

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Mecatrónica

Tesis

**Diseño de un robot móvil de servicio para aplicaciones
de fumigación del cultivo de maíz en la provincia de
Concepción de la región Junín**

Jhimmy Jhoel Crisostomo Poma

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero Mecatrónico

Huancayo, 2020

Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

AGRADECIMIENTOS

Como pasan los años, pareciera que estos cinco años hubieran pasado como si fueran unos cuantos meses; cómo no olvidarme cuando mi gran y adorada madre me trajo de la capital a esta hermosa ciudad de Huancayo, nunca olvidaré el día en que después de horas de conversación con mi madre y tíos decidí optar por estudiar la carrera de ingeniería.

Cómo no recordar el día en el que mi tío Edson, mis primos Flor y Ángelo y mi pequeña hermana Nayde me acompañaron a la oficina de informes de la Universidad Continental y en aquel entonces la señorita muy amable dijo: Hola, ¿cómo estás? ¿Qué carrera es la que te interesa?

En ese momento recordé el día en el que con mi tío Walter tuve la oportunidad de visitar y observar un taller donde realizaban mantenimiento a los carros de carga pesada y me quedé sorprendido, pues veía cómo unos jóvenes con tan solo un scanner realizaban el mantenimiento a los carros en un tiempo realmente corto quedándome sorprendido.

Fue en ese entonces que le pregunté a mi tío, cuál era la profesión de los jóvenes del taller, él me respondió diciendo que eran ingenieros mecánicos, y al recordar todo lo mencionado, respondí a la señorita que me interesaba la carrera de Ingeniería Mecatrónica.

La señorita muy amable me informó acerca de la carrera y de todo lo que abarcaba, me quedé fascinado por el enfoque y las líneas de investigación que la carrera tenía.

Fue así como opté por estudiar la carrera de Ingeniería Mecatrónica, y todo esto es gracias a mi gran madre, la señora Luzmila Poma Vila, quien durante estos cuatro años y tres meses de formación en la Universidad me dio su apoyo en todo aspecto, fue y es mi ejemplo por seguir, eres admirable madre querida, fuiste y eres el padre que nunca tuve.

Jamás olvidaré aquellos momentos difíciles que tuve donde veía imposible lograr ciertos objetivos, pero gracias a tu apoyo los logré, mis palabras de agradecimiento para ti son infinitas, gracias, madre querida por tu apoyo incondicional, y gracias a ello se ha logrado realizar esta tesis.

Agradecer a mi hermano Luis Miguel Crisóstomo Poma por su apoyo moral y económico, hermano siempre estuviste cuando más te necesitaba, eres una buena persona, aprendiste de la vida lo que nuestro padre nunca pudo enseñarnos, aprendiste a ganar tus centavos madrugando y con eso me apoyaste, tú también eres parte de esta tesis querido hermano.

Agradecer a mis tíos Elías Poma Vila y Olga Sarmiento Cristóbal, gracias, tíos por su apoyo en todo aspecto, fueron y son como unos padres para mí, aprendí muchas cosas de ustedes, entre las que más resalto es que todo en esta vida da vueltas y que todo es prestado, les agradezco porque siempre apostaron por mí y depositaron su confianza, muchas gracias.

Agradecer de manera conjunta a mis tíos Walter Parque Mendoza, Lourdes Poma Vila, Edson Poma Vila y Oswaldo Poma Vila, gracias, tíos, nunca olvidaré el apoyo que me han brindado y que gracias a ello logré llegar hasta esta etapa de mi vida. Por otro lado, quiero agradecer a los ingenieros de la E. A. P. de Ingeniería Mecatrónica de la Universidad Continental, al Mág. Carlos Perea Fabián, al Mág. Ercilio Garay Quintana, al Mág. Alex Peña Romero, al Mág. Juan Merlo Gálvez, al ing. Carlos Coaquira Rojo y por supuesto agradecer al director de la carrera, al ing. Pablo Hurtado Rengifo y a todos los ingenieros de la facultad de ingeniería que en algún momento compartieron sus conocimientos y experiencias con mi persona en el campus de la Universidad Continental.

Por último, agradezco al Dr. Celso de la Cruz Casaño, al Mág. Rony Martín Cabrera Donayre, a la ing. Mónica Abarca Abarca, al Mág. Roberto Sumiyoshi Furukawa Fukuda y al Mág. Gilberto Gamarra Sánchez, muchas gracias por su apoyo y orientación que fue fundamental para realizar esta tesis.

Gracias a Dios.

A mi madre, la señora Luzmila Poma Vila, a ti padre que nunca te tuve en vida, sé que desde el cielo me cuidas, guías y proteges y a mis tres hermanos Luis Miguel, Ángel y Naydee; esto es gracias a ustedes y para ustedes.

ÍNDICE DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS.....	ii
DEDICATORIA.....	iv
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	v
LISTA DE FIGURAS.....	ix
LISTA DE TABLAS.....	xvi
RESUMEN	xviii
INTRODUCCIÓN	xxii
CAPÍTULO I	28
PLANTEAMIENTO DE ESTUDIO	28
1.1. Planteamiento y formulación del problema.....	28
1.2 Problemas de investigación.....	30
1.2.1. Problema general	30
1.2.2 Problemas específicos.....	30
1.3. Objetivos.....	30
1.3.1. Objetivo general.....	30
1.3.2. Objetivos específicos.....	31
1.4. Justificación	31
CAPÍTULO II	33
MARCO TEÓRICO.....	33
2.3. Estado del arte y antecedentes de la investigación	33
2.3.2. Aspensor autopropulsado 4630.....	33
2.1.2. <i>OmniVeyor</i> HV-100.....	34
2.1.3. Robot autónomo <i>Ladybird</i>	36
2.1.4. Robot FAM.....	37
2.1.5. Robot agrícola <i>ecorobotix</i> para desyerbado	37
2.1.6. Antecedente nacional	38
2.1.7. Antecedente internacional 1	39
2.1.8. Antecedente internacional 2	41
2.1.9. Antecedente internacional 3	42
2.2.0. Antecedente internacional 4	42
2.2.1. Antecedente internacional 5	43
2.2. Bases teóricas	44
2.2.1. El cultivo de maíz.....	44

2.2.2. El cultivo de maíz amiláceo blanco	45
2.2.4. Etapas de crecimiento del maíz amiláceo blanco	48
2.2.5. Enfermedades que afectan el cultivo de maíz	51
2.2.6. Plagas que afectan el cultivo de maíz	53
2.2.7. Malezas en los cultivos de maíz	54
2.3. La fumigación del cultivo de maíz	55
2.3.1. Control de plagas, enfermedades y malezas en el cultivo de maíz	56
2.3.2. Etapas de fumigación del cultivo de maíz	58
2.4. Robot	59
2.4.1. Clasificación de los robots de acuerdo a su estructura	59
2.4.1.1. Los robots poliarticulados	59
2.4.1.2. Los robots móviles	59
2.4.1.3. Los robots andróides	60
2.4.1.4. Los robots zoomórficos	60
2.4.1.5. Los robots híbridos	60
2.5.1. Robots móviles de servicio (R.M.S.)	60
2.5.1.1. Ventajas de los R.M.S.	61
2.5.1.2. Las desventajas de los R.M.S.	61
2.5.1.3. Arquitectura de un robot móvil de servicio	61
2.6.1. La teleoperación	68
2.6.1.1. Elementos de un sistema de teleoperación	68
2.6.1.2. Arquitecturas de teleoperación	69
2.6.1.3. Clasificación de los sistemas teleoperados	70
2.6.1.4. Componentes de los sistemas teleoperados	70
2.5. Definición de términos básicos	70
2.5.1. Definiciones básicas	70
CAPÍTULO III	72
RESULTADOS ESPERADOS Y METODOLOGÍA	72
3.1. Resultados esperados	72
3.2. Alcance de la investigación	74
3.3. Plan de proyecto	76
3.3.1. VDI 2221	76
CAPÍTULO IV	80
ANÁLISIS Y DISEÑO DE LA SOLUCIÓN	80
4.1. Etapa I: identificación de requerimientos	80

4.1.1. Análisis de requerimientos.....	81
4.1.2.1. Análisis de requerimientos de los terrenos de cultivos	81
4.1.2.2. Análisis de requerimientos de cultivo de maíz durante la etapa crítica	82
4.2. Etapa II: determinar las funciones y su estructura	84
4.2.1. Cálculo de cantidad de agroquímico fungicida y/o pesticida y herbicida aplicado por planta de maíz.....	84
4.2.2. Cálculo de tiempos de fumigación	87
4.2.2.1. Cálculo de tiempo de fumigación con fungicidas e insecticidas	88
4.2.2.2. Cálculo de tiempo de fumigación con herbicidas.....	89
4.2.2.3. Cálculo de velocidad de fumigación	90
4.2.2.4. Análisis de costo y tiempo de fumigación con personal contratado.....	91
4.2.3. Definición de requerimientos generales.....	94
4.2.3.1. Lista de exigencias	94
4.3. Etapa III: búsquedas de conceptos de solución.....	96
4.3.1. Concepto de solución	96
4.3.1.1. Concepto de solución para fumigación con pesticidas y/o insecticidas y herbicidas	97
4.3.2. Determinación de posibles soluciones.....	101
4.3.2.1. Concepto de solución 1	101
4.3.2.2. Concepto de solución 2	102
4.3.2.3. Concepto de solución 3	102
4.4. Etapa IV: subdividir en módulos realizables	102
Determinación del proyecto (determinación del concepto de solución más apropiado)	102
4.5. Etapa V: configurar los módulos apropiados - análisis y diseño del robot 104	
4.5.1. Análisis y diseño del sistema mecánico.....	104
4.5.1.1. Análisis y diseño del tanque	105
4.5.1.2. Materiales para la fabricación del tanque	107
4.5.1.3. Definición de solución óptima del tanque	108
4.5.1.4. Diseño y ubicación de rompeolas	109
4.5.1.7. Base móvil del robot	138
4.5.1.8. Diseño de mecanismo para la orientación del robot por medio de las ruedas.....	138
4.5.2. Sistema de locomoción del robot.....	162
4.5.2.1. Sistemas holonómicos.....	163

4.5.4. Sistema hidráulico del robot.....	164
4.5.4.1. Cálculo de caudal para fumigación con fungicidas.....	165
4.5.4.2. Cálculo de caudal para fumigación con herbicidas.....	165
4.5.4.3. Montaje del sistema hidráulico en la estructura del robot.....	172
4.5.5. Sistema eléctrico del robot.....	174
4.5.5.1. Composición del sistema eléctrico del robot.....	175
4.5.5.2. Cálculo de consumo de corriente del robot.....	177
4.5.5.3. Reguladores de tensión.....	178
4.5.6. Sistema de control por computador.....	196
4.5.6.1. Diagrama de control de funcionamiento del robot.....	203
4.5.6.2. Comunicación con el robot fumigador.....	206
4.5.6.3. Interfaz de comunicación inalámbrica.....	206
4.1. Etapa VI: configurar el producto final (documentación).....	212
CAPÍTULO V.....	216
SIMULACIONES DEL ROBOT.....	216
5.1. Simulaciones mecánicas.....	216
5.1.1. Simulación del soporte del tanque y las baterías del robot.....	216
5.1.2. Simulaciones eje horizontal.....	218
5.1.3. Simulaciones de eje vertical.....	219
5.2. Simulaciones electrohidráulicas.....	221
5.3. Simulaciones electrónicas.....	222
5.1. Simulación de robot en aplicaciones de fumigación.....	223
CAPÍTULO VI.....	224
COSTOS DE CONSTRUCCIÓN.....	224
6.1. Presupuesto.....	224
CONCLUSIONES.....	232
RECOMENDACIONES.....	234
TRABAJOS FUTUROS.....	235
BIBLIOGRAFÍA.....	236
ANEXOS.....	241

