



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

**“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN ROBOT TELEOPERADO
PARA LA BÚSQUEDA Y DETECCIÓN DE MINAS
ANTIPERSONALES”**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Dispositivo Tecnológico

Presentado para optar al Grado Académico de:
INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

**AUTORES: ULLOA CARVAJAL DAVID ALEJANDRO
LARA MÁRQUEZ BRAYAN JAVIER**

DIRECTOR: Ing. PAUL PATRICIO ROMERO RIERA

Riobamba-Ecuador

2023

© 2023, David Alejandro Ulloa Carvajal y Brayan Javier Lara Márquez

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Nosotros, David Alejandro Ulloa Carvajal y Brayan Javier Lara Márquez, declaramos que el Trabajo de Titulación es de mi autoría y los resultados de este son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autores asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de integración curricular, el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 28 de Marzo de 2023



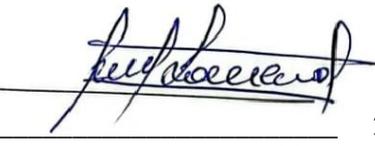
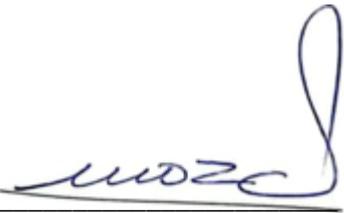
David Alejandro Ulloa Carvajal
0604590489



Brayan Javier Lara Márquez
0604516336

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

El tribunal del trabajo de titulación certifica que: El trabajo de Titulación, Tipo: Dispositivo Tecnológico, **DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN ROBOT TELEOPERADO PARA LA BÚSQUEDA Y DETECCIÓN DE MINAS ANTIPERSONALES**, realizado por los señores: **DAVID ALEJANDRO ULLOA CARVAJAL y BRAYAN JAVIER LARA MÁRQUEZ**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Edwin Vinicio Altamirano Santillán PRESIDENTE DEL TRIBUNAL		2023-03-28
Ing. Paul Patricio Romero Riera DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN		2023-03-28
Ing. Franklin Geovanni Moreno Montenegro ASESOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN		2023-03-28

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo a mi mamá Lorena, a mis Abuelos Lorenzo y Fanny, a mis tíos Mónica, María Fernanda, David y Mauricio que me han apoyado a lo largo de mi carrera y que me impulsan a ser una mejor persona cada día.

Javier Lara

Este trabajo va dedicado para mis padres Hugo y Mery que me han apoyado incondicionalmente a lo largo de mi vida y carrera universitaria, me han enseñado lo más importante ser una buena persona que es lo primordial para poder ser un buen profesional.

David Ulloa

AGRADECIMIENTO

Mi más sincero agradecimiento a toda mi familia, en especial a mi mamá Lorena por demostrarme que con esfuerzo y sacrificio las cosas se consiguen de mejor manera, es mi ejemplo de perseverancia ante la adversidad, a mi abuelita Fanny por incentivar me a ser la mejor versión de mí y hacer las cosas por el camino correcto, a mi amigo John Diaz García, por su apoyo, amistad y enseñanza incondicional durante estos años, a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por permitirme convertirme en profesional y a todos los profesores y amigos que conocí dentro de la Facultad de Informática y Electrónica por transmitirme su conocimiento y humanidad. Al Ingeniero Paúl Romero, director del trabajo de titulación por su ayuda prestada durante la realización de este proyecto.

Javier Lara

Agradezco a toda mi familia en especial a mis padres Hugo y Mey y hermanos Stephany y Ricardo que estuvieron conmigo en los momentos mejores y en los peores, a mi novia Sheyla que me ha ayudado y apoyado siempre, me ha impulsado a ser mejor cada día. También me siento grato con mis amigos de la universidad que de una u otra manera me han ayudado a escalar hasta llegar a la meta. A mi amigo John Diaz que nos ha ayudado a formarnos como profesionales y ha enseñado de su experiencia. A todos mis profesores que me ayudaron a formar mi carácter y me han hecho dar cuenta de que nada es imposible si uno se lo propone.

David Ulloa

TABLA DE CONTENIDO

INDICE DE ILUSTRACIONES.....	xii
INDICE DE GRÁFICOS.....	xv
INDICE DE TABLAS.....	xvi
INDICE DE ABREVIATURAS.....	xvii
RESUMEN.....	xviii
ABSTRACT.....	xix
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO I

1.	DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA.....	3
1.1	Planteamiento del Problema	3
<i>1.1.1</i>	<i>Antecedentes</i>	<i>3</i>
<i>1.1.1</i>	<i>Formulación del Problema</i>	<i>3</i>
<i>1.1.2</i>	<i>Sistematización del Problema</i>	<i>4</i>
1.2	Justificación	4
<i>1.2.1</i>	<i>Justificación Teórica.....</i>	<i>4</i>
<i>1.2.2</i>	<i>Justificación Aplicativa.....</i>	<i>5</i>
<i>1.2.2.1</i>	<i>Diagramas de bloques y esquemas de prototipo teleoperado.....</i>	<i>6</i>
1.3	Objetivos	8
<i>1.3.1</i>	<i>Objetivo General.....</i>	<i>8</i>
<i>1.3.2</i>	<i>Objetivos Específicos.....</i>	<i>8</i>

CAPÍTULO II

2.	MARCO TEÓRICO	10
-----------	----------------------------	-----------

2.1	Minas Antipersonales.....	10
2.1.1	<i>Definición</i>	10
2.1.2	<i>Tipos de minas antipersonales</i>	11
2.1.2.1	<i>Minas de onda explosiva.....</i>	11
2.1.2.2	<i>Minas de rebote o saltadoras.....</i>	11
2.1.2.3	<i>Minas de fragmentación.....</i>	12
2.1.3	Localización de minas antipersonales	13
2.1.3.1	<i>Parametrización y segmentación</i>	14
2.1.3.2	<i>Métodos para detección de minas antipersonales</i>	14
2.2	Robots Móviles	16
2.2.1	<i>Definición</i>	16
2.2.2	<i>Robot Teleoperado.....</i>	16
2.2.3	<i>Robot Móvil Autónomo</i>	16
2.2.4	Configuraciones de los robots móviles con ruedas	17
2.2.4.1	<i>Configuración Diferencial</i>	17
2.2.4.2	<i>Configuración Triciclo.....</i>	18
2.2.4.3	<i>Configuración Ackerman</i>	18
2.2.4.4	<i>Configuración Síncrona.....</i>	19
2.2.4.5	<i>Configuración Omnidireccional</i>	20
2.2.4.6	<i>Configuración de pista de deslizamiento</i>	20
2.3	Sistema de Alimentación Eléctrica	21
2.3.1	<i>Batería de polímero de litio.....</i>	21
2.3.2	<i>Batería de níquel-cadmio</i>	21
2.3.3	<i>Baterías de zinc-carbono.....</i>	22
2.4	Sistemas de control, detección y locomoción.	23
2.4.1	<i>Motores DC.....</i>	23
2.4.1.1	<i>Relación mecánica</i>	23
2.4.1.2	<i>Consumo.....</i>	23

2.4.1.3	<i>Dimensionamiento</i>	24
2.4.2	<i>Tarjetas controladoras de motores DC</i>	24
2.4.2.1	<i>Definición</i>	24
2.4.2.2	<i>Sabertooth</i>	25
2.4.2.3	<i>Scorpion mini</i>	25
2.4.2.4	<i>RoboClaw</i>	25
2.4.3	<i>Sensor detector de metales</i>	25
2.4.4	<i>Sistema de alerta auditiva y visual</i>	26
2.4.5	<i>Tarjetas de desarrollo</i>	26
2.4.5.1	<i>Definición</i>	26
2.4.5.2	<i>Arduino</i>	26
2.4.5.3	<i>ESP32</i>	27
2.4.5.4	<i>STM32 Bluepill</i>	27
2.5	<i>Teleoperación</i>	27
2.5.1	<i>Definición</i>	27
2.5.2	<i>Modos de transmisión</i>	28
2.5.2.1	<i>Comunicación simplex</i>	28
2.5.2.2	<i>Comunicación Halfduplex o Semiduplex</i>	28
2.5.2.3	<i>Comunicación Full-Duplex</i>	29
2.5.3	<i>Sistema de visión en teleoperación</i>	29
2.5.3.1	<i>Cámaras</i>	30
2.5.3.2	<i>Visualizadores de video</i>	30
2.5.4	<i>Radiocontrol</i>	31
2.6	<i>Software de aplicación</i>	32
2.6.1	<i>Arduino IDE</i>	32
2.6.2	<i>Fusion 360</i>	32
2.6.3	<i>Easyeda</i>	33

CAPÍTULO III

3.	MARCO METODOLÓGICO.....	34
3.1	Requerimientos del sistema.....	34
3.2	Consolidación general del prototipo.....	34
3.3	Arquitectura de <i>hardware</i> del prototipo.....	35
3.4	Diseño de las etapas de <i>hardware</i> del prototipo.....	36
3.4.1	<i>Etapa de alimentación.....</i>	<i>36</i>
3.4.2	<i>Etapa de Tracción</i>	<i>36</i>
3.4.3	<i>Etapa de comunicación.....</i>	<i>37</i>
3.4.4	<i>Etapa de Control.....</i>	<i>37</i>
3.4.5	<i>Etapa de visualización.....</i>	<i>38</i>
3.4.6	<i>Etapa de detección y alerta</i>	<i>38</i>
3.5	Configuración y Comunicación del Robot Teleoperado.....	39
3.6	Selección de componentes de <i>hardware</i> para la construcción del robot	39
3.6.1	<i>Motorreductores DC y ruedas.....</i>	<i>39</i>
3.6.2	<i>Dispositivos de Control.....</i>	<i>40</i>
3.6.2.1	<i>Radio control & Receptor</i>	<i>40</i>
3.6.2.2	<i>Controladora de motores DC.....</i>	<i>41</i>
3.6.2.3	<i>Arduino Nano</i>	<i>42</i>
3.6.3	<i>Dispositivos de visualización y comunicación.....</i>	<i>43</i>
3.6.3.1	<i>Transmisor FPV y cámara CCD.....</i>	<i>43</i>
3.6.3.2	<i>Gafas FPV.....</i>	<i>44</i>
3.6.4	<i>Dispositivos de detección y alarma</i>	<i>45</i>
3.6.4.1	<i>Alarma visual y auditiva</i>	<i>45</i>
3.6.5	<i>Detector de Metales</i>	<i>46</i>
3.6.6	<i>Dispositivos de alimentación y otros.....</i>	<i>47</i>
3.6.6.1	<i>Batería LiPo.....</i>	<i>47</i>

3.6.6.2	<i>Módulo convertidor de voltaje nivel lógico bidireccional</i>	48
3.6.6.3	<i>Modulo relé</i>	48
3.7	Diseño eléctrico	49
3.7.1	<i>Conexiones eléctricas</i>	49
3.7.1.1	<i>Diagrama de conexión del sistema de detección</i>	49
3.7.1.2	<i>Diagrama de conexión del sistema de control lógico</i>	50
3.7.2	<i>Diseño y fabricación de PCB</i>	52
3.8	Diseño mecánico y estructural del robot	54
3.8.1	<i>Diseño 3D</i>	54
3.9	Construcción del dispositivo	57
3.9.1	<i>Materiales y piezas para la estructura mecánica</i>	57
3.9.2	<i>Impresión de la estructura mecánica</i>	59
3.9.3	<i>Inserción y ensamble de componentes mecánicos y electrónicos</i>	60
3.10	Dimensionamiento de Consumo	61
3.11	Algoritmo de control de alarma y detención de motores	63

CAPÍTULO IV

4.	VALIDACIÓN DE PROTOTIPO	65
4.1	Prueba de detección y sistema de alarma	65
4.2	Pruebas de Comunicación y distancia recorrida	68
4.3	Pruebas de autonomía y tiempo de operación	74
4.4	Análisis de tiempo de carga de batería del dispositivo	76
4.5	Valoración de componentes seleccionados	77

CAPÍTULO V

5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	79
5.1	CONCLUSIONES	79

5.2	RECOMENDACIONES	80
------------	------------------------------	-----------

BIBLIOGRAFIA

INDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1-1: Diagrama de bloques de la interacción entre módulos para la propuesta del robot móvil.	7
Ilustración 2-1: Diagrama de conexiones e interacción entre los componentes para la propuesta del robot móvil.	7
Ilustración 3-1: Esquema de operación del robot en campo.	8
Ilustración 1-2: Efecto de la mina explosiva.	11
Ilustración 2-2: Efecto de la mina de rebote.	12
Ilustración 3-2: Efecto de la mina de fragmentación.	13
Ilustración 4-2: Robot Diferencial.	18
Ilustración 5-2: Robot Triciclo.	18
Ilustración 6-2: Robot Ackerman.	19
Ilustración 7-2: Robot Síncrono.	19
Ilustración 8-2: Robot Omnidireccional.	20
Ilustración 9-2: Robot Oruga.	21
Ilustración 10-2: Batería de Polímero de Litio.	21
Ilustración 11-2: Baterías de Níquel-Cadmio.	22
Ilustración 12-2: Baterías de zinc-carbono.	23
Ilustración 13-2: Elementos básicos de un sistema de teleoperación.	28
Ilustración 14-2: Ejemplo de comunicación simplex (Una sola vía de comunicación)	28
Ilustración 15-2: Ejemplo de comunicación semidúplex	29
Ilustración 16-2: Ejemplo de comunicación Full-dúplex	29
Ilustración 17-2: Cámaras utilizadas en los sistemas de tele operación o sistemas FPV.	30
Ilustración 18-2: Visualizadores de video para teleoperación.	31
Ilustración 19-2: Radiocontrol con su receptor de señal	31
Ilustración 20-2: Arduino IDE interfase de programación.	32

Ilustración 21-2: Interfaz de desarrollo de Fusion 360.....	33
Ilustración 22-2: Ejemplo de diseño de circuito en EasyEDA.....	33
Ilustración 1-3: Consolidación general del prototipo.....	35
Ilustración 2-3: Arquitectura de <i>hardware</i> del prototipo.....	36
Ilustración 3-3: Diagrama de bloques de la etapa de comunicación.....	37
Ilustración 4-3: Diagrama de bloques de la etapa de comunicación.....	37
Ilustración 5-3: Diagrama de bloques de la etapa de control.....	38
Ilustración 6-3: Diagrama de bloques de la etapa de visualización.....	38
Ilustración 7-3: Diagrama de bloques de la etapa de detección y alerta.....	39
Ilustración 8-3: Rueda Dagu Wild Thumper de 120 x 60 mm (rojo metálico) con motor de engranajes metálico Pololu de 20D mm.....	40
Ilustración 9-3: Radio control y receptor RadioLink, 2.4GHz de 9 canales.....	41
Ilustración 10-3: Sabertooth 2x12A Motor Controller.....	42
Ilustración 11-3: Tarjeta de desarrollo: Arduino Nano.....	43
Ilustración 12-3: AKK KC02 40CH 600mW Transmisor FPV con 600TVL 2.8MM 120 Grados de Alta Calidad de Imagen Cámara Sony CCD para Multicoptero FPV.....	44
Ilustración 13-3: Gafas FPV de 5.8 GHz, ARRIS VR-009.....	45
Ilustración 14-3: Faro LED C6 Haizg.....	46
Ilustración 15-3: Buzzer de 5 a 24 Vdc de sonido intermitente hyt-3015b.....	46
Ilustración 16-3: Detector de metales.....	47
Ilustración 17-3: Batería LiPo TATTU 3S 11,1V 2200MAH 25C.....	48
Ilustración 18-3: Módulo convertidor de voltaje nivel lógico bidireccional TTL.....	48
Ilustración 19-3: Módulo relé de 4 canales.....	49
Ilustración 20-3: Diagrama de conexión del sistema de detección.....	50
Ilustración 21-3: Diagrama de conexión del sistema de control lógico.....	51
Ilustración 22-3: Diagrama de conexión de alerta y detención de motores.....	52
Ilustración 23-3: a) Circuito diseñado en Easyeda, b) Circuito realizado en la máquina CNC.....	53
Ilustración 24-3: Fabricación de la PCB con CNC.....	53

Ilustración 25-3: Inserción y soldado de los componentes en la PCB.....	54
Ilustración 27-3: a) Diseño de la tapa superior delantera, b) Diseño de la tapa superior trasera, c) Diseño de las tapas inferiores del robot en Fusion 360.....	56
Ilustración 28-3: Diseño de pieza para montaje de sensor y cámara en Fusion 360.	56
Ilustración 29-3: Diseño del ensamble de las piezas del robot en Fusion 360.	57
Ilustración 30-3: Filamento PETG de impresora 3D.....	58
Ilustración 31-3: Cojinete de bloque de almohada montado.	58
Ilustración 32-3: Modificación de la para superior trasera con el taladro.	59
Ilustración 33-3: a) Inicio de la impresión de las estructuras diferenciales, b) Proceso de impresión a medio terminar.	60
Ilustración 34-3: Montaje de primeros componentes en las estructuras diferenciales.	60
Ilustración 35-3: a) Incorporación de todos los elementos restantes del robot teleoperado, b) Robot terminado.....	61
Ilustración 36-3: Diagrama de flujo del control de alarma y detención de motores.....	64
Ilustración 1-4: a) y b) Material de prueba, c) Dispositivo teleoperado terminado.....	65
Ilustración 2-4: Radio control a) y sistema de visualización b) para la validación de prueba. .	69
Ilustración 3-4: Medidor de voltaje de batería lipo a) y temporizador b) para validar el tiempo de la muestra tomada.	74
Ilustración 4-4: Cargador de baterías de LIPO a) y b) cronometro utilizado para obtener el tiempo de muestra.	76

INDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-4: Representación de las muestras tomadas en un gráfico de barras.	67
Gráfico 2-4: Gráfica de la calidad de comunicación con respecto a la distancia, con los parámetros de la tabla 3-4 en función de las calificaciones obtenidas.	71
Gráfico 3-4: Gráfica de la calidad de comunicación con respecto a la distancia, con los parámetros de la tabla 3-4 en función de las calificaciones obtenidas.	72
Gráfico 4-4: Comportamiento del voltaje en función del tiempo, donde se observa un comportamiento lineal.	76

INDICE DE TABLAS

Tabla 1-3: Descripción de conexiones del sistema de detección.	49
Tabla 2-3: Descripción de conexiones del sistema control lógico.	50
Tabla 3-3: Consumo de corriente de los componentes del dispositivo.	62
Tabla 1-4: Pruebas experimentales del sistema de detección y sistema de alarma.	66
Tabla 2-4: Análisis de pruebas de sistema de detección.	67
Tabla 3-4: Resultados de la prueba de comunicación de control de trayectoria y comunicación FPV	70
Tabla 4-4: Calificación para la calificación de comunicación	71
Tabla 5-4: Áreas de segmentación obtenidas mediante calculo numérico.....	72
Tabla 6-4: Muestras tomadas en función del dispositivo de medición de voltaje y el tiempo de muestra.	75
Tabla 7-4: Muestras tomadas para el obtener el tiempo promedio de carga del dispositivo.	77
Tabla 8-4: Valoración de componentes electrónicos.	77
Tabla 9-4: Valoración del sistema Mecánico y de detección del dispositivo diseñado.	78

INDICE DE ABREVIATURAS

PETG	Polietileno tereftalato de glicol
PCB	Placa de circuito impreso
CNC	Control numérico computarizado.
IA	Inteligencia Artificial.
LiPo	Polímero de Litio.
3D	Tres dimensiones.
IEEE	Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos.
ERW	Explosivos de Guerra.
IMAS	Normas Internacionales para las Actividades Relativas a las Minas.
NiCd	Níquel Cadmio.
MnO₂	Dióxido de Manganeso.
DC	Corriente Directa.
MCU	Unidad de Control Principal.
PCB	Placa de Circuito Impreso.
CNC	Control Numérico por Computadora
FPV	Vista en Primera Persona.
GHz	Gigahercios.
V	Voltio.
A	Amperio.
m	Metro.
°C	Grados Centígrado.
cm	Centímetro.
Kg	Kilogramo.
min	Minuto.
gr	Gramos.
rpm	Revoluciones por Minuto.
PID	Proporcional, Integral y Derivativo.
RAM	Memoria de Acceso Aleatorio
ROM	Memoria de Solo Lectura.
RC	Radio Control.
W	Vatio.

RESUMEN

El objetivo principal de esta investigación fue el diseño e implementación de un robot teleoperado capaz de buscar y detectar minas antipersonales en campos abiertos y accidentados que alguna vez fueron escenario de conflictos bélicos. La desactivación de estas trampas explosivas representa, por un lado, un alto costo económico, y, por otro lado, pone en riesgo la integridad y salud de los militares encargados de esta tarea. Además, estos artefactos también afectan directamente a la población y la fauna de la zona. Por lo tanto, se realizó un estudio del proceso de búsqueda de minas antipersonales y se diseñó un prototipo que pudiera realizar esta tarea sin exponer a las personas a situaciones de riesgo. El sistema se basa en un sensor detector de metales y se controla mediante un sistema de visualización compuesto por gafas de vista en primera persona y una cámara con transmisor de la misma frecuencia de operación (5.8 GHz). La trayectoria del prototipo se controla mediante cuatro motores a 12V en una configuración diferencial doble con cuatro ruedas correspondientes a cada motor para permitir movimientos y anclajes al suelo. También se incorporó un sistema de alarma y detención de motores controlado por un Arduino nano. Las pruebas realizadas al prototipo demostraron una tasa de detección del 90% de minas antipersonales con una distancia máxima de comunicación de 100 metros entre el prototipo y el sistema de visualización. El tiempo de operación es de 26 minutos y el peso máximo del dispositivo es de 9kg.

Palabras clave: <TECNOLOGÍA ELECTROMECAÁNICA>, <ROBÓTICA>, <DETECTOR DE METALES>, <MOTORREDUCTORES>, <TELEOPERACIÓN>, <DETECCIÓN DE MINAS ANTIPERSONALES>.

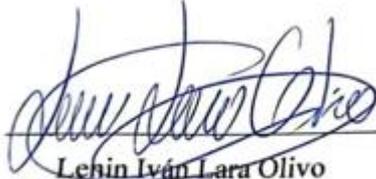


0649-DBRA-UPT-2023

ABSTRACT

The main objective of this research project was to design and implement a telerobotic capable of searching and detecting anti-personnel landmines in open and rugged fields that were once the scene of armed conflicts. The deactivation of these explosive traps represents, on the one hand, a high economic cost, and, on the other hand, it puts at risk the integrity and health of the military personnel responsible for this task. These devices also directly affect the area's population and wildlife. Therefore, a study was carried out on searching for anti-personnel landmines, and a prototype was designed to perform this task without exposing people to risky situations. The system is based on a metal detector sensor and is controlled by a visualization system consisting of first-person view goggles and a camera with a transmitter operating at the same frequency (5.8 GHz). Four 12V motors control the trajectory of the prototype in a double differential configuration with four wheels corresponding to each motor to allow movements and floor anchoring. An alarm and engine stop system controlled by an Arduino Nano was also incorporated. The tests carried out on the prototype demonstrated a detection rate of 90% of anti-personnel land mines with a maximum communication distance of 100 meters between the prototype and the visualization system. The operating time is 26 minutes and the device's maximum weight is 9kg.

Keywords: <ELECTROMECHANICAL TECHNOLOGY>, <ROBOTICS>, <METAL DETECTOR>, <GEARMOTORS>, <TELEROBOTIC >, <ANTI-PERSONNEL LANDMINES DETECTION>.



Lehin Iván Lara Olivo

0602546103

INTRODUCCIÓN

La ciencia y la tecnología han avanzado abrumadoramente en la última década, permitiendo la mejora y sofisticación de los sistemas y aparatos de detección de minas antipersonales hasta el punto de conocer la profundidad en la que se encuentran estos objetos. Es imprescindible realizar el desminado en los lugares donde quedaron vestigios letales de conflictos armados, ya que estos residuos de guerra son en la mayoría de los casos nocivos y letales, haciendo que el lugar sea inhabitable para cualquier ser vivo. En cualquier momento, estas minas pueden desatar daños irreparables, como muertes, mutilaciones y daños en órganos vitales de personas y animales cercanos a la zona. Los afectados por lo general son mujeres, niños y campesinos de países en desarrollo.

Los problemas de las minas terrestres acarrear consecuencias socioeconómicas, ya que se oponen a la paz y la estabilidad en regiones enteras al provocar desplazamientos de personas, lo que también imposibilita el uso de las tierras para fines agrícolas (Rosengard et al. 2001). Existen varios métodos de detección y remoción de minas con fines humanitarios, los más usuales son los detectores de metales portátiles o perros adiestrados para dicho propósito. Los detectores de metales localizan objetos que poseen materiales metálicos a través de un campo electromagnético variable en el tiempo para introducir corrientes parásitas al mismo generando un campo magnético detectable. De acuerdo a Rosengard et al. (2001), existe un inconveniente con este método y es poder distinguir entre una falsa mina y una real. Por otra parte, este proceso de identificación y eliminación de estos objetos es muy costoso, es por ello por lo que se usan los perros, ya que poseen un olfato mucho más desarrollado y pueden distinguir explosivos en cantidades minúsculas con su debido entrenamiento.

