



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

TEMA: “Investigación, diseño e implementación de un prototipo de robot móvil para la detección de minas antipersonales precautelando la vida de los ciudadanos civiles y militares”

AUTORES: José Javier Duque Chérrez
Joel David Navas Pazmiño

DIRECTOR: Ing. Dario Mendoza M.Sc



- Investigar, diseñar e implementar un prototipo de robot móvil para la detección de minas antipersonales precautelando la vida de los ciudadanos civiles y militares.



Introducción

- Los avances tecnológicos de los últimos años han dado paso para que gran parte de las problemáticas en cuanto a seguridad de las personas se vean reducidas.
- El Tratado de Ottawa por parte de 162 países los objetivos planteados fueron muy claros como limpiar sus campos minados, destruir las minas que tengan almacenadas y la prohibición de producirlas.



- El Ecuador uno de los países que aún no logra limpiar de minas su territorio razón por la cual este proyecto tendrá como objetivo la creación de un prototipo de robot móvil para la detección de minas antipersonales.



- Las guerras han estado ligadas con el desarrollo de la humanidad desde la antigüedad, en cada época se han ideado nuevos instrumentos para acabar con la vida de las personas.
- Es de esta manera que las minas antipersonales surgen en la primera guerra mundial donde se retomó su uso para herir e infundir miedo en las tropas.

- Los procesos de desminado a nivel mundial han sido realizados de manera manual por personal calificado ya sea durante un conflicto por parte del ejército atacante para seguir avanzando con cierta seguridad o por el defensor cuando se ha firmado un acuerdo de paz.



- A nivel de Sudamérica este tipo de trabajo se ha desarrollado en ciertas partes de Colombia donde la guerrilla de las FARC tenía amedrentada a la población con sus minas de fabricación casera



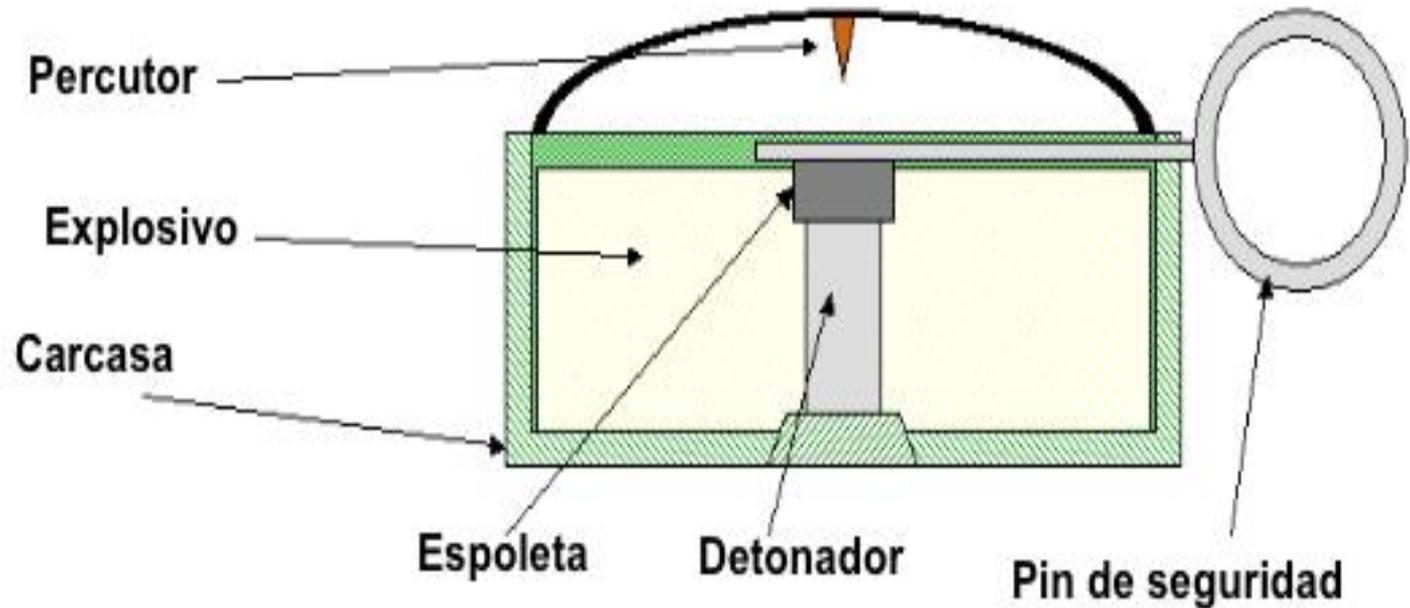
- ¿El diseño e implementación de un prototipo de robot móvil para la detección de minas antipersonales ayudará con los procesos de desminado, precautelando la vida de los ciudadanos y militares?