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Montaje digital del diseño del robot autónomo "Fitorobot"	xxiii
Figura 2. Robot ThakÜr fumigando un terreno de cultivo	xxiv
Figura 3. Número de empresas por continentes fabricantes de robots en el mundo	xxv
Figura 4. Oferta de fertilizantes químicos	29
Figura 5. Aspersor autopulsado 4630	34
Figura 6. Robot omniVeyor Hv-100	35
Figura 7. Robot fumigador Ladybird	36
Figura 8. Robot ecorobotix	38
Figura 9. Datos técnicos del robot Ecorobotix	38
Figura 10. Configuraciones del robot Thorvald II	40
Figura 11. Robot Thorvald II	40
Figura 12. Pruebas de control teleoperado con una y varias vistas	41
Figura 13. Robot móvil agrícola	42
Figura 14. Sistema de siembra a golpes	45
Figura 15. Riego del cultivo de maíz	47
Figura 16. Control de malezas del cultivo de maíz	47
Figura 17. Fertilización del cultivo de maíz	47
Figura 18. Control de plagas del cultivo de maíz mediante la fumigación	48
Figura 19. Subetapa de siembra - emergencia del cultivo de maíz	49
Figura 20. Subetapa de siembra-panoja del cultivo de maíz	49
Figura 21. Panoja del maíz	50
Figura 22. Subetapa de espiga - maduración del cultivo de maíz	50
Figura 23. Manifestación física del cultivo de maíz por mes	51
Figura 24. Maíz con afectado por la roya común	52
Figura 25. Mazorca de maíz afectado por la dipodia Zeae mydis	53
Figura 26. Periodo crítico del cultivo de maíz	56
Figura 27. Fumigación de maíz	56
Figura 28. Cultivo de maíz después de 45 días de siembra	58
Figura 29. Arquitectura de un robot móvil	61
Figura 30. Locomoción por ruedas	62
Figura 31. Parámetros geométricos de tracción diferencial	63

Figura 32. Configuración de tracción Ackerman	63
Figura 33. Sistema de locomoción síncrona	64
Figura 34. Motores paso a paso	65
Figura 35. Motor de corriente continua	65
Figura 36. Servomotor de 12V	66
Figura 37. Motorreductor DC de 24 V	66
Figura 38. Batería de litio	67
Figura 39. Batería de plomo-ácido	67
Figura 40. Cámara Wifi	68
Figura 41. Elementos básicos de un sistema de teleoperación	69
Figura 42. Terrenos de cultivo de maíz en Concepción	81
Figura 43. Distribución de surcos y semillas de maíz en un terreno	82
Figura 44. Plantaciones de maíz en a los 2 meses de cultivo	85
Figura 45. Mochila hidráulica para fumigación marca Jacto	88
Figura 46. Diagrama de evaluación técnico - económico VDI 2225	104
Figura 47. Divisiones del robot fumigador	105
Figura 48. Tanque cilíndrico dimensionado	106
Figura 49. Tanque propuesto	107
Figura 50. Tanque esférico con medidas optimizadas	107
Figura 51. Tanque del robot	109
Figura 52. Tanque con rompeolas con agujeros en las paredes	110
Figura 53. Tanque con agujeros en los rompeolas	110
Figura 54. Dimensiones del tanque del robot	111
Figura 55. Diseño del rompeolas	111
Figura 56. Diseño de tanque del robot con rompeolas	112
Figura 57. Batería de Gel de 24V de 130Ah	114
Figura 58. Ubicación de elementos sobre la estructura del tanque	115
Figura 59. Vista de planta del soporte del tanque	116
Figura 60. Faja Ratchet	117
Figura 61. Estructura del robot para soporte de baterías, tanque contenedor, sistemas de aspersión	118
Figura 62. Tabla de dimensión de filetes para soldadura	119
Figura 63. Vista de planta de la estructura del robot	120
Figura 64. Vista frontal de la estructura del robot.	120

Figura 65. Características de los electrodos más utilizados - E60 - Y E70	121
Figura 66. Boquillas de aspersor de cono lleno	122
Figura 67. Plantaciones de maíz	122
Figura 68. Diseño de la rosca tipo Acme	126
Figura 69. Espiga con rosca tipo Acme	127
Figura 70. Caja con rosca interna y apoyos	129
Figura 71. Componentes de sistema de regulación del sistema de aspersión	129
Figura 72. Ubicación de eje vertical de apoyo	130
Figura 73. Ubicación de perfil vertical para desplazamiento de perfil en forma de U	131
Figura 74. Platina en forma de U para sistema de aspersión	132
Figura 75. Descripción de ensamblaje de platinas del sistema de aspersión	132
Figura 76. Eje de acople para motor de los perfiles de aspersores	133
Figura 77. Eje del motor por medio de prisioneros	133
Figura 78. Ubicación de sensor y boquilla de aspersor	134
Figura 79. Identificación de sensores y boquillas de aspersores del sistema de aspersión	134
Figura 80. Eje de sistema de aspersión del robot fumigador	135
Figura 81. Vista isométrica del ensamblaje del sistema de aspersión en la estructura del robot	135
Figura 82. Vista lateral del sistema de aspersión	136
Figura 83. Vista frontal del sistema de aspersión	136
Figura 84. Vista de planta del sistema de aspersión	137
Figura 85. Tornillo sinfín y eje de regulación	137
Figura 86. Eje vertical del robot	139
Figura 87. Dimensiones de eje vertical del robot	139
Figura 88. Eje y resorte montado	140
Figura 89. Dimensiones de resorte	140
Figura 90. Ubicación de piezas para ensamblaje del mecanismo del robot	141
Figura 91. Mecanismo para soporte del robot	141
Figura 92. Mecanismo para orientación del robot	142
Figura 93. Mecanismo del robot con su motor	142
Figura 94. Mecanismo del robot fumigador	143
Figura 95. Mecanismo para el desplazamiento del robot	144

Figura 96. Factores por duración de velocidad de rodamientos de rodillos	145
Figura 97. Tabla de factores de S0	146
Figura 98. Tabla de rodamientos	147
Figura 99. Mecanismo de locomoción del robot	147
Figura 100. Mecanismo de locomoción del robot	147
Figura 101. Vista isométrica del sistema de locomoción del robot	148
Figura 102. Platina del aspersor	149
Figura 103. Platina de aspersor	149
Figura 104. Motor DC de 24V	150
Figura 105. Motor para el sistema de aspersión	150
Figura 106. Llanta del robot	152
Figura 107. Motor para el desplazamiento del robot	154
Figura 108. Ubicación del motor que realizará la orientación al motor	154
Figura 109. Motor para la orientación o del robot	156
Figura 110. Estructura del soporte del robot	156
Figura 111. Estructura del robot con el soporte del motor y del eje roscado	157
Figura 112. Ubicación y montaje del motor del sistema de aspersión	157
Figura 113. Eje roscado del sistema mecánico de aspersión y soporte del motor	158
Figura 114. Uniones mecánicas para desplazamiento vertical de sistema de aspersión	158
Figura 115. Sistema mecánico de aspersión	158
Figura 116. Sistema mecánico de aspersión completo	159
Figura 117. Mecanismo del robot con el soporte mecánico del sistema de aspersión.	159
Figura 118. Sistema mecánico para orientación del robot	159
Figura 119. Mecanismo para orientación del robot	160
Figura 120. Montaje de los cuatro apoyos para orientación del robot con sus respectivos motores	160
Figura 121. Mecanismo de orientación y desplazamiento del robot unidos por medio de soldadura	161
Figura 122. Mecanismo para desplazamiento del robot	161
Figura 123. Mecanismo para desplazamiento de robot con las llantas ensambladas	162

Figura 124. Diseño de robot con piezas mecánicas implementadas	162
Figura 125. Robot móvil para fumigación	163
Figura 126. Trayectoria en x	163
Figura 127. Trayectoria en Y	164
Figura 128. Trayectoria en \emptyset	164
Figura 129. Bomba de diafragma	166
Figura 130. Codo racor de distribución de 1 a 2	167
Figura 131. Racor para el sistema hidráulico	167
Figura 132. Distribución y conexión de los racores para las 5 boquillas de aspersores	168
Figura 133. Tubo Flexible de PVC	168
Figura 134. Válvula electroneumática de 24V	169
Figura 135. Rociador de agua	169
Figura 136. Sistema hidráulico del robot fumigador	170
Figura 137. Sistema hidráulico del sistema de aspersión del robot	171
Figura 138. Sistema eléctrico del sistema de aspersión del robot	172
Figura 139. Sistema eléctrico del sistema de aspersión del robot	172
Figura 140. Conexiones del sistema hidráulico de racores y electroválvulas	173
Figura 141. Conexiones de sistema hidráulico bomba hidráulica y racores	173
Figura 142. Conexiones de sistema hidráulico racores y aspersores	173
Figura 143. Ubicación de la bomba en el robot	174
Figura 144. Ubicación de las electroválvulas y racores y las boquillas de aspersión en el robot	174
Figura 145. Conexiones de mangueras conductoras de líquido agroquímico	174
Figura 146. Robot móvil para fumigación	175
Figura 147. Ubicación de las baterías en el robot	176
Figura 148. Baterías para el robot fumigador	178
Figura 149. Batería de 6V de 50A/h	178
Figura 150. Regulador de voltaje de 24V a 12V	179
Figura 151. Regulador 78H05 para tarjetas electrónicas	179
Figura 152. Regulador ajustable LM338	180
Figura 153. Circuito regulador de voltaje de 12V 5 V	181
Figura 154. Reguladores de voltaje para baterías	181
Figura 155. Borneras de conexión para las baterías	182