Rosengard et al. (2001) muestran varias técnicas de detección de minas complementarias a los métodos ya mencionados como el radar de penetración terrestre (GPR) que, si bien es tecnológicamente avanzado, aún es limitado al momento de la reducción y resolución de ecos parásitos cuando es aplicado en la detección de minas antipersonales. Fischer (2001) en cambio menciona que los métodos tradicionales causan que el procedimiento de remoción de numerosas minas terrestres sea muy tardado, ineficiente, peligroso y costoso. De este modo se hace uso de los sistemas robóticos que pueden entregar una solución eficiente, confiable, adaptable, rentable y segura para el inconveniente agravante de las minas terrestres (Khamis 2015).

El Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE) organiza concursos, seminarios, cursos para fomentar la investigación y desarrollo de robots aplicados al desminado humanitario en el mundo y sensibilizar a las personas acerca de la contaminación que las minas producen. La competencia se basa básicamente en la construcción de un vehículo terrestre o aéreo no tripulado ya sea teleoperado o autónomo capaz de buscar minas antipersonales. En las demás actividades se enfocan en la enseñanza de temas clave involucrados en el desarrollo de robots reales, como son los sistemas de locomoción, la detección del entorno, los microcontroladores, etc. (Khamis 2015).

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

1.1 Planteamiento del Problema

1.1.1 *Antecedentes*

La robótica es una especialización en ingeniería y tecnología relacionada con el diseño, construcción, programación y operación de robots. Un robot es un dispositivo mecánico, electrónico o electromecánico programable que puede ser controlado por una PC o por un operador humano. Los robots se pueden utilizar para realizar una amplia variedad de tareas, desde construir automóviles hasta analizar habitaciones, limpiar edificios y brindar atención médica. La robótica es una disciplina integradora que involucra el conocimiento de diferentes superficies, incluyendo mecánica, electrónica, computación, IA (inteligencia artificial) y matemáticas. El objetivo de la robótica es desarrollar máquinas que puedan realizar tareas que antes eran difíciles, peligrosas o imposibles para los humanos. Los robots pueden trabajar más rápido y con mayor precisión que los humanos, y también pueden operar en espacios que son peligrosos o inaccesibles para los humanos (Barrientos 2007).

Dentro la robótica se tiene varias investigaciones, como por ejemplo la de Víctor González (2018), quien sustenta que “el telerobot dirigido, operando en un sitio, utiliza dispositivos de entrada, como la visualización gráfica, planeando las ayudas para ordenar la ejecución de una tarea a un sitio remoto usando un sistema telerobótico” (González, 2018). En base a esta idea, se puede determinar que la tecnología indicada en la inspección visual se aplica para tener el control remoto del prototipo sin importar la ubicación de este. Un ejemplo claro es el uso de esta tecnología en cirugías con equipos a largas distancias incluso transoceánicas.

Según Luis Miguel Escobar y Katherine Estefanía Aroca (2017), los robots teleoperados se los puede definir como aquellos sistemas que son controlados por un ser humano a una distancia segura. La aplicación de los robots teleoperados es muy amplia, como por ejemplo en la industria farmacéutica hacia la manipulación de sustancias químicas que son peligrosas, en el campo aeroespacial con el control de robots exploradores, entre otras. Escobar y Aroca establecen que el uso de robots teleoperados es de vital importancia para salvaguardar la integridad humano-personal al momento de realizar distintas acciones que impliquen un riesgo potencial.

1.1.1 *Formulación del Problema*

¿Cómo se puede diseñar e implementar un robot teleoperado para la búsqueda y detección de minas antipersonales?

1.1.2 Sistematización del Problema

- ¿Cuáles son los requerimientos de uso y parámetros de operación que caracterizan cada una de los módulos o sistemas que componen un robot teleoperado para la búsqueda y detección de minas antipersonales?
- ¿Cómo diseñar los sistemas mecánicos, eléctricos y electrónicos que componen el robot teleoperado, para cumplir con los requerimientos de uso, operación y tareas de búsqueda y detección de minas antipersonales?
- ¿Cómo construir el sistema mecánico, eléctrico y electrónico del robot teleoperado a partir del diseño realizado, con materiales que garanticen un funcionamiento adecuado y fiable durante las actividades de búsqueda y detección de minas antipersonales?
- ¿Qué algoritmos se deben desarrollar para permitir un adecuado control del robot teleoperado y que tenga compatibilidad con las plataformas de procesamiento integradas durante la fase de diseño y construcción?
- ¿Qué pruebas de funcionamiento en ambientes controlados permiten evaluar el desempeño del robot teleoperado en cuanto a fidelidad en el seguimiento de órdenes, libertad de movimiento y tasa de detección de minas antipersonales?

1.2 Justificación

1.2.1 Justificación Teórica

La aplicación del presente proyecto de investigación tiene como finalidad desarrollar un equipo funcional y aplicativo para salvar vidas. Se tiene como resultado inicial su aplicación en eventos de impacto tecnológico, concursos de robótica, entre otros, que permitan al prototipo ser considerado como una herramienta innovadora.

Al poder desarrollar este dispositivo tecnológico, sería de gran ayuda tanto para los estudiantes como para los docentes. En el caso de los estudiantes sería en el desarrollo de sus habilidades en robótica. En el caso de los docentes sería para la enseñanza práctica al tener un módulo funcional con la capacidad de implementar distintas programaciones y modificaciones para de esta manera incrementar sus habilidades en el campo de la robótica.

Por lo expuesto anteriormente, la presente investigación considera el estudio del arte de las tecnologías, técnicas y metodologías existentes involucradas en el diseño de equipos de este tipo. De esta manera, se procede, también, ha generar una propuesta tecnológica que intente resolver la problemática y dar respuesta a las necesidades actuales en el ámbito de detección de minas antipersonales. Adicionalmente, establecer lineamientos teóricos que sirvan de línea base para futuras investigaciones.

Uno de los propósitos que tenemos también es incentivar a los estudiantes por interesarse en el área de la robótica, no solamente con fines competitivos sino también con propósitos de carácter social. La robótica contiene varios campos de aplicación, pero nos enfocaremos en robots móviles teleoperados con sistema FPV, que interactúen en áreas irregulares donde hubo enfrentamientos de carácter bélico, en las cuáles aún existen minas antipersonales enterradas, las cuáles se busca detectar para su posterior extracción.

1.2.2 Justificación Aplicativa

En los concursos de robótica se puede participar en distintas categorías como es la innovación con nuevas tecnologías aplicadas a áreas peligrosas. Este proyecto permite la inspección y búsqueda de minas antipersonales en zonas de difícil acceso manteniendo la capacidad de detectar y avisar de manera oportuna las minas encontradas.

De acuerdo con los objetivos de la investigación, los resultados obtenidos permitirán encontrar soluciones concretas a los problemas mencionados anteriormente. Esto ayudará a mejorar significativamente a la búsqueda de minas antipersonales, y se evitará la exposición de personas a un peligro inminente.

Para lograr cumplir los objetivos de estudio, se acudirá al empleo de técnicas de investigación como la revisión de documentación referente al diseño de la estructura óptima para que el prototipo sea el adecuado y pueda desenvolverse en el campo donde tendrá incidencia. Con ello se pretende conocer el grado de la eficiencia estructural del sistema. De la misma manera, se harán estudios del diseño y dimensionamiento de carga para el sistema eléctrico que el dispositivo necesita para un mayor desempeño, así los resultados de la investigación se apoyarán en técnicas de investigación válidas para dicho propósito.

La propuesta está enfocada al desarrollo de un prototipo, el cual podrá moverse en la mayoría de terrenos irregulares mediante un sistema de tracción y llantas a todo terreno. Este prototipo, a más de estar incorporado con un sensor inductivo que se encargará de detectar las minas

antipersonas, estará instalado un sistema FPV o Vista en Primera Persona. Este sistema consiste en una cámara y unas gafas de protección vinculadas mediante radiofrecuencia para tener una visión clara de la trayectoria que va tomando el robot móvil. Se teleoperará a este sistema a través del control RC, que junto con la ayuda del sistema de visión ya mencionado se tendrá un control absoluto del prototipo desde un sitio remoto a una distancia considerable.

El prototipo será construido mediante piezas y soportes diseñados y ensamblados en Fusion 360. A partir de ello, serán impresos en 3D con el material propicio para nuestra aplicación. Se hará uso de varias herramientas de uso industrial como lo es el taladro de banco, torno, CNC, entre otras, las cuales son necesarias para la realización de acoples, ejes, etc. Se adquirirán piezas mecánicas elementales y necesarias para un funcionamiento óptimo del robot.

En lo que corresponde a la parte electrónica, se empleará Easy Eda para el diseño de una PCB en el caso de ser necesaria. Se utilizarán motorreductores para la tracción, una batería de 3 celdas para la alimentación, arduino nano, sensor inductivo, controlador de motor dual, receptor RC, radiocontrol, sistema FPV, y otros más que permitirán desarrollar este proyecto técnico.

En base a los estudios efectuados, la implementación del prototipo tendrá una influencia significativa en la inspección y detección de minas antipersonales, evitando la exposición de seres humanos a situaciones peligrosas, como por ejemplo la mutilación de miembros o incluso pérdidas humanas que es el caso más extremo al cuál no se quiere llegar. Mediante este proyecto técnico se busca, en primera instancia, el desminado de áreas postguerra producto de enfrentamientos bélicos con países vecinos, haciendo que el prototipo impida que una vida humana corra peligro.

Como otro punto importante se tiene que, al implementar el “prototipo teleoperado”, también se ayuda a que los estudiantes involucrados en carreras que tienen bastante relación con la robótica, como la carrera de Electrónica y Automatización, obtengan conocimientos teóricos y a la par desarrollen la práctica mediante la experimentación y pruebas en un prototipo funcional. Con estos conocimientos y prácticas se espera tener como resultado el incremento de habilidades en el área de programación y control de prototipos teleoperados, así como también la familiarización con circuitos electrónicos y piezas mecánicas, utilizadas.

1.2.2.1 Diagramas de bloques y esquemas de prototipo teleoperado.

En el siguiente diagrama, ilustración 1-1, muestra todos los módulos que actúan y conforman parte del robot teleoperado, así como también la relación que tienen entre ellos.

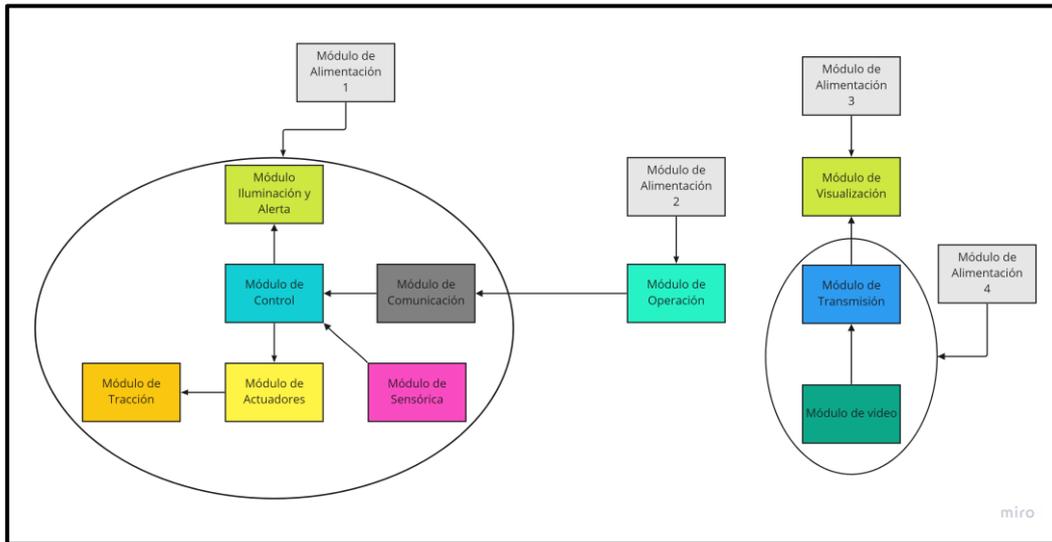


Ilustración 1-1: Diagrama de bloques de la interacción entre módulos para la propuesta del robot móvil.

Realizado por: Lara, Brayan & Ulloa, David, 2022.

Como se visualiza en la ilustración 2-1, se puede tener una idea mucho más clara de lo que se quiere diseñar e implementar, contando con actuadores, controladores, sensores, baterías, alarmas, entre otras piezas.

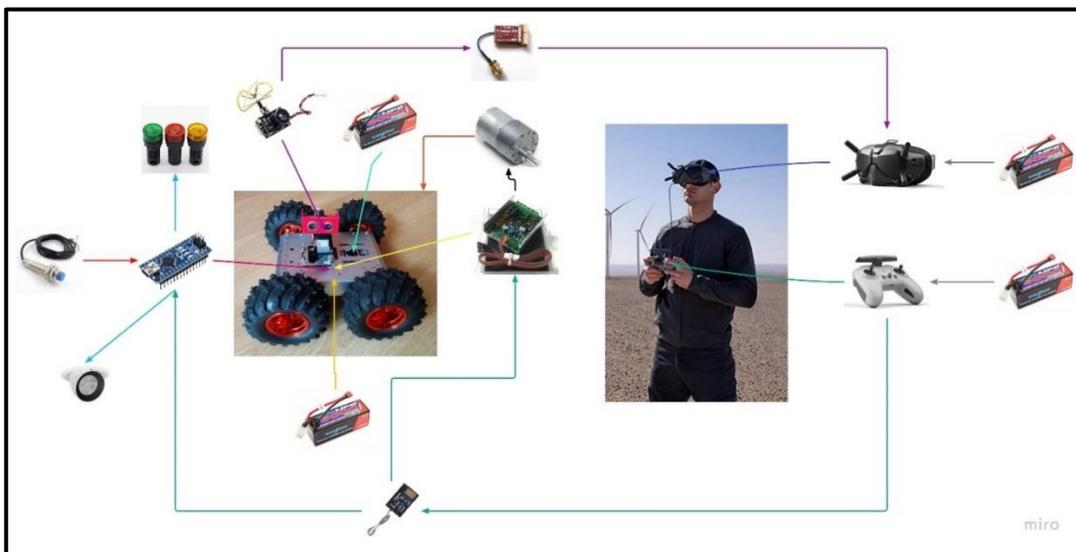


Ilustración 2-1: Diagrama de conexiones e interacción entre los componentes para la propuesta del robot móvil.

Realizado por: Lara, Brayan & Ulloa, David, 2022.

En la ilustración 3-1, se describe gráficamente la función que cumple el robot móvil. Desde un sitio remoto seguro se realizará el manejo del robot dentro de un área delimitada. Una vez

detectada la mina, el arduino activará una alarma visual y a su vez enviará una señal al controlador de motores para activar un sistema de paro de emergencia permitiendo frenar por completo los motores del robot, una vez pasados 3 segundos el robot se podrá manipular nuevamente con normalidad.

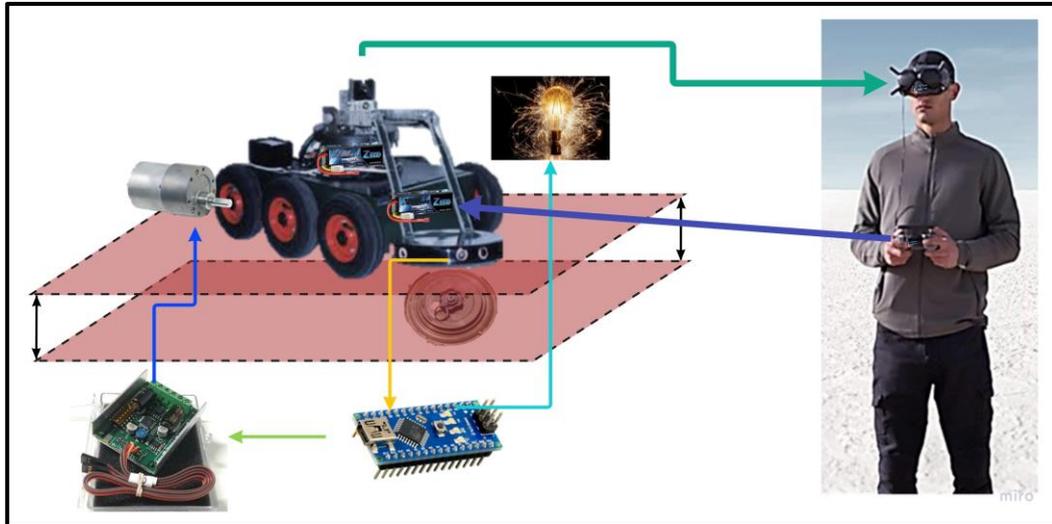


Ilustración 3-1: Esquema de operación del robot en campo.

Realizado por: Lara, Brayan & Ulloa, David, 2022.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Diseñar e implementar un robot teleoperado para la búsqueda y detección de minas antipersonales.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Estudiar y definir los requerimientos de uso y parámetros de operación necesarios para cada uno de los sistemas o unidades funcionales que compondrán el robot teleoperado para la búsqueda y detección de minas antipersonales.
- Diseñar los sistemas mecánicos, eléctricos y electrónicos que compondrán el robot teleoperado para que sea capaz de cumplir con los requerimientos de uso y parámetros de operación planteados y que pueda cumplir con tareas de búsqueda y detección de minas antipersonales

- Construir el sistema mecánico, eléctrico y electrónico del robot teleoperado a partir del diseño realizado, utilizando materiales que garanticen un funcionamiento adecuado y fiable durante actividades de búsqueda y detección de minas antipersonales.
- Desarrollar algoritmos que permitan un adecuado control del robot teleoperado y que sean compatibles con las plataformas de procesamiento integradas durante la fase de diseño y construcción.
- Evaluar el desempeño del robot teleoperado en cuanto a fidelidad en el seguimiento de órdenes, libertad de movimiento y tasa de detección de minas antipersonales mediante pruebas de funcionamiento en ambientes controlados.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

Este capítulo se enfoca en definir conceptos importantes relacionados con la investigación de minas antipersonales, incluyendo su localización y composición. Estas definiciones son fundamentales para entender a fondo la problemática que aborda este proyecto. Además, se exploran soluciones para abordar esta problemática, como el uso de robots móviles con capacidad de teleoperación, que permiten el control y monitoreo en tiempo real, así como la búsqueda de minas antipersonales. Finalmente, se revisan los *softwares* que se utilizarán para el diseño del prototipo, lo que brinda una mejor visión del proyecto en su conjunto.

2.1 Minas Antipersonales

2.1.1 Definición

Conforme a la UNICEF (2005), las minas antipersonales son dispositivos explosivos colocados debajo, sobre o cerca de la superficie del terreno, que se activan mediante la presencia, proximidad, contacto o presión de un cuerpo. Estas trampas suelen estar contenidas en recipientes hechos de materiales como metal, plástico o madera. El objetivo de las minas antipersonales es incapacitar, herir o matar a una o varias personas. Es importante tener en cuenta que, a menudo, las minas antipersonales permanecen activas durante décadas después de ser colocadas, lo que las convierte en una amenaza persistente para las comunidades y para los civiles.

De acuerdo a la convención sobre la prohibición de minas antipersonales (1996), se entiende como mina antipersonal a toda mina que explote ya sea por la presencia o la proximidad o por el contacto de una persona, en la que se le incapacite, se la hiera o se le quite la vida de ese ser humano. No se considera minas antipersonales a aquellas minas que son diseñadas para que se detone por la presencia o por la proximidad o por el contacto de un vehículo (no de un ser humano), y que estén dotadas de un dispositivo anti-manipulación.

Cauderay (1993) describe a las minas antipersonales como aquellos artefactos que nunca yerra el blanco, que sabe atacar a ciegas, que no lleva armas abiertamente y que puede provocar víctimas mucho tiempo después de que se haya cesado las hostilidades. Cauderay cree que estos artefactos son el mayor violador del derecho internacional humanitario. Dentro del estado del arte se puede encontrar a Cervell (1999), quien demuestra que las minas antipersonales empezaron a proliferar en la segunda guerra mundial. Para 1999, ya se había empleado 110 millones en 64 países del

planeta. La razón de su utilización es por su módico precio y por la facilidad de su empleo. Los diferentes estudios calculan que las minas antipersonales aproximadamente causan 800 muertes al mes.

2.1.2 Tipos de minas antipersonales

2.1.2.1 Minas de onda explosiva

Las minas de onda explosiva es la más común y una de las más usadas debido a bajo costo. En base a la UNMAS (2015), se puede afirmar que este tipo de minas están diseñadas para que se detone por la presión ejercida al entrar en contacto físico con la mina o generalmente al ser pisada. Estas minas suelen ser pequeñas con apenas unos gramos de explosivos, cuyo objetivo es producir lesiones graves o amputaciones de uno o más miembro a la persona. En la ilustración 1-2 se puede apreciar el efecto de esta mina antipersonal.



Ilustración 1-2: Efecto de la mina explosiva.

Fuente: (el Comercio 2018)

Realizado por: Raúl Rodríguez 2018

2.1.2.2 Minas de rebote o saltadoras

Otro tipo de minas son las de rebote o saltadoras. Domingo y San Martín (1997) indican que estas minas están diseñadas para causar efectos más graves, afectando así a más partes del cuerpo (genitales, cabeza, miembros). Las minas de rebote o saltadoras cuentan con un dispositivo especial que activa una carga de propulsión que impulsa la mina a una altura de 0.45 a 3 metros, donde explota dispersando miles de fragmentos de metralla. El radio de acción de este tipo de

minas supera los 50 metros, llegando a afectar a personas que se encuentran a 500 metros. En la ilustración 2-2 se puede observar el efecto de esta mina antipersonal.

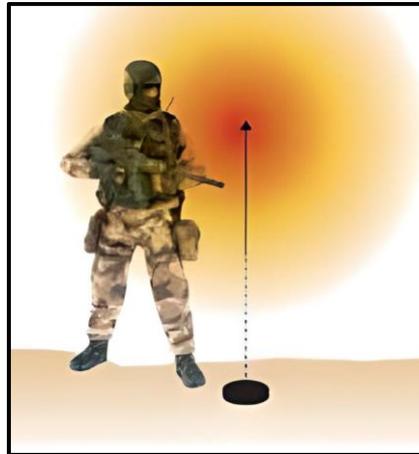


Ilustración 2-2: Efecto de la mina de rebote.

Fuente: (el Comercio 2018)

Realizado por: Rodríguez, Raúl, 2018.

2.1.2.3 Minas de fragmentación

Las minas de fragmentación están destinadas a provocar la muerte de una o varias personas. Este tipo de minas están constituidas por una carga explosiva dentro de una envoltura metálica o plástica, en la que se encuentran esferas diminutas de acero o fragmentos metálicos. Estas esferas diminutas salen disparadas a altas velocidades al ser accionada de la misma manera que las minas explosivas o por medio de dispositivos electrónicos, ocasionando daño en un radio de 40 a 50 metros de distancia (Cauderay 1993). En la siguiente imagen (ilustración 3-2) se puede dar un vistazo al efecto de esta mina antipersonal.



Ilustración 3-2: Efecto de la mina de fragmentación.

Fuente: (el Comercio 2018)

Realizado por: Rodríguez, Raúl, 2018.

2.1.3 Localización de minas antipersonales

Swisspeace y el Centro internacional de desminado humanitario de Ginebra (2016) señalan que son extensos y duraderos las consecuencias humanitarias por la existencia de minas antipersonas y por los explosivos de guerra (ERW). Todo esto trae a colación el hecho de que es importante abordar estos temas en las negociaciones entre las partes implicadas dentro de los acuerdos de cese al fuego y dentro de los acuerdos de paz. No obstante, es poco explorado en la práctica como en la teoría el tema del vínculo entre la acción contra las minas (se la conoce también como desminado humanitario) y la mediación de paz. Asimismo, la literatura indica que todo esto está relacionado a la política. El enfoque humanitario que caracteriza a los actores de la acción contra las minas en el terreno puede provocar tensiones por el deseo de distanciarse de los compromisos políticos en general.

Justamente por estos problemas políticos, la UNICEF (2005) ha generado las normas internacionales de ERM dentro del marco de las Normas Internacionales para las actividades relativas a las Minas (IMAS). Todos los campos de minas deberían ser limpiados colectivamente por los implicados en el conflicto una vez finalizado, pero realmente esta no es la práctica habitual debido al elevado coste del desminado y la inexistencia de los planos de localización de las minas. Para poder resolver este problema, el primer paso es determinar el campo minado, y si es posible identificarlas (Domingo, & San Martín 1997).

Por un lado, Domingo y San Martín (1997) indican que las fuerzas militares se dedican tan solo a despejar el 10% de la zona afectada. Posterior a esto, permiten el paso de vehículos y personas

en un momento determinado para poder tener una actividad normal de la población civil. En algunos casos, tan solo se ha podido marcar la localización de algunos campos de minas por medio de vallas, alambradas y señales de peligro para evitar que las personas se adentren en ellos. Por otra parte, Hidalgo (2014) comprueba que la situación de las minas antipersonal y los restos explosivos abandonados se agrava con el tiempo cuando se pierde el control de la localización de estas minas. Existen varias razones para la pérdida de las locaciones como por ejemplo las lluvias torrenciales, las cuales pueden mover las minas enterradas haciendo que éstas queden deslocalizadas (esto ocurrió en la frontera entre Chile y Perú en el 2012). Otro ejemplo son las inundaciones que pueden desenterrar estas armas (como lo ocurrido en Bosnia en el 2014, minas que fueron colocadas durante la guerra de los Balcanes entre 1992 a 1995).

