



# **ESPE**

**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA**

**DEPARTAMENTO DE ENERGÍA Y MECÁNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL  
TÍTULO DE INGENIERO EN MECATRÓNICA**

**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. DARÍO MENDOZA**

**LATACUNGA**

**2017**



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y  
MECÁNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA**

**CERTIFICACIÓN**

Certificó que el trabajo de titulación, “**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**” realizado por los señores **José Javier Duque Chérrez** y el señor **Joel David Navas Pazmiño**, ha sido revisado en su totalidad y analizado por el software anti-plagio, el mismo que cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de la Fuerzas Armadas ESPE, por lo tanto me permito acreditarlo y autorizar a los señores **José Javier Duque Chérrez** y el señor **Joel David Navas Pazmiño** para que lo sustente públicamente.

**Latacunga, 14 de diciembre del 2017**

Atentamente;



Ing. Mendoza Darío.  
**DIRECTOR**



# ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y  
MECÁNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA**

**AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD**


Nosotros, **José Javier Duque Chérrez**, con cédula de ciudadanía N° 180444385-9 y **Joel David Navas Pazmiño**, con cédula de ciudadanía N° 180374213-7, declaramos que este trabajo de titulación **“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”** ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se ha respetado los derechos intelectuales de terceros considerándose en las citas bibliográficas.

Consecuentemente declaramos que este trabajo es de nuestra autoría, en virtud de ello nos declaramos responsables del contenido, veracidad y alcance de la investigación mencionada.

**Latacunga, 14 de diciembre de 2017**

  
\_\_\_\_\_  
**José Javier Duque Chérrez**

C.C.: 180444385-9

  
\_\_\_\_\_  
**Joel David Navas Pazmiño**

C.C.: 180374213-7




**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y  
MECÁNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA**

**AUTORIZACIÓN**

Nosotros, **José Javier Duque Chérrez y Joel David Navas Pazmiño**, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar en la Biblioteca Virtual de la Institución el presente trabajo de titulación **“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”** cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra autoría y responsabilidad.

**Latacunga, 14 de diciembre de 2017**

  
\_\_\_\_\_  
**José Javier Duque Chérrez**  
C.C.: 180444385-9

  
\_\_\_\_\_  
**Joel David Navas Pazmiño**  
C.C.: 180374213-7

## DEDICATORIA

“He de empezar el camino sin mirar atrás, para no ser un número más...”

El presente proyecto va dedicado a la base fundamental para que todo se pueda cumplir, mis Padres, Antonio Duque y Rosa Chérrez por estar a mi lado siempre en todo momento y apoyarme en los tiempos duros, por su enorme sacrificio al darme una vida mejor y ser la voz de aliento para no darme por vencido y seguir con mi camino firme ante cualquier circunstancia

A mis hermanos Diego y Consuelo por su apoyo incondicional, consejos y palabras de motivación y alegría en cada momento difícil de esta etapa, además de recordar a mis sobrinos que espero sirva como ejemplo de superación

A S.D. Aucas porque con cada partido ganado y goles de último momento me inspiraron para dar lo mejor de mí.

A mi amada Mayra, porque vino a mi vida para completarla, ser mi fiel compañera, una enorme inspiración y convertirse en un pilar fundamental para mí.

**José Javier Duque Chérrez**

## DEDICATORIA

El presente proyecto se lo dedico de manera especial a mis padres Nilo Liborio Navas Montesdeoca y Teresita de Jesús Pazmiño González ya que, sin ellos, sin su motivación y consejos no estaría donde me encuentro hoy. A mis abuelitos que siempre han estado presentes conmigo en todo momento y lugar donde me encontrado. A mis hermanos con los cuales he compartido toda mi vida una dedicatoria especial.

A mis amigos y compañeros que han estado presentes de una manera u otra con su palabra de aliento o su puteadita de confianza, no han permitido que desista ni me rinda en este largo camino que muchas veces parecía cuesta arriba, pero del cual hemos salido adelante.

A todas esas personas que confiaron en mí y aquellas que por algún motivo ya no están aquí esto es por ustedes. Lo logramos gracias por su confianza y vamos por más.

**Joel David Navas Pazmiño**

## AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradezco a Dios, creador de la evolución..., por iluminarme, darme salud, paciencia y sobre todo constancia para continuar con mi camino sin decaer, a mis padres Antonio y Rosa y mis hermanos Diego y Consuelo, quienes me brindaron su apoyo incondicional desde el comienzo de esta etapa en mi vida, ¡muchas gracias a mi gran familia!

Al tutor de tesis Ing. Darío Mendoza y a mi compañero de tesis Joel David Navas, con quienes, a pesar de diferencias, momentos de susto y bromas hemos podido lograr culminar con este proyecto, cómo olvidar a los grandes amigos del grupo, la gallada o raspiamigos quienes aportaron con ideas para el proyecto y sobre todo por sus sabias palabras, las mismas que siempre nos sacaron una risa y han hecho que todos los momentos sean siempre divertidos.

A aquellos profesores quienes ayudaron en mi formación y sirvieron de guía en todo este camino, dejando gratos recuerdos.

Para terminar, quiero agradecer a una mujer quién llegó para completar mi felicidad, que ha estado a mi lado para apoyarme y sobre todo soportarme en todos los malos momentos, llegando a ser mi voz de aliento, gracias Mayra.

¡¡Aucas Marañón o la Guerra!!

**José Javier Duque Chérrez**

## AGRADECIMIENTO

Agradezco al ser supremo por permitirme culminar con éxito el presente trabajo de titulación. A mi familia que desde un inicio me brindaron su apoyo incondicional, estuvieron conmigo siempre y no permitieron que desista de culminar este sueño que un día parecía tan lejano y hoy se ve concluido.

Un agradecimiento especial a los raspiamigos con los cuales se ha compartido un gran número de experiencias, unas buenas, otras malas, pero a pesar de todo nos reímos y seguimos adelante, gracias por estar en todos los momentos de esta vida universitaria, sin sus ideas, comentarios y apoyo este proyecto no se podría haber concluido con éxito, no se rindan que ya terminan.

A todos los ingenieros que han dejado una huella en este humilde estudiante, muchas gracias por su loable labor docente al impartir su valioso conocimiento les quedo muy agradecido.

Al tutor Ing. Darío Mendoza y compañero de tesis José Duque gracias por su ayuda para que este trabajo se desarrolle y concluya de la mejor manera.

Por último, pero no menos importante agradezco a todas aquellas personas quienes estuvieron pendientes del desarrollo de este proyecto, que de una manera u otra contribuyeron para que esta etapa llegue a su fin, muchas gracias de todo corazón.

**Joel David Navas Pazmiño**



## ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>CARÁTULA.....</b>	<b>i</b>
<b>CERTIFICACIÓN .....</b>	<b>ii</b>
<b>AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD .....</b>	<b>iii</b>
<b>AUTORIZACIÓN.....</b>	<b>iv</b>
<b>DEDICATORIA .....</b>	<b>v</b>
<b>AGRADECIMIENTO .....</b>	<b>vii</b>
<b>ÍNDICE DE CONTENIDOS .....</b>	<b>ix</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS.....</b>	<b>xii</b>
<b>ÍNDICE DE FÍGURAS .....</b>	<b>xiii</b>
<b>NOMENCLATURA.....</b>	<b>xvi</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>xvii</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>xviii</b>
<b>CAPÍTULO I.....</b>	<b>1</b>
<b>1. MARCO METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>1</b>
1.1. Introducción.....	1
1.2. Antecedentes .....	1
1.3. Justificación.....	3
1.4. Planteamiento del problema.....	3
1.5. Hipótesis.....	4
1.6. Estado del arte minas terrestres.....	4
1.6.1. Componentes de minas terrestres .....	5
1.6.2. Tipos de minas terrestres .....	6
1.6.2.1 Minas antipersonales explosivas .....	7
1.6.2.1.1 Componentes de minas antipersonales explosivas .....	8
1.6.2.2 Minas antipersonales de fragmentación .....	9
1.6.2.3 Minas antipersonales de fragmentación dirigida.....	9
1.6.2.4 Minas antipersonales de salto .....	10

1.7. Estado del arte robots móviles .....	11
1.7.1 Tipo de locomoción para robots móviles .....	11
1.7.1.1 Locomoción por ruedas .....	11
1.7.1.1.1 Locomoción diferencial .....	12
1.7.1.1.2 Locomoción síncrona.....	13
1.7.1.1.3 Locomoción triciclo .....	14
1.7.1.1.4 Locomoción Ackerman .....	14
1.7.1.2 Locomoción por orugas .....	15
1.7.1.3 Locomoción por articulaciones .....	16
<b>CAPITULO II .....</b>	<b>17</b>
<b>2. SELECCIÓN Y REPONTECIACIÓN DEL DETECTOR DE MINAS .....</b>	<b>17</b>
2.1. Detector de minas antipersonales .....	17
2.1.1. Tecnologías para detección de minas antipersonales.....	18
2.1.1.1. Detector de metales.....	18
2.1.1.1.1. Principio de funcionamiento detector de metales .....	19
2.1.1.2. Radar de penetración terrestre.....	20
2.2. Selección de la tecnología para el detector .....	21
2.3. Selección del manipulador para el detector.....	23
2.4. Diseño del acople del detector .....	24
2.4.1. Comprobación mediante Software. ....	28
2.5. Implementación del detector .....	28
2.6. Selección de la tecnología de control para el robot.....	32
<b>CAPITULO III .....</b>	<b>35</b>
<b>3. DISEÑO DEL ROBOT MÓVIL .....</b>	<b>35</b>
3.1. Robot móvil .....	35
3.2. Selección del tipo de locomoción para el robot .....	35

3.3. Diseño del robot .....	37
3.3.1. Comprobación mediante Software. ....	47
3.3.2. Comprobación mediante Software. ....	52
3.4. Implementación del robot .....	55
3.5. Interfaz de comunicación.....	59
<b>CAPITULO IV.....</b>	<b>65</b>
<b>4. PRUEBAS Y RESULTADOS.....</b>	<b>65</b>
4.1. Pruebas de campo .....	65
4.2. Análisis de resultados.....	72
4.2.1. Comprobación de hipótesis de seguimiento.....	73
<b>CAPITULO V.....</b>	<b>76</b>
<b>5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>76</b>
5.1. Conclusiones.....	76
5.2. Recomendaciones.....	78
<b>6. Bibliografía.....</b>	<b>80</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>84</b>
Anexo A      Programa TBuscaminas	
Anexo B      Programa Arduino	
Anexo C      Manual del usuario	
Anexo D      Manual de mantenimiento	
<b>CERTIFICACIÓN .....</b>	

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1. Tipos de minas.....</b>	<b>6</b>
<b>Tabla 2. Matriz de selección de conceptos (Detector).....</b>	<b>22</b>
<b>Tabla 3. Matriz de evaluación de conceptos (Detector).....</b>	<b>22</b>
<b>Tabla 4. Matriz de selección de conceptos (Manipulador).....</b>	<b>23</b>
<b>Tabla 5. Matriz de evaluación de conceptos (Manipulador).....</b>	<b>24</b>
<b>Tabla 6. Matriz de selección de conceptos (Controlador).....</b>	<b>32</b>
<b>Tabla 7. Matriz de evaluación de conceptos (Controlador).....</b>	<b>33</b>
<b>Tabla 8. Matriz de selección de conceptos (Estructura).....</b>	<b>36</b>
<b>Tabla 9. Matriz de evaluación de conceptos (Estructura).....</b>	<b>36</b>
<b>Tabla 10. Ensayo en arena.....</b>	<b>65</b>
<b>Tabla 11. Ensayo en pendiente.....</b>	<b>67</b>
<b>Tabla 12. Ensayo en pradera.....</b>	<b>69</b>
<b>Tabla 13. Ensayo en terreno pétreo.....</b>	<b>70</b>
<b>Tabla 14. Efectividad.....</b>	<b>72</b>
<b>Tabla 15. Efectividad a diferentes profundidades.....</b>	<b>73</b>
<b>Tabla 16. Datos Chi Cuadrado.....</b>	<b>74</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Minas antipersonales explosivas.....	8
Figura 2. Componentes de mina antipersonal explosiva.....	8
Figura 3. Minas antipersonales de fragmentación.....	9
Figura 4. Mina antipersonal de fragmentación dirigida.....	10
Figura 5. Mina antipersonal de salto.....	10
Figura 6 Configuración por llantas.....	12
Figura 7 Locomoción diferencial.....	13
Figura 8 Locomoción Síncrona.....	13
Figura 9 Locomoción Triciclo.....	14
Figura 10 Locomoción Ackerman.....	15
Figura 11 Locomoción por Orugas.....	15
Figura 12 Locomoción por articulaciones.....	16
Figura 13. Detectores de metal.....	19
Figura 14. Campos generados por un detector.....	20
Figura 15. Principio de operación del GPR.....	21
Figura 16. Diseño del acople del detector.....	25
Figura 17. Fuerza aplicada al acople.....	26
Figura 18. Análisis del material frente a fuerzas.....	28
Figura 19. Sellos y acople.....	29
Figura 20. Ensamble acople y bobina.....	29
Figura 21. Pasador griper-acople.....	30
Figura 22 Ubicación del Brazo.....	31
Figura 23 Ubicación del resorte en la parte Inferior.....	31
Figura 24 Ubicación del resorte para soportar el acople y bobina.....	32
Figura 25. Diagrama de conexión.....	34
Figura 26. Modelado de la estructura.....	38
Figura 27. Centros de masa y momentos de inercia de la estructura..	38
Figura 28. Modelado del brazo.....	39
Figura 29. Centros de masa y momentos de inercia del brazo.....	39
Figura 30. Modelado de la estructura y brazo.....	40
Figura 31. Centros de masa y momentos de inercia de la estructura y brazo acoplados.....	41

<b>Figura 32. Modelado de la estructura completa.....</b>	<b>42</b>
<b>Figura 33. Centro de masa y momentos de inercia de la estructura completa.....</b>	<b>42</b>
<b>Figura 34. Fuerzas aplicadas en la base.....</b>	<b>45</b>
<b>Figura 35. Análisis de las fuerzas que soporta la estructura.....</b>	<b>47</b>
<b>Figura 36 Diseño de la Tapa.....</b>	<b>48</b>
<b>Figura 37 Análisis de la tapa del robot.....</b>	<b>49</b>
<b>Figura 38. Diseño de la nueva placa.....</b>	<b>50</b>
<b>Figura 39. Fuerzas aplicadas.....</b>	<b>50</b>
<b>Figura 40. Análisis de la placa mediante software.....</b>	<b>52</b>
<b>Figura 41 Cambio de la distribución de las orugas.....</b>	<b>53</b>
<b>Figura 42. Resortes.....</b>	<b>53</b>
<b>Figura 43. Especificaciones técnicas rodamiento.....</b>	<b>54</b>
<b>Figura 44. Cargas del rodamiento.....</b>	<b>54</b>
<b>Figura 45 Ubicación de la Tarjeta Arduino.....</b>	<b>55</b>
<b>Figura 46 Shield de comunicación con los motores.....</b>	<b>56</b>
<b>Figura 47 Shield de comunicación para los servomotores.....</b>	<b>56</b>
<b>Figura 48 Ubicación del módulo WiFi.....</b>	<b>57</b>
<b>Figura 49 Ubicación de la cámara.....</b>	<b>58</b>
<b>Figura 50 Conexión de todos los componentes .....</b>	<b>59</b>
<b>Figura 51. Pantalla principal programa buscaminas .....</b>	<b>60</b>
<b>Figura 52. Ventana configuración.....</b>	<b>61</b>
<b>Figura 53. Datos a cargar .....</b>	<b>61</b>
<b>Figura 54. Botones de dirección .....</b>	<b>62</b>
<b>Figura 55 Conexión a la red Inalámbrica .....</b>	<b>62</b>
<b>Figura 56 Conexión del Puerto COM.....</b>	<b>63</b>
<b>Figura 57 Verificación de la Conexión del Puerto .....</b>	<b>63</b>
<b>Figura 58. Botón video.....</b>	<b>63</b>
<b>Figura 59. Botones para la búsqueda.....</b>	<b>64</b>
<b>Figura 60. Objetos a encontrar .....</b>	<b>65</b>
<b>Figura 61. Ensayo en arena .....</b>	<b>67</b>
<b>Figura 62. Ensayo en pendiente.....</b>	<b>68</b>
<b>Figura 63. Ensayo en pradera .....</b>	<b>70</b>
<b>Figura 64. Ensayo en terreno pétreo.....</b>	<b>72</b>

**Figura 65 Tabla Chi Cuadrado .....74**

## NOMENCLATURA

- A*: Área de la sección transversal.
- F*: Fuerza Aplicada.
- F<sub>x</sub>*: Componente de la fuerza aplicada en x.
- F<sub>y</sub>*: Componente de la fuerza aplicada en y.
- M*: Momento de Inercia.
- $\sigma$ : Esfuerzo.
- N*: Factor de seguridad.
- $\alpha_{lt}$ : Pendiente lateral.
- $\alpha_l$ : Pendiente longitudinal.
- d*: Ancho de vías menor.
- hb*: Altura del suelo plano al bastidor.
- h*: Altura total.
- Tara*: Masa del vehículo.
- Qútil*: Carga útil.
- MMA*: Masa máxima autorizada.
- hcg*: Altura del centro de gravedad.
- hcu*: Altura del centro de gravedad de la carga útil.
- s*: Distancia del centro de gravedad al eje trasero.



## RESUMEN

El presente proyecto está orientado al ámbito de seguridad y defensa, debido a que se trata de un robot capaz de detectar minas antipersonales, las mismas que se encuentran bajo tierra y representan un peligro eminente para las personas que realizan el trabajo de desminado y población en general que habita cerca de lugares donde se encuentran enterradas las mismas. El robot cuenta con la capacidad de locomoción todo terreno, debido a su sistema integrado por orugas, las mismas que permiten el paso por cualquier tipo de terreno, así como también un sistema de control integrado por tarjetas Arduino y sus respectivos shield's, el mismo que permite al robot ser controlado a distancia mediante el uso de la tecnología wireless fidelity (Wi-Fi). Finalmente, el sistema de detección se integra por un detector de metales con una frecuencia de 7800 Hz, debido a que las minas presentan una pequeña parte metálica, siendo necesario utilizar un detector con este tipo de frecuencia debido a su campo de penetración que llega a ser de 25cm, aunque la distancia a la cual estas minas están enterradas va desde 7cm a 12cm y debido al paso del tiempo pueden tener una mayor profundidad. Una vez que el detector encuentra una mina envía la señal por medio de la tarjeta Arduino hacia el operario que se encuentra a una distancia segura de operación viendo por medio de una cámara los movimientos que realiza el robot, esta cámara se encuentra ubicada en la parte central del robot consiguiendo de esta manera un mejor campo de visión con lo cual se evitan posibles puntos ciegos.

### **PALABRAS CLAVE**

- **ROBOT MÓVIL**
- **MINAS ANTIPERSONALES - DETECCIÓN**
- **MINAS ANTIPERSONALES – SEGURIDAD**
- **Tecnología - Wifi**

## ABSTRACT

This project is oriented to the security and defense field, it is stood for a robot that is able to detect antipersonnel mines. These ones are found underground and they not only indicate an eminent danger for the people who carry out the demining work but also to the population that lives near these places. The robot has an all-terrain locomotion capability, due to its integrated system of tracks which allow to go through any type of terrain, as well as a control system integrated by Arduino cards and their respective shields, the same that allows the robot to be remotely controlled by using wireless fidelity (Wi-Fi) technology. Finally, the detection system is integrated by a metal detector with a frequency of 7800 Hz, that is because the field mines have a small metal part to attract it, so, it is necessary to use a detector with this type of frequency, due to its field's penetration that reaches 25cm, although the distance to which these mines are buried goes through from 7cm to 12cm, however due to the spending time they can get a greater depth. Once the detector finds a mine, it sends the signal through the Arduino card to the operator staff who is at a safe operating distance by seeing through a camera the movements made by the robot, this one is located in the central of the robot to achieve a better field of vision thereby avoiding possible blind spots.

