

## SEARCH AND LOCATION OF METAL OBJECTS WITH AGENT TECHNOLOGY

## BÚSQUEDA Y LOCALIZACIÓN DE OBJETOS METÁLICOS CON TECNOLOGÍA DE AGENTES

**Ing. Johann Raul Ortiz Páez,  
Dr. Carlos Arturo Parra Ortega**

### Universidad de Pamplona

Comité Editorial Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada  
Ciudadela Universitaria. Pamplona, Norte de Santander, Colombia.

Tel.: 57-7-5685303, Fax: 57-7-5685303, Ext. 144

E-mail: [johannrop@gmail.com](mailto:johannrop@gmail.com), [carapa@unipamplona.edu.co](mailto:carapa@unipamplona.edu.co)

**Abstract:** It is necessary to detect metals in the subsoil, so a prototype has been implemented to execute this task; using technological advances such as robotics and AI. This intelligence is obtained with the help of intelligent agents, who shape the logic of the automaton to execute the task that is needed. The logic of this automaton is developed in C ++ code to later record it in the microcontroller. The algorithms for the correct communication of the agent with the motors, metal detector, optical switch and ultrasonic sensors are also developed. Obtaining a robot prototype with the necessary autonomy to search for metallic objects in a square area..

**Keywords:** *Artificial intelligence, microcontroller, robotics, sensors, automata, finite state machines.*

**Resumen:** En ciertas ocasiones se requiere detectar la presencia de metales en el subsuelo, sin que implique la intervención de una persona. Existen varias soluciones de vehículos autónomos pero a un costo de adquisición muy alto. Por tal motivo se ha diseñado e implementado un prototipo robótico basado en hardware libre e inteligencia artificial. Esta inteligencia se obtiene con la ayuda de tecnología de agentes, donde se diseña la lógica del autómatas para ejecutar las tareas que se necesitan y luego se programa en lenguaje C++ para posteriormente grabarla en el microcontrolador Arduino. Además, se desarrollan los algoritmos para la correcta comunicación del agente con los motores, detector de metales, interruptor óptico y sensores ultrasónicos. Obteniendo un prototipo de robot con la autonomía necesaria para la búsqueda de objetos metálicos en un área plana.

**Palabras clave:** *Sensores, microcontroladores, Arduino, tecnología de agentes.*

### 1. INTRODUCCION

En zonas de alta conflictividad social hay muchos eventos de violencia, donde las minas

antipersonales han ocasionado gran cantidad de heridos y decesos. Estos artefactos explosivos en la mayoría de veces de material metálico son plantados en el subsuelo, en proximidades de

trochas, caminos y campos de tránsito peatonal. Estos artefactos se activan cuando son pisados por una persona o animal, detonando una explosión que ocasiona graves heridas y en ocasiones decesos de civiles o combatientes. En Colombia, país que ha tenido un conflicto interno armado durante más de 50 años, posee regiones con alta concentración de minas antipersonales plantadas por grupos al margen de ley y el ejército, con una cantidad alta de víctimas. La figura 1 muestra la distribución de víctimas de estos dispositivos.



Fig. 1. Distribución nacional de afectados por minas antipersonales

Por medio de proyectos de desminado humanitario acordado en negociaciones de paz, se ha logrado hacer por primera vez desminado humanitario en zonas de alta afectación y consideradas zonas rojas por la presencia de grupos al margen de la ley (Descontamina Colombia, 2019). Además el estado Colombiano firmó la Convención sobre la prohibición del empleo, almacenamiento, producción y transferencia de minas antipersonales y sobre su destrucción (Tratado de Ottawa) donde comienza su labor de desminado en los campos de sus bases militares. Estas tareas de desminado son peligrosas y extenuantes para quienes las llevan a cabo. Además, para el desminado de estos campos hay que cargar con el equipo respectivo y sondear todo el campo para la localización de estas minas, lo que se agrega al estrés de los operarios al buscar tales artefactos metálicos. Es bajo estas condiciones donde un prototipo autónomo haría mejor este trabajo reduciendo considerablemente el riesgo de accidente y preservando la salud de los operarios de equipos anti explosivos encargados de estas labores.

