

# Diseño e implementación de un robot detector de minas antipersonales metálicas remotamente controlado\*

*Víctor Manuel Mosquera I\*\*  
Diego Alejandro Florez P\*\*\*  
Leonardo Andrés Pérez C\*\*\*\**

## **Resumen**

El presente estudio desarrolló el diseño e implementación de un sistema robótico que permite rastrear y detectar minas antipersonales metálicas; el cual fue desarrollado con tecnología netamente colombiana y a un bajo precio para que pueda ser utilizado en las operaciones de desminado en los campos del país, consistió en el objetivo principal de reemplazar los métodos convencionales de detección que se vienen manejando actualmente en Colombia, los cuales ponen en peligro la vida de quienes asumen el rastreo de las minas.

**Palabras claves:** Minas antipersonales, sistema robótico, métodos convencionales de detección.

## **Abstract**

It is intended to present the design and implementation of a robotic system that allows to track and to detect metallic antipersonnel mines; it is developed with Colombian technology and with a low price, so that it can be used in the operations of mine – clearing in the fields of the country. The main idea of the project is to replace the conventional methods of detection that at the moment Colombia is handling, which put in danger the life of the ones in charge of the tracking of the mines.

**Keys Words:** antipersonnel mines, robotics systems, conventional methods of detection.

\* Jorge Polanía. Director Proyecto de Grado. M.Sc. Electrónica. Profesor Titular. Facultad de Ingeniería. Universidad Surcolombiana. joanpola@usco.edu.co

\*\* Ingeniero Electrónico. Universidad Surcolombiana.

\*\*\* Ingeniero Electrónico. Universidad Surcolombiana. diego40@hotmail.com

\*\*\*\* Ingeniero Electrónico. Universidad Surcolombiana. leonweb10@hotmail.com

## Introducción

“Las minas antipersonales son activadas por la misma persona, y están diseñadas para aniquilar, destruir y matar”. Este mensaje que se transmite por la televisión nacional, forma parte de la campaña que se está realizando en Colombia como estrategia informativa de las medidas preventivas que se deben tener con las minas antipersonales, para lograr un país libre de minas de este tipo.

Basados en estadísticas obtenidas de entidades internacionales, se conoce que Colombia, es uno de los pocos países en América Latina que continúa siendo víctima de esta forma de violencia y es altamente afectado por las minas antipersonales como lo evidencia la cantidad de personas lesionadas.

En el mundo, Colombia es uno de los países con mayor cantidad de minas antipersonales junto con Camboya, Afganistán y Angola.

Actualmente, los métodos utilizados en el país y principalmente en el departamento del Huila, implican que el encargado de la búsqueda de las minas en un campo determinado, tenga que llevar el detector montado en el brazo y se desplace por las zonas de posible detección, exponiendo en riesgo su vida si por error llegase a tropezar con alguna de ellas.



Figura 1. Robot detector de minas antipersonas

## Descripción del proyecto

El sistema robótico implementado en el presente proyecto, está diseñado de tal forma, que detecta cualquier tipo de mina antipersonal metálica que encuentre a su paso. El modelo consta de un mecanismo de tracción (robot), dos estaciones transmisoras – receptoras inalámbricas (una ubicada en el PC y la otra en el robot), un sensor de minas metálicas y un sistema de visualización por cámara. Se controla remotamente por una persona (operador) ubicada en el PC, la cual dirige todos los movimientos propios del robot. La propuesta es desarrollarlo con tecnología propia (Colombiana) a un bajo costo de fabricación.

### Funcionamiento del robot detector de minas antipersonales metálicas

El funcionamiento es sencillo: cuando el robot se encuentra rastreando todos los movimientos de desplazamiento y del sensor, se controlan por el operador. A la hora de detectar una mina, el robot se detiene automáticamente, se desactiva el sensor y se envía una orden al PC, indicando que en el área frontal donde se ha detenido, se localiza una mina. En ese momento el operador debe desplazarse al lugar donde se halla la mina y la debe desactivar. Luego, se reinicializa todo el sistema para una nueva operación de rastreo. Las órdenes impartidas por el operador y la señal de detección enviada por el robot son transmitidas inalámbricamente (ver figura 2).