- De acuerdo con la Real Academia Española (RAE) mina es un artefacto explosivo provisto de espoleta, que, enterrado o camuflado, produce su explosión al ser rozado por una persona, vehículo, etc.



Componentes de un mina terrestre



Minas antipersonales explosivas

- Las minas antipersonales explosivas funcionan por presión con una espoleta mecánica que inicia la carga principal.



Detector de minas antipersonales

- Un detector de metales es el equipo electrónico que mediante la transmisión de un campo electromagnético.



(a) Tipo pórtico



(b) Manual



(c) Industrial



(d) Manual para entretenimiento

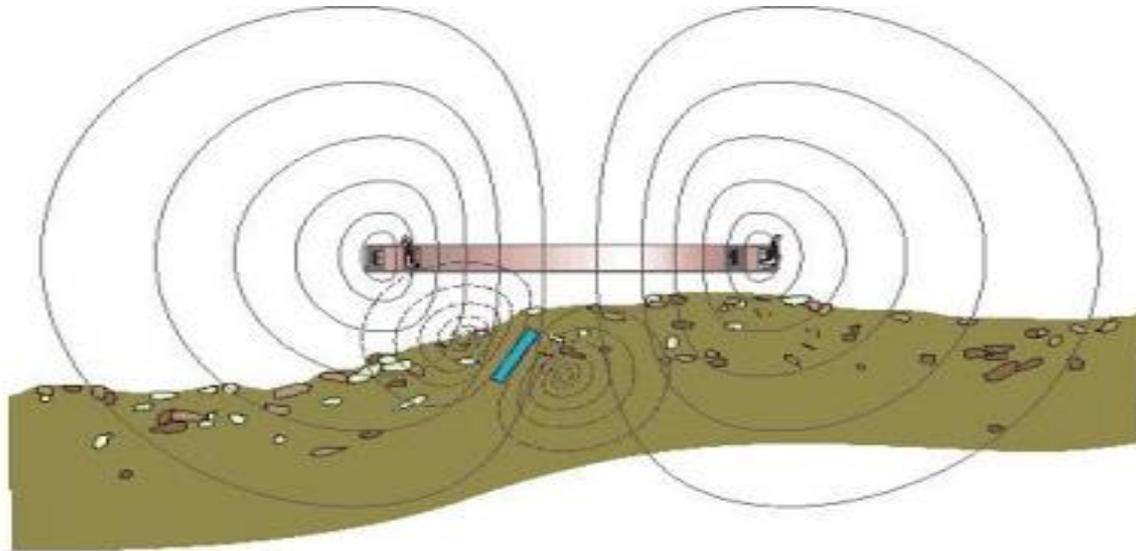


(e) Tipo pórtico



Principio de funcionamiento

- Como es bien conocido los metales son buenos conductores de la electricidad y poseen un comportamiento magnético.



