK2, ANDROS, PACKBOT, SWORD-TALON, pero todos ellos con altísimos costos.

## 2. DESCRIPCION DEL EQUIPO

### 2.1. Estructura Mecánica

El prototipo TMR1 es un sistema modular desarmable, básicamente está formado por un chasis, un sistema de tracción, dos brazos manipuladores intercambiables, una torre de cámaras y un par de orugas intercambiables.

Como se observa en la figura 2, esta configuración facilita su transporte de manera que este puede ser armado o desarmado fácilmente por una sola persona, y en menos de 2 minutos; está es una de las características más importantes para la atención de emergencias.

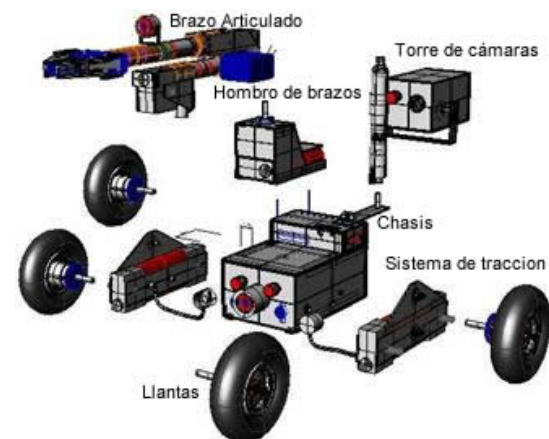


Fig. 2. Diagrama de Bloques modulares del TMR1

Es importante destacar que en su mayoría todas las partes que componen el TMR1 se fabricaron de aluminio, a excepción de algunas partes que requieren mayor resistencia como sistemas de tracción y algunas articulaciones de los brazos manipuladores. El uso predominante de aluminio tiene por objeto reducir en lo posible el peso del equipo (70 Kg aproximadamente), esto aumenta su versatilidad, por que permite una mayor portabilidad y duración de la carga de baterías, característica muy importante en los robots EOD de tercera generación.

### 2.2. Chasis

El chasis cuenta con una arquitectura en forma de caja, está construido en lámina de aluminio de 6mm

de espesor y alberga los sistemas electrónicos de control, baterías y equipos de comunicación (Ej: Las antenas) y sirve como soporte al sistema de tracción diferencial, el hombro de los brazos, así como la torre de cámaras. Dependiendo de la configuración se puede modificar la altura, subiendo o bajando el centro de gravedad del robot.

En la parte del frente tiene una cámara a color con dos luces acopladas y los correspondientes conectores de potencia para el sistema de tracción; en la parte superior cuenta con un compartimento independiente para aislar en lo posible a los equipos de comunicación del ruido eléctrico, de los motores y etapas de potencia. En la parte trasera se encuentran los conectores de potencia para el sistema de tracción, un interruptor para seleccionar la fuente de potencia, una entrada de potencia de la fuente externa, una cámara tipo bala, y los conectores de los buses de potencia y datos para los brazos, por último una torre de cámaras además del bus de video.

### 2.3. Sistema de tracción diferencial y llantas

Se compone de cuatro llantas con motores de 400W cada uno para un total de 1.6 KW, que son movidas en parejas de izquierda y derecha. Cada motor esta acoplado a una etapa primaria de reducción con un sistema satelital de engranajes, el eje de salida está a su vez acoplado a la segunda etapa de reducción (Tornillo sin fin con corona de bronce), con rodamientos que le permite soportar hasta 100 Kg de peso adicional (Ver figura 3).

El sistema de tracción le permite al robot TMR1 desplazarse a una velocidad de 2 Km/h, proporcionándole un alto grado de maniobrabilidad en espacios cerrados. Gracias a ser un sistema modular configurable, el sistema de tracción puede ser acoplado en dos formas, la primera es una configuración mas elevada del suelo y mas angosta, que le permite maniobrar en espacios más reducidos pero reduce la capacidad de carga; la segunda forma es más ancha aumentando la base de apoyo y bajando el centro de gravedad del equipo, permitiéndole mayor capacidad de carga y estabilidad.



