



ESPE

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

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

**TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO MECATRÓNICO**

**TEMA: REPOTENCIACIÓN DEL ROBOT DESACTIVADOR DE
BOMBAS CON CONTROL TELEDIRIGIDO DEL GRUPO DE
INTERVENCIÓN Y RESCATE G.I.R PERTENECIENTE A LA
POLICÍA NACIONAL DEL ECUADOR**

**AUTOR: CÓNDROR ZAPATA ANDREA FERNANDA
MARTÍNEZ HERRERA PEDRO DAVID**

DIRECTOR: ING. IBARRA ALEXANDER

SANGOLQUÍ – ECUADOR

2017



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

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

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación "REPOTENCIACIÓN DEL ROBOT DESACTIVADOR DE BOMBAS CON CONTROL TELEDIRIGIDO DEL GRUPO DE INTERVENCIÓN Y RESCATE G.I.R PERTENECIENTE A LA POLICÍA NACIONAL DEL ECUADOR", realizado por los señores Córdor Zapata Andrea Fernanda y Martínez Herrera Pedro David, ha sido revisado en su totalidad y analizado por el software anti-plagio, el mismo cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, por lo tanto me permito acreditarlo y autorizar a los señores Córdor Zapata Andrea Fernanda y Martínez Herrera Pedro David para que lo sustenten públicamente.

Sangolquí, 13 de Febrero de 2017

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "Alexander Ibarra", is written over a horizontal line.

Msc. Alexander Ibarra

DIRECTOR



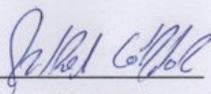
**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA**

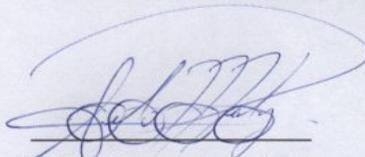
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, Andrea Fernanda Córdor Zapata con cédula de identidad No. 1717914905 y Pedro David Martínez Herrera con cédula de identidad No. 0302061627, declaramos que este trabajo de titulación "REPOTENCIACIÓN DEL ROBOT DESACTIVADOR DE BOMBAS CON CONTROL TELEDIRIGIDO DEL GRUPO DE INTERVENCIÓN Y RESCATE G.I.R PERTENECIENTE A LA POLICÍA NACIONAL DEL ECUADOR" ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se ha respetado los derechos intelectuales de terceros considerándose en las citas bibliográficas.

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

Sangolquí, 13 de Febrero de 2017


Córdor Zapata Andrea Fernanda
C.C: 1717914905


Martínez Herrera Pedro David
C.C: 0302061627



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

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

AUTORIZACIÓN

Nosotros, Andrea Fernanda Córdor Zapata y Martínez Herrera Pedro David, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar en la biblioteca virtual de la institución el presente trabajo de titulación "REPOTENCIACIÓN DEL ROBOT DESACTIVADOR DE BOMBAS CON CONTROL TELEDIRIGIDO DEL GRUPO DE INTERVENCIÓN Y RESCATE G.I.R PERTENECIENTE A LA POLICÍA NACIONAL DEL ECUADOR", cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra total autoría y responsabilidad.

Sangolquí, 13 de Febrero de 2017

Córdor Zapata Andrea Fernanda

C.C: 1717914905

Martínez Herrera Pedro David

C.C: 0302061627

DEDICATORIA

Este logro profesional se lo dedico a mis padres Guillermo y Celmira quienes con su amor, sus enseñanzas, su paciencia y su confianza me han apoyado de forma incondicional tanto psicológica, personal y económicamente. Ellos son mi ejemplo de amor sincero y de superación a pesar de las adversidades, y es gracias a ellos que hoy culmino esta etapa importante en mi vida.

A mis hermanos Byron y Sebastián quienes me han apoyado a lo largo de todo este camino con su amor y paciencia.

Andrea Fernanda Cóndor Zapata.

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a Dios por ser el creador y guía que me ha traído hasta este punto de mi vida, brindado la capacidad y fortaleza en los momentos más difíciles para poder ser más para servir mejor.

A mi familia en general por ser el trabajo que muchas de las veces nos alejó físicamente pero incremento el amor que existe entre nosotros.

De igual manera dedico esta tesis a mis padres Janeth y Fredy por su amor por los sacrificios realizados que solo los padres hacen por sus hijos, por ser las personas que día a día creyeron en mí, me educaron con hábitos, valores, buenos sentimientos, perseverancia y me enseñaron a soñar.

A mis hermanos Dennise y Mateo por ser compañeros y amigos de travesuras y ocurrencias, por sus aportes, compañía, sacrificio y buenos consejos como son “Ya todo va a estar bien” por ser esa motivación para la lucha.

A mi enamorada Andrea por el amor, comprensión y apoyo que me brinda día a día, por ser la fortaleza y el aliento en mis momentos difíciles.

A mis Abuelitos y mi familia en general por su apoyo incondicional.

A mi país y su gente para que este proyecto nos permita vivir en un lugar más seguro donde todos aportemos y crezcamos.

Pedro David Martínez Herrera.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por bendecirme día a día con su amor infinito permitiendo que culmine esta etapa importante en mi vida.

A mis padres, Guillermo por ser una pilar fundamental en mi vida, por sus consejos acertados, por su apoyo y aliento de superación, por confiar siempre en mí, por su preocupación, su carisma y su gran amor, y a Celmira mi madre, quien me ha brindado su amor y apoyo incondicional para que no decaiga en el camino, por su preocupación y consejos que han hecho que tome decisiones correctas, y sobre todo por su paciencia. Con ellos he aprendido que no hay que rendirse jamás por más difícil que este el camino, son mi ejemplo de superación. Estoy muy agradecida con ellos por todo esto y mucho más.

A mis hermanos Byron y Sebastián por su carisma, por su amistad, por su amor, por su preocupación e interés en todo lo que he realizado, por su apoyo y comprensión cuando más la he necesitado.

A Pedro le agradezco por su amor y su apoyo incondicional, por su paciencia, por su carisma, por todas sus enseñanzas a lo largo de éste camino ya que gracias a él aprendí mucho, y por su dedicación para la realización de la presente tesis ya que a pesar de los problemas nunca se rindió, es un ejemplo de lucha y superación.

A mis amigos con quienes he compartido varios años de universidad, por su ayuda, por sus enseñanzas, por su apoyo y su amistad.

A todos los integrantes del Grupo De Intervención y Rescate quienes confiaron en el presente proyecto y nos abrieron las puertas para la realización del mismo, llegando así a alcanzar esta meta.

Andrea Fernanda Córdor Zapata.

AGRADECIMIENTOS

La vida es hermosa y una característica de esta hermosura es compartir y disfrutar con quienes amamos así como la capacidad de ayudar y ser ayudados.

A Dios por ser mi guía espiritual, que me brindo fuerza y fe para realizar mis sueños.

A mis Padres Janeth y Fredy por los sacrificios realizados, las enseñanzas y amor brindado.

A mis Hermanos por la colaboración y compañía en sus momentos de vacaciones para lograr este proyecto.

A mi enamorada, compañera y amiga Andrea por su paciencia, colaboración y empuje para que esta tesis se realice, no puedo catalogar como una tesis fácil pero que si la pudimos lograr.

A mi Universidad y profesores por ser gestores y motivadores, en especial quiero agradecer a mi tutor de Tesis Ing. Alexander Ibarra por su calidad de catedrático y dones de gente que motivaron a la selección y culminación de este proyecto.

A mi amigo Cap. Ing. Danilo Vasconez por abrir las puertas para que se realice este proyecto.

A Don Guillermo Córdor y Señora Celmira Zapata por las enseñanzas, guías y colaboraciones brindadas para realizar esta tesis.

Al Grupo de Intervención y Rescate de la Policía Nacional del Ecuador, por confiar el proyecto en nosotros y brindar la oportunidad de un trabajo conjunto, de igual manera al escuadrón de Explosivos de dicha institución policial, en especial al Cap. Juan Carlos Gines quien colaboro y apporto para desarrollar esta tesis.

Pedro David Martínez Herrera.

INDICE DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN.....	II
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD	III
AUTORIZACIÓN	IV
DEDICATORIA.....	V
DEDICATORIA.....	VI
AGRADECIMIENTOS	VII
AGRADECIMIENTOS	VIII
INDICE DE CONTENIDOS.....	IX
INDICE DE FIGURAS.....	XII
INDICE DE TABLAS	XVII
RESUMEN.....	XIX
ABSTRACT	XX
CAPÍTULO 1	1
GENERALIDADES.....	1
1.1. ANTECEDENTES	1
1.1.1. Historia.....	1
1.1.2. Misión.....	2
1.1.3. Visión	2
1.1.4. Valores Institucionales	2
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.	3
1.3. OBJETIVO.	4
1.3.1. Objetivo general	4
1.3.2. Objetivos específicos	4
1.4. ALCANCE.....	4
1.4.1. Componentes mecánicos.....	5
1.4.2. Componentes electrónicos/eléctricos.....	5

1.4.3. Componentes del sistema de control	5
1.5. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA.....	6
CAPÍTULO 2	7
MARCO TEÓRICO	7
2.1. BRAZO ROBÓTICO	7
2.1.1. Robot antropomórfico.....	9
2.1.2. Efecto final	10
2.2. ROBOTS MÓVILES.....	12
2.2.1. Locomoción de robots móviles.....	14
2.3. ROBOTS HÍBRIDOS.....	17
2.4. ROBOTS TELEDIRIGIDOS	18
2.4.1. Teleoperación	18
2.4.2. Video Cámaras	20
2.4.3. Casco de realidad virtual.....	21
2.4.4. Radio frecuencia	23
2.5. ROBÓTICA MILITAR.....	24
CAPITULO 3	29
DESARROLLO DEL SISTEMA.....	29
3.1. ESTADO ACTUAL DEL ROBOT	29
3.1.1. Control o mando a distancia.....	30
3.1.2. Cámaras.....	30
3.1.3. Robot	31
<input type="checkbox"/> BRAZO ROBÓTICO	31
<input type="checkbox"/> CHASIS	31
<input type="checkbox"/> CARROCERÍA	32
3.2. REQUERIMIENTOS	34
3.3. DESARROLLO DE HARDWARE.....	35
3.3.1. Desarrollo de hardware electrónico.....	36
3.3.2. Desarrollo hardware mecánico.....	101
CAPITULO 4	128

PRUEBAS Y RESULTADOS	129
4.1. TIEMPO DE OPERACIÓN DE BATERÍAS	129
4.2. PRUEBA DE CAJA NEGRA	130
4.3. TELEOPERACIÓN	132
4.4. EFECTIVIDAD DEL DISRUPTOR.....	133
4.5. SUPERACIÓN DE GRADAS	136
4.6. USABILIDAD	138
CAPITULO 5	141
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	141
5.1. CONCLUSIONES	141
5.2. RECOMENDACIONES	143
BIBLIOGRAFÍA.....	144
ANEXOS.....	148
A1: PLANOS MECÁNICOS	149
A2: DIAGRAMAS DE FLUJO DE PROGRAMACIÓN	150
A3: DIAGRAMAS ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS	151
A4: PROGRAMAS CONTROL (EMISOR) Y ROBOT (RECEPTOR).....	152
A5: MANUAL DE USUARIO CÁMARA FATSHARK	153
A6: DATASHEETS.....	154

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Similitud entre brazo robótico y brazo humano.....	7
Figura 2. Configuración de un robot antropomórfico.....	10
Figura 3. Pinza de desplazamiento angular.....	11
Figura 4. Componentes del disruptor de agua.....	11
Figura 5. Disruptor de agua como efector final.....	12
Figura 6. Oruga rectangular.....	14
Figura 7. Oruga triangular.....	15
Figura 8. Oruga trapezoidal.....	15
Figura 9. Partes de un sistema de locomoción.....	16
Figura 10. Robot híbrido PackBot 510 de iRobot.....	17
Figura 11. Aplicación de robots híbridos. a) Robo Sally desactivador de bombas con manos. b) Robot extintor Scarab Vulcain.....	18
Figura 12. Elementos básicos de teleoperación.....	19
Figura 13. Casco de hiperrealismo.....	22
Figura 14. Explicación visual de la visión estereoscópica.....	23
Figura 15. Aviones no tripulados a) Robot Hawks b) Robot Predator.....	25
Figura 16. Robots marinos a) Robot GhostSwimmer. b) Embarcaciones autónomas no tripuladas.....	25
Figura 17. Robot Plataforma M.....	26
Figura 18. Robot Uran 6.....	26
Figura 19. Robot neutralizador de bombas utilizado en Manhattan.....	27
Figura 20. Robot Telemax marca Cobham.....	27
Figura 21. Exoesqueleto Sarcos XOS 2.....	28
Figura 22. Big Dog Boston Dynamics.....	28
Figura 23. Al lado izquierdo robot inoperativo, lado derecho estación de control inalámbrica.....	29
Figura 24. Mando a distancia original del robot.....	30
Figura 25. Cámara original del robot ubicada en la torreta.....	30
Figura 26. Brazo robótico.....	31
Figura 27. Motor con caja reductora modelo RS420A.....	32

Figura 28. Representación de conexión entre dos Xbee	40
Figura 29. Diagrama de conexión entre el arduino y el xbee.....	40
Figura 30. Representación de conexión del arduino con el xbee mediante un escudo.....	41
Figura 31. a) Pines de conexión del xbee. b) Diagrama de conexión en Proteus. c) Representación de conexión la placa electrónica.	41
Figura 32. Batería AGM 12VDC	44
Figura 33. Batería AGM 12VDC y 55Ah	46
Figura 34. Diagrama de conexión de la caja de control.....	47
Figura 35. Conexión entre arduino y xbee.....	48
Figura 36. Conector del joystick.....	50
Figura 37. Diagrama esquemático de conexión.....	50
Figura 38. Diagrama final de conexión entre el arduino, el xbee y el conector del joystick	51
Figura 39. Descripción del sistema de visión seleccionado.....	53
Figura 40. Diagrama de conexión del sistema de visión.....	54
Figura 41. Diagrama eléctrico de conexión del sistema de visión	55
Figura 42. Diagrama eléctrico esquemático.....	56
Figura 43. Diagrama de conexión del sistema de teleoperación	59
Figura 44. Localización del motor de las ruedas.....	59
Figura 45. a) Driver 50A5M. b) Diagrama de conexión del driver 50A5M.....	60
Figura 46. Diagrama eléctrico de acople entre la etapa de control y etapa de potencia del motor RS420A.....	61
Figura 47. Localización del motor GNM4125.....	62
Figura 48. Localización de freno eléctrico del motor.....	62
Figura 49. Diagrama de operación del motor GNM4125	63
Figura 50. a) Puente H con mosfeets STP36FN06 b) Polarización mosfeet puente H para giro horario. c) Polarización mosfeet puente H para giro anti horario.	64
Figura 51. Diagrama de conexión del Mosfeet IR2184 para control de puente H.....	64
Figura 52. Funcionamiento del mosfeet IR2184	65

Figura 53. Diagrama de implementación del puente H.....	65
Figura 54. Diagrama de acondicionamiento de señal con opto acopladores	67
Figura 55. Lógica de control para señales acondicionadas	67
Figura 56. Conversor DC-DC comercial LM2596 Step Down	68
Figura 57. Diagrama completo de control y potencia del motor GNM4125...	69
Figura 58. a) Ruteo para placa electrónica de los motores GNM4125. b) simulación en 3D de la placa electrónica de los motores GNM4125	70
Figura 59. Fabricación final de la placa de control de motores GNM4125 ...	71
Figura 60. Diagrama eléctrico para control del freno	71
Figura 61. Diagrama de cálculo de resistencia de base de control de freno.	72
Figura 62. Diagrama eléctrico de placa para control de los dos frenos	74
Figura 63. a) Ruteo eléctrico placa de control de frenos b) Vista inferior de simulación 3D placa de control de frenos c) Vista superior de simulación 3D placa de control de frenos.....	74
Figura 64. Placa eléctrica de control de frenos.....	75
Figura 65. Diagrama de driver de puente H VNH5180A.....	76
Figura 66. Diseño de driver de puente H VNH5180A	76
Figura 67. Diagrama de entradas y salidas de driver puente H VNH5180A .	77
Figura 68. Diagrama de PCB puente H VNH5180A_E_BOARD	78
Figura 69. Ubicación de sensores limit switch.	78
Figura 70. Diagrama de acondicionamiento de la señal de limit switch.....	79
Figura 71. Esquema de conexión de lámparas en serie.....	81
Figura 72. Diagrama de circuito de control de lámparas.....	82
Figura 73. Iniciador de carga explosiva.	84
Figura 74. Diagrama de control del iniciador de carga explosiva.....	84
Figura 75. Conector eléctrico para disruptor.....	85
Figura 76. Ubicación de la luz testigo del robot.	86
Figura 77. Diagrama de control de luz testigo.	86
Figura 78. Comportamiento de descarga de baterías.....	87
Figura 79. Voltímetro utilizado para medir el nivel de batería.	88
Figura 80. Disyuntores de protección eléctrica.	89

Figura 81. Diagrama de conexión de elementos de protección.	91
Figura 82. Diagrama de conexión de fusible para elementos de control.	92
Figura 83. Diagrama esquemático de la placa de control.	93
Figura 84. Diagrama de acondicionamiento de voltaje de la placa principal.	94
Figura 85. a) Conversor DC-DC mini buck. b) Regulador de voltaje AMS1117. c) Puente de Diodos.	94
Figura 86. Diagrama de conexión del arduino	96
Figura 87. Diagrama de conexión del xbee	96
Figura 88. Diagrama eléctrico de la placa de control	97
Figura 89. Ruteo superior PCB de la placa de control	98
Figura 90. Ruteo inferior PCB de la placa de control	98
Figura 91. Simulación 3D vista superior e inferior de la placa de control	99
Figura 92. Vista superior de la placa de control fabricada	99
Figura 93. Vista inferior de la placa de control fabricada	100
Figura 94. Esquema de conexión del láser	100
Figura 95. Diseño de la caja de control para mando a distancia	102
Figura 96. Diseño interior de la caja de control para mando a distancia	103
Figura 97. Caja de control para mando a distancia implementada	103
Figura 98. Diseño del acople de la cámara del gripper	104
Figura 99. Acople de la cámara del gripper implementado	105
Figura 100. Acople cámara del gripper ensamblado en el brazo robótico ..	105
Figura 101. Diseño del acople de la cámara de la torreta	106
Figura 102. Acople implementado de la cámara de la torreta	106
Figura 103. Mantenimiento preventivo de motor de codo	107
Figura 104. Mantenimiento correctivo del motor del gripper	107
Figura 105. Mantenimiento del chasis	108
Figura 106. Dimensiones necesarias para el diseño del piñón	109
Figura 107. Diseño de piñón para acople de motor	112
Figura 108. Ensamblaje del piñón en la torreta	112
Figura 109. Caja reductora con engranes planetarios	112
Figura 110. Ensamblaje final de la torreta	113
Figura 111. a) Soporte de interruptor. b) Interruptor para incorporar al robot .	113

Figura 112. Acople final del soporte al disruptor	119
Figura 113. Ensamblaje final del disruptor de agua	119
Figura 114. Ubicación de fuerza para análisis mecánico de la estructura ..	120
Figura 115. Análisis mecánico de la estructura	121
Figura 116. Desplazamiento generado debido a la fuerza aplicada	121
Figura 117. Diseño de acople para mira láser	122
Figura 118. Desfase de la mira láser con respecto al centro del impacto...	122
Figura 119. Ensamblaje final del disruptor y la mira láser.....	123
Figura 120. Esquema de comunicación entre el emisor y el receptor	123
Figura 121. Diagrama de botones del joystick	125
Figura 122. Diagrama de flujo del software del emisor	126
Figura 123. Diagrama de flujo del software del receptor.....	128
Figura 124. Prueba de funcionamiento del disruptor	134
Figura 125. Posicionador físico ubicado en la parte frontal del disruptor....	135
Figura 126. Prueba de superación de una grada.....	136
Figura 127. Prueba de superación de siete gradas	137
Figura 128. Resultados de facilidad de aprendizaje	139
Figura 129. Resultados de facilidad de operación	139
Figura 130. Grado de satisfacción del usuario.....	139

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Configuraciones de robots industriales	8
Tabla 2. Tipos de robot móviles.....	13
Tabla 3. Comparación entre los sistemas de orugas y ruedas	16
Tabla 4. Tipos de cámaras	20
Tabla 5. Topologías de red	24
Tabla 6. Descripción del estado actual del robot	33
Tabla 7. Requerimientos de desempeño del robot	35
Tabla 8. Selección de micro controlador.....	36
Tabla 9. Características Arduino Mega ADK	37
Tabla 10. Selección de tecnología inalámbrica.....	37
Tabla 11. Características de la tecnología ZigBee	38
Tabla 12. Selección del dispositivo Zigbee	39
Tabla 13. Características del ZigBee Xbee Pro Serie 1.....	39
Tabla 14. Selección de tipo de baterías.....	42
Tabla 15. Dimensionamiento de batería para la estación de teleoperación..	43
Tabla 16. Dimensionamiento de la batería para el robot	45
Tabla 17. Selección de joystick.....	49
Tabla 18. Características del control Dualshock 2.....	49
Tabla 19. Conexión entre el control Dualshock 2 y el arduino	51
Tabla 20. Selección del sistema de visión	52
Tabla 21. Características del sistema FatShark Teleporter V3RTF FPV	52
Tabla 22. Selección de pantalla externa	58
Tabla 23. Características de la pantalla eBoTrade-Tech.....	58
Tabla 24. Tabla de verdad de mosfeet IR2184.....	65
Tabla 25. Funcionamiento general del puente H	66
Tabla 26. Funcionamiento de la lógica de control.....	68
Tabla 27. Tabla de verdad de entradas para control de driver VNH5180A ..	77
Tabla 28. Selección de sistema de iluminación	80
Tabla 29. Características lámpara led AUXBEAM.....	81
Tabla 30. Entradas y salidas del arduino	95

Tabla 31. Selección de material de caja de control de mando a distancia..	101
Tabla 32. Parámetros de configuración del xbee.....	124
Tabla 33. Botones del joystick con su correspondiente nomenclatura para utilizar en la librería.....	125
Tabla 34. Resultados de funcionamiento.....	130
Tabla 35. Pruebas de caja negra.....	131
Tabla 36. Pruebas de teleoperación en edificio.....	132
Tabla 37. Resultados de pruebas de teleoperación con obstáculos.....	133
Tabla 38. Resultados de funcionamiento del disruptor con la mira láser....	134
Tabla 39. Resultado de funcionamiento disruptor con posicionador físico .	135
Tabla 40. Resultados de calificación de la facilidad de aprendizaje y operación del sistema.....	138

RESUMEN

El presente proyecto desarrolló la repotenciación del robot anti bombas Robin 1 del Grupo de Intervención y Rescate perteneciente a la Policía Nacional del Ecuador, éste robot se encontraba inoperativo por alrededor de veinticinco años en el escuadrón Anti Explosivos de dicha institución. El robot es de tipo híbrido, combinando un robot móvil y un brazo de tipo antropomórfico con una pinza como efector final, el robot se repotenció de manera integra a través de un control de teleoperación con visión en tiempo real, se implementó un joystick para su operación, tiene la capacidad de movilizarse en suelos no artículos y gradas mediante las ruedas tipo orugas, además dispone de dos cámaras, una para el avance y la otra para la operación de la pinza, el robot también dispone de un disruptor de agua para la neutralización de paquetes explosivos, y además el sistema energético brinda dos horas de autonomía para el funcionamiento del robot.

Este proyecto fue desarrollado para precautelar la vida y la seguridad de los operarios del escuadrón anti bombas.

PALABRAS CLAVE:

- **ROBÓTICA**
- **ROBOT HÍBRIDO**
- **TELEOPERACIÓN**
- **ROBOT ANTI BOMBAS**
- **REPOTENCIACIÓN**

ABSTRACT

This project developed the repowering of bomb shelter robot named Robin 1 of Intervention and Rescue Group belonging to National Police of Ecuador. This robot was inoperative for around twenty five years in the institution named above. It is a hybrid robot that combines a mobile robot with an anthropomorphic arm that has a gripper as a final effector. The robot was integrally repowered through a teleoperation control with real time vision. Besides a joystick was implemented for its operation, it has the ability through the crawler wheels to move on non-articulated floors and stairs. It also has two cameras, one to move along and the other to operate the gripper, the robot includes a water disruptor to kill the explosives. The energetic system provides two hours for robot operation.

This project was developed to save the security and the operators life of the bomb squad.

KEYWORDS:

- **ROBOTICS**
- **HYBRID ROBOT**
- **TELEOPERATION**
- **BOMB SHELTER ROBOT**
- **REPOWERING**

CAPÍTULO 1

GENERALIDADES

1.1. Antecedentes

La institución patrocinadora es el Grupo de Intervención y Rescate (GIR) que es una unidad élite de la Policía Nacional del Ecuador con 37 años de servicio al País. Su objetivo es la ejecución de operaciones tácticas especiales, orientadas a combatir el crimen organizado en todas sus manifestaciones; una de sus unidades es la de explosivos y municiones, siendo la encargada de atender las emergencias e incidentes transportando y destruyendo artefactos explosivos o sospechosos, además de rescatar y evacuar personas; por esta razón en la década de los noventa implementó la utilización de un robot desactivador de bombas el cual funcionó unos años y al momento se encuentra inactivo.

1.1.1. Historia

El Grupo de Intervención y Rescate (GIR) es una unidad de élite táctica de la Policía Nacional del Ecuador, la cual empezó a formarse entre los años 1976 y 1977, debido a que en el país principalmente en las provincias de Guayas, Manabí y Pichincha se estaban formando bandas delincuenciales organizadas, equipadas y que atentaban contra la seguridad del estado y la sociedad, por lo que se realizaron los cursos de “Fuerzas Especiales” donde participaban jóvenes policías hasta el 18 de junio de 1984, donde por resolución del Consejo Superior de la Policía Nacional, según acuerdo ministerial, se cambió definitivamente al nombre de “Grupo de Intervención y Rescate”.

Se encuentra organizada para luchar contra la delincuencia, combatir el crimen organizado en todas sus manifestaciones, realizando allanamientos, detenciones y neutralización de organizaciones delictivas, grupos armados o

terroristas; liberación de personas secuestradas; protección a personalidades importantes nacionales y extranjeros; localización neutralización, transporte y destrucción de artefactos explosivos o sospechosos; además de rescatar y evacuar personas. La institución, tiene 37 años de servicio al País, siendo una institución grande reconocida a nivel mundial; cuenta con cuatro sedes a nivel nacional ubicadas estratégicamente en las ciudades de Cuenca, Guayaquil, Manta, Quito.

1.1.2. Misión

Corresponde al GIR la protección a dignatarios, personalidades importantes y visitantes ilustres del país; la localización, neutralización, transporte y destrucción de artefactos explosivos o sospechosos; la prevención de actos terroristas, de rescate y evacuación de personas y ayuda en casos de desastre natural o provocado por el hombre y es un grupo de apoyo a los demás servicios policiales. (GIR)

1.1.3. Visión

El GIR será una unidad policial, altamente especializada y capacitada en operaciones tácticas de alto riesgo, cuyos hombres tendrán los mejores niveles de profesionalismo, moral y calidad humana, gozando de gran prestigio y reconocimiento en el ámbito nacional e internacional.

1.1.4. Valores Institucionales

Debido a la responsabilidad ética y social que implica nuestra misión profesional, a más de los principios que guían a la institución, requerimos de un conjunto de valores personales que conduzcan a dar lo mejor de nosotros durante el desempeño profesional y en nuestra vida privada.

Estos valores se aprenden en la familia y en la escuela, son reforzados durante el proceso de enseñanza y formación que recibimos, no solo en las aulas sino con la palabra y el buen ejemplo de nuestros superiores.

De ahí que es imprescindible conocer los valores que fundamentan nuestro comportamiento y que surgen desde las más profundas convicciones personales que nos transforman en policías.

Si elegimos la profesión de policía es porque en nosotros prevalece la vocación de servicio público y estamos conscientes que la población puede recurrir a nosotros ante la necesidad de protección, en caso de una emergencia, cuando el orden público sea alterado o cuando requiere una guía, información o soporte.

Por ello, debemos preguntarnos si en verdad somos la clase de persona íntegra, honesta, transparente, valiente y sacrificada que la sociedad necesita y espera.

- Integridad
- Transparencia
- Calidez
- Solidaridad
- Colaboración
- Efectividad
- Respeto
- Responsabilidad
- Lealtad

1.2. Planteamiento del problema.

El Grupo de Intervención y Rescate en la actualidad tiene un robot desactivador de bombas, el cual se encuentra inactivo, lo que obliga a los técnicos a realizar procedimientos manuales con los explosivos, debido a la tecnología obsoleta, la falta de mantenimiento, repuestos, mano de obra calificada, si esta deficiencia se mantiene incrementa la vulnerabilidad de los técnicos, razón por la cual se repotenciará el robot desactivador de bombas con control teledirigido.

1.3. Objetivo.

1.3.1. Objetivo general

Repotenciar el robot Robin 1 desactivador de bombas mediante control teledirigido del Grupo de Intervención y Rescate G.I.R perteneciente a la Policía Nacional del Ecuador

1.3.2. Objetivos específicos

- Implementar un control inalámbrico para operar el robot a una distancia mínima de 100 metros.
- Reactivar el funcionamiento del sistema de ruedas y brazo robótico del robot desactivador de bombas.
- Realizar pruebas de funcionamiento y ejecución de correcciones durante el proceso de ensamble.

1.4. Alcance

El presente proyecto busca la repotenciación del robot desactivador de bombas mediante el diseño e implementación de un mando inalámbrico y teledirigido que brinde como mínimo una distancia de cien metros para el manejo por parte del operador con visión en tiempo real, garantizando y buscando precautelar la seguridad del factor humano, de igual manera se implementará un sistema eléctrico y electrónico adecuado, se diseñará un efector final para así permitir una función diferente ampliando las capacidades del robot. Este robot será capaz de moverse por terrenos no estructurados, subir gradas de hasta veinte centímetros de alto y será diseñado con una protección contra el contacto y penetración de agua tipo IP2.

1.4.1. Componentes mecánicos

El robot con el cual se va a trabajar es una planta con un sistema mecánico definido que reutilizaremos. La planta requiere un mantenimiento general, en el proceso se analizará el funcionamiento de la estructura del robot para según las falencias diseñar partes para mejorarlo, además se hará la selección de materiales según sea el caso para el cambio o creación de piezas. Los elementos de transmisión requieren un proceso de mantenimiento preventivo, limpieza y engrase, en caso de encontrarse falencias serán sometidos a mantenimiento correctivo. Para incrementar la utilidad del robot se diseñará e implementará un efector final tipo disruptor.

1.4.2. Componentes electrónicos/eléctricos

Se diseñará e implementará un control inalámbrico que garantice la operación del robot a una distancia mínima de cien metros, se procesarán y acondicionarán datos e imágenes para la emisión y transmisión desde el robot al mando inalámbrico para generar movimientos y capacidades previamente programadas en el robot con la capacidad de ser desarrolladas en tiempo real, contando con un sistema de visión en tiempo real mediante cámaras. Se realizará la selección de elementos óptimos para el trabajo y almacenamiento energético.

1.4.3. Componentes del sistema de control

El robot funcionará tele operado por una persona capacitada en el comando del sistema mediante el mando a distancia y con el uso de cámaras en tiempo real requiriendo el control de diferentes actuadores implementando:

- Control de mando inalámbrico.
- Sistema de monitorización.
- Sistema de comunicación inalámbrica.

- Placa de control.
- Baterías.
- Módulos de control de motores.
- Elementos de conexión.
- Cámaras.
- Sensores.

1.5. Justificación e importancia.

El GIR es el único ente profesional y de servicio a la comunidad encargado de localizar, neutralizar, transportar y destruir artefactos explosivos, actividad que se ha venido desarrollando en los últimos años de manera manual exponiendo la vida de técnicos en explosivos, razón por la cual se repotenciará el robot desactivador de bombas dándole movilidad y versatilidad, permitiendo controlar e inspeccionar remotamente, con la aplicación de los conocimientos adquiridos en la carrera de Ingeniería Mecatrónica.

La sociedad y la unidad élite de la Policía Nacional se beneficiarán de este proyecto con la disponibilidad del robot desactivador de bombas para el servicio, de igual manera la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE será beneficiaria de la oportunidad de participación en un nuevo y amplio campo de investigación como es la robótica bélica.

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

En este capítulo se podrá observar conceptos necesarios para entender la temática y desarrollo de esta tesis, se hablará de los robots y brazos robóticos, su clasificación, elementos terminales, maneras de comunicación y control mediante teleoperación.

2.1. Brazo robótico

Al brazo robótico se puede definir como el conjunto de elementos integrados por una estructura mecánica, transmisiones, sistema de accionamiento, sistema sensorial, sistema de control y elementos terminales, que se ha diseñado en base a la gran versatilidad del brazo humano con una constitución física similar como se puede observar en la figura 1. Tiene eslabones (brazo y antebrazo) unidos por articulaciones (hombro, codo y muñeca), las cuales permiten al robot posicionarse, orientarse o la combinación de ambas. Además estos robots presentan una característica en común, el sedentarismo. De manera general pueden mover sus elementos terminales y articulaciones en un determinado espacio de trabajo.