### Key Words

- Mobile robot
- Mines - Detection
- Mines – Security
- WiFi - Technology

## CAPÍTULO I

### 1. MARCO METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN

#### 1.1. 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, razón por la cual muchas entidades ven la necesidad de emplear robots en zonas de conflicto bélico, posterior a la firma del 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 producir, emplear, adquirir, almacenar, transferir o conservar minas antipersonales, entre otros acuerdos, pocos países han logrado cumplir con todos los puntos siendo 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, los parámetros más relevantes de estudio es la manera de locomoción la cual está prevista ser a través de orugas y el sistema para la detección de las minas que tendrá un detector de metales como principal componente. Como interfaz de comunicación y control remoto se tiene al protocolo Wifi y una cámara para visualizar el lugar por el que transita el robot.

#### 1.2. Antecedentes

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 y animales siendo unos más sanguinarios que otros, pero todos ellos con un fin común como es la de asegurar la supervivencia de un bando determinado.

Es de esta manera que las minas antipersonales surgieron como una necesidad para proteger en la época medieval los castillos y fortalezas pero

fue en la primera guerra mundial donde se retomó su uso para herir e infundir miedo en las tropas ya que es más complicado para un ejército lidiar con soldados heridos que con muertos; de esta manera muchos lugares a lo largo del planeta fueron sembrados con minas antipersonales que aún hoy en día siguen con su capacidad de detonación intacta, poniendo en riesgo a una gran cantidad de la población civil que vive cerca de los campos minados.

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 y necesitan recuperar el territorio utilizado, también este trabajo lo realizan animales como perros o ratas entrenados desde pequeños para que puedan detectar con gran eficiencia las minas que se encuentran enterradas evitando detonaciones accidentales.

Identificada la necesidad a nivel mundial de resguardar la vida de las personas y animales desde el año 2000, el *International Advanced Robotics Programme* (IARP) formó un grupo de trabajo para el desminado humanitario en el cual se demuestra los avances que se tiene dentro de la robótica en favor de esta meta común. En el trabajo *“Robots Móviles para Tareas de Desminado Humanitario”* presentado en octubre de 2013 se puede identificar lo alcanzado durante 13 años de investigación y desarrollo en lo que respecta a las maneras de locomoción y los medios para detección de minas.

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 por lo que era imperioso investigar y desarrollar un mecanismo que se encargue de la detección de este tipo de artefactos. En el país este tipo de trabajos no han sido desarrollados a pesar de tener campos minados en la frontera sur producto del conflicto bélico que se llevó a cabo en 1995 entre el Ecuador y el Perú.

### **1.3. Justificación**

En la actualidad los trabajos existentes a nivel nacional referente a este tema son nulos a pesar de tener dentro del territorio nacional lugares comprobados por las actas e informes de la guerra de 1995 con una relativa concentración de minas antipersonales que aún no han sido retiradas, razón por lo que el presente proyecto va a ser desarrollado a favor de precautelar la vida de los seres vivos que habitan en los alrededores de estos campos minados.

El proyecto emplea conceptos conocidos de electromagnetismo para la detección de minas antipersonales explosivas, ya que al poseer elementos de metal facilita su ubicación bajo tierra además de ser una tecnología relativamente barata y con gran uso a nivel mundial para este tipo de trabajos tanto por entidades militares como organizaciones sin fines de lucro.

Para el proyecto en específico un robot móvil con tracción por orugas ofrece una gran ventaja frente a robots con ruedas motrices ya que al tener mayor superficie de contacto son capaces de superar cualquier obstáculo, algo que en los robots con ruedas está limitado al radio de sus ruedas.

Además, al estar controlado de manera remota el operario es capaz de observar a través de una cámara el sitio por el que se moviliza el robot sin olvidar que se encuentra dentro de una zona de seguridad a salvo de cualquier esquirra producida por una detonación accidental.

### **1.4. Planteamiento del problema**

En la actualidad la búsqueda de una verdadera paz entre países y sus estados constitutivos ha dado paso para que se busque una solución de la mano de la tecnología para el desminado de campos, siendo hoy en día una imperiosa necesidad la de incluir robots dentro de las actividades de desminado, ya que al ser una tarea que pone en gravísimo riesgo la vida de

las personas, es preferible asumir el costo del equipo, a que se pierda la vida de una persona o que esta quede con alguna discapacidad a causa de la detonación de las minas.

Al momento de detectar el lugar exacto donde se encuentran enterradas las minas es posible incursionar ya sea con personal capacitado, mecanismos o dispositivos para su detonación controlada o la remoción de forma segura, haciendo posible que en un menor tiempo se limpie un área que para una sola persona o un grupo de animales entrenados les lleve mucho más tiempo realizar el mismo trabajo.

De esta manera dentro de nuestro territorio nacional se contribuiría con la preservación de la seguridad e integridad de los pueblos no contactados y de la población en general tanto civil como militar que viven cerca de la frontera con el vecino país del Perú, recordando que en este lugar fueron utilizadas gran cantidad de minas antipersonales dentro del conflicto armado de 1995 y actualmente muchas de ellas siguen operativas.

### **1.5. Hipótesis**

¿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?

### **1.6. Estado del arte minas terrestres**

De acuerdo con la Real Academia Española (RAE) mina es un artificio explosivo provisto de espoleta, que, enterrado o camuflado, produce su explosión al ser rozado por una persona, vehículo, etc. Razón por la cual se puede decir que una mina terrestre es un dispositivo de defensa militar provisto de un detonador y una carga explosiva, la cual se detona posterior a su activación por parte de un ser vivo u objeto móvil.

Este tipo de dispositivos militares fueron utilizados ampliamente durante la Primera Guerra Mundial para acabar con los primeros tanques y vehículos

que transportaban refuerzos y suministros al ejército enemigo sin embargo estas primeras minas eran fáciles de desactivarse por parte de las personas al necesitar un gran peso que las active por lo cual surgieron las minas antipersonales para en cierta medida defender las minas antitanque, además al ser más pequeñas podían colocarse un mayor número con lo que se podía mermar en gran porcentaje el ejército enemigo.

Debido a las innumerables víctimas y heridos a nivel mundial por causa de las minas antipersonales el 3 de diciembre de 1997 se llevó a cabo la Convención sobre la prohibición del empleo, almacenamiento, producción y transferencia de minas antipersonal y sobre su destrucción (“Tratado de Ottawa”), en el cual menciona que:

Los Estados que se adhieran a este tratado no deben, en ninguna circunstancia, emplear, desarrollar, producir, almacenar o transferir minas ni ayudar a un tercero a que lo haga. Además, deben destruir, en el plazo establecido, las minas antipersonal existentes, estén almacenadas o sembradas. Puede conservarse una reducida cantidad de minas con la única finalidad de desarrollar técnicas de remoción y destrucción de minas y para formar a personal en estas técnicas. (The United Nations Office at Geneva, 2000).

### **1.6.1. Componentes de minas terrestres**

Los componentes principales de una mina terrestres sin importar el tipo al que pertenezca son dos, la carga y el dispositivo de fuego. La carga puede estar contenida en una envoltura de forma y naturaleza variable como metal, vidrio, madera, plástico, etc. El dispositivo de fuego está conformado por una espoleta, detonador y multiplicador. La espoleta es la parte que por la acción de una causa exterior: presión ejercida por un vehículo o por un hombre, tracción de un hilo, accionamiento a distancia; produce una llama capaz de provocar la explosión del detonador. El detonador es aquel componente que por su activación sirve de onda explosiva inicial para la carga, el explosivo que contiene el detonador es muy sensible. El

multiplicador es aquel cuya carga explosiva es más sensible que la de la mina, y su función es aumentar el efecto del detonador. (Coral, Conocimiento de minas)

### 1.6.2. Tipos de minas terrestres

Las minas terrestres pueden ser clasificadas según distintos criterios como, por ejemplo: por su aplicación, efecto, acción que activa el dispositivo de fuego, dispositivo anti manipulación, entre otras, cada una a su vez tiene sub clasificaciones que amplían la lista de minas disponibles para su uso. En la siguiente tabla se detallan los principales tipos de minas terrestres que se han desarrollado alrededor del mundo.

**Tabla 1**  
**Tipos de minas**

Clasificación según	Tipo	Características
Acción que activa el dispositivo de fuego	Presión	Se activan bajo fuerza de un cierto peso.
	Tracción	Estas minas llevan incorporado un hilo difícilmente perceptible a simple vista. Este hilo, que se coloca a ras de suelo, activa el dispositivo de fuego cuando es forzado. Por ejemplo, por el movimiento del pie al avanzar.
	Alivio de presión	Cuando se retira algún objeto que presiona de forma constante el dispositivo de fuego.
	Alivio de tracción	Cuando se corta o se afloja el hilo que se coloca tenso.
	Eléctricas	Cuando se cierra un circuito eléctrico.
Dispositivo anti manipulación	Inducción de sensores	Los sensores pueden ser magnéticos, electromagnéticos, acústicos, de infrarrojos, etc.
	Granada	Se amarra en la base de la mina una granada, en forma que cuando el des minador haya desactivado la mina totalmente sienta la confianza para sacarla, quitando el seguro de la granada y activándola.
	Fotocelda	Al ser enterradas las minas quedan en la oscuridad, por tanto, al colocar una fotocelda

**Continúa**





		se garantiza que la mina explotará a la más leve exposición a la luz.
	Gota de mercurio	Al mover las minas, se activa el mecanismo a través de una gota de mercurio que une un dispositivo alterno de detonación.
Aplicación	Antitanque	Destinadas a destruir o averiar tanques y vehículos militares.
	Antipersonal	Diseñada para matar o herir a personas.
Efecto (minas antipersonales)	Explosivas	Hieren por efecto directo de la explosión.
	De fragmentación	Hieren por la proyección de metralla contenida en la mina. Su radio de acción es de varios metros.
	De fragmentación dirigida	La fragmentación está calculada para dispararse sobre un área determinada. Pueden ser activadas a distancia.
	De salto	Incluyen una carga de propulsión que las hace saltar entre 1 y 2 metros antes de estallar.

**Fuente:** (Ollacarizqueta, 1995)

### 1.6.2.1 Minas antipersonales explosivas

Las minas antipersonales explosivas funcionan por presión con una espoleta mecánica que inicia la carga principal, contiene un alto explosivo entre más pequeñas el explosivo es más potente, la envoltura es plástica y de madera, su forma es cilíndrica y se emplea en: protección de instalaciones, posiciones de personal, en picas y accesos al terreno, el efecto es dirigido hacia arriba. (Coral, Conocimiento de minas )

Al ser este tipo de minas las más utilizadas tanto por el ejército ecuatoriano como el peruano durante el conflicto bélico entre los dos países en el año de 1995, el presente proyecto se basará en la detección de dichas minas, siendo específicamente el percutor el componente metálico de la mina a buscar bajo tierra.

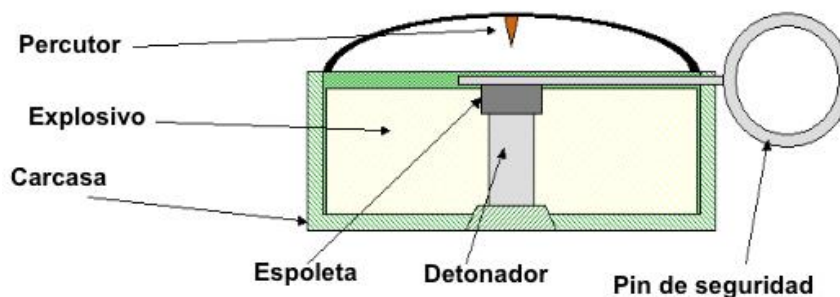


**Figura 1. Minas antipersonales explosivas**

Fuente: (Inert Products, 2017)

### 1.6.2.1.1 Componentes de minas antipersonales explosivas

Para la construcción de una mina antipersonal explosiva se requiere de seis elementos indispensables (ver Figura 2), lo cual permite que sea fabricada de manera casera por parte de terroristas o grupos subversivos. La mina no está completamente armada hasta que el detonador sea insertado y el pin de seguridad removido. A partir de ese momento la mina puede ser activada por presión en su parte superior. Cuando un objeto o ser vivo ejerce una presión impulsa el percutor hacia la espoleta la cual se enciende, disparando el detonador que posterior acciona el explosivo contenido en la cápsula. No siempre es posible reemplazar el percutor o remover con seguridad el detonador una vez que la mina ha sido armada. (Keely, 2003)



**Figura 2. Componentes de mina antipersonal explosiva**

Fuente: (Keely, 2003)

### 1.6.2.2 Minas antipersonales de fragmentación

La carga que contiene estas minas va en una envoltura de acero o metal las mismas son fragmentadas y contienen una espoleta de tracción, tienen forma cilíndrica, unas van colocadas en estacas y se emplean en protección de instalaciones, obstáculos contra personal entre otras. Las espoletas ingresan roscando a la mina, se colocan los cables a manera de tracción la misma que retira el pasador de seguro, así quedará la mina armada. Su alcance es de 20 a 30 metros. (Coral, Conocimiento de minas)



**Figura 3. Minas antipersonales de fragmentación**

### 1.6.2.3 Minas antipersonales de fragmentación dirigida

Tienen un explosivo plástico y su envoltura es plástica, sus fragmentos son bolas de acero que están pegadas en una cinta plástica que va adherida a la mina, la misma es de forma cóncava o rectangulares con su propiedad que deben orientarse hacia el lugar deseado, se emplean para cubrir vías, picas y caminos, también se colocan en la vegetación baja o árboles, funcionan eléctricamente o a tracción, su alcance es de 50 metros. (Coral, Conocimiento de minas)



**Figura 4. Mina antipersonal de fragmentación dirigida**

Fuente: (Perry, 2014)

#### 1.6.2.4 Minas antipersonales de salto

Estas minas antipersonales de salto tienen un propósito específico explotar de 30 a 120 centímetros del piso. Tienen su sistema de fuego a un costado, el cual acciona en la base de la mina y la expulsa hacia arriba. Funciona por tracción presión o iniciación eléctrica, su espoleta es el sistema de retardo, no está enterrada sino solo en la superficie, su forma es cilíndrica y la espoleta sobresale a la parte superior, se emplean en emboscadas, vías y en la vegetación, su radio de alcance es de 15 a 40 metros. (Coral, Conocimiento de minas)



**Figura 5. Mina antipersonal de salto**

Fuente: (Chivers, 2013)

## **1.7. Estado del arte robots móviles**

Este tipo de robots tienen la facultad de desplazarse por aire, tierra o agua, sin descartar el espacio exterior donde actualmente se trata de conocer de mejor manera los distintos cuerpos celestes que nos rodean. Para su movimiento emplean su propia energía que se encuentra almacenada por lo general en grandes baterías, estas a su vez pueden ser recargadas por el mismo robot o por efectos de fenómenos naturales como el viento, radiación solar entre otros. (Pascual)

El correcto funcionamiento del robot depende en gran medida de la programación y sensores que tenga incorporados pudiendo así desplazarse autónomamente o por acción de un ser humano. Dependiendo del entorno y aplicación para la que está dirigido su morfología variará al igual que el mecanismo que permite su locomoción.

### **1.7.1 Tipo de locomoción para robots móviles**

Hoy en día se tienen claramente diferenciados tres tipos de locomoción para robots móviles, los cuales son por medio de ruedas, orugas o pistas de deslizamiento y patas o articulaciones. Cada tipo tiene una fortaleza en lo que respecta a la superficie de desplazamiento siendo las ruedas mayoritariamente utilizadas sobre superficies lisas, las orugas sobre superficies irregulares y las articulaciones para superficies muy irregulares.

#### **1.7.1.1 Locomoción por ruedas**

Este tipo de locomoción es la más común por ser más sencilla y fácil de construir y controlar con respecto a los otros dos tipos, su principal desventaja se produce al emplearlos en terrenos irregulares donde tienen un comportamiento bastante malo ya que para superar obstáculos se ven limitados a que estos no superen el radio de sus ruedas. Para la construcción de un sistema móvil por medio de ruedas se tienen los

siguientes diseños: diferencial, síncrona, triciclo y Ackerman o coche. (González V. , 2002)

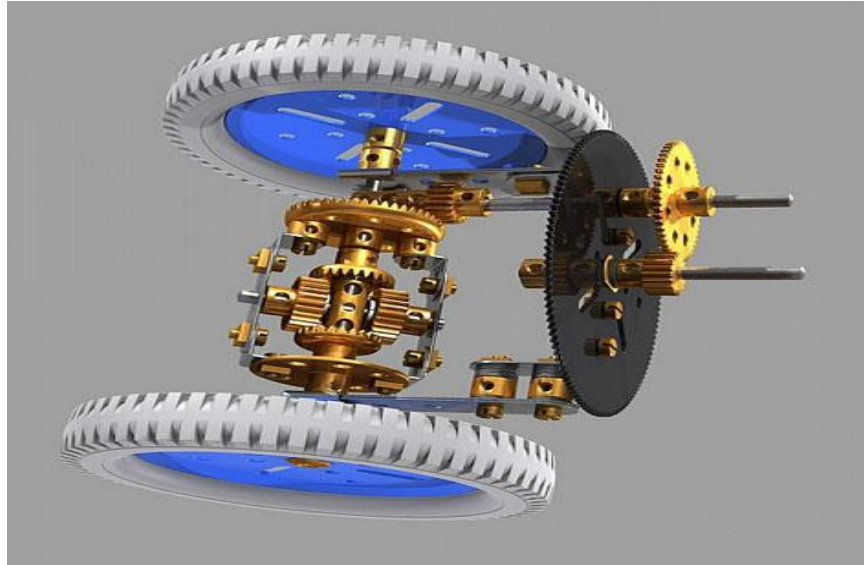


**Figura 6 Configuración por llantas**

Fuente: (González V. , 2002)

#### **1.7.1.1.1 Locomoción diferencial**

Se tienen dos ruedas motrices que pueden ser activadas independientemente. Una diferencia de velocidad entre las ruedas permite un cambio de dirección. Puede incorporar una rueda castor o loca para estabilizar la plataforma, pero existen sistemas que no las usan. Es un sistema simple, barato y fácil de implementar, aunque es difícil de controlar y se requiere un control de precisión para que realice trayectorias rectas. (García, Robótica Móvil, 2011)

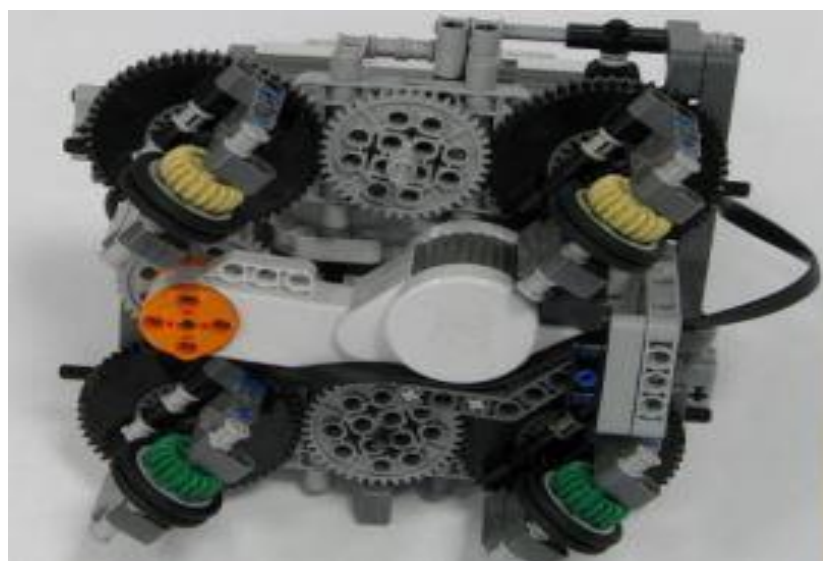


**Figura 7 Locomoción diferencial**

Fuente: (León, 2013)

#### **1.7.1.1.2 Locomoción síncrona**

Esta configuración tiene tres o más ruedas en la cual las ruedas están direccionadas coordinadamente esto quiere decir que se mueven a la misma dirección en el mismo sentido y al mismo tiempo. La coordinación puede ser mecánica o electrónica, aunque su diseño es complejo y de difícil implementación se reducen sustancialmente los problemas de localización. (García, Robótica Móvil, 2011)



**Figura 8 Locomoción Síncrona**

Fuente: (Cánovas, 2011)

### 1.7.1.1.3 Locomoción triciclo

Es un sistema en el que se tiene una tercera rueda para la dirección, la tracción puede estar en la rueda de dirección o en las ruedas auxiliares por lo que tiende a ser inestable.