Selección de la tecnología para el detector

- Para el proyecto en concreto se ha decidido utilizar un detector de metales al ser una tecnología más que probada para la detección de minas antipersonales además de presentar un costo más accesible



Matriz de selección de conceptos

| Criterios de selección | Tesoro Compadre | Fisher F11 | Garret ACE 200 | Teknetics Alpha 2000 | Bounty Hunter Tracker IV |
|------------------------|-----------------|------------|----------------|----------------------|--------------------------|
| Peso | + | + | - | + | - |
| Autonomía | - | 0 | + | 0 | 0 |
| Frecuencia | - | + | + | + | + |
| Modos de detección | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Interfaz | - | 0 | 0 | 0 | - |
| Tipo de bobina | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Precio | 0 | 0 | 0 | 0 | + |
| Suma + | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| Suma 0 | 3 | 5 | 4 | 5 | 3 |
| Suma - | 3 | 0 | 1 | 0 | 2 |
| Evaluación Neta | -2 | 2 | 1 | 2 | 0 |
| ¿Continuar? | No | Si | Revisar | Si | No |



Matriz de evaluación de conceptos

| | | Tesoro Compadre | | Fisher F11 | | Garret Ace 200 | | Teknetics Alpha 2000 | | Bounty Hunter Tracker IV | |
|------------------------|-------|-----------------|--------|------------|--------|----------------|--------|----------------------|--------|--------------------------|--------|
| Criterios de Selección | Peso | C | Ev. Po | C | Ev. Po | C | Ev. Po | C | Ev. Po | C | Ev. Po |
| Peso | 25% | 4 | 1 | 4 | 1 | 2 | 0,5 | 4 | 1 | 2 | 0,5 |
| Autonomía | 20% | 2 | 0,4 | 3 | 0,6 | 4 | 0,8 | 3 | 0,6 | 3 | 0,6 |
| Frecuencia | 15% | 2 | 0,3 | 3 | 0,45 | 4 | 0,6 | 3 | 0,45 | 4 | 0,6 |
| Modos de detección | 10% | 3 | 0,3 | 3 | 0,3 | 3 | 0,3 | 3 | 0,3 | 3 | 0,3 |
| Interfaz | 10% | 2 | 0,2 | 4 | 0,4 | 4 | 0,4 | 4 | 0,4 | 2 | 0,2 |
| Tipo de bobina | 15% | 3 | 0,45 | 3 | 0,45 | 3 | 0,45 | 4 | 0,45 | 3 | 0,45 |
| Precio | 5% | 3 | 0,15 | 4 | 0,2 | 3 | 0,15 | 3 | 0,15 | 5 | 0,25 |
| | Total | | 2,8 | | 3,4 | | 3,2 | | 3,5 | | 2,9 |
| | Lugar | | 5 | | 2 | | 3 | | 1 | | 4 |
| ¿Continuar? | | | No | | No | | No | | Si | | No |





Diseño del acople del detector

- Es un acople que pueda adaptarse tanto al detector como al brazo de la estructura mecánica y a su vez sea capaz de resistir impactos y el peso mismo del detector



Implementación del acople



Selección de la tecnología de control para el robot

Matriz de selección de conceptos

| Criterios de selección | Arduino Uno | Raspberry pi | BeagleBone |
|------------------------|-------------|--------------|------------|
| Digital GPIO | + | 0 | + |
| Entradas analógicas | + | - | + |
| PWM | + | - | + |
| Memoria EEPROM | + | - | - |
| Interconexión | + | 0 | 0 |
| Precio | + | 0 | - |
| Suma + | 6 | 0 | 3 |
| Suma 0 | 0 | 3 | 1 |
| Suma - | 0 | 3 | 2 |
| Evaluación Neta | 6 | -3 | 1 |
| ¿Continuar? | Si | No | No |



Matriz de Evaluación de Conceptos

| Criterios de selección | Peso | Arduino Uno | | Raspberry pi | | BeagleBone | |
|------------------------|-------|-------------|--------|--------------|--------|------------|--------|
| | | C | Ev. Po | C | Ev. Po | C | Ev. Po |
| Digital GPIO | 20% | 5 | 1 | 2 | 0,4 | 5 | 1 |
| Entradas analógicas | 20% | 5 | 1 | 2 | 0,4 | 5 | 1 |
| PWM | 20% | 5 | 1 | 2 | 0,4 | 5 | 1 |
| Memoria EEPROM | 20% | 5 | 1 | 3 | 0,6 | 2 | 0,4 |
| Interconexión | 15% | 5 | 0,75 | 3 | 0,45 | 3 | 0,45 |
| Precio | 5% | 5 | 0,25 | 3 | 0,15 | 2 | 0,1 |
| | Total | | 5 | | 2,4 | | 3,95 |
| | Lugar | | 3 | | 2 | | 4 |
| ¿Continuar? | | | Si | | No | | No |