Figura 156. Bornera de conexión de 50 Amp	182
Figura 157. Bornera de conexión de 25 Amp	182
Figura 158. Terminales tubulares	183
Figura 159. Interruptor	183
Figura 160. Organizador de cable	184
Figura 161. Calibres de cables con relación al amperaje que soportan	184
Figura 162. Cable conectores DuPont	185
Figura 163. Sección 1, compuesta por 5 motores - parte trasera del robot	185
Figura 164. Compuesta por 5 motores - parte delantera del robot	185
Figura 165. Esquema eléctrico electrónico del robot	186
Figura 166. Puente H	188
Figura 167. Puente H L298N 3A	188
Figura 168. Esquemático de un relé de estado solido	189
Figura 169. Banco de 4 relés de estado solido	189
Figura 170. Diagrama esquemático de un final de carrera	190
Figura 171. Interruptor final de carrera con palanca corta	190
Figura 172. Esquemático de un sensor infrarrojo	191
Figura 173. Sensor infrarrojo	191
Figura 174. Sensor de presión	192
Figura 175. Sensor de flujo	192
Figura 176. Circuito medio de nivel	193
Figura 177. Arduino de la serie mega	194
Figura 178. Arduino nano	195
Figura 179. Modulo Wifi EPS8266	195
Figura 180. Localización del sistema electrónico de potencia	196
Figura 181. Procesador Raspberry con sus cámaras	198
Figura 182. Diagrama esquemático de electroválvula	198
Figura 183. Diagrama esquemático de puente H L2978N	199
Figura 184. Reguladores de voltaje de 24V a 5V	199
Figura 185. Diagrama esquemático de un sensor	200
Figura 186. Diagrama esquemático de sensor de presión	200
Figura 187. Diagrama esquemático del final de carrera	200
Figura 188. Diagrama esquemático del sensor de flujo	201
Figura 189. Diagrama esquemático del puente H BTS 7990	201

Figura 190. Diagrama esquemático de los controladores.	201
Figura 191. Diagrama esquemático de la parte electrónica del robot	202
Figura 192. Diagrama de flujo del funcionamiento del robot	203
Figura 193. Diagrama de control del robot con fungicidas	204
Figura 194. Diagrama de control del robot con herbicidas	205
Figura 195. Entorno de operación del robot	210
Figura 196. Interfaz gráfica para el usuario - Fumigación herbicidas	211
Figura 197. Interfaz gráfica para el usuario - Fumigación fungicidas	212
Figura 198. Vista isométrica del robot con las partes que la conforman	213
Figura 199. Vista de la parte trasera del robot	213
Figura 200. Vista de la parte trasera del robot	214
Figura 201. Vista lateral del robot	214
Figura 202. Vista de planta del robot	215
Figura 203. Simulación de la estructura del robot	217
Figura 204. Deformación del soporte del tanque y las baterías	217
Figura 205. Deformaciones unitarias del soporte del tanque y las baterías	217
Figura 206. Simulación del eje horizontal	218
Figura 207. Deformaciones del eje horizontal del robot	218
Figura 208. Deformaciones unitarias del eje horizontal del robot	219
Figura 209. Simulación del eje horizontal	219
Figura 210. Deformación del eje vertical del robot	220
Figura 211. Deformaciones Unitarias del eje vertical del robot	220
Figura 212. Simulación del sistema hidráulico del robot	221
Figura 213. Simulación del sistema eléctrico del robot	221
Figura 214. Simulación del sistema eléctrico de la aspersión del robot	221
Figura 215. Simulación del regulador de voltaje de 12V	222
Figura 216. Simulaciones del regulador de voltaje de 5V	222
Figura 217. Simulación del sensor de nivel	222
Figura 218. Simulación del robot en aplicaciones de fumigación	223

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Características del aspersor autopropulsado 4630	34
Tabla 2. Especificaciones técnicas del robot Omniveyor Hv-100	35
Tabla 3. Características morfológicas del cultivo de maíz.....	46
Tabla 4. Carga horaria de trabajo de los agricultores.....	91
Tabla 5. Parámetros calculados de cultivo y fumigación de maíz	93
Tabla 6. Lista de exigencias parte mecánica.....	94
Tabla 7. Lista de exigencias de la parte hidráulica.....	95
Tabla 8. Lista de exigencias eléctrica – electrónica	95
Tabla 9. Lista de exigencias del sistema de control	96
Tabla 10. Cuadro de parámetros de concepto de solución.	100
Tabla 11. Cuadro comparativo de tiempo de fumigación	101
Tabla 12. Evaluación de concepto de solución (valor técnico)	102
Tabla 13. Evaluación de concepto de solución (valor económico)	103
Tabla 14. Materiales metálicos usados en robótico.....	108
Tabla 15. Hoja técnica de baterías	114
Tabla 16. Hoja técnica de la bomba electrohidráulica	115
Tabla 17. Peso que soportara la estructura del robot.....	118
Tabla 18. Tipos de rosca	123
Tabla 19. Motores para los aspersores	149
Tabla 20. Características del motor del eje para regular los aspersores.....	150
Tabla 21. Parámetros de motores de desplazamiento en superficies planas	153
Tabla 22. Parámetros eléctricos de los motores para orientación del robot..	155
Tabla 23. Características de bomba hidráulica	166
Tabla 24. Características de racor T	167
Tabla 25. Válvula solenoide de control de dirección de 24V	169
Tabla 26. Características de las boquillas de los aspersores.....	169
Tabla 27. Consumo de corriente del robot fumigador	177
Tabla 28. Dispositivos que requieren regulador de voltaje	179
Tabla 29. Entradas	194
Tabla 30. Salidas.....	194
Tabla 31. Especificaciones técnicas módulo Wifi Serial EPS–01 EPS8266..	195
Tabla 32. Pesos de elementos que estarán sobre la estructura del robot.....	216

Tabla 33. Cantidad y precio de metales para fabricación de estructura del soporte del tanque del robot.....	224
Tabla 34. Cantidad y precio de metales para la fabricación de la estructura del soporte del tanque del robot.....	226
Tabla 35. Cantidad y precio de metales para la fabricación de la estructura del soporte del tanque del robot.....	226
Tabla 36. Cantidad y precio de metales para la fabricación del sistema mecánico del sistema de locomoción del robot.	227
Tabla 37. Sistema mecánico del sistema de locomoción del robot superficie baja.....	228
Tabla 38. Lista de componentes eléctricos (placas impresas)	228
Tabla 39. Lista de dispositivos electrónicos (componentes electrónicos)	228
Tabla 40. Lista de dispositivos electrónicos (regulador de voltaje).....	229
Tabla 41. Lista de componentes electrónicos para circuito medidor de nivel	229
Tabla 42. Lista de accesorios (parte mecánica)	229
Tabla 43. Lista de accesorios (parte hidráulica)	229
Tabla 44. Lista de accesorios (parte eléctrica)	229
Tabla 45. Costo de servicios y energía	230
Tabla 46. Costo total del robot fumigador	230
Tabla 47. Comparación económica entre sistemas de fumigación	231

RESUMEN

La presente tesis comprende el diseño de un robot móvil de servicio para aplicaciones de fumigación del cultivo de maíz, el cual tiene como función principal cubrir la actividad de fumigación para, de esta manera evitar, que los agricultores sigan en contacto cercano y directo con los agroquímicos lo que hace que contraigan enfermedades a corto, mediano y largo plazo. Además, optimizar el tiempo de fumigación y reducir los niveles de riesgo en cuanto a la percepción de enfermedades que genera este tipo de trabajo.

El objetivo general es diseñar un robot móvil de servicio para aplicaciones de fumigación del cultivo de maíz en la provincia de Concepción de la región Junín.

Los objetivos específicos son:

Diseñar la parte mecánica del robot móvil de servicio para aplicaciones de fumigación del cultivo de maíz en la provincia de Concepción de la región Junín.

Diseñar el sistema de aspersión del robot móvil de servicio para aplicaciones de fumigación del cultivo de maíz en la provincia de Concepción de la región Junín.

Diseñar la parte electrónica del robot móvil de servicio para aplicaciones de fumigación del cultivo de maíz en la provincia de Concepción de la región Junín.

Desarrollar la estrategia de control del robot móvil de servicio para aplicaciones de fumigación del cultivo de maíz en la provincia de Concepción de la región Junín.

La metodología aplicada en el presente trabajo de investigación está desarrollada en base a las recomendaciones de la Asociación Alemana de Ingenieros VDI 2221 en la que se muestran los pasos metodológicos que abarca un trabajo de investigación enfocado a lo que es Diseño. Se presenta el diseño del robot para aplicaciones de fumigación en base a las condiciones que tiene

un terreno de cultivo de maíz luego de 45 días de siembra, validando el diseño con las respectivas simulaciones por medio del software CAD.

Finalmente, se realizó un análisis en la que la implementación del robot fumigador permitiría ahorrar S/. 27.20 y s/.26.20 en fumigación con pesticidas y herbicidas respectivamente por hectárea. Asimismo, el tiempo de trabajo se reduciría en más de 4 horas en fumigación con herbicidas y pesticidas.

Palabras claves: robot móvil de servicio, estrategia de control, VDI2221, pesticidas herbicidas.

ABSTRACT

This research work includes the design of a mobile service robot applications fumigation of maize, this design has as main purpose to cover the activity fumigation thus prevent farmers remain in close contact and live with agrochemicals what makes contracting diseases short-, medium- long term. In addition to optimizing the spraying time and reduce risk levels in the perception of diseases that generates fumigation work.

The overall objective is to design a mobile robot service application give corn crop spraying.

The specific objectives are:

Mechanical design, the sprinkler system and electronic part of the mobile service robot applications corn crop spraying.

Develop control strategy for the robot to perform the activity maize crop fumigation.

Analyze times spraying herbicides and pesticides reference to one hectare of maize planting 45 days with hydraulic backpacks and the proposed design of the robot.

Simulating mechanical robot design using CAD (Solidworks) reviewing software movement and the safety factors of the parties making up the mechanical part of the robot.

Simulate electronic design of the robot using the software Proteos reviewing and analyzing the parameters and operation of the devices that make up the electronic part of the robot.

Simulate the sprinkler system using Fluid Sim software of analyzing the control logic in the hydraulic and electrical part.

Simulate robot control strategy using the software Matlab reviewing and analyzing the variables to be controlled with the controller.

This research is developed based on the VDI 2222 methodology which shows the methodological steps involved research work focused on what is design.

Starting with the planning and design requirements, then the analysis of all component parts of the robot design and ending with the proposal of ensuring a viable, efficient and economical for fumigation applications corn crop design solution.

Finally, we show the design robot fumigant given conditions having a breeding ground corn 45 days sowing also be contrasted and analyzed times spraying robot with the traditional way of spraying in which it is shown that is reduced by 55% the time pesticide spraying and 60% in time herbicide spraying.

Keywords: mobile service robot control strategy, VDI2222, Herbicides pesticides.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad con el avance de las tecnologías se han vuelto desagradables, para el ser humano, las tareas repetitivas, tediosas y pesadas. Dichas tareas también conllevan a las personas a no realizar sus actividades de la mejor manera, obligando a las empresas a automatizar la gran mayoría de sus procesos donde, hasta la actualidad, se han desarrollado considerablemente en el sector industrial. Sin embargo, hay necesidades que aún faltan satisfacer con la tecnología y la automatización, siendo una de ellas el sector agrícola.

El Banco Mundial menciona que el desarrollo del sector agrícola es uno de los principales instrumentos para poder combatir la pobreza, además, se estima que para el año 2050 la población mundial llegue a los 9700 millones y se tendrá que suministrar alimentos para esa cantidad de personas. Por otro lado, la agricultura es de dos a cuatro veces más efectiva a diferencia de otros sectores (1).