**Figura 9 Locomoción Triciclo**

Fuente: (Cánovas, 2011)

### 1.7.1.1.4 Locomoción Ackerman

La locomoción Ackerman o coche es la que observamos habitualmente en los vehículos convencionales, es de fácil implementación su estructura consta de cuatro ruedas colocadas en dos ejes, donde sólo las dos ruedas delanteras permiten un giro sobre el eje. Sus cuatro ruedas con suspensión proporcionan una buena estabilidad y no es necesario controlar la velocidad de las ruedas para que el robot se mantenga recto. (CSCAZORLA, 2011)





**Figura 10 Locomoción Ackerman**

Fuente: (León, 2013)

### 1.7.1.2 Locomoción por orugas

Llamadas también pistas de deslizamiento las podemos encontrar en los tanques de guerra y en cierta maquinaria pesada, en robótica usualmente se utilizan cadenas o bandas. Se basan en el direccionamiento por diferencia de velocidades. Cuando queremos realizar un giro aumentamos la velocidad de una de las pistas para producir el giro en el vehículo. Este tipo de locomoción está pensada para trabajar en terrenos irregulares ya que al tener mayor superficie de contacto son capaces de superar cualquier obstáculo desplazándose sin problema en todo tipo de terreno. (CSCAZORLA, 2011)



**Figura 11 Locomoción por Orugas**

Fuente: (León, 2013)

### 1.7.1.3 Locomoción por articulaciones

También llamadas patas facilitan el desplazamiento por cualquier terreno que un animal o ser humano pueda transitar. El principal inconveniente es el control de los grados de libertad que posee además del alto consumo de energía. En general son bastante complejos y la mayoría se encuentra en desarrollo ya que no son muy estables. En este grupo se puede encontrar a los robots bípedos, insectos y con cuatro patas. El movimiento en los robots insectos suele ser por 3 puntos de apoyo a cada momento. Entre los robots bípedos el más avanzado es Asimo de la empresa japonesa Honda. (González V. , 2002)

El proyecto está planeado utilizar orugas por las superficies irregulares sobre las que se debe desplazar, la estructura será muy semejante a la de los tanques de guerra sobre la cual se dispondrá un brazo robótico que sujetará la bobina del detector. Esta bobina se encargará de barrer el suelo en busca de la señal que emite el percutor metálico que posee la mina en reacción al campo electromagnético que genera la bobina dando paso a que se revele la ubicación de la mina.



**Figura 12 Locomoción por articulaciones**

Fuente: (León, 2013)

## CAPITULO II

### 2. SELECCIÓN Y REPONTECIACIÓN DEL DETECTOR DE MINAS

#### 2.1. Detector de minas antipersonales

Durante y después de periodos de guerra las fuerzas armadas y la población civil han unido esfuerzos para liberar campos que fueron utilizados para la siembra de minas antipersonales. Por mucho tiempo para realizar este trabajo las personas se han valido de detectores de metales que los ayuden a encontrar la ubicación aproximada de la mina para con la ayuda de pequeñas palas remover el suelo hasta encontrar la mina y desactivarla.

Considerando que es una labor muy riesgosa por el hecho de no conocer el punto exacto donde se encuentran enterradas las minas distintas empresas fabricantes de detectores de metal han implementado mejoras sustanciales en sus modelos comerciales llegando hacerlos más livianos, más sensibles, con mejor discriminación entre otras características que provean seguridad y confiabilidad para el usuario.

A partir de la firma del Tratado de Ottawa a nivel mundial distintas instituciones científicas y fundaciones han visto un gran potencial en la robótica para con los grandes avances en tecnología poder limpiar de una manera más rápida las distintas zonas minadas. Un ejemplo claro es el grupo de trabajo (*Working Group HUDEM*) formado en el año 2000 por el *International Advanced Robotics Programe* (IARP) en el cual sus miembros se comprometieron en cooperar para desarrollar técnicas y sistemas robóticas para desminar países infestados de minas. Este grupo de trabajo se reúne anualmente para compartir sus avances en prototipos funcionales o simulaciones por computador con lo que el objetivo planteado se encuentra cada vez más cerca.

### **2.1.1. Tecnologías para detección de minas antipersonales**

Entre las principales tecnologías utilizadas para la detección de minas antipersonales se encuentran los detectores de metales y radares de penetración terrestre siendo los primeros mayoritariamente utilizados para esta actividad por ser más antiguos y baratos ya que los radares de penetración terrestre son relativamente más modernos y costosos por todos los elementos que requiere para su funcionamiento.

#### **2.1.1.1. Detector de metales**

Un detector de metales es el equipo electrónico que mediante la transmisión de un campo electromagnético o por una serie de impulsos electromagnéticos desde la bobina (que hace las veces de antena de transmisión y recepción de la señal) es capaz de detectar objetos metálicos. El fundamento científico y tecnológico para la operación de los detectores de metales está firmemente establecido, por lo que su fiabilidad es muy alta. (Technology, 2017)

Dentro de los detectores de metales se indica los siguientes usos; en el área de seguridad se tiene detectores manuales de metales muy usados en centros de entretenimiento nocturno y pórticos detectores de metales como los que se observa en las entradas de los centros comerciales y aeropuertos, en el área de entretenimiento se encuentra a los detectores de tesoros para profundidades en tierra y agua finalmente para el área de la industria se evidencia equipos mucho más grandes tipo túnel para detectar diminutos metales en los procesos de envase de alimentos. (Bardales Díaz, 2017)



**Figura 13. Detectores de metal**

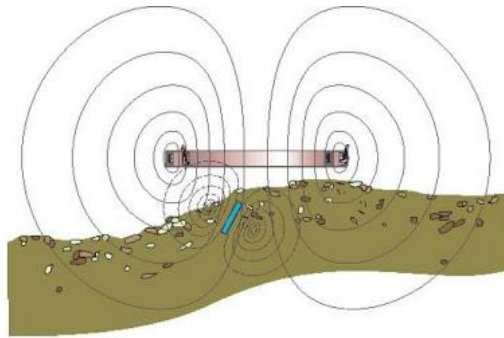
#### **2.1.1.1.1. Principio de funcionamiento detector de metales**

Para comprender el funcionamiento de un detector de metales es necesario recordar conceptos de magnetismo. El magnetismo es un fenómeno físico por el que los materiales ejercen fuerzas de atracción o repulsión sobre otros materiales, en general todos los materiales son influenciados, en mayor o menor medida por la presencia de un campo magnético. (Vigo, 2011)

Como es bien conocido los metales son buenos conductores de la electricidad y poseen un comportamiento magnético distintivo de cada uno, por ello se conocen de tres tipos de magnetismo; ferromagnetismo (y anti

ferromagnetismo), diamagnetismo y paramagnetismo. El ferromagnetismo es el tipo de magnetismo más potente y por el cual los metales son atraídos por un imán, el hierro, cobalto y níquel son unos de los materiales ferromagnéticos además existen minerales como la magnetita, goethita y hematites que también poseen este tipo de magnetismo. El diamagnetismo es la propiedad que consiste en repeler el campo magnético.

El componente esencial de un detector de metales es su bobina por la cual se hace pasar electricidad, generando de esta manera un campo magnético. Este campo magnético atrae a los materiales ferromagnéticos, repele a los materiales anti ferromagnéticos y diamagnéticos y atrae de una manera sutil a los materiales paramagnéticos. En el caso que el detector llegue a notar o detectar dentro de su campo magnético uno de estos materiales, emite una señal lumínica o sonora para advertir al usuario de su presencia. (Deneb, 2007)



**Figura 14. Campos generados por un detector**

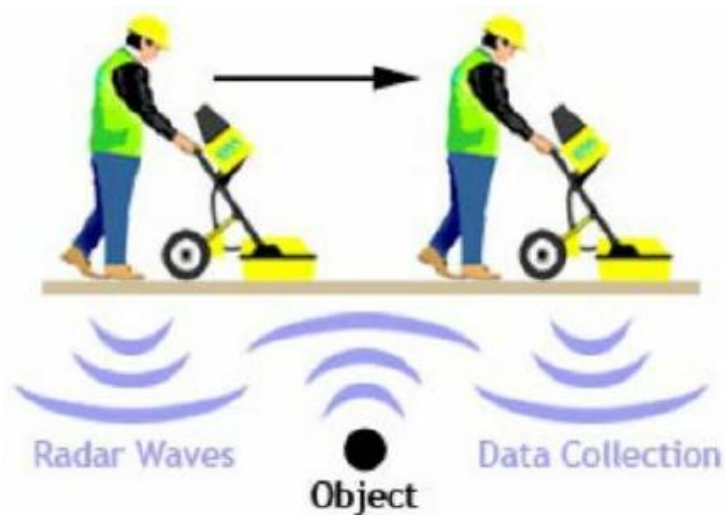
Fuente: (Deneb, 2007)

#### **2.1.1.2. Radar de penetración terrestre**

El radar de penetración terrestre (Ground Penetration Radar, GPR) es un método de prospección geofísico para el estudio no destructivo del subsuelo, se basa en la emisión y propagación de ondas electromagnéticas en un medio, con la posterior recepción de las reflexiones que producen las anomalías encontradas en una profundidad determinada. Estas anomalías son cambios bruscos de los parámetros electromagnéticos del subsuelo, es

decir, la conductividad, la permitividad eléctrica y la permeabilidad magnética. Los registros que se obtienen son similares a los obtenidos cuando se realizan estudios de sísmica de reflexión, con la diferencia de que, en el caso del georadar, se trabaja con frecuencias mucho más altas (entre 20MHz y 2.5GHz) y la emisión de pulsos se puede realizar muy rápidamente. (Moreno, 2017)

Los principales campos de aplicación de esta tecnología se centran en investigación de sitios históricos, potenciales yacimientos arqueológicos, investigación geotécnica anterior a la planificación y construcción, detección de tuberías de agua, gas, cables eléctricos y telefónicos, localización de galerías de alcantarillado, investigación de glaciares, estudios de capas sedimentarias entre otros. (Geónica, 2017)



**Figura 15. Principio de operación del GPR**

Fuente: (GSSI)

## 2.2. 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 en comparación con un radar de penetración terrestre facilitando de esta manera la detección de las minas terrestres. De esta manera se presenta a continuación una tabla en la cual se detalla exactamente los criterios de

selección que intervienen para determinar el modelo de detector de metales que presenta las mejores características.

**Tabla 2.**

**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

**Tabla 3.**

**Matriz de evaluación de conceptos**

Criterios de Selección	Peso	Tesoro Compadre		Fisher F11		Garret Ace 200		Teknetics Alpha 2000		Bounty Hunter Tracker IV	
		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

C: Calificación

Ev. Po: Evaluación Ponderada



Como opción ganadora tenemos al detector de metales Teknetics Alpha 2000, ya que posee un tipo de bobina con mejores prestaciones respecto a los otros detectores además de ser a prueba de agua, en la página oficial de Teknetics menciona que en Europa es el detector más vendido y para su precio es uno de los dispositivos más potentes.

### 2.3. Selección del manipulador para el detector

Para este caso de selección en específico, se parte de manipuladores previamente construidos y establecidos en el mercado, posteriormente se realiza el análisis de todas las características de los manipuladores elegidos para su estudio, a su vez las mismas deberán ser óptimas para poder integrar el sistema de detección de metales, el mismo que deberá acoplarse a nuestro robot de manera adecuada. Los criterios de selección que están presentes en este caso se detallan en las siguientes tablas.

**Tabla 4 .**  
**Matriz de Selección de Conceptos**

Criterios de selección	4DOF MiniArm Robot Manipulator Robot Arm	DIY	4DOF Robot Mechanical Arm Hand Claw Manipulator	4DOF Acrylic Robot Arm Mechanical for Robot Arm Manipulator	4DOF Mechanical Robot Arm Clamp Manipulator DIY
Peso	0		-	+	+
Grados de Libertad	+		+	+	+
Material	-		+	-	+
Torque	+		+	+	+
Capacidad	0		+	-	+
Precio	-		0	0	+
Suma +	2		4	3	6
Suma 0	2		1	1	0
Suma -	2		1	2	0
Evaluación Neta	0		3	1	6
¿Continuar?	No		No	No	Si

Tabla 5.

## Matriz de Evaluación de Conceptos

		4DOF MiniArm Robot Manipulator Robot Arm		DIY 4DOF Mechanical Robot Arm Clamp Manipulator		4DOF Robot Hand Claw Manipulator		4DOF Acrylic Arm for Mechanical Grab Manipulator		4DOF Mechanical Robot Arm Clamp Manipulator DIY	
Criterios de selección	Peso	C	Ev. Po	C	Ev. Po	C	Ev. Po	C	Ev. Po	C	Ev. Po
Peso	20%	4	0,8	2	0,4	4	0,8	5	1		
Grados De Libertad	20%	5	1	5	1	5	1	5	1	5	1
Material	15%	2	0,3	5	0,75	2	0,3	5	0,75		
Torque	20%	5	1	5	1	5	1	5	1		
Capacidad	20%	3	0,6	5	1	2	0,4	5	1		
Precio	5%	1	0,05	3	0,15	3	0,15	5	0,25		
	Total		3,75		4,3		3,65		5		
	Lugar		3		2		4		1		
¿Continuar?			No		No		No		SI		

C: Calificación

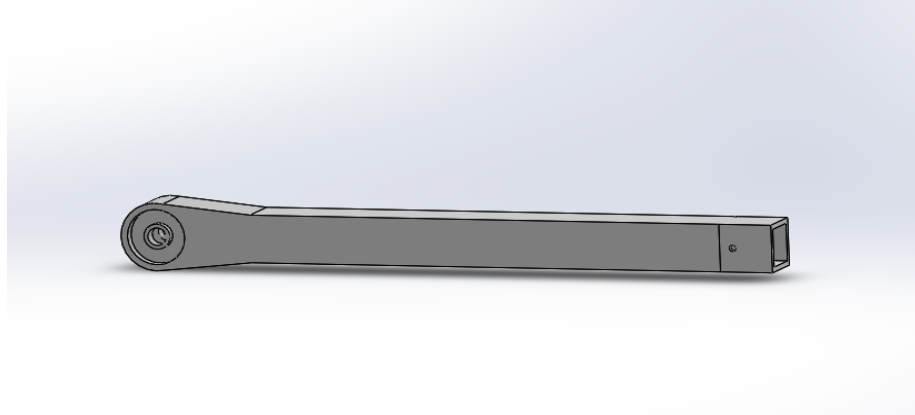
Ev. Po: Evaluación Ponderada

Al analizar tanto la matriz de selección de conceptos, como la de evaluación de conceptos se llega a determinar el manipulador óptimo para el robot busca minas, el mismo que supera o se asemeja a todos los puntos y criterios de análisis para la selección del mismo, motivo por el cual el manipulador ganador es el 4DOF Mechanical Robot Arm Clamp Claw Manipulator DIY, ya que es el más completo y flexible, capaz de ser adaptado a cualquier plataforma de trabajo.

#### 2.4. Diseño del acople del detector

Para el diseño del acople del detector se cuenta con el dispositivo previamente seleccionado mediante las matrices de selección y evaluación de conceptos respectivamente, al contar con este tipo de dispositivo, se procede a diseñar un acople, el mismo 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, para el diseño del acople se opta por un software CAD, en donde se puede observar el diseño completo a continuación.



**Figura 16. Diseño del acople del detector**

Para continuar con el procedimiento respectivo, surge la necesidad de buscar el material para construir el acople, motivo por el cual se ha seleccionado el PLA (Ácido Poli láctico), muy utilizado en impresión 3D y su vez método elegido para la construcción debido a sus características y accesibilidad de uso.

**Características del PLA:**

- Densidad: 1,25 g/cm<sup>3</sup>
- Módulo de elasticidad (Young): 3.5 GPa
- Elongación a la rotura: 6%
- Módulo de flexión: 4 GPa
- Resistencia a la flexión: 80 MPa
- Temperatura de transición vítrea: 60°C
- Temperatura de deflexión del calor (a 455 kPa): 65°C
- Comienzo de fusión: 160°C
- Módulo de corte: 2,4 GPa
- Capacidad calorífica específica: 1800 J/kg – K
- Relación fuerza-peso: 40 kN – m/kg
- Resistencia a la tracción (UTS): 50 MPa

- Conductividad térmica:  $0,13 \text{ W/m} - \text{K}$   
(MakeltFrom, 2016)

Una vez que se han analizados las características se procede con el análisis del material frente a la acción de fuerzas, las mismas que son simuladas de acuerdo a las condiciones a las que se verá expuesto el acople.

A continuación, se presenta un análisis matemático de la teoría de falla.

Área de la sección transversal:  $A = b * h = 19\text{mm} * 250\text{mm}$

$$A = 4750 \text{ mm}^2$$

Fuerza aplicada:  $F = 2.79 \text{ N}$  con  $45^\circ$  de inclinación



**Figura 17. Fuerza aplicada al acople**

Descomposición de la fuerza en sus componentes de  $x$  e  $y$

Componente en  $x$ :

$$F_x = F \text{sen}45$$

$$F_x = 2.79 \text{ [N] sen}45$$

$$F_x = 1.97 \text{ N}$$

Componente en y:

$$F_y = F \cos 45$$

$$F_y = 2.79 [N] \cos 45$$

$$F_y = 1.97 N$$

Momento:

$$M = F_y * d$$

$$M = 1.97 [N] * 216.65 mm$$

$$M = 427.41 N \cdot mm$$

Esfuerzo Total:

$$\sigma = \frac{F}{A} + \frac{M}{S}$$

$$\sigma = \frac{1.97 N}{4750 mm} + \frac{427.4 N \cdot mm}{60 MPa}$$

$$\sigma = 4.15 * 10^{-4} Mpa + 7.12 Mpa$$

$$\sigma = 7.12 Mpa$$

Factor de Seguridad:

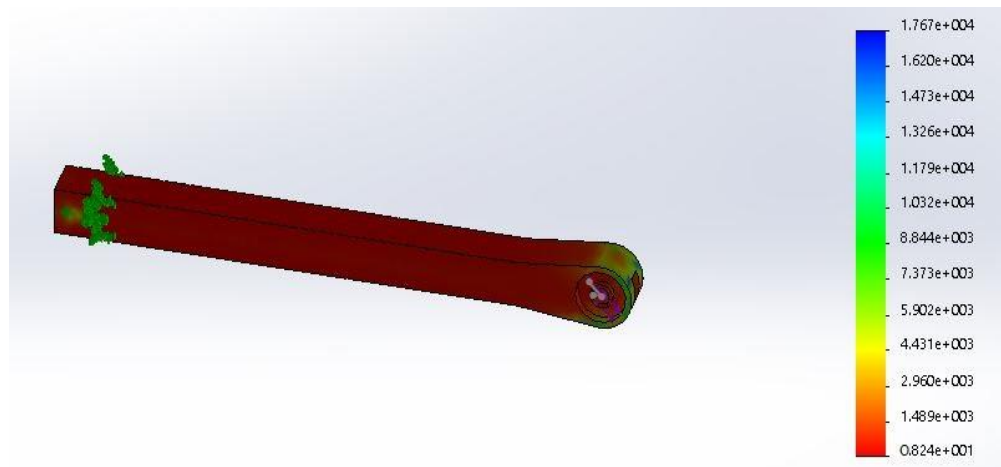
$$N = \frac{S}{\sigma}$$

$$N = \frac{60 Mpa}{7.12 Mpa}$$

$$N = 8.42$$

**Por tanto, el elemento es altamente resistente**

### 2.4.1. Comprobación mediante Software.



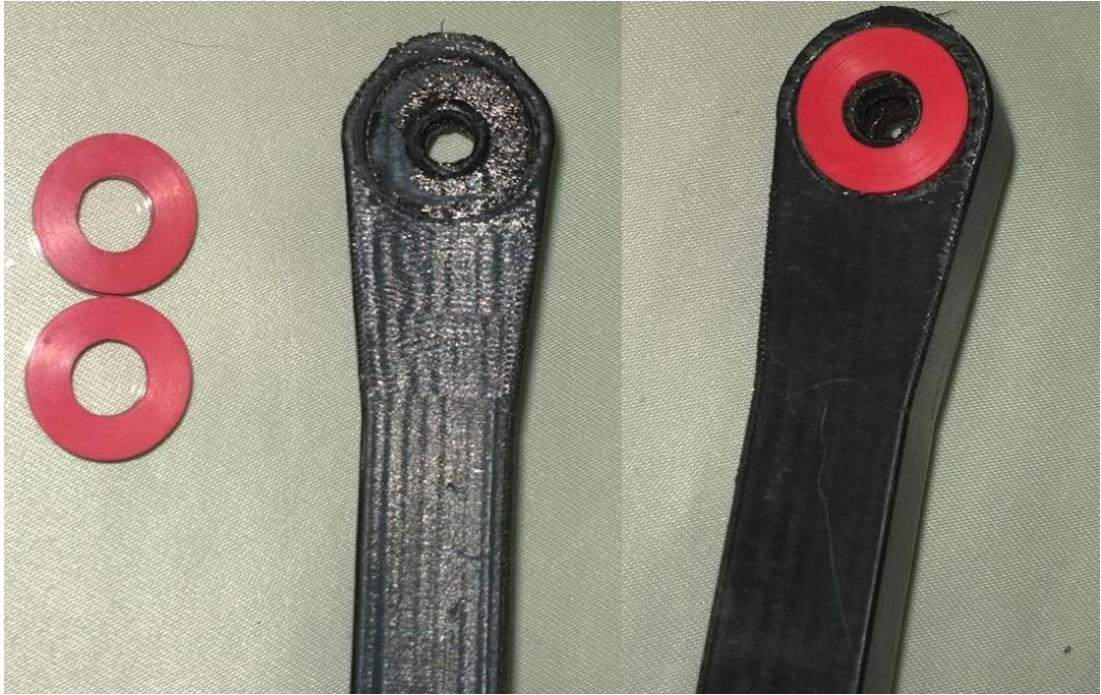
**Figura 18. Análisis del material frente a fuerzas**

El análisis se lo hace mediante Von Mises (Criterio de detección de fallas), en el cual se presentan los resultados de la simulación de carga a la cual estaría sometido el acople, determinando así los puntos críticos en donde la pieza fallará, además del factor de seguridad.