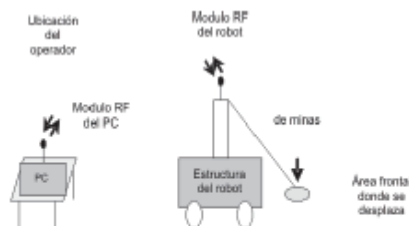


Figura 2. Diagrama general del proyecto

Al momento de encender el sistema, el módulo de radiofrecuencia ubicado en el PC, le envía una señal al robot indicándole que debe prepararse para el rastreo de minas. En ese momento el mecanismo ubica el brazo en su posición de

referencia (centro del robot). Ésta posición se entiende como el lugar donde se debe situar el detector de minas antes de realizar el rastreo. Para ello, el robot levanta su brazo y empieza a moverlo horizontalmente con respecto al piso (de izquierda a derecha y viceversa) hasta encontrar el centro del área frontal del robot, luego baja el brazo para realizar una exploración y se detiene (ver figura 3).

### Área Frontal Centro



Figura 3. Vista superior del robot

El robot tiene dos tipos de desplazamiento. El primero, es cuando realiza una operación de rastreo y el otro cuando está desactivado el sensor. En modo de rastreo, su movimiento de

traslación se realiza en forma discontinua, es decir, el mecanismo se desplaza 10 cm, rastrea el área frontal donde está detenido y luego se mueve otros 10 cm. El anterior procedimiento, se aplica para que el rastreo sea más confiable, es decir, la detección será más uniforme y no se quedará ninguna zona sin explorar. Solamente se presenta movimiento continuo cuando esté desactivado el sensor; su velocidad, en este caso, será de 60 cm/s.

Las órdenes del movimiento del robot están controladas por el operador del sistema. Mientras se está rastreando, el sistema puede encontrar en el camino diferentes eventos que pueden interrumpir el normal funcionamiento del robot. Estos son:

- **Localización de una mina.** Aquí el mecanismo inmediatamente se detiene, levanta el brazo, y envía una señal al módulo del PC indicándole que en el lugar donde se detuvo hay una mina antipersonal. El operador deberá entonces dirigirse al lugar donde se detectó la mina y desactivarla.
- **Obstáculos durante el desplazamiento.** El operador a través de la cámara observa si el camino se encuentra libre de obstáculos. Si visualiza un objeto no muy grande (menor de 7 centímetros), el operador está en capacidad de levantar el brazo y pasar por encima de él. Si el obstáculo es muy grande, deberá tratar de maniobrar el robot para esquivarlo y así lograr que pueda continuar con su trayectoria.

Los movimientos de control están centralizados en el software del PC. El ambiente gráfico cuenta con imágenes que permiten observar el área frontal por donde se desplaza el robot; además de botones que permiten encender o apagar el sistema, realizar el movimiento de la oruga, desactivar el sensor y reinicializar el sistema. Por último, posee un indicador de detección de mina.

La desactivación del sensor consiste en deshabilitar el detector de minas. En ese momento el robot levanta automáticamente su brazo. Esta función es necesaria cuando se

## Diseño e implementación de un robot detector de minas remotamente controlado

requiera desplazar el mecanismo al lugar donde se van a realizar las operaciones de detección, evitando que el operador tenga que cargar el robot.

La reinicialización del sistema se basa en volver a activar todos los elementos del robot después de haber ubicado una mina; es decir, cuando el robot ha detectado un explosivo (mina metálica), su mecanismo de tracción hacia adelante y su sensor de minas se deben desactivar automáticamente. Esto es importante ya que luego de haber ubicado una mina, el robot no debe, por ningún motivo, moverse hacia adelante (o sino la activaría).

- **Software de interfaz gráfica.** El software de aplicación se realizó a través del programa Borland C++ Builder 6. Su sistema maneja un ambiente totalmente gráfico, gracias a que corre bajo las plataformas de Windows.

Es un ambiente agradable al usuario en cuanto a su presentación y además es de fácil manejo; su barra de tareas es similar a la de todos los programas vistos en el mercado.