Selección para el sistema de locomoción

Matriz de selección de Conceptos

| Criterios de selección | Intelligence RC Tank Mount Track Suspension System Aluminum | T'Rex Tank Chassis | Intelligence RC Tank Car Truck Robot Chassis CNC | Crawler RC Robot Tank | Dagu T'Rex Metal Tank Chassis |
|--------------------------|---|--------------------|--|-----------------------|-------------------------------|
| Peso | + | - | + | 0 | - |
| Dimensiones | 0 | + | + | + | + |
| Material | + | + | + | + | + |
| Motor de 12V recomendado | + | + | + | + | + |
| Absorción de Golpes | + | 0 | 0 | + | + |
| Tracción | 0 | 0 | 0 | + | 0 |
| Capacidad | + | 0 | 0 | + | 0 |
| Precio | + | - | + | - | - |
| Suma + | 5 | 3 | 5 | 7 | 4 |
| Suma 0 | 2 | 3 | 3 | 1 | 2 |
| Suma - | 0 | 2 | 0 | 1 | 2 |
| Evaluación Neta | 5 | 1 | 6 | 6 | 2 |
| ¿Continuar? | Revisar | No | Revisar | Si | No |



Matriz de evaluación de conceptos

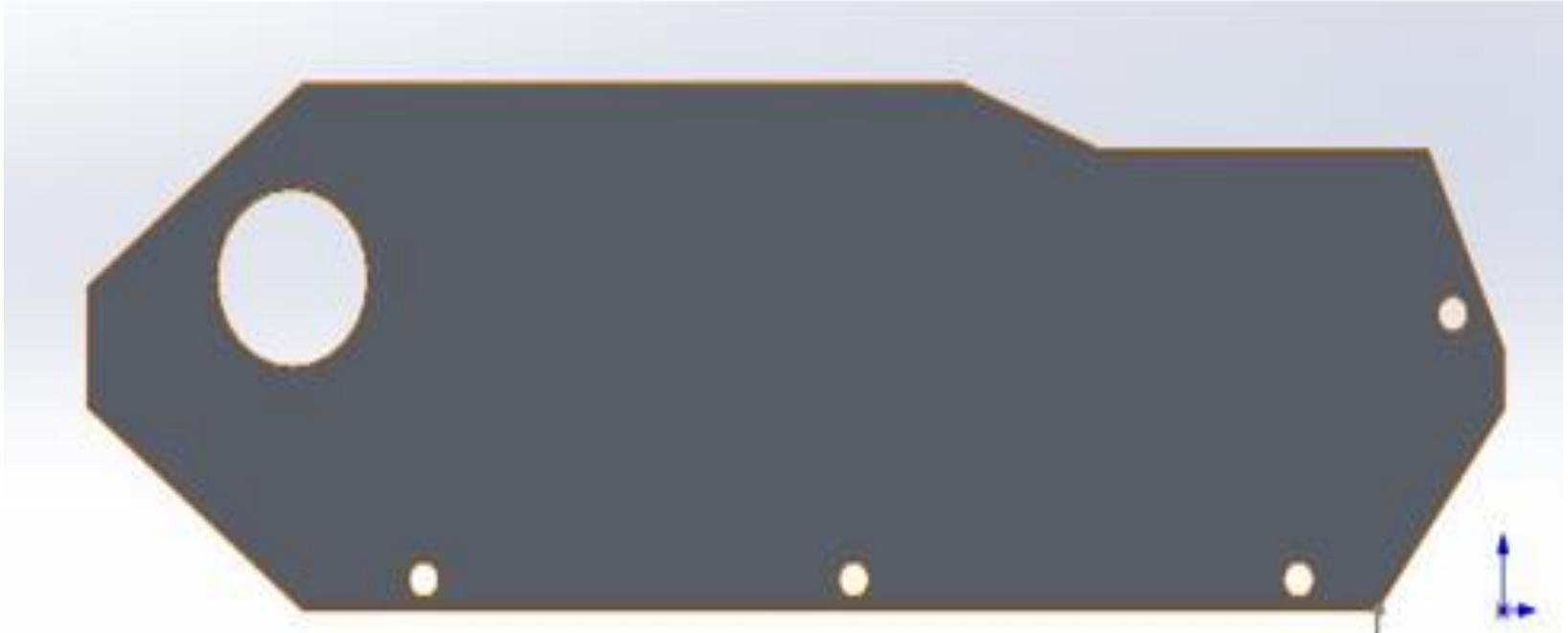
| Criterios de selección | Peso | Intelligence RC Tank Mount Track Suspension System Aluminum | | T'Rex Tank Chassis | | Intelligence RC Tank Mount Car Truck Robot Chassis CNC | | Crawler RC Robot Tank | | Dagu T'Rex Metal Tank Chassis | |