Comparando el análisis matemático y el análisis del software, se comprueba que el factor de seguridad distingue con decimales: software 8.24 y de forma manual 8.42, esto debido a que el software toma todos los datos posibles para el análisis, mientras que, de forma manual, se desprecian algunos decimales, debido a la cantidad de datos.

### 2.5. Implementación del detector

Finalizados estos análisis se procede a la implementación del detector, para lo cual como primer punto se coloca en las ranuras del acople dos sellos circulares para tener una mayor sujeción con la bobina.



**Figura 19. Sellos y acople**

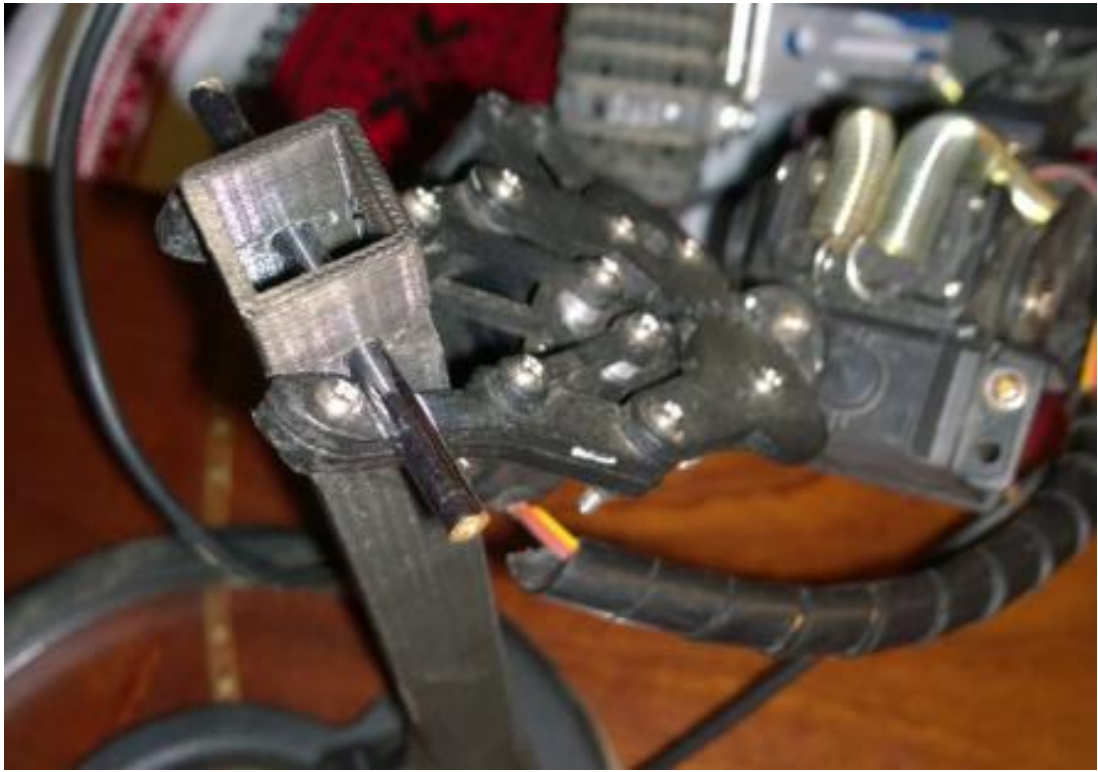
Una vez colocados estos sellos en su lugar se procede a colocar el acople en la ranura de la bobina para su ajuste con un pasador, el mismo que permite la movilidad de la bobina en diferentes ángulos de inclinación.



**Figura 20. Ensamble acople y bobina**

Posteriormente se procede a acoplar con el brazo robótico, el mismo que se encarga de sujetar de la parte superior del acople y mediante un pasador, no permite que el mismo pueda desprenderse del brazo, cabe destacar que la pinza sujetadora ejerce la fuerza necesaria para la adecuada sujeción del

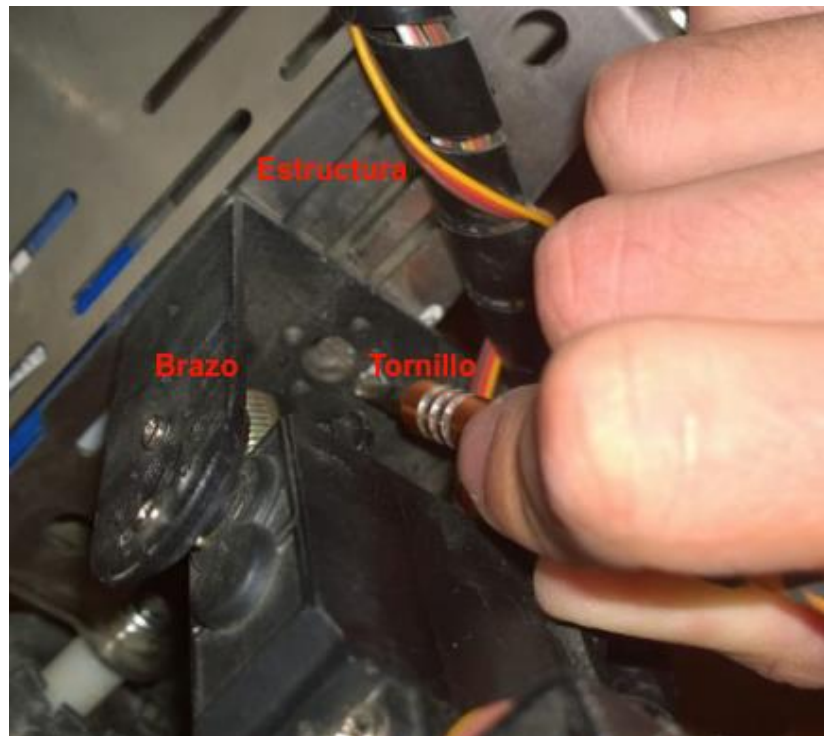
acople y la bobina sin que estos se desprendan pudiendo ocasionar un accidente involuntario.



**Figura 21. Pasador griper-acople**

A continuación, se coloca el brazo robótico en la parte frontal de la estructura metálica del robot, de esta manera se cubre una gran área de búsqueda cuando el brazo se encuentra en movimiento impidiendo que el robot transite sobre alguna mina por su parte lateral.





**Figura 22 Ubicación del Brazo**

Finalmente se colocan resortes de apoyo en cuatro sitios estratégicos para ayudar al brazo robótico en el momento de subir y oscilar el detector, reduciendo de manera significativamente posibles sobre esfuerzos que puedan tener los servomotores.



**Figura 23 Ubicación del resorte en la parte Inferior**



**Figura 24 Ubicación del resorte para soportar el acople y bobina**

## 2.6. Selección de la tecnología de control para el robot

Referente a la tecnología que se procederá a utilizar en el robot, es necesario analizar las distintas variantes existentes en el mercado, debido a que actualmente se presentan un sinnúmero de tarjetas controladores para robots, se ha decidido optar por tecnología confiable y a su vez por su posicionamiento en el mercado, por lo tanto, los modelos seleccionados pasan a revisión para su posterior selección, presentando las características de funcionamiento en la siguiente tabla.

**Tabla 6.**

### Matriz de selección de conceptos

Criterios de selección	Arduino Uno	Raspberry pi	BeagleBone
Digital GPIO	+	0	+
Entradas analógicas	+	-	+
PWM	+	-	+

Continúa



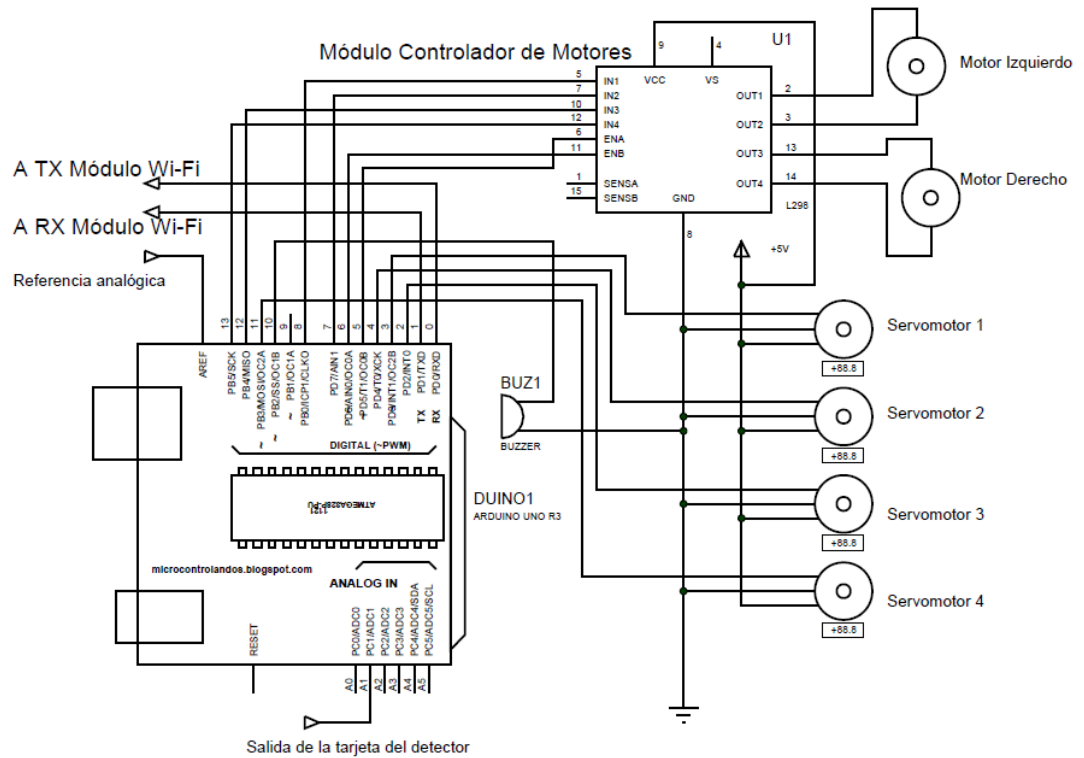
Memoria EEPROM	+	-	-
Interconexión	+	0	0
Precio	+	0	-
Suma +	6	0	3
Suma 0	0	3	1
Suma -	0	3	2
Evaluación Neta	6	-3	1
¿Continuar?	Si	No	No

**Tabla 7.**  
**Matriz de Evaluación de Conceptos**

Criterios de selección	de	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

C: Calificación  
Ev. Po: Evaluación Ponderada

Mediante los criterios de selección presentes en las tablas 6 y 7 y gracias a las ponderaciones adecuadas para cada uno de ellos, se da como ganadora la tarjeta controladora arduino uno, esto debido a que presenta mayor versatilidad al momento de trabajar, gracias a su memoria EEPROM de 1Kb, siendo de vital importancia para realizar un prototipado rápido, además de presentar una amplia gama de interconectividad gracias a sus módulos y accesible costo que presenta en diferencia a las otras tarjetas controladoras.



**Figura 25. Diagrama de conexión.**

En la figura 25 se observa el diagrama correspondiente a la conexión de los componentes electrónicos, cabe recalcar que la alimentación del arduino se realiza a través de una batería LiPo la cual está conectada por medio de un switch hacia la tarjeta Arduino UNO.

## CAPITULO III

### 3. DISEÑO DEL ROBOT MÓVIL

#### 3.1. Robot móvil

Los robots móviles son dispositivos de transporte automático, por lo general están constituidos por una plataforma mecánica que está dotada de un sistema de locomoción capaz de navegar a través de un determinado ambiente de trabajo, dotado de cierto nivel de autonomía para su desplazamiento portando cargas, sus aplicaciones pueden ser muy variadas y siempre están relacionadas con tareas que normalmente son riesgosas o nocivas para la salud humana, ya sea en el campo de la agricultura, transporte o exploraciones solitarias o colectivas, junto con otros vehículos. (González & Aníbal, 1996)

#### 3.2. Selección del tipo de locomoción para el robot

Para proceder con la selección del sistema de locomoción adecuado para el robot buscaminas y en base a la dificultad que tendrá el mismo, debido a que las minas antipersonales se encuentran en terrenos de difícil acceso, la mejor decisión es optar por una tracción integral todo terreno, la misma que viene dada en nivel óptimo por la locomoción mediante orugas ya que se posee más agarre y fuerza al momento de circular por terrenos irregulares. Por tanto, el sistema de locomoción por orugas se basa en estructuras previamente construidas, las mismas que son adaptables a cualquier medio, motivo por el cual se procede a elegir un grupo de estructuras posibles para el robot buscaminas y seleccionar la adecuada e ideal para el caso de estudio. A continuación, se presenta una tabla detallada con todos los criterios y características para poder determinar la mejor estructura.

**Tabla 8.****Matriz de selección de Conceptos**

Criterios de selección	Intelligence RC Tank Mount Suspension System Aluminum		T'Rex Tank Chassis		Intelligence RC Tank Mount 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	

**Tabla 9.****Matriz de evaluación de conceptos**

Criterios de selección	de	Peso	Intelligence RC Tank Mount Suspension System Aluminum		T'Rex Tank Chassis		Intelligence RC Tank Mount 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

Continúa



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

C: Calificación

Ev. Po: Evaluación Ponderada

Una vez analizadas todas las características principales, que son favorables para el robot buscaminas, se presentan condiciones óptimas de trabajo frente a cualquier circunstancia, siendo así la mejor opción la estructura **Crawler RC Robot Tank** la cual proveerá al robot de estabilidad y funcionalidad en el campo de acción, además de ser una tecnología comprobada y eficiente, facilitando costos de diseño y construcción.

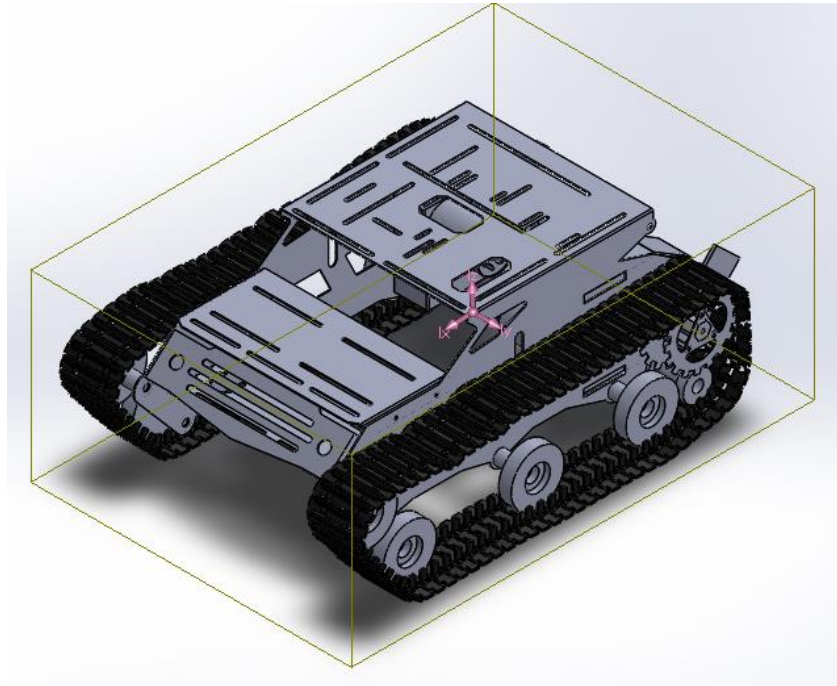
### 3.3. Diseño del robot

Tomando como base la estructura ganadora se procede al ensamblaje de la misma y a continuación se analiza la ubicación más idónea de cada componente tanto electrónico como mecánico que forman parte del robot móvil.

En primer lugar, se toma en cuenta el brazo mecánico en el cual se encuentra ubicado el detector de metales, el mismo que debe estar en posición paralela al terreno en estudio y además oscilar para generar un mayor rango de detección razón por la cual debe encontrarse ubicado en la posición frontal del robot manteniendo un margen de seguridad para evitar inestabilidad durante su funcionamiento, para lo cual se ha tomado como base el estudio de momentos de inercia y ubicar correctamente los componentes sin afectar la inestabilidad del robot, modelando la estructura para su respectivo análisis.

Una vez modelada la estructura en un software CAD se obtiene fácilmente el centro de masa y momentos de inercia de la misma con el fin de comprobar la estabilidad de la misma. En la figura se observa que el

centro de masa se encuentra en la parte central interior de la estructura lo cual garantiza su estabilidad.