Figura 4. Ambiente gráfico

## Métodos y Materiales

### Diseño estructural

Se diseñó el sistema robótico con elementos livianos y muy resistentes. El material ideal para su construcción es el aluminio, pero debido a que este metal es muy costoso, se opta por emplearlo únicamente en piezas vitales como piñones y poleas. Para el resto de la estructura, se utilizaron elementos más económicos, como platina y hierro. Su sistema de tracción es de tipo oruga, ideal para terrenos hostiles. Su peso no sobrepasa los 11 kilogramos y el robot se desplazó a una velocidad máxima de 60 cm/s.

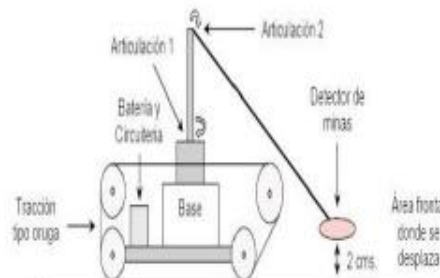


Figura 5. Diagrama esquemático del robot

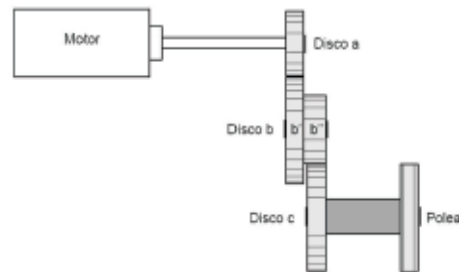


Figura 6. Sistema de transmisión de la oruga

### Cálculos del torque del motor

A través de la velocidad de desplazamiento se calculó la velocidad de las poleas de la oruga. El radio de diseño de la polea es de 5 cm.

$$v_{\text{polea}} = \frac{\text{velocidad}}{\text{perímetro polea}} = \frac{v}{2 \times \pi \times R} = \frac{0.6}{2 \times \pi \times 0.05} = 1.909 \frac{\text{rev}}{\text{s}} \Rightarrow 12 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

$$v_{\text{motor}} = v_{\text{polea}} \left( \frac{N_2}{N_1} \right) = 12 \times \left( \frac{1}{0.062} \right) = 192 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

Empleando la inercia de rotación de las poleas y la energía cinética de rotación, se calculó la velocidad de movimiento de cada oruga. Finalmente, para establecer el torque que debe manejar cada motor, se emplea la siguiente fórmula:

$$T_{\text{motor}} = \frac{K_{\text{motor}}}{\varphi} = \left( \frac{126.5}{2 \times \pi} \right) = 20.1 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Cálculos del sistema de transmisión: La ecuación utilizada para determinar la relación de torques de entrada y salida es la siguiente:

$$\frac{T_1}{T_2} = \frac{\Theta'_2}{\Theta'_1} = \frac{N_1}{N_2}$$

Se ajusta la relación del torque de salida y el torque de entrada para que sea superior a 10, en el sistema robótico presentado, la relación se ajusto de la siguiente forma:

$$\frac{T_{\text{salida}}}{T_{\text{entrada}}} = \frac{N_2}{N_1} = \frac{1}{0.062} = 16.13$$

### Mecanismo del brazo

El mecanismo del brazo necesita de dos motores para su movimiento. Uno es utilizado para el movimiento vertical y el otro para el movimiento horizontal del brazo.

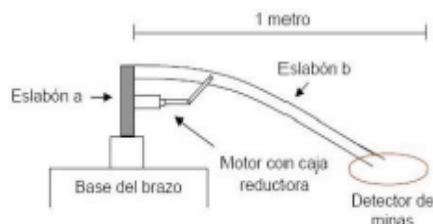


Figura 7. Mecanismo del brazo

**Motor de movimiento vertical:** Se utilizó un motor de corriente continua con caja reductora. Debe tener la suficiente fuerza para levantar el eslabón b nido al detector de metales. Para determinar el torque que debe manejar éste motor se emplea la segunda Ley de Newton y las ecuaciones de torque.