|--------------------------|-------|---|--------|--------------------|--------|--|--------|-----------------------|--------|-------------------------------|--------|
| | | C | Ev. Po | C | Ev. Po | C | Ev. Po | C | Ev. Po | C | Ev. Po |
| Peso | 20% | 5 | 1 | 2 | 0,4 | 4 | 0,8 | 3 | 0,6 | 1 | 0,2 |
| Dimensiones | 20% | 2 | 0,4 | 5 | 1 | 4 | 0,8 | 5 | 1 | 4 | 0,8 |
| Material | 10% | 5 | 0,5 | 5 | 0,5 | 5 | 0,5 | 5 | 0,5 | 5 | 0,5 |
| Motor de 12V recomendado | 15% | 5 | 0,75 | 5 | 0,75 | 5 | 0,75 | 5 | 0,75 | 5 | 0,75 |
| Absorción de Golpes | 10% | 5 | 0,5 | 1 | 0,1 | 3 | 0,3 | 5 | 0,5 | 5 | 0,5 |
| Tracción | 10% | 2 | 0,2 | 2 | 0,2 | 2 | 0,2 | 5 | 0,5 | 2 | 0,2 |
| Capacidad | 10% | 5 | 0,5 | 2 | 0,2 | 2 | 0,2 | 4 | 0,4 | 2 | 0,2 |
| Precio | 5% | 2 | 0,1 | 2 | 0,1 | 5 | 0,25 | 3 | 0,15 | 2 | 0,1 |
| | Total | | 3,95 | | 3,25 | | 3,8 | | 4,4 | | 3,25 |
| | Lugar | | 2 | | 4 | | 3 | | 1 | | 4 |
| ¿Continuar? | | | No | | No | | No | | SI | | No |





ESPE
ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO
CAMINO A LA EXCELENCIA

Modificación del diseño



Placa diseñada mediante un software CAD, para la re distribución de las orugas



Análisis de esfuerzos

- Mediante un análisis matemático se obtiene un resultado de factor de seguridad de 17.52, lo que se comprueba mediante software