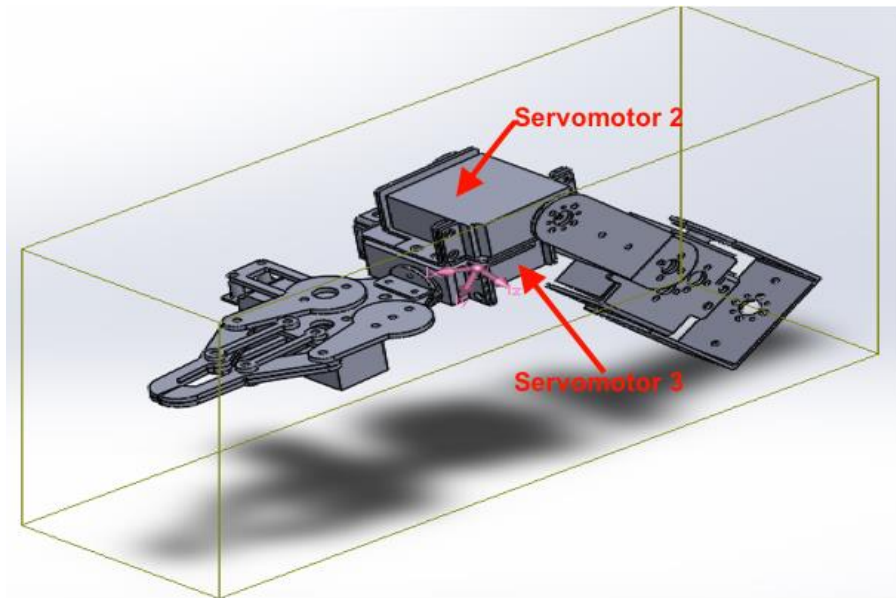
**Figura 26. Modelado de la estructura**

Propiedades de masa de estructura		
Configuración: Predeterminado		
Sistema de coordenadas: -- predeterminado --		
Masa (reemplazada por el usuario) = 1850.00 gramos		
Volumen = 516274.14 milímetros cúbicos		
Área de superficie = 443013.88 milímetros cuadrados		
Centro de masa: ( milímetros )		
X = 43.07		
Y = 230.36		
Z = -11.58		
Ejes principales de inercia y momentos principales de inercia: ( gramos * milímetros cuadrados )		
Medido desde el centro de masa.		
Ix = ( 0.00, -0.05, 1.00)	Px = 9831984.46	
Iy = ( 1.00, 0.00, 0.00)	Py = 12698568.14	
Iz = ( 0.00, 1.00, 0.05)	Pz = 19900719.83	
Momentos de inercia: ( gramos * milímetros cuadrados )		
Obtenidos en el centro de masa y alineados con el sistema de coordenadas de resultados.		
Lxx = 12698670.42	Lxy = -28141.61	Lxz = 2761.53
Lyx = -28141.61	Lyy = 19872934.25	Lyz = -527165.67
Lzx = 2761.53	Lzy = -527165.67	Lzz = 9859667.76
Momentos de inercia: ( gramos * milímetros cuadrados )		
Medido desde el sistema de coordenadas de salida.		
Ixx = 111121695.38	Ixy = 18327183.71	Ixz = -919885.79
Iyx = 18327183.71	Iyy = 23552800.55	Iyz = -5462020.87
Izx = -919885.79	Izy = -5462020.87	Izz = 111466448.94

**Figura 27. Centros de masa y momentos de inercia de la estructura**



De la misma manera se modela el brazo que sujetara el acople del detector para identificar su centro de masa, el cual está ubicado en la parte superior entre la unión de los servomotores 2 y 3.

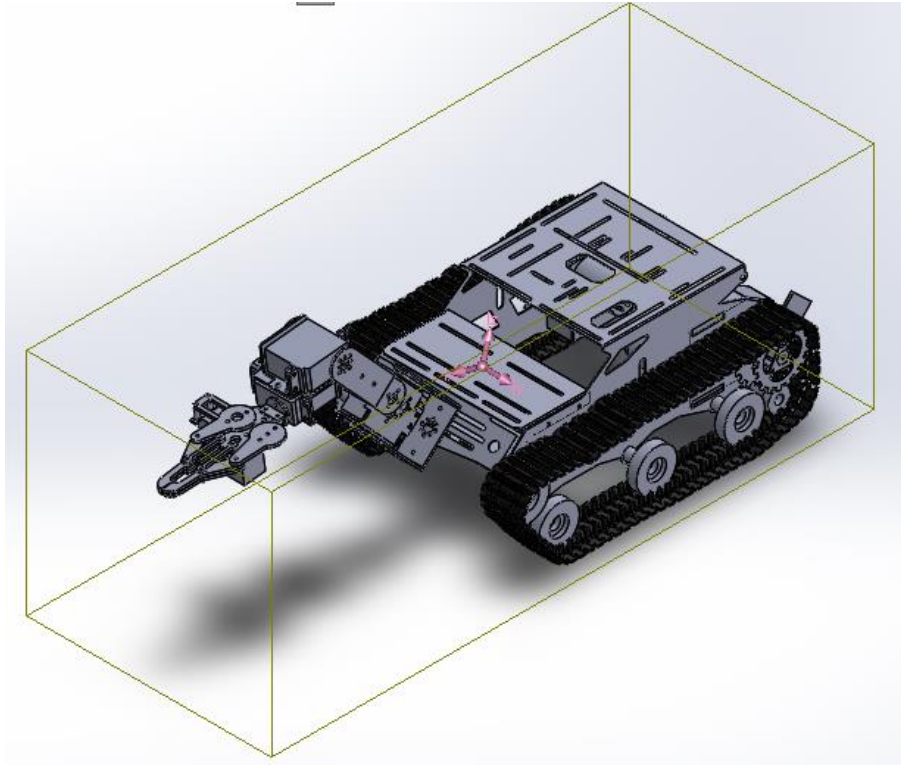


**Figura 28. Modelado del brazo**

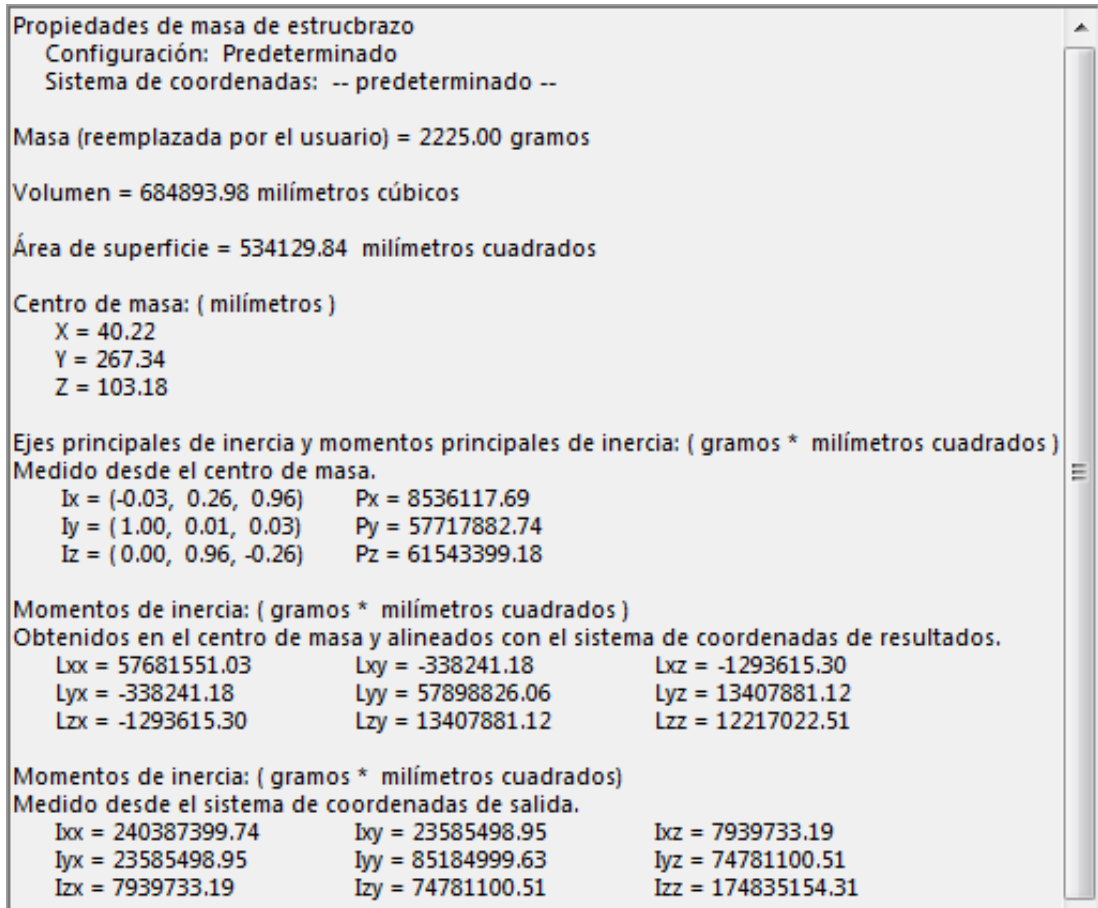
Propiedades de masa de brazo		
Configuración: Predeterminado		
Sistema de coordenadas: -- predeterminado --		
Masa (reemplazada por el usuario) = 375.00 gramos		
Volumen = 168619.84 milímetros cúbicos		
Área de superficie = 91115.96 milímetros cuadrados		
Centro de masa: ( milímetros )		
X = 35.40		
Y = 319.52		
Z = 265.16		
Ejes principales de inercia y momentos principales de inercia: ( gramos * milímetros cuadrados )		
Medido desde el centro de masa.		
Ix = (-0.11, 0.25, 0.96)	Px = 327931.87	
Iy = (-0.16, -0.96, 0.23)	Py = 1070023.74	
Iz = (0.98, -0.13, 0.15)	Pz = 1272973.02	
Momentos de inercia: ( gramos * milímetros cuadrados )		
Obtenidos en el centro de masa y alineados con el sistema de coordenadas de resultados.		
Lxx = 1255800.57	Lxy = 5095.47	Lxz = -109043.89
Lyx = 5095.47	Lyy = 1025979.60	Lyz = 184406.64
Lzx = -109043.89	Lzy = 184406.64	Lzz = 389148.45
Momentos de inercia: ( gramos * milímetros cuadrados )		
Medido desde el sistema de coordenadas de salida.		
Ixx = 65907375.55	Ixy = 4246373.59	Ixz = 3410584.27
Iyx = 4246373.59	Iyy = 27861500.67	Iyz = 31955991.56
Izx = 3410584.27	Izy = 31955991.56	Izz = 39144892.47

**Figura 29. Centros de masa y momentos de inercia del brazo**

Posterior al ensamble de estos dos componentes se verifica nuevamente el centro de masa del robot para comprobar que su centro de masa no se desplace demasiado y por ende no termine afectando a la estabilidad del mismo.

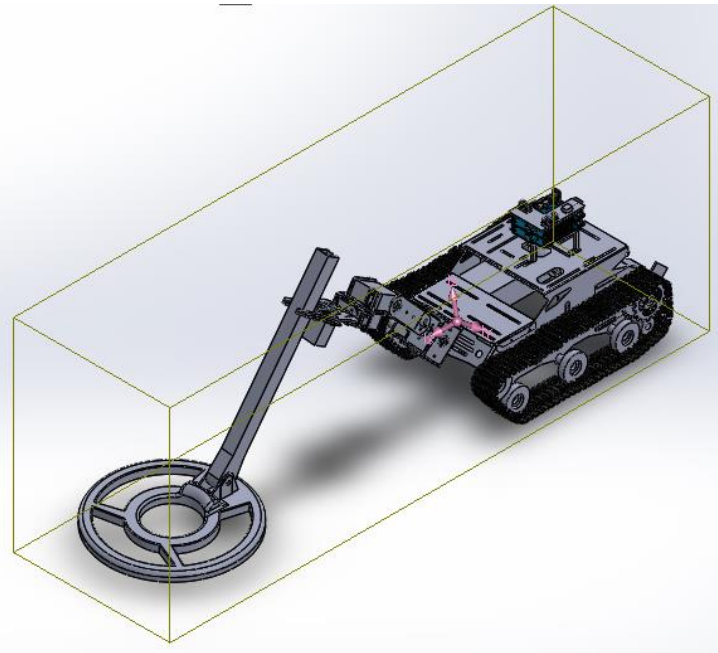


**Figura 30. Modelado de la estructura y brazo**



**Figura 31. Centros de masa y momentos de inercia de la estructura y brazo acoplados**

Por último, se ubica el acople y la bobina del detector con lo que se observa un cambio en el centro de masa de nuestro robot, pero sin afectar a su estabilidad, este desplazamiento es hacia la parte frontal de la estructura, muy cerca de la unión entre la misma y la base del brazo.



**Figura 32. Modelado de la estructura completa**

Propiedades de masa de completo		
Configuración: Predeterminado		
Sistema de coordenadas: -- predeterminado --		
Masa (reemplazada por el usuario) = 3355.00 gramos		
Volumen = 1998406.52 milímetros cúbicos		
Área de superficie = 1206304.51 milímetros cuadrados		
Centro de masa: ( milímetros )		
X = 28.58		
Y = 247.19		
Z = 115.12		
Ejes principales de inercia y momentos principales de inercia: ( gramos * milímetros cuadrados )		
Medido desde el centro de masa.		
Ix = ( 0.00, 0.01, 1.00)	Px = 15701213.85	
Iy = ( 0.98, 0.21, 0.00)	Py = 136403224.92	
Iz = (-0.21, 0.98, -0.01)	Pz = 138515424.93	
Momentos de inercia: ( gramos * milímetros cuadrados )		
Obtenidos en el centro de masa y alineados con el sistema de coordenadas de resultados.		
Lxx = 136499526.65	Lxy = 440428.33	Lxz = -307425.51
Lyx = 440428.33	Lyy = 138413866.67	Lyz = 742084.92
Lzx = -307425.51	Lzy = 742084.92	Lzz = 15706470.38
Momentos de inercia: ( gramos * milímetros cuadrados)		
Medido desde el sistema de coordenadas de salida.		
Ixx = 385965079.01	Ixy = 24143575.58	Ixz = 10731718.97
Iyx = 24143575.58	Iyy = 185619158.04	Iyz = 96216109.28
Izx = 10731718.97	Izy = 96216109.28	Izz = 223448064.51

**Figura 33. Centro de masa y momentos de inercia de la estructura completa**

De manera comprobatoria se procede a calcular la estabilidad lateral y longitudinal del robot con las siguientes fórmulas para el cálculo de estabilidad de un vehículo, en otras palabras, el cálculo de la pendiente máxima para que no vuelque el robot móvil.

### Estabilidad lateral

$$\alpha_{lt} = \tan^{-1} \frac{d}{2 * hcg}$$

$$d = 151 \text{ mm}$$

$$hb = 123 \text{ mm}$$

$$h = 230 \text{ mm}$$

$$Tara = 1,85 \text{ Kg}$$

$$Qútil = 3,15 \text{ Kg}$$

$$MMA = 5 \text{ Kg}$$

$$hcg = \frac{hb * Tara + hcu * Qútil}{MMA}$$

$$hcu = hb + \frac{h - hb}{2}$$

$$hcu = 123 \text{ mm} + \frac{230 \text{ mm} - 123 \text{ mm}}{2}$$

$$hcu = 176,5 \text{ mm}$$

$$hcg = \frac{123 \text{ mm} * 1,85 \text{ Kg} + 176,5 \text{ mm} * 3,15 \text{ Kg}}{5 \text{ Kg}}$$

$$hcg = 156,705 \text{ mm}$$

$$\alpha_{lt} = \tan^{-1} \frac{151 \text{ mm}}{2 * 156,705 \text{ mm}}$$

$$\alpha_{lt} = 25,72^\circ$$

### Estabilidad longitudinal

$$\alpha_l = \tan^{-1} \frac{s}{hcg}$$

$$s = 200 \text{ mm}$$

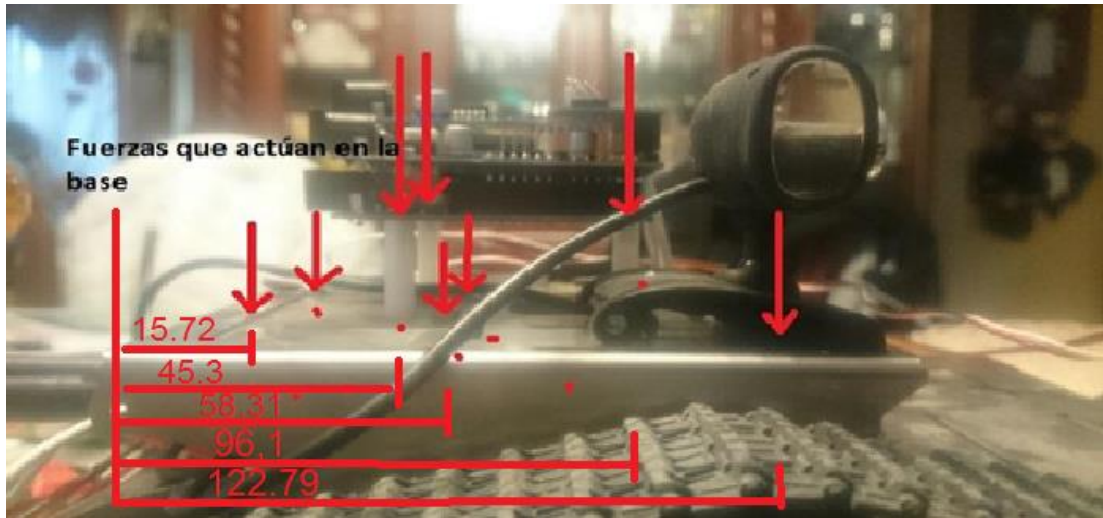
$$\alpha_l = \tan^{-1} \frac{200 \text{ mm}}{156,705 \text{ mm}}$$

$$\alpha_l = 51,92^\circ$$

Concluidos los cálculos se puede confirmar las pendientes máximas a las que puede transitar el robot sin correr riesgo a volcamiento, siendo los valores para una pendiente lateral de 25,72 grados mientras que para una pendiente longitudinal es de 51,92 grados.

Como segundo punto se determina el lugar de ubicación para los motores y baterías, tomando en cuenta el análisis anterior y en razón de equilibrar pesos para mantener la estabilidad del robot se ha seleccionado la parte trasera como la ubicación óptima para estos componentes, además de poseer un rápido acceso para tareas de mantenimiento y remoción de baterías para proceder con su recarga, por lo tanto, mediante un software CAD, se procede con la simulación de todas las fuerzas presentes.

Mediante un análisis matemático se puede corroborar lo descrito antes mediante software.