Fig. 3. Configuraciones del sistema de tracción diferencial

El juego de llantas inflables cuenta con un sistema de fácil intercambio para un rápido remplazo en caso de avería. El control de las ruedas permite el giro del robot en un radio de cero, es decir puede girar completamente sobre su sitio, esto se logra invirtiendo el giro de las ruedas derechas e izquierdas por separado.

### 2.4. Brazos Manipuladores y Pinzas de Sujeción:

Debido a la diversidad de tareas específicas que debe adelantar el robot, se optó por diseñar y construir dos brazos con diferente configuración mecánica.

- *Brazo telescópico:* Tal y como se observa en la figura 4, el brazo fue diseñado para labores más sencillas como levantar y transportar un objeto sospechoso en espacios abiertos de una forma rápida y sencilla; cuenta con 4 grados de libertad y permite una capacidad de carga de hasta 15 Kg y un giro de pinza de 720 grados con una aproximación telescópica muy útil al momento de sujetar un objeto.



Fig. 4. Brazo telescópico con sensor de metales

- *Brazo articulado:* Tiene la capacidad de realizar movimientos más complejos, también proporciona un amplio rango de alcance (hasta 2m de altura), y por esta razón tiene una capacidad de carga baja cuando el brazo está

completamente extendido, obligando al operador a transportar cargas pesadas lo más cerca posible al chasis para evitar que el robot se voltee. Otra tarea que se puede realizar con este brazo es la inspección por debajo de los vehículos (Ver ejemplo de la figura 5), en busca de cargas explosivas o cableados sospechosos (típicos en los carro-bombas), ya que su forma le permite plegarse sobre el mismo.



Fig. 5. Brazo Articulado inspeccionado vehículo.

En los dos tipos de brazos se usaron motores de 200W acoplados a etapas de reducción con engranajes satelitales, ya que se optó por un sistema de control descentralizado. Cada brazo tiene sus propios circuitos de control, apostados en pequeños compartimentos, donde llegan los cableados correspondientes a los buces de potencia y datos de control, para dar la potencia apropiada a cada motor. Cada brazo cuenta con pinzas idénticas con sistema de reducción de alta relación, dándole una gran fuerza de sujeción mayor a 100 Kg. A partir de un sistema de dedos paralelos y una cubierta de caucho especial, le permiten al robot sujetar objetos pesados, reduciendo el riesgo que se suelten por causa de la vibración al momento de transportarlo. Además cada brazo contiene una cámara de video que le permite al operador manipular con precisión el objeto sospechoso.

### 2.5. Torre de Cámaras

La torre de cámaras es uno de los elementos más importantes al momento de la manipulación o inspección de un objeto, está ubicada estratégicamente y también es llamada cámara de ataque. Le permite al operador tener un punto de vista adecuado que debe complementarse con la imagen recibida por la cámara del brazo, ya que al recibir imágenes en 2 dimensiones es muy difícil calcular la profundidad del espacio de trabajo, y

esto podría ocasionar errores o accidentes. La cámara tiene dos grados de libertad, 300 grados en la horizontal y 90 grados en la vertical (PT pan y til). En una versión futura se incluirá una cámara con zoom óptico (PTZ) más compacta. Complementando la función de la cámara de ataque se encuentra una lámpara de LED's, de bajo consumo. La torre de cámaras puede ser acoplada en 3 formas, la primera sobre el brazo telescópico de manera que se mueve en conjunto con el brazo en el plano horizontal, la segunda es la parte trasera del robot sobre una extensión mecánica plegable que la aleja del brazo articulado, proporcionándole mayor espacio de trabajo (Ver figura 6), y la tercera es en el centro del chasis en lugar de los brazos manipuladores.



Fig. 6. Torre de Cámaras.

### 2.6. Sistema de Orugas Intercambiables

Por la dificultad para subir escaleras con las ruedas obligo al diseño de un sistema de orugas intercambiables (Aun en desarrollo, Ver figura 7), que permitieran además desplazarse en terrenos irregulares de una manera más estable.



Fig. 7. Sistema de Orugas Intercambiables

El sistema de oruga diferencial trabaja de forma similar a las ruedas, y está conformado por una cadena unida a una serie de placas en aluminio que a su vez tienen tacos de cauchos especiales; esto le



permite obtener mayor agarre en superficies inclinadas. Al mismo tiempo puede absorber en cierto grado la vibración producida al momento del desplazamiento.