El desminado es un trabajo muy laborioso e implica un alto coste de dinero y vidas humanas. Se calcula como promedio que muere una persona por cada 5000 minas retiradas. Destruir una mina cuesta entre 300 y 1000 dólares, dicho de otra forma, de 100 a 300 veces el precio de su fabricación. En el caso del sondeo manual, la media de limpieza es de 20 a 50 metros cuadrados por persona al día (Domingo, & San Martín 1997).

2.1.3.1 Parametrización y segmentación

Consiste en designar y parametrizar un área delimitada de terreno la cual está contaminada de minas antipersonales y material explosivo. Una vez hecho esto, se secciona el área por cuadrantes en los cuales se inspecciona de manera cautelosa y se procede a la búsqueda y detección de minas con las precauciones y protecciones necesarias.

2.1.3.2 Métodos para detección de minas antipersonales

Domingo y San Martín (1997) confirman que, por un lado, los métodos utilizados para limpiar los campos minados son todavía rudimentarios como detectores de metales y varitas que se introducen en la arena para intentar detectarlas. Por otra parte, se utilizan también perros adiestrados, el cual es ponerles en peligro. Se han intentado mejorar los detectores de metales con el fin de que sean capaces de percibir el mínimo contenido metálico de las minas de plástico.

En la actualidad se están investigando otros métodos como robots, sistemas infrarrojos o microondas. Sin embargo, es importante mencionar que todavía está en fase de experimentación con escasos resultados. Es importante hacer hincapié que todo este proceso supone un coste muy elevado al que muchos países no pueden acceder (Domingo, & San Martín 1997).

- **Detectores de metales**

Rosengard et al. (2001) definen a los detectores de metales como aquellos instrumentos que encuentran objetos que contienen metales mediante un campo electromagnético de tiempo variable para introducir corrientes de Foucault en el objeto. Estos instrumentos detectan a su vez campos magnéticos existentes. Sin embargo, estos solo detectan anomalías en el terreno mas no la existencia de un agente explosivo.

De acuerdo a las investigaciones de Rosengard et al. (2001), hay que tener en cuenta que las minas terrestres antiguas si contienen metales, pero las minas terrestres modernas no contienen metal alguno o tienen en cantidades muy pequeñas. Por esta razón se ha aumentado la sensibilidad de los detectores para percibir metales más pequeños, lo que lo hace también sensible a la chatarra aladaña al lugar.

- **Animales adiestrados**

Uno de los inconvenientes en el desminado humanitario es poder distinguir entre una “falsa mina” y una mina terrestre. Resulta costoso y toma bastante tiempo la identificación y eliminación de objetos inofensivos. Por esta razón, Rosengard et al. (2001) indican que en algunas ocasiones se suelen usar perros adiestrados, ya que poseen un olfato sumamente desarrollado y pueden detectar explosivos en cantidades ínfimas.

La técnica del entrenamiento de los perros requiere de un elevado tiempo y de una alta capacitación de sus entrenadores. Por otra parte, el período de atención limitado al perro dificulta el mantenimiento de operaciones continuas” (Rosengard et al. 2001).

- **Rastreadores químicos**

Se utilizan rastreadores químicos electrónicos que imitan a los sentidos naturales del perro. Sin embargo, la mayoría de las veces los campos minados se encuentran saturados de vapores de explosivos detonados, lo que dificulta el uso de técnicas de rastreo para la detección de minas (Rosengard et al. 2001).

- **Nuevas tecnologías**

Rosengard et al. (2001) indican que existen nuevas técnicas de detección de minas que complementan los métodos actuales, como por ejemplo el radar de penetración subterránea, la termografía de rayos de infrarrojos y los detectores de metales avanzados.

El análisis por irradiación neutrónica es uno de los pocos métodos disponibles para la caracterización elemental de objetos ocultos. La mayoría de las técnicas neutrónicas de detección de explosivos en grandes cantidades se basan en la detección de rayos gamma característicos que emiten los núcleos excitados. La medición de las energías y las intensidades de los rayos gamma permite determinar la composición elemental del objeto interrogado (Rosengard et al. 2001).

2.2 Robots Móviles

2.2.1 Definición

Arnáez (2015) define al robot móvil como todo aquel robot que contenga lo necesario para su pilotaje y movimiento, mediante un sistema de potencia, control y navegación. Los robots móviles poseen gran capacidad de desplazamiento. Pueden moverse de forma teledirigida o también autónomamente mediante la recepción de información de su entorno a través de sus sensores.

2.2.2 Robot Teleoperado

Los robots teleoperados son sistemas robóticos que son controlados a distancia por un operador humano. Estos robots se utilizan en una variedad de aplicaciones, como la exploración espacial, la minería submarina, la inspección de líneas de transmisión y la limpieza de desastres. A diferencia de los robots autónomos, que pueden tomar decisiones y realizar tareas sin intervención humana, los robots teleoperados requieren la supervisión constante de un operador. Sin embargo, esto permite una mayor precisión y precaución en aplicaciones críticas o peligrosas (Ollero Baturone 2001).

Los robots teleoperados también son utilizados en aplicaciones médicas para permitir una mayor precisión y alcance para el personal médico, como por ejemplo las cirugías robóticas y terapias físicas. En resumen, los robots teleoperados son una herramienta valiosa para realizar tareas difíciles o peligrosas de manera segura y precisa, mejorando la eficiencia y la productividad en una variedad de industrias (Ollero Baturone 2001).

2.2.3 Robot Móvil Autónomo

Los robots móviles autónomos son sistemas robóticos que pueden desplazarse de manera independiente sin intervención humana. Estos robots son capaces de navegar en un entorno desconocido utilizando una variedad de sensores y algoritmos de navegación, lo que les permite evitar obstáculos y tomar decisiones en tiempo real. Los robots móviles autónomos se utilizan en una variedad de aplicaciones, como la exploración espacial, la minería, la agricultura, la logística y la limpieza de desastres (Ollero Baturone 2001).

Los robots móviles autónomos también son utilizados en aplicaciones de vigilancia y seguridad, como la vigilancia de edificios y la detección de intrusos. Los robots móviles autónomos son una herramienta valiosa para realizar tareas peligrosas o difíciles de manera eficiente y segura, ya que no requieren supervisión constante y pueden operar en entornos hostiles o remotos (Ollero Baturone 2001).

2.2.4 Configuraciones de los robots móviles con ruedas

Se emplean sistemas de locomoción basados en ruedas en robots móviles que les dota de características y propiedades diferentes en cuanto a la eficiencia energética, dimensiones, cargas útiles y maniobrabilidad (Ollero Baturone 2001). Se describirán adelante brevemente las características más significativas de los sistemas de locomoción más utilizados en robots móviles.

2.2.4.1 Configuración Diferencial

La configuración diferencial consta de dos ruedas ubicadas lateralmente opuestas entre sí, que proporcionan direccionamiento y tracción al robot debido a la propulsión y control independiente de cada una de ellas. Dispone también de ruedas “locas”, las cuales giran libremente y dotan de estabilidad al robot, pero la presencia de estas puede ocasionar obstrucciones (Baño Azcón 2003). En la ilustración 4-2 aprecia de mejor manera de cómo es en realidad la configuración diferencial de este robot.

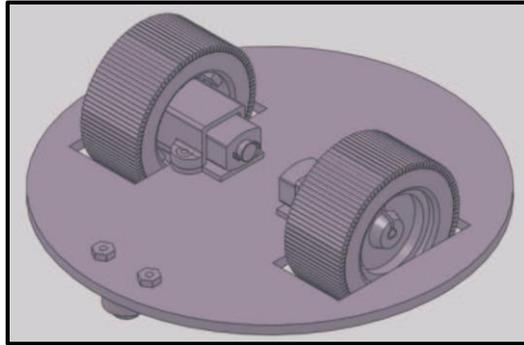


Ilustración 4-2: Robot Diferencial.

Fuente: (Villaseñor Carrillo Ubaldo Geovanni et al. 2009)

2.2.4.2 Configuración Triciclo

La configuración triciclo es un sistema de locomoción basado en tres ruedas; la delantera tiene el propósito tanto de direccionamiento como de tracción, mientras que las dos ruedas ubicadas en el eje trasero son de diseño pasivo y se mueven libremente, tal como se muestra en la ilustración 5-2. Poseen mayor maniobrabilidad, pero pueden presentar problemas de estabilidad en terrenos irregulares (Ollero Baturone 2001).



Ilustración 5-2: Robot Triciclo.

Fuente: (RobotShop 2023)

2.2.4.3 Configuración Ackerman

La configuración Ackerman es empleado en vehículos habituales con cuatro ruedas. Estos vehículos robóticos nacen de la modificación de automóviles o incluso de vehículos más pesados. El sistema se basa en la tracción de las dos ruedas traseras, mientras que las delanteras sirven para dar el direccionamiento y seguir la trayectoria de robot (Ollero Baturone 2001). En la ilustración 6-2 se puede visualizar de mejor manera la configuración Ackerman.



Ilustración 6-2: Robot Ackerman.

Fuente: (Bañó Azcón 2003)

2.2.4.4 Configuración Síncrona

La configuración síncrona se basa en el accionamiento de todas las ruedas de manera simultánea, que giran de manera síncrona. Normalmente poseen tres ruedas directrices montadas y acopladas en los vértices de un triángulo equilátero. Se logra la transmisión mediante un sistema de engranes o correas concéntricas (Ollero Baturone 2001). Uno de estos robots se lo puede ver en la ilustración 7-2.



Ilustración 7-2: Robot Síncrono.

Fuente: (Bañó Azcón 2003)

2.2.4.5 Configuración Omnidireccional

La configuración omnidireccional es el sistema de tracción que cuenta con tres o cuatro ruedas directrices y motrices, lo que permite realizar cualquier tipo de movimiento y posicionarse en cualquier posición y orientación. Se suelen utilizar ruedas especiales como las “ruedas suecas”, que posibilitan un movimiento omnidireccional (Baño Azcón 2003). Un ejemplar de estos se lo visualizar en la ilustración 8-2.

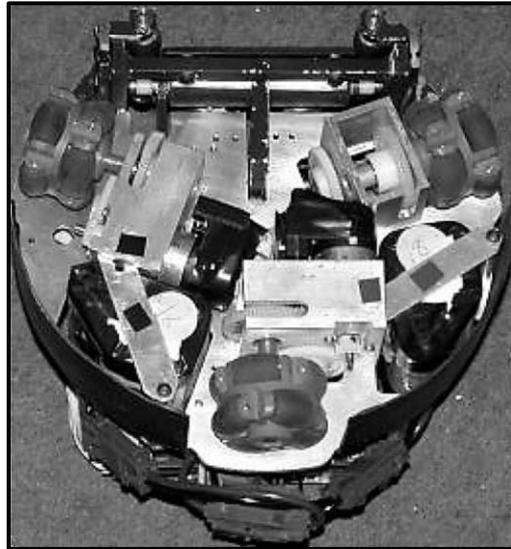


Ilustración 8-2: Robot Omnidireccional.

Fuente: (Baño Azcón 2003)

2.2.4.6 Configuración de pista de deslizamiento

La configuración de pista de deslizamiento se caracteriza por tener pistas de deslizamiento (orugas) que hacen las veces de ruedas tal como se muestra en la ilustración 9-2. Las pistas de deslizamiento impulsan y direccionan al robot. Este tipo de locomoción es útil para la navegación o en terrenos irregulares en los cuales presenta buen rendimiento, al no ser un problema el deslizamiento y el desgaste (Ollero Baturone 2001).

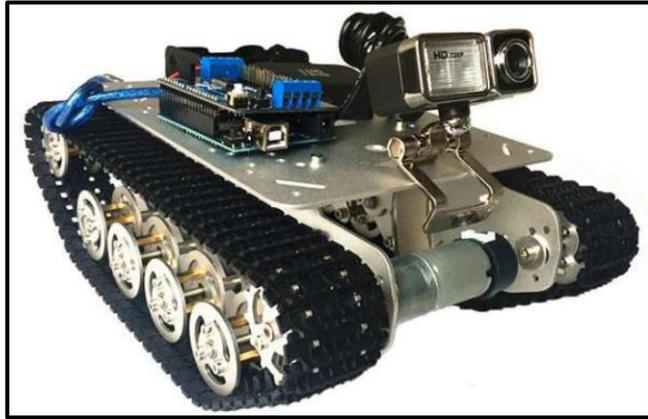


Ilustración 9-2: Robot Oruga.

Fuente: (Novatronic 2020)

2.3 Sistema de Alimentación Eléctrica

2.3.1 *Batería de polímero de litio*

Las baterías de polímero de litio son más conocidas como baterías LiPo. Las baterías LiPo se diferencian del resto por usar un polímero sólido como electrolito, el cual ofrece ventajas de fabricación como la posibilidad de fabricar baterías muy finas de hasta 1 mm de grosor (Martínez Bertran 2017).

Las baterías de polímero de litio se caracterizan por tener alta densidad de energía, poco peso y poca conductividad debido a su alta resistencia interna, por ende, baja capacidad de carga/descarga. Por otra parte, aumenta su temperatura hasta cerca de los 60 grados, lo que se soluciona al añadir un gel al electrolito como refrigerante (Martínez Bertran 2017). Una batería de este tipo se la puede visualizar en la ilustración 10-2.



Ilustración 10-2: Batería de Polímero de Litio.

Fuente: (Spektrum 2023)

2.3.2 *Batería de níquel-cadmio*

Las baterías de níquel-cadmio utilizan un cátodo de hidróxido de níquel, un ánodo de cadmio y un electrolito de potasio. La configuración de sus materiales hace factible su reutilización, permitiendo la recarga de la batería una vez agotada (Martínez Bertran 2017). Como se visualiza en la ilustración 11-2, se encuentran varias baterías de níquel-cadmio (NiCd) de la marca Panasonic.

Según Martínez Bertran (2017), las baterías de níquel-cadmio se caracterizan por no tener alta capacidad de energía, su densidad es tan solo de 50 Wh/kg, sin embargo, admiten sobrecargas y no se dañan al seguir cargándose una vez su carga ha finalizado. También poseen una vida cíclica larga superior a los 1500 ciclos, y son altamente contaminantes debido a su composición de cadmio.



Ilustración 11-2: Baterías de Níquel-Cadmio.

Fuente: (Panasonic 2023)

2.3.3 *Baterías de zinc-carbono*

Las baterías de zinc-carbono utilizan un ánodo de zinc, un cátodo de dióxido de manganeso (MnO_2) y un electrolito de cloruro de amonio o cloruro de zinc disuelto en agua. El carbón (negro de acetileno) se mezcla con el dióxido de manganeso para mejorar la conductividad y retener la humedad. Se utiliza un electrodo de grafito, ya que el MnO_2 es un mal conductor de la electricidad (Restrepo Tobón 2021).

Estas baterías contienen, por lo general, un voltaje nominal de 1.5 V. Se encuentran en diferentes tamaños, formas estandarizadas por lo general cilíndricas como se muestran en la ilustración 12-2. Son muy utilizadas y sirven para alimentar dispositivos eléctricos y electrónicos portátiles (Restrepo Tobón 2021).



Ilustración 12-2: Baterías de zinc-carbono

Fuente: (Truper 2021)

2.4 Sistemas de control, detección y locomoción.

2.4.1 Motores DC

Un motor de corriente directa (Motores DC) es una máquina que convierte la energía eléctrica en energía mecánica. La conversión es a través del uso del campo magnético que estos producen por la fuerza electromotriz a la cual esta enlazada, que permite el movimiento giratorio del rotor con respecto al estator (Chapman 2012).

2.4.1.1 Relación mecánica

La relación mecánica es un término mecánico el cual hace referencia a la relación de velocidad y torque o fuerza con la cual un motor eléctrico DC puede generar en base al giro del estator con respecto a la salida del eje del motor. Esta relación puede ser configurada por trenes de engranes, la cual es una de las formas mecánicas más antiguas de transmisión de movimiento. Según la configuración de estos se puede ganar velocidad, pero perder fuerza, o ganar fuerza y perder velocidad, esto se da a la salida del motor eléctrico (Brito et al. 2012; Norton 2009).

Los fabricantes de motores actualmente detallan la relación mecánica en su hoja de datos y especificaciones, lo cual es importante observar, dado que en base a esas características se debe seleccionar el motor el cual se va a hacer uso en el proyecto.

2.4.1.2 Consumo

Dentro de los sistemas eléctricos, el consumo es una característica importante, ya que permitirá conocer cuanta energía eléctrica consumirá el sistema al cual se le esté aplicando una fuente de alimentación. Los motores son fabricados con características específicas dadas por los fabricantes, para lo cual se realiza una revisión en su hoja de datos o datasheet, donde proporcionara el voltaje de funcionamiento y la corriente máxima a plena carga, que son datos necesarios para obtener el consumo energético que estos realizan, y poder dimensionar una fuente de alimentación adecuada para la distribución de energía.

2.4.1.3 Dimensionamiento

El dimensionamiento de motores viene dado por fuerza que estos proporcionen para el que el objeto que va a posicionarse de un lugar a otro tenga una velocidad y una aceleración. Esto, físicamente hablando se lo llama romper la inercia, y se da cuando se aplica una fuerza la cual permite mover una masa con un cambio de velocidad. Lo descrito anteriormente se sustenta en la primera y segunda ley de Newton que describe el reposo y el movimiento de los cuerpos cuando se les aplica una fuerza a una masa, sabiendo que la masa es la propiedad de los objetos que especifica cuanta resistencia muestra para cambiar de velocidad (Serway, Jewett, & Víctor Campos Olgún 2008).

Por lo tanto, el dimensionamiento de los motores se lo puede hacer mediante cálculos físicos, los cuales permitirán obtener la fuerza específica con la cual los motores deben girar su eje para que se obtenga un movimiento lineal, capaz de mover la masa del objeto a la cual va a estar interactuando. Estos cálculos se los realiza a través de las leyes de Newton, en específico la primera y segunda ley, la cual permitirá obtener cálculos numéricos específicos para la selección de motores eléctricos.

2.4.2 Tarjetas controladoras de motores DC

2.4.2.1 Definición

Las tarjetas controladoras de motores DC son tarjetas de control y potencia, que permiten tener un control de velocidad de giro de motores a través de puente h. Estos pueden soportar desde bajos amperajes a altos amperajes, depende de que componentes esté utilizando el puente h. En este caso pueden ser, por un lado, los transistores BJT, los cuales no soportan altas corrientes y se pueden destruir fácilmente. Por otra parte, también pueden ser los transistores MOSFET, los cuales pueden soportar altas corrientes, estos transistores pueden ser controlados por PWM, donde entraría el control que realiza, en este caso, un microcontrolador, que genera una señal de PWM

que depende de la señal de mando a la cual este conectada la placa. Estos pueden ser un microcontrolador programado o un módulo de recepción o receptor de un radio control (Hart 2001).

2.4.2.2 Sabertooth

Sabertooth 2X12 R/C es un controlador de motor dual optimizado específicamente para su uso en vehículos controlados por radio. Es adecuado para robots, coches y barcos de potencia media. Fuera de la caja, puede alimentar dos motores DC con escobillas de hasta 12 A cada uno. Se pueden alcanzar corrientes máximas de 25 A durante unos segundos (Dimension Engineering 2022).

2.4.2.3 Scorpion mini

La tarjeta Scorpion mini es un pequeño controlador de velocidad de puente H de doble canal de alto rendimiento y de bajo costo para robots pequeños y otras cargas eléctricas. Está diseñado para robots de pequeña escala. También es adecuado para accionar válvulas neumáticas, solenoides, relés entre otros. Su voltaje de operación va desde los 6V hasta los 28V con un amperaje continuo de 6.5 A y 8 A pico por cada canal. Contiene un circuito de alimentación de 100mA a 5V para conectar algún receptor de radio control u otro circuito de bajo consumo (Robot Power 2022).

2.4.2.4 RoboClaw

El RoboClaw es un controlador de motor inteligente de alto rendimiento diseñado para controlar motores de CC de escobillas dobles. Se puede controlar desde USB, radio RC, PWM, serial TTL, analógico y microcontroladores. También admite como Arduino o Raspberry Pi. RoboClaw admite automáticamente niveles lógicos de 3.3 V o 5 V. interruptores de final de carrera, interruptores de inicio, interruptores de paro de emergencia, fuentes de alimentación, sistemas de frenado y contactores (Basicmicro 2020).

2.4.3 *Sensor detector de metales*

Un detector de metales no es nada más que un instrumento que a través de pulsos electromagnéticos es capaz de descubrir un metal, el cual está oculto a la vista del ojo humano. El sensor detector de metales proyecta la onda electromagnética hacia el lugar donde se realiza la búsqueda, la cual detecta cuando ésta recibe la señal retransmitida por el objeto metálico a la cual llegó la señal electromagnética (Orcrom S.A 2020).

2.4.4 Sistema de alerta auditiva y visual

El sistema de alerta auditiva y visual permite emitir tanto señales auditivas como visuales mediante la activación de bocinas, luces o cualquier dispositivo que permita realizar estas señales. El objetivo de este sistema es alertar de algún problema o situación dentro de un entorno o ambiente en la cual estén interactuando estas.

2.4.5 Tarjetas de desarrollo

2.4.5.1 Definición

Una tarjeta de desarrollo no es nada más que un circuito electrónico en el cual su principal componente es un microcontrolador, la cual contiene puertos, conectores y reguladores. La finalidad de las tarjetas de desarrollo es permitir a los usuarios el acceso fácil y rápido a los periféricos para realizar pruebas de prototipado (Castro, & Rodríguez 2011).

Las tarjetas de desarrollo tienen como finalidad la búsqueda de diseños de sistemas reales, con un fortalecimiento en la programación de tal que se integren los conocimientos de electrónica, electricidad, entre otros, con la praxis a través de dispositivos que están diseñados para actividades académicas (Castro, Rodríguez 2011).

2.4.5.2 Arduino

Arduino diseña, fábrica y admite dispositivos electrónicos y *software*, lo que permite a las personas acceder de forma sencilla a tecnologías avanzadas que interactúan con el mundo físico. A lo largo del tiempo ha lanzado más de 100 productos de *hardware*: placas, protectores, soportes, kits y otros accesorios. Existen varias placas para distintas aplicaciones, pero la más pequeña es el Arduino Nano que sirve para elaborar proyectos, es completa y compatible con placas de prueba basada en ATmega328 (Arduino 2022).

El Arduino Nano se puede alimentar a través de USB Mini-B, una fuente de alimentación externa no regulada de 6-20 V (pin 30) o una fuente de alimentación externa regulada de 5 V (pin 27). El ATmega328 tiene 32 KB, utilizando 2 KB para el cargador de arranque. También tiene 2 KB de SRAM y 1 KB de EEPROM (Arduino 2022).

Esta placa posee 14 pines digitales que se pueden utilizar como entradas o salidas mediante las funciones `pinMode()`, `digitalWrite()` y `digitalRead()`. Funcionan a 5 voltios. Cada pin puede

transmitir o recibir un máximo de 40 mA y tiene una resistencia pull-up interna de 20-50 kOhms (Arduino 2022).

2.4.5.3 ESP32

Espressif Systems es una empresa multinacional pública de semiconductores. Espressif Systems se dedican a desarrollar soluciones de IoT de comunicaciones inalámbricas de vanguardia y de bajo consumo. Se enfocan, también, en la creación de chips, módulos y placas de desarrollo ESP8266, ESP32, ESP32-S, ESP32-C y ESP32-H (Espressif 2022).

El ESP32 contiene una unidad de control principal (MCU) rica en funciones, con Wi-Fi integrado y conectividad Bluetooth para una amplia gama de aplicaciones. Posee un diseño robusto para funcionar en ambientes industriales (Espressif 2022).

2.4.5.4 STM32 Bluepill

La bluepill es una placa en base al microcontrolador STM32F103C8T6. La bluepill es un micro de 32 bits con arquitectura ARM núcleo del tipo cortex M3, con una frecuencia máxima de trabajo de 72 MHz, la cual incluye 20KB de memoria RAM y 64KB de memoria flash, 37 GPIOs, 7 timers (3 de 16 bits, 1 PWM para el control de motores, 2 WDT, 1 del sistema), 2 ADC de 12 bits y 16 canales, 3 puertos UART, 2 puertos I2C, 2 puertos SPI, RTC (Tolocka 2022).

2.5 Teleoperación

2.5.1 Definición

La teleoperación es la agrupación de varias tecnologías que engloban la operación o mando a distancia de un dispositivo por un ser humano, extendiendo las capacidades sensoriales y de destreza humanas a un lugar remoto. Es posible operar diversos dispositivos como una válvula, un manipulador, un vehículo submarino o un robot móvil, siendo generalmente un dispositivo de tipo móvil que interaccionará de forma directa con el entorno (Barrientos Cruz et al. 2007).

Es imprescindible mencionar la telepresencia, que es la situación en la cual un ser humano tiene la sensación de percibir el entorno y tener la impresión de encontrarse de manera física en un lugar remoto. Mientras más se realimente al operador las condiciones a las cuales está expuesto el dispositivo en el ambiente como fuerzas de contacto o sonidos, se dice que se tiene mayor grado de telepresencia (Barrientos Cruz et al. 2007).

Un sistema de teleoperación está conformado por el operador, dispositivo teleoperado, dispositivos de control, control y canales de comunicación, dispositivos de realimentación y de sensores (ilustración 13-2).