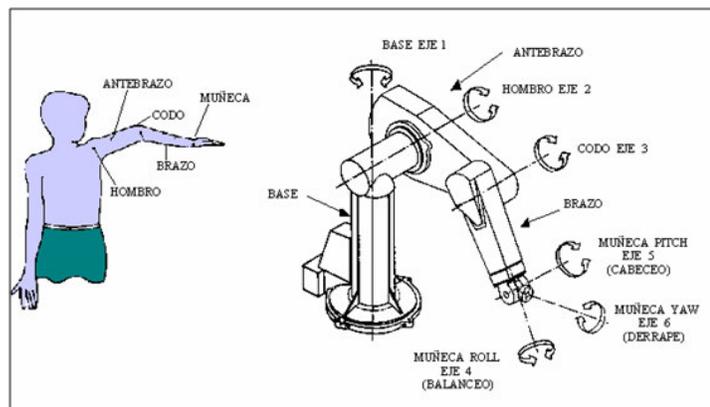


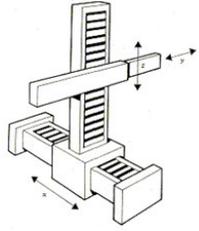
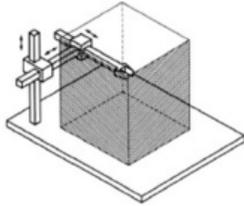
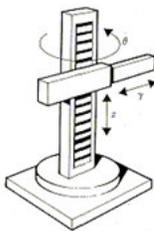
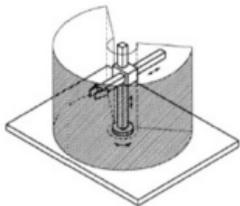
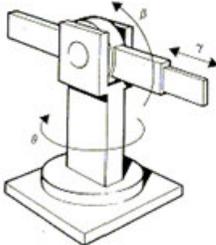
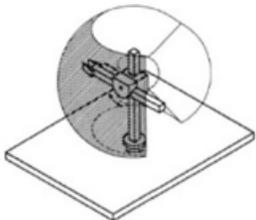
Figura 1. Similitud entre brazo robótico y brazo humano

Fuente: (James, 2010)

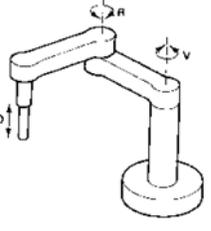
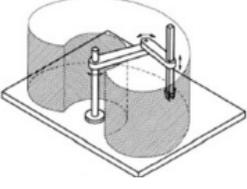
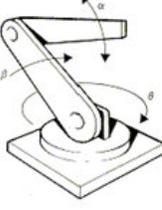
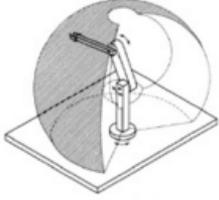
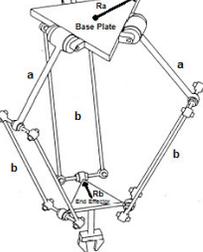
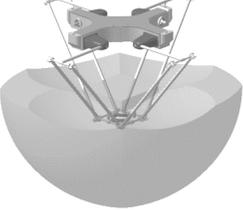
En la mayoría de brazos robóticos se ocupan seis grados de libertad (GDL) ya que se requiere 3 GDL para la cadena cinemática encargada de posicionar y 3 GDL para la cadena cinemática encargada de orientar, pero existen excepciones de menor y mayor cantidad de grados de libertad dependiendo de la simplicidad o complejidad de funciones que el robot va a realizar respectivamente.

Las combinaciones de articulaciones, eslabones y tipos de movimientos determinan la morfología en un robot y el volumen de revolución (espacio de trabajo en el que ellos pueden operar), dando lugar a distintos tipos de configuraciones de robots industriales como se muestra en la tabla 1.

Tabla 1
Configuraciones de robots industriales

Nombre	Característica	Figura	Volumen de revolución
Robot Cartesiano	<ul style="list-style-type: none"> - Formado por tres articulaciones de tipo prismático PPP. - Tiene tres GDL. - Se mueve en x, y, z. 		
Robot Cilíndrico	<ul style="list-style-type: none"> - La articulación de la base es del tipo rotacional. - Tiene tres GDL, dos movimientos lineales y un rotacional (RPP). 		
Robot Esférico o Polar	<ul style="list-style-type: none"> - Las dos primeras articulaciones son rotacionales perpendiculares entre sí y un movimiento lineal (RRP). 		

Continua 

<p>Robot Scara</p>	<p>Se parece al esférico pero los tres ejes son paralelos entre si (RRP).</p>		
<p>Robot Antropomórfico</p>	<p>Es una variación del esférico con tres articulaciones, una rotacional y dos angulares.</p>		
<p>Robot Delta</p>	<p>Robot de brazos paralelos conectados a juntas universales en su base (RRR).</p>		

2.1.1. Robot antropomórfico

Los Robots Antropomórficos son una de las configuraciones que tienen los robots industriales, se asemejan al ser humano principalmente en la parte del hombro, brazo y muñeca, que le sirven básicamente para ponerse en una posición en el espacio y orientarse para realizar un determinado trabajo. Esta configuración de robots industriales ayuda mucho en tareas peligrosas, pesadas y repetitivas, aprovechando la variedad de movimientos que posee, razón por la cual el sector industrial está incursionando con estas máquinas en sus plantas de producción.

El robot antropomórfico por lo general posee tres articulaciones para posicionar y tres articulaciones para orientar la pieza o herramienta del robot, esta configuración por lo general presenta cinco o seis grados de libertad como se observa en la figura 2. Por la estructura que presenta el robot tiene gran maniobrabilidad, puede variar la posición y orientación mejorando el acceso del efector final a espacios reducidos poco accesibles.

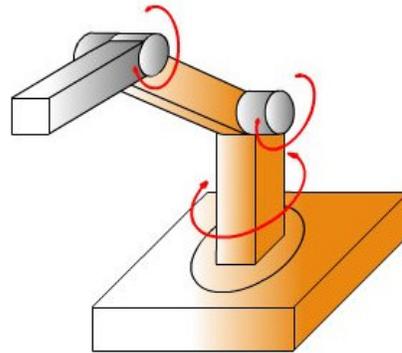


Figura 2. Configuración de un robot antropomórfico

Fuente: (Bueno)

2.1.2. Efecto final

El término de efecto final, se utiliza para describir la pinza, herramienta o elemento que se ubica a continuación de la muñeca, se encarga de realizar la tarea directamente e interactúa con el medio, permitiendo al robot realizar una aplicación particular. El robot puede disponer de uno o varios elementos terminales, estos elementos se los puede clasificar según la función que realizan, elementos para sujeción de materiales (pinzas, ventosas, electroimanes), herramientas que permiten realizar trabajos sobre el material (taladros, sopletes, laser), y el tercer grupo está reservado para elementos que no encajan en los dos anteriores (extrusor, cámaras).

- **Pinza de desplazamiento angular**

La pinza de desplazamiento angular es una pinza que dispone de un pivote y genera la forma de un arco mediante la apertura y cierre de la misma. Sirve para transporte y manipulación de elementos sobre los que no importa ejercer presión.



Figura 3. Pinza de desplazamiento angular

Fuente: (Robotiq, 2016)

- **Disruptor**

El disruptor de agua también llamado cañón de agua, es un dispositivo utilizado por el Grupo de Intervención y Rescate para la desarticulación de artefactos explosivos y objetos sospechosos, buscando la no detonación de los mismos.

El disruptor de agua se compone de un cañón, mira laser, trípode, proyectiles, cables, boquilla, empuñadura y amortiguador como se observa en la figura 4. Es principalmente un cañón en cuyo interior se pone una carga explosiva que se activa eléctricamente a 24VDC, se llena el barril de agua y se pone un tapón, una vez activada la carga, el agua sale expulsada a altas presiones sirviendo como proyectil a pesar de estar pulverizada cuando la carga explosiva ha sido detonada dentro del cañón.

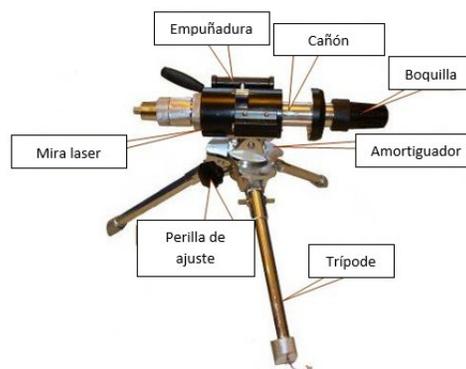


Figura 4. Componentes del disruptor de agua

Fuente: (Bridgat, 2012)

Dependiendo el tipo de disruptor, en un promedio se puede decir que la distancia de disparo efectiva es 0-1 m a 0-2.5 m, con la cual se pueden perforar objetos tales como tubería de hierro de 4 mm de espesor, ladrillo de 50 mm de espesor o tablero de madera de 20 mm de espesor a una distancia de 7 metros del objeto sospechoso.

Otra de las formas de utilización es no llenar el cilindro con agua, sino simplemente introducir firmemente el proyectil de perforación en el cañón, la distancia de disparo efectiva es 0-1 m, con la cual se puede penetrar un tubo de hierro fundido con 70 mm de diámetro a una distancia de 400 mm con respecto al objeto sospechoso.

El cañón de agua puede ser utilizado como un efector final para el robot de la policía (Ver figura 5), debido a que podría aumentar las funciones del mismo, una de las ventajas es que debido al brazo robótico, se podría obtener un posicionamiento y orientación más exacta, además gracias al gran tamaño y peso del robot, podría soportar el retroceso tras el tiroteo.

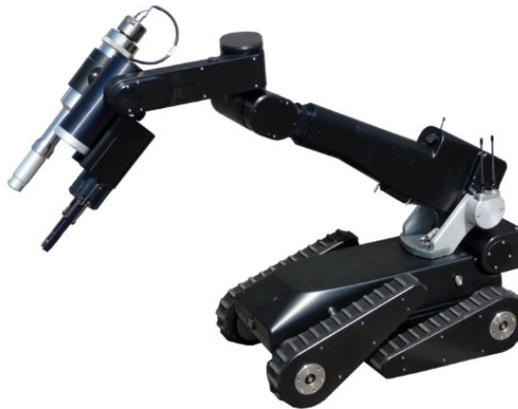


Figura 5. Disruptor de agua como efector final

Fuente: (Kidon, 2015)

2.2. Robots móviles

Son robots con la capacidad de desplazarse en el medio circundante utilizados para exploración y transporte, están provistos de automoción, ruedas, orugas o extremidades que les permiten desplazarse de acuerdo a la

información que reciben a través de sus sensores, fueron previamente programados, o son comandados en tiempo real. Dentro de este grupo tenemos los robots que se muestran en la tabla 2.

Tabla 2
Tipos de robot móviles

Nombre	Característica	Imagen
Androide o Humanoide	Imitan la forma y conducta humana. Se encuentran en estudio	
Zoomórfico	Imitan la locomoción de los seres vivos, con patas o sin ellas, cuadrúpeda, hexápoda, gusano.	
Vehículos	Ruedas circulares Brinda mayor agilidad y velocidad. Usado en su mayoría para terrenos estructurados.	
	Orugas Diseñado para terrenos no articulados, superar más obstáculos,	

2.2.1. Locomoción de robots móviles

La locomoción hace referencia a las posibilidades de trasladarse de un punto a otro, en los robots al igual que en la naturaleza esta actividad se la puede realizar de diferentes maneras como caminar, rodar, arrastrarse, volar, saltar, para esto existen robots con ruedas, hélices, patas o extremidades y con orugas.

- **Locomoción tipo orugas**

Son sistemas de eslabones modulares, elementos metálicos o de goma debidamente combinados para movilizar el vehículo de un punto a otro, además sirven como apoyo, buscando proporcionar grandes áreas de contacto y bajas presiones al suelo permitiéndole desplazarse por suelos no estructurados con baja capacidad de soporte y con bajas velocidades.

Existen diferentes configuraciones:

- Oruga convencional, posee una cadena de forma rectangular con rueda motriz trasera y muy cercana al suelo, se caracterizan por presentar una perfecta distribución de la masa de la máquina en toda la superficie de apoyo dándole una alta eficiencia tractiva y reducida compactación de suelo, es una de las más utilizadas comercialmente. (Ver figura 6).



Figura 6. Oruga rectangular

Fuente: (Claas, 2014)

- Oruga triangular, como su nombre lo indica tiene una forma triangular, tiene la rueda motriz elevada, que brinda la posibilidad de sortear obstáculos de mayor tamaño. (Ver figura 7)



Figura 7. Oruga triangular

Fuente: (Gallardo, 2004)

- Orugas trapezoidales, logran mantener una buena visibilidad de trabajo, gracias a su rodamiento delantero de menor diámetro, distribuyen muy bien el peso en el apoyo de la banda de rodamiento mejorando la tracción y reduciendo los efectos de compactación de suelo.

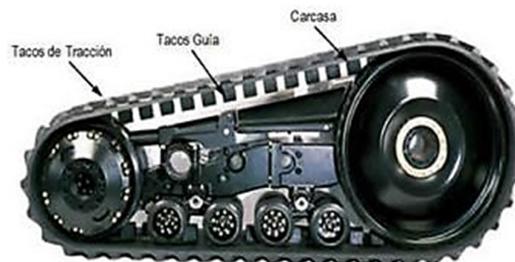


Figura 8. Oruga trapezoidal

Fuente: (Caterpillar)

Las partes de un sistema de locomoción tipo oruga como se detalla en la figura 9 son:

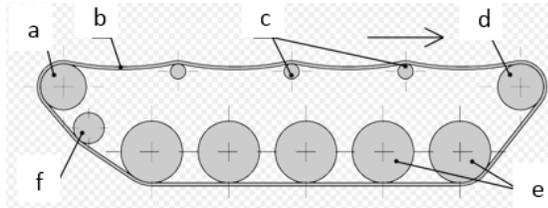


Figura 9. Partes de un sistema de locomoción

Fuente: (Wikipedia, 2016)

- a. Rueda de transmisión.
- b. Oruga.
- c. Rodillo de retorno.
- d. Rueda de transmisión delantera.
- e. Ruedas de rodadura.
- f. Rodillo tensor.

A continuación se realiza una comparación del sistema de orugas y de ruedas para corroborar las prestaciones que esta brinda.

Tabla 3
Comparación entre los sistemas de orugas y ruedas

CARACTERÍSTICAS DE FUNCIONAMIENTO	RUEDAS	ORUGAS
Terrenos blandos y arenoso	Sí, pero con ruedas de gran tamaño y poca presión	Si
Terrenos rocosos	No	Si
Terrenos con pendiente transversal	Limitación por peligro de vuelco.	Si

Continua 

Terrenos con pendiente longitudinal	Limitaciones en pendientes grandes.	Superan hasta el 50% de la pendiente.
Sistema de tracción	Puede lograr como máximo un 80% de eficiencia tractiva en su configuración ideal	Logran el 98% de eficiencia de tracción con el uso de la relación peso-potencia aprovechando más eficientemente el peso de la máquina para traducirla en tracción.

2.3. Robots híbridos

Son robots que no se los podría ubicar en un solo grupo, móviles o robots industriales ya que combinan dos o más de las estructuras, pueden considerarse híbridos algunos robots formados por la yuxtaposición de un carro y de un brazo semejante al de los robots industriales. La combinación de dos sistemas de locomoción en un único sistema híbrido permite obtener la velocidad, controlabilidad y autonomía propios de una plataforma móvil terrestre. Cuando se habla de robot híbrido se refiere a la fusión de configuraciones más no al término híbrido de combinación en la energía locomotora.



Figura 10. Robot híbrido PackBot 510 de iRobot

Fuente: (Gizmodo, 2016)

En la actualidad el uso de robots híbridos es cada día más común, fusionan la versatilidad del desplazamiento y las capacidades de trabajar con los materiales o en los materiales, como es el caso de robots para trabajos con explosivos, robots para incendios, sub acuáticos para recolección en el fondo marino como se observa en la figura 11.

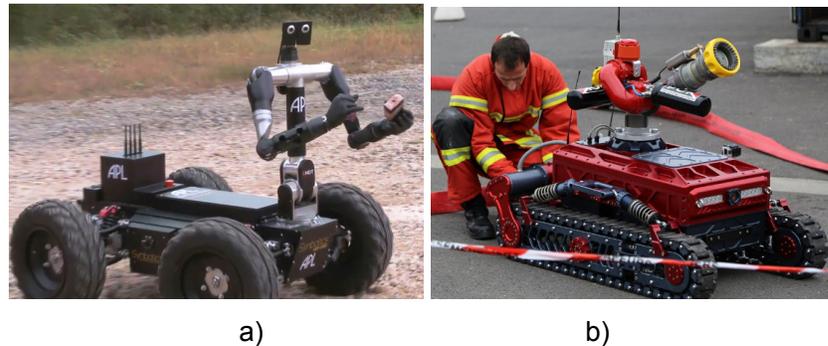


Figura 11. Aplicación de robots híbridos. a) Robo Sally desactivador de bombas con manos. b) Robot extintor Scarab Vulcan.

Fuente: (Chw, 2013), (Tecdrón, 2015)

2.4. Robots teledirigidos

La Nasa los define en 1978 como dispositivos robóticos con brazos manipuladores y sensores y cierto grado de movilidad, controlados remotamente por un operador humano de manera directa o a través de un ordenador.

2.4.1. Teleoperación

La teleoperación es el conjunto de tecnologías que permiten operar un robot a distancia, la forma más conocida de trabajo es maestro-esclavo, en el que el operador trabaja con un robot o artefacto maestro que percibe los movimientos y envía al robot esclavo instrucciones. La intervención del operador humano es indispensable porque los entornos son muy dinámicos y variantes. Un sistema de teleoperación tiene cuatro elementos:

- Teleoperador (operador).- Humano encargado de realizar a distancia el control de la operación.
- Dispositivo teleoperado.- Trabaja en un sitio remoto y es gobernado por el operador.
- Interfaz.- conjunto de dispositivos que permite la interacción hombre máquina, incluye el elemento maestro, controles, monitores de video u otro dispositivo capaz de enviar o recibir información.
- Control y canal de comunicación.- dispositivos encargados de modular, adaptar y transmitir el conjunto de señales entre la zona remota y el área de trabajo.
- Sensores.- dispositivos encargados de adquirir la información en la zona de trabajo y zona remota para ser utilizada por la interfaz y el control.

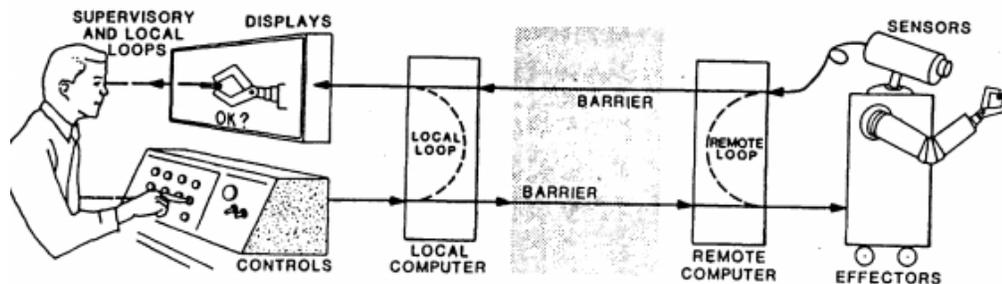


Figura 12. Elementos básicos de teleoperación

Fuente: (Ortega, 2004)

La telerobótica es el conjunto de tecnologías que comprenden la monitorización y control de un robot de forma remota. Surge de la necesidad de precautelar la vida en sitios de riesgo, reemplazando al ser humano para realizar las tareas y además actuar como ojos y oídos de las personas que no se encuentran en ese medio.

El humano actúa en tiempo real cerrando un bucle de control de alto nivel, o dando órdenes para que se ejecuten sentencias con cierto grado de automatismo. Esta área de la robótica permite el control de robots a distancia

que aumenta mucho sus aplicaciones pero depende de las conexiones, y de la interface humano maquina o interface de usuario que son el conjunto y combinación de software y hardware que brindan el control y la información necesaria para realizar las tareas.

2.4.2. Video Cámaras

Una cámara de video es un dispositivo generalmente portátil que permite registrar imágenes y en algunos casos sonidos convirtiéndolos en señales eléctricas que pueden ser reproducidas por un aparato determinado, cuando la imagen esta lista puede ser grabada o emitida a un sistema de producción, que permite la visualización en tiempo real en el lugar donde se encuentre la cámara o en un sitio remoto con ayuda de internet o señales de frecuencia.

Tabla 4
Tipos de cámaras

Tipo	Características	Aplicación	Ejemplo
Cámara IP	<ul style="list-style-type: none"> • Emisión directa de imagen a la red ya que dispone de su propio ordenador. • Se conecta a través de internet a una dirección IP fija, pública o sistemas ddns. • Puede enviar imágenes por correo electrónico. • Activación a través de otros sensores. • Es programable. • Visualización en tiempo real. • Almacenamiento de información en DVR externo, nube y memorias integradas y externas. • Puede tener movimiento rotacional, vertical y horizontal. • Pueden tener visión nocturna a través de infrarrojos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Vigilancia. • Robot explorador • Máquinas. 	

Continua 

Cámara por radio frecuencia	<ul style="list-style-type: none"> • Trabaja por radio frecuencia (propagación de ondas magnéticas) desde los 2.4 GHz hasta 300 GHz. • Alcance limitado en relación a cámara IP. • No requiere de ordenaron ni internet. • Activación a través de otros sensores. • Visualización en tiempo real. • Almacenamiento de información en DVR externo, memorias integradas y externas. • Puede tener movimiento rotacional, vertical y horizontal. • Pueden tener visión nocturna a través de infrarrojos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Vigilancia. • Robot explorado. • Maquinas. • Aeromodelismo • Monitorización aérea. 	
-----------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------

2.4.3. Casco de realidad virtual

La realidad virtual o aumentada en los últimos tiempos se ha ido popularizando pero, esta tiene sus orígenes en los años 70 cuando el ejército de los EEUU desarrollo este sistema para entrenar al personal de aviación y no tener que arriesgar personal ni aeronaves en los entrenamientos, posteriormente fue usada también por el grupo de la NASA. Quienes marcaron el inicio y ahora se puede conseguir una gran cantidad de modelos con diferentes características de acceso comercial.

La realidad virtual busca crear un entorno o escenas de apariencia real, mediante equipos informáticos los cuales son únicamente ilusiones debido a que son estímulos perceptivos sin soporte físico, de situaciones reales que suceden en otro lugar o situaciones creadas por un ordenador. Las situaciones son proyectadas mediante gafas o cascos como se observa en la figura 13, estos pueden ir acompañados con más periféricos para incrementar la interacción y percepción de estímulos. Los dispositivos de realidad virtual también se acompañan de dispositivos de audio para incrementar el realismo.



Figura 13. Casco de hiperrealismo.

Fuente: (Turner, 2011)

La visión en la realidad virtual se puede realizar por visión estereoscópica que permite ver una imagen con sensación de tres dimensiones esto se logra haciendo una representación igual para cada ojo de la imagen que se va a observar, estas representaciones son posteriormente proyectadas desde un mismo plano y separadas una distancia que está determinada por la distancia a la cual se encuentra el observador del plano de las imágenes. Desde este punto de vista, también existen equipos de visión monocular a través de los cuales se visualizan los objetos en la forma habitual.

Otra opción para la visión en realidad virtual es por binoculares, son equipos que constan de una pantalla individual para cada ojo, para el funcionamiento de la visión estereoscópica, es necesario tener un equipo que tenga esta característica; para equipos de visión monoscópica esta característica es opcional. Así mismo, también existen equipos monoculares, los cuales constan de una sola pantalla para ambos ojos como se observa en la figura 14.

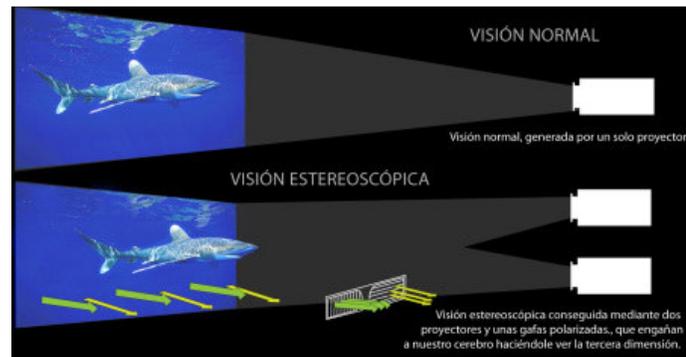


Figura 14. Explicación visual de la visión estereoscópica

Fuente: (Render Área, 2011)

2.4.4. Radio frecuencia

El concepto de radiofrecuencia se emplea para nombrar a las frecuencias del espectro electromagnético que se utilizan en las radiocomunicaciones. Se aplica a la porción menos energética del espectro electromagnético situada entre 3 GHz y 300 GHz. Las ondas, por su parte, suponen la propagación de esta radiación, acarreando energía. Las transmisiones de televisión, radio, radar y telefonía móvil emplean este tipo de emisión así como audio, video, transmisión de datos, tanto en el ámbito civil como en el ámbito militar. Dependiendo del número de dispositivos a conectarse así como las funciones que cada miembro de la red dispone, se pueden tener las siguientes topologías de red como se observa en la tabla 5.

Tabla 5
Topologías de red

Topología de redes	Características	Esquema
Punto-a-punto	Se refieren a una conexión limitada a dos extremos o nodos, por ejemplo: llamada celular.	 <p>OFICINA PRINCIPAL OFICINA REMOTA ENLACE PUNTO A PUNTO</p>
Punto a multipunto	Se refiere a que existe un punto central que se comunica con varios otros puntos remotos, esto significa que la comunicación es solamente entre el punto central y los remotos, y de éstos hacia el central por lo tanto no existe comunicación entre los remotos.	 <p>Punto y Multipunto</p>

2.5. Robótica Militar

Las guerras son hitos en el desarrollo tecnológico, en las guerras se ha evidenciado la Implementación de robots militares, desde el año 2003 ha existido un incremento exponencial en el uso y fabricación de robots militares pasando de ser unidades de apoyo a ser unidades primarias de ataque.

La aplicación de robots aéreos ha tenido gran éxito, pueden ser drones o cuadricópteros, aunque estos dispositivos luzcan diferentes a los usados para el ocio, también pueden ser aviones no tripulados por ejemplo Global Hawks que son aviones de vigilancia, espionaje o aeronaves letales como Predator, las dos aeronaves son utilizadas por la Fuerza Aérea de Estados Unidos desde 1995, en ocasiones el Global Hawks puede detectar un objetivo y el Predator destruirlo.



Figura 15. Aviones no tripulados a) Robot Hawks b) Robot Predator

Fuente: (Scramble Aviation Society, 2016), (Franjul, 2016)

De igual manera para el agua se han creado muchos robots con diferentes funciones, entre las que tenemos el reconocimiento del fondo submarino, desactivación de minas, recolección de muestras bajo el fondo marino, vigilancia de fronteras, además de escoltas o interceptación de otras embarcaciones. Creando barcos, submarinos no tripulados, robot zoomórficos, etc. Como se puede observar en la figura 16a el prototipo de un robot zoomórfico, el GhostSwimmer será utilizado para la vigilancia de fronteras. Las embarcaciones de la figura 16b corresponden a lanchas de la marina de EEUU no tripuladas autónomas en una prueba en la que rodean a una embarcación no identificada en el río James en Virginia.

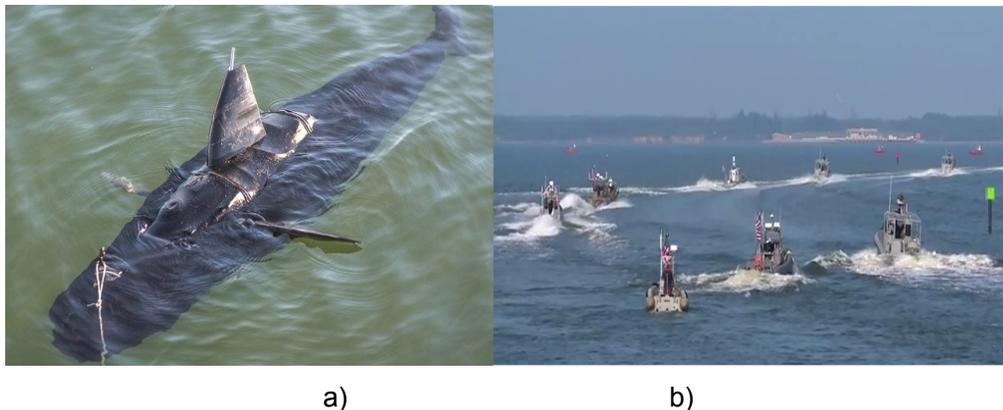


Figura 16. Robots marinos a) Robot GhostSwimmer. b) Embarcaciones autónomas no tripuladas

Fuente: (Bobs blitz), (staff, 2014)

Para tierra se han creado gran variedad de robots con un número muy alto de funciones como son robots de transporte, reconocimiento, lanza misiles, ametralladoras, desactivación de minas, neutralización de bombas. Como se puede observar en la figura 17 el robot Plataforma M diseñado como una unidad militar universal capaz de actuar como patrullero, explorador y elemento de defensa por sus lanza misiles.



Figura 17. Robot Plataforma M.

Fuente: (Enot poloskun, 2015)

En la figura 18 se puede observar el robot Uran 6 es un robot para desactivación de minas operado a un kilómetro, pudiendo acoplarse palas bulldozer y dragaminas.



Figura 18. Robot Uran 6

Fuente: (Putnik, 2016)

En muchos países se utilizan robots neutralizadores de bombas o también llamados EOD por sus siglas en inglés Explosive Ordnance Disposal Robot, en grupos policiales y militares, para neutralizar artefactos explosivos, como se puede observar en la figura 19 tomada de Univisión noticias, la intervención

real de un robot en Manhattan el 19 de septiembre del 2016 por la policía de Nueva York. En la figura 20 está el robot Telexmax de la marca Cobham.



Figura 19. Robot neutralizador de bombas utilizado en Manhattan 19/09/2016

Fuente: (Univision noticias, 2016)

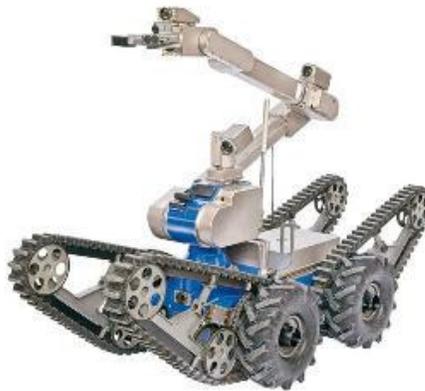


Figura 20. Robot Telexmax marca Cobham

Fuente: (Telerob , 2016)

También existen robots y prototipos de exoesqueletos desarrollados por la robótica militar, como se puede observar en la figura 21 el exoesqueleto Sarcos XOS 2, diseñados para brindar mayor fuerza y resistencia física para los usuarios.



Figura 21. Exoesqueleto Sarcos XOS 2

Fuente: (Neoteo, 2010)

También existen robots para transporte, que incluyen modelos zoomórficos algunos se encuentran en desarrollo, buscando agilidad, fuerza, para transitar en terrenos escarpados como se observa en la figura 22 al robot BigDog de Boston Dynamics creado como "una mula robótica para acompañar a los soldados en terrenos demasiado difíciles para vehículos convencionales" según los creadores.



Figura 22. Big Dog Boston Dynamics

Fuente: (Boston Dynamics, 2016)

CAPITULO 3

DESARROLLO DEL SISTEMA

En el presente capítulo se realizará un análisis de las características del robot, de sus elementos estructurales, sistema de mando, monitoreo y control, además el sistema eléctrico y electrónico, para desarrollar de manera óptima los elementos de hardware y software para la repotenciación del robot, teniendo en cuenta las necesidades de los usuarios.

3.1. Estado actual del robot

El robot entregado por los miembros del Grupo de Intervención y Rescate (GIR) es un robot de la marca Andros Remotec de tipo híbrido, inoperativo por alrededor de veinticinco años, refieren que el robot funcionaba con una estación de control alámbrica que permitía comandar el trabajo que este realizaba. En la tabla 5 se detallan las condiciones del robot al inicio del proyecto. (Ver figura 23).

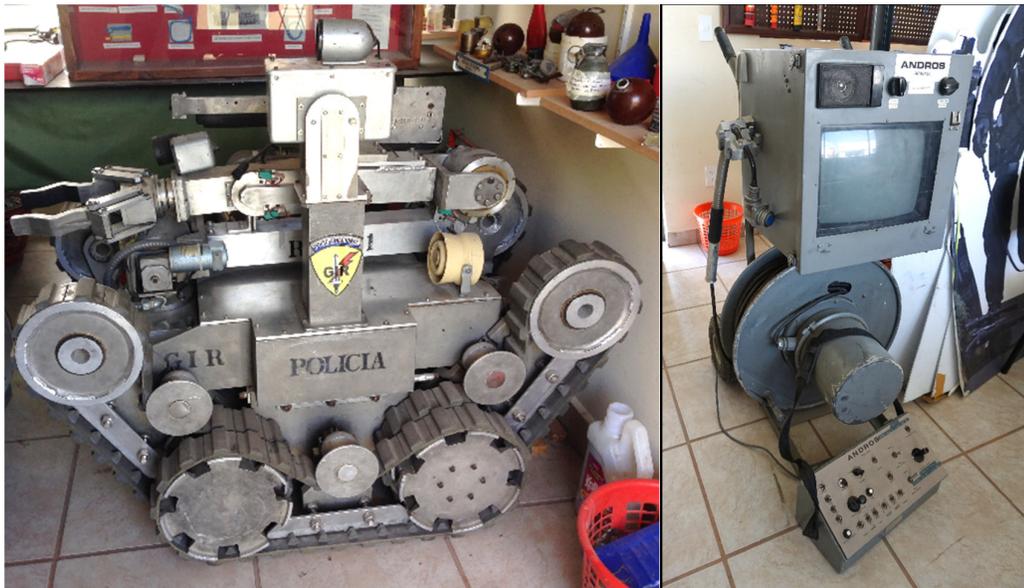


Figura 23. Al lado izquierdo robot inoperativo, lado derecho estación de control inalámbrica

3.1.1. Control o mando a distancia

Como se puede observar en la figura 24 el control es de gran tamaño, no es ergonómico, dispone de varios botones, switches y palancas que hacen que el control sea de difícil utilización, además tiene tecnología obsoleta por lo cual se descarta para la nueva aplicación.