### 2.7. *Sistemas Electrónicos*

El sistema electrónico del TMR1 está formado por una serie de módulos separados, cada uno con un microcontrolador encargado de recibir las órdenes, y controlar los diferentes motores. Todos los módulos están conectados a los tres buses principales, el de potencia, bus de alimentación y el bus de datos. El bus de potencia se encarga de llevar la suficiente cantidad de corriente que requieren los motores de desplazamiento, y las articulaciones de los brazos; el bus suministra un voltaje de 12V.

El bus de alimentación transporta 12V a los circuitos, cámaras, transmisor de video y el equipo de comunicaciones. A su vez está aislado eléctricamente del bus de potencia, debido a que es necesario por los grandes picos de corriente (hasta 80A) que generan los diferentes motores.

El bus de datos es el encargado de llevar las ordenes recibidas por el equipo de comunicaciones, y recibe los datos enviados desde la central de control (Radio Modem).

### 2.8. *Cámaras de Video*

Las imágenes de video son las señales de retroalimentación en el sistema de control del robot, el TMR1 cuenta con 5 cámaras distribuidas así:

- *Cámara 1*, está ubicada en la parte frontal del chasis, también llamada cámara de navegación, tiene como función facilitarle al operador el desplazamiento del robot.
- *Cámara 2*, ubicada en la parte trasera del chasis, y es muy útil para evitar colisiones cuando se maniobra en espacios reducidos.
- *Cámaras 3 y 4*, están montadas en cada uno de los brazos manipuladores, muestran de manera detallada las pinzas y el objeto que se va a manipular.
- *Cámara 5*, llamada también cámara de ataque, ubicada estratégicamente le da la libertad de ver el alrededor del robot con dos grados de libertad (PT).

Todas las cámaras trabajan a 12V con salida de video NTSC estándar de 30 cuadros por segundo con sensor CCD de 1/3", 3.5 mm focal y 320 líneas de resolución; envían imágenes a color

cuando hay suficiente luz, en caso contrario pasan a trabajar en modo de visión nocturna, encendiendo una serie de LED's infrarrojos que le permiten trabajar en completa oscuridad. A demás pueden trabajar en la intemperie si se requiere, ya que están encapsuladas herméticamente.

Todas las cámaras están conectadas a un circuito secuenciador controlado, el cual selecciona la señal deseada por el operador, ya que el transmisor de video solo puede transmitir una señal de video a la vez.

Para mejorar la visibilidad del operador el robot cuenta con varias fuentes de luz, estas luces están ubicadas al frente del chasis (2 luces) y en la torre de cámaras.

### 2.9. *Equipos de comunicación*

EL equipo de transmisión de video es de 2.4 GHz, y envía la señal de la cámara seleccionada hasta la central de control. Por otra parte un radio modem permite una comunicación full dúplex, con velocidades de transmisión de 9600 baudios, y se envían las ordenes desde el la central de control hacia el robot. En un futuro se planea usar la comunicación en sentido contrario para enviar información de sensores o herramientas avanzadas; el alcance del enlace de radio está por encima de los 500 metros en campo abierto con línea de vista, y 200 metros en zonas urbanas, permitiendo mantener el control del robot desde una distancia segura

### 2.10. *Baterías y fuentes alternas de energía*

El robot cuenta con un juego de 3 baterías separadas para evitar interferencias y problemas de ruido en los componentes más sensibles. La primera batería es seca y de plomo con 12V y 17.2 Ah, que proporciona la mayor potencia para alimentar los motores de desplazamiento y brazos; las demás son paquetes de pilas de Ni Cd de 12V y 1.3 Ah que suministran energía a los circuitos de control, cámaras y equipos de comunicación.

La autonomía del TMR1 con las baterías completamente cargadas es de 1 hora aproximadamente, un tiempo relativamente corto para el tipo de misiones que debe realizar, por esta razón se piensa en reemplazar las baterías actuales por baterías de alto rendimiento y las cuales son más livianas (Ej: Celdas de Ion Litio).