Instalación de la placa en el robot



(a)
A
n
t
e
s



(b)
D
e
s
p
u
é
s



Selección de resortes

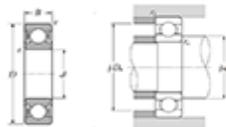
| NUMERO DE PARTE LEE | DIAMETRO EXTERNO | | DIAMETRO DEL ALAMBRE | | CARGA MAXIMA | | TENSION INICIAL | | POSICION DEL LAZO | LONGITUD SIN CARGA | | CONSTANTE | | LONGITUD MAXIMA | | GRUPO DE PRECIO | |
|--------------------------|------------------|-------|----------------------|-------|--------------|------|-----------------|------|-------------------|--------------------|-------|-----------|-----------|-----------------|--------|-----------------|---|
| | MM | PULG. | MM | PULG. | N | LBS. | N | LBS. | | MM | PULG. | N/MM | LBS/PULG. | MM | PULG. | M | S |
| LEM120EB 01 ¹ | | | | | | | | | I | 30.20 | 1.189 | 1.280 | 7.31 | 58.10 | 2.287 | L | M |
| LEM120EB 02 ¹ | | | | | | | | | I | 37.40 | 1.472 | 0.800 | 4.57 | 82.10 | 3.232 | L | M |
| LEM120EB 03 ¹ | 13.00 | 512 | 1.20 | .047 | 42.20 | 9.49 | 6.58 | 1.47 | I | 48.20 | 1.898 | 0.510 | 2.91 | 118.00 | 4.646 | L | M |
| LEM120EB 04 ¹ | | | | | | | | | I | 66.20 | 2.606 | 0.320 | 1.83 | 178.20 | 7.016 | M | P |
| LEM120EB 05 ¹ | | | | | | | | | I | 90.20 | 3.551 | 0.210 | 1.20 | 258.20 | 10.165 | P | R |



Selección de rodamiento

Dimensional Specifications

Dimensional Drawing



Single Row Radial Ball Bearing, Topline Series - Double Sealed (Contact Viton Seal) - Dimensions

| | |
|----------------|------------------------|
| d | 0.4724 in 12.000 mm |
| D | 1.1024 in 28.000 mm |
| B | 0.3150 in 8.000 mm |
| r | 0.0118 in 0.300 mm |
| da min | 0.5512 in 14.000 mm |
| da max | 0.6299 in 16.000 mm |
| Da max | 1.0236 in 26.000 mm |
| ras max | 0.0118 in 0.300 mm |



Programación

```
void busqueda () {
    int h;
    for (h=0;h<100;h++) {
        float temp;
        val11=analogRead(1);

        temp=val11*(5.0/1023.0);
        Serial.println(temp);
        delay(10);

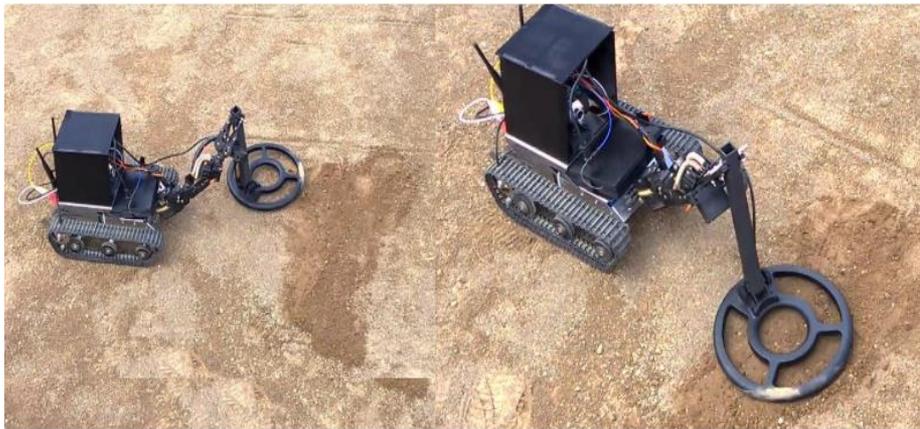
        if (temp<2.9 && temp >1.2) {
            Serial.println("encontre");

            float i=80;
            for (int j=0;j<10;j++)
            {
                cam.write(i);
                digitalWrite(lubu, HIGH);
                delay(75);
                i=i+1.5;
                cam.write(i);
                digitalWrite(lubu, LOW);
                delay(75);
                i=i+1.5;
            }
        }
    }
}
```





Ensayos



a) Momento previo a la detección

b) Sobre el sitio de interés



Efectividad

| Ensayo | Efectividad (%) |
|-----------|-----------------|
| Arena | 85,714286 |
| Pendiente | 89,393939 |
| Pradera | 84,337349 |
| Pétreo | 78,082192 |
| Total | 84,381941 |