**Motor de movimiento horizontal:** El movimiento horizontal, lo realiza un motor paso a paso. Éste debe manejar un alto torque ya que en su eje va a rotar toda la estructura del brazo. Debido a que la mayoría de estos motores no manejan un alto torque, fue necesario incorporarle a su rotor un sistema de transmisión. Para establecer el máximo torque del motor fueron empleadas las leyes de newton y de torque para motores.

### Sistema de transmisión inalámbrica

Las características técnicas que deben manejar los módulos inalámbricos son:

- Alcance mínimo de 100 metros.
- Manejo de la banda ISM (2.4GHz).
- Tasas de transmisión de 1Mbps.

Actualmente existen en el mercado tres módulos de radiofrecuencia que cumplen las anteriores especificaciones, Chirp, Bluetooth y el Laipac TRF 2.4GHz. El escogido en este proyecto fue el desarrollado por la compañía Laipac por su bajo costo y facilidad de adquisición.

### Detector de minas

Debido a que la mayoría de las minas antipersonales contienen un elemento metálico en su detonador, se determinó emplear como sensor de minas un detector de metales. El sensor escogido es el Vibra Tector 720 de The treasures INC, cuyo distribuidor internacional es Kellyco de Florida.

El "VIBRA – TECTOR 720", es un detector de metales a prueba de agua el cual se comunica a través de pulsos de vibración. Su diseño único de sellado y tecnología de inducción de pulsos le permite detectar en cualquier ambiente incluyendo fango, arena, arena negra e inclusive agua fresca o salada hasta profundidades de 30 centímetros.

### Resultados

• **Pruebas del sensor de minas** Debido a que no es conveniente, por seguridad, realizar pruebas con minas antipersonales metálicas, se reemplazaron éstos elementos por materiales metálicos que normalmente son empleados en la fabricación de éstos artefactos.

Para determinar, empíricamente, el alcance y el tipo de metales que puede detectar el sensor, se realizaron las siguientes pruebas:

Tabla 1. Pruebas de alcance del detector

Material	Máximo alcance de detección (cm)	
	En tierra seca	En el fango
Oro	9.5	9.9
Plata	9.2	9.5
Cobre	8.1	8.6
Hierro	5.2	6.1
Aluminio	6.5	7.3
Zinc	No detecto	No detecto
Silicio	No detecto	No detecto

• **Pruebas de alcance del transmisor y la cámara.** Para establecer el alcance máximo del

transmisor y la cámara, se trasladó el robot a un lugar cubierto de árboles (sin línea de vista) y a otro desértico (con línea de vista). Las pruebas arrojaron los siguientes resultados:

**Tabla 2. Pruebas de alcance del transmisor y la cámara**

Elemento	Alcance máximo (metros)	
	Sin línea de vista	Con línea de vista
Transmisor RF	124	210
Cámara	84	92

De acuerdo a lo representado, el alcance máximo de operación del robot está determinado por la cámara debido a su corto alcance.

- Pruebas del sistema de tracción. En estas pruebas se desplazó el robot a un área pedregosa. Los resultados fueron:

**Tabla 3. Pruebas del sistema de tracción**

Tipos de obstáculos	Altura (cm)
Redondos	7.7
Cuadrados	5.4
Rectangulares	6.2

### »» Bibliografía

1. OGATA, Katsuhiko. 1994. Ingeniería de control moderna. Tercera edición. México: Prentice – Hall, 946 p.
2. BARRIENTOS, Antonio et al. 1997. Fundamentos de robótica. Primera edición. Madrid: McGraw – Hill, 327 p.
3. Morfología del robot. Disponible en Internet en: <http://www.aisa.avigo.es/DOCENCIA/AyRobotica.html/>
4. Teoría de sistemas de control. Disponible en Internet en: <http://dctrl.fib.unam.mx/practicas/analogico/temperatura.pdf>
5. Hoja de especificaciones de los transmisores TRF 2.4GHz. Disponible en Internet en: <http://www.laipac.com>
6. Hoja de especificaciones del detector de metales Vibra Tector 720. Disponible en Internet en: <http://www.kellycodetectors.com>
7. Hoja de especificaciones de la cámara inalámbrica. Disponible en Internet en: <http://www.wirelesscam.es>