La tarea de desminado terrestre puede abarcar aéreas muy grandes de terreno, por esto se desarrolló un sistema generador de electricidad alterno a las baterías, básicamente consiste en una planta eléctrica pequeña de 1 KW, modificada para proporcionar 12V de corriente DC, y así mover los diferentes motores. Con el impulso a gasolina el generador permite el trabajo continuo del robot por periodos de tiempo más largos (Superior a 6 horas continuas de trabajo).

### 2.11. Central de Control

La central de control consiste en una valija muy pequeña y fácil de transportar. Es hecha en plástico resistente y en ella se encuentra una pantalla a color LCD TFT de 7 pulgadas, que permiten al operador observar las imágenes de las cámaras de video. A través de varios mandos analógicos (tipo *joystick*) se tiene como función activar los motores del robot de forma independiente y simultanea si se requiere; además una serie de pulsadores permiten seleccionar la cámara, encender las luces y abrir o cerrar las pinzas.



Fig. 8. Maleta de control

La maleta está alimentada por una batería de Ni Cd de 12V y 1.3 Ah. Ofrece un tiempo de trabajo superior a 3 horas, y tiene en su interior los equipos de transmisión de datos y el receptor de video con un par de antenas internas, y una salida de video RCA.

### 2.12. Herramientas y Sensores de Detección:

Gracias al sistema modular y a los buses de datos y de potencia, es posible desarrollar herramientas y sensores especializados para las labores de EOD.

A continuación describiremos los sensores más importantes usados por los escuadrones de técnicos antiexplosivos de las fuerzas militares:

#### 2.12.1 Sensores

*Detector de metales (en desarrollo):* son la herramienta más importante en la detección de artefactos explosivos, esto es debido a que la mayoría de las minas contienen fragmentos de metales ferro-magnéticos que causan variaciones en campo magnético, generado por el sensor (efecto Hall).

- *Detector de minas por radar:* algunas minas están construidas con materiales plásticos y en vez de metralla usan fragmentos de vidrio, algunas veces con sustancias tóxicas o infecciosas, por esta razón se han desarrollado sensores que usan ondas de radio que penetran el suelo, y al rebotar en materiales de diferente densidad generan un patrón de la sección transversal del terreno, algo parecido a una ecografía médica.
- *Sensores de gases (Caso de estudio):* Las sustancias explosivas usadas en las minas y demás artefactos son en su mayoría volátiles que desprenden un rastro de olor o aroma característico que puede ser detectado usando una matriz de sensores de gases: Actualmente se usan perros entrenados para esta función pero que en muchos casos son engañados. La función de este sensor es hacer varias mediciones de la concentración de los olores emitidos por los explosivos en el aire y tratar de calcular un gradiente espacial que nos indique hacia qué dirección crece la concentración del rastro químico, llevándonos hasta la fuente, en este caso la mina.
- *Dispositivos de rayos X:* Permite analizar el interior de un objeto o paquete, sin la necesidad de realizar un contacto físico o manipulación que pudiera activar la carga explosiva, usa equipos muy similares a los usados en laboratorios de radiología de hospitales.

## 3. PRUEBAS Y RESULTADOS

Una vez terminado el prototipo se inició una serie de pruebas en campo abierto donde básicamente se evaluó su desempeño. A partir de los resultados se obtuvieron las ventajas y desventajas del equipo:

*Ventajas:*

- Fácil de transportar en vehículos pequeños.
- Facilidad de intercambio de sus diferentes partes como brazos, llantas y sistema de oruga.
- Ofrece un alto grado de maniobrabilidad en espacios reducidos gracias a los mandos de control y sistema de tracción diferencial.
- Tiene gran capacidad de arrastrar objetos pesados.
- El brazo articulado permite hacer una inspección de vehículo fácilmente.
- La torre de cámaras nos permite obtener un amplio campo visual alrededor del robot
- Gracias a su gran fuerza las pinzas manipuladoras dan un alto grado de seguridad al agarre.
- Flexibilidad de incorporación de una gama completa de sensores.