Este proyecto se aborda como la continuación de la tesis de pregrado *Prototipo de robot basado en autómatas para la localización de objetos*

*metálicos*, donde el proyecto se divide en 3 etapas, la primera consiste en la búsqueda de módulos y sensores específicos para poder hallar los datos requeridos para el funcionamiento del prototipo y posteriormente acoplarlo a nuestra arquitectura. La segunda etapa conforma en el desarrollo de la lógica del prototipo, implementado agentes inteligentes para lograr una IA que controle el prototipo para una correcta búsqueda. Y en la cuarta etapa se expone a un ambiente controlado para observar el comportamiento y poder validar su funcionamiento.

## 2. ESTADO DEL ARTE

Para llevar a cabo este trabajo se apeló a la convergencia de varias tecnologías y disciplinas; entre ellas, la robótica, sensores y tecnología de agentes.

### 2.1 Robótica

Existen diversos puntos de vista para definir la palabra robot. Los contextos más extendidos provienen de la industria. Para la asociación Japonesa de Robótica Industrial (JIRA), los robots son dispositivos capaces de moverse de modo flexible, con o sin funciones intelectuales, lo que permite la realización de operaciones a respuesta a órdenes recibidas por personas. Por otro lado, el Instituto de Robótica de Norteamérica (RIA) se orienta a la autonomía, ya que lo define como un dispositivo manipulador multifuncional y reprogramable diseñado para desplazar materiales, componentes, herramientas o dispositivos programados variables, con el fin de realizar diversas tareas.

Según el criterio de uso, los robots pueden clasificarse así:

- Industriales: se utilizan dentro de un proceso de trabajo industrial. Es el tipo de robot de uso más extendido.
- Espaciales: se pueden mover en zonas no exploradas o lejos de su centro de control.
- Médicos: son utilizados como apoyo en la intervención médica sobre las personas o complemento para personas con sus capacidades disminuidas.
- Domésticos: lleva a cabo alguna o todas las tareas del hogar. Algunas aspiradoras, lavadoras, neveras, etc. tienen cierto grado de autonomía, modificando su comportamiento de manera autónoma según el ambiente en el que trabajan.
- Sociales: se utilizan en ámbitos sociales (como asistentes personales, eventos y súper mercados) con funciones de comunicación intensiva con las personas. En estos casos, las investigaciones se centran en el estudio de la interfaz con las

personas para realizar una comunicación completa, con gestos, tonos, silencios, etc.

-Agricultoras: en los últimos años ha comenzado a crecer el uso de robots autónomos en el sector agropecuario. Cosechadoras autónomas, las sembradoras controladas por mapas satelitales, los fumigadores robotizados y otros dispositivos han aparecido dentro de lo que actualmente se conoce como agricultura de precisión.

### 2.1 Inteligencia Artificial

Se define la Inteligencia Artificial (IA) como una ciencia que tiene como objetivo el diseño y construcción de máquinas capaces de imitar el comportamiento inteligente de las personas. Una rama especializada de la informática que investiga mecanismos de razonamiento para implantar en máquinas automáticas y que pretende fabricar artefactos dotados de la capacidad de pensar.

Según (Panigua, Sanchez y Rubio, 2003) existen dos grandes tendencias de investigación en el campo de la inteligencia artificial (IA). Estas dos líneas de enfoque obedecen a objetivos totalmente opuestos: por un lado, el estudio de los procesos del pensamiento; por el otro, el estudio de los comportamientos. Ambas líneas a su vez, se dividen en dos posturas diferenciadas: la humana, que intenta emular los comportamientos humanos; y la racional, basada en el concepto de una inteligencia consciente.

De esta manera la IA estudia los modelos computacionales que sirven para simular o formalizar las actividades inteligentes, entendiendo por actividades inteligentes (cognitivas), la percepción, el razonamiento o el aprendizaje, entre otras, siendo el razonamiento la actividad más relacionada con la lógica.

Se ha de tener en cuenta la frontera entre la IA y otras ramas de la ciencia, como son la psicología o la filosofía. El enfoque de la IA une las ramas de las matemáticas y la ingeniería para poder crear artefactos que actúen de manera inteligente. A partir de las modelizaciones de las distintas facultades mentales (cognitivas), el objetivo primordial es la formalización de una actuación racional, apoyada en lo que se denomina un agente inteligente.