Comprobación de la hipótesis

Datos Chi Cuadrado

| | 0 a 1 cm | 2 a 3 cm | 4 a 5 cm | 6 a 7 cm | 8 a 9 cm | 10 a 11 cm | 12 cm en adelante | total |
|---------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|---------------|-------------------------|-------|
| Detectó | 11 | 40 | 48 | 42 | 51 | 42 | 20 | 254 |
| No Detectó | 6 | 10 | 5 | 6 | 4 | 9 | 7 | 47 |
| total | 17 | 50 | 53 | 48 | 55 | 51 | 27 | 301 |

$$\chi^2 = \sum \frac{(f - ft)^2}{ft}$$

$$\chi^2 = 12,8595$$



DISTRIBUCION DE χ^2

| Grados de libertad | Probabilidad | | | | | | | | | | |
|--------------------|------------------|------|------|------|------|-------|-------|-------|---------------|-------|-------|
| | 0,95 | 0,90 | 0,80 | 0,70 | 0,50 | 0,30 | 0,20 | 0,10 | 0,05 | 0,01 | 0,001 |
| 1 | 0,004 | 0,02 | 0,06 | 0,15 | 0,46 | 1,07 | 1,64 | 2,71 | 3,84 | 6,64 | 10,83 |
| 2 | 0,10 | 0,21 | 0,45 | 0,71 | 1,39 | 2,41 | 3,22 | 4,60 | 5,99 | 9,21 | 13,82 |
| 3 | 0,35 | 0,58 | 1,01 | 1,42 | 2,37 | 3,66 | 4,64 | 6,25 | 7,82 | 11,34 | 16,27 |
| 4 | 0,71 | 1,06 | 1,65 | 2,20 | 3,36 | 4,88 | 5,99 | 7,78 | 9,49 | 13,28 | 18,47 |
| 5 | 1,14 | 1,61 | 2,34 | 3,00 | 4,35 | 6,06 | 7,29 | 9,24 | 11,07 | 15,09 | 20,52 |
| 6 | 1,63 | 2,20 | 3,07 | 3,83 | 5,35 | 7,23 | 8,56 | 10,64 | 12,59 | 16,81 | 22,46 |
| 7 | 2,17 | 2,83 | 3,82 | 4,67 | 6,35 | 8,38 | 9,80 | 12,02 | 14,07 | 18,48 | 24,32 |
| 8 | 2,73 | 3,49 | 4,59 | 5,53 | 7,34 | 9,52 | 11,03 | 13,36 | 15,51 | 20,09 | 26,12 |
| 9 | 3,32 | 4,17 | 5,38 | 6,39 | 8,34 | 10,66 | 12,24 | 14,68 | 16,92 | 21,67 | 27,88 |
| 10 | 3,94 | 4,86 | 6,18 | 7,27 | 9,34 | 11,78 | 13,44 | 15,99 | 18,31 | 23,21 | 29,59 |
| | No significativo | | | | | | | | Significativo | | |

$$x_{tbl}^2 = 12,59$$

$$x_{calc}^2 > x_{tbl}^2 = H_1 \text{ es valida}$$

$$x_{calc}^2 < x_{tbl}^2 = H_0 \text{ es valida}$$

$$12,8595 > 12,59 = H_1 \text{ es valida}$$



Conclusiones

- Utilizar orugas como sistema de locomoción, fue un acierto por el óptimo desenvolvimiento que presenta el robot al recorrer por cualquier tipo de terreno en especial aquellas superficies irregulares que son muy comunes en la geografía del país.
- La modificación de la distribución de las orugas contribuyó en gran parte a una mejor movilidad, ya que se pasó de una distribución triangular a una distribución trapezoidal favoreciendo ampliamente el movimiento al momento de encontrarse con pendientes u obstáculos de tamaño aproximado a los cinco cm.