*Desventajas:*

- A pesar de que el Radio Modem puede comunicarse a más de 500 metros, la distancia de control del robot está limitada por el corto alcance del transmisor de video cercano a los 200 metros.
- En el momento de extender completamente el brazo articulado o levantar cargas pesadas, se presenta cierto grado de inestabilidad del robot que se puede reducir un poco aumentando la presión del aire de los neumáticos pero sacrificando un poco de agarre al terreno.
- La duración de la carga de baterías es muy corta (1 hora) para este tipo de aplicación, y la recarga requiere un gran tiempo (2 o 3 horas).
- Debe mejorarse la torre de cámaras con una cámara con zoom óptico, que permita hacer acercamientos.

Se espera próximamente hacer pruebas de campo simuladas, supervisadas por técnicos antiexplosivos de las fuerzas militares, que proporcionen información y recomendaciones que serán tenidas en el desarrollo del segundo prototipo.

#### 4. MEJORAS DEL PROTOTIPO

Con el objeto de mejorar el primer modelo, se desarrollará un segundo prototipo (en fase de diseño), más liviano (cerca de 50 Kg), más rápido,

con mayor autonomía en cuanto a la carga de las baterías y alcance de control remoto. Se implementará un sistema de orugas de caucho más livianas que permitan subir escaleras con un centro de gravedad más bajo.

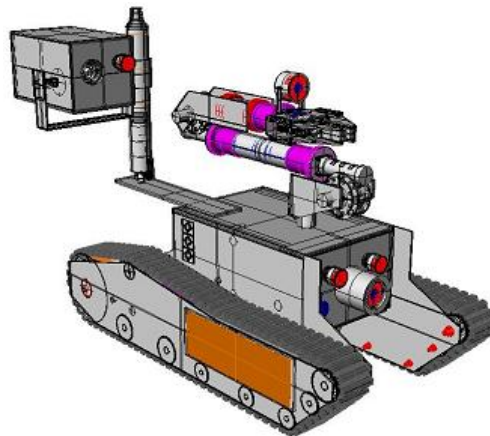


Fig. 9. TMR2 Prototipo Futuro

Se realizarán estudios para incorporar sensores de metales ó de minas y sensores de gases químicos (Como una Nariz Electrónica), que permitan detectar compuestos emitidos por explosivos y además con la opción de implementarlos en aplicaciones de detección de Narcóticos, entre otros.

#### 5. CONCLUSIONES

Se diseñó y construyó un prototipo muy robusto y funcional, que al ser mejorado podría ser muy útil para los organismos de seguridad y atención de emergencias, que requieren equipos versátiles de fácil transporte en situaciones que presenten riesgos para las personas (Ej: Búsqueda de sobrevivientes en zona de desastre como derrumbes o minas colapsadas, neutralización de artefactos explosivos y tareas de desminado humanitario, zonas con contaminación química o riesgo biológico, detección de narcóticos, manipulación de materiales radioactivos, etc.).

#### REFERENCIAS

- Bennet, P. C. –SAND REPORT “Robotic Mobile Manipulation Experiments at the U.S. Army Maneuver Support Center” SANDIA NATIONAL LABORATORIES, Junio 2002.
- Mcfee J.E., V. Aitken, R.Chesney, Y.Das and K. Russell. ”A multisensor, vehicle mounted,

- teleoperated mine detector with data fusion” Proc. SPIE Conference on Detection and Remediation Technologies for Mines and Mine-like Targets III. Vol.3392, Orlando, FL, USA, 13-17 April, 1998.
- Olivares R, C. Zhou, J. Adams, and B. Bodenheimer. Interface Evaluation for Mobile Robot Teleoperation, Proceedings of the ACM Southeast Conference (ACMSE03), pp. 112-118, Savannah, GA, March 2003.
- Ollero A. Robótica manipuladores y robots móviles. Alfaomega. 2001.
- G. Sen Gupta<sup>1</sup>, S.C. Mukhopadhyay, C. H. Messom and S. Demidenko, Master-Slave Control of a Teleoperated Anthropomorphic Robotic Arm, IMTC 2005 – Instrumentation and Measurement Technology Conference Ottawa, Canada, with Gripping Force Sensing, 17-19 May 2005.