En el Perú, el sector agrícola es una de las principales fuentes de ingreso, ocupando el tercer lugar por detrás del turismo y la minería. Según el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI). Un estudio realizado el año 2007 menciona que en ese año el Producto Bruto Interno en el sector agrícola fue de 19,074.238 llegando a 25,916.000 en 2016 lo cual indica que la economía en el sector agrícola ha ido creciendo considerablemente (2).

Por otro lado, en Junín uno de los alimentos con mayor producción es el maíz, en el año 2013 la producción fue de 18,446 mil hectáreas llegando a producir 20 mil hectáreas en el año 2015 (3).

Para un buen cultivo de maíz en la región Junín se realiza una serie de actividades muy críticas, siendo una de ellas la fumigación, esta es una actividad repetitiva que mayormente se realiza en los primeros meses del cultivo. Esta actividad consiste en esparcir agroquímicos hacia las plantaciones de maíz siendo para los agricultores una actividad forzada y, sobre todo, riesgosa.

Se viene impulsando tecnología robotizada en el sector agrícola, con el fin de cubrir actividades repetitivas y muy riesgosas como la fumigación. Sin embargo, estas máquinas repetitivas de servicio aún presentan considerables limitaciones, como sus grandes dimensiones además de que en su mayoría necesitan de un personal capacitado para su monitoreo, lo cual hace que estas máquinas estén fuera del alcance de los agricultores, a ello se debe sumar el aspecto económico ya que son muy costosas.

Existen robots para la actividad de fumigación, sin embargo, el diseño que estas máquinas presentan está enfocado para terrenos con superficies planas y para cultivos que requieren de un terreno bien trabajado; en la Figura 1 se detalla uno de estos robots, el Fitorobot, que fue fabricado en España en el departamento de lenguaje y computación de la Universidad de Almería por Rodríguez, Sánchez Hermosilla, Berengel, y Guzmán. Este robot es un pulverizador autopropulsado con desplazamiento autónomo, las primeras prácticas del robot fueron realizadas en invernaderos (4).

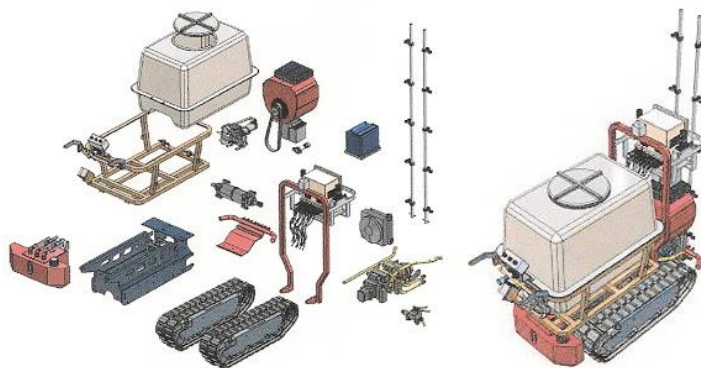


Figura 1. Montaje digital del diseño del robot autónomo "Fitorobot"
Fuente: Fitorobot. Departamento de ingeniería rural, Universidad de Almería

Este robot con su sistema de locomoción tipo oruga presenta deficiencias en su estabilidad a pesar de que el área por donde se desplaza no presenta desniveles considerables a comparación al de un terreno con cultivo de maíz; por otro lado, las dimensiones y configuración que este robot presenta no sería de gran apoyo para la actividad de fumigación en terrenos de cultivo de maíz puesto que el sistema de aspersión no es el más apropiado para dichos cultivos.

Otro robot diseñado para el sector agrícola es el robot ThakÛr, que fue fabricado en Argentina en octubre del 2013 por el ingeniero Gerardo Masis en el Instituto de Ingeniería Rural, este robot se caracteriza por realizar labores de fumigación en invernaderos, a diferencia del Fitorobot, este es un robot eléctrico que funciona con una batería de 12V siendo la autonomía una deficiencia con la que su creador se ha topado, el sistema de aspersion de este robot no sería de gran ayuda para los cultivos de maíz debido a la configuración vertical de las boquillas de los aspersores (5).



Figura 2. Robot ThakÛr fumigando un terreno de cultivo
Fuente: Robot ThakÛr- Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria

Estos robots han sido diseñados y fabricados para el sector agrícola en labores de fumigación en invernaderos, mas no para terrenos de cultivos de maíz al aire libre y en superficies estrelladas como son los terrenos de Concepción; por otro lado, el sistema de aspersion no ayudaría para la fumigación en un cultivo de maíz debido a la posición en la que se encuentran las boquillas de los aspersores.

Por otro lado, la Federación Internacional de Robótica dio a conocer que hasta octubre del 2018 la venta de robots de servicio aumentó en un 39%, además se estima que para los años 2019–2021 el volumen de ventas de estos robots será de \$ 46 mil millones. Por medio de un estudio de la entidad mencionada, el continente que produce mayor cantidad de robots de servicio es Europa con 307 empresas de las 700 registradas, seguido por América del Norte con 250 empresas, ubicando en el tercer lugar al continente asiático con 133 empresas. Estos indicadores dan a conocer que en el continente americano el sector de la

robótica aún no tiene desarrollo y es por ello que este trabajo de investigación tiene como uno de sus fines incentivar la robótica en el continente americano (6).

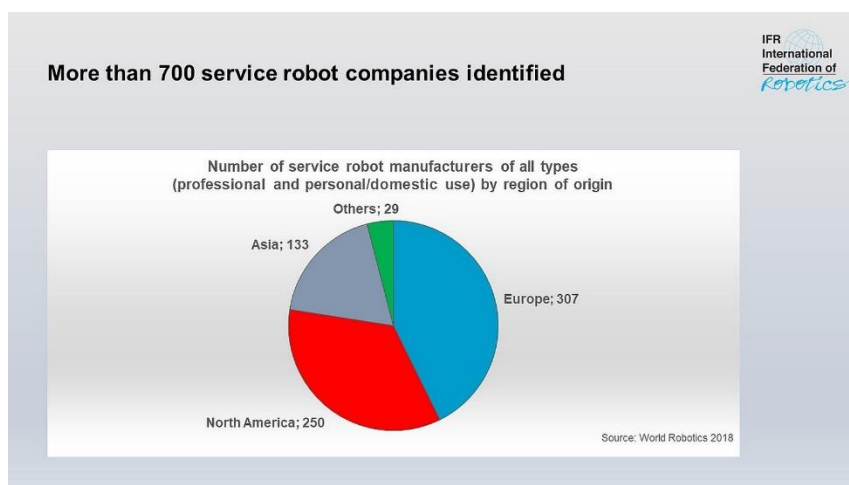


Figura 3. Número de empresas por continentes fabricantes de robots en el mundo
Fuente: IFR Internacional Federación de Robótica

La robótica, hasta la actualidad, sigue evolucionando con la fabricación de nuevas máquinas más sofisticadas y complejas que pueden reemplazar al hombre en actividades de mayor riesgo, complejidad y rutinarias.

Se espera que los robots de servicio en un futuro tengan alta probabilidad de cambiar la vida del ser humano, se estima que los robots satisfagan la gran mayoría de las necesidades de las personas que día a día desarrollan introduciéndose en el área agrícola.

Dentro de la gran variedad de robots son sus aplicaciones, los robots móviles para trabajar en el sector agrícola, en terrenos como el de Concepción son los que aún faltan trabajar, tomando en consideración las condiciones y requerimientos que en este caso el cultivo de maíz presenta, es ahí donde hay retos tecnológicos que trabajar, pero también considerables beneficios que se obtendría una vez que se logre diseñar y si se desea implementar el diseño del robot móvil.

Empresas e investigadores vienen tecnificando el sector agrícola con máquinas sumamente costosas que están fuera del alcance de los agricultores de la zona de Concepción, ya que requieren de un personal capacitado para su

operación, además de que no presentan el diseño apropiado para la actividad de fumigación en los terrenos de cultivo de maíz.

En China, Japón y Estados Unidos el sector agrícola está sumamente desarrollado, lo que ha hecho que este sector en estos países sea una de las ocupaciones con mayores ingresos (7).

Tal es así que en México hay muchas empresas que han tomado este sector como una oportunidad de negocio, una de estas empresas es E.R.P. agrícola, esta es una empresa enfocada al desarrollo de *softwares* para la aplicación integral en empresas agrícolas y de consultoría (8).

En Argentina, el Instituto Nacional de Tecnología Agraria es una de las instituciones que impulsa la tecnología, siendo así que en una de sus revistas menciona que los sistemas automatizados y la robótica serán los ejes de la agricultura en el futuro (9).

El beneficio más resaltante que presenta un robot móvil es la capacidad de poder desplazarse sin preocupaciones tanto de la carga que pueda llevar, la estabilidad y el control. Está claro que los robots tienen un alto grado de eficiencia en realizar tareas repetitivas.

En el cultivo de maíz la fumigación es considerada una actividad indispensable, pero también riesgosa. Esta actividad requiere de personal capacitado; sin embargo, cada vez es más escaso, ya que la migración de los agricultores con el pasar de los años se va incrementando, otro factor es el costo de actividad, de acuerdo al Ministerio de Agricultura y Riego del Perú, el costo de fumigación para un cultivo de maíz de una hectárea es de S/ 48.00 en control de malezas y S/ 96.00 en control fitosanitario, se estima que este costo se irá incrementando con los años (10).

Por esto y todo lo mencionado anteriormente este trabajo de investigación tiene como finalidad ofrecer una propuesta de solución al problema de fumigación, mediante el diseño de un robot móvil de servicio para aplicaciones

de fumigación en el cultivo de maíz. En este proyecto de investigación se trabajará el diseño de la parte mecánica del robot que está compuesto por una serie de elementos como: el tanque contenedor del agroquímico con una capacidad para 50 litros, la estructura del robot compuesta por una serie de perfiles y tubos metálicos, el mecanismo del sistema de aspersión y la base móvil compuesta por ejes y tubos de metal; asimismo, se da a conocer la configuración del sistema hidráulico para la fumigación, las partes eléctricas y electrónicas del sistema de control del robot que está compuesta por tarjetas impresas y dispositivos electrónicos y, finalmente se presentan los diagramas de flujo en la que se describe el funcionamiento del robot. Para definir con un mayor alcance, para el diseño del robot se tomó como referencia un terreno que presenta el cultivo de maíz después de los 45 días de siembra, ya que es una de las etapas más importantes donde se realiza la actividad de fumigación.

Asimismo, el trabajo de investigación a realizarse se justifica porque servirá de base para el desarrollo de un producto final del robot fumigador que beneficiará a los agricultores ayudando a controlar plagas, enfermedades y malezas en el cultivo de maíz con la actividad de fumigación, aportando a los conocimientos existentes sobre el estudio de robots de servicio para aplicaciones de fumigación cuyos resultados podrán sistematizarse en una propuesta para poder ser incorporado como conocimiento a la robótica y sus distintas aplicaciones.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DE ESTUDIO

1.1. Planteamiento y formulación del problema

El Instituto Geofísico del Perú menciona que durante las últimas décadas el sector agrícola se ha visto golpeado por la naturaleza con sequías, inundaciones y plagas; cada año, esto se presenta con mayor frecuencia y magnitud, ya que se han presentado muchas alteraciones meteorológicas (11).