### 2.1 Tecnología de Agentes

El concepto de Agente Inteligente más difundido, dentro del campo de la inteligencia Artificial, está definido por un sistema informático (Hardware y Software) que cumple las siguientes características:

-Autonomía. Un agente actúa sin intervención humana, dispone de algún tipo de control sobre sus acciones y su estado interno.

-Comportamiento social. Un agente interactúa con otros agentes (artificiales o humanos) mediante un lenguaje de comunicación específico.

-Reactividad. Un agente percibe su entorno y responde ante él, cambiando el estado del entorno y su propio estado interno.

-Racionalidad. Un agente no se limita a actuar en respuesta a su entorno, es capaz de mostrar un comportamiento dirigido por sus objetivos.

Desde el enfoque de la psicología del comportamiento, un agente es una entidad creada para realizar una tarea o un conjunto de tareas. Con este punto de vista, cualquier característica de un agente debe ser definida a partir de la tarea y el entorno en el cual la tarea se realiza. La característica más importante es la que el agente tenga éxito en su tarea.

Para efectos de este trabajo, el enfoque reactivo no es el apropiado, ya que se desea tener un modelo de la interpretación que el agente realiza del entorno. Un agente inteligente se describe por una serie de características mentales, como son el conocimiento, la creencia o la intención. Desde este punto de vista, un Agente Inteligente se puede formalizar como lo que denominaba Dennett, un Sistema Intencional, que es aquel sistema capacitado con una serie de aptitudes: aptitudes de información y pro-actitudes. (Sanchez, 2003,193)

## 3. PROTOTIPO DE ROBOT AUTÓMATA PARA LA LOCALIZACIÓN DE OBJETOS METÁLICOS

Con el fin de implementar un dispositivo detector de metales, se describe la tarea de automatización en el proceso de monitoreo como parte esencial de este proyecto.

### 3.1 Identificar aspectos del subsuelo

La magnetometría revela que la altura, la presión y humedad de los terrenos poseen diferentes propiedades magnéticas, por ello el detector de metales posee un potenciómetro para calibrar nuestra bobina y así las propiedades magnéticas de suelo no interfieran con la onda electromagnética del detector evitando errores de localización.

### 3.2 Configuración de dispositivos electrónicos

Encoder óptico. Este dispositivo equipado con una luz infrarroja y un fotoreceptor. Es

alimentado con una corriente de 5V proporcionada por una de las salidas PWM del Arduino Mega, para poder controlar directamente desde el algoritmo del microcontrolador la salida de corriente del Encoder, así lograr apagarlo cuando los motores detengan su marcha y no obtener errores en los cálculos. Además posee una conexión a una entrada analógica del Arduino para percibir las señales del fotoreceptor y almacenarlas para calcular la distancia recorrida. La calibración de la distancia recorrida del robot, se logra tomando una cinta métrica en paralelo y se hace un recorrido de 10 cm. En este recorrido el Encoder arroja un resultado, que es total de señales recibidas por el fotoreceptor. Para un mejor análisis se repite este proceso 10 veces, se calcula la media de los resultados para obtener una constante de recorrido unitario C.

**Brújula magnética.** Se alimenta el módulo desde Arduino Mega mediante GND y 5V; y se conectan los pines SDA y SCL del sensor a dos salidas analógicas del Arduino Mega. Para realizar la lectura de la brújula desde el puerto serial se implementa la librería HMC5883 desarrollada por Jeff Rowberg. También emplearemos la librería I2Cdev desarrollada por el mismo autor, que mejora la comunicación I2C. Esta librería nos proporciona los datos de la orientación del campo magnético de la tierra, el nivel de inclinación y la altitud. Para nuestro caso tomaremos los datos de orientación del campo magnético.

La orientación se obtiene en grados respecto al norte magnético. Sin embargo, el norte geográfico no está perfectamente alineado al norte magnético. Esto se denomina declinación, y depende del punto del globo donde estemos ubicados. Por tanto, para obtener la orientación respecto al norte geográfico se introduce la declinación de nuestra posición. Existen varias páginas donde consultar este valor como <http://www.ngdc.noaa.gov> para ubicaciones en todo el mundo.