**Figura 34. Fuerzas aplicadas en la base**

Área de la sección transversal:  $A = b * h = 0.8mm * 134.8mm$

$$A = 107.84 \text{ mm}^2$$

Fuerzas aplicadas:

$$F_1 = F_3 = 7.22 \text{ N}$$

$$F_2 = F_4 = 9.55 \text{ N}$$

$$F_5 = 12.13 \text{ N}$$

Momentos:

$$M_1 = F_1 * d$$

$$M_1 = 7.22 \text{ [N]} * 15.72\text{mm}$$

$$M_1 = 113.5 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$M_2 = F_2 * d$$

$$M_2 = 9.55 \text{ [N]} * 45.3\text{mm}$$

$$M_2 = 432.62 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$M_3 = F_3 * d$$

$$M_3 = 7.22 [N] * 58.31mm$$

$$M_3 = 421 N \cdot mm$$

$$M_4 = F_4 * d$$

$$M_4 = 9.55 [N] * 96.1mm$$

$$M_4 = 917.76 N \cdot mm$$

$$M_5 = F_5 * d$$

$$M_5 = 12.13 [N] * 122.79mm$$

$$M_5 = 1489.44 N \cdot mm$$

Esfuerzo Total:

$$\sigma = \frac{F}{A} + \frac{M}{S}$$

$$\sigma = \frac{45.67 N}{107.84mm} + \frac{3374.32N \cdot mm}{170 MPa}$$

$$\sigma = 0.42Mpa + 19.85Mpa$$

$$\sigma = 20.27 Mpa$$

Factor de Seguridad:

$$N = \frac{S}{\sigma}$$

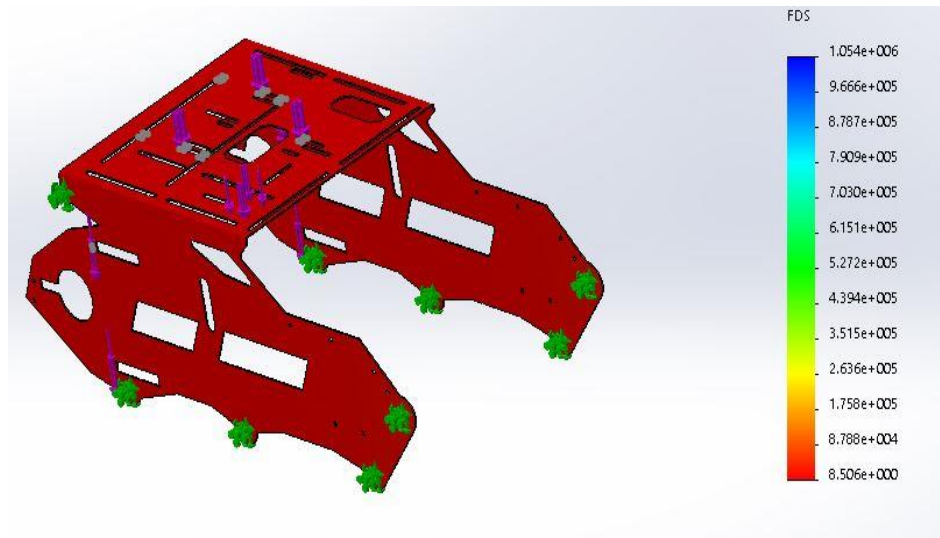
$$N = \frac{170 Mpa}{20.27 Mpa}$$

$$N = 8.39$$

**Por tanto, el elemento es altamente resistente**



### 3.3.1. Comprobación mediante Software.



**Figura 35. Análisis de las fuerzas que soporta la estructura**

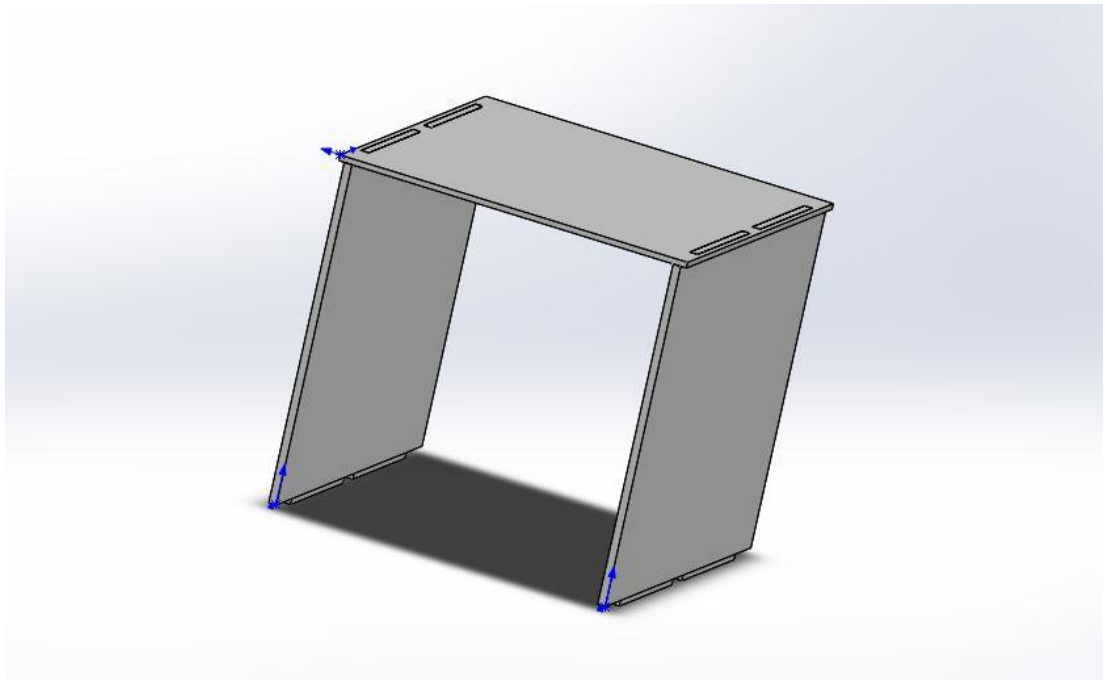
Al igual que el análisis realizado para el acople del detector de metales, en la estructura también se procede a realizar el análisis mediante la teoría de fallas de Von Mises, presentando la simulación de las fuerzas aplicadas, además de las zonas en dónde la estructura podría fallar.

En consecuencia, la comparativa de los análisis, tanto computacional como análisis matemático manual, muestran diferencias en decimales, esto debido a la capacidad del software para realizar cálculos con todos los decimales posibles, mientras que manualmente, se desprecian algunos valores, siendo el resultado final: 8.506 del software, mientras que el análisis matemático arrojó un valor de 8.39, motivo por el cual el resultado es totalmente aceptable y fidedigno.

En tercer punto se tiene el sistema de control el cual está basado en tarjetas Arduino para el control de todos los movimientos tanto del brazo como de la estructura además del envío y recepción de información de forma remota en el cual se incluye una cámara de video para mejorar la maniobrabilidad del robot. Estas tarjetas tendrán una ubicación central superior para el control del brazo y de la estructura, para el envío y

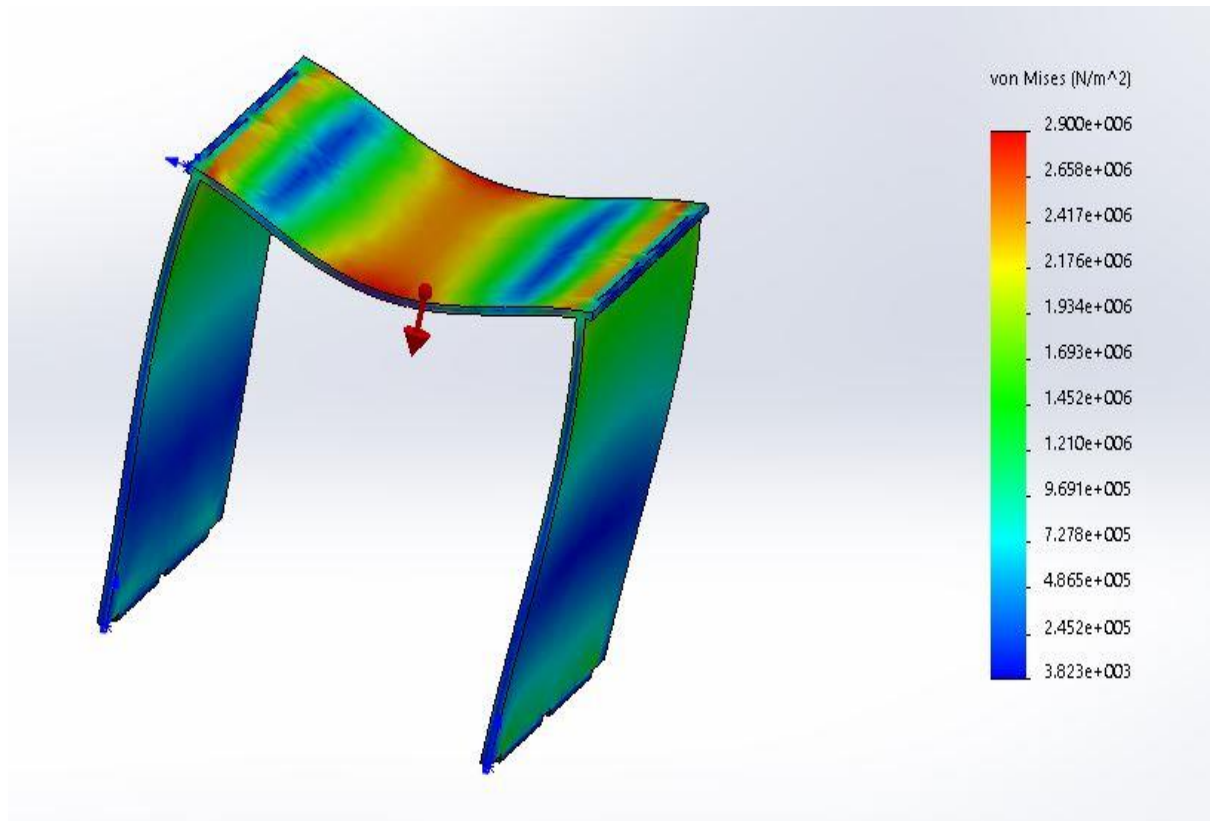
recepción de datos tendrá su ubicación en la parte central inferior para que las antenas no queden muy expuestas reduciendo así el tamaño final del robot mientras que la cámara se ubicara en la parte media del robot consiguiendo de esta manera un mayor rango de visión.

Como cuarto punto se procede al diseño de una carcasa protectora mediante un software CAD para las tarjetas controladoras, la misma que debe ser robusta y liviana para no incrementar en gran medida el peso final del robot.



**Figura 36 Diseño de la Tapa**

Así mismo al igual que los elementos anteriores se procede a realizar un análisis de las fuerzas aplicadas, pero en este caso la única fuerza que actúa sobre el elemento, solo es la fuerza de gravedad, motivo por el cual el análisis se lo realiza únicamente mediante software, debido a que todo material es resistente a la fuerza de gravedad.

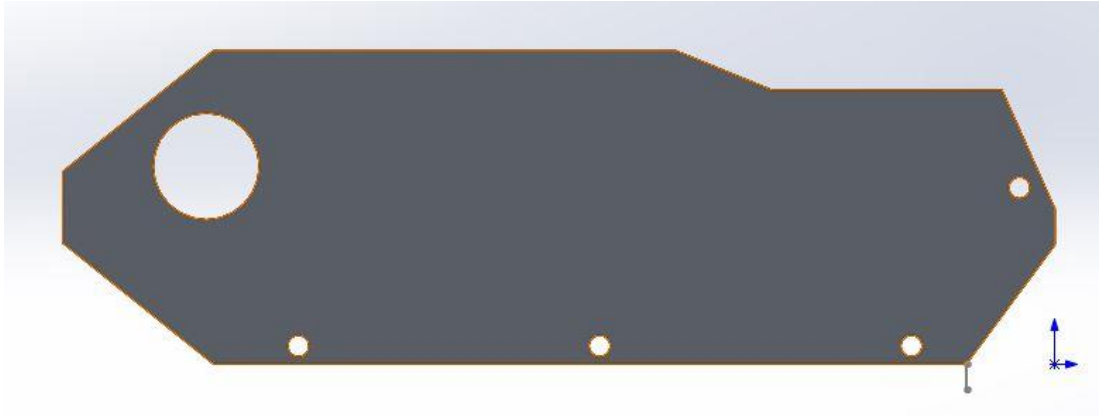


**Figura 37 Análisis de la tapa del robot**

Finalmente se realiza el cambio de distribución de orugas, el mismo que pasa de una distribución triangular a una distribución trapezoidal, como lo mencionado a continuación:

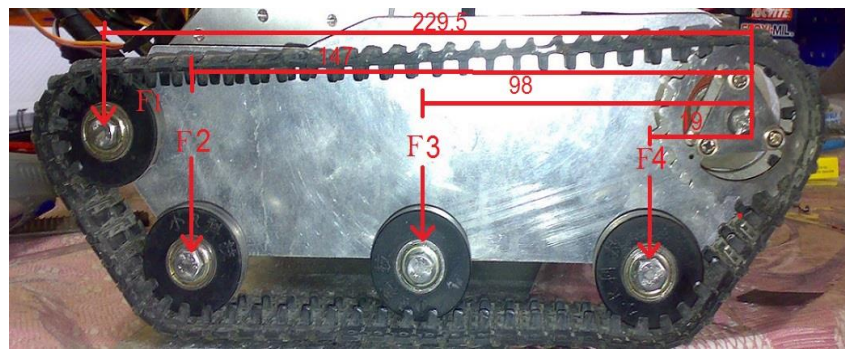
Las Orugas Trapezoidales permiten mantener una buena visibilidad de trabajo, gracias a su rodamiento delantero de menor diámetro, al tiempo que distribuyen muy bien el peso en el apoyo de la banda de rodamiento, mejorando la tracción y reduciendo los efectos de compactación de suelo y son altamente funcionales en suelos barrosos. (Bustinza Goma, 2015)

Motivo por el cual se mejora la movilidad del robot e impide el deslizamiento al momento de surcar por superficies irregulares, adecuándose de manera casi perfecta a la necesidad del desarrollo del proyecto.



**Figura 38. Diseño de la nueva placa**

Para comprobar su correcto funcionamiento, se procede a realizar un análisis matemático de todas las fuerzas que intervienen en la placa para determinar su esfuerzo y si es aplicable al robot móvil.



**Figura 39. Fuerzas aplicadas**

Área de la sección transversal:  $A = b * h = 0.3mm * 229.50mm$

$$A = 688.5 \text{ mm}^2$$

Fuerzas aplicadas:

$$F_1 = F_3 = 2.64 \text{ N}$$

$$F_2 = F_4 = 2.64 \text{ N}$$

Momentos:

$$M_1 = F_1 * d$$

$$M_1 = 2.64 [N] * 229.50mm$$

$$M_1 = 605.88 Nmm$$

$$M_2 = F_2 * d$$

$$M_2 = 2.64 [N] * 147mm$$

$$M_2 = 388.08 N \cdot mm$$

$$M_3 = F_3 * d$$

$$M_3 = 2.64 [N] * 98mm$$

$$M_3 = 258.72 N \cdot mm$$

$$M_4 = F_4 * d$$

$$M_4 = 2.64 [N] * 19mm$$

$$M_4 = 50.06 N \cdot mm$$

Esfuerzo Total:

$$\sigma = \frac{F}{A} + \frac{M}{S}$$

$$\sigma = \frac{13.23 N}{688.5mm} + \frac{1302.74N \cdot mm}{150 MPa}$$

$$\sigma = 0.02Mpa + 8.54Mpa$$

$$\sigma = 8.56 Mpa$$

Factor de Seguridad:

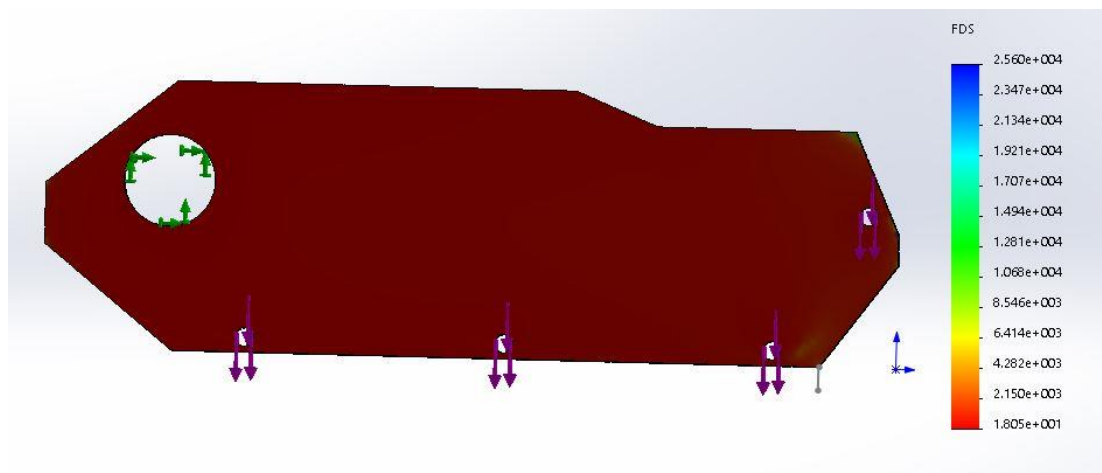
$$N = \frac{S}{\sigma}$$

$$N = \frac{150 \text{ Mpa}}{8.56 \text{ Mpa}}$$

$$N = 17.52$$

**Por tanto, el elemento es altamente resistente**

### 3.3.2. Comprobación mediante Software.



**Figura 40. Análisis de la placa mediante software**

Como todo lo realizado en los componentes anteriores, se procede a realizar un análisis de las fuerzas mediante un software CAD, en donde se aplica nuevamente la teoría de Von Mises, además de mostrar los lugares de posibles fallos del material.

Consecuente a lo realizado anteriormente, se comprueba que, mediante los análisis efectuados, tanto matemáticamente como en software, se obtienen resultados similares, siendo éstos de 17.52 en el análisis manual y de 18 mediante software, presentándose un error de 0.48, debido a que mediante un análisis manual, se pierden datos o decimales que influyen en el resultado final, pero a su vez se comprueba que el elemento es altamente resistente a todos los esfuerzos a los que va a estar sometido.



**Figura 41 Cambio de la distribución de las orugas**

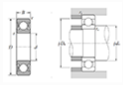
Los complementos para un correcto funcionamiento de la placa se proceden a comprar previa una selección en catálogos de rodamientos y resortes disponibles en el mercado ecuatoriano. En cuanto a rodamientos se escogió la marca NTN por ser una de las más accesibles y por contar con una página para su selección muy intuitiva, en lo que respecta al resorte se observó en el catálogo de Lee Spring el resorte más adecuado para el proyecto.

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†									I	30.20	1.189	1.280	7.31	58.10	2.287	L	M
LEM120EB 02†									I	37.40	1.472	0.800	4.57	82.10	3.232	L	M
LEM120EB 03†	13.00	.512	1.20	.047	42.20	9.49	6.56	1.47	I	48.20	1.898	0.510	2.91	118.00	4.646	L	M
LEM120EB 04†									I	66.20	2.606	0.320	1.83	178.20	7.016	M	P
LEM120EB 05†									I	90.20	3.551	0.210	1.20	258.20	10.165	P	R

**Figura 42. Resortes**

Fuente: (Spring)

De acuerdo a la separación entre la estructura y la placa, que es de 16mm se optó por escoger un resorte con un diámetro de 13mm, entre las opciones dentro del catálogo (ver figura 41), la primera con diámetro de 13mm es la que más se acerca a las necesidades del proyecto debido a la longitud sin carga y longitud máxima del mismo, por lo que se procede a su adquisición.

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

**Figura 43. Especificaciones técnicas rodamiento**

Fuente: (NTN, 2017)

<b>Static Load Rating</b>	535 lbf 2390 N 2.39 kN
<b>Dynamic Load Rating</b>	1150 lbf 5100 N 5.10 kN

**Figura 44. Cargas del rodamiento**

Fuente: (NTN, 2017)

Para la selección del rodamiento se priorizó el diámetro interior el cual corresponde al eje del motor del robot siendo este de 12mm, motivo por el cual se procede a buscar las mejores opciones disponibles en el catálogo de NTN correspondiente a este diámetro, y se optó por escoger el que tiene mayor protección en lo que respecta al sello de los rulimanos debido a los

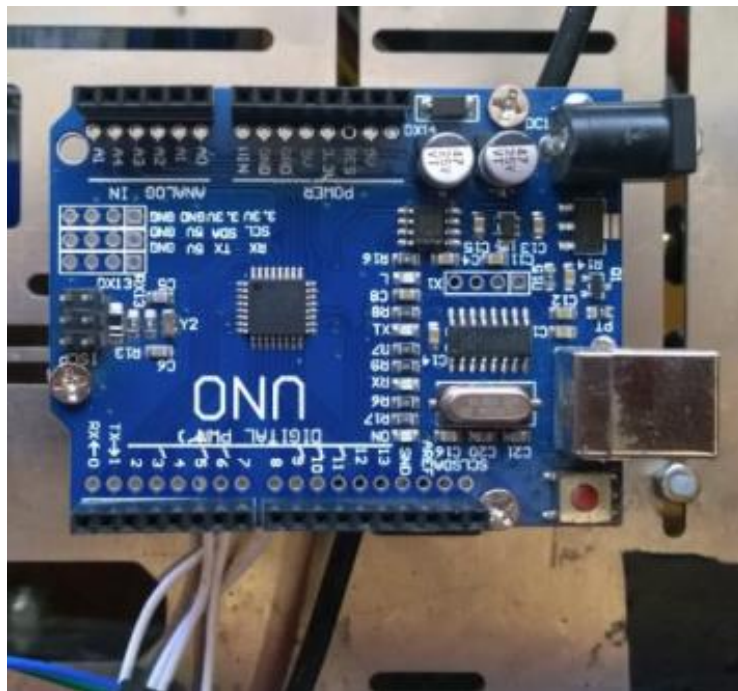


sitios por donde debe transitar el robot, asegurando de esta manera un correcto funcionamiento de los rodamientos y por ende de todo el sistema de locomoción.