En noviembre del 2016 un diario muy conocido del entorno local, Correo, respalda lo mencionado agregando que una de las provincias más afectadas es Concepción. Sin duda los más perjudicados son los agricultores, perdiendo grandes terrenos de sembrío (3).

El método más efectivo para el control de las plagas y las enfermedades es la aplicación de agroquímicos mediante la fumigación con mochilas hidráulicas que necesariamente lo maneja un operario, y que muchas veces, por cuestiones económicas y el entorno de trabajo, estos operarios llevan mínimas protecciones.

El boletín estadístico de medios de producción agropecuario del 2017 informa que en ese mismo año se importó 1´ 256,758.00 toneladas de fertilizantes siendo diciembre donde se registra la demanda más alta, ya que en ese mes es donde la gran mayoría de cultivos se encuentran en la etapa de crecimiento (12).

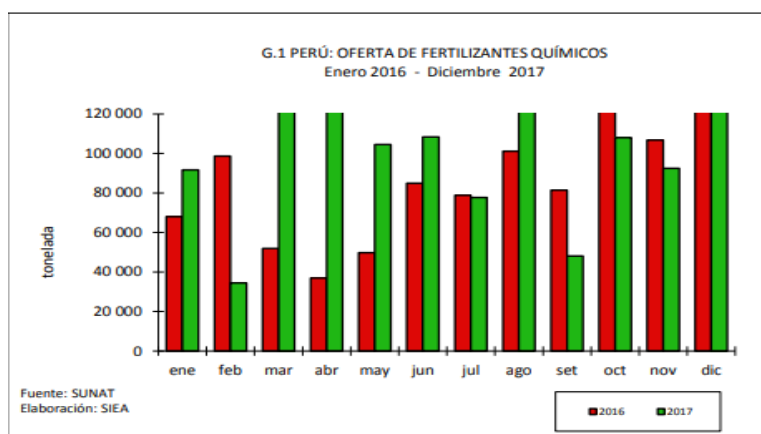


Figura 4. Oferta de fertilizantes químicos
Fuente: Minagri. Boletín estadístico de medios de producción agropecuarios

El método de fumigación consiste en esparcir cierto agroquímico hacia las hojas de una planta, en este caso a las plantaciones de maíz. El desarrollo de esta actividad para los agricultores en su gran mayoría es considerada riesgosa pues las consecuencias ergonómicas por la carga de la mochila y la exposición cercana hace que al mediano y largo plazo puedan contraer enfermedades no curativas ocasionando incluso la muerte de los agricultores.

Un estudio realizado en el 2009 en las provincias de Chupaca y Concepción revela que el uso de plaguicidas y herbicidas es de gran demanda dando a conocer a la vez lo dañino que son estos agroquímicos para la salud. Para respaldar este estudio, los investigadores Montoro, Moreno, Gomero y Reyes realizaron una encuesta a 225 agricultores donde el 36% tenía educación secundaria, el 32% educación primaria y el 32% educación superior. Asimismo, hasta ese entonces, según Senasa, existían 57 tiendas con registro vigente para la venta de agroquímicos en el valle del Mantaro donde 9 de ellas estaban en Chupaca.

El agroquímico con mayor demanda fue el Tamarón y el Furadan los cuales, según Senasa, son altamente peligrosos. Y lo más importante, el 79% de los encuestados en Concepción reconoce que el uso de agroquímicos afecta la salud y el 68% considera que produce la enfermedad más temida por todos, el cáncer. Sin embargo, a pesar de ello, los agricultores consideran que la fumigación es de suma importancia en el cultivo de maíz (13).

Es por esto que el trabajo de investigación nace como el diseño de un robot móvil de servicio para aplicaciones de fumigación del cultivo de maíz en la provincia de Concepción de la región Junín.

1.2 Problemas de investigación

1.2.1. Problema general

- ✓ ¿Cómo sería el diseño de un robot móvil de servicio para aplicaciones de fumigación del cultivo de maíz en la provincia de Concepción de la región Junín?

1.2.2 Problemas específicos

- ✓ ¿Cómo sería el diseño de la parte mecánica del robot móvil de servicio para aplicaciones de fumigación del cultivo de maíz en la provincia de Concepción de la región Junín?
- ✓ ¿Cómo sería el diseño del sistema de aspersion del robot móvil de servicio para aplicaciones de fumigación del cultivo de maíz en la provincia de Concepción de la región Junín?
- ✓ ¿Cómo sería el diseño de la parte electrónica del robot móvil de servicio para aplicaciones de fumigación del cultivo de maíz en la provincia de Concepción de la región Junín?
- ✓ ¿Cómo sería el desarrollo de la estrategia de control del robot móvil de servicio para aplicaciones de fumigación del cultivo de maíz en la provincia de Concepción de la región Junín?

1.3. Objetivos

Para la consecución de la idea principal de esta tesis, se proponen los siguientes objetivos.

1.3.1. Objetivo general

- ✓ Diseñar un robot móvil de servicio para aplicaciones de fumigación del cultivo de maíz en la provincia de Concepción de la Región Junín.

1.3.2. Objetivos específicos

- ✓ Diseñar la parte mecánica del robot móvil de servicio para aplicaciones de fumigación del cultivo de maíz en la provincia de Concepción de la región Junín.
- ✓ Diseñar el sistema de aspersión del robot móvil de servicio para aplicaciones de fumigación del cultivo de maíz en la provincia de Concepción de la región Junín.
- ✓ Diseñar la parte electrónica del robot móvil de servicio para aplicaciones de fumigación del cultivo de maíz en la provincia de Concepción de la región Junín.
- ✓ Desarrollar la estrategia de control del robot móvil de servicio para aplicaciones de fumigación del cultivo de maíz en la provincia de Concepción de la región Junín.

1.4. Justificación

Gracias a los estudios realizados anteriormente en ingeniería y aplicando conceptos de robótica se va a realizar el diseño de un robot móvil de servicio para aplicaciones de fumigación del cultivo de maíz en la provincia de Concepción de la región Junín, sabiendo de que ya existen robots para el sector agrícola, pero para otros enfoques, mas no para aplicaciones de fumigación del cultivo de maíz y en las condiciones del terreno en la que comúnmente se cultiva este producto en la provincia de Concepción de la región Junín.

Por lo tanto, el resultado de la presente tesis sirve como antecedente para futuras investigaciones y de desarrollo de investigación de un robot y de desarrollo con enfoque al mercado nacional.

El trabajo de investigación realizado se justifica porque sirve de base para el desarrollo de un producto final del robot fumigador que beneficiará a los agricultores ayudando a controlar plagas, enfermedades y malezas en el cultivo de maíz con la actividad de fumigación; asimismo, aportar al conocimiento existente sobre el estudio de robot de servicio para aplicaciones de fumigación cuyos resultados podrán sistematizarse en un propuesta para poder ser incorporado como conocimiento a la robótica y sus aplicaciones, ya que con los

resultados del presente trabajo se está justificando la importancia y beneficio que tiene un robot, en este caso para aplicaciones de fumigación.

Con el diseño culminado y con la implementación en una segunda fase, este robot puede cumplir la riesgosa y rigurosa actividad de fumigación reduciendo directamente el tiempo de fumigación e indirectamente el costo económico, además de tecnificar el sector agrícola y prevenir el contacto cercano de los agricultores con los agroquímicos en la provincia de Concepción ya que en la zona es una de las principales fuentes de ingreso de la población.

Asimismo, se estaría evitando que a corto, mediano y largo plazo los agricultores contraigan enfermedades entre otros problemas que afecten la salud y la integridad de los agricultores.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.3. Estado del arte y antecedentes de la investigación

Durante los últimos años se han diseñado e implementado robots móviles de servicio para el sector agrícola con distintos enfoques y aplicaciones; a continuación, se da a conocer el aporte que brinda cada uno de estos robots, además del avance tecnológico con el que cuentan; para ello se da a conocer el estado de arte en el que se encuentran los robots móviles de servicio para el sector agrícola.

Asimismo, para respaldar el trabajo de investigación se consultaron varias investigaciones, entre ellas tesis y artículos científicos que estudiaron los robots móviles, enfocados al sector agrícola y de las cuales se seleccionaron ciertos aspectos que aportaron información significativa para el desarrollo del estudio, presentados a continuación.

2.3.2. Aspersion autopropeulsado 4630

Una de las empresas que tiene una gran trayectoria en el sector agrícola es la empresa John Deere fundada en 1868, ya que cuenta con 150 años de trayectoria fabricando máquinas para el sector agrícola. Uno de sus productos es la aspersion autopropeulsado.

Esta es una máquina monitoreada por un operario, ya que no es una máquina autónoma, pero cuenta con una tecnología considerable siendo una de sus características el contar con una pantalla *GreenStar*, permitiéndole al operario visualizar toda el área de fumigación desde distintos puntos de la máquina, además de ello, la posición de los aspersores se calibra en función a la siembra del terreno; sin embargo, el costo de esta máquina no es nada cómodo. A continuación, se muestran las características principales del robot (14).

Tabla 1. Características del aspersor autopropulsado 4630

Especificación	Parámetro
Aguilón	24 m
Tanque de solución	2.271 L
Velocidad de trabajo	20 km/h
Potencia	165 hp
Altura de operación	1.27 m

Fuente: John Deere



Figura 5. Aspersor autopropulsado 4630

Fuente: John Deere

2.1.2. OmniVeyor HV-100

Este es un robot que fue desarrollado por la compañía estadounidense *Harvest Automati3n* fundada en 2008.

Este robot est1 dise1ado para el transporte de plantas en invernaderos de la manera m1s ordenada posible, para ello un personal mediante una interfaz usuario–robot deber1 extender sobre el terreno una cinta especial detectable por el robot, luego deber1 colocar un contenedor para que de esta manera el robot tenga un referencia de d3nde colocar los contenedores con las plantas (15).

El robot cuenta con sensor láser que detecta a los contenedores acercándose al más cercano. El robot realiza esta actividad hasta que no haya más plantas que trasladar (15).



Figura 6. Robot omniVeyor Hv-100
Fuente: Harvest Automation Robot

La tecnología que este robot presenta es la capacidad de comunicarse de forma inalámbrica cuenta con un WMS (Sistema de gestión de depósitos) que es una herramienta para coordinar y optimizar los procesos y movimientos que este robot realiza.

Además, cuenta con un conjunto de sensores para la navegación y la prevención de colisiones y tiene la capacidad de manipular contenedores con pesos considerables.

A continuación, se muestran las especificaciones técnicas del robot mencionado.