- El detector presenta una alta fidelidad al momento de localizar las minas que se encuentran enterradas entre cinco y 10 cm, permitiendo de esta manera obtener datos reales sobre la ubicación de las mismas.
- De acuerdo a la superficie donde se encuentren enterradas las minas la efectividad del robot tiende a variar, esto se debe principalmente por la composición del terreno ya que unos presentan mayores minerales dispersos en el suelo que otros, como por ejemplo el basalto y la laterita.



- El brazo robótico utilizado por sí solo no pudo soportar el peso del acople y bobina del detector, motivo por el cual fue necesario el uso de resortes metálicos, los cuales contribuyeron a mejorar favorablemente la fuerza que se necesita para cargar con dicho peso, debido a que éstos distribuyen y ayudan a compensar las fuerzas que se aplican, así mismo ayudando a mantener una posición determinada y absorber golpes y vibraciones, sin presentar ninguna deficiencia al momento de la detección.
- La cámara presente en el robot permite maniobrar de una manera segura al robot mientras se encuentra en operación a distancias mayores a 30 metros.



- La tarjeta Arduino Uno demostró ser una opción confiable por los incontables Shield's que se pueden acoplar a la misma, dejando la puerta abierta en un futuro para que se incorporen nuevas funcionalidades al robot como, por ejemplo: desarmado o detonación de la mina una vez ha sido detectada su ubicación.
- La elección del módulo WiFi para el control a distancia del robot fue fiable ya que, al momento de realizar pruebas de manejo, se presentó un rango de maniobrabilidad ideal de 50 metros
- La distancia máxima al cual el robot fue operado ascendió hasta los 80 metros, pero se presentaron fallas en la recepción de información (video), retraso al momento de enviar los comandos de movimiento, además de perder el control del mismo en forma total.



- La tarjeta Arduino Uno demostró ser una opción confiable por los incontables Shield's que se pueden acoplar a la misma, dejando la puerta abierta en un futuro para que se incorporen nuevas funcionalidades al robot como, por ejemplo: desarmado o detonación de la mina una vez ha sido detectada su ubicación.
- La elección del módulo WiFi para el control a distancia del robot fue fiable ya que, al momento de realizar pruebas de manejo, se presentó un rango de maniobrabilidad ideal de 50 metros
- La distancia máxima al cual el robot fue operado ascendió hasta los 80 metros, pero se presentaron fallas en la recepción de información (video), retraso al momento de enviar los comandos de movimiento, además de perder el control del mismo en forma total.



- El software utilizado para la programación del control del robot fue de gran fiabilidad, ya que presenta una interfaz amigable con el usuario, además de ser libre, motivo por el cual, no se tuvo ninguna dificultad al momento del desarrollo de programación para la comunicación con el módulo a distancia y el sistema de control aplicado al robot.
- La programación de la interfaz de manejo del robot, realizada mediante un software de programación visual, presentó mayor accesibilidad al contar con las funciones ideales para la comunicación robot – computadora y a su vez la facilidad para crear la interfaz visual, la misma que es totalmente amigable con el usuario.



Recomendaciones

- El uso del robot se lo debe hacer en áreas secas o a su vez en lluvia en ligera, debido a que cuenta con partes que pueden ser afectadas al momento de entrar en contacto directo con alguna sustancia líquida, además de que este tipo de áreas deben ser totalmente asiladas para que no se presenten interferencias
- Los terrenos o caminos por los cuales el robot puede transitar son indistintos, pero es recomendado no usarlo en pendientes muy pronunciadas, ya que, debido a su tamaño, éste puede volcarse y afectar partes delicadas de control del mismo.
- A futuro el sistema de movimiento que totalmente abierto, ya que se puede modificar en su totalidad la distribución de las orugas y a su vez los motores para incrementar en tamaño la estructura del robot y a su vez se pueda pasar por terrenos fangosos, sin ninguna dificultad.



MUCHAS
GRACIAS
POR SU
ATENCIÓN



ESPE
ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO
CAMINO A LA EXCELENCIA