### 3.4. Implementación del robot

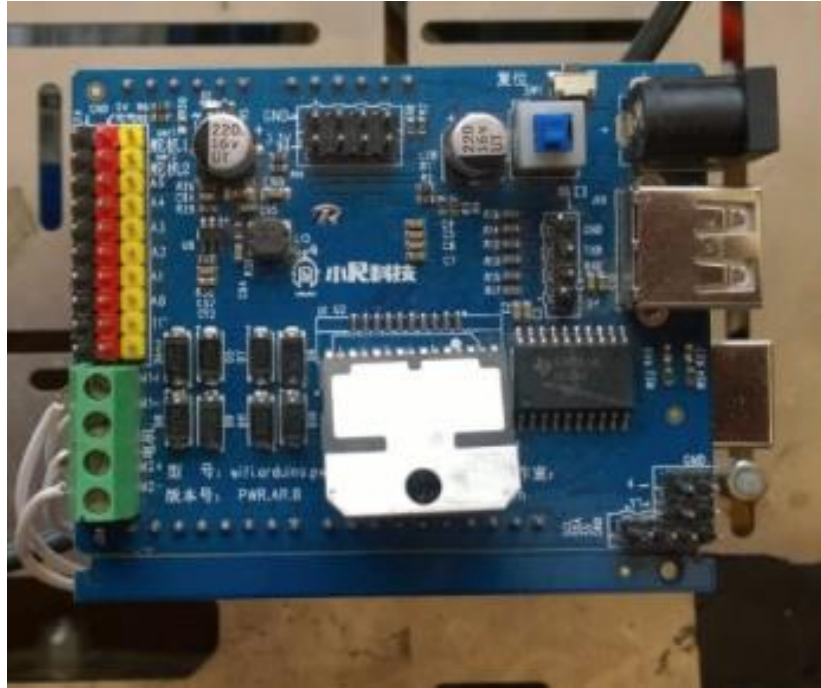
Finalizado el punto anterior se da inicio a la implementación de todos los componentes en sus respectivas ubicaciones previamente descritas.

En primer lugar, se precede con la colocación de la tarjeta de control en la ubicación exacta del mismo y pre descrita en el software.

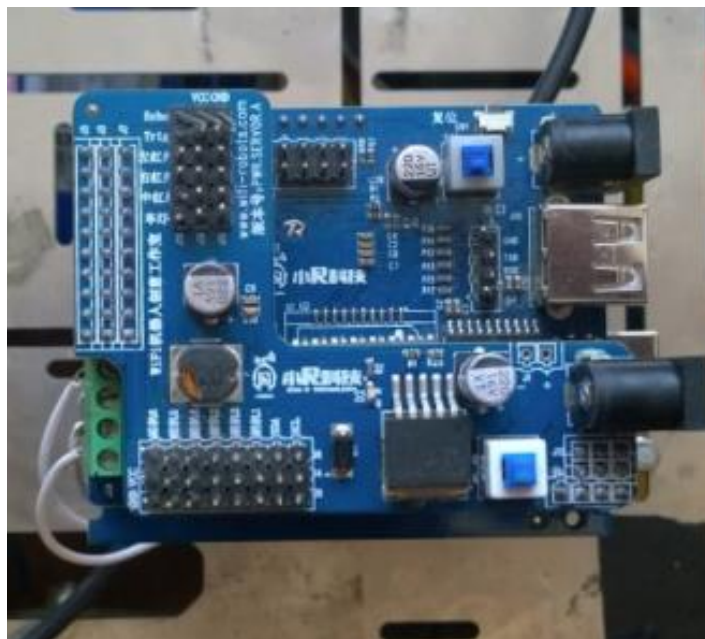


**Figura 45 Ubicación de la Tarjeta Arduino**

Posteriormente se procede a colocar cada uno de los shield's de comunicación, tanto para motores, como para los servomotores.



**Figura 46 Shield de comunicación con los motores**



**Figura 47 Shield de comunicación para los servomotores**

Con siguiente paso se procede a colocar el módulo wifi en la parte inferior de la estructura, así como también las respectivas antenas.



**Figura 48 Ubicación del módulo WiFi**

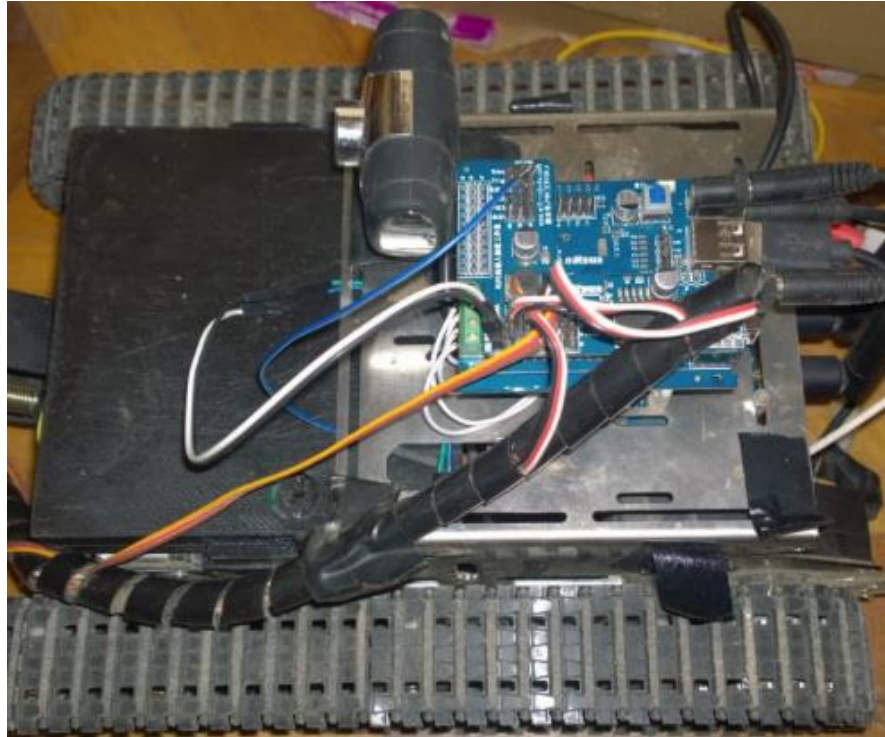
De igual forma se continúa con la colocación de la cámara, en la ubicación adecuada, para obtener una correcta visibilidad.



**Figura 49 Ubicación de la cámara**

Otro punto importante es la colocación del brazo robótico con el sistema de detección, el mismo que se encuentra en la parte frontal de la estructura.

Finalmente se procede a conectar todo el sistema, y a ubicar la batería en un punto estratégico, para no ocasionar daños futuros a la misma



**Figura 50 Conexión de todos los componentes**

### **3.5. Interfaz de comunicación**

Para el control y manipulación del robot móvil se utilizó dos programas, un programa generado en la IDE de Arduino mientras que otro desarrollado en un software de programación basado en lenguaje C# para instalarlo en cualquier computador con sistema operativo Windows 7 o superior.

En el programa de Arduino se decodifican los datos enviados desde el computador, pudiendo de esta manera mover el robot hacia cualquier dirección. Con este programa también se controla el movimiento de los servomotores presentes en el brazo robótico, así como de las señales de alerta cuando una mina es detectada.

Por medio del programa para computador se puede dirigir al robot hacia donde disponga el operario ya que incorpora una cámara con la cual se observa el entorno por donde transita el robot. Este programa en su pantalla principal presenta los siguientes botones: Adelante(W), Atrás(S),

Izquierda(A), Derecha(D), Pare, Conectar, Video, Manual y Automático, además un selector de puertos serial con el cual se recibe la información de la tarjeta Arduino UNO al momento de que encuentra una mina, información que se visualiza en la ventana que está ubicada por debajo de los botones Manual y Automático. La ventana donde se visualiza la imagen de video ocupa gran parte de la pantalla para tener un mayor detalle de los lugares por donde transita el robot.



**Figura 51. Pantalla principal programa buscaminas**

En la ventana secundaria del programa se realiza la configuración del mismo, donde se ingresa los comandos para establecer la correcta comunicación entre el programa y el robot.

The screenshot shows a window titled 'Configuración' with a close button in the top right corner. It contains two main sections:

- Configuración WIFI:** This section has three input fields: 'URL' (empty), 'IP' (empty), and 'Puerto' (empty).
- Motores:** This section contains five input fields for motor commands, each with a label: 'Adelante' (empty), 'Derecha' (empty), 'Izquierda' (empty), 'Atrás' (empty), and 'Pare' (empty). To the right of these fields are two buttons: 'Aceptar' and 'Cancelar'.

**Figura 52. Ventana configuración**

Para ello es necesario ingresar correctamente los siguientes datos: URL, IP, Puerto y los comandos de cada botón de dirección. Una vez ingresados estos datos se procede a dar clic en el botón Aceptar y con ello los cambios se guardan, esta operación solo se realiza la primera vez que el programa es instalado.

This screenshot shows the same 'Configuración' window, but now with data entered into the input fields:

- Configuración WIFI:** 'URL' is filled with 'http://192.168.1.1/?action=stream', 'IP' is filled with '192.168.1.1', and 'Puerto' is filled with '2001'.
- Motores:** The input fields contain hexadecimal values: 'Adelante' is 'FF000100FF', 'Derecha' is 'FF000300FF', 'Izquierda' is 'FF000400FF', 'Atrás' is 'FF000200FF', and 'Pare' is 'FF000000FF'.

The 'Aceptar' and 'Cancelar' buttons remain visible to the right of the motor command fields.

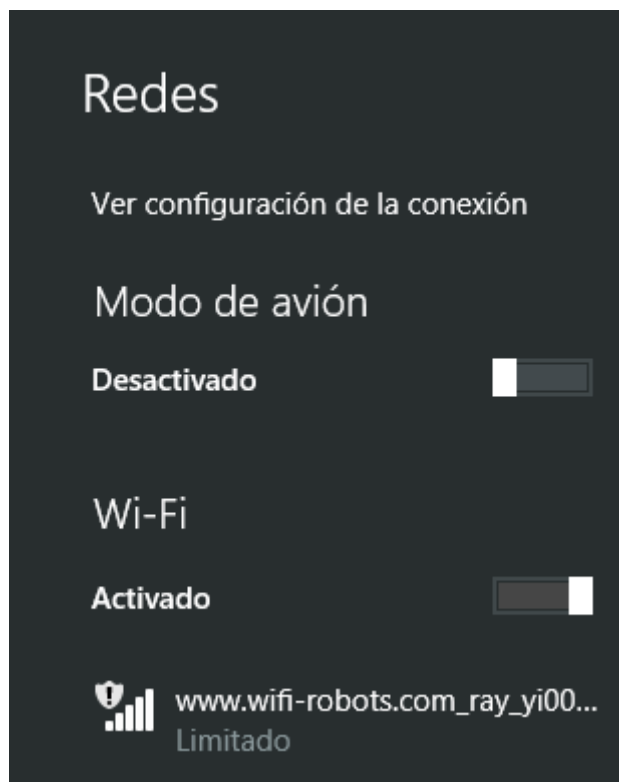
**Figura 53. Datos a cargar**

Una vez cargados estos datos es posible la manipulación del robot, para ello se lo puede realizar por medio de los botones en el programa o utilizando las teclas W, S, A y D.



**Figura 54. Botones de dirección**

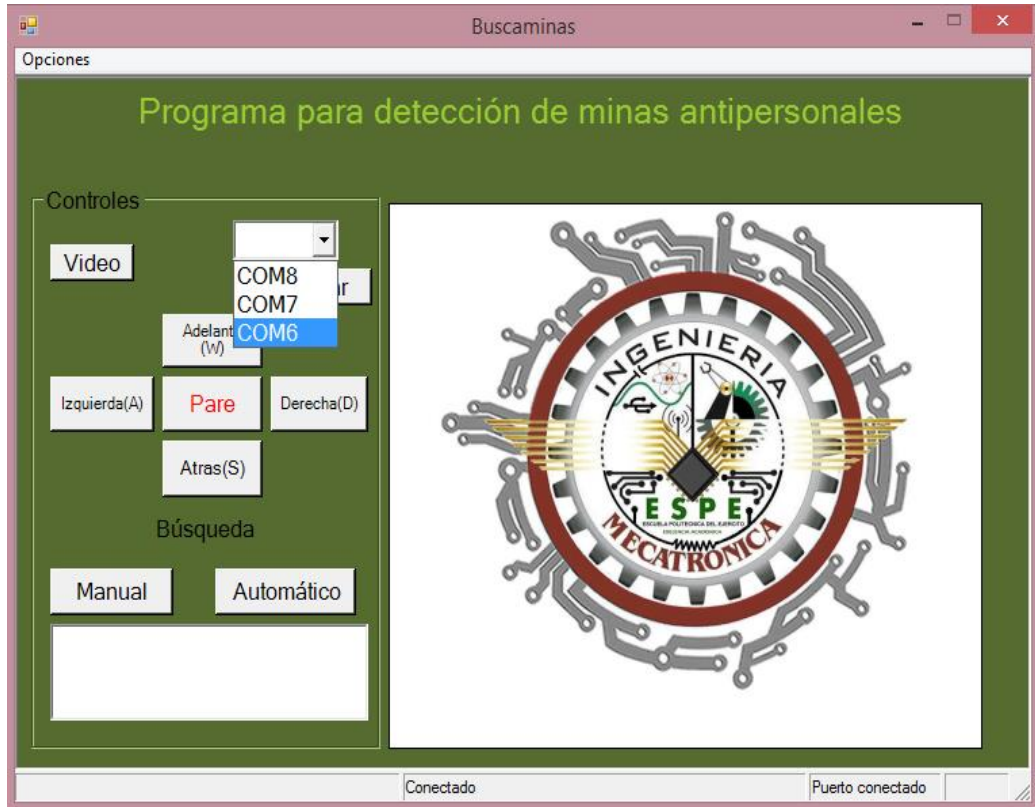
Ya con la configuración del programa terminada y conociendo los botones de dirección es necesario realizar la conexión entre el programa y el robot, para ello se debe conectar la computadora a la red WiFi que genera el robot.



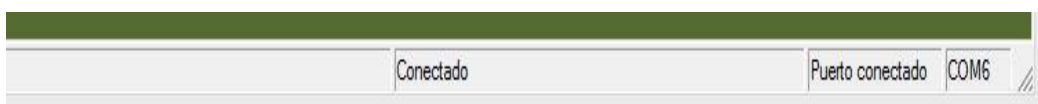
**Figura 55 Conexión a la red Inalámbrica**



A continuación, seleccionamos el puerto serial con el que esté conectada la tarjeta Arduino hacia la computadora y damos clic al botón Conectar.

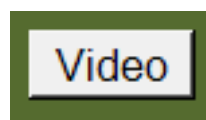


**Figura 56 Conexión del Puerto COM**



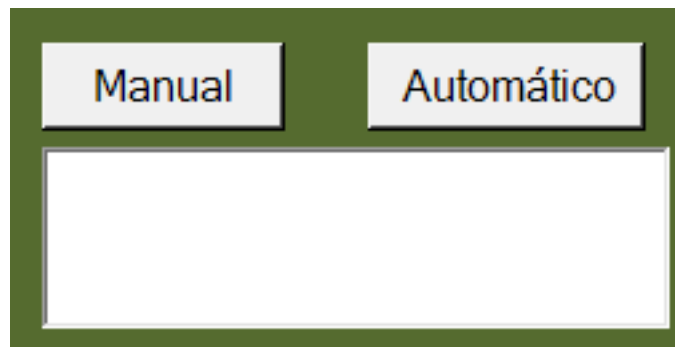
**Figura 57 Verificación de la Conexión del Puerto**

Con ello se establece la conexión de datos y comunicación entre la computadora y el robot, adicional al dar clic en el botón Video se visualiza lo que transmite la cámara que el robot tiene incorporada.



**Figura 58. Botón video**

Definido el área de trabajo se procede a la búsqueda de minas con los botones Manual o Automático. Con el botón Manual el robot realiza una sola búsqueda mientras que con el botón Automático se realiza la búsqueda en línea recta por la distancia de un metro. Cuando el robot detectó una mina en el cuadro se despliega un mensaje para que el operario tenga la oportunidad de saber su ubicación exacta.



**Figura 59. Botones para la búsqueda**

## CAPITULO IV

### 4. PRUEBAS Y RESULTADOS

#### 4.1. Pruebas de campo

Las pruebas para verificar el correcto funcionamiento del proyecto se las realizó en zonas rurales de la parroquia Santa Rosa perteneciente a la ciudad de Ambato. Se llevó a cabo cuatro ensayos diferentes en los cuales el robot tuvo un área de búsqueda determinada con objetivos enterrados aleatoriamente y a distintas profundidades, las cuales iban desde 1 cm hasta 14 cm. En las siguientes tablas se presentan los resultados obtenidos en cada uno de los ensayos.



Figura 60. Objetos a encontrar

Tabla 10.

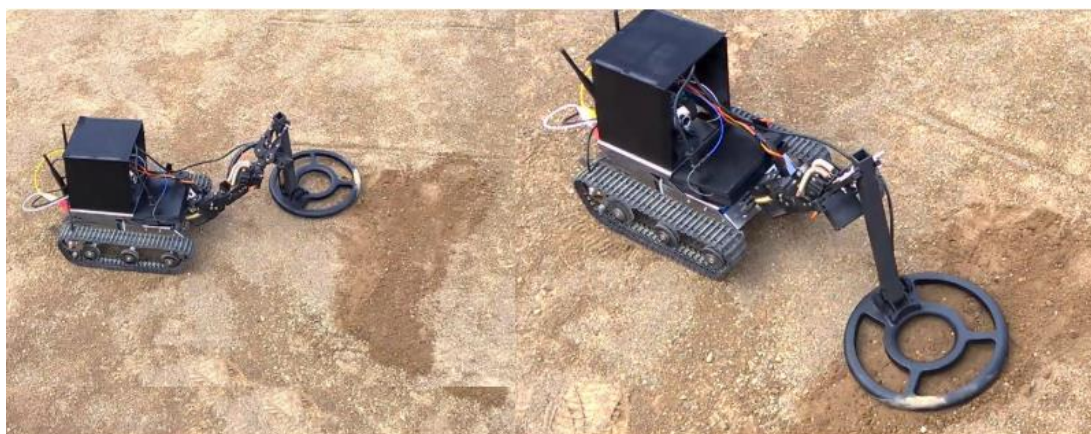
#### Ensayo en arena

N. Prueba	Falsa Alarma	Detecto	No detecto	Objetivos	Efectividad (%)	Profundidad (cm)
1	0	4	0	4	100	3
2	4	3	1	4	75	5
3	0	1	1	2	50	2
4	0	1	0	1	100	7
5	0	2	0	2	100	4

Continúa



6	0	2	0	2	100	8
7	0	2	1	3	66,6666667	3
8	0	2	0	2	100	10
9	0	1	0	1	100	5
10	0	1	0	1	100	8
11	1	0	0	0	100	4
12	1	1	0	1	100	3
13	0	2	0	2	100	1
14	0	2	1	3	66,6666667	11
15	0	2	0	2	100	4
16	0	2	0	2	100	2
17	0	2	0	2	100	7
18	1	2	0	2	100	4
19	0	3	0	3	100	9
20	3	2	0	2	100	3
21	0	2	1	3	66,6666667	8
22	0	2	1	3	66,6666667	4
23	1	1	0	1	100	6
24	3	2	0	2	100	10
25	1	0	0	0	100	12
26	1	1	0	1	100	7
27	2	3	0	3	100	9
28	1	0	0	0	100	10
29	0	1	0	1	100	7
30	1	2	0	2	100	11
31	0	2	2	4	50	6
32	1	2	0	2	100	12
33	0	3	0	3	100	6
34	0	1	0	1	100	4
35	2	0	1	1	0	14
36	1	1	0	1	100	3
37	2	1	0	1	100	6
38	0	2	1	3	66,6666667	8
39	0	3	1	4	75	9
40	1	0	0	0	100	6
<b>Total</b>	<b>27</b>	<b>66</b>	<b>11</b>	<b>77</b>	<b>85,7142857</b>	



a) Momento previo a la detección

b) Sobre el sitio de interés

**Figura 61. Ensayo en arena**

El primer ensayo se realizó sobre una superficie árida y de composición arenosa muy común en la parte rural de la parroquia Santa Rosa. En el transcurso del ensayo el robot tuvo ciertas dificultades de desplazamiento en partes donde estaban formadas dunas las cuales se desmoronaban con el pasar de las orugas, al finalizar este ensayo a pesar de obtener un alto porcentaje de efectividad también se evidencia un alto número de falsas alarmas lo cual se puede atribuir a los minerales presentes en la superficie de estudio.