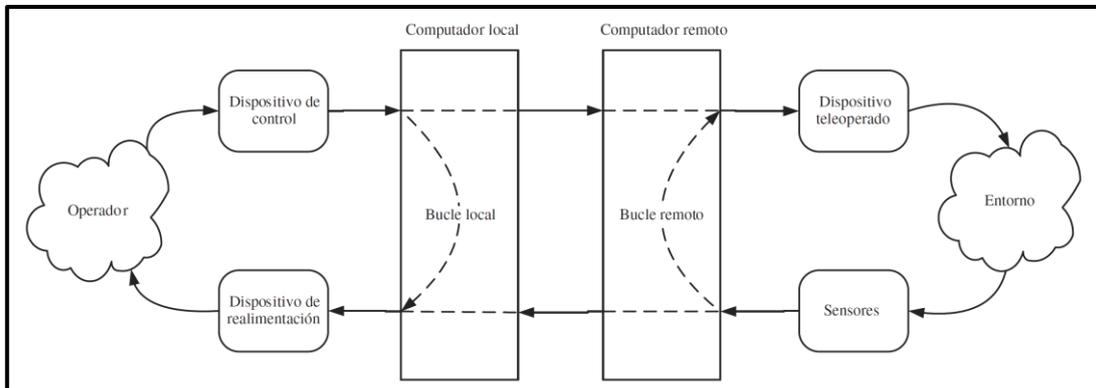


Ilustración 13-2: Elementos básicos de un sistema de teleoperación.

Fuente: (Barrientos Cruz et al. 2007)

2.5.2 Modos de transmisión

2.5.2.1 Comunicación simplex

La comunicación simplex es un modo de comunicación que tiene un flujo de señal entre dos dispositivos enlazados. Esta comunicación es unidireccional, en esta una de las dos estaciones puede transmitir, la otra solo puede recibir la información (Forouzan 2002). En la ilustración 14-2 se puede observar cómo y en qué dirección se da esta comunicación.

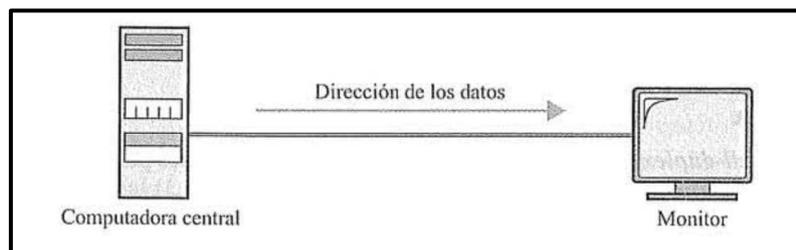


Ilustración 14-2: Ejemplo de comunicación simplex (Una sola vía de comunicación)

Fuente: (Forouzan 2002)

2.5.2.2 Comunicación Halfduplex o Semiduplex

En la comunicación halfduplex o semiduplex los datos pueden ser recibidos o enviados, pero estas no se pueden chocar simultáneamente, es decir, no pueden actuar al mismo tiempo, pueden trabajar un modo a la vez (Forouzan 2002). La comunicación halfduplex se ejemplifica de manera clara en la ilustración 15-2.

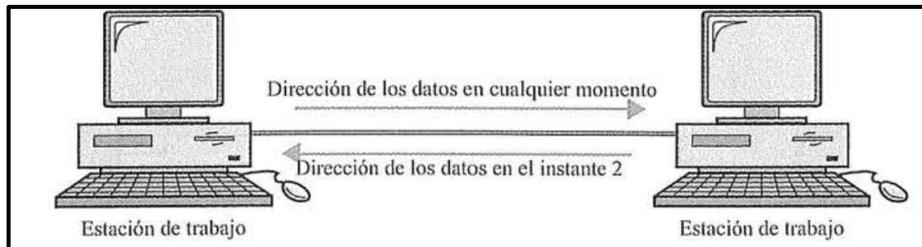


Ilustración 15-2: Ejemplo de comunicación semidúplex

Fuente: (Forouzan 2002)

2.5.2.3 Comunicación Full-Duplex

La comunicación full-duplex permite enviar y recibir datos simultáneamente. Estas comparten la capacidad del enlace, esta partición puede ocurrir de dos formas; por un lado, los caminos de transmisión son físicamente separados, tanto para enviar como para recibir. Por otra parte, se divide la capacidad del canal entre las señales que viajan en direcciones opuestas (Forouzan 2002). Se muestra de mejor manera este tipo de comunicación en la ilustración 16-2.

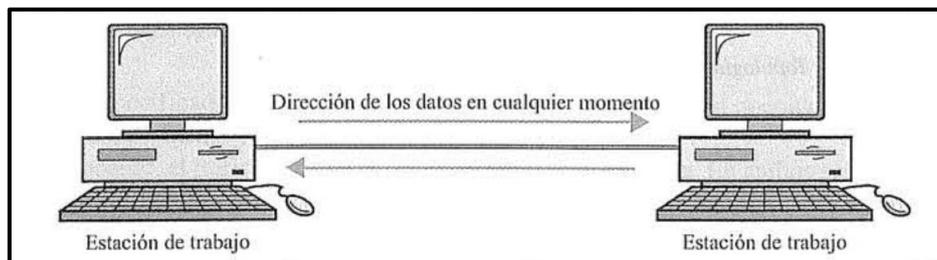


Ilustración 16-2: Ejemplo de comunicación Full-dúplex

Fuente: (Forouzan 2002)

2.5.3 Sistema de visión en teleoperación

Los sistemas de visión en teleoperación permiten obtener información de la zona remota a la cual el sistema está en interacción el dispositivo teleoperado. Estos dispositivos permiten la recepción como la transmisión de información, estos son las cámaras y los visualizadores de video (Ollero 2001).

2.5.3.1 Cámaras

Las cámaras son instrumentos que nos permiten percibir el ambiente en el cual esta interactuando el sistema. Las cámaras envían las imágenes a través de un enlace, puede ser comunicación cableada o comunicación no cableada. El transmisor de video que permite comunicar la salida de imágenes proveniente de la cámara se direcciona a un receptor de video (Ollero 2001). Se visualiza de manera clara en la ilustración 17-2 como son este tipo de cámaras de transmisión.



Ilustración 17-2: Cámaras utilizadas en los sistemas de tele operación o sistemas FPV.

Fuente: (Promotec 2019)

2.5.3.2 Visualizadores de video

Los visualizadores de video son aquellos instrumentos por los cuales la salida de video de la cámara se proyectará en un dispositivo que permita la interpretación de la señal de video. Estos pueden ser monitores de video o visualizadores transparentes, los cuales permitirán transmitir el video tomado desde el lugar del dispositivo en la zona remota (Barrientos 2007). Como se puede estar a la mira en la ilustración 18-2, se presentan unos visores FPV para teleoperación.



Ilustración 18-2: Visualizadores de video para teleoperación.

Fuente:(Amazon 2022a; 2022b)

2.5.4 Radiocontrol

Un radio control, como el que se muestra en la ilustración 19-2, es un dispositivo que permite enviar señales a través de canales de transmisión por medio de radiofrecuencia. En esta parte, un dispositivo llamado receptor interpreta estas señales y permite actuar sobre dispositivos que requieran una señal de mando, como lo son las tarjetas controladoras de motores, servomotores entre otros dispositivos. El radio control y su receptor trabajan en la banda de 2.4 GHz, una frecuencia específica la cual gran parte de los fabricantes de radiocontroles trabajan (British Model Flying Association 2021).



Ilustración 19-2: Radiocontrol con su receptor de señal

Fuente:(Amazon 2022c)

2.6 Software de aplicación

2.6.1 Arduino IDE

El software de aplicación es un software desarrollado por Arduino que permite la programación de las placas de desarrollo Arduino, desarrollado en lenguaje de alto nivel. La programación de los microcontroladores de Arduino es amigable para los usuarios, estos han sido participe del desarrollo de varios proyectos por su calidad de *software* libre, lo que permite desarrollar nuevos proyectos (Arduino 2015). La plantilla base de este *software* se lo puede contemplar en la ilustración 20-2.

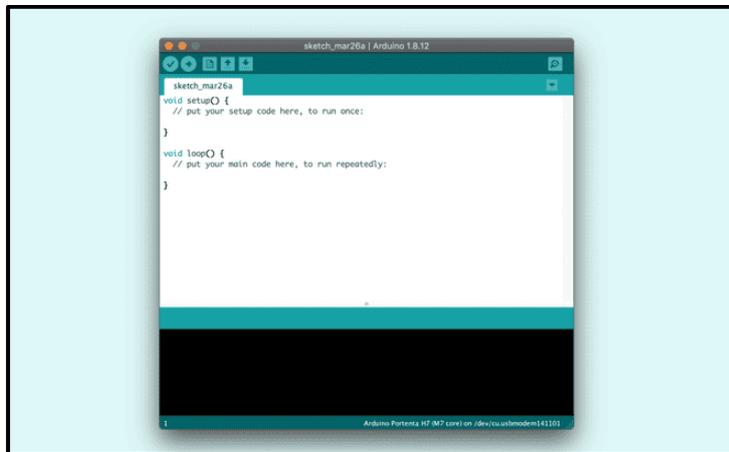


Ilustración 20-2: Arduino IDE interfase de programación.

Fuente:(Arduino 2015)

2.6.2 Fusion 360

Fusion 360 es un *software* de diseño CAD, CAM, CAE y de circuitos impresos de modelado en 3D basada en la nube para el diseño y la manufactura de productos o componentes. La Fusión 360 es un *software* de paga, pero actualmente existen las versiones de prueba y las versiones para estudiantes los cuales ya no requieren un pago (Autodesk 2018). Se puede observar de manera clara el entorno y un ejemplo de un diseño realizado en Fusion 360 en la ilustración 21-2.

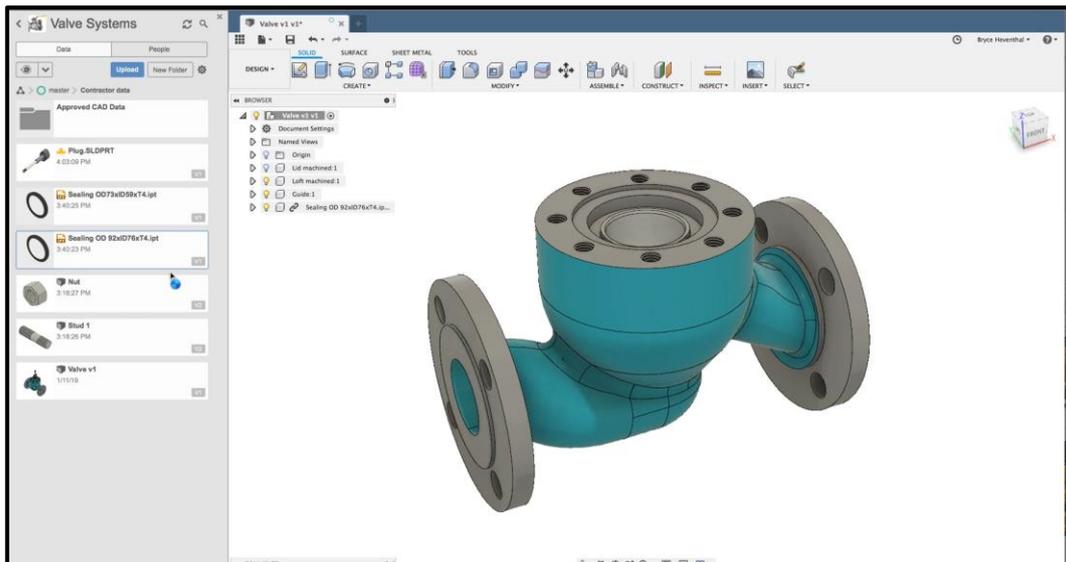


Ilustración 21-2: Interfaz de desarrollo de Fusion 360

Fuente:(Autodesk 2018)

2.6.3 Easyeda

Easyeda es un *software* basado en la nube, de carácter gratuito. Easyeda permite diseñar placas de circuito impreso. Una de las ventajas de este *software* es que se pueden realizar esquemas eléctricos de circuitos de manera profesional, tal como se presenta en la ilustración 22-2. No es un *software* de simulación, es un *software* de diseño eléctrico de circuitos y contiene muchas librerías de componentes eléctricos (EasyEDA 2018).

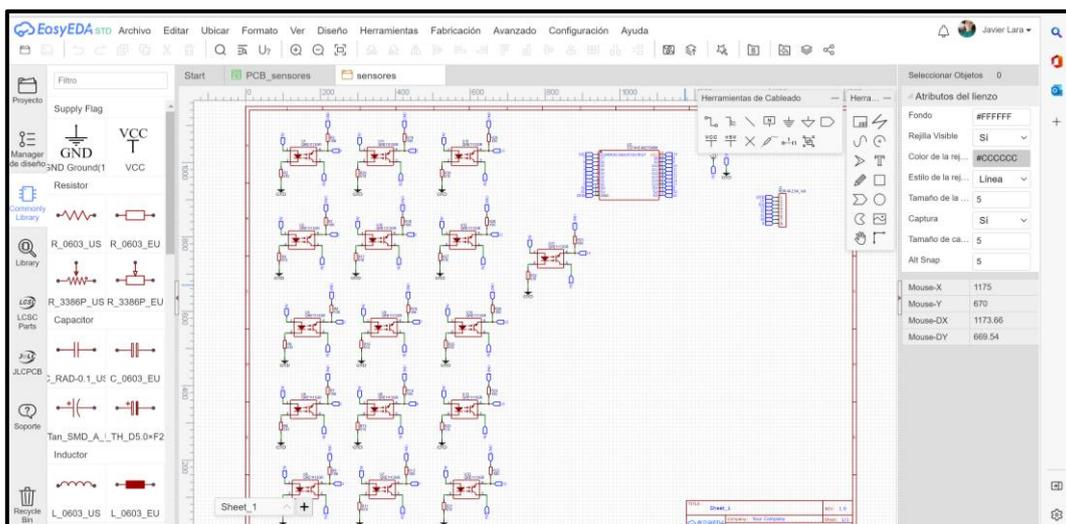


Ilustración 22-2: Ejemplo de diseño de circuito en EasyEDA.

Realizado por: Lara, Brayan & Ulloa, David, 2022.

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

En este capítulo se detalla la concepción general del sistema de detección y alerta de minas antipersonales, se establecen los requerimientos para el diseño, la implementación, se seleccionan los dispositivos electrónicos, los programas utilizados para el diseño mecánico como el diseño eléctrico del prototipo.

3.1 Requerimientos del sistema

Tomando en cuenta el capítulo anterior, en donde se realizó el estudio de los aspectos más importantes para el robot teleoperado, se distinguieron varios requerimientos que serán fundamentales para realizar una adecuada implementación de dicho robot y de todos los componentes que lo engloban. A continuación, serán mencionados estos requerimientos.

- Sistema de tracción capaz de mover el robot y desenvolverse en terrenos irregulares.
- Sensor capaz de detectar objetos metálicos a una distancia prudente al ser calibrado y acondicionado.
- Sistema de visión en primera persona, que consiste en una cámara de transmisión de vídeo y unas gafas FPV que reciben esa información para tener una retroalimentación de la trayectoria del robot.
- Control de seguridad para la detención de actuadores cuando el dispositivo detecte un objeto metálico.
- Contar con alarmas tanto visual como sonora para alertas a personas y animales aledaños al lugar.
- Batería que alimente al robot para operar durante al menos 20 minutos.
- Construir la estructura mecánica con materiales y elementos resistentes y adecuados al ambiente al que va a ser expuesto.

3.2 Consolidación general del prototipo

El robot teleoperado para inspección y detección de minas antipersonales está basado en una configuración diferencial doble. Este robot está compuesto de cuatro ruedas locomotoras con un motorreductor para cada una, controlados a partir de una tarjeta especializada en control de motores DC. Dicho robot posee una cámara de alta fidelidad para transmisión de vídeo en tiempo

real hacia unas gafas FPV para visualizar la trayectoria del robot que a su vez será operado mediante un radiocontrol desde un lugar remoto seguro. En la parte delantera del robot se ubica un sensor capaz de detectar metales de los cuales están formadas las minas, aunque sea en mínima parte. Al ser detectado el objeto metálico se activará un paro de emergencia por un instante para frenar los motores, a la misma vez se activará una alarma visual y sonora que alertará a personas y animales cercanos al sitio de inspección. En la ilustración 1-3 se contempla la consolidación general del prototipo.

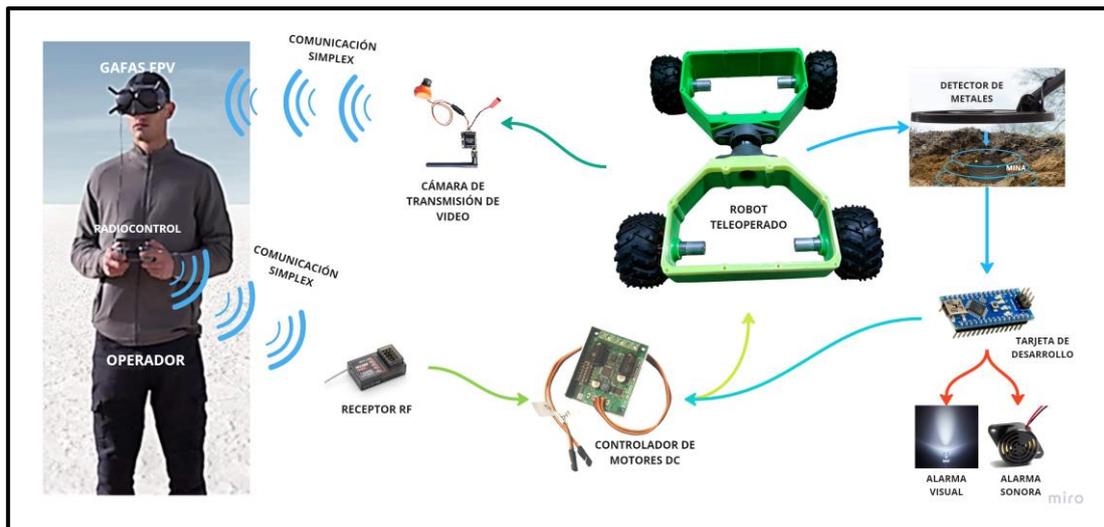


Ilustración 1-3: Consolidación general del prototipo.

Realizado por: Lara, Brayan & Ulloa, David, 2022.

3.3 Arquitectura de *hardware* del prototipo

Como se indica en la ilustración 2-3, se encuentra la *etapa de tracción* que tiene una configuración diferencial doble acoplada mediante dos cojinetes de bloque de almohada. Esta etapa contiene cuatro ruedas con su respectivo motorreductor cada una, comandadas por la *etapa de control*. La etapa de control está compuesta una *sabertooth 2x12* y un radiocontrol RadioLink At9spro. Conjuntamente se encuentra un arduino nano que va a recibir la señal del detector de metales que se ubica en la *etapa de detección y alerta* para realizar un paro de emergencia y activar las alertas tanto sonora como visual que están en la misma etapa. Para que mis componentes se puedan comunicar se halla la *etapa de comunicación*, en la cual se encuentra un receptor de 2.4 GHz que corresponde al radiocontrol y un transmisor de 5.8 GHz que va conectado a la cámara de transmisión de video que está en la *etapa de visualización*, de la misma manera se localizan las gafas de vista de primera persona para poder monitorear la trayectoria por la que el robot teleoperado va a ser conducido. Finalmente se tiene a la *etapa de alimentación*, es la que va a ser la que provea de energía todo el sistema en general.

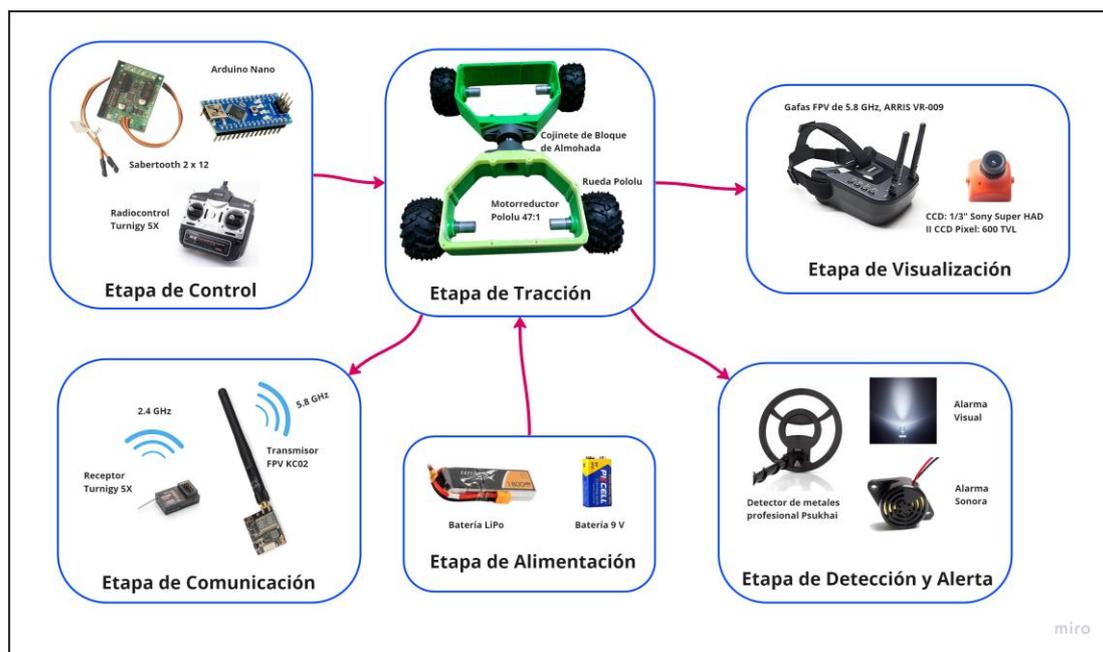


Ilustración 2-3: Arquitectura de *hardware* del prototipo.

Realizado por: Lara, Brayan & Ulloa, David, 2022.

3.4 Diseño de las etapas de *hardware* del prototipo

Ya evaluadas las etapas de la arquitectura de *hardware* se detallarán a continuación cada una de ellas para conseguir una mejor comprensión del funcionamiento del robot teleoperado.

3.4.1 *Etapa de alimentación*

La etapa de alimentación es en la que se encarga de proveer energía suficiente a todos los componentes y dispositivos electrónicos. Se compone de una batería LiPo de alta descarga, la cual se encargará de dar autonomía al prototipo durante al menos 20 minutos.

3.4.2 *Etapa de Tracción*

La etapa de tracción es la etapa locomotora del sistema. Esta etapa es la que va a permitir movilizarse al robot, tal como se muestra de forma clara en la ilustración 3-3. Está compuesta por 4 cuatro motores con una reducción de 47:1, los cuales se incorporan con cuatro ruedas respectivamente a través de acoples que unen los ejes de los motores con el centro de las ruedas mediante prisioneros.



Ilustración 3-3: Diagrama de bloques de la etapa de comunicación.

Realizado por: Lara, Brayan & Ulloa, David, 2022.

3.4.3 Etapa de comunicación

La etapa de comunicación está destinada para realizar la comunicación entre el radiocontrol y la controladora de motores mediante un receptor de radiofrecuencia a 2.4 GHz, así como también el vínculo de la cámara de transmisión de video con las gafas FPV mediante un transmisor de radiofrecuencia a 5.8 GHz. Allí se retroalimentará la información para una óptima operación del robot. En la ilustración 4-3 se visualiza de mejor manera esta etapa.



Ilustración 4-3: Diagrama de bloques de la etapa de comunicación.

Realizado por: Lara, Brayan & Ulloa, David, 2022.

3.4.4 Etapa de Control

En la etapa de control es en la que se gestiona las señales enviadas desde el radiocontrol al receptor mediante la controladora de motores, pudiendo operar a voluntad el robot. También se ocupa de recibir la señal del sensor mediante una entrada digital y enviar otra por una salida digital la cual hará un paro emergente del robot. Se observa esta etapa a manera de bloques en la ilustración 5-3.

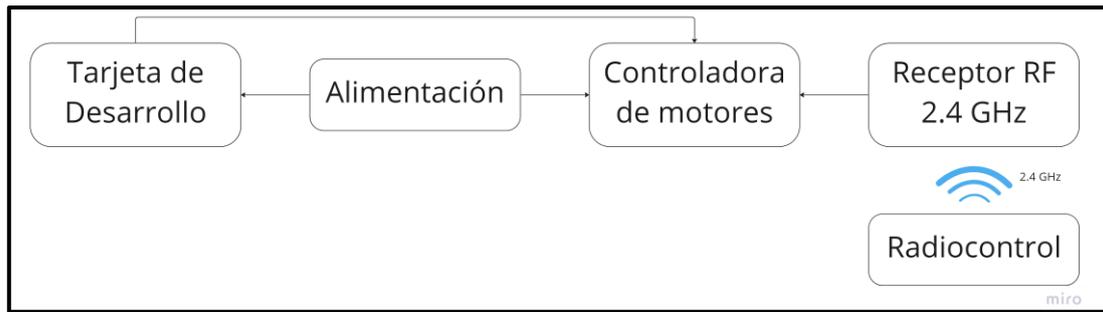


Ilustración 5-3: Diagrama de bloques de la etapa de control.