Tabla 2. Especificaciones técnicas del robot Omniveyor Hv-100

Especificación	Rendimiento
Tareas	Espaciado
	Colección
	Consolidación
Rendimiento máximo	240 macetas / hora en condiciones ideales
Ambiente	Operación las 24 horas
	Bajo techo, en exteriores
	Suciedad / polvo / lluvia / rociadores
	Temp: 32 ° F 0° C, 105° F -76 °C.
Peso	100 lb. o 45.3592 kg.
Duración de la batería	4 a 6 horas.
Carga útil	Peso del envase: hasta 22 lb. o 9.97 kg.
Conectividad de datos Wi-Fi	Wi-Fi
	Ethernet

Fuente: Harvest Automation HV-100 Product Specification

2.1.3. Robot autónomo *Ladybird*

El robot *Ladybird* es un robot autónomo que fue desarrollado en Australia por un grupo de investigadores de la Universidad de *Sydney*, el grupo de investigadores estuvo a cargo del Dr. James Underwood.

Este robot se ha desarrollado para aplicaciones de monitoreo, control e intervención. Además, cuenta con sensores y cámaras para que, de esta manera, pueda designar el color y la forma 3D de las plantas en una huerta, incluso hasta la resolución de cada una de las hojas (16).

Además, el robot cuenta con un brazo manipulador el cual puede intervenir en la eliminación de malezas, que también puede realizar labores de cosecha. Este robot tiene un panel solar para la captación de energía y con esto se pueda suministrar energía a las baterías.

El tiempo de construcción de este robot tomó cerca de un año con un costo alrededor de un millón de dólares (16).

Para el Dr. James Underwood este robot económicamente no es viable ya que es demasiado costoso, sin embargo, menciona que fuera del aspecto económico, lo que se buscó con la implementación de este robot fue poner a prueba todos los sensores que se implemente en este robot para que en base a ello se puedan realizar futuras investigaciones (16).



Figura 7. Robot fumigador *Ladybird*
Fuente: Universidad de *Sydney*

2.1.4. Robot FAM

Este robot de nombre FAM (Fumigador Agrícola Móvil) fue desarrollado en México en el 2015. En el Instituto Tecnológico de Culiacán por el estudiante de Ingeniería Mecánica José Caleb de la Vara Navidad (17).

El robot tiene una altura de 120 cm, funciona con una motobomba, pulverizadora, tiene dos motores eléctricos de 12 voltios, el control de este robot es desde una computadora.

El sistema de aspersión trabaja en función a los de ultrasonidos, ya que cuando el sensor al detectar la presencia de la planta envía una orden a la motobomba activándola (17).

2.1.5. Robot agrícola *ecorobotix* para desyerbado

Este robot funciona sin ser controlado por un operador, su principal aplicación es para el deshierbado de las malezas en un cultivo, entre sus principales características que este robot tiene es que es un robot netamente eléctrico con baterías recargables por medio de paneles solares, este robot se orienta en el terreno mediante su cámara y el uso de un GPS, para la ubicación de las filas de cultivo, cuenta con un sistema de visión que identifica las malas hierbas de las plantaciones, cuenta con dos brazos robóticos que aplican el agroquímico a las malas hierbas (18).

Las dimensiones de este robot son de 2,20 x 1,70 x 1,30 (ancho x largo x alto), la velocidad promedio del robot es de 0.4m/s y la altura máxima de inclinación a la que puede desplazarse es hasta una altura de 25 cm (18).



Figura 8. Robot ecorobotix
Fuente: Ecorobotix, tecnología para el medio ambiente

DATOS TÉCNICOS

- 1 paneles fotovoltaicos
- 2 Cámara y visión artificial para dirección y detección.
- 3 Navegación por GPS y sensores.
- 4 sistema de accionamiento eléctrico
- 5 brazos robóticos rápidos con pulverizadores.
- 6 tanques para 2 productos diferentes

Figura 9. Datos técnicos del robot Ecorobotix
Fuente: Technical Data Robot Ecorobotix

2.1.6. Antecedente nacional

Los estudiantes Borja, Cornejo y Meza, estudiantes de Ingeniería Mecatrónica de la Universidad Ricardo Palma publicaron un artículo científico titulado “Robot móvil terrestre para aplicaciones de agroquímicos en invernaderos controlado” (19).

Los autores mencionan que hoy en día la implementación de robots en el área agrícola sería ineficaz en la mayoría de actividades ya que en su mayoría requieren una gran cantidad de materiales ya sea para la colocación de semillas

o fertilizantes, pero cuando se trata sólo de pulverizar fertilizantes un robot con dimensiones pequeñas es lo ideal debido al peso sobre el terreno de cultivo en comparación a un tractor (19).

El objetivo de este trabajo de investigación fue implementar un móvil para aplicaciones de agroquímicos en invernaderos controlados.

Esta investigación tiene una relación con la presente investigación debido a que el diseño que los autores realizaron tiene cuatro ruedas, utilizaron una bomba centrífuga para el bombeo del agroquímico, incorporaron un sensor de nivel en el tanque, mangueras de distribución, electroválvulas y aspersores (19).

El robot era netamente eléctrico, con voltaje de operación de 12 V y 24 V, para el control de sus motores hicieron uso del circuito integrado L293, este fue un robot teleoperado, para ello utilizaron un módulo de comunicación Rf 433Mhz, utilizaron como mando un *joystick*, el sistema de control del robot estuvo conformado por un arduino (19).

La estructura del robot fue netamente de metal.

Este trabajo de investigación no cuenta con resultados de prueba, esta investigación es considerada como una referencia ya que genera aportes para la investigación en la fase de diseño mecánico, electrónico y desarrollo del sistema de control para el robot, ya que también es un proyecto que está enfocado para el sector agrícola nacional (19).

2.1.7. Antecedente internacional 1

En julio de 2017, en Noruega, los señores Grismstad y From del departamento del ciencias matemáticas y tecnología de la Universidad de Noruega de Ciencias de la Vida, publicaron un artículo científico titulado “Thorvald II robot agrícola modular y configurable” (20).

En el artículo, los autores mencionan que hoy en día existen muchos robots que se han desarrollado para el sector agrícola, sin embargo estos robots están

diseñados con parámetros fijos; en base a todo lo mencionado los investigadores en el presente trabajo de investigación tuvieron como objetivo implementar un robot con el fin de cubrir la capacidad de labor de un tractor y que sea rearmable para la labor que sea necesaria (20).

El robot que se implementó cuenta con cuatro ruedas de suspensión pasiva para de esta manera asegurar una buena tracción en terrenos más difíciles, el robot tiene una masa de 200 Kg, la capacidad de carga del robot es de 200 Kg (20).

El robot es reconfigurable como se muestra a continuación:



Figura 10. Configuraciones del robot Thorvald II
Fuente: The Thorvald II Agricultural Robotic System

Thorvald II es completamente eléctrico, funciona con baterías de 48 V. Los investigadores concluyen de acuerdo con sus pruebas de que el robot funciona sin problemas en los terrenos de cultivo, en labores de labranza y fenotipado; realizando estas actividades de manera aceptable. Para trabajos futuros los autores buscan reducir el tiempo de rearme y darle más aplicaciones en el sector agrícola (20).

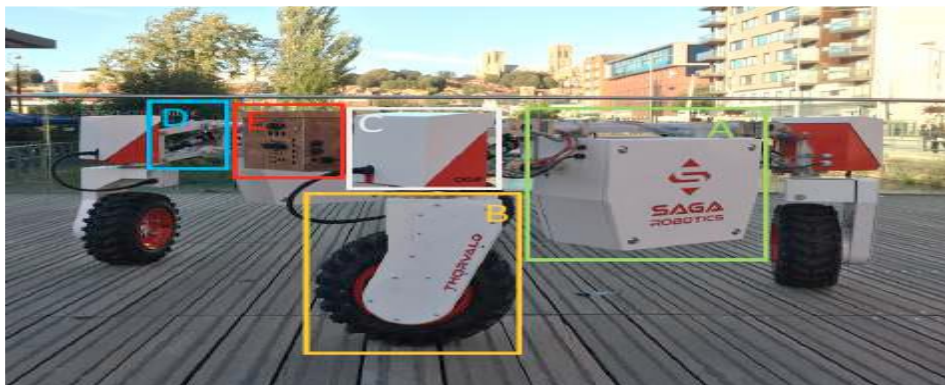


Figura 11. Robot Thorvald II
Fuente: The Thorvald II Agricultural Robotic System

2.1.8. Antecedente internacional 2

El 22 de marzo del 2017 un grupo de investigadores de distintas partes del mundo publicaron un artículo científico titulado “Evaluación de usabilidad de HRI de los modos de interacción para un robot teleoperado rociador robótico agrícola”. Los investigadores mencionan lo siguiente:

El uso de la gran mayoría de robots hasta hoy en día se realiza mediante teleoperación lo cual implica el desarrollo de una interfaz hombre-robot donde esta debe ser un sistema de interacción efectiva y eficiente, sin embargo en muchos trabajos que los investigadores de este trabajo han tomado como referencia es que en muchos sistemas de teleoperación una de las principales deficiencias que han tenido fue la interfaz hombre-máquina utilizados en robots semiautónomos de pulverización agrícola (21).

El objetivo de este artículo de acuerdo a los investigadores es probar varios tipos de sistemas de teleoperación haciendo uso de pantallas de Pc y pantallas montadas para la cabeza, hicieron uso de dos tipos de visión periférica (vista única, vistas múltiples) asimismo utilizaron dos tipos de entrada de control, una de ellas de Pc y otro de *gamepad* PS3 (21).

Las pruebas la realizaron en un robot pulverizador, en un cultivo de uvas, luego de varias configuraciones y pruebas con la ayuda de 32 colaboradores en campo, los investigadores concluyeron que fue más eficiente y el uso de vistas múltiples en las pantallas de monitoreo de una pantalla de Pc, asimismo les fue más eficiente el control por computador con teclados.



Figura 12. Pruebas de control teleoperado con una y varias vistas
Fuente: elaboración propia

2.1.9. Antecedente internacional 3

En marzo del 2014 los señores Godoy, Tabile y Vierira de la Universidad de San Pablo y Robson Pereira del Instituto Federal de Mato Grosso, publicaron un artículo científico titulado “Diseño e implementación de un robot agrícola móvil para aplicaciones de teledetección”. El objetivo principal del trabajo de investigación fue diseñar un robot móvil para aplicaciones de detección, el robot que diseñaron tiene las siguientes dimensiones 2 m de altura, 2.5 m de longitud con una capacidad de fumigar hasta 1.5 m de altura, la arquitectura del robot se muestra en la Figura 13.



Figura 13. Robot móvil agrícola
Fuente: elaboración propia

La ubicación de los elementos más pesados del robot, como las baterías, están a 50 cm del nivel del suelo, el sistema de locomoción del robot es mediante ruedas, para este caso utilizaron cuatro ruedas donde cada una tenía un control independiente, para ello hicieron uso de controlador *Roboteq AX2850*, este es un robot teleoperado con una distancia de control de hasta 5 km (22).

La velocidad máxima del robot es de 1.5 m/s, con un peso aproximado de 500 kg, la distancia en cada rueda de cada lado es de 2 m, de acuerdo a sus pruebas realizadas obtuvieron como resultado de que el robot tiene una autonomía de 4 horas en constante funcionamiento con el uso de 6 baterías de 70/h (22).