Figura 24. Mando a distancia original del robot

3.1.2. Cámaras

En la figura 25 se puede observar una de las cámaras con las que fue entregado el robot, las cuales son de tecnología descontinuada y por lo tanto se pueden reemplazar por tecnologías vanguardistas.



Figura 25. Cámara original del robot ubicada en la torreta

3.1.3. Robot

El robot se divide principalmente en tres partes, la primera corresponde al brazo robótico, la segunda al chasis y la tercera a la carrocería.

- **Brazo robótico**

El brazo robótico lo podemos observar en la figura 26, el cual está formado por tres eslabones y tres articulaciones que constituyen la cadena cinemática encargada de posicionar el efector final, se encuentra conformado por dos motores de marca ENGEL modelo GNM3 150-02.6 para el hombro y el codo, mientras que para la muñeca tiene un motor ENGEL modelo GNM 2636-3. Cada motor esta acoplado a una caja reductora de tipo planetario.



Figura 26. Brazo robótico

El efector final es de tipo pinza de desplazamiento angular, posee un motor que le permite girar para orientarse y otro motor para la sujeción de elementos mediante apertura y cierre.

- **Chasis**

El chasis dispone de un sistema de locomoción formado por seis neumáticos tipo oruga, dos servo motores para avance y retroceso de marca GE CALSTHOM modelo RS420A, dos motores DC para elevación de orugas

de marca ENGEL modelo GNM 4125 cada uno con su respectiva caja reductora de engranes planetarios en dos y tres etapas. (Ver figura 27).



Figura 27. Motor con caja reductora modelo RS420A

También dispone de seis tensores de orugas, y del depósito con sus baterías de tipo ácidas de 12V para vehículos.

- **Carrocería**

La carrocería está formada principalmente por dos partes, la estructura donde se encuentra la torreta de cámara y todo el sistema eléctrico y de control. La torreta posee dos motores de marca ENGEL modelo GNM 2636-3 con sus correspondientes cajas reductoras de tres etapas de reducción, que permiten la orientación de la cámara.

Tabla 6
Descripción del estado actual del robot

SUBSISTE MAS DEL ROBOT	ELEMENTO	FUNCIÓN	TOTAL ELEMENTOS	CONDICIÓN		
				Operativo	No operativo	Observaciones
Estación de control	Monitor	Permite visualizar las cámaras.	1		X	Obsoleto
	Botonera de control	Permite comandar el funcionamiento y trabajo del robot.	1		X	Obsoleto
Sistema de locomoción	Chasis	Armazón que sostiene los motores y carrocería del robot.	1	X		Requiere mantenimiento
	Orugas	Transmisión de movimiento de los motores al suelo	6	X		Requiere mantenimiento
	Tensores	Tensión de orugas	6	X		Requiere mantenimiento
	Motores de rueda	Encargados del movimiento de avance y retroceso	2	X		Requiere mantenimiento
	Motores de elevación	Encargados de elevar orugas para subir gradas	2	X		Requiere mantenimiento
	Caja reductora	Acople de ruedas al motor	4	X		Requiere mantenimiento
Sistema energético	Cargador de baterías	Carga baterías	1	X		Funcionamiento aceptable
	Baterías	Fuente de alimentación energética del robot	2		X	Requiere cambio.
Control (Circuitos eléctricos)	Convertidor DC-DC	Acondicionador de voltaje	2		X	Obsoletos.
	Fusibles térmicos	Protección sistema eléctrico	8	X		Obsoletos
	Tarjeta de control	Cerebro del robot	1		X	Obsoleto.
	Driver de motor	Encargados de control de motores	5	X		2 se encuentran operativos los demás son obsoletos.
	Cableado	Transmisión de señales			X	Requiere cambio.
	Luz testigo	Indicador on/off	2		X	Obsoletos.
	Sensor	Límites de movimiento	6		X	Requieren cambio.
Sistema de video	Cámara	Permite visualización	2		X	Obsoletas
	Tarjeta de transmisión de video	Transmisión de video a estación de control	1		X	Obsoleta.
Sistema de audio	Bocina	Altavoz	1		X	

Continua 

Sistema torreta de cámara	Motor movimiento vertical	Posicionamiento vertical de cámara	1	X		Requiere mantenimiento.
	Acople mecánico motor movimiento vertical	Transmite el movimiento del motor a la caja de cámara	1		X	Requiere cambio.
	Motor movimiento horizontal	Posicionamiento horizontal de cámara.	1	X		Requiere mantenimiento.
	Acople mecánico motor movimiento horizontal	Transmite el movimiento del motor a la caja de cámara	1	X		Requiere mantenimiento
Brazo robótico	Motor hombro	Posicionamiento de articulación de hombro	1	X		Requiere mantenimiento
	Motor codo	Posicionamiento de articulación de codo	1	X		Requiere mantenimiento
	Motor muñeca	Posicionamiento de articulación de muñeca	1	X		Requiere mantenimiento
	Caja reductora	Transmite el movimiento del motor a eslabones	3	X		Requiere mantenimiento
	Motor giro gripper	Permite la orientación del gripper	1	X		Requiere mantenimiento
	Motor gripper	Permite la apertura y cierre del gripper	1	X		Requiere mantenimiento
	Eslabones brazo	Elemento rígido de unión.	3	X		Requiere mantenimiento
	Gripper	Elemento mecánico para sujeción de elementos.	1	X		Requiere mantenimiento
Sistema iluminación	Lámpara	Iluminación.	2		X	Requiere cambio.
Sistema de armas	Escopeta	Disparo para destrucción de artefactos.	1		X	Usuarios refieren no necesitarla.
	Acople mecánico escopeta	Sujeción de la escopeta.	1		X	No se va a utilizar.
	Motor escopeta	Encargado de halar en gatillo.	1	X		No se va a utilizar.
	Soporte disruptor de agua	Elemento de acople y sujeción para disruptor.	1		X	Requiere re manufactura.

3.2. Requerimientos

Para el desarrollo y repotenciación del robot Robin 1 se analiza con miembros del GIR las características y necesidades que debe solventar el robot, tomando en cuenta el tipo de trabajo que debe desempeñar sin olvidar las limitaciones físicas y tecnológicas de éste, como se observa en la tabla 7.

Tabla 7
Requerimientos de desempeño del robot

No.	REQUERIMIENTO
1	Estación de control inalámbrica amigable de fácil utilización que garantice operatividad a una distancia mínima de cien metros con monitorización en tiempo real.
2	Control de motores de manera individual debido a la irregularidad de los espacios en donde el robot será utilizado, permitiendo un posicionamiento de acuerdo a cada situación.
3	Implementación de un sistema energético más eficiente que permita un tiempo mínimo de operación de dos horas compatible con el cargador existente.
4	Re ingeniería y cambio del sistema eléctrico y de control del robot.
5	Sistema de cámaras con visualización en tiempo real de manera inalámbrica con una distancia mínima de cien metros.
6	Torre que permita el movimiento vertical y 360° horizontal de la cámara.
7	Cambio del sistema de iluminación por uno más eficiente (menor consumo eléctrico).
8	Manufactura de un disruptor de agua comandado inalámbricamente y que disponga de un puntero laser como referencia.
9	Mantenimiento de elementos mecánicos y eléctricos.

3.3. Desarrollo de hardware

Basados en el estado actual y en los requerimientos presentados anteriormente por parte de los usuarios, se realizará el mantenimiento general del robot comenzando con el despiece de cada una de las partes, además se probarán los elementos eléctricos y electrónicos que puedan ser reutilizados, dándoles un mantenimiento preventivo y correctivo. Los elementos obsoletos e inservibles serán desechados y finalmente la estructura del robot será engrasada, pulida y puesta a punto.

3.3.1. Desarrollo de hardware electrónico

- **Controlador**

Para la selección del controlador se debe tomar en cuenta los requerimientos que va a tener el sistema entre los que tenemos: el comando de 11 motores DC, con el control de velocidad de los mismos mediante PWM, el uso de sensores limitadores de posición para los motores, control de frenos de los motores, el sistema de comunicación inalámbrica, control del sistema de iluminación, control de disparo de disruptor y la administración de la señales de las cámaras, es decir se debe controlar alrededor de 40 salidas y 10 señales de entrada.

Para la tabla de ponderación 8 de selección de micro controlador se tomará en cuenta un valor de 1 a 5 donde 1 es el más bajo y 5 el máximo.

Tabla 8
Selección de micro controlador

N o	OPCIÓN	CRITERIOS DE SELECCIÓN						TOTAL
		Entradas y salidas digitales	Entradas analógicas	Conexión Usb	Mejor precio	Compatibilidad Inalámbrica	Facilidad de operación	
1	Microchip pic 1F877A	3	4	1	5	1	3	17
2	Arduino Mega ADK (AVR ATmega256)	5	5	5	4	4	5	28
3	Intel Galileo Gen 2	2	4	1	1	5	3	16
4	Raspberry Pi 3	4	1	5	1	5	3	19

En base a la tabla de ponderación 8 se puede observar que el micro controlador de Arduino Mega ADK es el que cumple de mejor manera las características necesarias teniendo en cuenta la cantidad de entradas y salidas digitales, las entradas y salidas PWM, así como la compatibilidad para tareas inalámbricas, la facilidad de uso y el costo. En la tabla 9 Se observan algunas características técnicas de importancia del Arduino Mega.

Tabla 9
Características Arduino Mega ADK

Arduino Mega ADK (AVR ATmega256)	
Características	
Voltaje de Operación	5 VDC
Entradas y salidas digitales	54
Entradas analógicas	16
Corriente de entradas y salidas DC (mA)	40
Dimensiones	71x53x11.3mm
Conexión Usb	SI
Costo	\$50
Compatibilidad inalámbrica	Radio frecuencia, bluetooth, Ethernet, wireless, xbee. (elementos externos)
Facilidad Operación	Alta

- **Tecnología inalámbrica.**

Para la selección de la tecnología inalámbrica se debe tomar en cuenta los requerimientos del sistema, debe ser de tipo inalámbrico con una capacidad mínima de 100m de trabajo para poder comandar al robot, razón por la cual se analizan los siguientes tipos de tecnología con la tabla de ponderación 10 donde 1 es el valor mínimo y 5 el valor máximo.

Tabla 10
Selección de tecnología inalámbrica

No	OPCIÓN	CRITERIOS DE SELECCIÓN					TOTAL
		Duración de baterías	Consumo energético transmisión	Consumo energético reposo	Alcance	Facilidad de configuración	
1	WIFI	2	1	2	5	1	11
2	Bluetooth	3	3	3	1	2	12
3	ZigBEE	4	3	4	3	3	17

Al finalizar el análisis de la tabla 10 la tecnología Zigbee es la que se acomoda de mejor manera a las necesidades presentadas, con una relación de bajo consumo energético y gran alcance de trabajo, además de presentar una dificultad media en el proceso de configuración de los dispositivos.

Tabla 11
Características de la tecnología ZigBee

ZigBee	
Características	
Velocidad	<250Kbps
RF frecuencia	868Mhz-2.4GHz
Núm. nodos	255/65000
Duración de baterías recargables	Años
Consumo transmisión.	30ma
Consumo reposo.	3ua
Rango	<2km
Configuración	Media
Velocidad	<250Kbps
RF frecuencia	868Mhz-2.4GHz
Núm. nodos	255/65000
Duración de baterías recargables	Años

- **Selección de dispositivo Zigbee.**

Al seleccionar la tecnología Zigbee como base para el sistema inalámbrico del control, se analizarán algunos dispositivos con dicha tecnología para tener las mejores prestaciones, con ayuda de la tabla de ponderación 12 donde 1 es el valor mínimo y 5 es el valor máximo.

Tabla 12
Selección del dispositivo Zigbee

No	OPCIÓN	CRITERIOS DE SELECCIÓN				TOTAL
		Mayor alcance	Consumo energético	Compatibilidad arduino	Mejor precio	
1	Xbee Pro serie1	5	1	5	5	16
2	EasyBee CC2420	3	3	3	1	10
3	Telegesis ETRX2	1	5	3	5	14

En base a la tabla de ponderación 12 el módulo zigbee que mejores prestaciones tiene y cumple con las necesidades, es el módulo Xbee Pro serie 1, ya que a pesar de tener un mayor consumo energético, tiene un alcance de 1.2 km con línea de vista que garantiza una distancia de 100m con obstáculos, es compatible con arduino y el costo no es elevado. Algunas características técnicas se pueden observar en la tabla 13.

Tabla 13
Características del ZigBee Xbee Pro Serie 1

ZigBee Xbee Pro serie1	
Características	
Alcance con línea de vista	1.5Km
Voltaje alimentación	3.3V
Consumo eléctrico Tx	270mA
Consumo eléctrico RX	55mA
Consumo eléctrico reposo	<10uA
Antenas	Conector U.FI Antena de látigo
Compatibilidad arduino	Alta
Costo	\$42

La comunicación se realizará entre dos arduinos de manera inalámbrica, con el uso de dos Xbee, el uno se encontrará en la caja de control y el otro en el robot. La comunicación que se da entre el xbee y el arduino es de tipo serial, un xbee manda un mensaje al otro y este responde, permitiendo el control del robot.

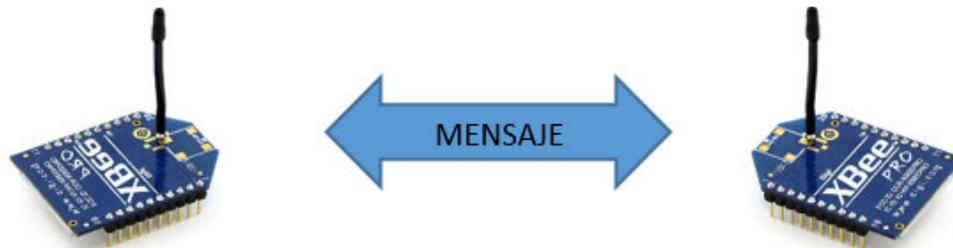


Figura 28. Representación de conexión entre dos Xbee

El xbee requiere una conexión con el arduino como se observa en la figura 29, requiere polarización de 3.3V DC, y de conexión para lectura RXD y escritura serie TXD.

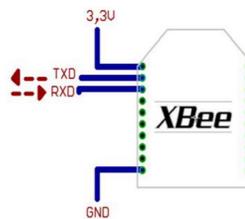


Figura 29. Diagrama de conexión entre el arduino y el xbee

La conexión del xbee al arduino se puede establecer de diferentes maneras, conectando el xbee a escudos comerciales y el escudo al arduino como se observa en la figura 30.

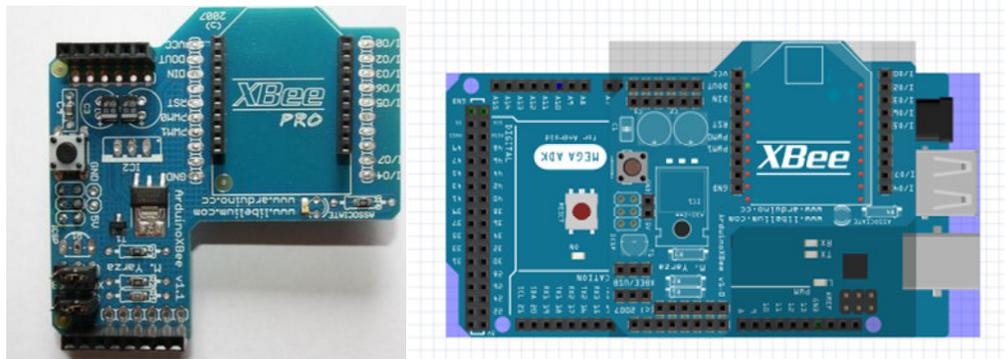


Figura 30. Representación de conexión del arduino con el xbee mediante un escudo.

También se puede realizar el diseñando para conectar en la placa de control el xbee como se observa en la figura 31 basándose en la hoja técnica del fabricante.

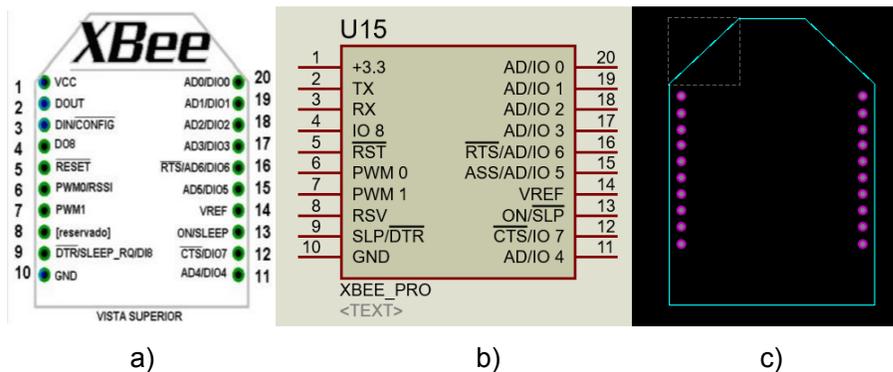


Figura 31. a) Pines de conexión del xbee. b) Diagrama de conexión en Proteus. c) Representación de conexión en la placa electrónica.

- **Selección de Tipo de baterías.**

El sistema del robot Robin 1 requiere una alimentación de 24V DC por las características que tienen sus motores, el disruptor y los elementos de control requieren voltajes menores. En el mercado se puede encontrar una gran variedad y tipos de baterías recargables como son las de plomo, gel y AGM.

De igual manera los voltajes nominales, la potencia por hora de cada batería puede cambiar, lo que es de gran ayuda para cumplir con los requerimientos de alta potencia, permitiendo poner en configuración serie o paralelo.

Tabla 14
Selección de tipo de baterías

No	OPCIÓN	CRITERIOS DE SELECCIÓN				TOTAL
		No requiere mantenimiento	Permite ciclos de descarga profunda	Peso	Mejor precio	
1	Plomo	1	1	5	5	12
2	Gel	5	3	3	1	12
3	AGM (Absortion Glass mat)	5	5	3	1	14

De acuerdo a lo analizado en la tabla 14 se decide utilizar en el proyecto baterías de tipo AGM una para el control y otra para el robot, por presentar mejores prestaciones y mayor adaptabilidad en el sistema desarrollado, presentan las siguientes ventajas: son compactas, pueden ser montadas en cualquier posición, presentan baja auto descarga con una vida útil aproximada de 10 años pero tiene como inconveniente su precio.

- **Dimensionamiento de baterías.**

Para la estación de teleoperación se dimensionará la batería teniendo en cuenta los elementos que son parte de la estación y que se describen en la tabla 15.

Tabla 15**Dimensionamiento de la batería para la estación de teleoperación**

Cantidad	Elemento	Voltaje DC nominal	Potencia por hora
1	Arduino Mega	5V	0.46W
1	Xbee Pro series 1	3.3V	0.89W
1	Sistema visión Fatshark	7.4V	1.4W
1	Control dualshok 2	5V	1W
1	Pantalla	12V	8W
TOTAL			11.75W

En base a los voltajes nominales de los elementos que forman parte del sistema se decide utilizar una batería de 12V DC y con ayuda de convertidores DC-DC acondicionar el voltaje para los elementos de menor voltaje nominal.

Las capacidades de potencia por hora de la batería se decidirán en base al consumo y buscando sustentar dos horas de autonomía en el sistema, para lo cual:

Potencia por hora 11.75W

Potencia para las dos horas de autonomía:

$$P = p * t$$

$$P = 11.75[W] * 2[h]$$

$$P = 23.5[W * h]$$

Donde:

P: Potencia total.

p: Potencia necesaria por horas.

t: Tiempo de autonomía en horas.

Si se considera un factor de seguridad del 10%:

$$P = 23.5[W * h] * 10\%$$

$$P = 2.35[W * h]$$

Si la batería tiene un voltaje nominal de 12V DC:

$$P = V * I$$

$$2.35[W * h] = 12 * I$$

$$I = 0.196[A * h]$$

Donde:

V: Voltaje nominal de la batería.

I: Corriente.

Se requiere una batería tipo AGM de 12V DC y con un suministro mínimo de 2.4Ah comercialmente se decidió adquirir una batería de marca First Power modelo FP1250 que tiene un voltaje nominal de 12VDC y capacidad de 5Ah por la disponibilidad en el mercado.



Figura 32. Batería AGM 12VDC

Para el robot se dimensionará la batería teniendo en cuenta los elementos principales del robot que se describen en la tabla 16.

Tabla 16
Dimensionamiento de la batería para el robot

CANTIDAD	ELEMENTO	VOLTAJE NOMINAL	POTENCIA	POTENCIA TOTAL
2	Motor RS420A	24V DC	60W	120W
2	Motor GNM4125	24V DC	60W	120W
2	Motor GNM3 150 - 02	24V DC	70 W	140W
2	Motor GNM2636-3	24V DC	19W	38W
2	Luces Auxbeam (conexión serie)	9-22V DC	18W	18W
1	Disruptor	24V DC	5W	5W
2	Motores de Muñeca	24V DC	20W	40W
1	Motor de torreta de cámara	24V DC	18W	18w
1	Arduino	5V DC	0.46W	0.46W
1	Xbee pro series 1	3.3V DC	0.89W	0.89W
1	Sistema de cámaras	7.4V DC	1.25W	1.25W
1	Sistema de transmisión	7.4V DC	0.250W	0.250W
Total				501.85W

En base a los voltajes nominales de los elementos que forman parte del sistema se decide utilizar dos baterías de 12V DC conectadas en serie para conseguir 24V DC y con ayuda de convertidores DC-DC comerciales LM2596 Step Down acondicionar el voltaje para los elementos de control y menor voltaje nominal.

Las capacidades de potencia por hora de la batería se decidirán en base al consumo eléctrico y buscando sustentar dos horas de autonomía en el sistema, para lo cual se suman las potencias de cada elemento:

Potencia por hora 501.85W de la tabla 16.

Potencia para las dos horas de autonomía

$$P = p * t$$

$$P = 501.85[W] * 2[h]$$

$$P = 1003.7[Wh]$$

Donde:

P: Potencia total.

p: Potencia necesaria por horas.

t: Tiempo de autonomía en horas.

Si se considera un factor de seguridad del 10%:

$$P = 1003.7[W * h] * 10\%$$

$$P = 1104.07[Wh]$$

Si las baterías conectadas en serie tienen un voltaje nominal de 24V DC:

$$P = V * I$$

$$1104.07[Wh] = 24 * I$$

$$I = 46[Ah]$$

Donde:

V: Voltaje nominal de la batería.

I: Corriente.

Se requieren dos baterías tipo AGM de 12VDC, con un suministro mínimo de 46Ah comercialmente se decidió adquirir una batería de marca Vision modelo 6FM55X (ver figura 33), con voltaje nominal de 12VDC y capacidad de 55Ah.



Figura 33. Batería AGM 12VDC y 55Ah

- **Desarrollo de la teleoperación**

Para la teleoperación se requiere un microcontrolador, un dispositivo zigbee para la comunicación inalámbrica, un joystick, cámaras, pantalla para monitoreo y una fuente de alimentación. Todos estos elementos se adaptarán en una caja de control la cual debe cumplir con requerimientos de versatilidad es decir debe tener un sistema amigable con el operario, de fácil adaptación a las diferentes funciones, tiene que ser de fácil portabilidad, debe tener un joystick para el comando con suficientes entradas para cubrir las funciones del robot y además debe tener una pantalla que permita la visualización de la señal que transmiten las cámaras.

Para la implementación de la caja de control se requiere una batería que alimentará el visor, una pantalla y un microcontrolador. Desde el joystick se enviarán señales digitales y analógicas al microcontrolador y éste enviará señales de manera inalámbrica a través del dispositivo zigbee hacia el dispositivo zigbee del robot. El diagrama de conexión se indica en la figura 34.

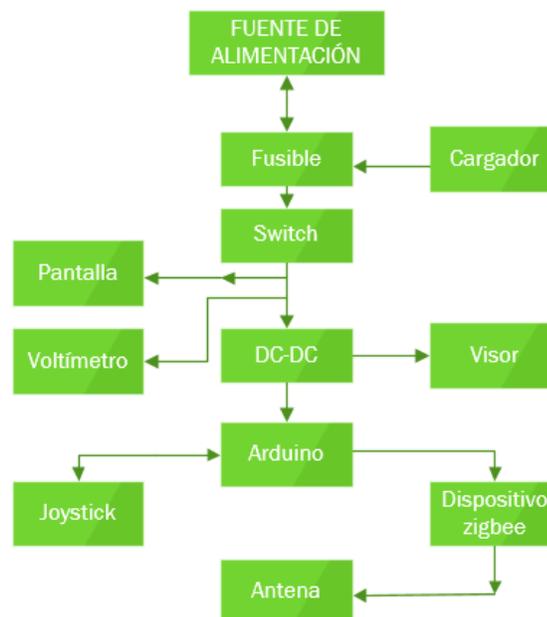


Figura 34. Diagrama de conexión de la caja de control

La fuente de alimentación que se utilizará será una batería de tipo AGM conectada en serie a un fusible de 1.5A, a un voltímetro indicador de nivel de batería y a un switch, al energizar el circuito se alimentará la pantalla externa. Para energizar el microcontrolador y el visor se conectará un convertidor DC-DC LM2596 comercial con 7.7VDC. El microcontrolador que se utilizará es el arduino Mega ADK.

El dispositivo zigbee que se utilizará será el Xbee Pro series 1 de acuerdo a lo que se realizó en la selección del dispositivo zigbee, el cual se conectará al arduino y será capaz de comunicarse inalámbricamente con el Xbee del robot a través de una antena cada uno, las cuales estarán ubicadas en la parte exterior del robot y de la caja de control para que no pierdan rango de operación.

La conexión del arduino con el Xbee se indica en la figura 35.



Figura 35. Conexión entre arduino y xbee

- **Selección del joystick.**

Para seleccionar el joystick se utilizará la tabla de ponderación 17. En donde se comparan diferentes opciones y características.

En la tabla de ponderación se tomará en cuenta un valor de 1 al 5 donde 1 es el más bajo y 5 el máximo.

Tabla 17
Selección de joystick

No.	OPCIÓN	CRITERIOS DE SELECCIÓN				Total
		Entradas	Portabilidad	Compatibilidad con arduino	Menor costo	
1	Control Dualshock 2	4	5	5	5	19
2	Control Xbox	4	5	5	4	18
3	Computadora	5	3	5	2	15

El joystick seleccionado es el DualShock 2 de la consola de Play Station 2, ya que es compatible con arduino y existen librerías para la programación del mismo, tiene varias entradas para cubrir necesidades de funcionamiento del robot, y el costo no es elevado. Algunas características importantes se muestran en la tabla 18.

Tabla 18
Características del control Dualshock 2

Control Dualshock 2	
Características	
Portabilidad	Fácil
Entradas	- 2 Análogos (10 bits de precisión) - 8 Pulsadores (△, ○, ×, □, L1, R1, L2, R2) - 4 Pulsadores direccionales - 5 Botones digitales (Start, Select, "Analog", L3, R3)
Conectividad	Alámbrica
Compatibilidad con arduino	Si
Voltaje	5 V
Precio	\$35

El DUALSHOCK 2 se conectará al arduino Mega en base a la figura 36 en donde se observa el conector del joystick con los nombre de los pines. La figura 37 indica un diagrama esquemático del conector del joystick que servirá para la conexión con el arduino.



Figura 36. Conector del joystick

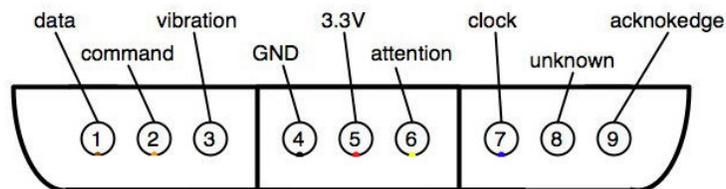


Figura 37. Diagrama esquemático de conexión

En la tabla 19 se detalla la conexión de los pines del conector del joystick con los pines del arduino Mega. Como se observa en la figura 37 los pines del conector del joystick están enumerados del uno al nueve con nombres cada uno y en la tabla se observa de bajo de cada número el correspondiente pin de entrada al arduino, por ejemplo el pin 1 Data del conector del joystick se debe conectar al pin 22 del arduino Mega.

Tabla 19
Conexión entre el control Dualshock 2 y el arduino

CONEXIÓN CONECTOR JOYSTICK A ARDUINO MEGA									
Pines del conector del joystick	Data	Command	Vibration	GND	5V	Attention	Clock	-	Acknowledge
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Pines del arduino Mega	22	24	26	GND	VCC	32	34	N/C	38

*N/C: sin conexión

El ensamblaje final del arduino con el Xbee y el conector del joystick se indica en la figura 38.

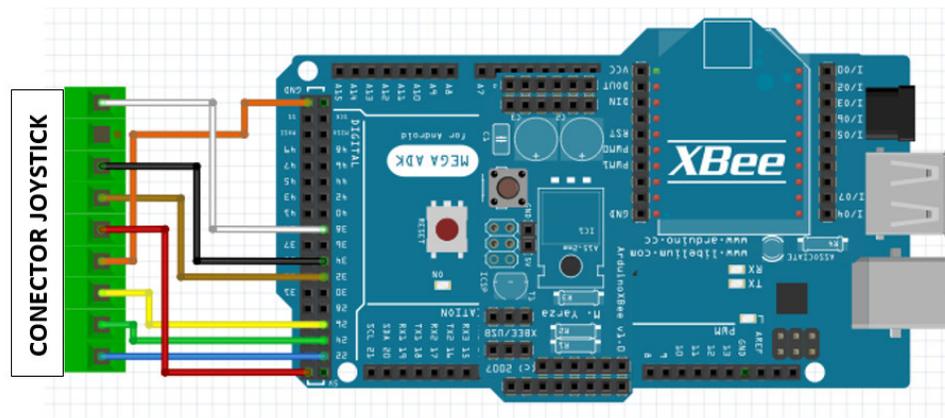


Figura 38. Diagrama final de conexión entre el arduino, el xbee y el conector del joystick

- **Sistema de visión.**

A continuación se detallarán las opciones de cámaras a considerar para cumplir con los requerimientos de visualización en tiempo real de manera inalámbrica a una distancia mínima de cien metros, por lo tanto se desarrolla la tabla de ponderación 20 en donde se muestran los criterios de selección.

Para la tabla de ponderación se tomará en cuenta un valor de 1 al 5 donde 1 es el más bajo y 5 el máximo.

Tabla 20
Selección del sistema de visión

No.	OPCIÓN	CRITERIOS DE SELECCIÓN				Total
		Conectividad inalámbrica	Monitorización en tiempo real	Rango de operación	Facilidad de instalación	
1	DCS-5010L mydlink™	5	4	3	5	17
2	DCS-930L	1	4	2	3	12
3	Cámara V55-H	5	4	2	5	16
4	Teleporter V3 RTF FPV	5	5	5	5	20

De acuerdo a los criterios de selección analizados, la opción que mejor se adapta es el sistema FatShark TELEPORTER V3 RTF FPV, el cual tiene conectividad por radiofrecuencia, brinda gran cobertura de operación de 1km en línea de vista, permite grabación con visualización en tiempo real y es de fácil instalación.

En la tabla 21 se observan características importantes de funcionamiento del sistema FatShark TELEPORTER V3RTF FPV.

Tabla 21
Características del sistema FatShark Teleporter V3RTF FPV

Características	FatShark TELEPORTER V3 RTF FPV
Imagen	
Conectividad	Radiofrecuencia
Resistencia ambiental	Diseño para exterior
Resolución de video	320 X 240 (QVGA)
Formato de video	MJPG
Lentes	3.6 mm
Visión nocturna	No
Micrófono incorporado	Si
Monitoreo	Incluye un visor con opción a proyección en pantalla simultáneamente

Continua 

Antena	5.8GHz (TX,RX). Opcional antena SpiroNET Circular Polarized.
Interfaz de dispositivo externo	Entrada MicroSD
Frecuencia	5.8 GHz
Rango de operación	1 km (línea de vista)
Canales	7
Voltaje	5 V DC
Consumo	760 mA
Precio	\$700

Para el funcionamiento del sistema de visión se dispondrá de dos cámaras, un filtro, un transmisor y un receptor los cuales se muestran en la figura 39.



Figura 39. Descripción del sistema de visión seleccionado

Las cámaras estarán conectadas a un único transmisor, y para seleccionar la transmisión de las mismas se utilizará un conmutador. La transmisión hacia el receptor será inalámbrica. En la figura 40 se indica el diagrama de conexión.

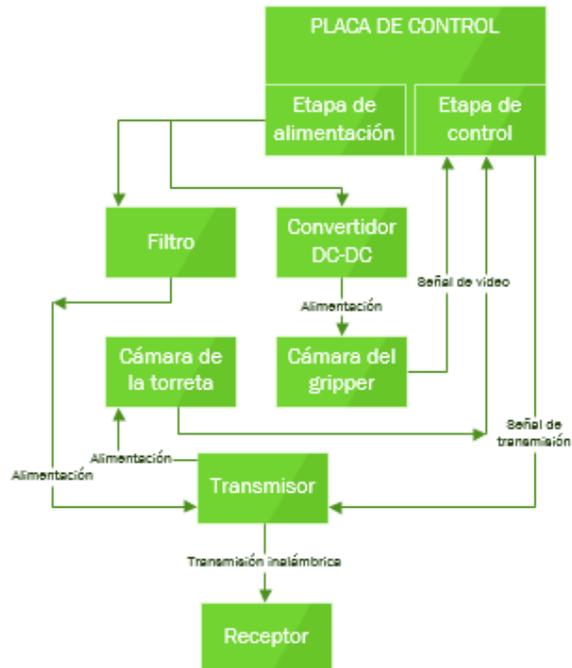


Figura 40. Diagrama de conexión del sistema de visión

La placa de control energiza al filtro con 7.7VDC, sus salidas se conectarán al transmisor para energizarlo y la cámara de la torreta se conectará a éste energizándose con 5VDC, la cámara del gripper se energizará desde la placa de control a través de un convertidor DC-DC comercial LM2596.