**Tabla 11.****Ensayo en pendiente**

N. Prueba	Falsa Alarma	Detecto	No detecto	Objetivos	Efectividad (%)	Profundidad (cm)
1	1	1	0	1	100	6
2	0	4	0	4	100	4
3	0	1	0	1	100	14
4	0	0	0	0	100	3
5	0	3	0	3	100	6
6	0	1	0	1	100	8
7	0	1	1	2	50	9
8	1	1	0	1	100	6
9	0	2	0	2	100	3
10	1	1	0	1	100	10
11	2	0	0	0	100	5
12	1	2	0	2	100	8

Continúa



13	0	3	0	3	100	4
14	1	2	1	3	66,666667	14
15	0	1	0	1	100	1
16	1	1	0	1	100	3
17	0	3	0	3	100	10
18	1	1	0	1	100	12
19	0	2	1	3	66,666667	7
20	0	2	0	2	100	9
21	1	0	0	0	100	10
22	0	1	0	1	100	7
23	1	2	0	2	100	11
24	0	1	1	2	50	6
25	1	1	0	1	100	12
26	1	2	1	3	66,666667	13
27	0	2	0	2	100	8
28	0	1	0	1	100	4
29	1	2	0	2	100	3
30	1	0	0	0	100	1
31	0	1	0	1	100	3
32	1	2	0	2	100	10
33	0	1	0	1	100	12
34	0	0	1	1	0	7
35	0	3	0	3	100	9
36	0	1	0	1	100	8
37	0	1	0	1	100	4
38	0	2	0	2	100	2
39	0	1	1	2	50	11
40	0	3	0	3	100	6
<b>Total</b>	16	59	7	66	89,393939	



**Figura 62. Ensayo en pendiente**

El segundo ensayo tuvo lugar sobre una superficie inclinada y de composición más compacta respecto a la anterior superficie de estudio. Durante el ensayo el robot no presento dificultades de movilidad y se observa una mejora en la efectividad y reducción en las falsas alarmas.

**Tabla 12.**

**Ensayo en pradera**

N. Prueba	Falsa Alarma	Detecto	No detecto	Objetivos	Efectividad (%)	Profundidad (cm)
1	0	2	1	3	66,6666667	3
2	0	1	1	2	50	1
3	0	2	1	3	66,6666667	3
4	0	1	1	2	50	10
5	0	0	2	2	0	12
6	0	2	0	2	100	7
7	0	2	0	2	100	9
8	0	1	0	1	100	8
9	0	1	1	2	50	3
10	0	0	0	0	100	1
11	0	1	0	1	100	5
12	0	2	0	2	100	8
13	1	2	0	2	100	4
14	0	4	0	4	100	3
15	0	2	1	3	66,6666667	11
16	0	2	0	2	100	9
17	0	3	0	3	100	10
18	0	2	0	2	100	12
19	0	1	0	1	100	7
20	0	2	0	2	100	9
21	0	2	1	3	66,6666667	10
22	0	2	0	2	100	5
23	1	3	0	3	100	2
24	0	1	0	1	100	7
25	0	2	0	2	100	4
26	0	2	1	3	66,6666667	8
27	0	1	0	1	100	9
28	1	1	1	2	50	10
29	0	2	0	2	100	5
30	0	1	0	1	100	8
31	0	2	0	2	100	4

Continúa 

32	0	2	0	2	100	11
33	0	3	0	3	100	10
34	0	2	0	2	100	12
35	0	3	0	3	100	7
36	0	1	1	2	50	9
37	1	2	0	2	100	10
38	0	1	0	1	100	5
39	0	3	1	4	75	2
40	0	1	0	1	100	8
<b>Total</b>	4	70	13	83	84,3373494	



**Figura 63. Ensayo en pradera**

Para el tercer ensayo se seleccionó una superficie de pradera. Durante el ensayo el robot presentó un buen desempeño en su desplazamiento, pero se observó que su efectividad se redujo un poco, aunque las falsas alarmas también lo hicieron siendo las más bajas de los cuatro ensayos.

**Tabla 13.**

**Ensayo en terreno pétreo**

N. Prueba	Falsa Alarma	Detecto	No detecto	Objetivos	Efectividad (%)	Profundidad (cm)
1	0	2	0	2	100	8
2	0	1	0	1	100	3
3	1	2	0	2	100	1
4	0	1	0	1	100	5
5	0	2	2	4	50	13
6	1	2	0	2	100	4

**Continúa** 



7	0	1	1	2	50	3
8	0	2	1	3	66,666667	1
9	0	1	0	1	100	11
10	0	1	1	2	50	10
11	0	2	0	2	100	12
12	0	1	0	1	100	7
13	0	2	0	2	100	9
14	0	1	0	1	100	10
15	1	1	0	1	100	5
16	0	1	0	1	100	2
17	1	0	1	1	0	7
18	1	0	1	1	0	4
19	1	2	0	2	100	6
20	0	1	2	3	33,333333	3
21	0	2	0	2	100	5
22	0	1	0	1	100	8
23	0	2	1	3	66,666667	2
24	0	2	0	2	100	3
25	1	2	0	2	100	5
26	2	1	0	1	100	8
27	0	1	1	2	50	6
28	1	1	1	2	50	4
29	1	3	0	3	100	10
30	0	1	0	1	100	8
31	0	1	1	2	50	11
32	1	1	0	1	100	7
33	0	2	0	2	100	5
34	1	0	1	1	0	9
35	1	1	0	1	100	6
36	0	2	0	2	100	12
37	1	1	0	1	100	8
38	0	1	1	2	50	7
39	2	3	0	3	100	9
40	1	3	1	4	75	4
<b>Total</b>	18	57	16	73	78,082192	



**Figura 64. Ensayo en terreno pétreo**

Como último ensayo se seleccionó una superficie con restos de material pétreo utilizados en construcción. La gravilla y algunas piedras no fueron obstáculo para un correcto desempeño del robot, al finalizar su efectividad fue la más baja de los cuatro ensayos.

#### **4.2. Análisis de resultados**

Luego de terminados los ensayos se procede a su tabulación y posterior obtención de los porcentajes de efectividad de cada uno, además de la efectividad final del proyecto siendo los resultados siguientes:

**Tabla 14.**

**Efectividad**

<b>Ensayo</b>	<b>Efectividad (%)</b>
<b>Arena</b>	85,714286
<b>Pendiente</b>	89,393939
<b>Pradera</b>	84,337349
<b>Pétreo</b>	78,082192
<b>Total</b>	84,381941

**Tabla 15.****Efectividad a diferentes profundidades**

<b>Profundidad (cm)</b>	<b>N. Pruebas</b>	<b>Efectividad (%)</b>
1	7	88,095
2	7	84,524
3	18	85,185
4	17	87,745
5	12	97,917
6	13	88,462
7	15	81,111
8	18	94,445
9	14	83,929
10	16	88,542
11	8	79,167
12	10	90
13	2	58,334
14	3	55,556

**4.2.1. Comprobación de hipótesis de seguimiento****• Hipótesis nula**

$H_0$ = No existe ayuda para el desminado

**• Hipótesis válida**

$H_i$ = Existe ayuda para el desminado

Margen de error considerada= 5%

Margen de error tabla= 0.05

Grados de libertad = 6

Tabla 16.

## 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
<b>Detectó</b>	11	40	48	42	51	42	20	254
<b>No Detectó</b>	6	10	5	6	4	9	7	47
<b>total</b>	17	50	53	48	55	51	27	301

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

$$x^2 = 12,8595$$

Finalizado el cálculo del chi-cuadrado se obtuvo un resultado de **12,8595**, dicho valor será comparado con el chi-cuadrado de la tabla ( $xtbl^2$ ), que se muestra en la figura 65.

DISTRIBUCION DE  $\chi^2$

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		

Figura 65 Tabla Chi Cuadrado

Fuente: (Janeth Barbosa B., 2014)

$$xtbl^2 = 12,59$$

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

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

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

Se realizó el cálculo del chi-cuadrado para determinar la validez de la hipótesis, teniendo como resultado el rechazo de la hipótesis nula, por lo cual se valida la ayuda al desminado por medio de un robot móvil.

## CAPITULO V

### 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1. 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.
- El uso de un módulo de voltaje para arduino favoreció al momento de recibir los datos provenientes del detector, ya que el mismo enviaba datos de una manera aleatoria y mediante este módulo se logró determinar un rango en el cual se encuentra presente la detección de las minas, disminuyendo así el costo operacional de la tarjeta de control.
- El uso de dos baterías de alto amperaje 5 [A] fue productivo, debido a que ampliaron considerablemente la autonomía del robot, tanto en locomoción como en la detección, siendo ésta de 6 a 8 horas en uso continuo, además que presentaron características ideales al momento de prestar la corriente necesaria hacia los motores para operar el mismo en superficies irregulares.
- 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.

## 5.2. 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.
- El uso del detector de metales para el robot, puede ser mejorado mediante el uso de detectores de un rango de frecuencia más baja para conseguir una mayor profundidad de detección o a su vez se puede conseguir una mayor eficacia de funcionamiento mediante el uso de radares de penetración terrestre.
- Para el uso adecuado de la tarjeta de control es recomendable usar los distintos shield's de comunicación, principalmente para el acondicionamiento de motores, debido a que éstos presentan



picos de corriente altos, los mismos que pueden terminar con la vida útil de la tarjeta de control.

- El sistema de control queda abierto a investigación, ya que se puede probar con los distintos tipos de tarjetas presentes en el mercado, en dónde se puedan mejorarías en cuanto velocidad de procesamiento, adaptabilidad de módulos de comunicación, fiabilidad de operación y rendimiento.
- El software realizado para computador, puede ser usado en el sistema operativo Windows, siendo la mínima versión de éste Windows 7, ya que aún es usado en el medio, así como como también se puede usar en las siguientes versiones existentes al momento.
- Para la instalación del software es recomendado desactivar el antivirus del computador, ya que se presentan problemas al momento de tratar de iniciar posterior a la instalación debido a que el programa no procede de un desarrollador autorizado por lo que el antivirus lo detecta como una amenaza.
- Antes de la puesta en operación del robot, verificar el estado de las baterías para evitar contratiempos al momento de operación ya sea del brazo robótico o de los motores.

## 6. Bibliografía

Bardales Díaz, W. H. (08 de 02 de 2017). *Instalación de pórticos detectores de metales y detectores de metales de uso manual en los terminales portuarios administrados por la empresa nacional de puertos - ENAPU S.A. en referencia al código internacional para la protección de los buques y de las instalaciones portuarias*. Recuperado el 5 de Junio de 2017, de <http://cybertesis.urp.edu.pe/handle/urp/67>: <http://cybertesis.urp.edu.pe/handle/urp/67>

Bustinza Goma. (22 de 01 de 2015). *MAQUINAC*. Recuperado el 15 de Noviembre de 2017, de *MAQUINAC*: <https://www.maquinac.com/2015/01/bustinza-goma-se-sube-a-las-orugas/>

Cánovas, J. A. (11 de Septiembre de 2011). *Repositorio Universidad Politécnica De Cartagena*. Recuperado el 20 de Enero de 2017, de Repositorio Universidad Politécnica De Cartagena: <http://repositorio.upct.es/bitstream/handle/10317/2003/pfc4048.pdf;jsessionid=B775AA0155E07CABBA2CA588F6828EF0?sequence=1>

Chivers, C. (2013). *The Gun*. Recuperado el 4 de Enero de 2017, de <http://cjchivers.com/post/36633726057/know-your-weapons-landmines-at-right>: <http://cjchivers.com/post/36633726057/know-your-weapons-landmines-at-right>

Coral, S. G. (s.f.). Conocimiento de minas., (págs. 9 - 10).

Coral, S. G. (s.f.). Conocimiento de minas., (pág. 19).

Coral, S. G. (s.f.). Conocimiento de minas., (pág. 21).

Coral, S. G. (s.f.). Conocimiento de minas., (pág. 21).

Coral, S. G. (s.f.). Conocimiento de minas ., (pág. 17).

CSCAZORLA. (14 de Abril de 2011). *Robotica: Xataka Ciencia*. Recuperado el 9 de Marzo de 2017, de Xataka Ciencia: <https://www.xatakaciencia.com/robotica/robots-moviles-i>

- Deneb. (2007). *Ciencia con paciencia*. Recuperado el 25 de Enero de 2017, de <http://cienciaconpaciencia.blogspot.com/2007/11/cmo-funciona-un-detector-de-metales.html>:  
<http://cienciaconpaciencia.blogspot.com/2007/11/cmo-funciona-un-detector-de-metales.html>
- García, J. (2011). *Robótica Móvil*.
- García, J. (2011). *Robótica Móvil*.
- Geónica. (2017). *Georadar (GPR)*. Recuperado el 03 de Febrero de 2017, de <http://www.geonica.com/prod/139/221/Equipos-GEOFISICA-/Georadar-GPR/>: <http://www.geonica.com/prod/139/221/Equipos-GEOFISICA-/Georadar-GPR/>
- González, J., & Aníbal, O. (1996). *Estimación de la posición de un robot móvil*. España. Recuperado el 14 de Marzo de 2017
- González, V. (2002). *Robots móviles: diseño*. Recuperado el 20 de Marzo de 2017, de Control automatizado y robótica 2002: [http://platea.pntic.mec.es/vgonzale/cyr\\_0204/cyr\\_01/robotica/movil.htm](http://platea.pntic.mec.es/vgonzale/cyr_0204/cyr_01/robotica/movil.htm)
- GSSI. (s.f.). <http://www.geophysical.com>. Obtenido de <http://www.geophysical.com>: <http://www.geophysical.com>
- Inert Products, L. (4 de Enero de 2017). <http://inertproducts.com/mines>. Recuperado el 26 de Enero de 2017, de <http://inertproducts.com/mines>: <http://inertproducts.com/mines>
- Janeth Barbosa B., M. H. (Julio de 2014). *SlidePlayer*. Recuperado el 17 de Junio de 2017, de SlidePlayer: [slideplayer.es/slide/1697756](http://slideplayer.es/slide/1697756)
- Keely, R. (Septiembre de 2003). *Understanding Landmines and Mine Action*. Recuperado el 18 de Febrero de 2017, de MIT OPENCOURSEWARE: [https://ocw.mit.edu/courses/edgerton-center/ec-s06-design-for-demining-spring-2007/readings/MITEC\\_S06S07\\_01understan.pdf](https://ocw.mit.edu/courses/edgerton-center/ec-s06-design-for-demining-spring-2007/readings/MITEC_S06S07_01understan.pdf)

- León, J. L. (14 de 10 de 2013). *Sistemas de Locomoción de Robots*. Recuperado el 30 de Marzo de 2017, de Sistemas de Locomoción de Robots: <http://sistemasdeunrobot.blogspot.com>
- MakeltFrom. (06 de 08 de 2016). *MakeItFrom.com*. Obtenido de MakeltFrom.com: <http://www.makeitfrom.com/material-properties/Polylactic-Acid-PLA-Polylactide/>
- Moreno, I. (2017). *Tecnología de radar de penetración terrestre como herramienta para el estudio del patrimonio cultural y bienes inmuebles de arquitectura civil*. Universidad de la Ciénega del Estado de Michoacán de Ocampo, Michoacán. Recuperado el 10 de Marzo de 2017, de [https://www.academia.edu/4137977/Tecnolog%C3%ADa\\_de\\_radar\\_de\\_penetraci%C3%B3n\\_terrestre\\_como\\_herramienta\\_para\\_el\\_estudio\\_del\\_patrimonio\\_cultural](https://www.academia.edu/4137977/Tecnolog%C3%ADa_de_radar_de_penetraci%C3%B3n_terrestre_como_herramienta_para_el_estudio_del_patrimonio_cultural):  
[https://www.academia.edu/4137977/Tecnolog%C3%ADa\\_de\\_radar\\_de\\_penetraci%C3%B3n\\_terrestre\\_como\\_herramienta\\_para\\_el\\_estudio\\_del\\_patrimonio\\_cultural](https://www.academia.edu/4137977/Tecnolog%C3%ADa_de_radar_de_penetraci%C3%B3n_terrestre_como_herramienta_para_el_estudio_del_patrimonio_cultural)
- NTN. (2017). *NTN*. Recuperado el 17 de 11 de 2017, de <http://bearingfinder.ntnamericas.com/item/deep-groove-ball-bearings/single-row-radial-ball-bearings/6001ft150#Technical%20Specifications>
- Ollacarizqueta, L. A. (1995). *Fundación SIP*. Recuperado el 4 de Enero de 2017, de Fundación seminario de investigación para la paz: <http://www.seipaz.org/minas.htm#Desminado>
- Pascual, J. R. (s.f.). *Robótica: Estado del arte*. Universidad de Deusto. Recuperado el 16 de Diciembre de 2016
- Perry, M. (15 de Mayo de 2014). *Special Operations.com*. Recuperado el 4 de Enero de 2017, de <https://specialoperations.com/28997/claymore-worlds-famous-mine/>: <https://specialoperations.com/28997/claymore-worlds-famous-mine/>

Spring, L. (s.f.). *Resortes de catálogo & hechos a la medida 2015*. Recuperado el 25 de Noviembre de 2017, de Lee Spring: <http://leespring.com/downloads/mx/2015/Catalago%202014%20Completo.pdf>

Technology, D. (5 de Junio de 2017). <http://www.detectordemetalesmexico.com/que-es-un-detector-de-metales/>. Recuperado el 28 de Enero de 2017, de <http://www.detectordemetalesmexico.com/que-es-un-detector-de-metales/>: <http://www.detectordemetalesmexico.com/que-es-un-detector-de-metales/>

The United Nations Office at Geneva. (04 de Febrero de 2000). *The United Nations Office at Geneva*. Recuperado el 4 de Enero de 2017, de Ottawa Convention: [http://unog.ch/80256EDD006B8954/\(httpAssets\)/548590D7B2E2A303C12575710059A8F8/\\$file/Ottawa+kit+Spanish.pdf](http://unog.ch/80256EDD006B8954/(httpAssets)/548590D7B2E2A303C12575710059A8F8/$file/Ottawa+kit+Spanish.pdf)

Vigo, U. d. (2011). *Curso Multimedia de Electromagnetismo*. Recuperado el 17 de Febrero de 2017, de [http://quintans.webs.uvigo.es/recursos/Web\\_electromagnetismo/magnetismo\\_intro.htm](http://quintans.webs.uvigo.es/recursos/Web_electromagnetismo/magnetismo_intro.htm): [http://quintans.webs.uvigo.es/recursos/Web\\_electromagnetismo/magnetismo\\_intro.htm](http://quintans.webs.uvigo.es/recursos/Web_electromagnetismo/magnetismo_intro.htm)

# ANEXOS



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y  
MECÁNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA**


**CERTIFICACIÓN**

Se certifica que el siguiente trabajo fue desarrollado por los señores:  
**JOSÉ JAVIER DUQUE CHÉRREZ** y **JOEL DAVID NAVAS PAZMIÑO**, bajo  
nuestra supervisión.

**Aprobado por:**

  
Ing. Darío Mendoza  
**TUTOR DEL PROYECTO**

  
Ing. Vicente Hallo  
**DIRECTOR DE CARRERA**

  
Dr. Rodrigo Vaca  
**SECRETARIO ACADÉMICO**