2.2.0. Antecedente internacional 4

En el año 2013, en Ecuador, León y Vásquez del departamento de Eléctrica y Electrónica de la Escuela Politécnica del Ejército publicaron un artículo titulado

“Diseño e implementación de un robot móvil autónomo y teleoperado para labores agrícolas Fase 1: fumigación de plantaciones de rosas”.

En este trabajo de investigación los autores dan a conocer que la población robótica en el sector agrícola es casi nula y por ello los investigadores buscan impulsar la robótica en este sector, además de identificar esta necesidad en la empresa HILSEA de ese país que les solicitó dicho robot. El objetivo principal de este trabajo de investigación fue diseñar e implementar un robot móvil para aplicaciones agrícolas.

Para la construcción del robot de nombre MI-T-NATOR iniciaron con el diseño, donde los autores consideran que el trabajo más arduo se dio en la configuración de las ruedas para poder distribuir la carga (23).

El cuerpo del robot contaba con una distribución en tres niveles, en el primer nivel ubicaron el fungicida, en el segundo nivel las fuentes de energía y, en el último nivel el sistema de control.

El sistema de locomoción estuvo compuesto por ruedas acopladas a motores DC, el control de los motores estuvo gobernado por el circuito integrado L298. El sistema de aspersión estuvo compuesto por una bomba centrífuga con una capacidad de bombeo de 2 litros por minuto, el control de este robot fue teleoperado, hicieron uso de un microcontrolador PIC18f452, en este caso para la detección de las plantas utilizaron sensores Sharp 2D120X (23).

Como resultado, los autores lograron implementar el robot, realizando pruebas en la empresa que lo había solicitado, los autores consideran que obtuvieron resultados considerables para la primera versión del mencionado robot.

2.2.1. Antecedente internacional 5

En el año 2008 en México en el Instituto Politécnico Nacional, Cerda, Estrada, Sánchez y Sandoval, bachilleres de la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica.

Presentaron una tesis titulada “Robot móvil para la fumigación en invernaderos”.

El objetivo principal de la tesis fue diseñar un robot para fumigación en invernaderos.

El robot que diseñaron tenía una estructura mecánica hecha de acero A-36, utilizaron dos motores DC (24).

Para la aspersión diseñaron un recipiente a presión con una capacidad de 55 L. Los autores obtuvieron como resultado principal la implementación del robot sometiéndolo a pruebas en la que concluyeron que el robot cuenta con una autonomía suficiente de trabajo para la fumigación de todo el invernadero. De la misma manera, este trabajo al igual que las demás investigaciones, es considerado como antecedente ya que aporta información muy importante para el diseño e implementación del robot (24).

2.2. Bases teóricas

2.2.1. El cultivo de maíz

El maíz es un cereal que tiene origen en el continente americano, el cultivo de este alimento ha permitido el desarrollo de muchas culturas del imperio incaico y en culturas de otros países, como la cultura Maya en Guatemala y los aztecas en México. Este cultivo fue difundido en otros continentes con el descubrimiento de América (25).

De acuerdo a la guía “Manejo tecnificado del cultivo de maíz en la sierra” este cultivo se puede dar hasta los 3 900 m s.n.m., además, se considera que es uno de los tres principales alimentos que el hombre utiliza para su alimentación ya sea de manera transformada o directa (25).

Los productos derivados más resaltantes son los siguientes:

- Harina de maíz
- Salvado de maíz
- Jarabe de maíz en alta fructosa

- Colorante caramelo
- Almidones
- Aceite de maíz

En el Perú se realizan dos tipos de cultivos de maíz, con mayor abundancia es el maíz amiláceo y el maíz amarillo duro (25).

2.2.2. El cultivo de maíz amiláceo blanco

Este tipo de maíz se cultiva generalmente en la sierra, la producción de este cultivo está destinado mayormente para el consumo en forma de choclo, cancha, mote, cremas y otras formas de consumo.

Siembra del maíz amiláceo blanco

La época de siembra del maíz en la zona de Concepción se da en los meses de agosto a octubre. Para la siembra, primero, se debe trabajar el terreno extrayendo todas las malezas que afectan dentro del terreno y en los alrededores (26). Luego de haber removido el terreno se realizan los surcos, esta etapa se puede realizar con yunta o tractor (26). Los surcos para una siembra deben tener una profundidad de 5 cm a 7 cm y la separación entre surcos debe ser de 80 cm a 100 cm, la distancia entre plantaciones deberá de ser de 40 a 50 cm. Los agricultores utilizan sistemas de siembra denominado siembra a golpes, este sistema consiste en poner la semilla de maíz de 2 a 3 granos por punto de 40 cm a 50 cm cada uno.



*Figura 14. Sistema de siembra a golpes
Fuente: Guía Técnica*

2.2.3. Cultivo de maíz amarillo duro

El cultivo del maíz amarillo duro se realiza en los valles, en la costa y la selva, este es un grano que presenta las siguientes propiedades: dura, semidura y anaranjado. Este es uno de los cultivos más importantes en el aspecto

socioeconómico del Perú. En comparación con el cultivo de maíz amiláceo, este presenta más estudios debido a su alta producción a nivel nacional. Este tipo de cultivo presenta las siguientes características morfológicas las cuales se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3. Características morfológicas del cultivo de maíz

Características morfológicas del cultivo de maíz	
Descripción	Dimensión
Tipo de híbrido	Triple
Altura de planta	207 cm
Altura de mazorca	104 cm
N.º de hojas	16
N.º de mazorcas por planta	1.4
Forma de mazorca	Cilindro cónico
Diámetro de mazorca	19.9 cm
tamaño de grano	6.29 cm
Color de grano	Amarillo naranja

Fuente: elaboración propia

Siembra de maíz amarillo duro

Este tipo de cultivo se da en invierno y verano con una densidad de plantación aproximada de 71 000 plantas/hectárea. La separación entre surco es de aproximadamente 80 cm y de 35 cm entre golpes. De acuerdo a la revista “Feruláceo” para un buen crecimiento y desarrollo del cultivo se deben colocar dos semillas por golpe (27).

Para una buena producción de este cultivo se deben realizar una serie de actividades durante el crecimiento y desarrollo del maíz, estas actividades son las siguientes.

Riego: para poder darle una madurez fisiológica al grano (27).



Figura 15. Riego del cultivo de maíz
Fuente: elaboración propia

Control de malezas: esta es una etapa muy importante en todo cultivo, ya que, si las malezas se salen de control, existe una alta probabilidad de perder el cultivo, para ello se debe trabajar bien la tierra antes de la etapa de siembra, seguidamente se deben eliminar constantemente las malas hierbas y más aún cuando el cultivo está en los primeros meses de crecimiento.

Existen muchos métodos para el control de malezas en el cultivo y justamente uno de ellos es la aplicación de un agroquímico como es el herbicida (27).



Figura 16. Control de malezas del cultivo de maíz
Fuente: elaboración propia

Fertilización: consiste en colocar fertilizantes cerca de la planta del maíz, la distancia aproximada es de 10 cm, lo que generalmente se usa para fertilizar los cultivos son: fósforo, potasio y nitrógeno (27).



Figura 17. Fertilización del cultivo de maíz
Fuente: elaboración propia

Control de plagas: el objetivo principal de este trabajo de investigación es justamente para esta etapa, el control de plagas consiste en aplicar agroquímicos específicamente en las plantas con el fin de evitar que plagas y enfermedades afecten considerablemente a las plantas (27).



*Figura 18. Control de plagas del cultivo de maíz mediante la fumigación
Fuente: elaboración propia*

2.2.4. Etapas de crecimiento del maíz amiláceo blanco

Tanto en la región Junín como en la provincia de Concepción el tipo de maíz que se siembra en mayor cantidad es el maíz amiláceo blanco. Es por ello que en este ítem de la tesis se darán a conocer las etapas de crecimiento del cultivo de maíz ya mencionado.

Existe una gran diversidad de maíz amiláceo como el morocho y el choclero, las características de estas dos variedades en toda la etapa de producción no presentan grandes diferencias; sin embargo, el diseño del robot está enfocado para cultivos de maíz amiláceo blanco de la variedad choclo (28).

Esta variedad de maíz presenta 3 etapas y 6 subetapas o también conocidas como fenologías, presentadas a continuación (28).

Etapa vegetativa

Comprende desde la siembra de la semilla hasta el nacimiento de las hojas, tiene un tiempo de duración de 85 a 120 días. Asimismo, durante esta etapa se presentan dos subetapas (28):

Siembra-emergencia: es la primera subetapa en la que se colocan las semillas en la tierra y de estas empieza a brotar una especie de raíces por donde crecerá la planta de maíz. Esta subetapa tiene una duración promedio de 15 a 20 días.



Figura 19. Subetapa de siembra - emergencia del cultivo de maíz
Fuente: elaboración propia

Emergencia–panoja: en esta subetapa las plantas de maíz empiezan a desarrollar los tallos, nudos, raíces y hojas. La duración de esta subetapa es de 85 a 90 días (28).



Figura 20. Subetapa de siembra-panoja del cultivo de maíz
Fuente: elaboración propia

Etapa reproductiva

Esta es la segunda etapa del cultivo de maíz, en esta etapa se da la aparición de panojas y espigas de manera completa, asimismo las plantas de maíz inician con la acumulación de reserva en las mazorcas. La duración de esta etapa se da de 15 a 20 días en promedio (28).

Tiene la siguiente subetapa:

Panoja–espiga: el cultivo de maíz ya se encuentra con una raíz más fuerte y un tallo robusto, además, ya se empiezan a formar las mazorcas.



Figura 21. Panoja del maíz
Fuente: elaboración propia

Etapa de maduración

Esta etapa de maduración se da en promedio de 60 a 70 días, en esta etapa el grano de maíz presenta tres estados de maduración: que es el estado lechoso, estado pastoso y grano duro. En estas tres etapas se presentan las siguientes tres subetapas (28).

Espiga–maduración: como se mencionó en esta subetapa se da la maduración de los granos, previo a esto se da el crecimiento y la maduración de la espiga (28).



Figura 22. Subetapa de espiga - maduración del cultivo de maíz
Fuente: elaboración propia

Estas tres etapas del cultivo de maíz tienen una duración promedio de 180 días equivalentes a 6 meses para su producción.

A continuación, se muestra una tabla de cómo se manifiesta el cultivo en cada mes de toda la etapa de producción de maíz.