El control de las cámaras se realizará mediante un circuito electrónico formado por un relé, un transistor, un diodo, dos resistencias y un led, comandados por una señal del microcontrolador, como se observa en la figura 41, el joystick seleccionará una de las señales de video que las cámaras enviarán hacia la placa de control para enviarle al transmisor.

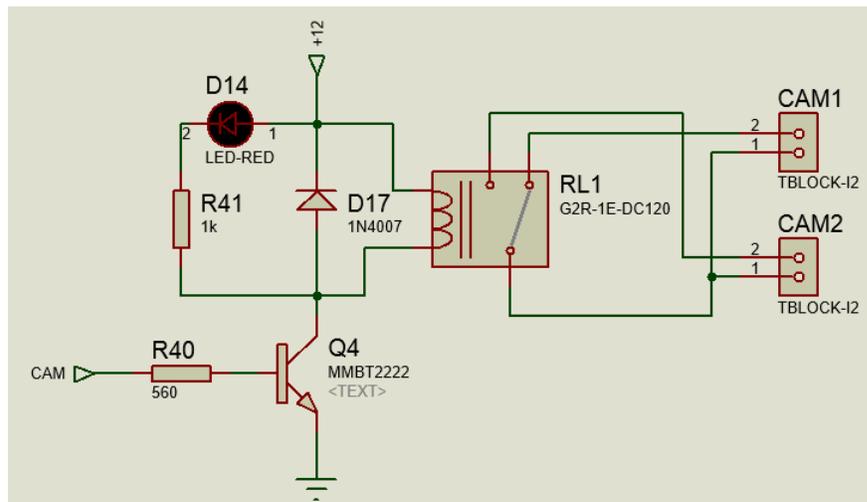


Figura 41. Diagrama eléctrico de conexión del sistema de visión

Para el funcionamiento del relé, desde el microcontrolador se tienen una señal lógica conectada a una resistencia en serie a la base del transistor MMBT2222 en configuración corte y saturación, cuando se polariza la base el transistor se satura y permite el paso de corriente de colector a emisor, cerrando el circuito con 12V, necesarios para energizar la bobina del relé la cual tiene conectado en antiparalelo un diodo de protección para evitar el retorno de corriente, además el circuito tiene un led indicador y una resistencia de 1[kohm] para su funcionamiento de acuerdo al procedimiento que se hizo en el diseño del motor RS420A.

El cálculo de la resistencia de la base se indica a continuación:

De acuerdo a la hoja técnica y teniendo en cuenta el circuito de la figura 41 se obtienen los siguientes valores:

- Relé: Voltaje de bobina 12V, consumo de corriente ($I_{relé}$) 80mA.
- Transistor MMBT2222: si la corriente de colector (I_c) es \leq a 100mA entonces beta (β) es 100, β para corte y saturación es 10.
- Led: Corriente 10mA.

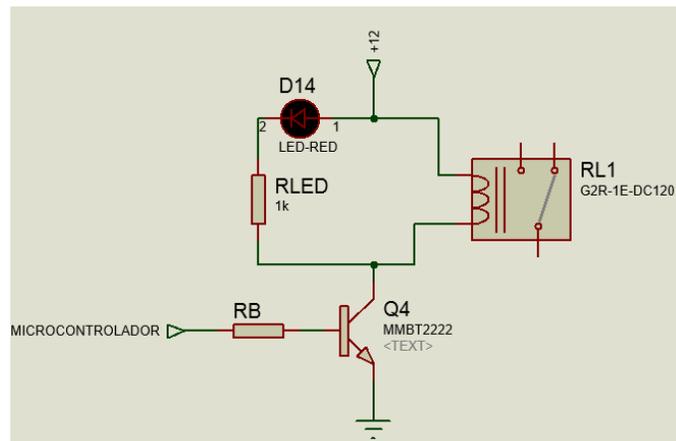


Figura 42. Diagrama eléctrico esquemático

$$I_c = I_{rele} + I_{led}$$

$$I_c = 80mA + 10mA$$

$$I_c = 90mA$$

Para que el transistor trabaje en corte y saturación se debe cumplir lo siguiente:

$$I_c = I_b * \beta$$

$$I_b = \frac{I_c}{\beta}$$

$$I_b = \frac{90mA}{10}$$

$$I_b = 9mA$$

Dado que existe una juntura, el voltaje que caerá en la resistencia de la base está dado por:

$$V_{in} = V_{junturas} + V_{resistencia\ base}$$

$$V_{resistencia\ base} = V_{in} - V_{junturas}$$

$$V_{resistencia\ base} = 5 - 0.6$$

$$V_{resistencia\ base} = 4.4[V]$$

Por ley de Ohm se obtiene la resistencia de base (R_b):

$$V_{resistencia\ base} = I_b * R_b$$

$$R_b = \frac{V_{resistencia\ base}}{I_b}$$

$$R_b = \frac{4.4[V]}{0.009[mA]}$$

$$\mathbf{R_b = 488.88 [\Omega]}$$

Se utilizará un R_b de 560Ω por ser un valor comercial.

En la figura 41 se muestran dos borneras CAM 1 y CAM 2 de dos pines cada una, por el pin 2 ingresan las señales de video de la cámara del gripper y de la cámara de la torreta respectivamente y por el pin 1 es enviada la señal de la cámara seleccionada mediante el relé, ésta señal será enviada inalámbricamente al receptor, es decir al visor, el cual proyectará las imágenes en las pantallas de las gafas, además posee una salida de video para proyección en paralelo mediante cable VA.

- **Pantalla externa**

En la tabla de ponderación 22 se detallan opciones de pantallas que servirán para la monitorización en tiempo real simultáneamente con el visor que poseen las cámaras seleccionadas.

Para la tabla de ponderación se tomará en cuenta un valor de 1 al 5 donde 1 es el más bajo y 5 el máximo.

Tabla 22
Selección de pantalla externa

No.	OPCIÓN	CRITERIOS DE SELECCIÓN				Total
		Tamaño	Resolución	Menor consumo energético	Costo	
1	PYLE PLVWR1440	5	4	1	1	11
2	LCD UNIWENT	2	2	5	5	14
3	LED eBoTrade-Tech	4	4	3	4	15

En base a los criterios de selección de la tabla 22 la pantalla que se adapta mejor a los requerimientos es la eBoTrade-Tech ya que posee alta resolución, es de bajo consumo energético, el costo no es elevado, el tamaño es adecuado para la necesidad e integra un soporte para el posicionamiento de la pantalla para mejor visibilidad. Las características de la pantalla seleccionada se muestran en la tabla 23.

Tabla 23
Características de la pantalla eBoTrade-Tech

Características	PANTALLA LED eBoTrade-Tech
Ilustración	
Tamaño	7"
Resolución	RGB * 234H
Entradas de video	2 AV
Consumo energético	8 W
Voltaje	12 V
Costo	\$30

La pantalla se conectará en paralelo al visor sin afectar el funcionamiento de éste ya que la conexión es opcional.

El diagrama de conexión de todos los elementos necesarios para la teleoperación se puede observar en la figura 43.

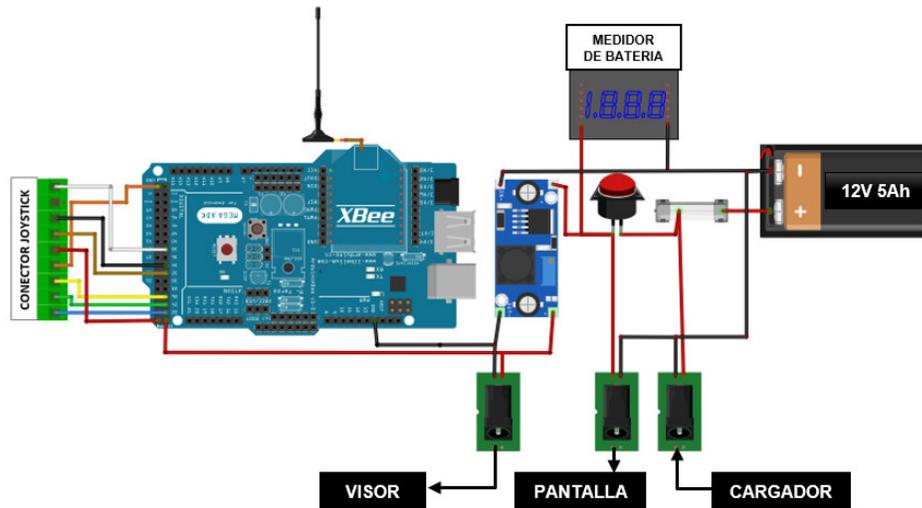


Figura 43. Diagrama de conexión del sistema de teleoperación

- **Motor RS420A**

El robot cuenta con dos de éstos motores que están ubicados en las ruedas del robot (ver figura 44), que permiten el movimiento adelante y atrás. Se van a reutilizar los drivers que el robot contiene que son de la marca Advanced Motion Controls, modelo 50A5M los cuales solo requieren una señal de control de 12V para el sentido de giro.

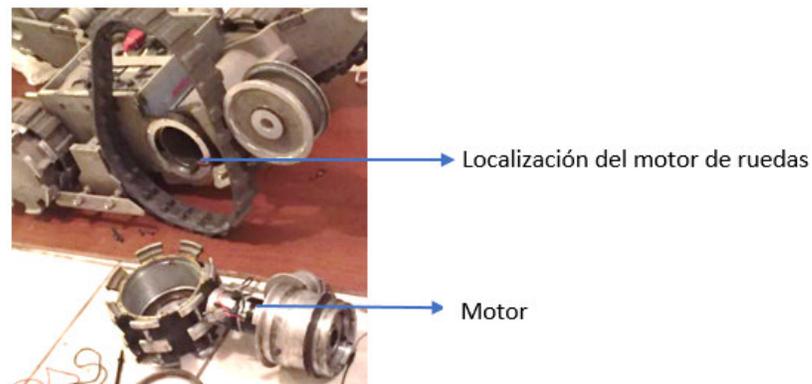


Figura 44. Localización del motor de las ruedas

El drive 50A5M es el acople de la etapa de potencia del motor, con la etapa de control. El driver se conectará de la siguiente manera: el motor se

conectará en los pines 1 y 2, la alimentación DC para el motor en el pin 4 para positivo y pin 3 para tierra, el control del giro del motor se realiza con una señal en el pin 12 o 13.

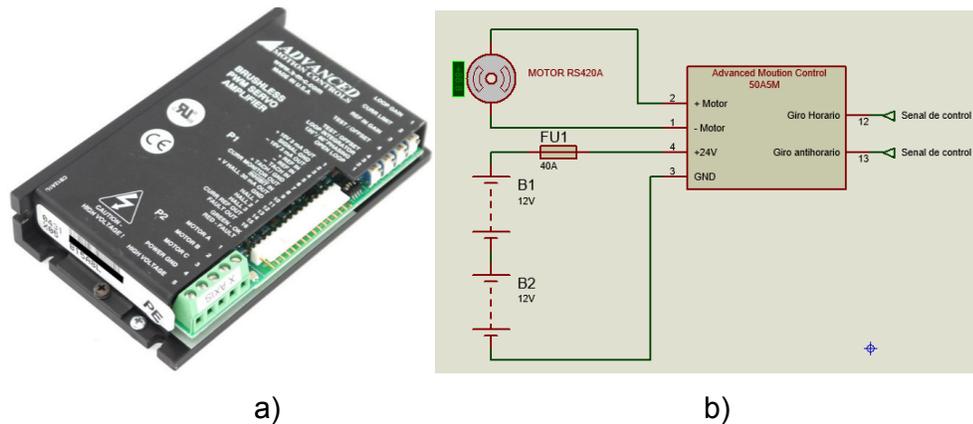


Figura 45. a) Driver 50A5M. b) Diagrama de conexión del driver 50A5M

El driver 50A5M requiere dos señales de control de 12VDC razón por la cual se utilizará la configuración de la figura 45 para cada una de las señales de control del driver. El esquema se basa en el disparo de un opto acoplador PC817 con una señal lógica desde el micro controlador, además se utilizará un led como luz testigo para mostrar la activación o desactivación del opto acoplador. De acuerdo a la información de la hoja técnica del opto acoplador, éste requiere una corriente de disparo de 2.5 a 30 mA.

Si se considera que el voltaje de alimentación proporcionado por el arduino es 5VDC y la resistencia en el input del opto acoplador es 1Ω, se debe calcular el valor de la resistencia en serie para el disparo del opto acoplador.

$$V = I * R$$

$$V = I * (R_{\text{optoacoplador}} + R_{\text{serie}})$$

$$5 = 0.025 * (1 + R_{\text{serie}})$$

$$R_{\text{serie}} = 199[\Omega]$$

Donde:

V: Voltaje del arduino.

I: Corriente que circula por input.

R: Resistencia en serie y resistencia de input

Comercialmente se puede adquirir resistencias de 220Ω por lo que se calcula la corriente que recibirá el opto acoplador en la entrada.

$$V = I * R$$

$$V = I * (R_{\text{optoacoplador}} + R_{\text{serie}})$$

$$5 = I * (221)$$

$$I = 0.022 [A]$$

La corriente es la adecuada para el disparo del opto acoplador.

Para la salida o segunda etapa del opto acoplador se conecta 12V DC al colector, una resistencia de $10K\Omega$ entre el emisor y tierra para aterrizar el circuito cuando no se activa, y cuando se activa este valor de resistencia tiene que ser mayor que la resistencia de la entrada del driver para que la señal circule, además está conectada en paralelo a un led con una resistencia de $1K\Omega$ como luz testigo y la señal de control se adquiere del acople entre el emisor y la resistencia.

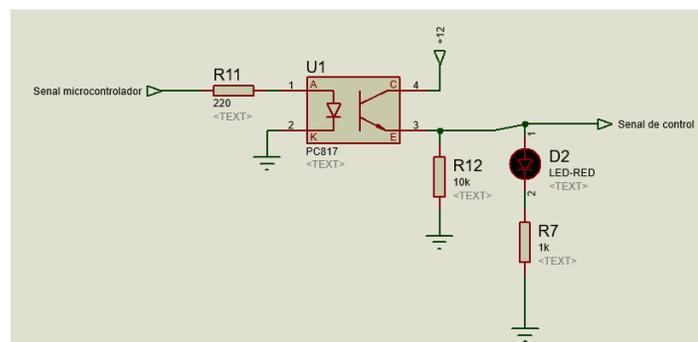


Figura 46. Diagrama eléctrico de acople entre la etapa de control y etapa de potencia del motor RS420A

- **Motor GNM4125**

Estos motores están ubicados en las ruedas del robot y están encargados de elevar las orugas delanteras y traseras para permitir al robot subir gradas como se observa en la figura 47, son motores de 24V DC nominal que tienen un consumo de corriente con picos de hasta 17A, además estos motores tienen un sistema de freno incluido (ver figura 48) que trabaja a la desconexión permitiendo al robot mantenerse en la posición deseada, cuando las orugas han subido o bajado.

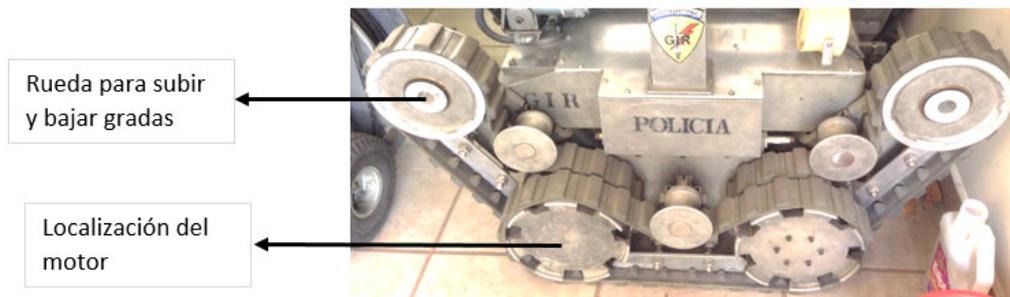


Figura 47. Localización del motor GNM4125

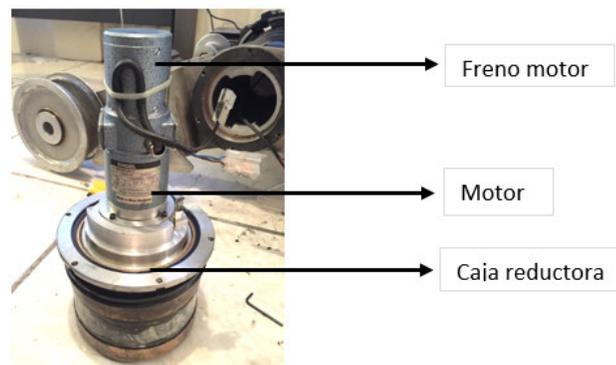


Figura 48. Localización de freno eléctrico del motor

Para el control de cada motor se trabajará con la señal de PWM, las señales lógicas para cambio de giro, y las señales lógicas de control para los frenos, todas éstas provienen del micro controlador. En la figura 49 se observa un diagrama de la operación que realizará cada motor, se diseñarán dos placas eléctricas una para cada motor.

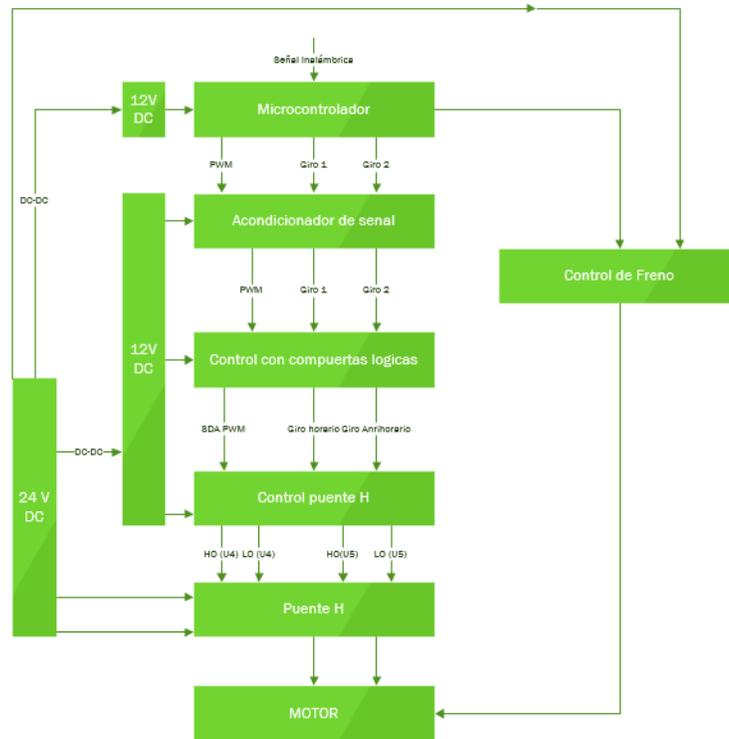


Figura 49. Diagrama de operación del motor GNM4125

Para el diseño se realizará un puente H con 4 Mosfets STP36FN06 para que pueda resistir los picos generados por el motor, con la configuración como se observa en la figura 50a), para que el motor gire en sentido horario se requiere el cierre de los mosfets Q10 y Q7 para que exista un flujo de corriente de izquierda a derecha en el motor permaneciendo los mosfets Q8 y Q6 inoperativos o abiertos, como se observa en la figura 50b) para el giro anti horario se requiere polarizar los mosfets Q8 y Q6 para que exista un flujo de corriente de derecha a izquierda en el motor, permaneciendo los mosfets Q10 y Q7 inoperativos como se observa en la figura 50c).

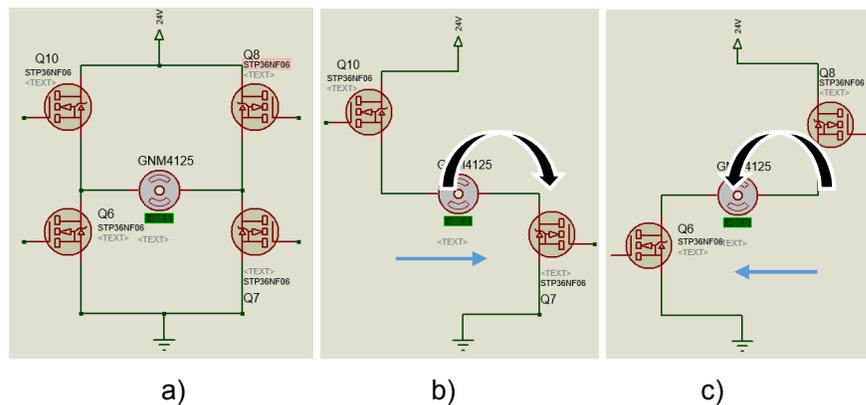


Figura 50. a) Puente H con mosfets STP36FN06. b) Polarización mosfeet puente H para giro horario. c) Polarización mosfeet puente H para giro anti horario.

Para controlar el disparo de los mosfeet del puente H se utilizarán los mosfeet de alta velocidad IR2184 que permiten el control de dos mosfeet de polarización opuesta en el puente H con la configuración que se puede observar en la figura 51 que recomienda la hoja técnica del fabricante.

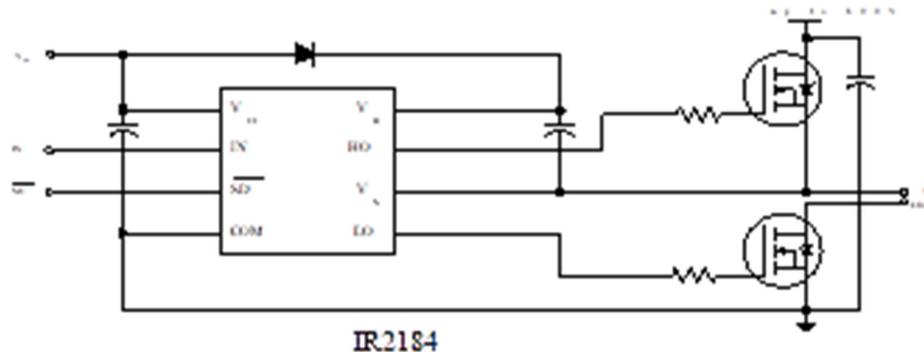


Figura 51. Diagrama de conexión del Mosfeet IR2184 para control de puente H

Éste mosfeet tiene un funcionamiento como lo muestra la figura 52, tomado de la hoja técnica del fabricante, demostrado en la tabla de verdad 24. Los pines IN recibirán la señal de giro de motor y en el pin SD se conectara el PWM.

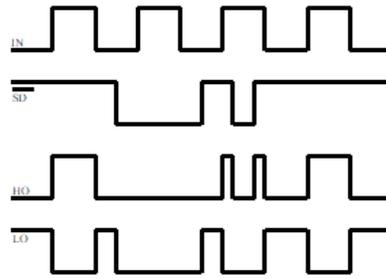


Figure 1. Input/Output Timing Diagram

Figura 52. Funcionamiento del mosfiet IR2184

Tabla 24
Tabla de verdad de mosfiet IR2184

IN	SD	HO	LO
0	0	0	0
0	1	0	1
1	0	0	0
1	1	1	0

El puente H se implementará como se observa en la figura 53, se utilizará un capacitor de 1uF entre la alimentación y tierra para eliminar ruido de la fuente, se utilizarán resistencias de 47Ω como refiere el fabricante, adicionalmente se colocarán resistencias de 10KΩ para conectar a tierra los mosfiet STP36FN06 cuando no reciben señal desde los mosfiet Ir2184.

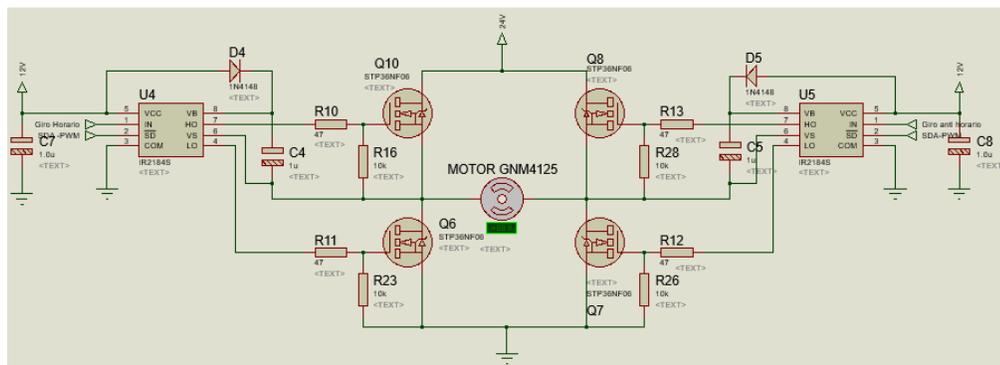


Figura 53. Diagrama de implementación del puente H

El funcionamiento general del puente H antes diseñado se describe como muestra la tabla 25, donde SD será la señal de PWM, se conectará la señal de giro anti horario en el pin IN del elemento U5, y en el pin IN del elemento U4 se conectará la señal de giro horario como se observa en la figura 50b).

Tabla 25
Funcionamiento general del puente H

Entradas			Salidas				STP36FN06 Activados	Giro
Ir2184. (U4)	Ir2184. (U5)	U4, U5	Ir2184. (U4)		Ir2184. (U5)			
IN	IN	SD	HO	LO	HO	LO		
0	0	0	0	0	0	0	-----	-----
0	0	1	0	1	0	1	Q6, Q7	Puesta a tierra
0	1	0	0	0	0	0	-----	-----
0	1	1	0	1	1	0	Q8, Q6	Anti horario
1	0	0	0	0	0	0	-----	-----
1	0	1	1	0	0	1	Q10, Q7	Horario
1	1	0	0	0	0	0	-----	-----
1	1	1	1	0	1	0	Q10, Q8	cortocircuito

Este sistema se realiza con mosfet que requieren polarización y trabajan con 12VDC, por lo que se realiza el acondicionamiento de las señales que provienen del micro controlador con la ayuda de tres opto acopladores, dos de velocidad normal 4N25 y uno de alta velocidad 6N137, en la configuración como se observa en la figura 54. Los 12V DC pasan por una resistencia de 10K Ω e ingresan al colector del opto acoplador, la resistencia evitará el cortocircuito cuando se conecte colector y emisor. El emisor se conecta a tierra y la señal de control conectada en el colector sale a una compuerta lógica NOT. Cuando el opto acoplador no está encendido la señal se encuentra en alto y cuando el opto acoplador se enciende la señal se aterriza, razón por la cual se debe utilizar la compuerta. Cada señal que proviene del micro controlador es conectada a una resistencia de 220 Ω para limitar la corriente, para ser conectada al ánodo de los opto acopladores, el cátodo se conecta a tierra.

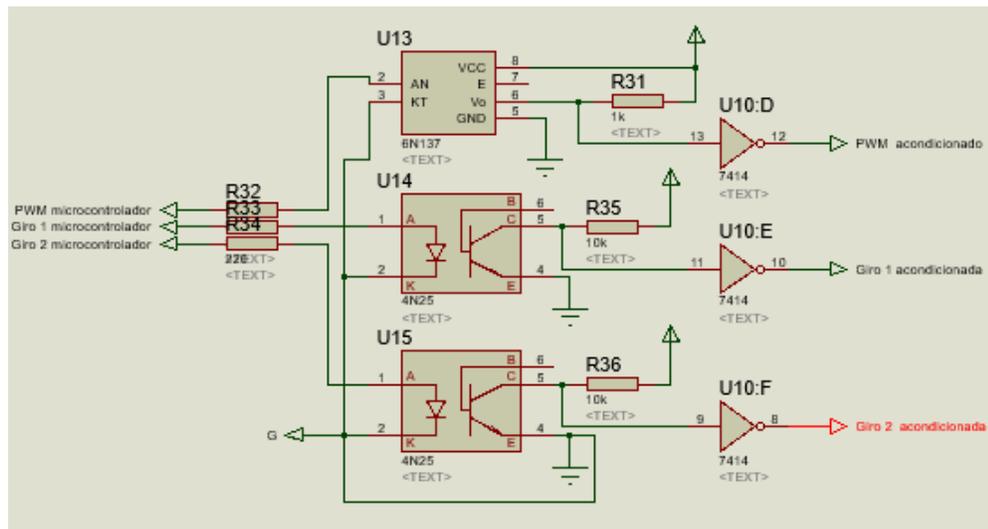


Figura 54. Diagrama de acondicionamiento de señal con opto acopladores

Para un mejor funcionamiento y por seguridad para evitar el cortocircuito presentado en la tabla 25, se realizará una lógica de control con las señales acondicionadas como se puede observar en la figura 55 para que el sentido del giro únicamente se active en una dirección y no las dos al mismo tiempo con un funcionamiento como lo describe la tabla de verdad 26.

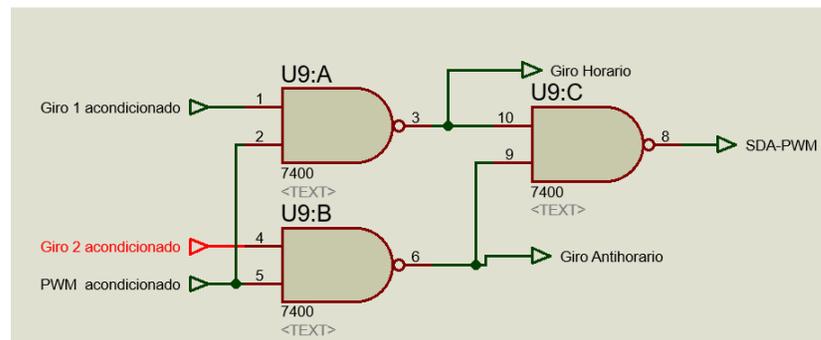


Figura 55. Lógica de control para señales acondicionadas

Tabla 26
Funcionamiento de la lógica de control

Giro 1 acondicionad o	Giro 2 acondicionad o	Pwm Acondicionad o	Giro horari o	Giro anti horari o	SDA PW M	Giro motor
0	0	0	1	1	0	-----
0	0	1	1	1	0	-----
0	1	0	1	1	0	-----
0	1	1	1	0	1	horari o
1	0	0	1	1	0	-----
1	0	1	0	1	1	Anti horari o
1	1	0	1	1	0	-----
1	1	1	0	0	1	-----

Como la alimentación de la placa se realizará con 24V para las señales de control se utilizará un conversor DC-DC comercial LM2596 Step Down como se observa en la figura 56, ya que se requiere alimentación de 12VDC.

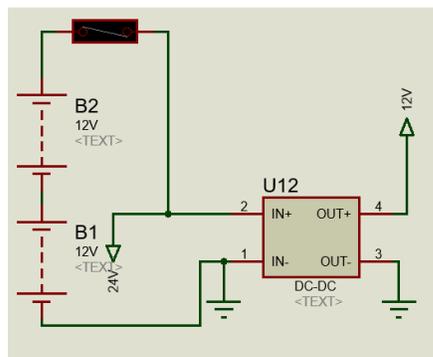


Figura 56. Conversor DC-DC comercial LM2596 Step Down
 En conjunto trabajará como se observa a continuación:

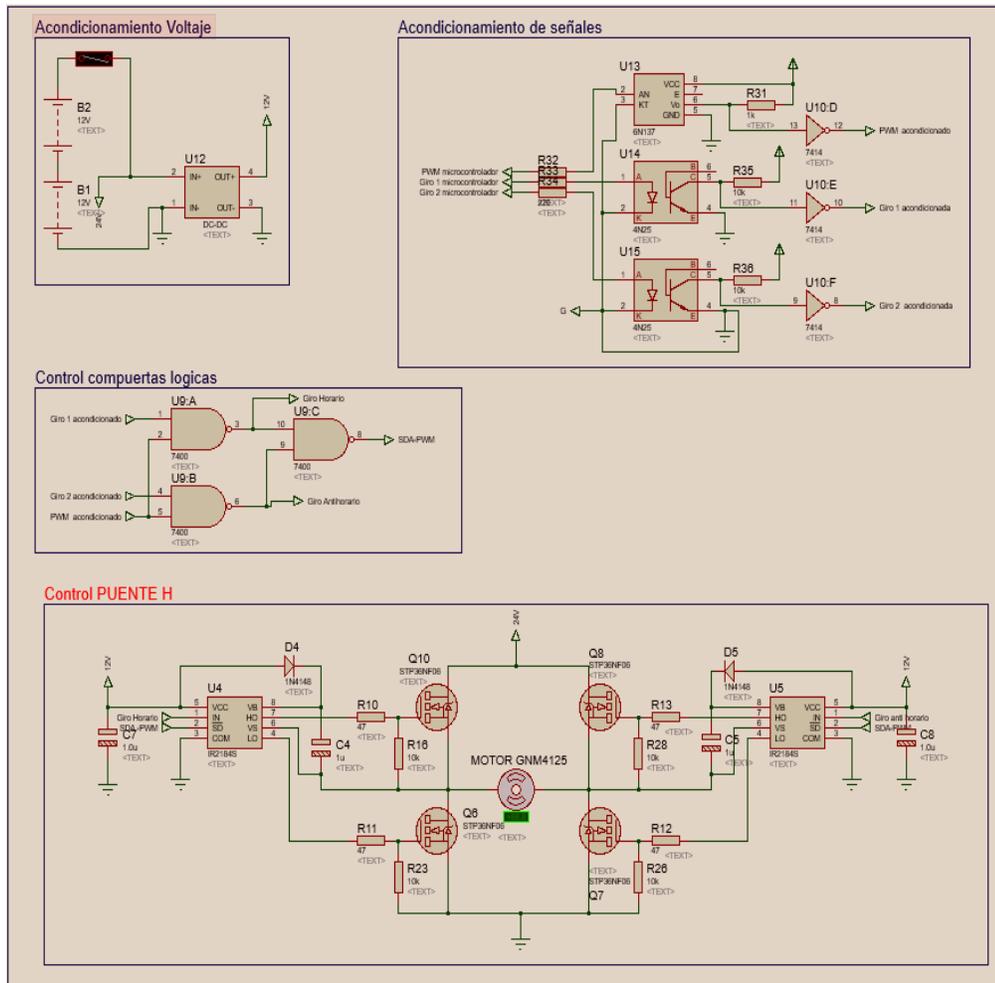


Figura 57. Diagrama completo de control y potencia del motor GNM4125

Se fabrican las dos placas una para cada motor y se instala un disipador de calor.