Para lograr la orientación del robot se toma el ángulo con que inicia su recorrido. Se declara una variable *dir\_ini*. Cada 20 cm hacemos una corrección del rumbo de nuestro robot haciendo una nueva lectura del módulo, esta variable se denominará *dir\_act*, se hace una comparación de las variables, si *dir\_act* es mayor girara a la izquierda de lo contrario girara a la derecha hasta igualar ambas variables. Una vez corregida la dirección continuara su marcha otros 20 cm cuando nuevamente se detenga a corregir su rumbo. El esquema lógico se muestra en la figura 2.

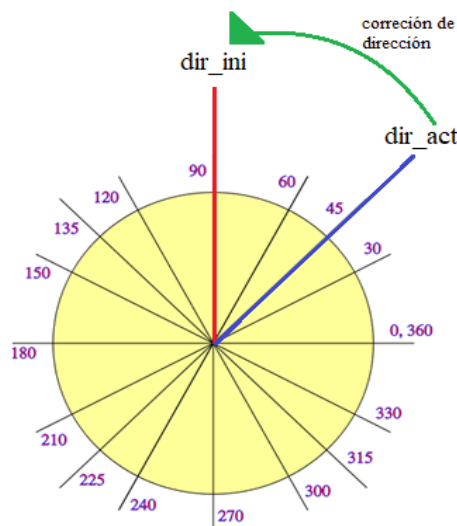


Fig. 2. Grados de circunferencia

### 3.3 Programar la comunicación entre los sensores y el Arduino

Con el fin de que el robot cumpla con las tareas requeridas, tales como medir la distancia que ha recorrido, mantener una orientación para saber en qué dirección se encuentra avanzando y así recorrer un área rectangular, es necesario implementar módulos electrónicos que proporcionen estos datos.

-Distancia. Para la localización de la distancia se implementará un Encoder óptico, que estará ensamblado en el eje de los motores calculando el número de giros de este, para finalmente calcular la distancia.

-Orientación. Esta es fundamental en el robot, ya que lo ayuda a orientarse en su mapa abstracto y saber qué dirección debe tomar para llegar a su meta. Por ello es necesario saber en qué grado de su circunferencia se encuentra al iniciar, y así corregir su avance hasta lograr terminar en la misma dirección en la que inicio. La brújula magnética brinda estos datos, resultando indispensable su uso.

## 4. IMPLEMENTACIÓN Y MECANISMO DE RAZONAMIENTO

El lenguaje seleccionado es el nativo de Arduino, basado en Wiring, con una sintaxis muy similar a las del lenguaje C#. A continuación se detallan algunos aspectos de programación del encoder óptico y la brújula magnética.

#### 4.1 Programación de encoder y brújula

Para la utilización del Encoder y la brújula magnética se utilizaron las librerías "Wire.h", "I2Cdev.h" y "HMC5883L.h". Una vez cargadas las librerías, se declara el modo de operación de los pines del dispositivo Arduino y se inicializan los módulos, comprobando el estado de los sensores para contar las señales y así calcular distancias y orientación. Parte del código fuente se muestra en la figura 3.

```
void setup()
{
    pinMode(corriente, OUTPUT);
    pinMode(pinSensor, INPUT);
    compass.initialize();

    if (estadoSensor == HIGH) {
        cont++;
    }
    distHi=(cont/82.0)*10;
    distanciaVH();
    compass.getHeading(&mx, &my, &mz);
    float angulo = atan2(my, mx);
    angulo = angulo * RAD_TO_DEG;
    angulo = angulo - declinacion;
    if(angulo < 0) angulo = angulo + 360;
```

Fig. 3. Código fuente de inicialización

#### 4.2 Razonamiento del autómata

El mecanismo de razonamiento simulará al de un Agente basado en metas, ya que es el más adecuado para trabajar sin conocer el ambiente. Al ser un robot exploratorio el entorno donde se encontrará irá cambiando conforme a lo que avanza. Para ubicarse espacialmente se utilizará un mapa abstracto compuesto por una matriz de diez filas y diez columnas; esta matriz tendrá una dimensión física de 2m<sup>2</sup>, cada celda tendrá una medida de 20 cm del alto y 20 cm de ancho.