Realizado por: Lara, Brayan & Ulloa, David, 2022.

3.4.5 Etapa de visualización

En la etapa de visualización es en la que se capta el entorno a través de una cámara de transmisión de video y lo envía mediante un transmisor FPV por medio de radiofrecuencia a 5.8 GHz hacia unas gafas FPV donde se visualizará la trayectoria del robot y en qué condiciones se encuentra el ambiente. El funcionamiento de esta etapa se muestra en la ilustración 6-3.

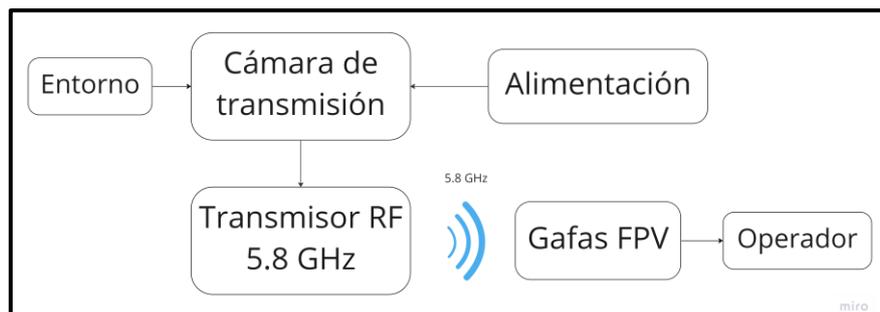


Ilustración 6-3: Diagrama de bloques de la etapa de visualización.

Realizado por: Lara, Brayan & Ulloa, David, 2022.

3.4.6 Etapa de detección y alerta

La etapa de detección y alerta se presenta en la ilustración 7-3. Aquí se realiza la detección de objetos metálicos (minas antipersonales) mediante un sensor de metales, el cual deberá ser calibrado y acondicionado. Otra tarea que se hace es la de alertar tanto visual como sonoramente por medio de una sirena y luces de alta luminosidad a personas o animales aledaños al lugar. Esta acción la ejecuta la tarjeta de desarrollo al ser detectado algún objeto metálico.

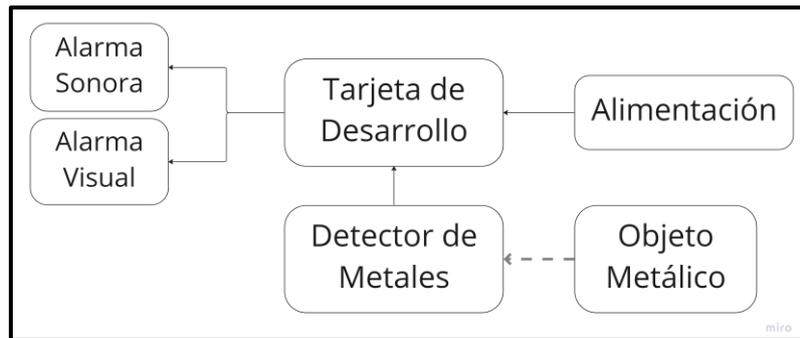


Ilustración 7-3: Diagrama de bloques de la etapa de detección y alerta.

Realizado por: Lara, Brayan & Ulloa, David, 2022.

3.5 Configuración y Comunicación del Robot Teleoperado

Dentro de la configuración y comunicación del robot teleoperado es necesario tener el control total del sistema de tracción que constará de cuatro ruedas a todo terreno acopladas un motor cada una. Aquí se deberá tener el control independiente de cada uno de los actuadores correspondientes, es por ello que se ha determinado que la configuración del robot teleoperado deberá ser diferencial debido a que dicha configuración permite la propulsión y control independiente que se adapta exactamente al requerimiento.

Se ha considerado modificaciones como añadir rodamientos denominados cojinetes de bloque de almohada montados unidos mediante un eje de acero y prisioneros. Estos permiten incorporar las ruedas delanteras con las posteriores permitiendo tener una tracción adaptable a terrenos irregulares y accidentados. También se conectarán de forma paralela tanto los motores de las ruedas izquierdas como los motores de las ruedas derechas al controlador, ya que estos actuadores deben ser accionados de manera simultánea y con ello se logra optimizar recursos.

La comunicación del dispositivo con el operador es un sistema de lazo cerrado, ya que el sensor en este caso, el sistema FPV permite la retroalimentación de la ruta de la cual el dispositivo está interactuando. Mientras que el sistema de radio control permite al operador enviar la señal de control para corregir la ruta de este a través del transmisor que reparte una señal a la tarjeta encargada del control de movimiento de motores.

3.6 Selección de componentes de *hardware* para la construcción del robot

3.6.1 *Motorreductores DC y ruedas*

En base a los requerimientos establecidos y el dimensionamiento realizado el actuador óptimo es un motor de engranajes basado en un motor de CC cepillado de alta potencia de 12 V, con una reducción de 47:1 y un rendimiento sin carga de 210 rpm, 300 mA.

Para la tracción se implementarán ruedas Pololu Dagu Electronics con un diámetro de 120 mm. Al estar hechos de goma suave y con púas para una mayor tracción son utilizadas para robots personalizados que necesitan atravesar terrenos complejos y accidentados. Además, sus acoples permiten montar fácilmente el motor a la rueda, tal como se visualiza en la ilustración 8-3.



Ilustración 8-3: Rueda Dagu Wild Thumper de 120 x 60 mm (rojo metálico) con motor de engranajes metálico Pololu de 20D mm.

Fuente: (ElectroStore 2022)

3.6.2 *Dispositivos de Control*

Los dispositivos de control se dedican al control tanto de los motores de tracción como la movilidad del robot. También se encargan de realizar el paro de emergencia al momento de detectar una mina enviando una señal digital, permitiendo activar las alarmas que alertan a personas aledañas al sitio.

3.6.2.1 *Radio control & Receptor*

Un radio control comercialmente viene incluido un receptor y un transmisor. En este caso, el radio control escogido, que se observa en la ilustración 9-3, permite el control de motores a larga distancia, como el modelo RadioLink AT9S Pro, el cual permite comodidad para el usuario al momento de llevarlo con sí, con una alimentación 8.2 a 16.4V, con adaptación a baterías

recargables de litio. Todos estos componentes permitirán una mejor eficiencia de este radio control y receptor.



Ilustración 9-3: Radio control y receptor RadioLink, 2.4GHz de 9 canales.

Fuente: (Amazon 2022c)

3.6.2.2 Controladora de motores DC

Con el análisis hecho anteriormente, la controladora de motores que mejor se acopla a nuestra implementación es la Sabertooth 2x12A, mostrada en la ilustración 10-3-. Es la mejor opción, ya que está diseñada especialmente para controlar dos motores de CC de manera inteligente, pudiendo manejar 12 amperios continuos por canal y soportando un pico de 25 A. Posee también un control de posición y autotuning PID.

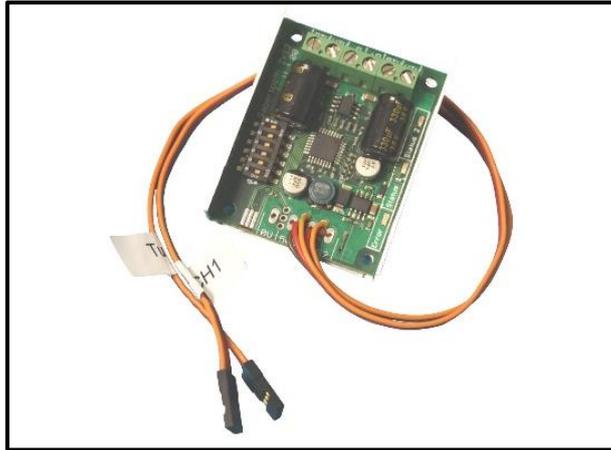


Ilustración 10-3: Sabertooth 2x12A Motor Controller

Fuente: (Dimension Engineering 2022)

3.6.2.3 Arduino Nano

En base a las tarjetas de desarrollo evaluadas precedentemente, se determinó que el Arduino Nano es la opción que mejor se acomoda a nuestro requerimiento. La razón es porque posee ciertas características como la alimentación a través de USB Mini-B, soporta un suministro externo no regulada de 6-20 V (pin 30) o regulado de 5 V (pin 27). Posee el ATmega328 tiene 32 KB, usando 2 KB para el cargador de arranque. También tiene 2 KB de SRAM y 1 KB de EEPROM.

Asimismo contiene 14 pines digitales que se pueden utilizar como entradas o salidas mediante las funciones `pinMode ()`, `digitalWrite ()` y `digitalRead()`. Funcionan a 5 voltios. Cada pin puede transmitir o recibir un máximo de 40 mA y tiene una resistencia pull-up interna de 20-50 kOhms. Esta tarjeta de desarrollo se puede visualizar en la ilustración 11-3.

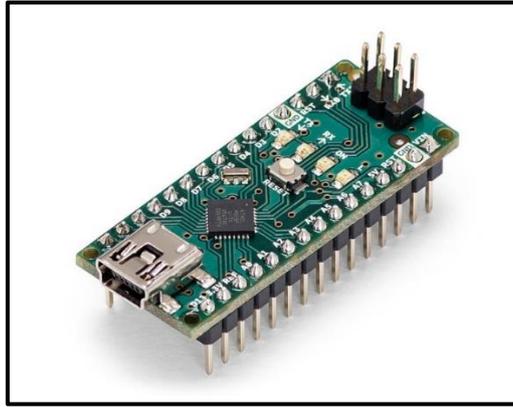


Ilustración 11-3: Tarjeta de desarrollo: Arduino Nano.

Fuente: (Arduino 2022)

3.6.3 Dispositivos de visualización y comunicación

Los dispositivos de visualización y comunicación están diseñados para captar el entorno y transmitir esa información mediante radiofrecuencia. Dicha información es recibida visualizada mediante visores FPV teniendo una idea clara del entorno. Mantienen al robot comunicado a la espera de alguna orden o comando realizado en ese preciso instante.

3.6.3.1 Transmisor FPV y cámara CCD

La cámara de transmisión de video captura todo lo que sucede en el ambiente en el cual se encuentra el robot en tiempo real. La cámara CCD posee excelente calidad de imagen (600 TVL) y 120 grados de alcance, se puede alimentar en un rango de 5 a 22 VDC. Viene integrado un transmisor FPV que tiene un rango de alimentación de 7 a 20 V, que consta de una antena que se incorpora a él enroscándola, funciona a una radiofrecuencia de 5.8 GHz. (AKK 2022) La integración de la cámara con el transmisor se presenta en la ilustración 12-3.



Ilustración 12-3: AKK KC02 40CH 600mW Transmisor FPV con 600TVL 2.8MM 120 Grados de Alta Calidad de Imagen Cámara Sony CCD para Multicoptero FPV.

Fuente: (AKK 2022)

3.6.3.2 Gafas FPV

Las gafas FPV que se observan en la ilustración 13-3 funcionan a la misma frecuencia que el transmisor FPV por lo tanto son compatibles. Viene integrada una batería de polímero de iones de litio de alta capacidad de 3.7 V/1200 mAh y dos antenas para recibir la información. Estas gafas van colocadas sobre el rostro del operador, sirven para visualizar lo que captura la cámara de transmisión de video. Al tratarse de *first person view*, da la sensación de estar en el sitio en lugar de encontrar el robot, aun cuando se encuentra el operador en un sitio remoto (ARRIS 2022).



Ilustración 13-3: Gafas FPV de 5.8 GHz, ARRIS VR-009.

Fuente: (ARRIS 2022)

3.6.4 *Dispositivos de detección y alarma*

Los dispositivos de detección y alarma tienen por finalidad detectar objetos metálicos, entre ellos minas antipersonales. Se encargan de alertar a las personas cercanas al lugar en donde se está realizando el proceso de inspección y detección de minas para que no suceda accidentes y tengan precaución.

3.6.4.1 *Alarma visual y auditiva*

- Faro LED

Para nuestra implementación vamos a usar un faro de coche LED de marca Haizg, como el que se muestra en la ilustración 14-3. Este foro posee características peculiares apropiadas para el robot, como gran luminosidad (7200 lúmenes), potencia de 36 W, tensión de alimentación de 9 a 32 Vdc (HAIZG 2023).



Ilustración 14-3: Faro LED C6 Haizg.

Fuente: (HAIZG 2023)

- *Buzzer* de sonido intermitente hyt-3015b

La alarma *Buzzer* HYT-3015B, que se visualiza en la ilustración 15-3, es un zumbador que tiene un rango de alimentación de 5 a 24 V en corriente directa, una salida de sonido de 95 dB. Este genera un sonido intermitente, es utilizado para cualquier tipo de alarma, además que es compatible con el Arduino y se acomoda perfectamente para nuestra implementación.



Ilustración 15-3: Buzzer de 5 a 24 Vdc de sonido intermitente hyt-3015b

Fuente: (ElectroStore 2023a)

3.6.5 *Detector de Metales*

Este detector de metales consta con una bobina de búsqueda impermeable de 10 pulgadas, consta de un chip procesador de señales digitales (DSP) mejorado, el cual permite tener un rango de detección y sensibilidad mayor, alcanzando una profundidad máxima de detección de 9 pulgadas.

Posee una memoria que permite recordar el modo de detección actual, sensibilidad y volumen, que se configuran en la pantalla LCD, que dispone de más funcionalidades como mostrar el tipo probable de metal y la profundidad a la cual se encuentra el objeto (Psukhai 2022). De manera clara se observa el detector con su procesador de señal en la ilustración 16-3.



Ilustración 16-3: Detector de metales.

Fuente: (Psukhai 2022)

3.6.6 *Dispositivos de alimentación y otros*

Los dispositivos de alimentación están destinados para abastecer de energía suficiente a todo el robot dotándolo de autonomía durante 20 minutos. También se encuentran módulos como el convertidor lógico que permite pasar de un voltaje mayor a uno que trabaje con el microcontrolador. También están los relés que permiten separar la parte lógica 5V con la parte de potencia.

3.6.6.1 *Batería LiPo*

En base al dimensionamiento de consumo se estableció que la batería que mejor se acomoda al robot es una batería LiPo Tattu Gens (ilustración 17-3), debido a sus características. Por ejemplo, tiene 3 celdas ($12.6 V_{max}$), 2200 mAh de capacidad y 25 Ciclos (C) de descarga, abasteciendo de energía suficiente al sistema para realizar su cometido.



Ilustración 17-3: Batería LiPo TATTU 3S 11,1V 2200MAH 25C

Fuente: (Tattu Gens Ace 2023)

3.6.6.2 Módulo convertidor de voltaje nivel lógico bidireccional

El módulo convertidor de voltaje lógico permite adaptar el un voltaje superior a un voltaje que, en este caso, el microcontrolador puede aceptar, recordando que los niveles lógicos de los microcontroladores son 5V o 3.3V, un voltaje superior a estos puede dañar el microcontrolador. Es por tal motivo que este dispositivo permite leer valores superiores a los 5 V, dado que el sensor maneja voltaje de 9V. Este componente es de suma importancia dentro del proyecto. Este módulo se muestra en la ilustración 18-3.

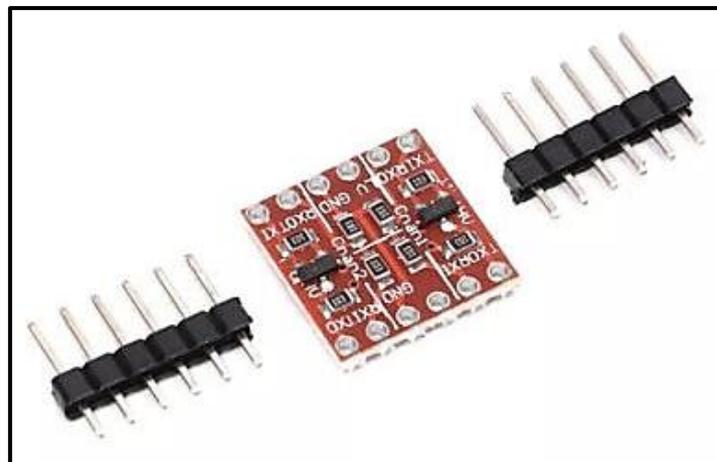


Ilustración 18-3: Módulo convertidor de voltaje nivel lógico bidireccional TTL.

Fuente: (ElectroStore 2023b)

3.6.6.3 Módulo relé.

El módulo relé de 4 canales que se presenta en la ilustración 19-3. El módulo relé permite separar la etapa de control lógico con la etapa de potencia. Este permite tener un control en el encendido de motores y los dispositivos de alerta del dispositivo. La parte de control lógico está separado

por optoacopladores, lo que permite que el microcontrolador no tenga problemas como daños provocados por altas corrientes.

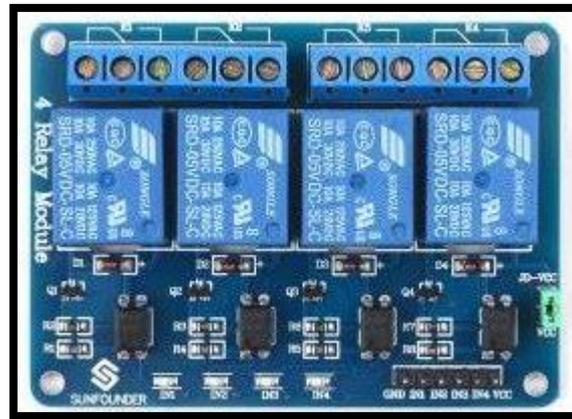


Ilustración 19-3: Módulo relé de 4 canales.

Fuente:

3.7 Diseño eléctrico

3.7.1 Conexiones eléctricas

Las conexiones eléctricas se describen a continuación, se describe en partes ya que se debe desarrollar los esquemas necesarios para la conexión en la pcb, donde se juntan todos los diagramas en uno solo.

3.7.1.1 Diagrama de conexión del sistema de detección.

Conexiones de Arduino nano a través del módulo de nivel lógico, permite las conexiones del sensor a la placa sin dañar la misma, permitiendo obtener señales que el Arduino puede reconocer, procesándolo en el algoritmo interno programado en el microcontrolador. Se puede observar la descripción de las conexiones en la tabla 2-3, como también se puede mirar de forma gráfica en la ilustración 20-3.

Tabla 1-3: Descripción de conexiones del sistema de detección.

Color	PIN IN	PIN OUT	Componente IN	Componente OUT
Negro1	GND	GND	CONV. NIVEL	Arduino Nano
Rojo1	LV	5V	CONV. NIVEL	Arduino Nano
Amarillo	TX1 LV	A0	CONV. NIVEL	Arduino Nano
Naranja	TX0 HV	SOUT	CONV. NIVEL	Sensor procesador

Rojo2	HV	VCC	CONV. NIVEL	Sensor procesador
Negro2	GND	GND	CONV. NIVEL	Sensor procesador

Realizado por: Lara, Brayan & Ulloa, David, 2023.

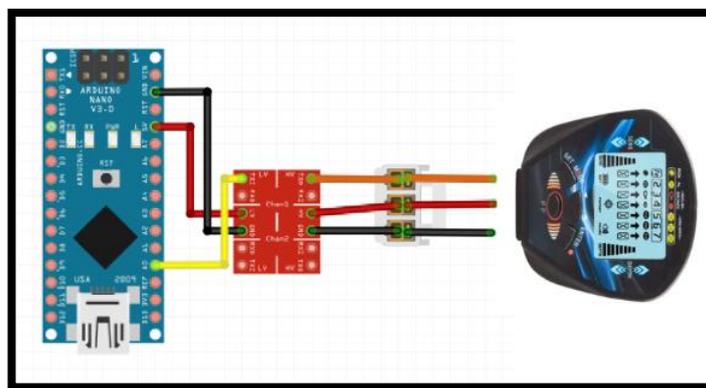


Ilustración 20-3: Diagrama de conexión del sistema de detección.

Realizado por: Lara, Brayan & Ulloa, David, 2023.

3.7.1.2 Diagrama de conexión del sistema de control lógico.

Las conexiones de Arduino nano con el módulo de relés permiten separar la parte de potencia de la parte de control. Todo esto ayuda a que el microcontrolador no se pueda dañar, ya que el módulo tiene una separación por optoacopladores. Se puede apreciar la descripción de las conexiones en la tabla 3-3, como también se puede observar de forma gráfica en la ilustración 21-3.

Tabla 2-3: Descripción de conexiones del sistema control lógico.

Color	PIN IN	PIN OUT	Componente IN	Componente OUT
Negro	GND	GND	Relé	Arduino Nano
Rojo	VCC	5V	Relé	Arduino Nano
Morado1	Botón 1	GNG	Botón	Arduino Nano
Morado2	Botón 2	D6	Botón	Arduino Nano
Blanco	IN1	D2	Relé	Arduino Nano
Naranja	IN2	D3	Relé	Arduino Nano
Marrón	IN3	D4	Relé	Arduino Nano
Rosado	IN4	D5	Relé	Arduino Nano

Realizado por: Lara, Brayan & Ulloa, David, 2023.

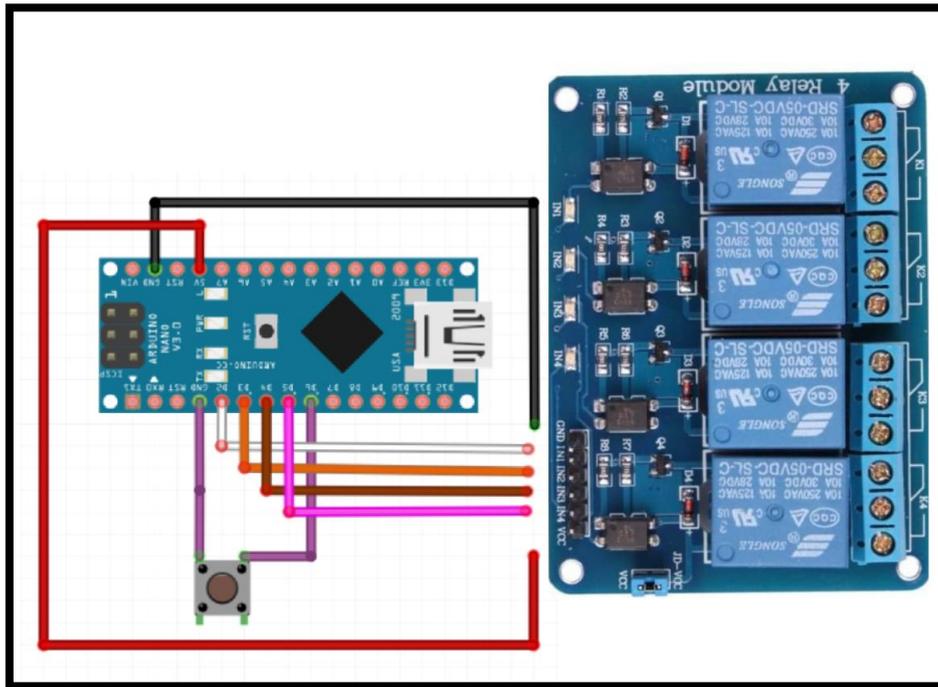


Ilustración 21-3: Diagrama de conexión del sistema de control lógico.

Realizado por: Lara, Brayan & Ulloa, David, 2022.

3.8.2.3 Diagrama de conexión de alerta y detención de motores

El diagrama de conexión de alerta y detención de motores trata de que el módulo de relés funciona como interruptor de los componentes, se aísla el negativo de los componentes de alerta y se encenderá cuando el algoritmo de control mande la señal, mientras que en la detención de motores se aísla una de las conexiones de los motores y el retorno se lo conecta a la placa de control de motores como se muestra en la ilustración 22-3.

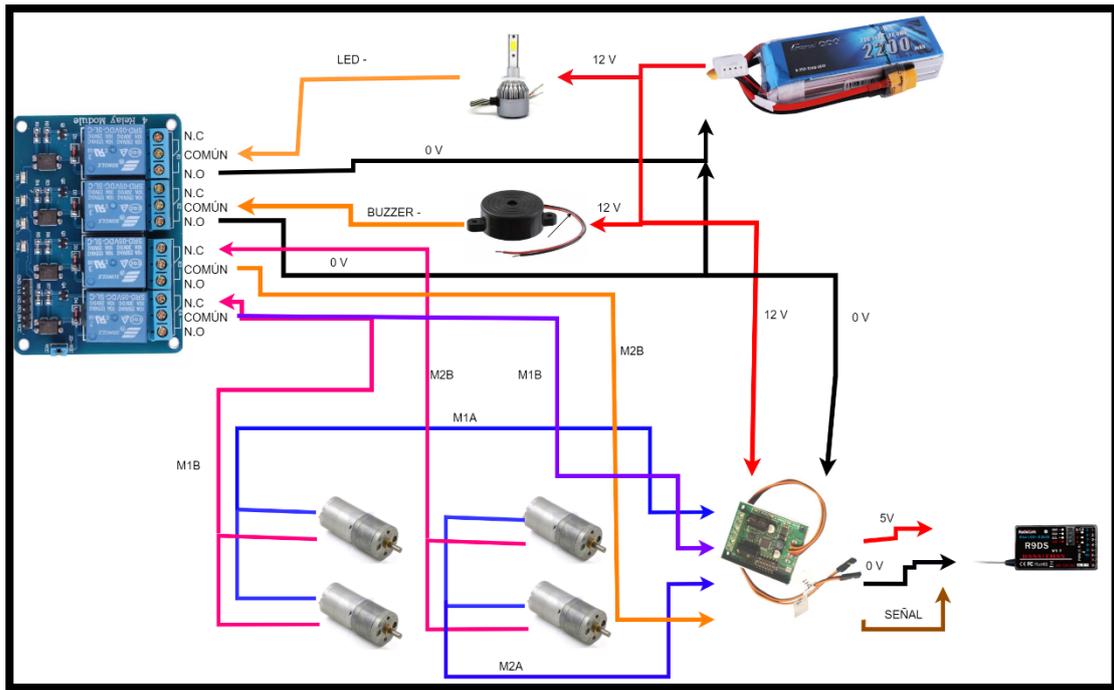


Ilustración 22-3: Diagrama de conexión de alerta y detención de motores.