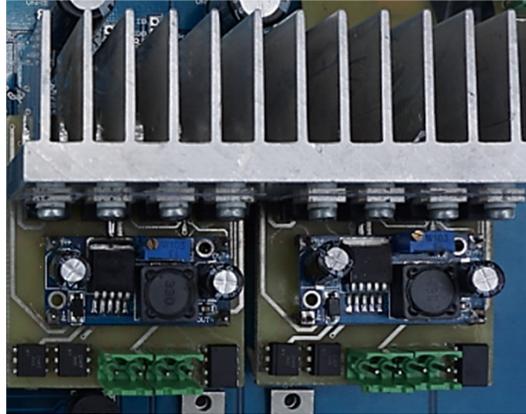


Figura 59. Fabricación final de la placa de control de motores GNM4125

Los motores tienen un freno integrado a la desconexión, el cual trabaja con 24 V DC que le permite liberar al motor, si se despolariza de 24VDC el motor se frena para mantener la posición, razón por la cual el comando del freno se debe realizar de manera paralela a cada motor en trabajo, el freno debe recibir 24VDC indistintamente si se encuentra girando horaria o anti horariamente.

Para realizar este control se utilizará la señal del micro controlador una para cada motor, se empleará un opto acoplador PC 817, el cual trabajará con un transistor 2N3904 y un relé SRD-24VDC-SL-C como se observa en la figura 60.

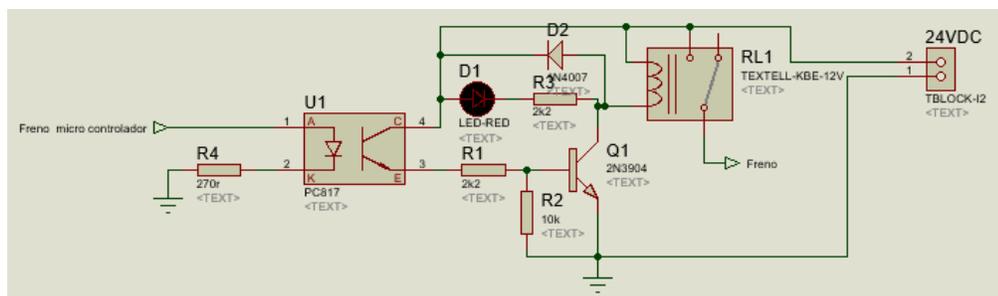


Figura 60. Diagrama eléctrico para control del freno

La señal del micro controlador se conecta con el ánodo del opto acoplador, el cátodo se conecta una resistencia de 220Ω para limitar la corriente como se observó en el diseño del motor RS420A. El relé se alimenta con 24V DC en su bobina la cual tiene un consumo de 100mA, se conecta un diodo en anti paralelo para evitar el retorno de corriente, adicional se conectará en paralelo un led y su resistencia como luz testigo estos elementos se conectan al colector del transistor 2N3904, el emisor se conecta a tierra. El colector del opto acoplador se alimenta con 24V DC el emisor se conecta a una resistencia y esta se conecta a la base del transistor para que trabaje en corte y saturación. La resistencia de $10K\Omega$ se coloca para aterrizar la base del transistor cuando el opto acoplador se encuentra inactivo, tiene un valor alto para cuando se active el opto acoplador no afectar el funcionamiento. El transistor trabajara como un switch en corte y saturación, razón por la cual se debe cumplir que la corriente de colector (I_c) debe ser igual a corriente de base (I_b) por beta como se detalla a continuación.

De acuerdo a las hojas técnicas y teniendo en cuenta el circuito de la figura 61:

Relé: Voltaje de bobina 24V DC, consumo 100mA.

Transistor 2N3904: si I_c es $\geq 100\text{mA}$, Beta 100, Beta para corte y saturación 10.

Led: consumo 10mA

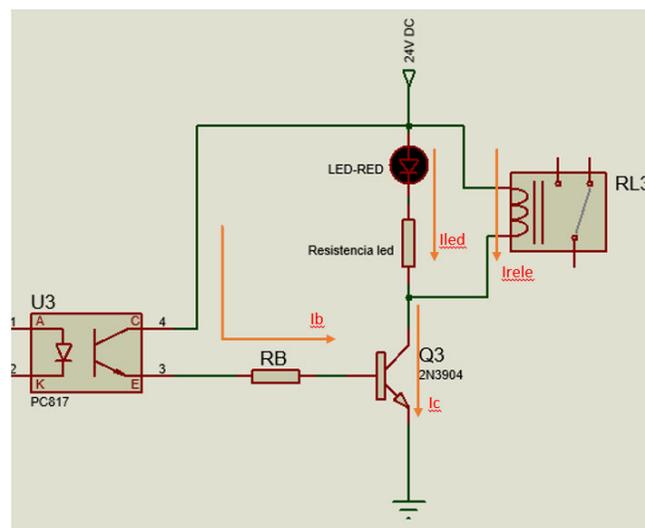


Figura 61. Diagrama para cálculo de resistencia de base del control del freno

$$I_c = I_{rele} + I_{led}$$

$$I_c = 100mA + 10mA$$

$$I_c = 110mA$$

Para que el transistor trabaje en corte y saturación se debe cumplir:

$$I_c = I_b * B$$

$$I_b = \frac{I_c}{B}$$

$$I_b = \frac{110mA}{10}$$

$$I_b = 11mA$$

Como existen dos junturas el voltaje que caiga en la resistencia de la base está dado por:

$$V_{in} = V_{junturas} + V_{resistencia\ base}$$

$$V_{resistencia\ base} = V_{in} - V_{junturas}$$

$$V_{resistencia\ base} = 24 - 1.2$$

$$V_{resistencia\ base} = 22.8V$$

Por la ley de Ohm:

$$V_{resistencia\ base} = I_b * R_b$$

$$R_b = \frac{V_{resistencia\ base}}{I_b}$$

$$R_b = \frac{22.8}{0.011}$$

$$R_b = 2072$$

Se utilizara R_b de 2.2Kohm por ser normada.

Se requiere el control del freno de los dos motores por esta razón se realiza el diseño como se observa en la figura 62, con ayuda de software se realiza el ruteo y simulación para la fabricación del PCB.

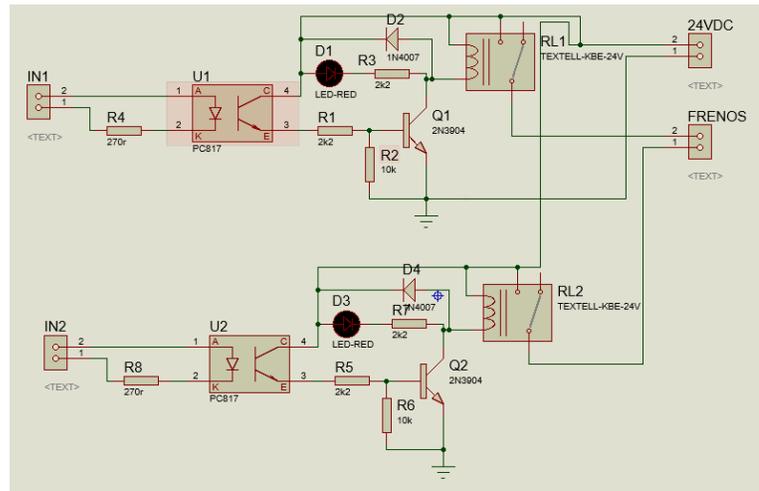


Figura 62. Diagrama eléctrico de placa para control de los dos frenos

El ruteo del PCB se realizará a un solo lado, los elementos de control tendrán vías de espesor 0.5mm mientras que los elementos de potencia tendrán vías de ancho 2mm, en la figura 63 se puede observar la simulación del PCB y su 3D.

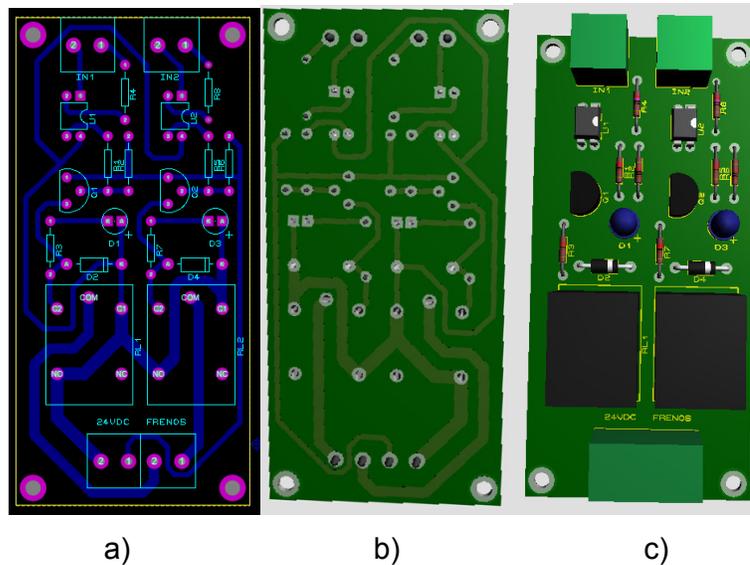


Figura 63. a) Ruteo eléctrico placa de control de frenos b) Vista inferior de simulación 3D placa de control de frenos c) Vista superior de simulación 3D placa de control de frenos

Fabricación de la placa:

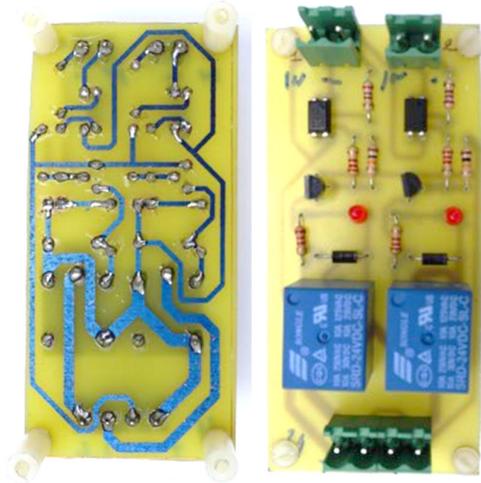


Figura 64. Placa eléctrica de control de frenos.

- **Motores brazo robótico y torreta**

Para el control de los motores del brazo robótico y de la torreta de la cámara que en su totalidad suman 7 (2 motores GNM3 150 -02, 2 motores GNM2636-3, el motor de la torreta de cámara y los dos motores del efector final) se realizará un circuito de control semejante para cada uno, debido a que el voltaje nominal es de 24VDC en todos ellos, y el pico de corriente más alta es 8A, se pueden utilizar elementos similares para el control. El circuito está diseñado con base en un driver de puente H VNH5180A el cual podría trabajar con todos los motores mediante el circuito sugerido en la hoja del fabricante que se puede observar en la figura 65.

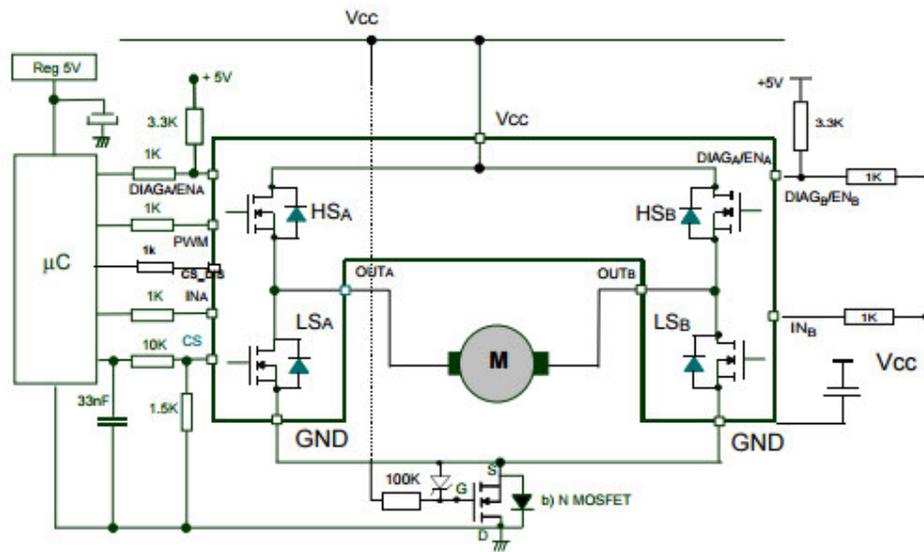


Figura 65. Diagrama de driver de puente H VNH5180A

Siguiendo la configuración del fabricante, y con ayuda de un simulador se realiza el diseño del driver como se observa en la figura 66.

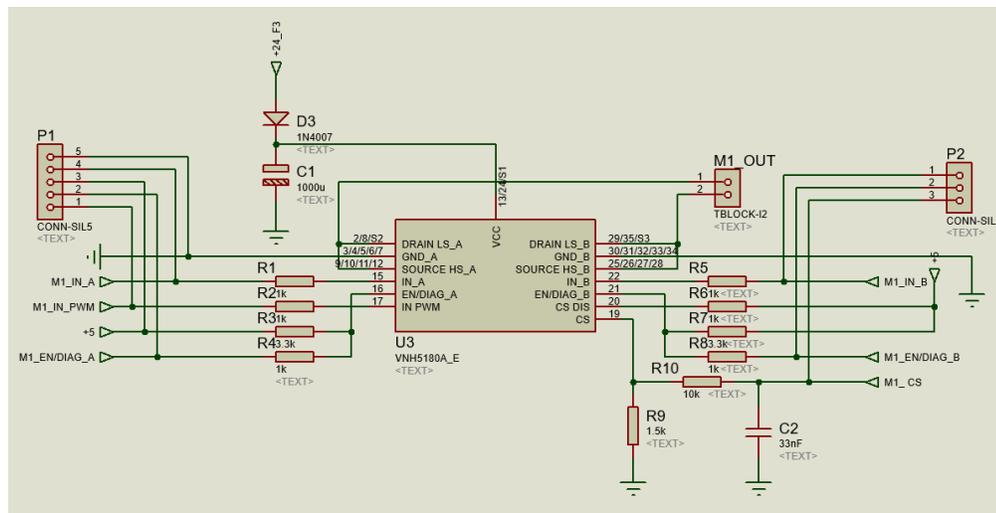


Figura 66. Diseño de driver de puente H VNH5180A

La configuración vista en la figura 66 se colocará en un encapsulado para su utilización, el esquema de conexión con las entradas del micro controlador se puede observar en la figura 67.

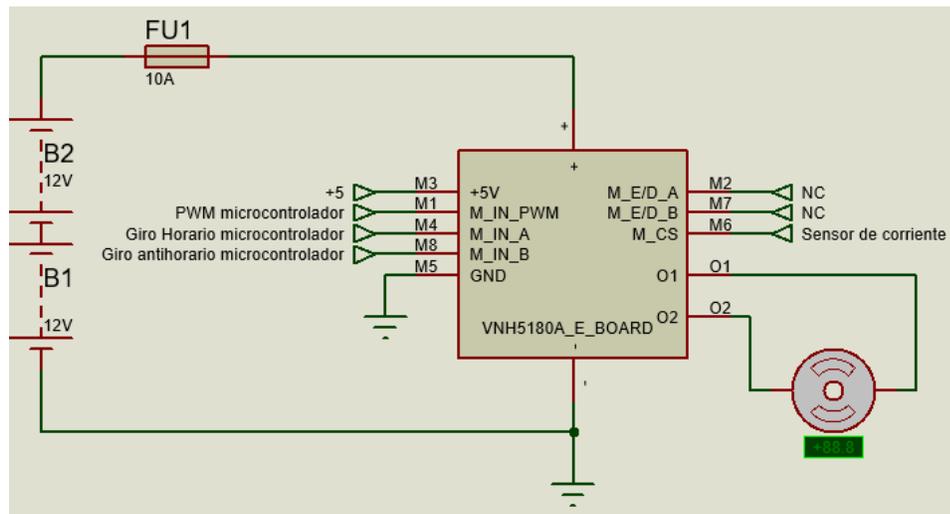


Figura 67. Diagrama de entradas y salidas de driver puente H VNH5180A

El circuito requiere polarizarse con 24VDC para el puente H, además requiere la señal de PWM, la señal de giro horario y la señal de giro anti horario, que provienen del micro controlador funcionando mediante la siguiente tabla de verdad 27, cuando existe señal en ambos sentidos de giro y en el PWM al mismo tiempo el driver se protege y no realiza nada.

Tabla 27

Tabla de verdad de entradas para control de driver puente H VNH5180A

Entradas			Salida
Giro Horario	Giro Anti horario	PWM	Giro motor
0	1	1	Anti horario
1	0	1	Horario

El elemento VNH5180A_E_BOARD tiene el siguiente PCB ver figura 68. El cual nos servirá para realizar la placa de control, requiriendo la implementación de 7 drivers.

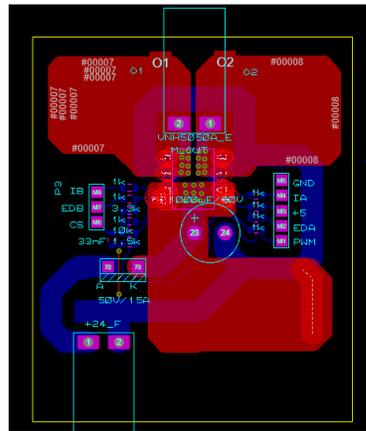


Figura 68. Diagrama de PCB puente H VNH5180A_E_BOARD

○ Limitadores de posición

Por seguridad se implementarán 6 limitadores de posición para los motores del hombro, codo y muñeca, los cuales prevendrán que el brazo se ponga en posiciones que anatómicamente no pueda o que forcé a los motores, como se observa en la figura 69, estos sensores son de tipo limit switch.

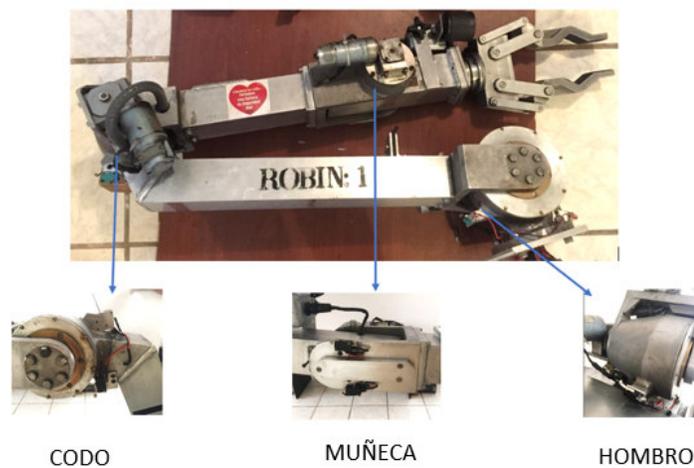


Figura 69. Ubicación de sensores limit switch.

Los limit switch se alimentarán con 12VDC luego la señal será acondicionada para ingresar al micro controlador como se observa en la figura 70.

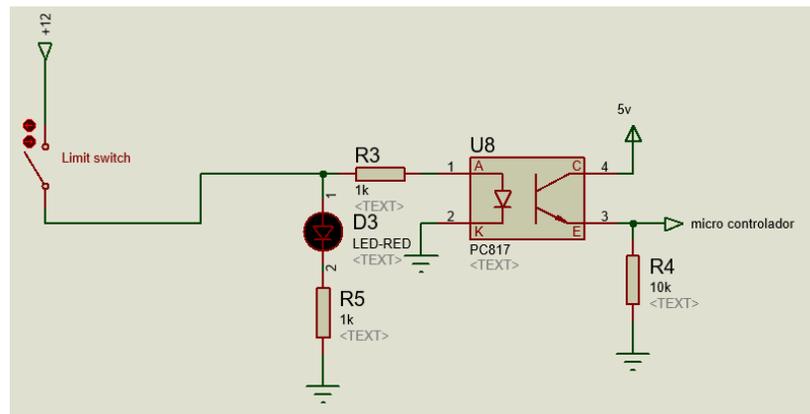


Figura 70. Diagrama de acondicionamiento de la señal de limit switch.

Se conecta 12V DC en el contacto normalmente abierto del limit switch, el contacto común se conecta a una resistencia R3 de 1K Ω para limitar la corriente que ingresa al ánodo del opto acoplador PC817, y su cátodo a tierra. Se conecta un led testigo y una resistencia R5 en paralelo a la resistencia R3 y opto acoplador. Se conecta 5V al colector del opto acoplador, el emisor se conecta a una resistencia R4 y ésta a tierra, la señal para el micro controlador es obtenida del nodo del emisor del opto acoplador, la resistencia R4 es de 10K Ω para aterrizar la señal de entrada al micro cuando se encuentra inoperativa.

Cuando el limit switch es presionado se activa el opto acoplador, el led testigo y la salida al micro controlador tiene un uno lógico que permite el paro del motor por programación. Esta configuración se realiza para los seis limit switch.

- **Sistema de iluminación**

En la tabla de ponderación 28 se muestran opciones de lámparas para actualizar el sistema de iluminación los cuales deben cumplir los requerimientos de bajo consumo energético, resistencia ambiental y tamaño adecuado para no afectar mecánicamente al robot.

Para la tabla de ponderación se tomará en cuenta un valor de 1 al 5 donde 1 es el más bajo y 5 el máximo.

Tabla 28
Selección de sistema de iluminación

No.	OPCIÓN	CRITERIOS DE SELECCIÓN				Total
		Menor consumo energético	Resistencia ambiental	Tamaño	Menor costo	
1	Halógenos HELLA Comet 500	1	5	1	1	8
2	Lámpara Led 6HC	3	5	3	5	16
3	Lámpara led AUXBEAM	5	5	5	3	18

La lámpara que mejor se adapta a los requerimientos es la led AUXBEAM ya que es de bajo consumo energético, tiene resistencia ambiental IP- 68, es decir es apta para soportar la mayoría de los ambientes agresivos como por ejemplo el polvo y la inmersión completa y continua en agua, se la puede adaptar a la estructura del robot sin que el peso y dimensiones influyan en el movimiento del mismo, y funciona con un voltaje de 9V a 32V lo que la hace de fácil adaptación al robot. Las características de la lámpara se observan en la tabla 29.

Tabla 29
Características lámpara led AUXBEAM

Características	Lámpara led AUXBEAM
Imagen	
Voltaje	9V – 32V
Consumo energético	18W
Lumens	1800ML
Dimensión	97x100x80mm
Resistencia ambiental	IP- 68
Horas de servicio	50000H
Precio	\$ 60

Para mayor luminosidad se hará uso de dos lámparas, una ubicada en la parte trasera del gripper y otra en la torreta de la cámara, las cuales se conectarán en serie para evitar el alto consumo de corriente (ver figura 71).

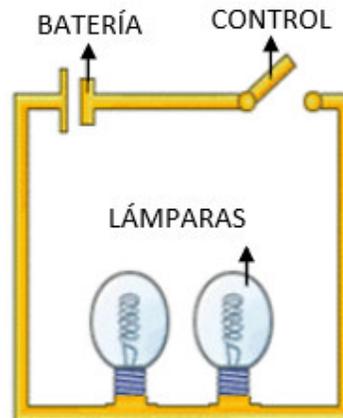


Figura 71. Esquema de conexión de lámparas en serie.

El circuito electrónico para el control de las lámparas se muestra en la figura 72.

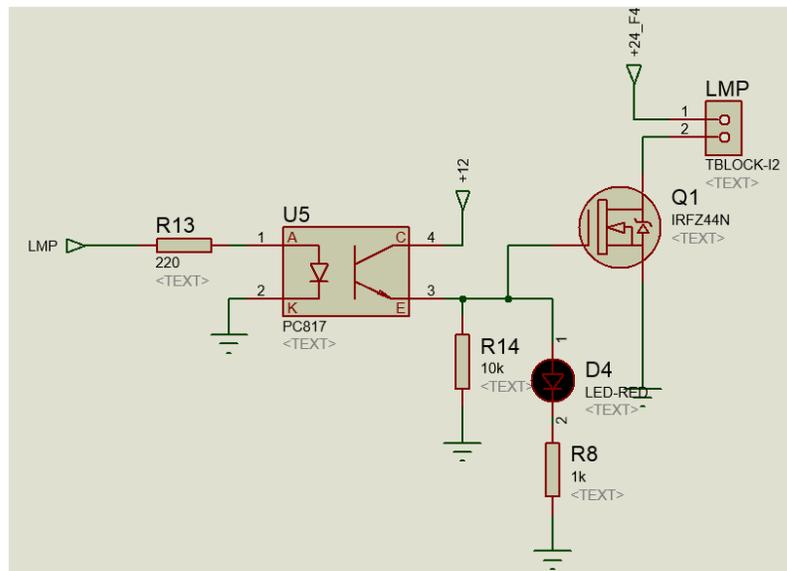


Figura 72. Diagrama de circuito de control de lámparas.

Se posee una señal lógica proveniente del microcontrolador conectada a una resistencia en serie al ánodo del opto acoplador PC817, el cátodo se conecta a tierra. El valor de la resistencia se obtiene utilizando la ley de Ohm, considerando el voltaje del uno lógico proporcionado por el microcontrolador 5VDC y la resistencia de ánodo a cátodo de 1Ω

$$V = I * R$$

$$V = I * (R_{\text{optoacoplador}} + R_{\text{serie}})$$

$$5 = 0.025 * (1 + R_{\text{serie}})$$

$$R_{\text{serie}} = \frac{5}{0.025} - 1$$

$$\mathbf{R_{\text{serie}} = 199[\Omega]}$$

Comercialmente existen resistencias de 220Ω por lo tanto se calcula la corriente que recibirá el opto acoplador con dicha resistencia.

$$V = I * R$$

$$V = I * (R_{optoacoplador} + R_{serie})$$

$$5 = I * (1 + 220)$$

$$I = \frac{5}{221}$$

$$I = 22.6[mA]$$

La corriente es adecuada para el disparo del opto acoplador.

La salida del opto acoplador es decir en el colector se conecta 12VDC y en el emisor se conecta una resistencia de $10k\Omega$, un led indicador en serie con una resistencia de $1k\Omega$ y el Gate del mosfet. La resistencia de $10k\Omega$ se conecta a tierra para que cuando el circuito se encuentre inactivo no se den señales falsas. La resistencia de $1k\Omega$ se usa para el funcionamiento del led de acuerdo al procedimiento que se realizó en el diseño del motor RS420A. El gate del mosfet IRFZ44N se activará permitiendo el paso de corriente de drain a source, esto permitirá que se cierre el circuito con 24VDC para la activación de las lámparas.

- **Disparo**

El disruptor de agua es el encargado de disparar agua a altas presiones para destruir artefactos sospechosos, tal acción se realiza colocando un cartucho calibre 12 con aproximadamente 10gr de pólvora y utilizando un detonador (ver figura 73), el cual es un iniciador usado para activar cargas explosivas, cuando se lo energiza genera un corto circuito y se produce la explosión.

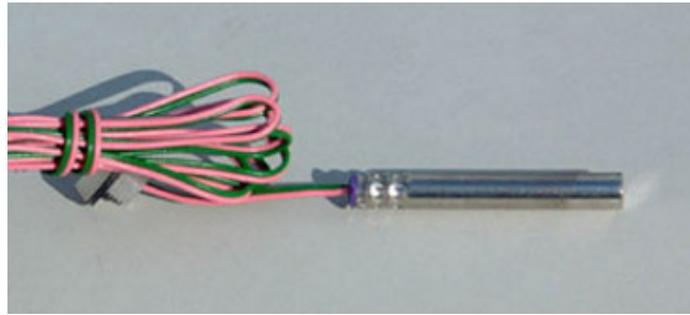


Figura 73. Iniciador de carga explosiva.

El circuito electrónico para energizar el detonador se muestra en la figura 74.

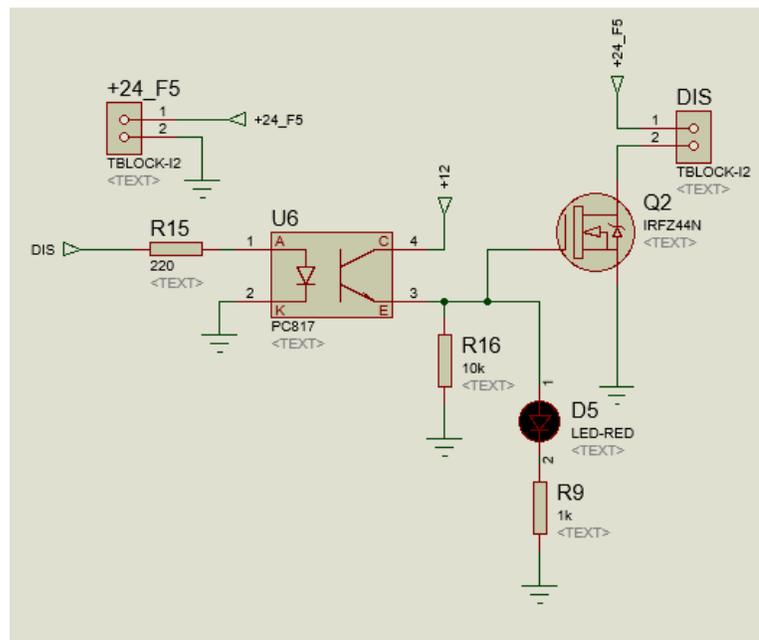


Figura 74. Diagrama de control del iniciador de carga explosiva.

La señal lógica proveniente del microcontrolador conecta una resistencia en serie al ánodo del opto acoplador PC817 y el cátodo se conecta a tierra. El valor de la resistencia es 200Ω de acuerdo al procedimiento que se realizó en el sistema de iluminación.

La salida del opto acoplador es decir en el colector se conecta 12VDC y en el emisor se conecta una resistencia de $10k\Omega$, un led indicador en serie con una resistencia de $1k\Omega$ y el gate del mosfet. La resistencia de $10k\Omega$ se

conecta a tierra para que cuando el circuito se encuentre inactivo no se den señales falsas. La resistencia de 1 k Ω se usa para el funcionamiento del led de acuerdo al procedimiento que se realizó en el diseño del motor RS420A. El gate del mosfet IRFZ44N se activará permitiendo el paso de corriente de drain a source, esto permitirá que se cierre el circuito con 24VDC para la activación del detonador.

El circuito electrónico de control se ubicará en la placa general de donde a través de cableado eléctrico el voltaje llegará a dos conectores ubicados en el brazo del robot (ver figura 75), los cables provenientes del disruptor se conectarán en dichos conectores y la detonación se generará debido la señal lógica enviada por el microcontrolador.



Figura 75. Conector eléctrico para disruptor.

- **Luz testigo**

El sistema requiere una luz que nos permita visualizar el estado de operación del robot, por lo que se implementará una luz led, en el lugar que existe para luces del robot como se observa en la figura 76.



Figura 76. Ubicación de la luz testigo del robot.

El led será controlado a través del micro controlador, éste encenderá al led cuando reciba información del control inalámbrico, con la configuración que se observa en la siguiente figura 77, el led que se utilizará es un led de alta luminosidad activado con 12V DC, este consume 40mA, con el disparo de un transistor MMBT2222 el cálculo de las resistencias de base y resistencia del led se realizó en el sistema de visión figura 42.

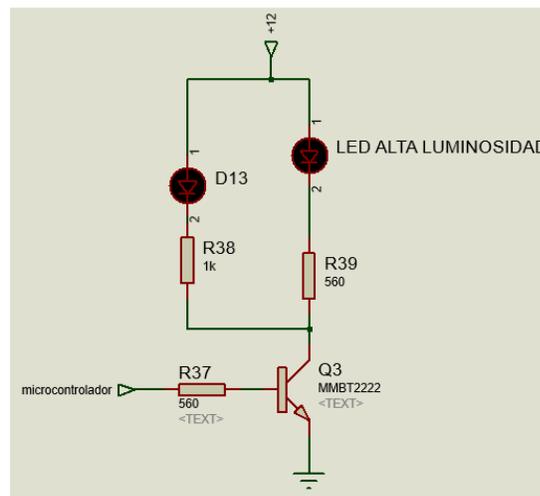
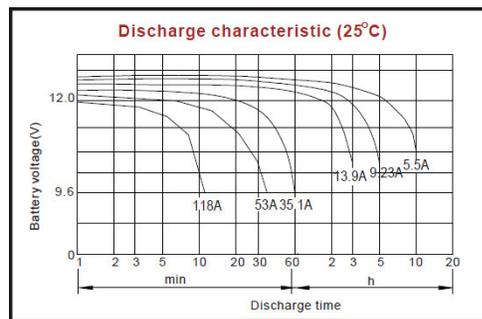


Figura 77. Diagrama de control de luz testigo.

- **Medidor de Baterías**

El robot utiliza dos baterías de 12VDC conectadas en serie, cada una de las baterías tiene una curva de descarga a temperatura ambiente como se describe en la figura 78 tomada de la hoja del fabricante, las baterías a medida que se descargan su voltaje irá reduciendo.

Al estar las baterías conectadas en serie la corriente caerá como describe el gráfico mientras que el voltaje equivaldría al doble de lo descrito en la figura.



Discharge Constant Current (Amperes at 77°F/25°C)

End Point Volts/Cell		10min	15min	30min	1h	3h	5h	10h	20h
1.60V		129	99.4	59.2	35.1	14.6	9.82	5.70	2.97
1.65V		124	95.4	57.4	34.2	14.2	9.57	5.65	2.96
1.70V		115	90.6	55.6	33.3	13.9	9.40	5.60	2.95
1.75V		106	85.8	53.8	32.5	13.6	9.23	5.55	2.93
1.80V		99.8	79.5	51.9	31.7	13.3	9.06	5.50	2.90

Figura 78. Comportamiento de descarga de baterías.