Las reglas básicas de inferencia son el razonamiento hacia adelante y hacia atrás. El razonamiento hacia atrás funciona para derivar condiciones a partir de conclusiones, considerándose como un procedimiento de reducción de metas, en la cual la conclusión es una meta y las condiciones son submetas. El razonamiento hacia atrás incluye el caso especial en el cual un agente deriva metas que son acciones, que el agente puede realizar en el mundo (Kowalski, 2005)

Este autómata tendrá una serie de submetas que lo llevarán a una meta en común; que es la de recorrer un área cuadrada. Con la ayuda de la brújula magnética sabrá en qué dirección inició su recorrido y en qué dirección debe terminarlo, además midiendo la distancia con su Encoder sabrá la posición de la matriz donde se encuentra. utilizando todos sus sensores podrá cumplir una de su submetas que es recorrer una fila de esa matriz, una vez cumplida girará y continuará su marcha en sentido contrario hasta cumplir una nueva; y así cumplir su meta principal que es recorrer un área cuadrada representada por una matriz.

En la figura 4 se puede observar como el robot recorre toda el área representada en una matriz sin tener en cuenta los obstáculos ni los objetos metálicos.

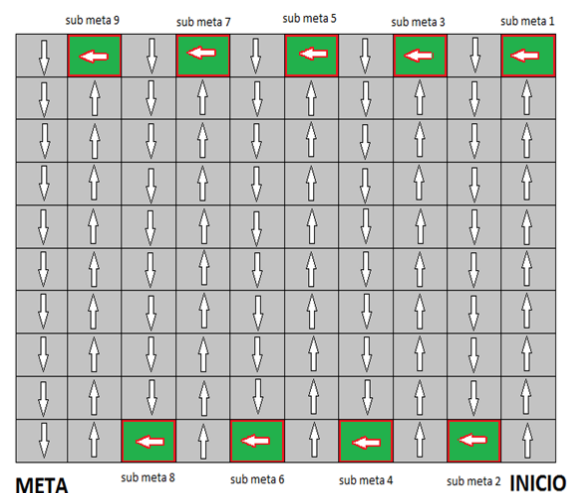


Fig. 4. Recorrido del robot

En cada una de las celdas de la matriz por donde pasa el robot, irá almacenando un dato que corresponderá a cierta eventualidad, así al encontrar un objeto metálico almacenará el **1**, al encontrar un obstáculo el **2** y un espacio vacío el **3**; según la celda de la matriz donde sea encontrando. Con esta información en su recorrido podrá razonar antes de hacer su siguiente movimiento para que no se presenten percances como pisar un objeto metálico o estrellarse con un obstáculo.



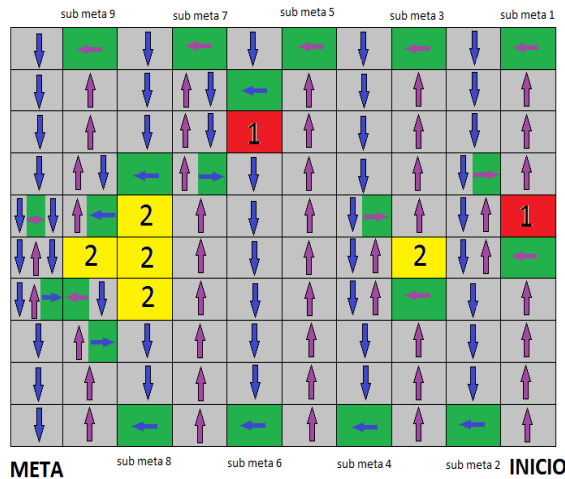


Fig. 5. Recorrido del robot en ambiente controlado.

En la figura 5 se puede observar que los objetos metálicos (1) fueron guardados en la posición [0,6] y [5,7] y, los obstáculos (2) fueron almacenados en la posición [2,4],[7,3],[7,4],[7,5] y [8,4] de la matriz.

Lograda la lógica de como el agente-robot se ubicará en su espacio abstracto, que será una matriz de 10x10; Está representando una celda con una medida física de 20x20 cm<sup>2</sup>, en total con las 10 celdas se tendría una área de 2 m<sup>2</sup>. La lógica del autómatas se diseña para evitar hacer recorridos innecesarios.

El siguiente esquema detalla la lógica del autómatas y se muestra en la figura 6.