Realizado por: Lara, Brayan & Ulloa, David, 2022.

3.7.2 Diseño y fabricación de PCB

Para el diseño de PCB se considera las conexiones detalladas anteriormente, validadas las conexiones a través de las pruebas físicas en una placa de prototipo. Se procede a fabricar la placa a través de máquina CNC, como se indica en la ilustración 24-3, lo que permite tener un circuito reducido donde los materiales puedan interconectarse sin la necesidad de cables, mejorando la estética. En la ilustración 23-3 se puede prestar atención el circuito diseñado en Easyeda (a), y el circuito realizado en la máquina CNC (b).

Esta placa se basa en un Arduino nano que controla a través de relés el encendido y apagado de actuadores como son un zumbador, un faro led y dos motorreductores, mediante la programación correspondiente y la detección de algún objeto metálico a través del sensor de metales ya calibrado.

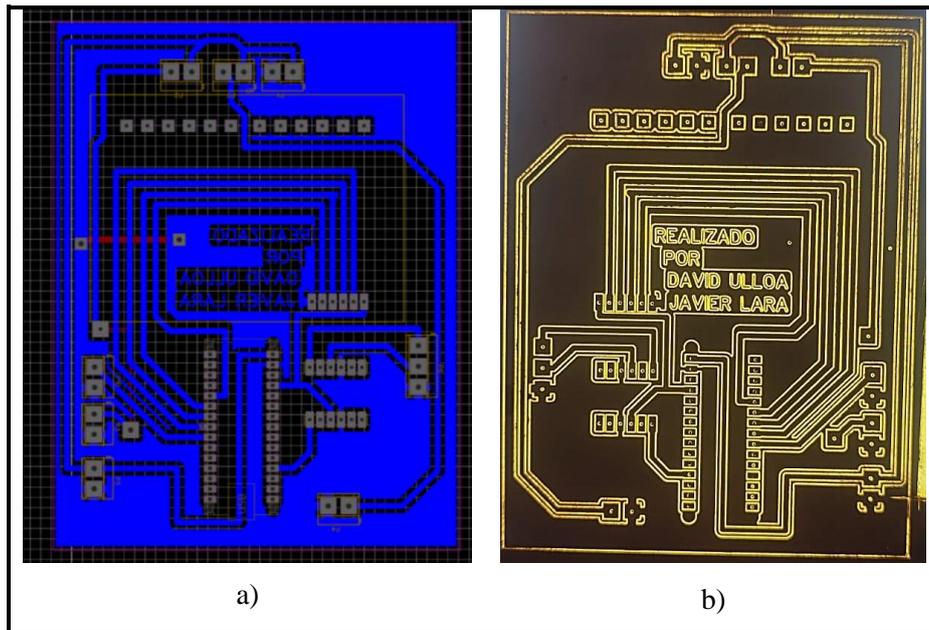


Ilustración 23-3: a) Circuito diseñado en Easyseda, b) Circuito realizado en la máquina CNC.

Realizado por: Lara, Brayán & Ulloa, David, 2022.

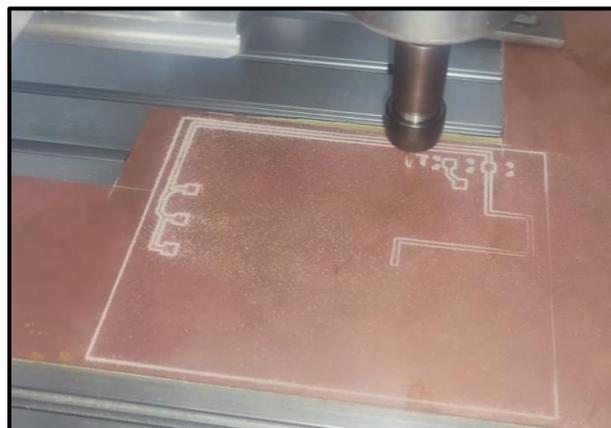


Ilustración 24-3: Fabricación de la PCB con CNC.

Realizado por: Lara, Brayán & Ulloa, David, 2022.

Finalmente, se realizan los huecos correspondientes en la PCB terminada, se colocan los componentes y se suelda tal como se muestra en la ilustración 25-3.

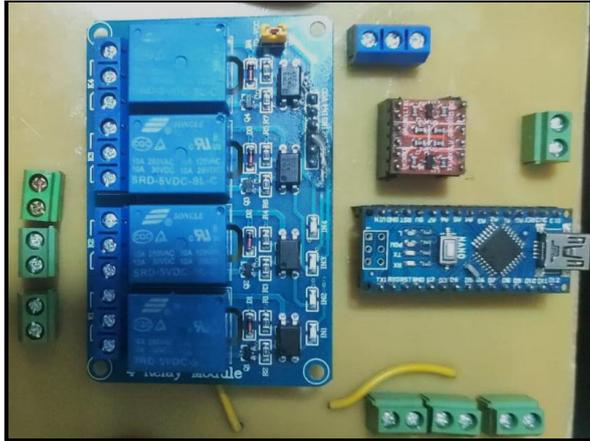


Ilustración 25-3: Inserción y soldado de los componentes en la PCB

Realizado por: Lara, Brayan & Ulloa, David, 2022.

3.8 Diseño mecánico y estructural del robot

El diseño considerado para el prototipo se dirige a la teoría que explica los tipos de configuraciones más comunes de robots con ruedas existentes, se inclinó la balanza hacia un robot doble diferencial, en la cual se ancla cuatro motores a las ruedas, permitiendo el control de cada una de ellas, lo que beneficiará al robot en el desplazamiento que este realiza. Considerando que este se va a movilizar por terrenos irregulares, se implementara un sistema de diferencial mecánico, lo que permitirá que el robot pueda moverse por estos espacios.

3.8.1 Diseño 3D

Para el diseño de las estructuras y piezas se utilizó Fusion 360, inicialmente se diseñaron las estructuras diferenciales delantera y trasera a criterio propio acatando las características de un sistema diferencial y lo que conlleva que el robot pueda desplazarse por terrenos accidentados, también se diseñó el acople diferencial que permite unir ambas estructuras, como se pueden observar en la ilustración 26-3 a) y b), que también muestran sus dimensiones físicas.

Allí se montan los motorreductores, los cojinetes de bloque de almohada y las tapas superiores e inferiores las cuales se detallan a continuación. Finalmente se diseñó una pieza en la cual se monta tanto detector como la cámara, para así realizar el ensamble del robot y saber realmente con certeza como se verá el prototipo físicamente.

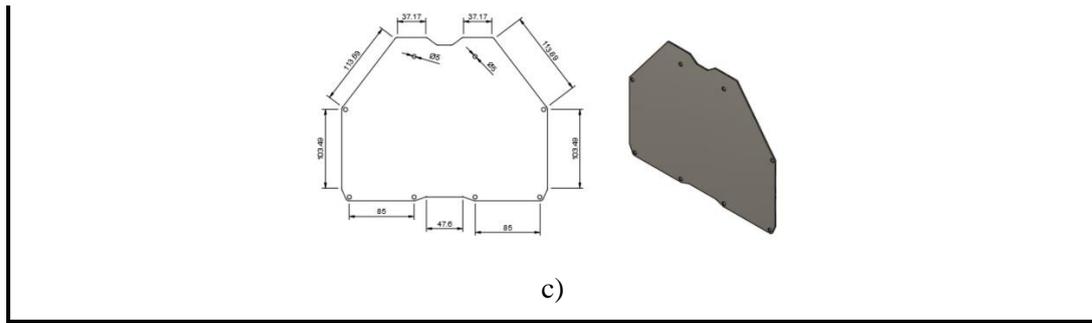


Ilustración 27-3: a) Diseño de la tapa superior delantera, b) Diseño de la tapa superior trasera, c) Diseño de las tapas inferiores del robot en Fusion 360.

Realizado por: Lara, Brayan & Ulloa, David, 2022.

Esta pieza que se la visualiza en la ilustración 28-3, muestra la topología y dimensiones que esta posee. Sirve para ubicar el sensor de metales mediante un tubo que se une al mismo, éste ingresa a través del hueco tubular de la pieza y se asegura mediante tonillos. También se coloca la cámara de transmisión en una hendidura rectangular que tiene esta pieza y se atornilla en un soporte que viene integrado a la cámara.

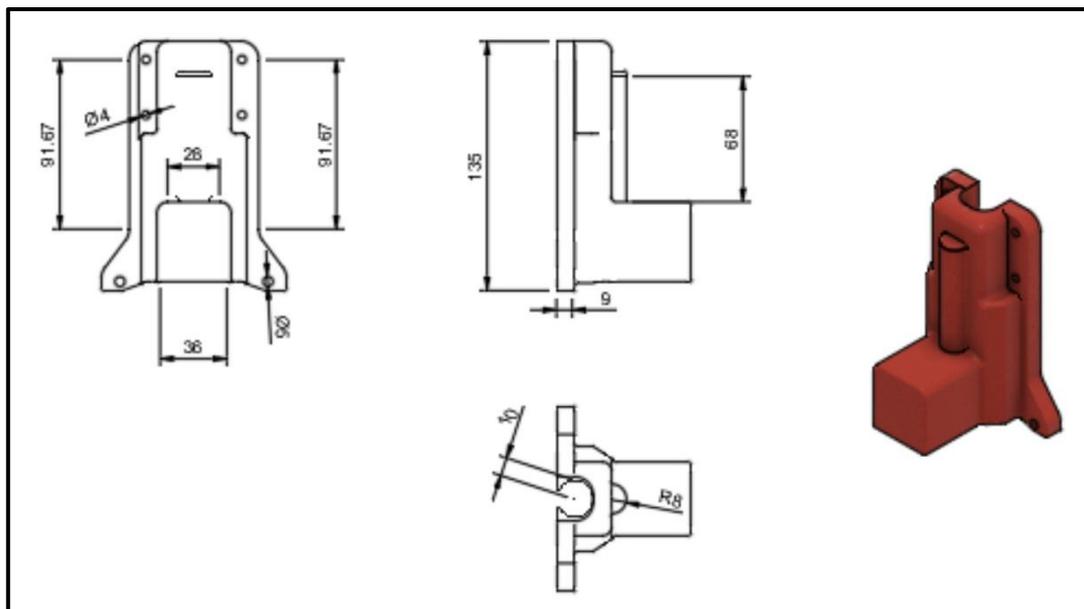


Ilustración 28-3: Diseño de pieza para montaje de sensor y cámara en Fusion 360.

Realizado por: Lara, Brayan & Ulloa, David, 2022.

Para culminar el diseño de la parte estructural y mecánica, se realiza un ensamble de todas las piezas diseñadas obteniendo un resultado esperado como se puede visualizar en la ilustración 29-3.

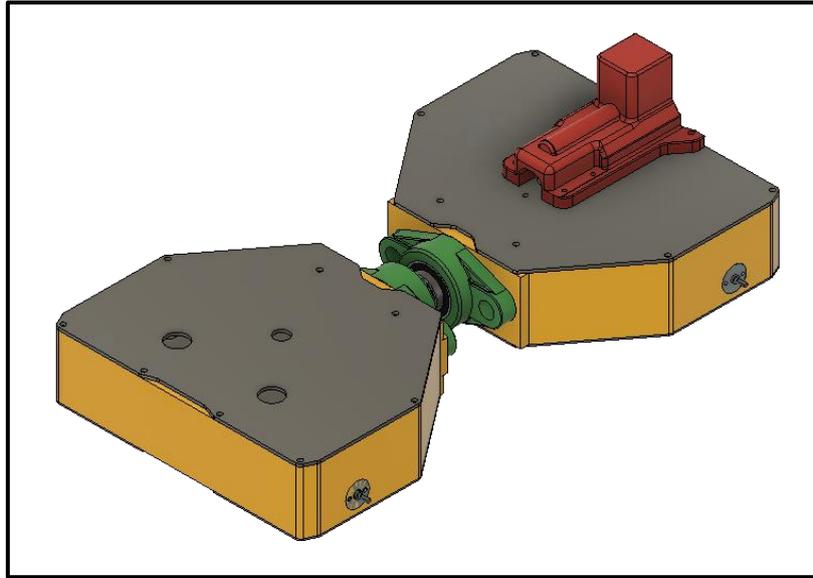


Ilustración 29-3: Diseño del ensamble de las piezas del robot en Fusion 360.

Realizado por: Lara, Brayan & Ulloa, David, 2022.

3.9 Construcción del dispositivo

3.9.1 *Materiales y piezas para la estructura mecánica*

Se usará como material para elaborar la estructura del robot teleoperado filamento PETG (Glicol de tereftalato de polietileno) como se visualiza en la ilustración 30-3, debido a que es ecológico, inodoro, no tóxico, posee resistencia química, a la humedad, a la intemperie, tiene excelente estabilidad, difícil de agrietar y deformar. Alta pureza, sin burbujas, sin deformación, alta precisión, el efecto de impresión es más notable, buena resistencia a la tracción, ductilidad, fluidez, alta dureza y bajo peso (Creality 2022; Agelectronica 2022).



Ilustración 30-3: Filamento PETG de impresora 3D.

Fuente: (Creality 2022)

Para que el robot pueda movilizarse en terrenos accidentados se hace uso de rodamientos más conocidos como cojinetes del bloque de almohada, como se puede estar a la mira en la ilustración 31-3. Es un tipo de unidad de cojinete que hace uso tanto del cojinete de bolas como de la carcasa del cojinete. Está hecho de carcasa de acero y hierro fundido, alta resistencia y duradero. El diseño del sello de doble cara evita que los contaminantes ingresen al cojinete mientras guarda el lubricante interiormente.



Ilustración 31-3: Cojinete de bloque de almohada montado.

Fuente: (Garosa 2022)

Las tapas que darán más rigidez a las estructuras diferenciales están hechas a partir de una plancha de acero de 3 mm, cortadas con láser y modificadas a favor mediante un taladro de banco como

se muestra en la ilustración 32-3. Éstas servirán de soporte y montaje de elementos que componen al robot.



Ilustración 32-3: Modificación de la para superior trasera con el taladro.

Realizado por: Lara, Brayan & Ulloa, David, 2023.

El acople diferencial se hizo de aluminio y se le dio forma mediante un torno, para después integrar la estructura delantera con la trasera y así tener una movilidad a todo terreno.

3.9.2 Impresión de la estructura mecánica

Luego de validar el diseño estructural del prototipo, se procedió a imprimir las piezas mediante una impresora 3D, con filamento PETG, el mismo que permitirá dotar de rigidez estructural, ya que este material tiene una alta resistencia, tal como se muestra en la ilustración 33-3 a) y b).

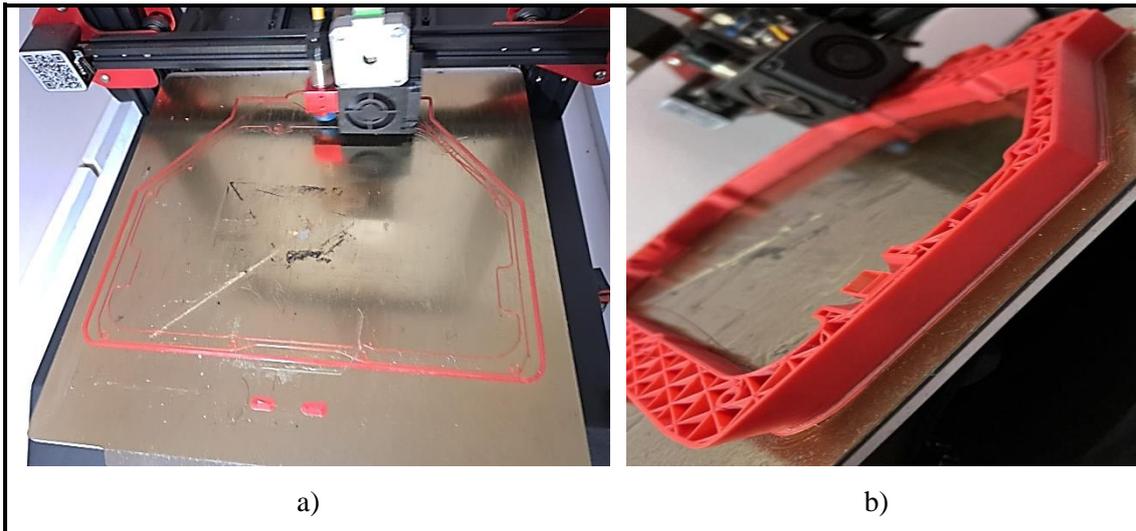


Ilustración 33-3: a) Inicio de la impresión de las estructuras diferenciales, b) Proceso de impresión a medio terminar.

Realizado por: Lara, Brayan & Ulloa, David, 2022.

3.9.3 *Inserción y ensamble de componentes mecánicos y electrónicos*

Ya impresa las piezas en 3d, se procede a realizar la inserción de los componentes electrónicos y mecánicos. Se empezó colocando los cojinetes, motores y llantas en las estructuras diferenciales, en la ilustración 34-3 a) y b) se muestra a detalle.



Ilustración 34-3: Montaje de primeros componentes en las estructuras diferenciales.

Realizado por: Lara, Brayan & Ulloa, David, 2022.

Consecuentemente se procedió colocar la electrónica y demás elementos que conforman parte del robot teleoperado como PCB, Sabertooth 2x12, selector, pulsador, batería, sensor, y los elementos restantes que no son los menos importantes, ya que cada componente cumple un papel importante.

Se aseguraron las tapas con tornillos M5. En la ilustración 35-3 se visualiza de manera clara lo que se detalló.

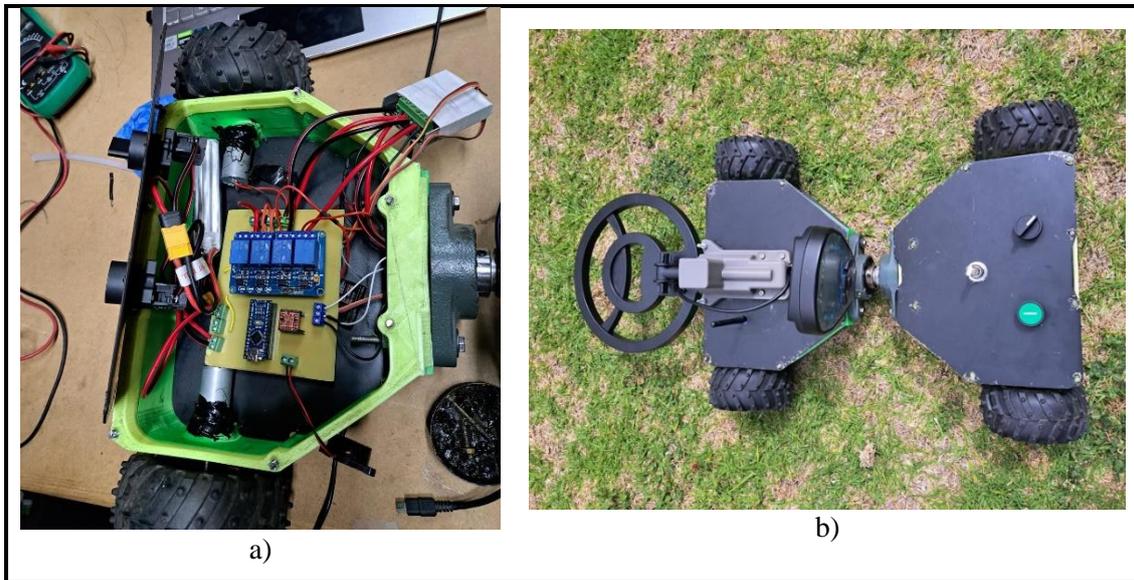


Ilustración 35-3: a) Incorporación de todos los elementos restantes del robot teleoperado, b) Robot terminado.

Realizado por: Lara, Brayan & Ulloa, David, 2023.

3.10 Dimensionamiento de Consumo

El dimensionamiento del consumo eléctrico es un aspecto crucial en el diseño y operación de un robot móvil. El consumo eléctrico se refiere a la cantidad de energía que un robot requiere para funcionar. El dimensionamiento del consumo eléctrico es importante porque afecta directamente la autonomía del robot, es decir, la cantidad de tiempo que puede operar antes de necesitar recargar o reemplazar las baterías.

Para dimensionar el consumo eléctrico de un robot móvil se deben tener en cuenta varios factores, como la potencia de los motores, la eficiencia de los sensores y la capacidad de las baterías. El tamaño y el peso del robot también son factores importantes para considerar, ya que afectan directamente su movilidad y maniobrabilidad.

En resumen, el dimensionamiento del consumo eléctrico es un aspecto crítico en el diseño y operación de un robot móvil. Un consumo eléctrico adecuado es esencial para asegurar la autonomía del robot y su eficiencia energética. En la tabla 3-3 se muestra los componentes que consumen energía en el dispositivo.

Tabla 3-31: Consumo de corriente de los componentes del dispositivo.

Dispositivo	Corriente (mA)
Sistema de locomoción	
Arduino Nano	40
Módulo de relés	10
Sabertooth 2x12	40
Motor reductor x 4	20000
Dispositivo	Corriente (mA)
Sistema de visualización	
Cámara	70
Transmisor de video	280
Sistema de operación remota	
Receptor	20
Sistema de alarma	
LED	3000
Zumbador	600
Total	24060

Realizado por: Lara, Brayan & Ulloa, David, 2022.

Dado que la batería seleccionada es de 25 ciclos de descarga a 2200 mAh aplicando la formula de la ecuación 1 se obtiene el tiempo de operación estimado, siendo este el siguiente:

$$I_{cxhora} = \text{ciclos de descarga} \times \text{capacidad de batería} \quad (1)$$

$$I_{cxhora} = 25 \times 2200 = 55000 \text{mAh} \quad (2)$$

Como en la tabla 3-3 se obtuvo un consumo de 24060 mA, se consigue el tiempo aplicando la ecuación 2:

$$\text{tiempo de operación} = \frac{I_{consumo}}{I_{cxhora}} \quad (3)$$

$$\text{tiempo de operación} = \frac{24060 \text{ mA}}{55000 \text{ mA/h}} \quad (4)$$

$$\text{tiempo de operación} = 0.4374 \text{ h} \times \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}} = 26.24 \text{ min} \quad (5)$$

Logrando un valor de 26,23 minutos de tiempo de operación.

3.11 Algoritmo de control de alarma y detención de motores

Para que el sistema pueda tener una respuesta ante la señal de detección del sensor, el arduino nano se encarga de procesar la señal enviada por el sensor, permitiendo a este el control de los relés.

- Para la lectura de la señal del sensor, se configuró el pin A0 como entrada Digital.
- Para el control de encendido de los relés, se utiliza los pines D2, D3, D4, D5 como salidas digitales.
- Para el apagado de la señal de alarma, se configuró el pin D6 como entrada digital en estado *pull up*, permite la reducción de componentes *hardware* dentro del *software*.

En la ilustración 36-3 se aprecia el diagrama de flujo de la programación para el control de alarma y detención de motores.

El algoritmo del control de alarmas y detención de motores se describe a continuación:

- Empieza con la declaración de variables globales, para la declaración de los pines a utilizar.
- Continúa con la lectura por el pin A0 del arduino nano de la señal recibida del sensor.
- Luego entra una comparación donde si la lectura del sensor está en estado lógico High o alto, el programa mantiene apagado los relés, mientras que por otro lado el estado lógico es Low o bajo, manda una señal los relés 2, 3 y 4 para que estos se enciendan.
- Cuando entra al estado lógico Low, éste entra a un ciclo de repetición, para que los motores estén detenidos, y que el relé 1 entre en un bucle de estado encendido y apagado, hasta que se presione un botón que permite parar este estado de repetición.
- El ciclo se repite infinitamente hasta que el dispositivo sea apagado.