Si en el hipotético caso se tuviese una potencia constante consumida por todos los elementos como lo descrito en la tabla 15 de 501.85W se puede obtener el consumo de corriente:

$$P = V * I$$

$$501.85W = 24V * I$$

$$I = \frac{501.85W}{24V}$$

$$I = 20.91A$$

Si verificamos en la figura 78 con un consumo de 31.7A la batería tendría una duración de una hora con un voltaje final de 10.8V, o si vemos el consumo

de 14.6A la batería tendría una duración de tres horas con un voltaje final 9.6V, razón por la cual se puede asegurar que la batería durará como mínimo dos horas, llegando a descargarse por completo cuando presente en el voltímetro un valor de 21.6V y cuando la batería se encuentre cargada por completo tiene que reflejar un valor de 25V. El voltímetro que se utilizará se conectará en paralelo a las baterías con rango de ingreso de 5VDC-30VDC, tiene tres números como se observa en la figura 79, permitiendo mostrar un decimal.



Figura 79. Voltímetro utilizado para medir el nivel de batería.

- **Elementos de protección**

Para la protección de los elementos eléctricos y electrónicos, se puede utilizar un gran número de elementos de protección como son disyuntores magnéticos, fusibles, disyuntores diferenciales, cada uno de estos elementos presentan ventajas y desventajas como por ejemplo los fusibles requieren remplazo y los disyuntores requieren la reconexión después de haber desconectado los circuitos por sobre corriente o cortocircuito.

Los elementos a proteger serán: los elementos de control, sistema de iluminación, sistema para disparo, motores del brazo y torreta, motores de las ruedas avance y retroceso, motores de ruedas para gradas. El robot dispone de 8 disyuntores, 2 de 40A (w23-x1A1G-40), 1 de 5A (w23-x1A1G-5), y 3 de 10A (w23-x1A1G-10), y 2 de 20A (w23-x1A1G-20), que se encuentran funcionales y serán reutilizados.

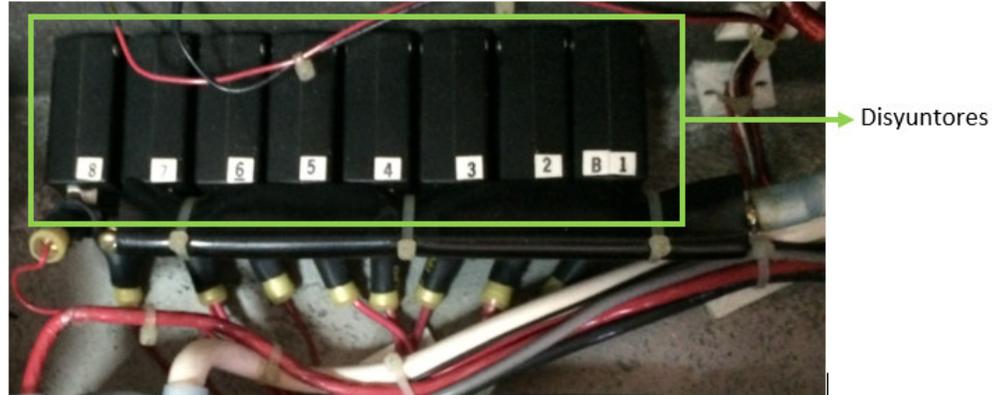


Figura 80. Disyuntores de protección eléctrica.

Los elementos de control tiene un consumo de corriente 2.85W tomado de la tabla 16, si la alimentación de los elementos de control se realiza con 5V DC se puede obtener el consumo de corriente:

$$\begin{aligned}
 P &= V * I \\
 2.85W &= 5V * I \\
 I &= \frac{2.85W}{5V} \\
 I &= 0.57A
 \end{aligned}$$

Si se considera un factor de seguridad del 25%

$$\begin{aligned}
 I &= 0.57A * 1.25 \\
 I &= 0.7125A
 \end{aligned}$$

Se utilizará un disyuntor de 10A de los que se dispone del robot conectado al conversor DC-DC de 24VDC-12VDC que tiene un fusible de protección de 1A como se observa en la figura 81.

El sistema de iluminación consta de 2 lámparas de 18W, con una alimentación de 24VDC con lo que se obtiene el consumo eléctrico.

$$P = V * I$$

$$36W = 24V * I$$

$$I = \frac{36W}{24V}$$

$$I = 1.5A$$

Si se considera un factor de seguridad del 25%.

$$I = 1.5A * 1.25$$

$$I = 1.875A$$

Se utilizará un disyuntor de 5A de los que se dispone.

El sistema de disparo tiene su propia protección en las cargas con un fusible de 1A, se alimentará con 24VDC y por protección se le conectará a un disyuntor de 10A de los que dispone el robot.

Los motores del brazo y la torreta presentan picos de hasta 8A y como solo trabajará un motor a la vez y con el factor de seguridad de 25% se obtiene

$$I = 8A * 1.25$$

$$I = 10A$$

Se utilizará un disyuntor de 10A de los que dispone el robot.

Los motores de las ruedas para subir y bajar gradas generan picos de 17A y dado que trabajará uno a la vez se puede usar un factor de seguridad de 15%.

$$I = 17A * 1.15$$

$$I = 19.55A$$

Como se requiere un disyuntor de 20A se utilizará un disyuntor de los que dispone el robot.

Los motores de las ruedas para avanzar y retroceder generan picos de 30A y trabajarán los dos al mismo tiempo o de manera individual, y si se puede usar un factor de seguridad de 25%.

$$I = 30A * 1.25$$

$$I = 37.5A$$

Se utilizará los dos disyuntores de 40A de los que dispone el robot, uno para cada motor.

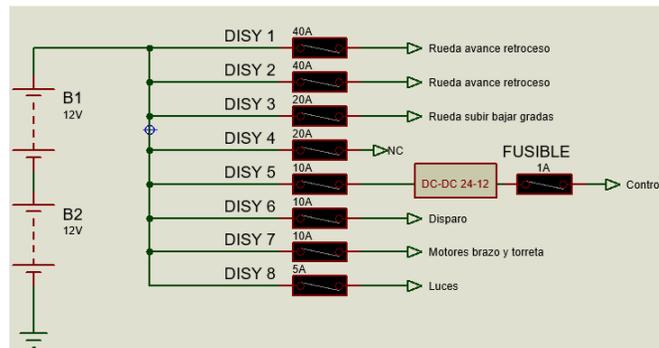


Figura 81. Diagrama de conexión de elementos de protección.

Para los elementos de la estación de teleoperación se implementará un fusible como medida de protección ante corto circuitos o sobre cargas de corriente, para esto se tomará en cuenta la potencia de los elementos que se encuentra en la tabla 16 que es 11.75W con alimentación de 12VDC con lo que se obtiene el consumo eléctrico:

$$P = V * I$$

$$11.75W = 12V * I$$

$$I = \frac{11.75W}{12V}$$

$$I = 0.98A$$

Si se considera un factor de seguridad del 25%.

$$I = 0.98A * 1.25$$

$$I = 1.23A$$

Se utilizará un fusible de 1.5A que es un valor comercial, y que se conectará con el siguiente esquema.

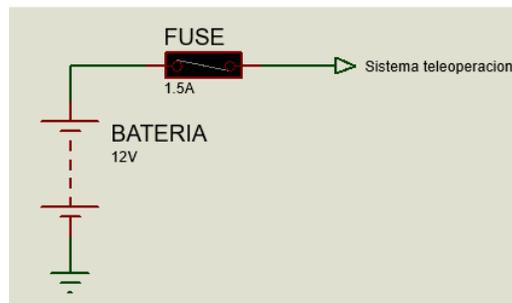


Figura 82. Diagrama de conexión de fusible para elementos de control.

- **Diseño de placa de control**

Una vez finalizado el control de cada uno de los elementos, se diseñará una placa electrónica que permita el control de todos los actuadores 11 motores, circuito de disparo, circuito de iluminación, 6 limit switch, control de frenos, control y alimentación del sistema de cámaras, led indicador, comandados por el arduino y comunicado por el xbee, un esquema del diseño se observa en la figura 8.

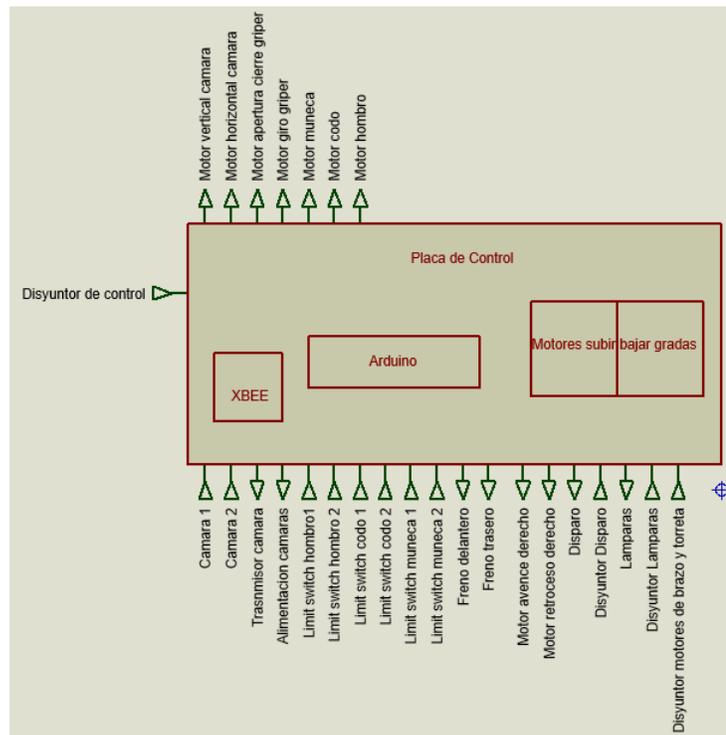


Figura 83. Diagrama esquemático de la placa de control.

La alimentación de la etapa de control se realizará desde el convertor DC-DC 24-12 con protección de 1A pero requiere el acondicionamiento para obtener 5VDC para el arduino, 3.3V para el xbee y 7.7V para el sistema de cámaras por lo que se utilizarán dos convertidores DC-DC comerciales mini buck para los 5V y 7V, además se utilizará un regulador de voltaje AMS1117(montaje superficial) para reducir de 5V a 3.3V y se colocará un capacitor de 0.1 uF para eliminar el ruido de la fuente por que se conectará a un elemento de comunicación, como se puede observar en la figura 8, se incluirá un puente de diodos, para evitar el cortocircuitos por mala polarización.

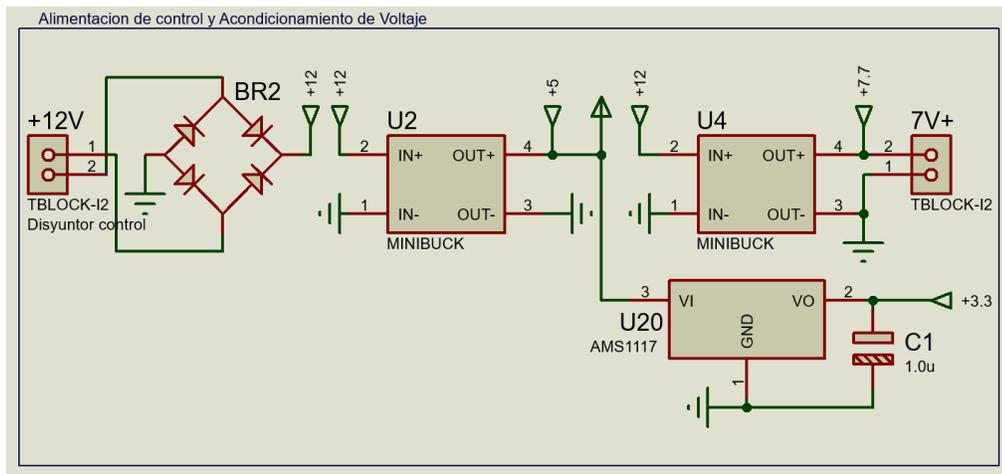


Figura 84. Diagrama de acondicionamiento de voltaje de la placa principal.

Elementos electrónicos que se utilizarán:



Figura 85. a) Conversor DC-DC mini buck. b) Regulador de voltaje AMS1117. c) Puente de Diodos.

El arduino es el encargado de comandar las sentencias grabadas previamente para gobernar todo el sistema mediante la comunicación inalámbrica o en respuesta a sus sensores, se asignan las entradas y salidas como se observa en la tabla 30 y figura 86.

Tabla 30
Entradas y salidas del arduino

Nombre de entrada /salida	Función	Pin Arduino No
+5	Alimentación energética	5v
Gnd	Conexión a tierra del arduino alimentación energética	Gnd
RX_B	Leer datos del Xbee	TX0 1
TX_B	Escribir datos del Xbee	RX0 0
LD1	Activa o desactiva led testigo	12
BUZ1	Activa o desactiva el buzzer	A5
CAM	Selecciona que cámara se desea transmitir	A6
DIS	Activa el Disparo	35
LMP	Enciendo o apaga las lámparas	37
M1_IN_PWM . . . M9_IN_PWM	Salidas de PWM para control de la velocidad de los motores de: Hombro, codo, muñeca, giro de griper, apertura cierre griper, vertical cámara, horizontal cámara.	10 . . . 2
M1_IN_A M1_IN_B . . . M8_IN_A M8_IN_B	Activa o Desactiva giro horario motor 1 Activa o Desactiva giro anti horario motor 1 . . . Activa o Desactiva giro horario motor 8 Activa o Desactiva giro anti horario motor 8	38 39 . . . 52 53
M9_IN_A M9_IN_B	Activa o Desactiva giro horario motor 9 Activa o Desactiva giro anti horario motor 9	34 36
M10_ON M10_OFF M11_ON M11_OFF	Activa o Desactiva giro horario motor 10 Activa o Desactiva giro anti horario motor 10 Activa o Desactiva giro horario motor 11 Activa o Desactiva giro anti horario motor 11	33 31 29 27
M1_CS . . . M9_CS	Sensor de corriente de los drivers de los motores de: Hombro, codo, muñeca, giro de griper, apertura cierre griper, vertical cámara, horizontal cámara.	A7 . . . A15
FN1_M FN2_M	Activa o Desactiva freno del motor delantero Activa o Desactiva freno del motor trasero	25 23
FN3_M FN4_M FN5_M FN6_M FN7_M FN8_M	Reciben las señales de los limit switch cuando son presionados por los motores de hombro codo y muñeca	22 24 26 28 30 32

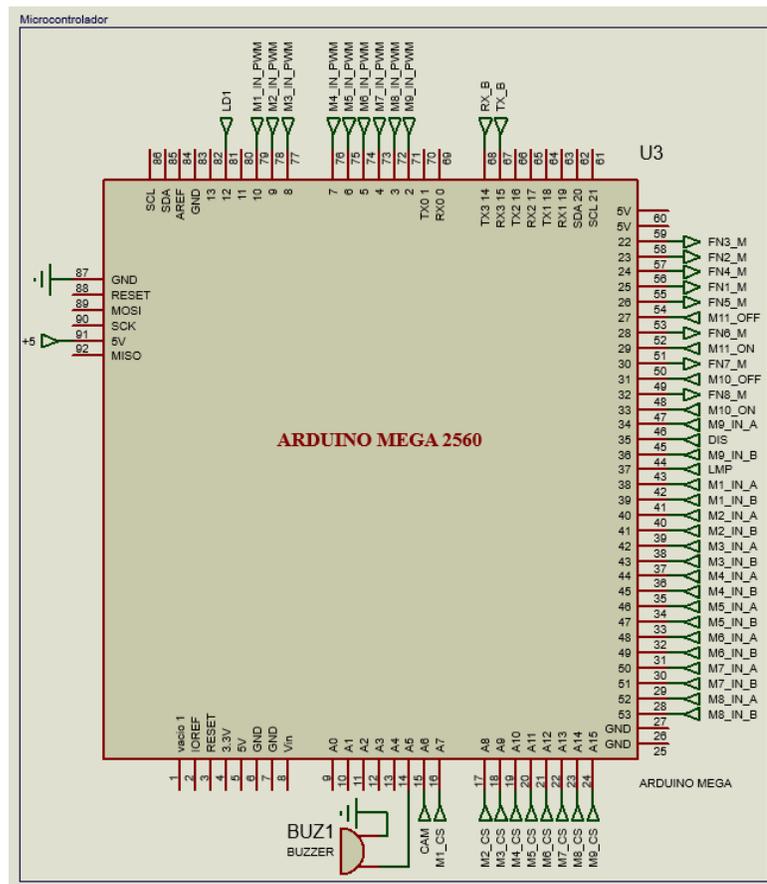


Figura 86. Diagrama de conexión del arduino

El Xbee se conectará al arduino como se diseñó anteriormente utilizando un circuito en la placa principal como se observa en la figura 87.



Figura 87. Diagrama de conexión del xbee

El ruteo de la placa, se realizará a doble lado debido a la complejidad y cantidad de elementos que se requieren conectar, la placa tendrá anti solder por seguridad para evitar cortos, además de soldaduras accidentales. La mayoría de vías de control se realizarán por la parte superior de la placa, estas son de 0.508mm (20th) de ancho, se incluirá plano de tierra para reducir el ruido con tierra como se observa en la figura 89. Por la parte inferior de la placa se tendrá la mayoría de pistas eléctricas para la etapa de potencia con un ancho 2.032mm (80th), y la alimentación de potencia se realizará en pistas de un ancho de 5.08mm (200th) como se observa en la figura 90. Con ayuda del software se realiza una simulación 3D aproximada de la placa como se observa en la figura 91.

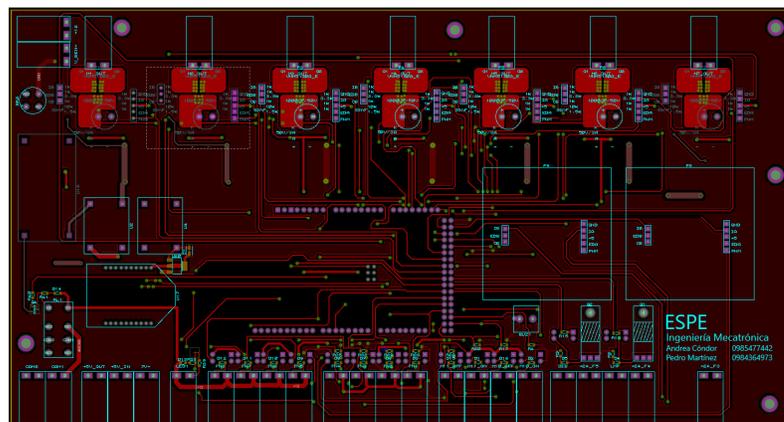


Figura 89. Ruteo superior PCB de la placa de control

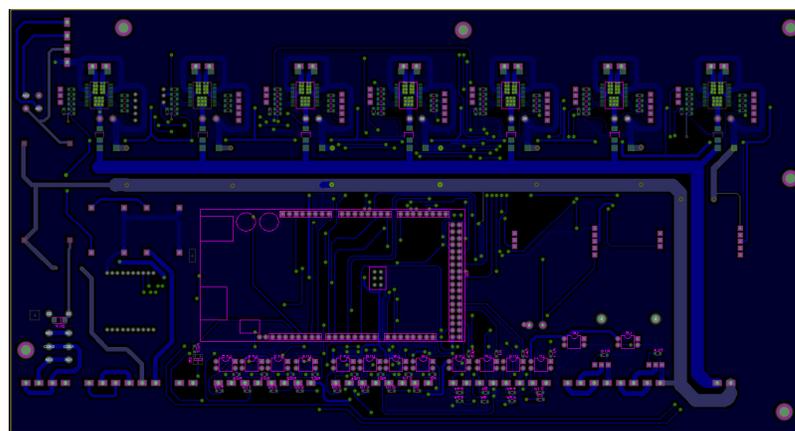


Figura 90. Ruteo inferior PCB de la placa de control

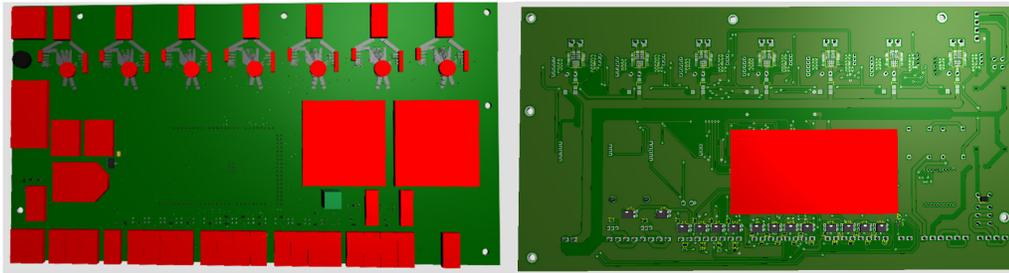


Figura 91. Simulación 3D vista superior e inferior de la placa de control

Una vez finalizadas las simulaciones se fabrica la placa, la soldadura de los elementos se realiza con cable de estaño con pasta en su interior, los elementos superficiales son soldados con estaño líquido, para el arduino y el xbee se soldaron conectores espadines para que sean desmontables, además se soldaron los dos puentes H de control para los motores para subir gradas, como se observa en la figura 92. La placa cuenta con cinco orificios taladrados para la fijación en el robot.

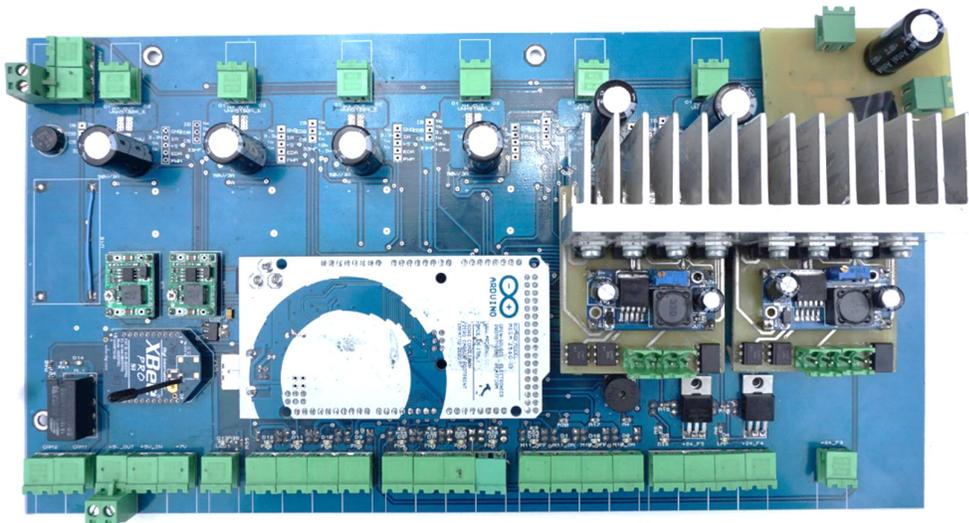


Figura 92. Vista superior de la placa de control fabricada

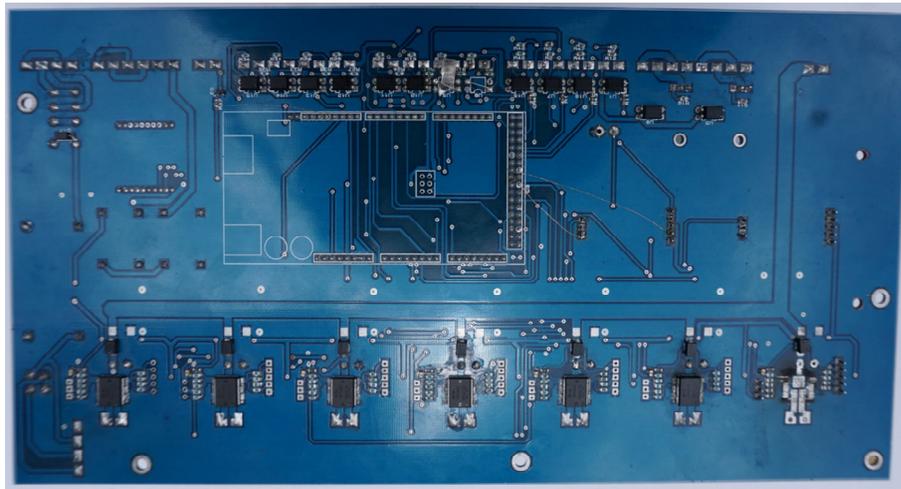


Figura 93. Vista inferior de la placa de control fabricada

- **Láser**

Para el control del láser se utilizarán pilas, un switch y un láser comercial mediante un control on/off. En la figura 94 se muestra el diagrama de conexión.

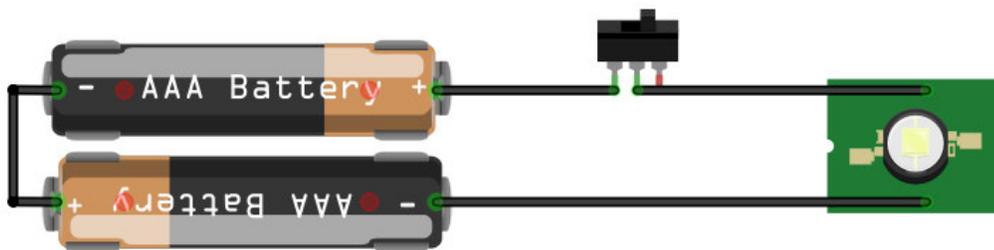


Figura 94. Esquema de conexión del láser

Las pilas están conectadas en serie para obtener 3VDC, GND de las pilas se conecta al pin negativo del láser, VCC se conecta al switch y éste se conecta al láser cerrando el circuito.

3.3.2. Desarrollo hardware mecánico

- **Caja de control para mando a distancia**

Para el realizar el diseño primero se requiere seleccionar el material que se va a utilizar para su fabricación, por lo tanto se desarrolla la tabla de ponderación 31 en donde se muestran los criterios de selección.

Para la tabla de ponderación se tomará en cuenta un valor de 1 al 5 donde 1 es el más bajo y 5 el máximo.

Tabla 31
Selección de material para caja de control de mando a distancia

No.	OPCIÓN	CRITERIOS DE SELECCIÓN				Total
		Vida útil	Facilidad de trabajo	Peso	Mejor precio	
1	Acero inoxidable	5	3	3	1	12
2	Plástico PLA	4	5	5	3	17
3	Madera	3	4	2	4	13

De acuerdo a los criterios de selección analizados, el material que se va a utilizar es el plástico PLA, el precio es elevado pero tiene larga vida útil, además es de fácil utilización y es ligero.

Algunas características del plástico PLA son:

- No requiere de manufactura complicada.
- Es ligero.
- Dependiendo el porcentaje de relleno puede llegar a ser muy resistente.

La manufactura de la caja se la realizará mediante manufactura aditiva (impresión en 3D) con un 80% de relleno, logrando mayor resistencia ya que es muy importante debido a la aplicación que se le va a dar.

Para el dimensionamiento de la caja se tomarán en cuenta las dimensiones de los elementos eléctricos y electrónicos de acuerdo a las necesidades ya que se debe definir el posicionamiento de agujeros para elementos como conectores, antena, medidor de batería, conector para el control DUALSHOCK2, fusible, pulsador on/off, arduino, xbee. El diseño se realizará con la ayuda de un software CAD, en este caso se utilizará SolidWorks.

El diseño final se muestra en la figura 95 donde además de la disposición de agujeros para elementos eléctricos y electrónicos, se insertó un sujetador en la parte trasera para mejorar la portabilidad.

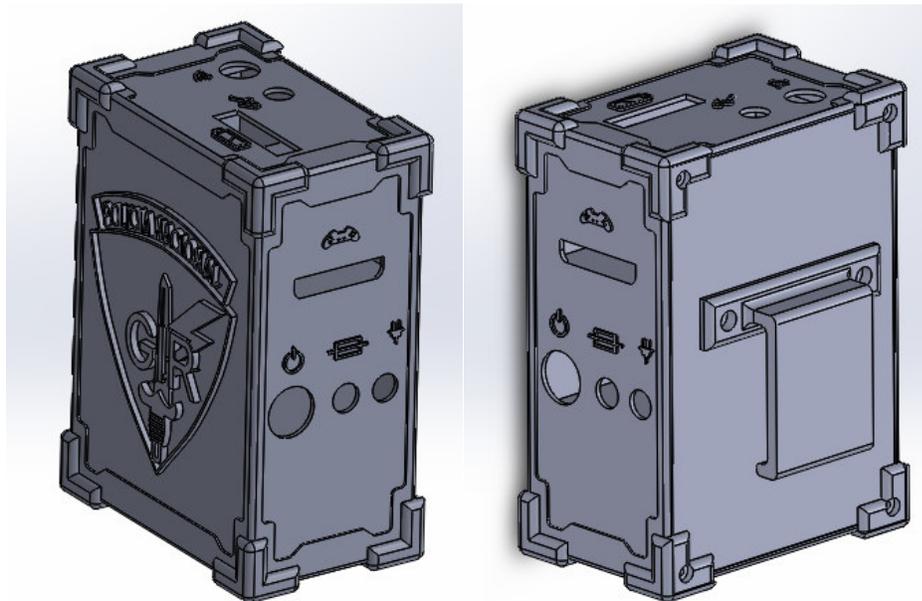


Figura 95. Diseño de la caja de control para mando a distancia

El diseño interno de la caja se muestra en la figura 96, se observan las diferentes secciones que se adaptan a los elementos electrónicos.

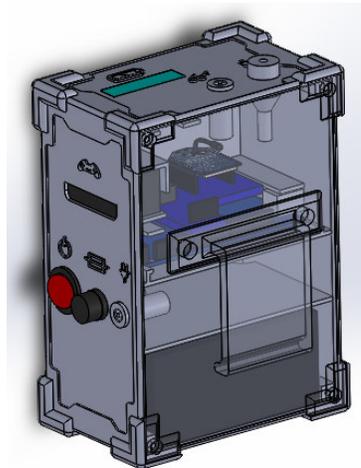


Figura 96. Diseño interior de la caja de control para mando a distancia

Al finalizar el diseño e implementación de la caja de control para mando a distancia se obtienen los siguientes resultados. Ver la figura 97. En el anexo A1 y A3 se encuentran especificadas las medidas de acuerdo al plano de la caja de control.



Figura 97. Caja de control para mando a distancia implementada

- **Diseño de acople para cámaras**

Para la ubicación de las cámaras en el robot se requiere la utilización de los soportes existentes para no interferir en el funcionamiento mecánico del robot, estos soportes tienen un tamaño superior al de las nuevas cámaras razón por la cual se realizará el diseño de acoples para éstas.

De acuerdo a la tabla 31, el material que se utilizará es el plástico PLA mediante manufactura aditiva, con un 40% de relleno ya que no se requiere que el acople sea de alta resistencia mecánica ni ambiental dado que la función de los acoples es la sujeción de las cámaras para el posicionamiento de las mismas. El diseño se realizará en SolidWorks en base a las dimensiones de las cámaras y a los requerimientos de posición de las mismas.

En la figura 98 se observa el diseño del acople de la cámara del gripper, en donde la función principal es que el lente de la cámara quede perfectamente centrado para que no haya problemas de visibilidad.

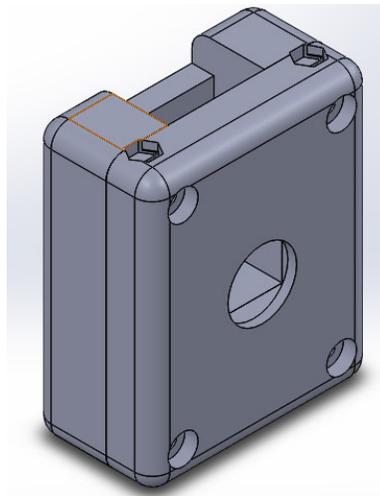


Figura 98. Diseño del acople de la cámara del gripper

El resultado final de la manufactura del acople para la cámara del gripper impreso en 3D se observa en la figura 99.



Figura 99. Acople de la cámara del gripper implementado
En la figura 100 se observa el acople ensamblado en el brazo robótico.



Figura 100. Acople de la cámara del gripper ensamblado en el brazo robótico

Así mismo se puede observar en la figura 101 el diseño del acople para la cámara de la torreta, éste es de tamaño superior al de la cámara del gripper pero tiene la misma funcionalidad. Se diseña en base a las medidas de la cámara, además se reduce el peso de la misma haciéndola menos sólida pero sin perder resistencia, al igual que la cámara del gripper, esta fue impresa con un porcentaje de relleno de 40%.

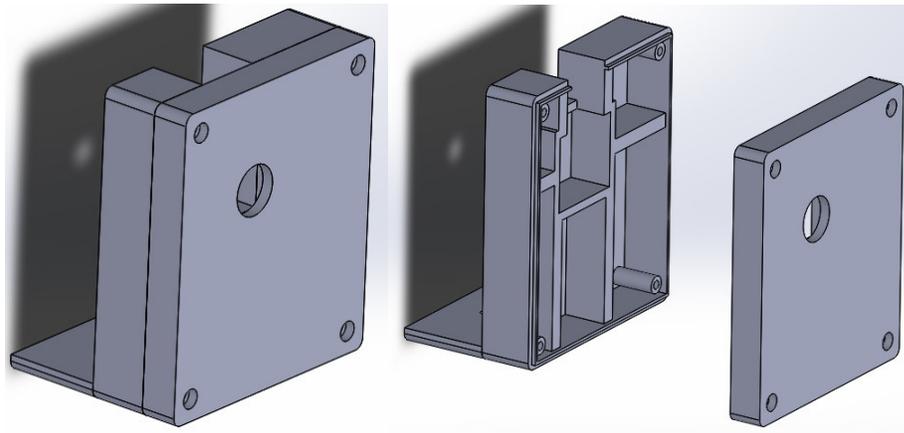


Figura 101. Diseño del acople de la cámara de la torreta

El acople para la cámara de la torreta se observa en la figura 102.