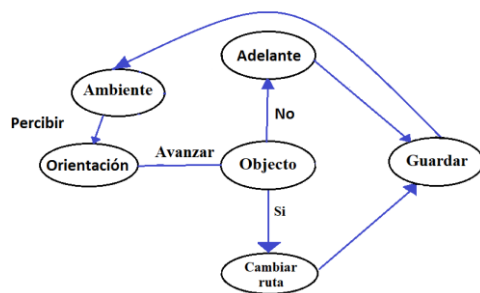


Fig. 6. Lógica del autómatas

La programación de la lógica del autómatas se hizo también con el lenguaje de programación nativo de los dispositivos Arduino.

Se dibuja una matriz de 10x10 sobre una superficie, cada una de esta celdas tiene una medida de 20x20cm<sup>2</sup>. El robot es puesto en la celda (0,0) e inicia su marcha. A través del puerto serial se van obteniendo los valores de

todos sus módulos y cálculos como distancias, ángulos y eventualidades a medida que va avanzando, se logra analizar su comportamiento físico y lógico en tiempo real. La figura 6 muestra una fotografía del dispositivo en su prueba de funcionamiento.

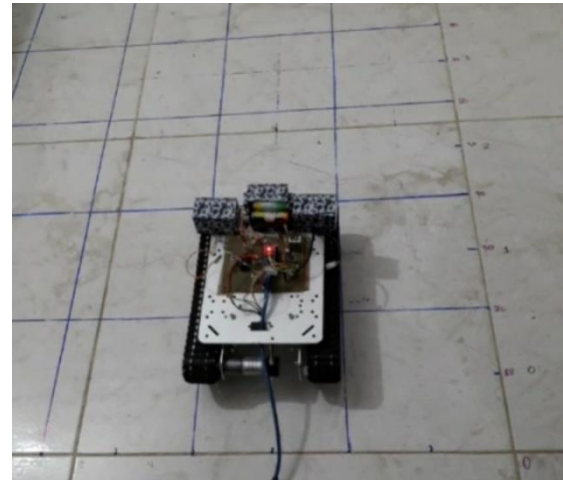


Fig. 6. Funcionamiento del robot

Se comprueba si los datos que envía el agente a través del puerto serial son reales, ya que se observa físicamente si el robot se encuentra en la celda que indica, si hay un espacio vacío o un objeto metálico.

A medida que se encuentra un error, como una mala calibración de la distancia que da una mala posición, se corrige de inmediato la programación y se inicia nuevamente el recorrido. La figura 7 muestra una secuencia de lecturas y mediciones hechas para calibrar la distancia.

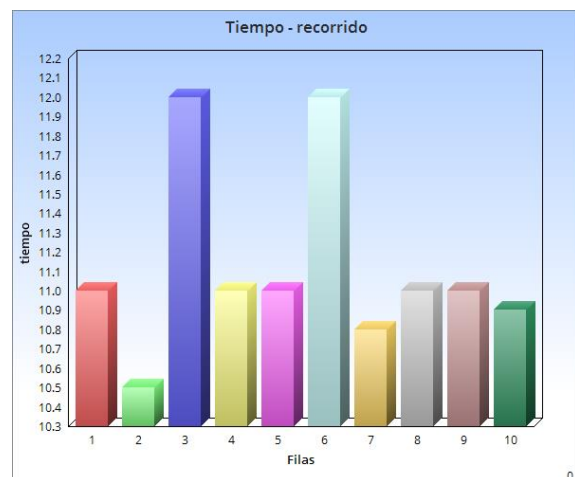


Fig. 7. Tiempo y recorrido en diez ejecuciones del programa

## 5. CONCLUSIONES

Se logró diseñar un dispositivo robotizado autónomo, y se ensayó su recorrido por la matriz, detectando unos obstáculos y dispositivos metálicos. Sin embargo, su funcionamiento es susceptible de mejorar, ya que algunos espacios de la matriz no se exploraron debido a la carga de la batería de los motores, que brindan poca autonomía de recorrido y a medida que se descargan tienden a alterar las medidas del encoder óptico arrojando resultados erróneos en la posición.

La lógica de agentes basado en metas para la inteligencia artificial del robot resulta ser la adecuada, ya que ayuda a comprender la interacción ambiente-agente y así poder desarrollar la inteligencia adecuada.