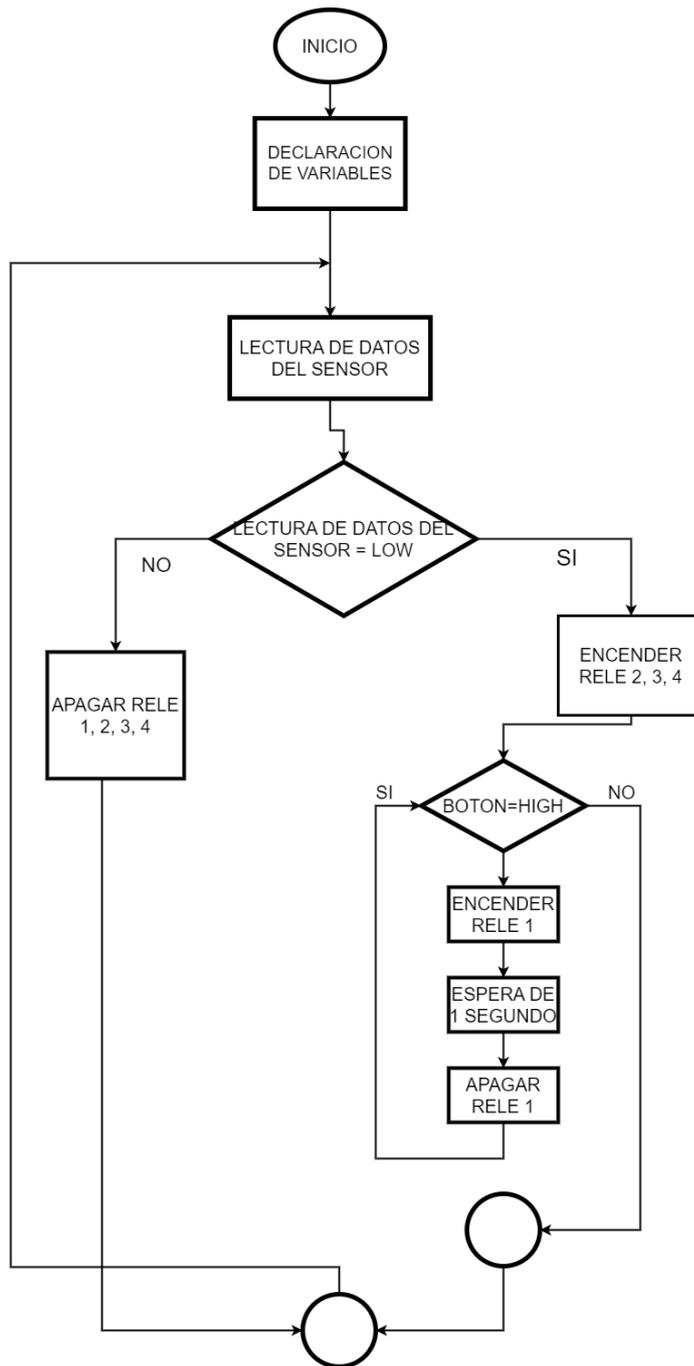


Ilustración 36-3: Diagrama de flujo del control de alarma y detención de motores.

Realizado por: Lara, Brayan & Ulloa, David, 2023.

CAPÍTULO IV

4. VALIDACIÓN DE PROTOTIPO

En este capítulo se analizan los resultados obtenidos de las pruebas realizadas hacia el prototipo para garantizar la validación de los requerimientos planteados anteriormente. Se realizaron pruebas de detección de materiales ferromagnéticos al sensor detector de metales. También se realizó prueba al sistema de alarma del robot en conjunto con la prueba del sensor detector de metales. Otra prueba realizada fue la comunicación inalámbrica, autonomía del robot y tiempo de carga de la batería del dispositivo.

4.1 Prueba de detección y sistema de alarma

Una vez finalizada la implementación del dispositivo, las pruebas de detección y sistema de alarma se aplicaron para determinar el sistema de detección y alarma del dispositivo. En la ilustración 1-4c se aprecia el dispositivo implementado, mientras que en la ilustración 1-4 a y b se observa los elementos de prueba utilizados para la detección de minas antipersonales. Cabe recalcar que son pruebas simuladas en ambientes controlados, ya que la utilización de minas antipersonales reales no es factible, debido a la disponibilidad de estas y principalmente por temas de seguridad de los autores y las personas alrededor de los escenarios de pruebas.

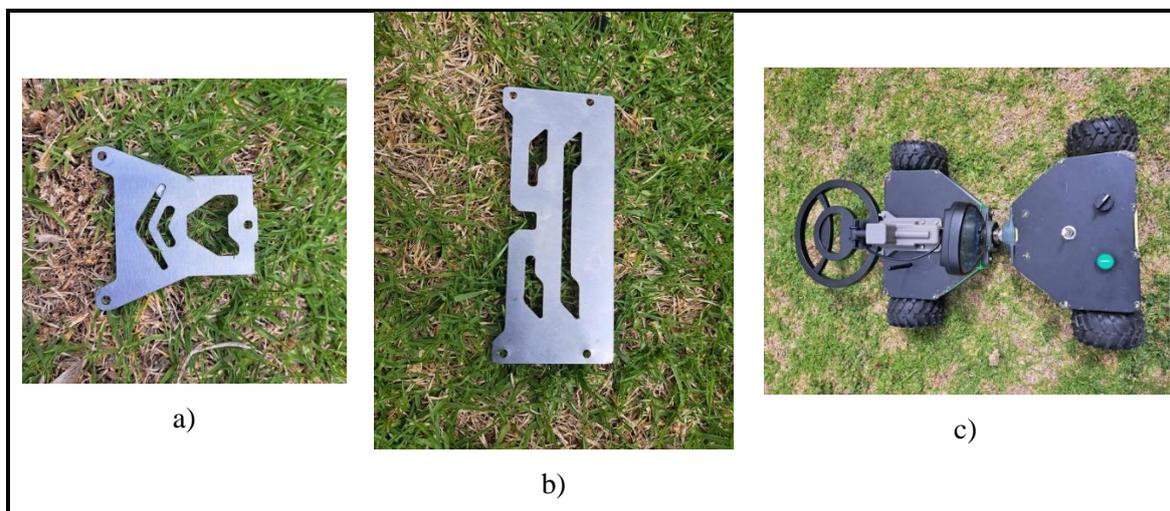


Ilustración 1-4: a) y b) Material de prueba, c) Dispositivo teleoperado terminado.

Realizado por: Lara, Brayan & Ulloa, David, 2023.

Con los resultados experimentales obtenidos en la tabla 1-4, se determinó en la tabla 2-4 el total de pruebas realizadas con el número total de positivos reales, falsos positivos, negativos reales,

falsos negativos, obteniendo una fiabilidad del dispositivo del 90%. Se concluye que el dispositivo es eficaz al detectar. El sistema de alarma, también, actúa de manera correcta, ya que se enciende al momento de la detección, parando el movimiento de los motores y enciende las alarmas visuales y sonoras.

Tabla 1-4: Pruebas experimentales del sistema de detección y sistema de alarma.

Número de muestra	Distancia de sensor al suelo (cm)	Detección de materiales ferrosos	Material de prueba presente	SISTEMA DE ALARMA
1	7	NEGATIVA	SI	APAGADA
2	7	NEGATIVA	NO	APAGADA
3	7	POSITIVA	SI	ENCENDIDO
4	7	POSITIVA	SI	ENCENDIDO
5	7	POSITIVA	SI	ENCENDIDO
6	7	POSITIVA	SI	ENCENDIDO
7	7	POSITIVA	NO	ENCENDIDO
8	7	NEGATIVA	NO	APAGADA
9	7	NEGATIVA	NO	APAGADA
10	7	NEGATIVA	NO	APAGADA
11	7	POSITIVA	SI	ENCENDIDO
12	7	POSITIVA	SI	ENCENDIDO
13	7	POSITIVA	SI	ENCENDIDO
14	7	POSITIVA	SI	ENCENDIDO
15	7	POSITIVA	SI	ENCENDIDO
16	7	POSITIVA	SI	ENCENDIDO
17	7	POSITIVA	SI	ENCENDIDO
18	7	POSITIVA	SI	ENCENDIDO
19	7	NEGATIVA	NO	APAGADA
20	7	POSITIVA	SI	ENCENDIDO
21	7	NEGATIVA	NO	APAGADA
22	7	POSITIVA	SI	ENCENDIDO
23	7	NEGATIVA	NO	APAGADA
24	7	POSITIVA	SI	ENCENDIDO
25	7	POSITIVA	SI	ENCENDIDO
26	7	POSITIVA	SI	ENCENDIDO
27	7	POSITIVA	SI	ENCENDIDO
28	7	POSITIVA	NO	APAGADA
29	7	NEGATIVA	NO	APAGADA
30	7	NEGATIVA	NO	APAGADA
31	7	POSITIVA	SI	ENCENDIDO
32	7	POSITIVA	SI	ENCENDIDO
33	7	POSITIVA	SI	ENCENDIDO
34	7	NEGATIVA	NO	APAGADA
35	7	POSITIVA	SI	ENCENDIDO
36	7	NEGATIVA	NO	APAGADA
37	7	POSITIVA	SI	ENCENDIDO

38	7	NEGATIVA	SI	ENCENDIDO
39	7	POSITIVA	SI	ENCENDIDO
40	7	NEGATIVA	NO	APAGADA

Realizado por: Lara, Brayan & Ulloa, David, 2023.

Tabla 2-4: Análisis de pruebas de sistema de detección.

TOTAL DE PRUEBAS POSITIVAS	26
POSITIVOS VERDADEROS	24
POSITIVOS FALSOS	2
TOTAL DE PRUEBAS NEGATIVAS	14
NEGATIVOS VERDADEROS	12
NEGATIVOS FALSOS	2
FIABILIDAD DEL DISPOSITIVO	90%

Realizado por: Lara, Brayan & Ulloa, David, 2023.

$$Fiabilidad = \frac{POSITIVOS VERDADEROS + NEGATIVOS VERDADEROS}{NÚMERO DE PRUEBAS REALIZADAS} \quad (6)$$

$$Fiabilidad = \frac{24 + 12}{40} = \frac{36}{40} = 0.9 * 100 = 90\% \quad (7)$$

$$Error = \frac{POSITIVOS FALSOS + NEGATIVOS FALSOS}{NÚMERO DE PRUEBAS REALIZADAS} \quad (8)$$

$$Error = \frac{2 + 2}{40} = \frac{4}{40} = 0.1 * 100 = 10\% \quad (9)$$

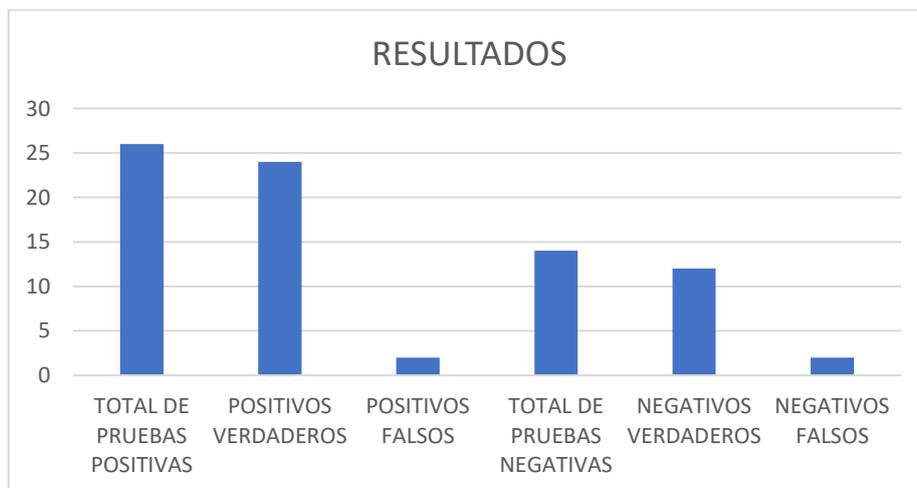


Gráfico 1-4: Representación de las muestras tomadas en un gráfico de barras.

Realizado por: Lara, Brayan & Ulloa, David, 2023.

La tabla 2-4 fue obtenida con la cuenta de resultados de la tabla 1-4 tomando en consideración la tercera y la cuarta columna de la tabla, resultando en la tabla 2-4 con los resultados de pruebas positivas y pruebas negativas, luego de obtener estos resultados, la fiabilidad del dispositivo fue consignada del cálculo de número de pruebas positivas verdaderas y pruebas negativas verdaderas sobre el número de pruebas totales, dando como resultado el 90% y un error del 10%, como se muestra en la ecuación (7) y (9).

4.2 Pruebas de Comunicación y distancia recorrida.

El objetivo de las pruebas de comunicación y distancia recorrida era medir la distancia máxima a la cual el dispositivo teleoperado puede ser controlado. Para la validación de esta prueba, se utilizó los dispositivos de transmisión de este, dado que tanto el radiocontrol como el sistema de visualización tienen la capacidad de medir la cantidad de señal que estos perciben de sus receptores como se puede observar en la ilustración 2-4 a y b respectivamente. Esto permitió realizar las pruebas mostradas en la tabla 3-4.



Ilustración 2-4: Radio control a) y sistema de visualización b) para la validación de prueba.

Realizado por: Lara, Brayan & Ulloa, David, 2023.

La tabla 3-4 muestra la distancia recorrida por el robot y la calidad de señal mostrada por cada dispositivo, permitiendo validar los resultados del análisis, permitiendo inferir que la distancia máxima a la cual el dispositivo podrá actuar de manera adecuada es 100 metros. Esta distancia fue validada a través de una cinta métrica.

Además, esta prueba permite realizar una prueba de segmentación del terreno al cual el dispositivo funcionara en la parte de detección de minas antipersonales. Explicado con anterioridad, a 10 metros es la distancia más segura de un operador con respecto a la mina antipersonal, dado que esta no lo puede herir a esa distancia, entonces tenemos un margen de 90 metros de operación, pero esto no nos permite segmentar el área a medir. Es por eso que se ocupa el principio matemático del teorema de Pitágoras, que nos permitirá encontrar el área mínima y máxima de operación con la siguiente formula, en función de uno de los catetos y su hipotenusa.

$$C^2 = A^2 + B^2 \quad (10)$$

Donde C es 90 y A empieza desde 5 metros que es nuestro mínimo rango de operación, donde encontraremos B. En la tabla 4-4 se observa los resultados de este cálculo matemático.

Tabla 3-4: Resultados de la prueba de comunicación de control de trayectoria y comunicación FPV

Número de muestra	Distancia recorrida(m)	Comunicación radio control	Comunicación FPV
1	5	EXCELENTE	EXCELENTE
2	10	EXCELENTE	EXCELENTE
3	15	EXCELENTE	EXCELENTE
4	20	EXCELENTE	EXCELENTE
5	25	EXCELENTE	EXCELENTE
6	30	EXCELENTE	EXCELENTE
7	35	EXCELENTE	EXCELENTE
8	40	BUENA	EXCELENTE
9	45	BUENA	EXCELENTE
10	50	BUENA	EXCELENTE
11	55	BUENA	EXCELENTE
12	60	REGULAR	BUENA
13	65	REGULAR	BUENA
14	70	REGULAR	BUENA
15	75	REGULAR	BUENA
16	80	REGULAR	BUENA
17	85	REGULAR	BUENA
18	90	REGULAR	BUENA
19	95	REGULAR	BUENA
20	100	REGULAR	BUENA
21	105	MALA	REGULAR
22	110	MALA	REGULAR
23	115	MALA	REGULAR
24	120	MALA	REGULAR
25	125	MALA	REGULAR
26	130	MUY MALA	REGULAR

28	135	MUY MALA	REGULAR
29	140	MUY MALA	REGULAR
30	145	SIN SEÑAL	REGULAR

Realizado por: Lara, Brayan & Ulloa, David, 2023.

Tabla 4-4: Referencia para la calificación de comunicación

Referencia	Calificación
Excelente	5
Buena	4
Regular	3
Mala	2
Muy Mala	1
Sin Señal	0

Realizado por: Lara, Brayan & Ulloa, David, 2023.

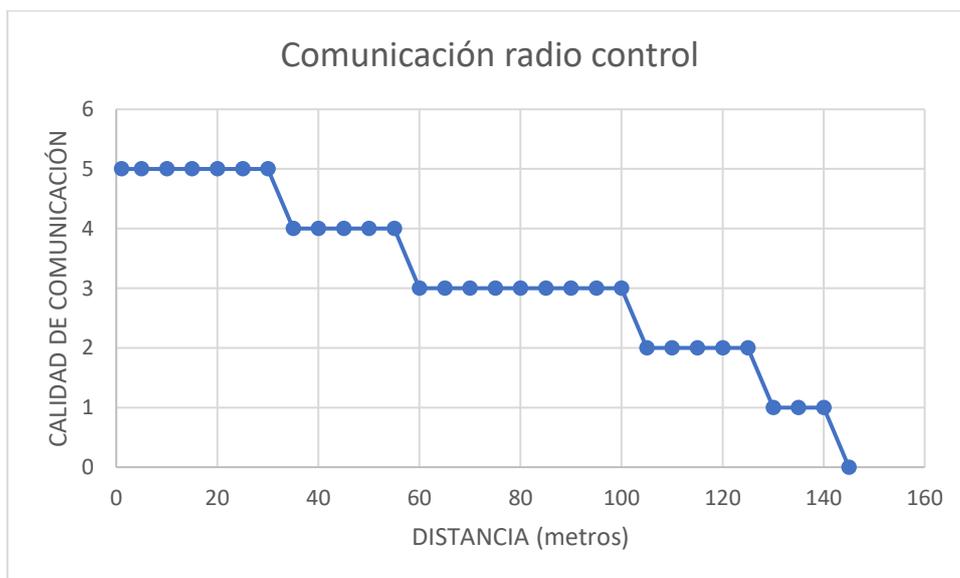


Gráfico 2-4: Gráfica de la calidad de comunicación con respecto a la distancia, con los parámetros de la tabla 3-4 en función de las calificaciones obtenidas.

Realizado por: Lara, Brayan & Ulloa, David, 2023.

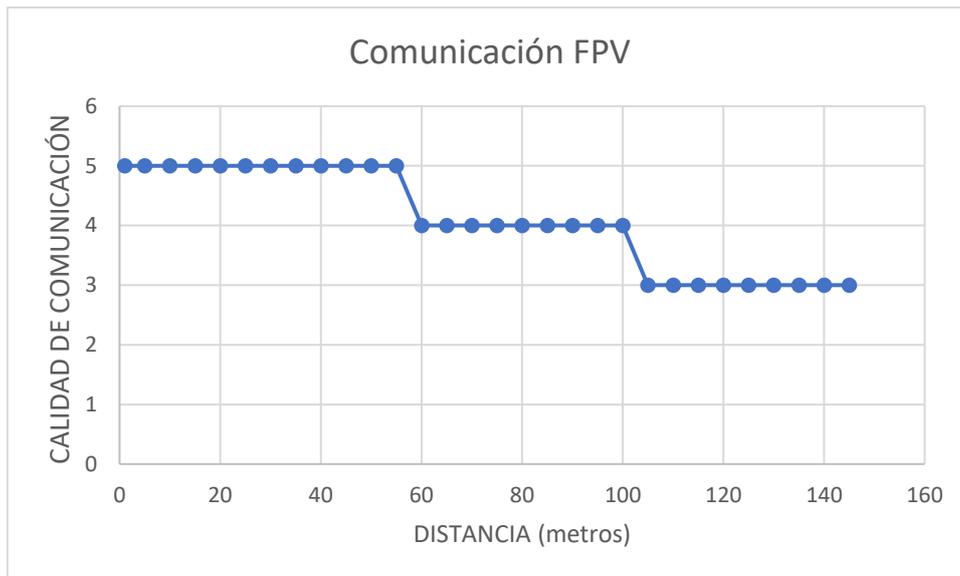


Gráfico 3-4: Gráfica de la calidad de comunicación con respecto a la distancia, con los parámetros de la tabla 3-4 en función de las calificaciones obtenidas.

Realizado por: Lara, Brayan & Ulloa, David, 2023.

Donde el área máxima de operación es de 4032 m^2 y la mínima es de 25 m^2 cómo se puede observar en la tabla 5-4. Se puede mencionar que trabajar en menores áreas de segmentación permitirá realizar una mejor localización de minas antipersonales.

Tabla 5-4: Áreas de segmentación obtenidas mediante calculo numérico.

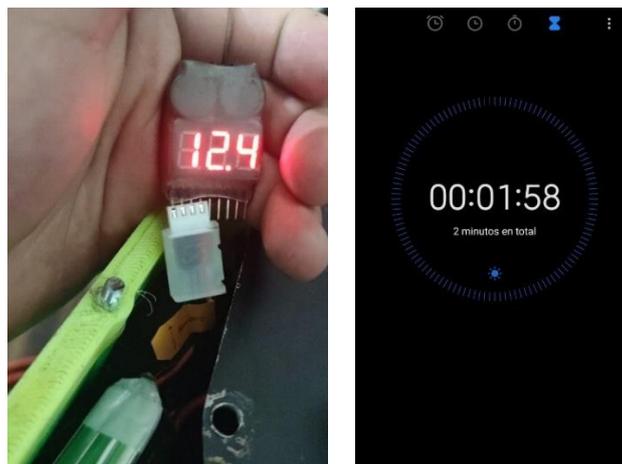
C(m)	A(m)	B(m)	Área (m^2)
90	5	90	450
90	6	90	540
90	7	90	630
90	8	90	720
90	9	90	810
90	10	89	890
90	11	89	979
90	12	89	1068
90	13	89	1157
90	14	89	1246
90	15	89	1335
90	16	89	1424
90	17	88	1496
90	18	88	1584
90	19	88	1672
90	20	88	1760
90	21	88	1848
90	22	87	1914

90	23	87	2001
90	24	87	2088
90	25	86	2150
90	26	86	2236
90	27	86	2322
90	28	86	2408
90	29	85	2465
90	30	85	2550
90	31	84	2604
90	32	84	2688
90	33	84	2772
90	34	83	2822
90	35	83	2905
90	36	82	2952
90	37	82	3034
90	38	82	3116
90	39	81	3159
90	40	81	3240
90	41	80	3280
90	42	80	3360
90	43	79	3397
90	44	79	3476
90	45	78	3510
90	46	77	3542
90	47	77	3619
90	48	76	3648
90	49	75	3675
90	50	75	3750
90	51	74	3774
90	52	73	3796
90	53	73	3869
90	54	72	3888
90	55	71	3905
90	56	70	3920
90	57	70	3990
90	58	69	4002
90	59	68	4012
90	60	67	4020
90	61	66	4026
90	62	65	4030
90	63	64	4032
90	64	63	4032
90	65	62	4030
90	66	61	4026
90	67	60	4020
90	68	59	4012

90	69	58	4002
90	70	57	3990
90	71	55	3905
90	72	54	3888
90	73	53	3869
90	74	51	3774
90	75	50	3750
90	76	48	3648
90	79	43	3397
90	80	41	3280
90	81	39	3159
90	82	37	3034
90	83	35	2905
90	84	32	2688
Área máxima			4032(m ²)
Área mínima			25(m ²)
Realizado por: Lara, Brayan & Ulloa, David, 2023.			

4.3 Pruebas de autonomía y tiempo de operación.

El objetivo de esta prueba es medir la autonomía del dispositivo con respecto a su batería. Para esta prueba se utiliza un medidor de voltaje de LiPo, que permite ver el voltaje de la batería con relación al tiempo de uso que tiene esta. Las pruebas fueron tomadas cada dos minutos, donde se pudo obtener los datos de la tabla 6-4.



a)

b)

Ilustración 3-4: Medidor de voltaje de batería lipo a) y temporizador b) para validar el tiempo de la muestra tomada.

Realizado por: Lara, Brayan & Ulloa, David, 2023.

La validación de esta prueba fue posible gracias al medidor de voltaje, dado que el consumo del dispositivo fue calculado anteriormente, debido a que se puede medir corriente en este dispositivo, se optó por medir la otra variable de la potencia que es el voltaje. Se decidió por esta opción porque la batería disminuye en función al tiempo de operación. Se realizó esta prueba para obtener el tiempo de operación máximo que puede tomar este dispositivo, obteniendo un tiempo de 26 minutos. Cabe recalcar que este tiempo puede variar en función de la carga de la batería, porque lo óptimo es cargarla al máximo, hay veces en que esta se encuentra desbalanceada y puede causar que su tiempo de operación disminuya.

Tabla 6-4: Muestras tomadas en función del dispositivo de medición de voltaje y el tiempo de muestra.

Número de muestra	Tiempo de operación (minutos)	Voltaje (V)	Comentarios
1	0	12,6	Batería a plena carga
2	2	12,5	
3	4	12,4	
4	6	12,3	
5	8	12,2	
6	10	12,1	
7	12	12	
8	14	11,9	
9	16	11,8	
10	18	11,7	
11	20	11,6	
12	22	11,5	
13	24	11,4	
14	26	11,3	Batería a mínima carga

Realizado por: Lara, Brayan & Ulloa, David, 2023.

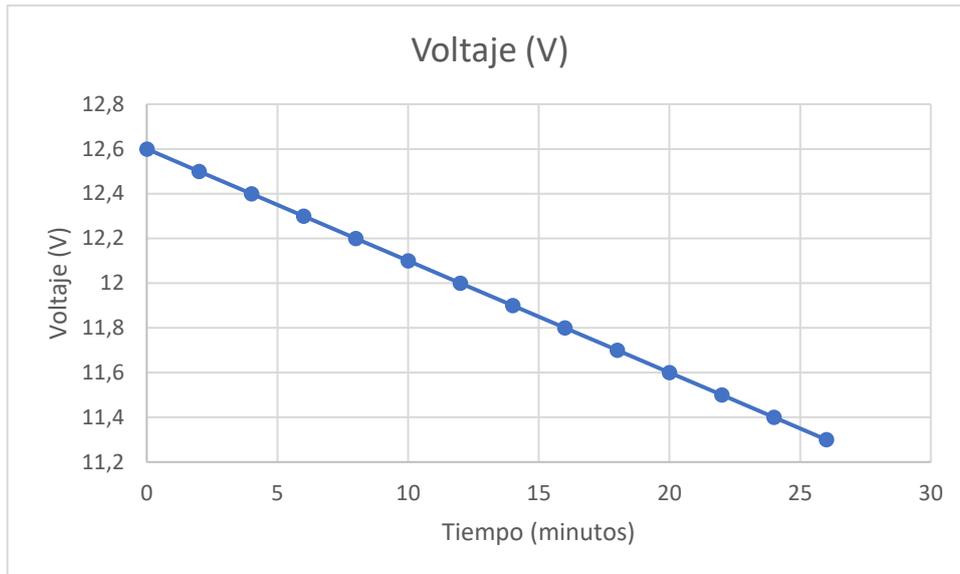


Gráfico 4-4: Comportamiento del voltaje en función del tiempo, donde se observa un comportamiento lineal.