Figura 102. Acople implementado de la cámara de la torreta

- **Robot**

A continuación se detallan los procedimientos que se realizarán en las tres partes que componen el robot.

- **Brazo robótico**

Los motores del hombro, codo y muñeca serán reutilizados después de un proceso de mantenimiento preventivo, es decir se realizará la limpieza del colector además del posicionamiento correcto y revisión de carbones (ver figura 103).



Figura 103. Mantenimiento preventivo de motor de codo

El motor de posicionamiento del gripper requerirá el cambio de carbones y cambio de cables porque se encuentran deteriorados (ver figura 104). Además toda la estructura será pulida y engrasada.



Figura 104. Mantenimiento correctivo del motor del gripper

- **Chasis**

Las baterías serán descartadas y reemplazadas, los motores pasarán por un proceso de limpieza y cambio de carbones, las cajas de engranes serán engrasadas y finalmente la estructura será pulida (Ver figura 105).

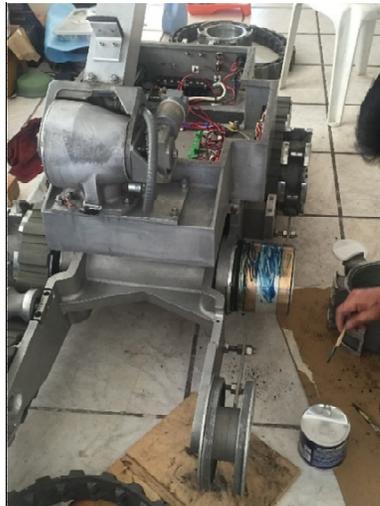


Figura 105. Mantenimiento del chasis

- **Carrocería**

La estructura será pulida, los motores tendrán mantenimiento preventivo con limpieza de colectores y revisión de carbones. El sistema de engranes de orientación izquierda-derecha será engrasado, el sistema de engranes de orientación vertical presenta una avería en el acople de la caja de la cámara a la caja reductora por lo tanto requiere re manufactura.

- **Diseño de engrane para acople en caja reductora de torreta de cámara**

El motor junto con la caja reductora se acoplan a la caja donde se encuentra la cámara a través de un piñón recto que se encuentra deteriorado, roto y desgastado impidiendo el acople y el funcionamiento, razón por la cual se lo reemplazará.

El diseño del piñón se realizará en base al engranaje de la caja reductora que corresponde a una rueda con reborde interno, y al piñón deteriorado, de donde se obtienen los siguientes valores:

$$De = 12[mm]$$

$$z = 12[dientes]$$

Donde:

De : Diámetro externo.

z : Número de dientes.

En la figura 106 se detallan los valores necesarios para el diseño del piñón:

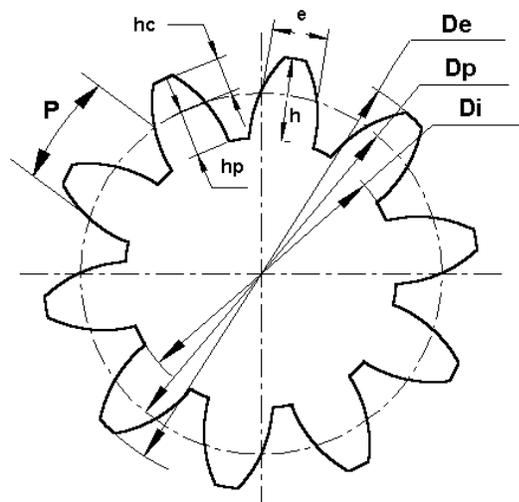


Figura 106. Dimensiones necesarias para el diseño del piñón

Donde:

De: Diámetro externo.

Dp: Diámetro primitivo.

Di: Diámetro interno.

P: Paso circular.

h: Altura del diente.

hc: Altura de la cabeza del diente.

hp: Altura del pie del diente.

e: Espesor del diente.

El paso del piñón se obtiene con la fórmula:

$$P = \pi * m$$

Donde, m es el módulo del piñón que se obtiene de la división entre el diámetro exterior y el número de dientes más dos.

$$m = \frac{De}{z + 2}$$

$$m = \frac{12}{12 + 2}$$

$$\mathbf{m = 0.857[mm]}$$

Sustituyendo el modulo en la fórmula del paso se tiene.

$$P = \pi * 0.857[mm]$$

$$\mathbf{P = 2.692[mm]}$$

La altura del diente se obtiene de:

$$h = 2.25 * m$$

$$h = 2.25 * 0.857[mm]$$

$$\mathbf{h = 1.928[mm]}$$

La altura de la cabeza del diente es igual al módulo por lo tanto:

$$h_c = 0.857[mm]$$

La altura del pie del diente se obtiene de:

$$h_p = 1.25 * m$$

$$h_p = 1.25 * 0.857[mm]$$

$$h_p = 1.071[mm]$$

El espesor del diente es directamente proporcional al paso por lo tanto se obtiene de la siguiente relación:

$$e = 0.5 * P$$

$$e = 0.5 * 2.692[mm]$$

$$e = 1.346[mm]$$

Para obtener el diámetro primitivo se utiliza la siguiente relación:

$$m = \frac{D_p}{z}$$

$$D_p = 12 * 0.857[mm]$$

$$D_p = 10.284[mm]$$

El diámetro interno será igual al diámetro primitivo menos 2 veces la altura del pie del diente:

$$D_i = D_p - 2h_p$$

$$D_i = 10.284[mm] - 2 * 1.071[mm]$$

$$D_i = 8.142[mm]$$

En la figura 107 se muestra el diseño del piñón que servirá para el acople del motor a la caja de la cámara (ver anexo A1).

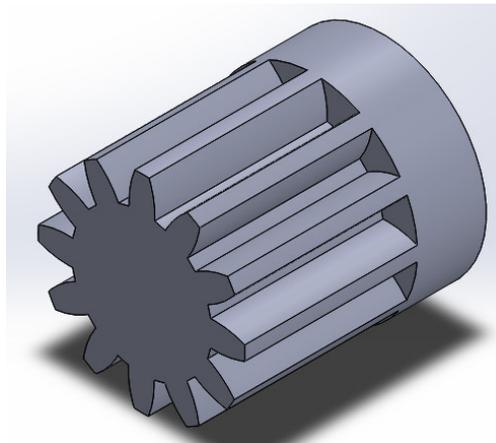


Figura 107. Diseño de piñón para acople de motor

Para ensamblar el piñón se lo soldó con suelda MIC a la estructura de la torreta, como se observa en la figura 108.



Figura 108. Ensamblaje del piñón en la torreta

Para un mejor funcionamiento se engrasó la caja reductora (figura 109) y se acopló al piñón diseñado.



Figura 109. Caja reductora con engranes planetarios

El ensamblaje final se muestra en la figura 110.



Figura 110. Ensamblaje final de la torreta

- Cañón disruptor de agua

Uno de los requerimientos para la re ingeniería del robot es la re manufactura de un cañón disruptor de agua, para lo cual se dispondrá del soporte de un disruptor incompleto que posee el robot, el cual se lo puede adaptar directamente a la muñeca para utilizarlo como efector final. También se dispone de otro disruptor ajeno al robot que se encuentra en desuso, el cual tiene el cilindro de disparo por donde sale el agua a altas presiones, el resorte para soportar el retroceso de la explosión, bridas de sujeción y el depósito donde se ponen los cartuchos explosivos, esto se reciclará con un proceso de modificaciones. En la figura 111a) se observa el soporte que se va a reutilizar y en la figura 111b) se observa el disruptor ajeno al robot.

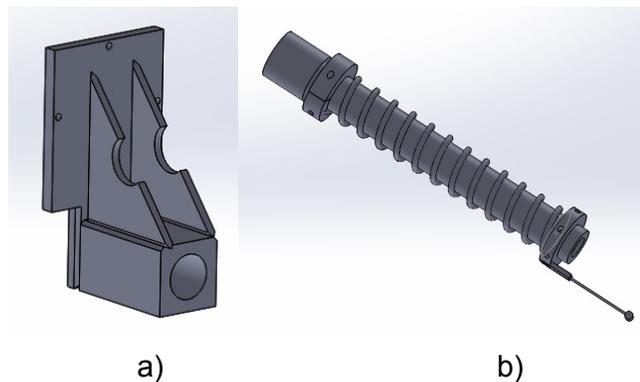


Figura 111. a) Soporte de disruptor. b) Disruptor para incorporar al robot

Inicialmente se tomarán en cuenta las dimensiones del cilindro y del soporte para su posterior adaptación.

Dimensiones del cilindro:

$$dc = 33 \text{ mm}$$

$$lc = 306 \text{ mm}$$

Donde:

dc : Diámetro del cilindro.

lc : Longitud del cilindro.

Dimensiones del soporte:

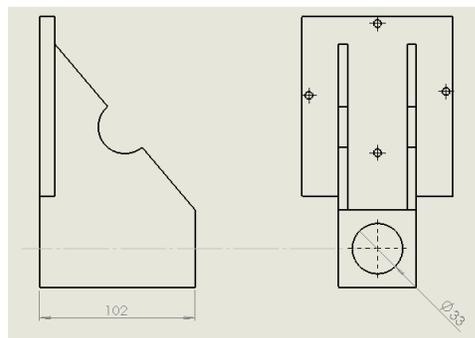
$$ds = 30 \text{ mm}$$

$$ls = 102 \text{ mm}$$

Donde:

ds : Diámetro del agujero del soporte.

ls : Longitud del soporte.



Para obtener el diámetro que debe tener el soporte se restan los diámetros del cilindro y del agujero del soporte.

$$dc - ds = 33 - 30 \text{ [mm]}$$

$$dc - ds = 3 \text{ [mm]}$$

La tolerancia que se le dará al agujero es de 1mm, por lo tanto se debe aumentar el diámetro del agujero del soporte en 4mm, de donde el diámetro del soporte final (dsf) es:

$$dsf = 34 \text{ [mm]}$$

Para acoplar el soporte se debe modificar la longitud del resorte sin afectar su funcionalidad, el disruptor disparará cargas con 8gr de pólvora, para lo cual se calculará el módulo del límite elástico de cizallamiento antes de la modificación, que es propio del material y al modificarse el resorte no se verá afectado, también se calculará la distancia de desplazamiento del resorte cuando ha sido modificado que tiene que ser menor a la diferencia entre la distancia del resorte modificado y la distancia del resorte modificado comprimido.

El resorte inicialmente tenía las siguientes dimensiones:

$$lri = 235 [mm]$$

$$lrc = 215 [mm]$$

$$D = 45 [mm]$$

$$d = 5 [mm]$$

$$N = 22 [espiras]$$

Donde:

lri: Longitud del resorte inicial.

lrc: Longitud del resorte comprimido durante el disparo con carga de 15 gr.

D: Diámetro medio.

d: Diámetro de sección.

N: Número de espiras activas.

El módulo del límite elástico de cizallamiento se calculará a partir de la siguiente fórmula:

$$k = \frac{G * d^4}{8 * D^3 * N}$$

Donde:

G: Módulo del límite elástico de cizallamiento.

k: Constante de elasticidad del resorte.

La constante de elasticidad del resorte con una carga conocida y distancia recorrida se puede obtener a partir de:

$$k = \frac{F}{x}$$

Donde:

F: Fuerza.

x: Desplazamiento del resorte.

El desplazamiento del resorte se calcula con la siguiente fórmula:

$$x = l_{ri} - l_{rc}$$

$$x = 235 - 215 [mm]$$

$$x = 20[mm]$$

La fuerza de retroceso debido al disparo de un cartucho calibre 12 y masa 15 gr de pólvora se obtiene a partir del trabajo generado por dicho cartucho de 7.007J, tomado de hojas técnicas de fabricantes de armas:

$$W = F * x$$

Donde:

W: Trabajo.

$$F = \frac{W}{x}$$

$$F = \frac{7.007J}{0.02m} \left| \frac{1N * m}{1J} \right|$$

$$F = 350.38[N]$$

Con el valor de la fuerza obtenida se calcula la constante elástica del resorte usando la fórmula antes mencionada:

$$k = \frac{F}{x}$$

$$k = \frac{350.38N}{0.02m}$$

$$k = 17.519 \left[\frac{KN}{m} \right]$$

Una vez obtenida la constante elástica del resorte se puede hallar el módulo del límite de cizallamiento:

$$G = \frac{k * 8 * D^3 * N}{d^4}$$

$$G = \frac{17519 * 8 * 0.045^3 * 22}{0.005^4}$$

$$G = 449.55[GPa]$$

Reduciendo la longitud del resorte y manteniendo 11 espiras activas, se calculará la longitud de compresión debido a una carga de 8gr de pólvora que genera un trabajo de 3.496J, según los fabricantes.

$$F = \frac{W}{x}$$

$$F = \frac{3.496J}{x}$$

Adicionalmente se utilizará la fórmula de la constante de elasticidad para hallar la longitud de compresión del resorte.

$$k = \frac{F}{x}$$

$$F = k * x$$

Si reemplazamos la fórmula de la constante de elasticidad en la fórmula del trabajo, se obtiene:

$$k * x = \frac{3.496}{x}$$

$$x = \sqrt{\frac{3.496}{k}}$$

Para la obtención de la constante de elasticidad del resorte se utilizará el módulo del límite elástico de cizallamiento antes obtenido, para lo cual se empleará la siguiente fórmula:

$$k = \frac{G * d^4}{8 * D^3 * N}$$

$$k = \frac{449.55 * 0.005^4}{8 * 0.045^3 * 11}$$

$$k = 35.038 \left[\frac{KN}{m} \right]$$

Reemplazando en la fórmula de la distancia, se obtiene:

$$x = \sqrt{\frac{3.496}{35.038}}$$

$$x = 0.009[m]$$

Con la reducción de la longitud del resorte aproximadamente a la mitad, se puede observar que la constante de elasticidad del resorte es el doble de la original, de igual manera como se aplicará una fuerza que es aproximadamente la mitad de la original, el recorrido también disminuirá a la mitad aproximadamente, el resorte recorrerá 9 mm para dispar la fuerza generada por el cartucho, con lo cual no se verá afectado el funcionamiento del disruptor.

Se redujo la longitud del resorte de tal manera que el soporte maquinado anteriormente se pueda acoplar al nuevo disruptor. En la figura 112 se puede observar el acople final del soporte al disruptor.

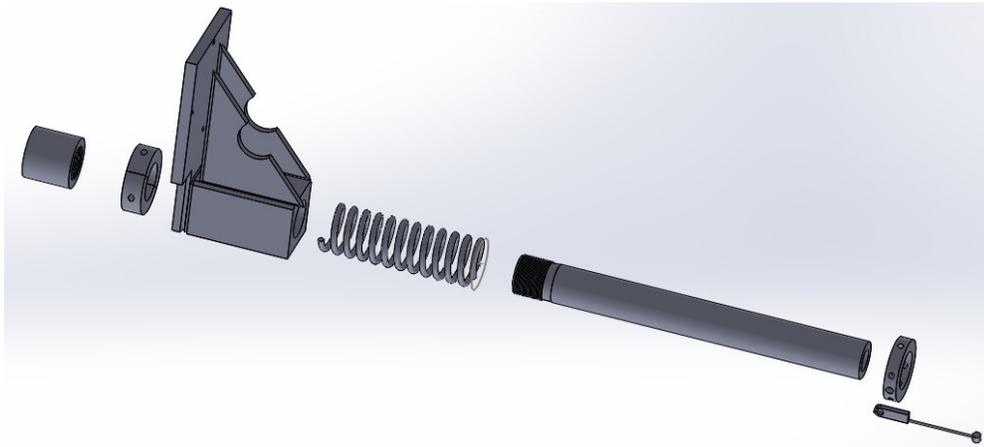


Figura 112. Acople final del soporte al disruptor

Así de este modo el nuevo cañón disruptor de agua quedaría como efector final con ventajas como el posicionamiento exacto y la orientación del cañón a través del brazo robótico.

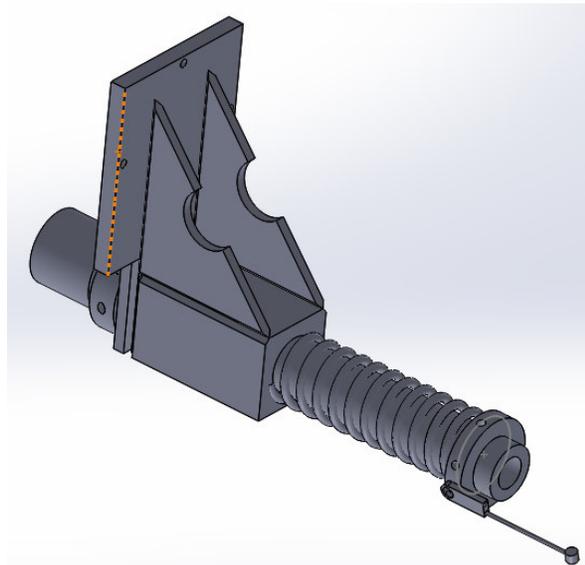


Figura 113. Ensamblaje final del disruptor de agua

○ **Análisis mecánico**

Se realizará el análisis estático del soporte del disruptor para verificar la resistencia con la acción de la fuerza generada durante el disparo con cargas de 8gr de pólvora, el análisis se realizará con el peor escenario, que sería

aplicar la fuerza de manera directa sobre el soporte como si no existiera el resorte amortiguador, el soporte está elaborado en acero inoxidable, la fuerza generada es de 315.342N que se representa con flechas de color morado, de igual manera se colocaron los soportes con los pernos de sujeción y la cara de contacto con el brazo robótico, representado de color verde, adicional se incluyó la fuerza generada por la gravedad y se la representó de color rojo como se observa en la figura 114.

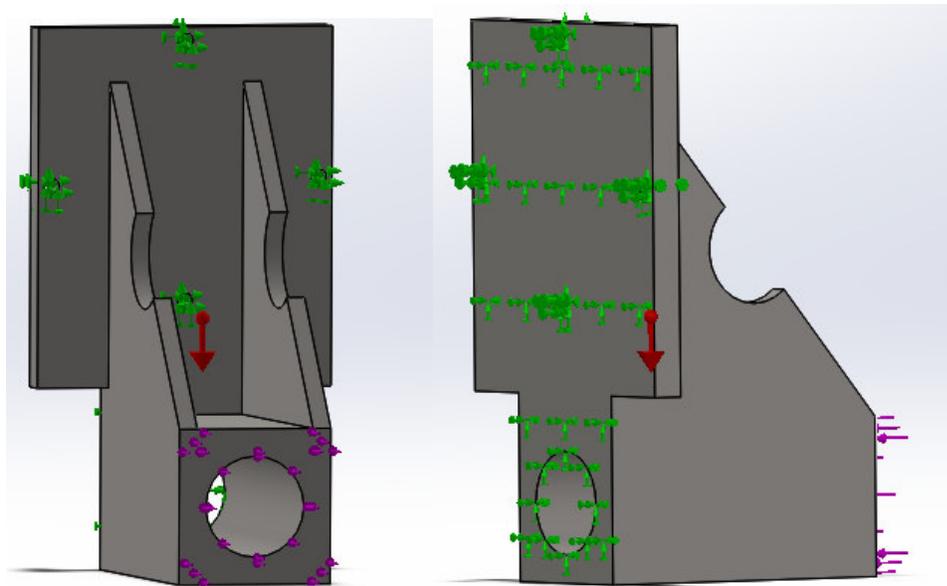


Figura 114. Ubicación de la fuerza para análisis mecánico de la estructura

Se realizó el análisis de la estructura y como se puede observar el material y forma resiste, no supera el límite elástico del material, a pesar que se realizó el peor escenario sin amortiguador. Como afecta la fuerza se puede observar en la figura a continuación:

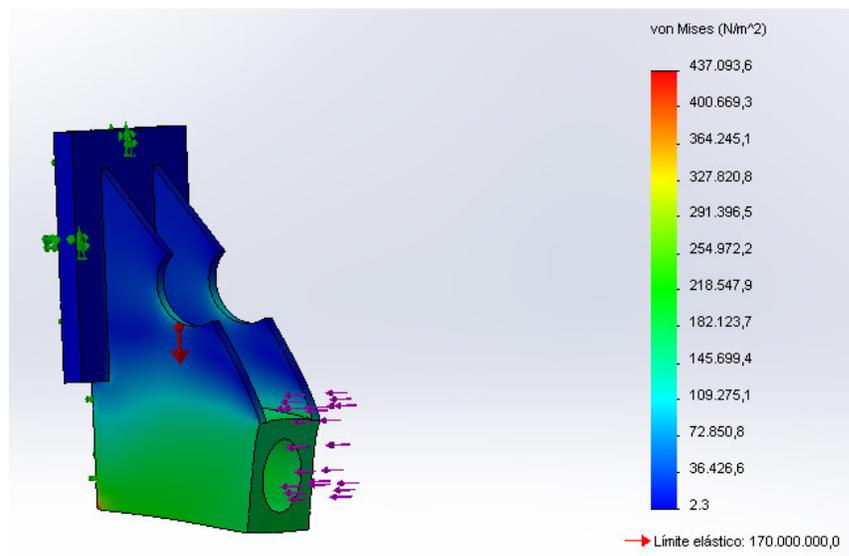


Figura 115. Análisis mecánico de la estructura

El efecto de la fuerza genera un desplazamiento como se observa en la figura 116 confirmando la necesidad de colocación del amortiguador para que la trayectoria del disparo no sea modificada.

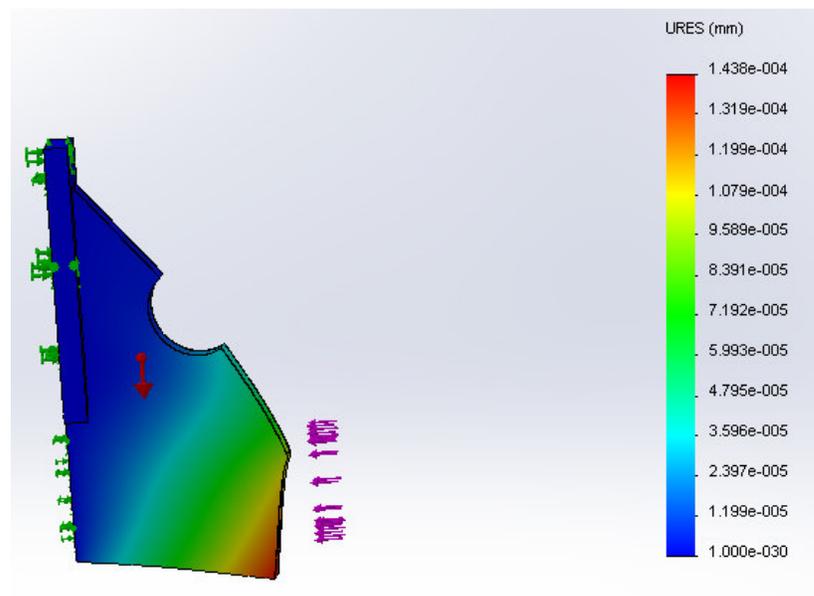


Figura 116. Desplazamiento generado debido a la fuerza aplicada

- Acople láser

Se colocará una mira láser como referencia, la cual se ubicará a un lado del soporte mediante un acople cuya función principal será la de sujetar y alinear el láser con el agujero de salida de agua del disruptor.

Para el diseño del acople, de acuerdo a la tabla 30, el material que se utilizará es el plástico PLA mediante manufactura aditiva, con un 40% de relleno ya que no se requiere que el acople sea de alta resistencia mecánica ni ambiental. El diseño se realizará en SolidWorks en base a las dimensiones del soporte del disruptor, del láser y de las baterías.

En la figura 117 se observa el diseño del acople.

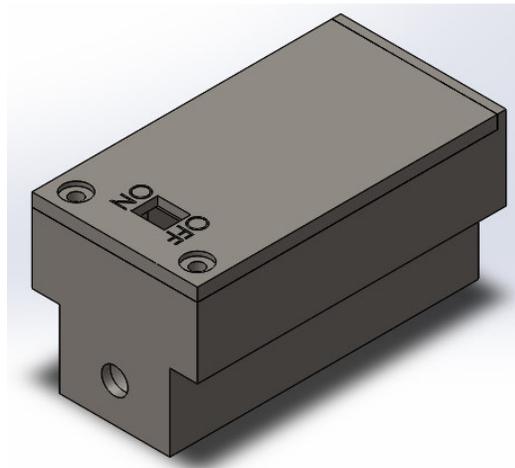


Figura 117. Diseño de acople para mira láser

Debido a la forma de la estructura la mira láser presenta un desfase de 34.25 milímetros con respecto al centro del impacto, como se observa en la figura 118.

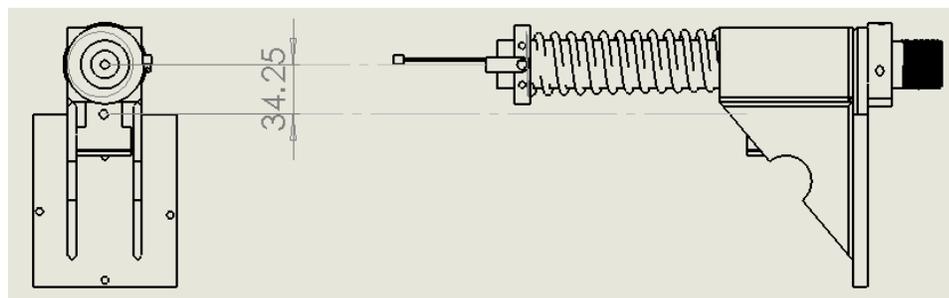


Figura 118. Desfase de la mira láser con respecto al centro del impacto

La figura 119 muestra el ensamblaje final del disruptor y la mira láser.

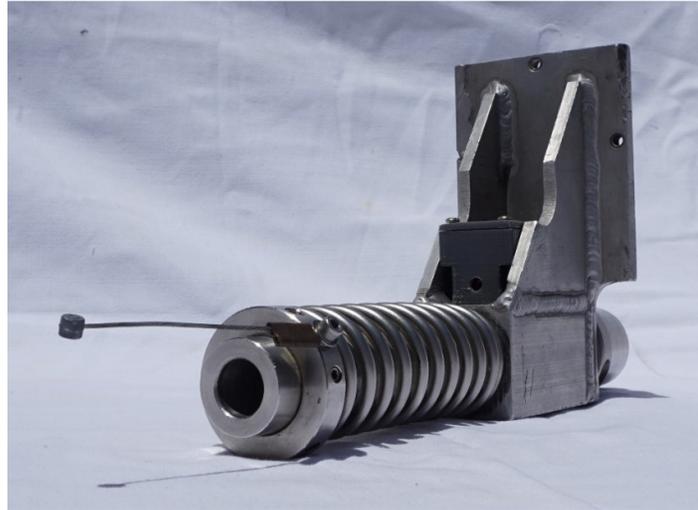


Figura 119. Ensamblaje final del disruptor y la mira láser

- **Desarrollo de software**

El software empleado es propio de arduino, será utilizado para programar las sentencias requeridas en el dispositivo de mando a distancia que en este caso lo llamaremos emisor, el robot también requiere ser programado y trabajará como receptor recibiendo mensajes del emisor, esta comunicación la realizará a través del xbee. El sistema se analizará por partes para el presente desarrollo, como se observa en la figura 120.

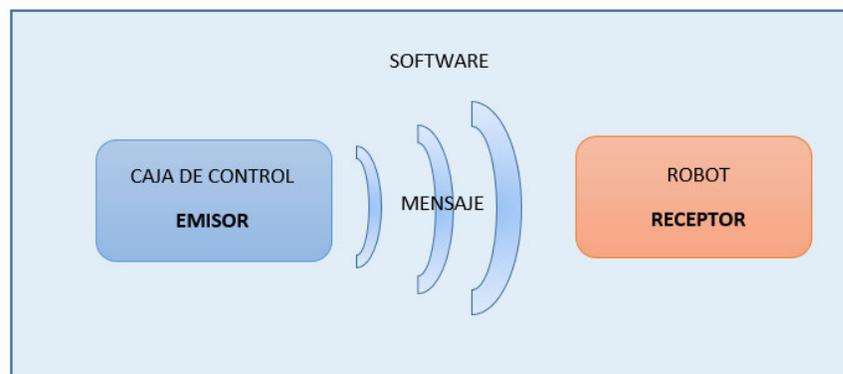


Figura 120. Esquema de comunicación entre el emisor y el receptor

La configuración de los xbee, será de tipo serial punto-punto, para esto se utilizará el software de configuración X-CTU, con el cual se configuran los siguientes parámetros como se observa en la tabla 32 según corresponda para el emisor o receptor, se debe tener en cuenta que la velocidad de comunicación entre los dos xbee será 9600 baudios basados en la compatibilidad de la velocidad del xbee y el arduino por lo que también se debe configurar la velocidad de transmisión.

Tabla 32
Parámetros de configuración del xbee

Nomenclatura	Xbee- Emisor	Xbee- Receptor
Pan ID Identificación de la red	9032	9032
DH Dirección de destino alta	0	0
DL Dirección de destino baja	1	0
MY Dirección de origen	0	1

- **Software Emisor caja de control**

El arduino emisor requiere leer las señales generadas por el joystick, las cuales son procesadas, el arduino generará un mensaje que será transmitido con la ayuda del xbee. Para la programación del arduino se utilizará el software propio, y se incluirá la librería PS2X_lib.h que permite la lectura de los 14 botones que pueden ser presionados, así como la lectura de sus dos joysticks análogos, con valores de 0 a 255. Cada botón tiene la siguiente nomenclatura para ser utilizado con la librería, como se observa en la tabla 33 y figura 121.

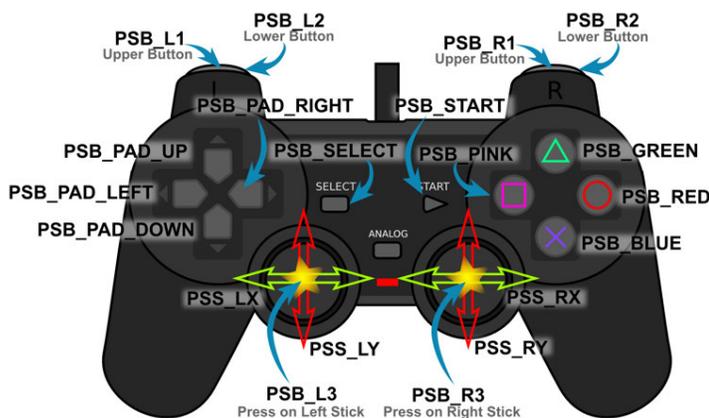


Figura 121. Diagrama de botones del joystick

Tabla 33

Botones del joystick con su correspondiente nomenclatura para utilizar en la librería

BOTON	Nombre de la constante para programación
Flecha arriba	PSB_PAD_UP
Flecha abajo	PSB_PAD_DOWN
Flecha derecha	PSB_PAD_LEFT
Flecha izquierda	PSB_PAD_RIGHT
L1	PSB_L1
L2	PSB_L2
R1	PSB_R1
R2	PSB_R2
Triangulo	PSB_GREEN
Cuadrado	PSB_PINK
X	PSB_BLUE
Circulo	PSB_RED
Select	PSB_SELECT
Start	PSB_START
Análogo izquierdo	PSS_LX (horizontal), PSS_Ly (vertical)
Análogo derecho	PSS_RX (horizontal), PSS_Ry (vertical)

Una vez leído el botón que es presionado el arduino generará el mensaje a ser transmitido, existirán botones que tengan doble propósito según la activación o no de otro botón. El esquema de funcionamiento del software se describe con el diagrama de flujo, ver figura 122.

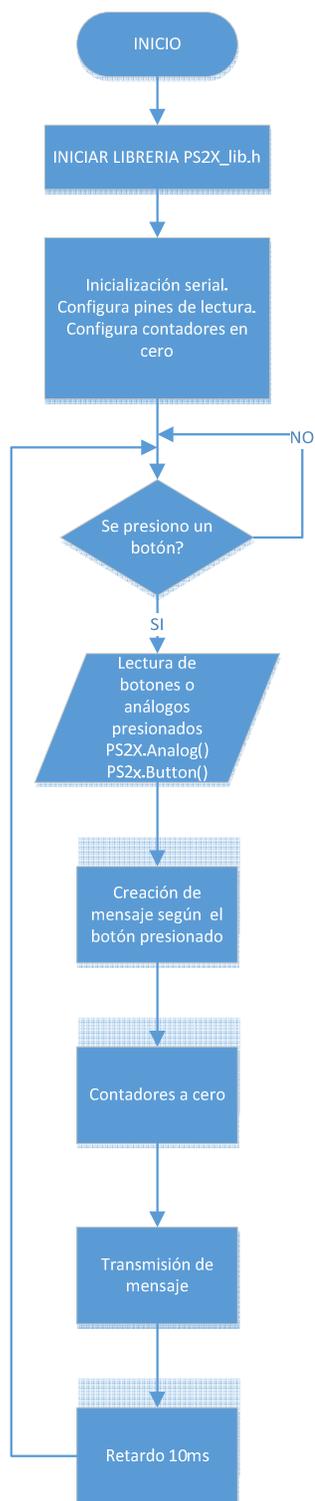


Figura 122. Diagrama de flujo del software del emisor

- **Software del receptor del robot**

El arduino receptor en su comienzo inicializa los pines asignándolos y configurándolos como entradas, salidas y PWM, además se inicializa la comunicación serial, posterior a esto los pines se ponen en bajo para asegurar un inicio del robot sin movimientos indeseados, el arduino del robot recibe los mensajes generados y transmitidos por el arduino emisor con ayuda del xbee, los mensajes son de tipo carácter los cuales son leídos y procesados mediante sentencias previamente grabadas en el arduino receptor, dichas sentencias dependiendo del mensaje que arribe al robot, activará o desactivará los actuadores como son los diferentes motores, luces o cámaras. Algunos motores tienen sensores que envían información al micro controlador para permitir o no el movimiento en determinado sentido, el esquema de funcionamiento se describe con el diagrama de flujo de la figura 123. La programación del software del robot incluye funciones que son llamadas y ejecutadas en determinadas circunstancias como son la función adelanto y retroceso.