## REFERENCIAS

Ortiz, J. (2019), *Prototipo de robot basado en autómatas para la localización de objetos metálicos (tesis de pregrado)* Universidad de Pamplona, Colombia.

Alvares, M, (1994). *fundamentos de la inteligencia artificial*. Universidad de Murcia. Selegrafica, S.L

Panagui, E., Sanchez, R., & Martin F. (2003) *Lógica computacional*. Paraninfo.

Lopez, E. (2016) *Arduino guía practica de fundamentos y simulación*.

Zabala, G. (2007) *Robótica*. Usershop.

Palacios, E., Remiro, E., & Lopez, L. (2006) *Microcontrolador*. Ra-Ma.

Pizarro, J., (2019) *Internet de las cosas Lot con Arduino*. Paraninfo, S.A.

Olmedillas, J., (2012) *Introduccion a los sistemas fe navegacion por satelite*. UOC.

Perez, D., (2010) *Guia practica de sensores*.

Corona, L., Abarca, S., & Carreño, J., (2014) *Sensores y actuadores*. Patria.

## SITIOS WEB SITIOS WEB

Franta, W. (2001). *LAN inalábrica- Aspectos radioeléctricos*, Universidad de Rioja, España. [http://uem.es/binaria/monograficos/archivos\\_monograficos/wolfgang\\_franta\\_espanol.pdf](http://uem.es/binaria/monograficos/archivos_monograficos/wolfgang_franta_espanol.pdf). (10 de enero 2007).

Descontamina Colombia. (2019). Resultados de las operaciones para liberación del territorio website: <http://www.accioncontraminas.gov.co/>.

## ANEXOS

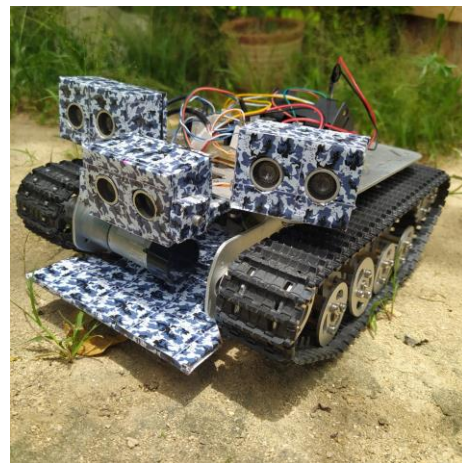


Fig. 8. Oruga de Reconocimiento (OR-2)

En la imagen anterior se puede apreciar el dispositivo utilizado durante la investigación, posee un chasis de aluminio tipo oruga, con una suspensión y dos motores capaz de arrastrar con peso máximo de 2kg.

```
#include "Wire.h"
#include "I2Cdev.h"
#include "HMC5883L.h"
#include <Ultrasonic.h>

//ultrasonicos
Ultrasonic sensorCe(3,4,30000);
Ultrasonic sensorIz(3,7,30000);
Ultrasonic sensorDe(3,2,30000);//
int distancia=0;//Declaramos la v
```

```

///ultrasonicos
Ultrasonic sensorCe(3,4,30000);
Ultrasonic sensorIz(3,7,30000);
Ultrasonic sensorDe(3,2,30000);// (Trig PIN,Echo P:
int distancia=0;//Declaramos la variable donde gua

///brujula
HMC5883L magnetometro;
int16_t mx, my, mz;

///motores
int izqA = 5;
int izqB = 6;
int derA = 9;
int derB = 10;
int vel = 255; // Velocidad de los motores(0-255)

////encoder
const int pinSensor = 12
const int corriente = 17;
int cont=0;
// variables para guardar los v
int estadoSensor = 0;

void setup()
{

    ///////motores
    pinMode(derA, OUTPUT);
    pinMode(derB, OUTPUT);
    pinMode(izqA, OUTPUT);
    pinMode(izqB, OUTPUT);
    ///////

    ////////////////brujula
    Serial.println("Iniciando Magnetometro...");
    //Inicializamos la comunicación I2C y el magnetó
    Wire.begin();
    magnetometro.initialize();
    ////////////////

    //////encoder
    // inicializa el pin del l
    pinMode(corriente, OUTPUT)
    // inicializa el pin del s
    pinMode(pinSensor, INPUT);
    ///////
    |

    Serial.begin(9600);
}

```