Realizado por: Lara, Brayan & Ulloa, David, 2023.

4.4 Análisis de tiempo de carga de batería del dispositivo

El objetivo de esta prueba es conocer cuál es el promedio de tiempo de carga de batería al cual el operador debe esperar para poder utilizar el dispositivo. Esta prueba se realizó con los instrumentos descritos en la ilustración 8-4, donde la a) es el cargador de la batería en funcionamiento, mientras que b) es el cronometro utilizado para obtener el tiempo de la muestra en esta prueba.



a)



b)

Ilustración 4-4: Cargador de baterías de Lipo a) y b) cronometro utilizado para obtener el tiempo de muestra.

Realizado por: Lara, Brayan & Ulloa, David, 2023.

En la tabla 7-4 se aprecia que las muestras tomadas duran aproximadamente más de una hora, siendo estas tratadas para obtener un promedio de una hora con trece minutos de espera para poder utilizar nuevamente el dispositivo.

Tabla 7-4: Muestras tomadas para el obtener el tiempo promedio de carga del dispositivo.

Número de muestra	Tiempo(hh:mm:ss)
1	1:10:00
2	1:15:00
3	1:10:00
4	1:20:00
5	1:25:00
6	1:10:00
7	1:05:00
8	1:10:00
9	1:15:00
10	1:10:00
11	1:15:00
12	1:15:00
13	1:10:00
14	1:05:00
15	1:20:00
Promedio	1:13:00

Realizado por: Lara, Brayan & Ulloa, David, 2023.

4.5 Valoración de componentes seleccionados

La selección de componentes en base a los dispositivos anteriormente mencionados, en la tabla 8-4 se describe los componentes con los precios de mercado, mientras que en la tabla 9-4 se indica el precio detallado el precio de los componentes mecánicos y sistema de detección utilizados.

Tabla 8-4: Valoración de componentes electrónicos.

Dispositivo	Precio (\$)
Sistema de locomoción	
Arduino Nano	15
Sabertooth 2x12	75
Motor reductor x 4	160
Sistema de visualización	
Gafas FPV	75

Transmisor y cámara FPV	40
Sistema de operación remota	
Sistema de radio control	150
Sistema de alimentación	
Batería LiPo (1300mAh)	40
Sistema de alarma	
LED	10
Zumbador	2
Total	567

Realizado por: Lara, Brayan & Ulloa, David, 2022.

Tabla 9-4: Valoración del sistema Mecánico y de detección del dispositivo diseñado.

Objeto	Precio (\$)
Sistema mecánico	
Cojinete x2	30
Estructura	200
Tapas de acero	100
Soporte cámara y sensor	50
Llantas (par) x2	50
Sistema de detección	
Detector de Metales	180
Total	610

Realizado por: Lara, Brayan & Ulloa, David, 2022.

Por un lado, se obtuvo un gasto en parte eléctrica de 567 dólares americanos. Por otra parte, en la parte mecánica y de detección, se ha realizado un gasto de 610 dólares americanos, adquiriendo un total de 1177 dólares americanos finales para el desarrollo del prototipo.

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Este capítulo representa la culminación del trabajo de integración curricular y nos brinda la oportunidad de resaltar las fortalezas del proyecto. Además, se presentan recomendaciones para futuros proyectos de investigación y mejoras con relación al dispositivo teleoperado. Este análisis crítico del proyecto y las recomendaciones para el futuro son fundamentales para el éxito continuo de los esfuerzos de investigación y desarrollo en este campo.

5.1 CONCLUSIONES

En base al estudio realizado se determinó que la búsqueda y detección de minas antipersonales es un problema importante que ha ocasionado muchas víctimas en todo el mundo. Por ello en esta tesis se establecieron los requerimientos de uso y parámetros de operación necesarios para evitar este inconveniente, teniendo sistemas funcionales que componen al robot teleoperado para que resuelva dicho problema.

El análisis de los requerimientos ha permitido determinar las características que deberán cumplir los sistemas y las unidades funcionales para asegurar la correcta operación del robot. Además, se ha considerado la seguridad del operador, la eficiencia del robot en el campo, la confiabilidad y precisión en la detección de las minas antipersonales.

El sistema mecánico y electrónico descrito en este documento se construyó utilizando técnicas de impresión 3D y corte de piezas. Se realizaron las conexiones requeridas entre los motores y la tarjeta de control, además de la construcción de una placa que permitió el control del sistema de alarma y la detención de los motores. La integración precisa de estas piezas es esencial para garantizar el funcionamiento adecuado del dispositivo.

Se diseñó e implementó un algoritmo de control para recibir la señal del sensor detector de metales. Este algoritmo se programó en el entorno de desarrollo Arduino, que es de código abierto y fácil de utilizar para los usuarios. La correcta implementación de este algoritmo permitió el funcionamiento adecuado del dispositivo, logrando cumplir con los requerimientos establecidos en el documento.

Se evaluó el desempeño del robot teleoperado en términos de fidelidad en el seguimiento de órdenes y libertad de movimiento. Se concluyó que la distancia máxima de operación es de 100

metros desde el punto de operación. Sin embargo, se observó que la búsqueda máxima que el robot puede cubrir es de 4032 metros cuadrados en base a la fórmula utilizada para determinar los valores máximos del terreno.

Se evaluó la tasa de detección de minas antipersonales mediante pruebas de funcionamiento en ambientes controlados. Los resultados muestran que el dispositivo desarrollado tiene una tasa de detección del 90%, lo que indica que el operador tiene un margen de error del 10% en la búsqueda de minas antipersonales. Este alto nivel de precisión garantiza que el dispositivo es seguro y confiable en un 90% de los casos.

Se evaluó el grado de autonomía del dispositivo, obteniendo un tiempo de operación de 26 minutos y un promedio de una hora con trece minutos para el tiempo de carga óptimo. Esto indica que el dimensionamiento de la carga fue adecuado, ya que el cálculo realizado permitió tener un tiempo de operación de aproximadamente 26.23 minutos.

5.2 RECOMENDACIONES

Se recomienda cambiar las tapas del robot teleoperado por otras de menor espesor. Este cambio permitirá que aumente su autonomía, dado que el peso del prototipo disminuiría, lo que hará que los motores reduzcan el consumo para poder mover el dispositivo.

Es sugerible cambiar la cámara FPV por una de mejor resolución, dado que la cámara es de bajo coste, menores características de visión. Sin embargo, se podría cambiar por una cámara de la marca *flatshark* que permite observar el video en una mejor resolución.

Es recomendable mejorar el sistema diferencial del robot, lo que permitirá que pueda desenvolverse de mejor manera en terrenos irregulares.

Se recomienda analizar la posibilidad de utilizar baterías de mayor capacidad, permitiendo que su autonomía mejore de manera significativa, dándole más tiempo de operación al dispositivo, dando la posibilidad de recorrer áreas más extensas.

Se recomienda que el área donde se vaya a realizar la búsqueda de minas antipersonales sea las dos veces más que la mínima planteada en este documento, lo que dará un mejor rendimiento al momento de operar este dispositivo y permitirá al operador una mejor perspectiva del área trabajada.

BIBLIOGRAFIA

AGELELECTRONICA, 2022. Rollo de Filamento PETG para Impresora 3D. <https://agelectronica.lat/pdfs/textos/C/CR-PETG-ROJO.PDF>. 2022.

AKK, 2022. KC02: Transmisor FPV de 600mW + Cámara CCD. en línea. 2022. [Consultado 18 noviembre 2022]. Recuperado a partir de: <https://www.amazon.com/-/es/Transmisor-600TVL-Grados-Calidad-Multicoptero/dp/B01MRS9PRH/>

AMAZON, 2022a. Amazon.com: 5.8Ghz FPV Goggles, ARRIS VR-009 Video Headset 5.8G 40CH HD 3 Inch 16:9 Display Mini FPV Goggles for FPV Quadcopter Drones ... : Electronics. *FPV Goggles, ARRIS*. en línea. 2022. [Consultado 6 noviembre 2022]. Recuperado a partir de: https://www.amazon.com/5-8Ghz-Goggles-Arris-VR-009-Headset/dp/B07DGB252B/ref=sr_1_2_sspa?keywords=fpv+goggles&qid=1667879004&prefix=fpv+%2Caps%2C169&sr=8-2-spons&ufe=app_do%3Aamzn1.fos.006c50ae-5d4c-4777-9bc0-4513d670b6bc&psc=1

AMAZON, 2022b. Amazon.com : 5.8Ghz FPV Monitor LCD5802D 40Channels 7Inch LCD Monitor/Display Screen Receiver Monitor with DVR Built in Battery for FPV Drone Quadcopter... : Electronics. *FPV Monitor LCD5802D*. en línea. 2022. [Consultado 6 noviembre 2022]. Recuperado a partir de: https://www.amazon.com/Monitor-LCD5802D-40Channels-Receiver-Quadcopter/dp/B098Q71TBJ?crd=MK3ZC16VDC98&keywords=Eachine+LCD5802D&qid=1646317303&prefix=eachine+lcd5802d%2Caps%2C678&sr=8-3&linkCode=ll1&tag=fpv0101-20&linkId=8d3a929cc3d65081b28f9a92d4c75dd9&language=en_US&ref_=as_li_ss_tl

AMAZON, 2022c. Amazon.com: Radiolink AT9S Pro 10/12 Channels 2.4GHz RC Radio Transmitter and Receiver R9DS Remote Controller Long Range for FPV Racing Drone/Quad/Airplane and More (Mode 2 Left Hand) : Toys & Games. *Radiolink AT9S Pro 10/12 Channels 2.4GHz* . en línea. 2022. [Consultado 6 noviembre 2022]. Recuperado a partir de: https://www.amazon.com/dp/B07VC3VJGM/ref=redir_mobile_desktop?_encoding=UTF8&aaxitk=412091e13521cfb1bc4a527cd7f46505&content-id=amzn1.sym.53aae2ac-0129-49a5-9c09-6530a9e11786%3Aamzn1.sym.53aae2ac-0129-49a5-9c09-6530a9e11786&hsa_cr_id=3692188800901&pd_rd_plhdr=t&pd_rd_r=6c737647-e151-4b93-be60-871dcc337b92&pd_rd_w=jxeJi&pd_rd_wg=1kF9D&qid=1667879474&ref_=sbx_be_s_sparkle_lsi4d_asin_1_title&sr=1-2-a094db1c-5033-42c6-82a2-587d01f975e8

ARDUINO, 2015. Arduino Software (IDE). *Arduino IDE*. en línea. 2015. [Consultado 3 noviembre 2022]. Recuperado a partir de: <https://www.arduino.cc/en/Guide/Environment>

ARDUINO, 2022. Hardware de Arduino. <https://www.arduino.cc/en/hardware>. 2022.

ARNÁEZ, Enrique, 2015. *Enfoque práctico de la teoría de robots. Con aplicaciones en Matlab*. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC). ISBN 9786123180102.

ARRIS, 2022. ARRIS VR-009 - Gafas FPV de 5.8 GHz. en línea. 2022. [Consultado 20 noviembre 2022]. Recuperado a partir de: https://www.amazon.com/5-8Ghz-Goggles-Arris-VR-009-Headset/dp/B07DGB252B/ref=sr_1_2?crid=2QD6DRZ8CURMI&keywords=goggles+fpv&qid=1669913607&srefix=goggles+fpv%2Caps%2C269&sr=8-2

AUTODESK, 2018. Fusion 360 | Software CAD, CAM, CAE y de circuitos impresos 3D basado en la nube |. en línea. 2018. [Consultado 3 noviembre 2022]. Recuperado a partir de: <https://latinoamerica.autodesk.com/products/fusion-360/overview?term=1-YEAR&tab=subscription>

BAÑÓ AZCÓN, Alberto, 2003. *Análisis y Diseño del Control de Posición de un Robot Móvil con Tracción Diferencial*. Tarragona.

BARRIENTOS CRUZ, Antonio, BALAGUER, Carlos, PEÑIÑ, Luis Felipe y ARACIL, Rafael, 2007. *Fundamentos de Robótica*. 2da. Madrid: McGraw-Hill. ISBN 9788448156367.

BASICMICRO, 2020. *RoboClaw 2x15A Dual Channel Motor Controller Data Sheet RoboClaw 2x15A, 34VDC Dual Channel Brushed DC Motor Controller Data Sheet Version 2.4* en línea. Recuperado a partir de: <http://www.basicmicro.com>.

BRITISH MODEL FLYING ASSOCIATION, 2021. RADIO CONTROL TECHNICAL INFORMATION. *RADIO CONTROL TECHNICAL INFORMATION*. en línea. 2021. [Consultado 6 noviembre 2022]. Recuperado a partir de: <https://handbook.bmfa.uk/annex-b/7-rc-technical-info>

BRITO, Antonio Enríquez, SALDAÑA, Sergio, ÁNGEL, Sánchez, FERNÁNDEZ, Hernández, PROFESIONAL, Unidad, INSTITUTO, Zacatenco, NACIONAL, Politécnico, HORACIO, México, GARZA, Ahuett y MYSZKA, David H, 2012. *MÁQUINAS Y MECANISMOS Cuarta edición*.

CASTRO, David y RODRÍGUEZ, Stephanie, 2011. *Development boards: Tools for Design*.

CAUDERAY, Gérald C., 1993. Las minas antipersonales. *Revista Internacional de la Cruz Roja*. agosto 1993.

CERVELL, María José, 1999. Las minas antipersonal: ¿el principio del fin?. *Universitas Studiorum Navarrensis*.

CHAPMAN, Stephen J, 2012. *Máquinas Eléctricas, 5ta Edición*.

CONVENCIÓN SOBRE LA PROHIBICIÓN DEL EMPLEO, ALMACENAMIENTO, PRODUCCIÓN Y TRANSFERENCIA DE MINAS ANTIPERSONAL Y SOBRE SU DESTRUCCIÓN, 1997. *Las Naciones Unidas: Burkina Fasso*.

CREALITY, 2022. PETG Filamento de Impresora 3D. <https://www.amazon.com/-/es/Creality-PETG-Filamento-0-069-0-008/dp/B08QQFLN88?th=1>. 2022.

DIMENSION ENGINEERING, 2022. Controlador de motor dual regenerativo Sabertooth 2X12. en línea. 2022. [Consultado 16 junio 2022]. Recuperado a partir de: <https://www.dimensionengineering.com/products/sabertooth2x12>

DOMINGO, Susana y SAN MARTÍN, Eva, 1997. Un enemigo que no duerme: Las minas terrestres. *Manos Unidas: Departamento de Estudios y Documentación*. 1997.

EASYEDA, 2018. About EasyEDA. en línea. 2018. [Consultado 4 noviembre 2022]. Recuperado a partir de: <https://easyeda.com/page/about>

EL COMERCIO, 2018. Una breve historia sobre las minas antipersonas. en línea. 2018. [Consultado 6 febrero 2023]. Recuperado a partir de: <https://elcomercio.pe/tecnologia/breve-historia-minas-antipersonas-noticia-572365-noticia/?ref=ecr>

ELECTROSTORE, 2022. Motorreductor Pololu Metálico. en línea. 2022. [Consultado 16 octubre 2022]. Recuperado a partir de: <https://grupoelectrostore.com/shop/motores/pololu-motores/motorreductor-pololu-metalico-25d48l-mm-hp-12v-471/>

ELECTROSTORE, 2023a. Buzzer de sonido intermitente HYT-3015B. en línea. 2023. [Consultado 5 enero 2023]. Recuperado a partir de: <https://grupoelectrostore.com/shop/componentes-electronicos-basicos/buzzers/buzzer-5-24v-sonido-intermitente-hyt-3015b/>

ELECTROSTORE, 2023b. Módulo convertidor de voltaje nivel lógico bidireccional. en línea. 2023. [Consultado 11 febrero 2023]. Recuperado a partir de: <https://grupoelectrostore.com/shop/modulos-y-shields/reguladores-de-voltaje/modulo-convertidor-de-voltaje-nivel-logico-bidireccional-33v-a-5v-ttl/>

ESCOBAR, L.M y AROCA, K.E, 2017. FIMAQ Investigación y Docencia. . septiembre 2017.

ESPRESSIF, 2022. ESP32. en línea. 2022. [Consultado 2 noviembre 2022]. Recuperado a partir de: <https://www.espressif.com/en/products/socs/esp32>

FISCHER, C y WIESBECK, W, 2001. Multistatic GPR for antipersonnel mine detection. En: *IGARSS 2001. Scanning the Present and Resolving the Future. Proceedings. IEEE 2001 International Geoscience and Remote Sensing Symposium (Cat. No.01CH37217)*. 2001. pp. 2721–2723 vol.6. DOI 10.1109/IGARSS.2001.978141.

FOROUZAN, Behrouz, 2002. *Transmisión de datos y redes de comunicaciones*. McGraw-Hill Education.

GAROSA, 2022. Rodamiento de Bloque de Almohada. en línea. 2022. [Consultado 10 diciembre 2022]. Recuperado a partir de: <https://www.amazon.es/Rodamiento-Alineaci%C3%B3n-Autoalineable-Inserci%C3%B3n-Alojamiento/dp/B07VMN87SB>

GONZÁLEZ, V, 2018. *Bases para el Diseño de Sistemas de Robótica Industrial*. Valladolid: Universidad de Valladolid.

HAIZG, 2023. Haizg faros de coche LED C6. en línea. 2023. [Consultado 17 enero 2023]. Recuperado a partir de: https://es.made-in-china.com/co_gzhaizg/product_Haizg-Wholesale-C6-LED-Car-Headlights-H7-Kit-Luces-LED-H11-9005-H4-72W-8000lm-Car-LED-Bulbs-6000K-Bombillo-Luz-LED-12V-Fog-Lights-Automobiles-Headlight-C6-H4_uoyghuoueg.html

HART, Daniel, 2001. *ELECTRÓNICA DE POTENCIA*.

HIDALGO, María del Mar, 2014. *El desarme humanitario: instrumentos para erradicar el uso y comercio de minas antipersonal, municiones de racismo y otras armas especialmente nocivas*.

KHAMIS, A, 2015. Minesweepers: Towards a Landmine-free World. En: *2015 IEEE Canada International Humanitarian Technology Conference (IHTC2015)*. 2015. pp. 1–4. DOI 10.1109/IHTC.2015.7238038.

MARTÍNEZ BERTRAN, Jaume, 2017. *Métodos de estimación del estado de carga de baterías electroquímicas*. Barcelona: Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial de Barcelona.

NORTON, Robert L, 2009. *FACTORES DE CONVERSIÓN De unidades estadounidenses usuales a unidades métricas*.

NOVATRONIC, 2020. Kit chasis robot orugas. en línea. 2020. [Consultado 6 febrero 2023]. Recuperado a partir de: <https://novatronic.com/index.php/product/kit-chasis-robot-orugas/>

OLLERO BATURONE, Aníbal, 2001. *Robótica: manipuladores y robots móviles*. Barcelona: Marcombo.

ORCROM S.A, 2020. ¿Cómo funciona un detector de metales? | Te lo explicamos | Orcrom. en línea. 2020. [Consultado 24 octubre 2022]. Recuperado a partir de: <https://orcrom.com/como-funciona-un-detector-de-metales>

PANASONIC, 2023. Batería recargable Panasonic AA NiCd 1,2 V 700 mAh N-700AAC con botón superior, para solar, sin cable. en línea. 2023. [Consultado 6 febrero 2023]. Recuperado a partir de: <https://www.amazon.com/-/es/Bater%C3%ADa-recargable-Panasonic-N-700AAC-superior/dp/B07GZ27DPK>

PROMOTEC, 2019. Las cámaras FPV. en línea. 2019. [Consultado 6 noviembre 2022]. Recuperado a partir de: <https://www.promotec.net/las-camaras-fpv/>

PSUKHAI, 2022. Detector de metales profesional. en línea. 2022. [Consultado 15 diciembre 2022]. Recuperado a partir de: <https://www.amazon.com/-/es/Detector-profesional-auriculares-impermeable-ajustable/dp/B08SBZ67JR>

RESTREPO TOBÓN, Simón, 2021. *Desarrollo de materiales compuestos a partir de residuos sólidos peligrosos: baterías no recargables de Zinc-Carbón y Alcalinas*. Medellín: Universidad de Antioquia.

ROBOT POWER, 2022. Robot Power Products - Scorpion Mini. en línea. 2022. [Consultado 25 octubre 2022]. Recuperado a partir de: http://robotpower.com/products/scorpion_mini_info.html

ROBOTSHOP, 2023. Yahboom Trikebot smart robot w/ WiFi camera for Raspberry Pi 4B/3B+(Without Raspberry Pi Board). en línea. 2023. [Consultado 6 febrero 2023]. Recuperado a partir de: <https://www.robotshop.com/es/products/yahboom-trikebot-smart-robot-w-wifi-camera-raspberry-pi-4b-3bwithout-raspberry-pi-board>

ROSENGARD, Ulf, DOLAN, Thomas, MIKLUSH, Dmitri y SAMIEI, Massoud, 2001. *El desminado con fines humanitarios: técnicas nucleares pueden ayudar en la búsqueda de minas terrestres*.

SERWAY, Raymond A, JEWETT, John W y VÍCTOR CAMPOS OLGUÍN TRADUCTOR PROFESIONAL REVISIÓN TÉCNICA MISAEEL FLORES ROSAS, Traducción, 2008. *Séptima edición*.

SPEKTRUM, 2023. Spektrum Paquete de batería Smart RC LiPo: 2200mAh 4S 14.8V 30C con conector IC3 (compatible con EC3), SPMX22004S30, negro. en línea. 2023. [Consultado 6 febrero 2023]. Recuperado a partir de: https://www.amazon.com/-/es/Spektrum-Paquete-bater%C3%ADa-Smart-LiPo/dp/B07HP594C1/ref=sr_1_4?__mk_es_US=%C3%85M%C3%85%C5%BD%C3%95%C3%91&crd=27D8OCPHHV8OS&keywords=lipo+battery&qid=1675808928&srefix=bater%C3%ADa+lipo%2Caps%2C164&sr=8-4

SISSPEACE y EL CENTRO INTERNACIONAL DE DESMINADO HUMANITARIO DE GONEBRA, 2016. *La acción contra minas antipersonal y la mediación de paz*.

TATTU GENS ACE, 2023. Batería Lipo Gens Ace 3S 11,1V 2200mAh 25C. en línea. 2023. [Consultado 6 enero 2023]. Recuperado a partir de: <https://genstattu.com/ga-b-45c-2200-2s1p-deans.html>

TOLOCKA, Ernesto, 2022. Primeros pasos con la STM32 Blue Pill | profe Tolocka. en línea. 2022. [Consultado 31 octubre 2022]. Recuperado a partir de: <https://www.profetolocka.com.ar/2021/04/12/primeros-pasos-con-la-stm32-blue-pill/>

TRUPER, 2021. Blíster con 2 pilas zinc-carbón tamaño C, Volteck. en línea. 2021. [Consultado 6 febrero 2023]. Recuperado a partir de: <https://www.truper.com/pila-zinc-carbon-tama-o-c-blister-con-2-pzas-volteck.html>

UNICEF, 2005. *Introducción a la educación en el riesgo de las minas*.

UNICEF, 2005. *Manual del Facilitador Comunitario: Acción Humanitaria contra Minas*. . 2005. UNICEF.

UNMAS, 2015. *Manual de seguridad sobre minas terrestres, restos explosivos de guerra y artefactos explosivos improvisados*. Nueva York.

VILLASEÑOR CARRILLO UBALDO GEOVANNI, GORROSTIETA HURTADO EFRÉN, PEDRAZA ORTEGA JESÚS CARLOS, RAMOS ARREGUIN JUAN MANUEL, COLLAZO CUEVAS JOSE IVAN, GONZÁLEZ AGUIRRE MARCO ANTONIO, ROMERO TORRES RUBEN ALEJANDRO y SERRANO HERNANDEZ CARLOS JUAN FRANCISCO, 2009. *Diseño Mecatrónico de un Robot Móvil (Configuración Diferencial)* . Veracruz.



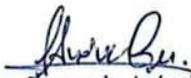
ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE
CHIMBORAZO



DIRECCIÓN DE BIBLIOTECAS Y RECURSOS DEL
APRENDIZAJE

UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS
REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 10/04/2023

INFORMACIÓN DE LOS AUTORES	
Nombres – Apellidos:	David Alejandro Ulloa Carvajal Brayan Javier Lara Márquez
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL	
Facultad:	Informática y Electrónica
Carrera:	Electrónica y Automatización
Título a optar:	Ingeniero en Electrónica y Automatización
f. Analista de Biblioteca responsable:	 Ing. Fernanda Arévalo M.



1394-DBRAI-UPT-2023