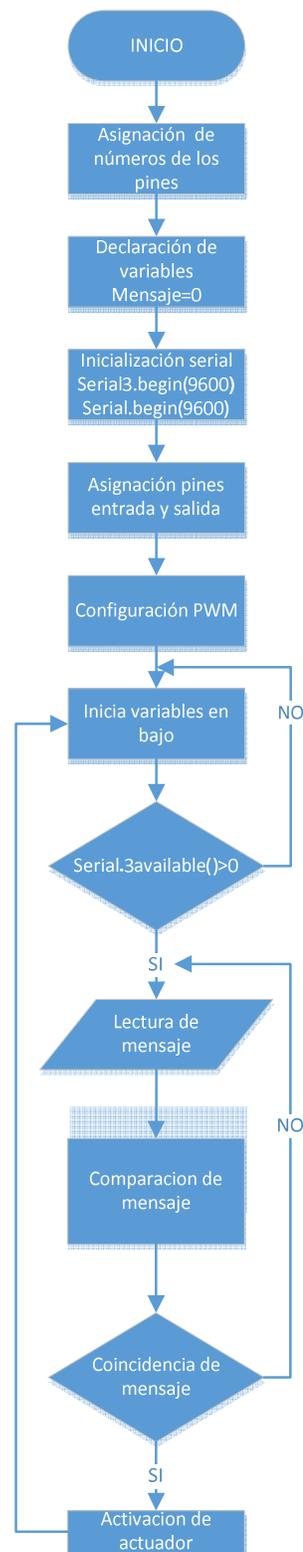


Figura 123. Diagrama de flujo del software del receptor

CAPITULO 4

PRUEBAS Y RESULTADOS

En el presente capítulo se realizan pruebas y análisis de resultados al robot y su control para validar el funcionamiento del mismo y que cumpla los requerimientos de origen del proyecto, razón por la cual se han diseñado las siguientes pruebas:

- Tiempo de operación de Baterías
- Prueba de caja Negra
- Tele operación
 - Rango de operación del robot
 - Rango de operación de cámaras.
- Efectividad del disruptor.
- Superación de gradas.
- Usabilidad

4.1. Tiempo de operación de Baterías

Para las pruebas del tiempo de operación de las baterías se utilizó como indicador 2 horas de trabajo que fue el tiempo utilizado para el dimensionamiento de las baterías. Para las pruebas el robot y el control fueron operados por cuatro ocasiones por miembros del G.I.R. simulando situaciones reales con diferentes escenarios. En las pruebas se midió el tiempo de operación y el nivel de carga que presentaba el robot y el control al finalizar el trabajo, como se observa en la tabla 34, tanto el robot como el control iniciaban con carga completa.

Tabla 34
Resultados de funcionamiento

Dispositivo	Prueba No	Carga inicial	Carga al finalizar	Tiempo de operación
ROBOT	1	24.8V	22.1V	120min
	2	24.8V	21.8V	150min
	3	24.8V	21.9V	140min
	4	24.8V	22.5V	120min
Control	1	100%	50%	120min
	2	100%	20%	150min
	3	100%	25%	140min
	4	100%	60%	120min

En base a los resultados de las pruebas realizadas a las baterías del robot y del control se cumple satisfactoriamente la duración mínima de dos horas, debido a que opero tiempos iguales o mayores, sin presentar descarga completa, permitiendo mayor tiempo de trabajo.

4.2. Prueba de caja Negra

Para estas pruebas, al robot y control se lo analizó como una caja negra, donde lo que interviene son las entradas controladas que se da y las salidas que produce, sin importar el funcionamiento interno, las entradas en nuestro sistema fueron presionar los diferentes botones del controlador, y las salidas fueron la activación de los diferentes actuadores en el robot, se realizaron 10 pruebas por cada botón, las pruebas se realizaron a cien metros de distancia dando los resultados que se observan a continuación.

Tabla 35
Pruebas de caja negra

Entrada Botón Presionado	Salida Actuador	Conformidad en cada prueba									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Flecha arriba	Giro horario Hombro	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
Flecha abajo	Giro anti horario Hombro	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
Flecha derecha	Giro horario Codo	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
Flecha izquierda	Giro anti horario Codo	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
L1	Levantar oruga delantera	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
L2	Bajar oruga trasera	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
R1	Levantar oruga trasera	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
R2	Bajar oruga trasera	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
Triangulo	Abrir gripper	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
Cuadrado	Cambio de cámara	Si	No	No	Si	Si	Si	Si	No	Si	Si
X	Cerrar gripper	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
Circulo	On/Off luces	No	Si	Si	No	Si	Si	No	Si	Si	Si
Select	Cambio de movimiento	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
Start	Disparo	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
Al Arriba	Adelante	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
Al Abajo	Retroceso	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
Al Arriba derecha	Curvar adelante derecha	No	No	No	Si						
Al Arriba izquierda	Curvar adelante izquierda	Si	No	Si	No	No	Si	Si	Si	Si	Si
Al Abajo derecha	Curvar atrás derecha	No	Si	Si	Si	Si	Si	Si	No	Si	Si
Al Abajo izquierda	Curvar atrás izquierda	Si	Si	No	Si	No	Si	Si	Si	Si	Si
AD Arriba	Cámara arriba	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
AD Abajo	Cámara abajo	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
AD Derecha	Cámara derecha	No	No	Si							
AD izquierda	Cámara izquierda	Si	Si	Si	Si	Si	No	Si	Si	No	Si

* Al es análogo izquierdo, AD análogo derecho

En base a los resultados que se obtuvieron en las pruebas anteriores se pudo observar que se dan inconformidades aceptables en dos botones (círculo y cuadrado) y el uso de los Joysticks del control. Los errores se deben a la falta de conocimiento y familiarización del punto del trabajo de los análogos ya que tienen un rango de operación, en los dos botones el problema fue el tiempo que se presionaron.

4.3. Teleoperación

La teleoperación del robot busca permitir el monitoreo y operación del robot hasta una distancia de 100 metros, razón por la cual se realizaron tres pruebas para verificar el funcionamiento.

La primera prueba que se realizó consistió en el control y monitoreo del robot en un campo abierto con línea de vista entre el operador y el robot, se alcanzó una distancia de 120 metros, no se pudo medir mayor distancia por falta de espacio, el sistema cumple satisfactoriamente el requerimiento, se pudo observar que cuando existían corrientes fuertes de viento de frente a la antena del visor, la imagen proyectada en el visor tenía ruido, que reduce la calidad de video pero no afecta la operación ni monitoreo.

La segunda prueba de la tele operación se la realizó en un edificio con construcción de losas, concreto y paredes de bloque en cada piso. El robot se encontraba en la planta baja y el operador accedió a los diferentes pisos del edificio para ir monitoreando y controlando el robot, para medir la calidad la escala a utilizar es bueno, medio y malo mostrando los resultados en la tabla 36.

Tabla 36
Pruebas de teleoperación en edificio

Piso	Sistema de monitoreo	Sistema de control	Observaciones
PB	Bueno	Bueno	Dos paredes de bloque, no influyen en la operación del robot
1 piso	Bueno	Bueno	La losa del primer piso y las paredes de alrededor no afectan
2 piso	Medio	Bueno	La señal de video presenta ruido, pero si se puede monitorear, la señal de control no se ve afectada.
3 piso	Malo	Bueno	La señal de video presenta demasiado ruido dificulta de gran manera la monitorización, la señal de control no se ve afectada.
4 piso	No hay señal	Medio	No existe señal de video, no se puede monitorear, la señal de control se ve afectada, se convierte en una señal intermitente.

La tercera prueba que se realizó al sistema de teleoperación, fue la colocación de diferentes obstáculos entre el operador y el robot o sus alrededores, para ver cómo afectan al sistema, para esto se utilizará la escala de 1 a 3 donde 1 no afecta al sistema y 3 colapsa el sistema, los resultados se observan en la tabla 37.

Tabla 37
Resultados de las pruebas de teleoperación con la colocación de obstáculos

Elemento	Afectación	Observaciones
Paredes	2	Las paredes y vidrios dependiendo del espesor y materiales reducen el rango de transmisión así como la nitidez de las imágenes. Con cinco paredes de bloque alineadas se pierde la señal de video.
Ventanas		
Arboles		Generan interferencias en la señal de video y reducen el rango de operación del sistema.
Metales	3	Cortan el sistema de comunicación entre el robot y el control.
Imanes		
Inhibidor de frecuencia	1	No afectan el normal funcionamiento del sistema.
Celulares y radios de comunicación		

4.4. Efectividad del disruptor

Para comprobar la efectividad del disruptor se realizaron cuatro pruebas utilizando cartuchos calibre 12 con 8gr de pólvora, además por motivos de seguridad estas pruebas fueron controladas aproximadamente a 100m de distancia del robot. Las dos primera pruebas que se realizaron fueron utilizando la mira láser para comprobar que el disparo se efectúe justo en el objetivo, como se explicó en el capítulo 3 en el diseño de la mira láser, ésta tendría un desfase de 3.25cm, a través de la cámara ubicada en el gripper se posicionó el láser en un blanco graficado en el objetivo y con la cámara de la torreta se ubicó el disruptor a una distancia aproximada de 50cm del objetivo, como se observa en la figura 124.

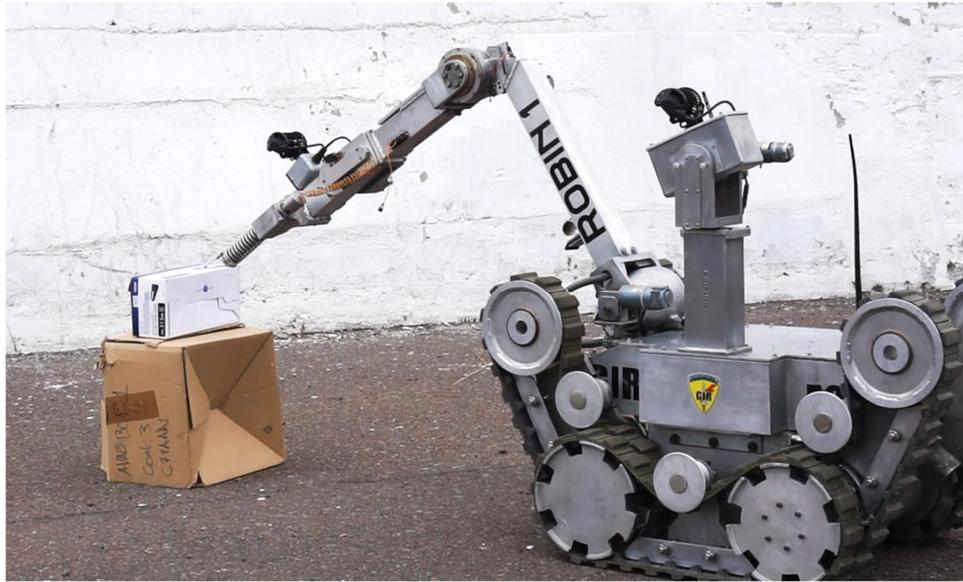


Figura 124. Prueba de funcionamiento del disruptor

Con los disparos realizados se pudo observar que hubo una desviación y el desfase fue mayor del esperado, en la tabla 38 se detallan los resultados de las dos primeras pruebas.

Tabla 38
Resultados de funcionamiento del disruptor con la mira láser

PRUEBAS	DESFASE [cm]	ERROR [cm]
1	5	1.75
2	4	0.75

A pesar del error que existe, éste no afecta en el trabajo que debe realizar el disruptor, ya que no es significativo en comparación al área de impacto del disparo.

Las dos pruebas siguientes se realizaron utilizando un posicionador físico ubicado en la parte frontal del disruptor como se observa en la figura 125. En este caso la función del posicionador físico es llegar hasta el objetivo siendo éste el blanco, al igual que la mira láser éste presenta un desfase, el cual es de 2 cm. Para el posicionamiento se siguió el procedimiento utilizado en las pruebas con la mira láser, utilizando las cámaras.



Figura 125. Posicionador físico ubicado en la parte frontal del disruptor

Después de realizados los disparo, se pudo observar que el desfase fue mayor al esperado, pero en comparación con las pruebas utilizando el láser, el posicionador físico presenta un desfase menor ya que al estar ubicado a una distancia mucho menor respecto del objetivo, el área de impacto es menor. La tabla 39 muestra el desfase que presentaron los disparos.

Tabla 39

Resultados de funcionamiento del disruptor con posicionador físico

PRUEBAS	DESFASE [cm]	ERROR [cm]
3	2.5	0.5
4	3	1

Las pruebas realizadas demuestran que cualquiera de las dos opciones son funcionales y a pesar del error que presentan, no afectarán en el trabajo que debe realizar el disruptor de destruir completamente los artefactos explosivos.

Con la realización de las pruebas se pudo comprobar que la manufactura que se le realizó al disruptor funcionó de manera eficaz ya que se observó que al ejecutarse el disparo hubo un ligero movimiento del brazo lo que demuestra que el resorte amortiguó la fuerza del retroceso del disparo sin afectar al robot.

4.5. Superación de gradas

La comprobación de superación de gradas se realizó mediante dos pruebas, en las que el robot tendría que ser capaz de subir y bajar dichas gradas.

La primera prueba que se realizó fue la superación de una grada, para lo cual es necesario el movimiento de los motores GNM4125 encargados de elevar o bajar las orugas, para que el robot suba primero se deberán elevar las orugas delanteras poniéndolas en posición diagonal, después se deben bajar las orugas traseras y activar los motores RS420A para hacer que el robot avance, cuando el robot se encuentre por la mitad del trayecto, se deben bajar las orugas delanteras y elevar las traseras, el mismo procedimiento se realiza para el descenso del robot pero en este caso primero se bajan las orugas delanteras y se elevan las traseras. En ésta prueba se observó que con el movimiento exacto de los motores, el robot es capaz de subir y bajar dicha grada sin inconvenientes. En la figura 126 se muestra al robot ejecutando la primera prueba.

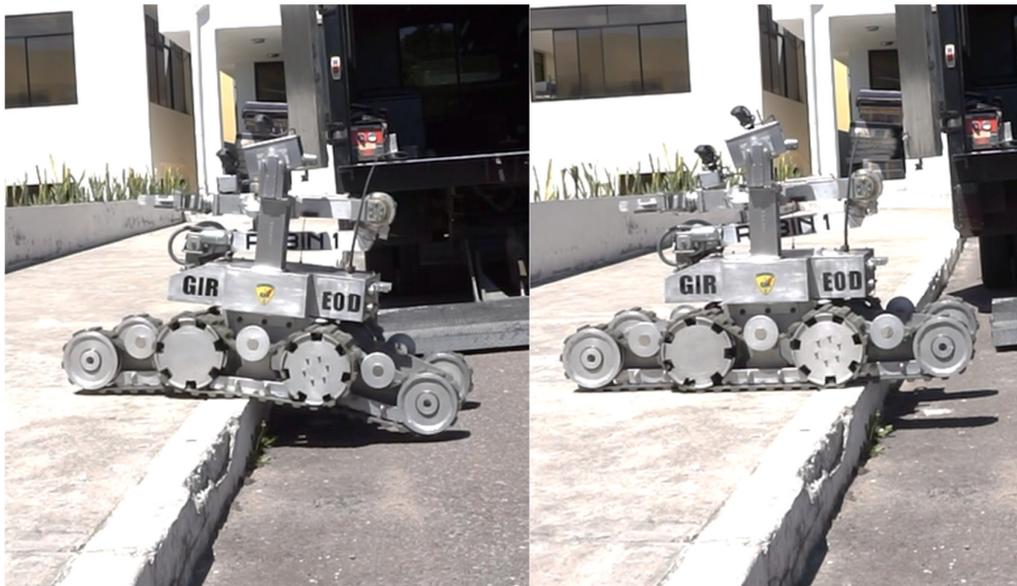


Figura 126. Prueba de superación de una grada

La segunda prueba fue la superación de siete gradas, en este caso el procedimiento para que el robot suba y baje es igual. Para bajar las gradas primero se deberá ubicar al robot justo en el inicio de la primera grada, bajar las orugas delanteras hasta que tope la primera o segunda grada según sea el caso, bajar las orugas traseras hasta que hagan contacto con la superficie horizontal, activar los motores de avance, después elevar las orugas delanteras para que el robot se ubique en posición diagonal paralelo a la pendiente de las gradas, y activar los motores de avance, el procedimiento para que el robot suba las gradas es similar. Al realizar esta prueba se observó que si el robot no está alineado a las gradas que va a subir o bajar, tiene inestabilidad, el robot superó el ascenso y descenso de las gradas sin problemas, es decir no disminuyó su velocidad en ninguno de los casos, incluso al detener el robot en la mitad del trayecto, éste se mantuvo en dicha ubicación, lo que demuestra un funcionamiento correcto y que el control utilizado para los motores encargados de los movimientos de las orugas es adecuado. La figura 127 muestra la segunda prueba que el robot superó.



Figura 127. Prueba de superación de siete gradas

4.6. Usabilidad

Ésta prueba se realizó a seis policías del G.I.R. que serán algunos de los operadores del robot, ellos desconocían el manejo del robot, se les pidió que utilicen el sistema después de una explicación para comprobar:

- **La facilidad de aprendizaje y operación del sistema**, para esta prueba se les dio una charla informativa general de como operar al robot, y cada uno de los policías realizaron una práctica con él, posterior a dicha práctica calificaron la facilidad de aprendizaje del sistema en una escala de fácil medio y difícil, de igual manera se utilizó la misma escala para calificar la facilidad de operación del sistema, los resultados se pueden observar en la tabla 40.
- **El grado de satisfacción del usuario del robot**, se calificó en una escala de 1 a 5 siendo 1 malo y 5 excelente, los resultados se pueden observar en la figura 130.

Tabla 40

Resultados de calificación de la facilidad de aprendizaje y operación del sistema

Policía	Facilidad de aprendizaje			Facilidad de operación			Satisfacción				
	Fácil	Medio	Difícil	Fácil	Medio	Difícil	5	4	3	2	1
1	X			X			X				
2		X		X			X				
3		X			X			X			
4	X			X			X				
5		X		X				x			
6		X		X			X				
TOTAL	2	4	0	5	1	0	4	2	0	0	0

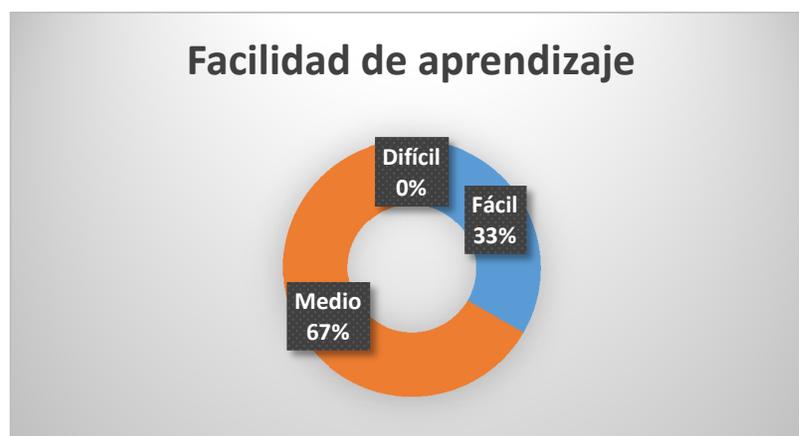


Figura 128. Resultados de facilidad de aprendizaje

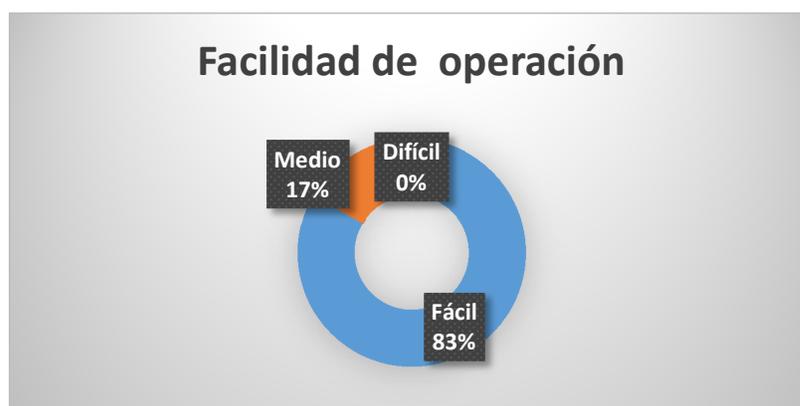


Figura 129. Resultados de facilidad de operación

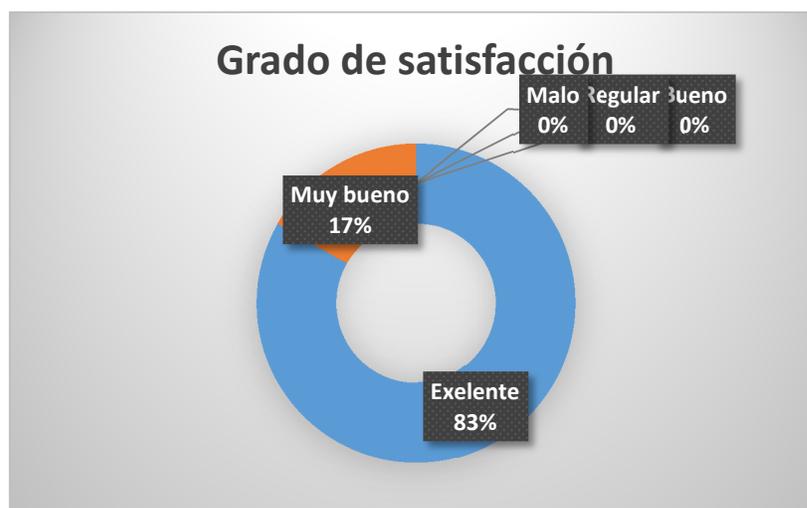


Figura 130. Grado de satisfacción del usuario

Con los datos obtenidos se puede decir que el sistema presenta un grado medio para el aprendizaje, es de fácil uso y cumple en un gran porcentaje las necesidades y expectativas de los operadores.

CAPITULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En el presente capítulo se exponen las conclusiones y recomendaciones como resultado de la elaboración de la presente tesis, además se plantean posibles investigaciones a realizarse en este prototipo o en prototipos futuros, basados en las posibilidades y necesidades que se abstraieron a lo largo del desarrollo de la tesis.

5.1. Conclusiones

- Al finalizar el proyecto de tesis se repotenció de manera satisfactoria el robot Robin 1 desactivador de bombas con el uso de un control teledirigido para el Grupo de Intervención y Rescate G.I.R perteneciente a la Policía Nacional del Ecuador, permitiendo la operatividad en dicha institución.
- Se diseñó e implementó un control inalámbrico para tele operar el robot a una distancia mínima de 100 metros.
- Se reactivó el funcionamiento íntegro del robot con sus capacidades de desplazarse en terrenos no articulados, sortear gradas, operatividad del brazo y gripper, implementación de un disruptor de agua, se remplazaron el sistema de cámaras y el sistema de iluminación, con el uso de tecnologías vanguardistas.
- Se realizaron pruebas de funcionamiento verificando el correcto desempeño de los diferentes subsistemas y la calibración de elementos que lo requerían durante el proceso de ensamble. Al finalizar se realizaron pruebas de operatividad con simulacros de situaciones reales que fueron superados satisfactoriamente.
- Al finalizar el diseño y las pruebas de las baterías, se puede garantizar que el robot y su control tienen una eficiencia energética de más de dos

horas antes de agotar sus baterías, siempre que hayan iniciado la operación con carga completa.

- Con las pruebas realizadas se verificó la correcta operación del robot con el uso del joystick a una distancia de cien metros, que permite comandar todas las funciones del robot, siendo un elemento amigable y ergonómico para los usuarios.
- Con la utilización del sistema de visión FATSHARK Teleporter V3 se logró cubrir la distancia mínima de cien metros para la teleoperación.
- Al finalizar las pruebas de posicionamiento del disruptor se puede concluir que la utilización de un método en específico dependerá de las condiciones ambientales en las que el robot trabajará, ya que la visualización del punto láser a través de las cámaras depende de la luminosidad del ambiente, pudiendo éste intervenir negativamente.
- La implementación del nuevo disruptor con las modificaciones realizadas dieron resultados aceptables para cumplir dichas funciones.
- Debido a la utilización de orugas y al correcto funcionamiento de los motores, el robot tiene la capacidad de desplazarse por diferentes superficies incluyendo gradas.
- El sistema del robot y su control tuvieron un nivel alto de aceptación por parte de los técnicos en explosivos debido a la facilidad de operación así como por los beneficios que el proyecto significa en su trabajo, reduciendo el riesgo de los operadores.
- El control on/off de cada articulación del robot es el idóneo debido a que el robot puede tomar diferentes configuraciones según las características medio ambientales y de accesibilidad para realizar las tareas.

5.2. Recomendaciones

- Para el posicionamiento del disruptor con ayuda de la cámara se recomienda utilizar la mira láser cuando la luminosidad ambiental sea baja para apreciar de mejor manera a través del visor, en caso de un escenario con alta luminosidad se recomienda utilizar el posicionador físico para evitar posibles errores.
- Para manipular el robot en el ascenso y descenso de gradas se recomienda un entrenamiento constante para adquirir las habilidades de control del robot, así como seguir el procedimiento mencionado en la sección de pruebas, para evitar accidentes con el robot.
- Se recomienda capacitación y prácticas constantes de los técnicos usuarios del robot para familiarizarse y adquirir destrezas en el uso del joystick y manipulación del robot.
- Para la operación y monitorización del robot, el operario debe ubicarse lejano a elementos que generen interferencia o afecciones a las señales inalámbricas como se observó en las pruebas realizadas.
- Se recomienda mantenimientos periódicos preventivos para alargar la vida útil del robot.
- Se recomienda investigaciones futuras en el robot buscando implementar sensores al gripper para mejorar las prestaciones del mismo.
- Para futuras investigaciones, se recomienda la implementación de cámaras térmicas y cámaras de rayos X con visión en tiempo real, incrementando la aplicabilidad del robot.
- Se recomienda mantener al robot con carga completa previo a realizar trabajos para garantizar el tiempo mínimo de operación.

BIBLIOGRAFÍA

- Abacom*. (12 de Septiembre de 2016). Obtenido de http://www.abacom-tech.com/assets/data_sheets/easybee%20ds480.pdf
- Agri total*. (20 de Septiembre de 2016). Obtenido de <http://www.agritotal.com/nota/orugas-ventajas-de-todo-tipo/>
- Alldatasheet*. (12 de Septiembre de 2016). Obtenido de <http://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/549181/ETC2/ETRX2.html>
- Araujo, F. (16 de Septiembre de 2016). *Robots antropomorficos*. Obtenido de https://arhatarahant.files.wordpress.com/2014/07/robots_antropomorficos.pdf
- Barrientos, A. (1997). *Fundamentos de Robótica*. McGraw-Hill.
- Baturone, A. (2001). *Robótica Manipuladores y robots móviles*. España: Marcombo S.A.
- Bobs blitz* . (s.f.). Obtenido de <http://www.bobsblitz.com/2014/12/us-navy-unleashes-ghostswimmer.html>
- Boston Dynamics*. (2016). Obtenido de <http://www.bostondynamics.com/>
- Bridgat. (11 de Febrero de 2012). *Bridgat*. Obtenido de http://b2b.bridgat.com/es/explosives_disruptor-o410174.html
- Bueno, A. (s.f.). *Portaleso*. Obtenido de http://www.portaleso.com/usuarios/Toni/web_robot_3/robot_indice.html
- Caterpillar. (s.f.). *Challenger*. Obtenido de http://www.challengerag.com.ar/ventas/servicios/notas/cuidado_bandas_mt700.html
- Chw*. (20 de Junio de 2013). Obtenido de <http://www.chw.net/2013/06/militares-disenan-robot-desactivador-de-bombas-con-manos-de-apariencia-humana/>
- Ciervos idoneos*. (20 de Septiembre de 2016). Obtenido de http://ciervos.idoneos.com/factores_del_retroceso/
- Claas. (2014). *Claas*. Obtenido de <http://www.claas.es/fascinacion-claas/actual/fima-2014/novedades-fima>

- Cromo.* (19 de Septiembre de 2016). Obtenido de <http://www.cromo.com.uy/el-salon-la-fama-robotica-recibe-miembros-nuevos-n523783>
- Dlink.* (12 de Septiembre de 2016). *Dlink.* Obtenido de <http://www.dlink.com/es/es/home-solutions/view/network-cameras/dcs-930l-wireless-n-network-camera>
- Engineers garage.* (19 de Septiembre de 2016). Obtenido de <http://www.engineersgarage.com/articles/military-robotics>
- Enot poloskun.* (12 de Septiembre de 2015). Obtenido de <http://actualizacionestecnologicos.blogspot.com/2015/09/robotica.html>
- Epequip.* (16 de Septiembre de 2016). Obtenido de <http://epequip.com/catalogue/abl-2000-recoilless-disruptor/>
- Franjul, M. (9 de Noviembre de 2016). *Listin Diario* . Obtenido de <http://www.listindiario.com/la-republica/2012/7/13/239621/Predator-de-EEUU-ha-estado-aqui-en-operaciones-secretas>
- Gallardo, J. A. (Marzo de 2004). *iearobotic.* Obtenido de http://www.iearobotics.com/proyectos/siko/Microbot_Siko.html
- Gazeta, R. (03 de Mayo de 2016). *Sputnik.* Obtenido de <https://mundo.sputniknews.com/industriamilitar/20160503/1059256278/robots-rusia-equipamiento.html>
- Gizmodo.* (2016). Obtenido de <http://gizmodo.com/234642/irobots-bomb-disposing-packbot-heads-out-to-war>
- James, M. (30 de Junio de 2010). *Blogger.* Obtenido de <http://electronica-jaimes.blogspot.com/2010/06/descripcion-de-un-brazo-robotico.html>
- Kidon, G. (2015). Obtenido de <http://www.goren-kidon.com/portfolio-item/ceia-sp-a/>
- Mpptsolar.* (13 de Septiembre de 2016). Obtenido de <http://www.mpptsolar.com/es/baterias-serie-paralelo.html>
- Neoteo.* (27 de Septiembre de 2010). Obtenido de <http://www.neoteo.com/sarcos-xos-2-la-evolucion-del-exoesqueleto>

- Ortega, E. N. (Abril de 2004). *Universidad politécnica de Cataluña*. Obtenido de <http://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/570/IOC-DT-P-2004-05.pdf?sequence=1>
- Pilz*. (07 de Septiembre de 2016). Obtenido de <https://www.pilz.com/en-INT/knowhow/lexicon/articles/073745>
- Polamalu*. (03 de Octubre de 2016). Obtenido de <http://polamalu.50webs.com/OF1/mecanica/engranajes.htm>
- Porras. (03 de Octubre de 2016). *UCLM*. Obtenido de <https://www.uclm.es/profesorado/porrasysoriano/elementos/Tema08.pdf>
- Putnik*. (11 de Mayo de 2016). Obtenido de https://mundo.sputniknews.com/tags/product_Uran-6/
- Render Área*. (19 de Abril de 2011). Obtenido de <https://renderarea.wordpress.com/tag/3d/page/2/>
- Robotiq. (2016). *Direct Industry*. Obtenido de <http://www.directindustry.es/prod/robotiq/product-67920-1089333.html>
- Rusakova, T. (21 de Marzo de 2016). *Russia Beyond The Headlines*. Obtenido de https://es.rbth.com/tecnologias/defensa/2016/03/21/rusia-pres-enta-sus-nuevos-robots-militares-aumenta-la-importancia-de-los-a_577579
- Scramble Aviation Society*. (4 de Julio de 2016). Obtenido de http://wiki.scramble.nl/index.php/Northrop_Grumman_RQ-4_Global_Hawk
- Sieglwart, R. (2011). *Autonomous Mobile Robots*. Massachusetts: Massachusetts Institute of Technology.
- staff, K. (6 de Octubre de 2014). *Kim Komando*. Obtenido de <http://www.komando.com/happening-now/275752/u-s-navy-unleashes-swarms-of-drone-boats/all>
- Tecdron*. (29 de Enero de 2015). Obtenido de <http://www.tecdron.fr/en/fire-extinguishing-operation-sdis-17/>
- Tecnologia militar*. (09 de Septiembre de 2016). Obtenido de <http://tecnologamilitar.blogspot.com/2015/01/los-5-mejores-robots-militares-rusos.html>

Tecnologico deusto. (12 de Septiembre de 2016). Obtenido de http://www.tecnologico.deusto.es/projects/flexeo/files/E3.1A_Estado_d_el_arte_HW_v1.1.pdf

Telerob . (2016). Obtenido de <http://www.telerob.com/en/>

Todo electronica. (12 de Septiembre de 2016). Obtenido de <https://www.todoelectronica.com/kit-camara-inalambrica-transmision-digital-anti-interferencias-exterior-vision-nocturna-usb-grab-p-89718.html>

Turner, T. (21 de Julio de 2011). *Yanko design .* Obtenido de <http://www.yankodesign.com/2011/07/21/hyper-reality/>

Universidas publica de Navarra. (12 de Septiembre de 2016). Obtenido de http://academica-e.unavarra.es/xmlui/bitstream/handle/2454/11846/TFG_IraceburuGonzalezJulen2014.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Xbee. (12 de Septiembre de 2016). Obtenido de <http://xbee.cl/xbee-pro-60mw-wire-antenna/>

ANEXOS

A1: PLANOS MECÁNICOS

A2: DIAGRAMAS DE FLUJO DE PROGRAMACIÓN

A3: DIAGRAMAS ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS

**A4: PROGRAMAS CONTROL (EMISOR) Y ROBOT
(RECEPTOR)**

A5: MANUAL DE USUARIO CÁMARA FATSHARK

A6: DATASHEETS