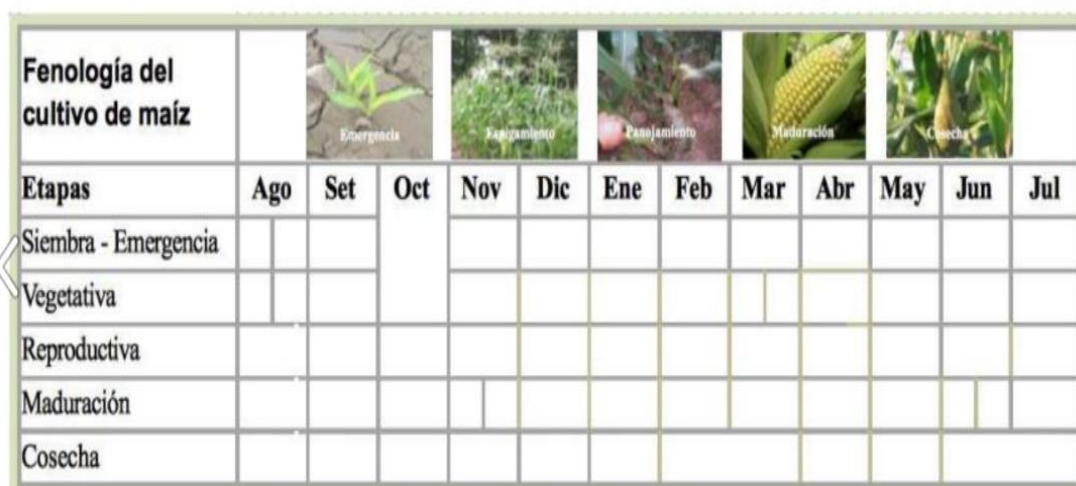


Figura 23. Manifestación física del cultivo de maíz por mes
 Fuente: elaboración propia

De acuerdo con las entrevistas realizadas sobre el periodo de cultivo en gran parte de la región Junín incluyendo la provincia de Concepción, la época de siembra se da inicio en los meses agosto a octubre (29).

Dentro de todo el periodo de siembra de maíz una problemática a combatir son las enfermedades y las malezas, la descripción de estas se presenta en el Anexo A (29).

2.2.5. Enfermedades que afectan el cultivo de maíz

Las enfermedades que se presentan en el cultivo de maíz se dan en función a las respuestas de los tejidos y las células vegetales frente a los factores ambientales como el cambio climático por la contaminación ambiental (29).

El daño de las enfermedades es más letal cuando se da en la etapa de siembra y estas afectan a las hojas de la planta.

Asimismo, el diseño del robot que se realizó en el presente trabajo de investigación estuvo enfocado para esta etapa del cultivo de maíz. A continuación, se darán a conocer algunas enfermedades más comunes que afectan a las hojas de las plantas de maíz (29).

Enfermedades que afectan a las hojas de plantas de maíz

En el caso del maíz amiláceo las enfermedades de las hojas están provocadas básicamente por tres patógenos que son:

- ✓ La roya de la hoja
- ✓ Mancha negra de la hoja
- ✓ Mancha parad de las hojas

En este caso las enfermedades se presentan durante todo el periodo de producción, cuando este hongo está en estado inmaduro presenta la apariencia de puntos de color amarillo, esta enfermedad mata las células de las hojas del maíz. Esta enfermedad es muy conocida como la “ranchar de maíz” (26).

Esta plaga es una especie de hongo que se encuentra en forma de esporangio y esporas, este es transportado por medio de los vientos, agua e insectos. Esta enfermedad es ocasionada por la humedad debido, mayormente, a la alta frecuencia de lluvias, estas enfermedades se originan en los meses de febrero y marzo (26).



*Figura 24. Maíz con afectado por la roya común
Fuente: elaboración propia*

El control para evitar y/o controlar esta enfermedad en las hojas del cultivo de maíz es desinfectando las semillas con fungicidas, asimismo se debe evitar generar microclimas en los terrenos de cultivo, para ello la distancia entre surco no debe de ser menor a 0.9 m hasta 1 m, se deben evitar los charcos de agua en los terrenos, para ello se debe orientar bien la dirección de los surcos en función a la ubicación de los terrenos (26).

Otras partes del cultivo de maíz que frecuentemente sufren daños son los granos, sin embargo, estas enfermedades se originan desde el crecimiento de

las plantas, y es ahí donde el robot con el diseño más apropiado tendrá que intervenir. A continuación, se presentan las enfermedades que afectan a los granos de maíz (26).

Enfermedad que afecta a los granos de maíz

Diplodia Zeae mydis: esta enfermedad se presenta en el tallo del cultivo del maíz, llegando hasta la mazorca.

Para el control de estas enfermedades del grano no existe un control especificado, sin embargo, se tienen que prevenir mediante la selección de semillas, el control de la humedad y la aplicación de agroquímicos en toda la etapa de crecimiento (26).



Figura 25. Mazorca de maíz afectado por la *dipodia Zeae mydis*
Fuente: elaboración propia

2.2.6. Plagas que afectan el cultivo de maíz

Otro de los problemas que afectan con mayor frecuencia a los cultivos de maíz son las plagas, existen una infinidad de plagas, a continuación, se describen las más comunes que se pueden encontrar en un cultivo de maíz.

Gusanos de tierra o gusanos cortadores: estos parásitos son más conocidos como gusanos debido a que tienen el hábito de cortar las plantas a nivel de la tierra, generalmente consumen los tallos y otras cortan las raíces, la apariencia física que presentan estos bichos es que en su mayoría son verdes o amarillos y a menudo presentan franjas (26).

Silwis: este tipo de gusano pasa por cuatro etapas de desarrollo (huevo, larva, pupa y adulto) este parásito afecta directamente el cuello de la planta de maíz y generalmente se da por la humedad del suelo.

Masticadores de hojas de maíz: estos bichos afectan específicamente a las hojas del cultivo ya que se los comen (26).

Escarabajo verde o lorito de las hojas: estos bichos afectan el cultivo cuando existe la ausencia de las lluvias (26).

Colloguero de maíz: estos bichos se comportan como cortadores y collogueros, estos bichos al igual que el gusano Silwis dañan al cultivo cortando la planta a la altura del cuello del maíz, este daño puede darse hasta la etapa de floración e incluso hasta que se produzca el choclo (26).

Picadores chupadores de la savia de la planta: uno de estos insectos es la cigarrita, la presencia de estos bichos se da durante todo el periodo de siembra (26).

Gusano choclero: este es otro de los bichos más comunes en los cultivos de maíz, estos gusanos afectan directamente a los granos del choclo (26).

En resumen, existen una gran cantidad de plagas que afectan el cultivo de maíz, sin embargo, uno de los medios de control más efectivos para las plagas es la fumigación con insecticidas. No solo la presencia de enfermedades y parásitos son los problemas que un agricultor debe combatir, también la presencia de malezas en un cultivo de maíz es inevitable e impredecible. A continuación, se darán a conocer los tipos de malezas que se presentan con mayor frecuencia en un cultivo de maíz (26).

2.2.7. Malezas en los cultivos de maíz

Una maleza o una mala hierba es una planta que crece en el lugar no indicado, estas plantas por su naturaleza vuelven a crecer por más que son extraídas constantemente.

El principal daño que ocasionan las malezas es la interferencia en los cultivos y provoca daños directos e indirectos (26).

Daños directos

Los daños directos que ocasionan las malezas son las siguientes:

- ✓ Competencia por luz (30).
- ✓ Competencias por agua más aún en épocas de sequías (30).
- ✓ Competencias por los nutrientes de la naturaleza (30).

Daños indirectos

Los daños indirectos que ocasionan las malezas son las siguientes:

- ✓ Baja calidad de productos (30).
- ✓ La eficiencia del uso del terreno de siembra es reducida (30).
- ✓ Afectan la salud de los agricultores y animales (30).

2.3. La fumigación del cultivo de maíz

Como se mencionó, el primer enemigo de un agricultor en el departamento de Junín y en la provincia de Concepción son las plagas y las enfermedades y a ello hay que sumarle el crecimiento de las malas hierbas que muchas veces son incontrolables. Según el Instituto Nacional de Innovación Agraria estos problemas hacen que la producción se reduzca entre un 40% y 50% (30).

Por ello la producción dependerá mucho del control de las plagas, enfermedades y las malezas. Sin embargo, por cuestiones económicas, tiempo y alteraciones ambientales muchas veces los agricultores no logran controlar del todo los problemas mencionados (29).

Asimismo, la agricultura de hoy depende mucho del uso de productos químicos, ya que sin el uso de estos es casi imposible tener la producción esperada, ya que estos productos tienen efectos rápidos y eficientes (31).

La fumigación del cultivo de maíz consiste en la aplicación de productos agroquímicos sobre las hojas de los cultivos, con el fin de poder controlar las

plagas, enfermedades y malezas, la fumigación se realiza con el fin de poder mejorar la producción del maíz.

Para los expertos del sector, la aplicación de productos específicos por medio de fumigación en el caso del cultivo de maíz se realiza en la etapa crítica que dura aproximadamente 60 días (32).

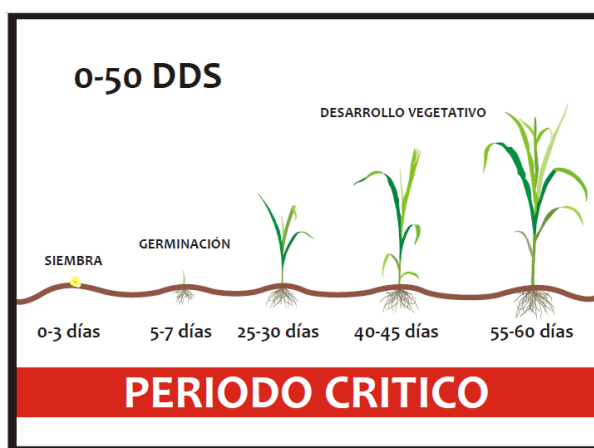


Figura 26. Periodo crítico del cultivo de maíz
Fuente: elaboración propia



Figura 27. Fumigación de maíz
Fuente: elaboración propia

2.3.1. Control de plagas, enfermedades y malezas en el cultivo de maíz

Como se mencionó, desde un inicio, el problema principal a combatir en el cultivo de maíz es la presencia de plagas, enfermedades y las malezas. Si bien es cierto existen varias formas de control como es el control químico, el control mecánico y control biológico entre los más utilizados (33). En este caso se va a tomar más énfasis al control químico debido a que este trabajo de investigación está enfocado al diseño de un robot de fumigación (33).

Por ello, a continuación, se va a explicar en qué consiste el control químico.

Control químico

El control químico es una actividad que consiste en la aplicación de productos agroquímicos a los cultivos. En el sector agrícola es utilizado debido a su eficiencia y rapidez para poder controlar los tres problemas más fundamentales ya mencionados. Este control es muy riesgoso para los agricultores sin embargo la necesidad hace que los agricultores la realicen (33). Existe una gran variedad de agroquímicos que se utilizan en el cultivo de maíz, y son (33):

Agroquímicos que se utilizan en el cultivo de maíz

Herbicidas: este agroquímico es utilizado para poder eliminar las malas hierbas, que afectan al cultivo (34).

Fungicidas: este tipo de producto se utiliza para combatir las enfermedades que afectan al cultivo (34).

Insecticidas: son utilizados para combatir y controlar las plagas (34).

Nematicidas: este agroquímico es utilizado para la eliminación de gusanos y bichos del suelo (34).

Fertilizantes: este agroquímico sirve para combatir el desarrollo de las plantas de maíz ya sea para mejorar la raíz, las hojas, y para el desarrollo de los granos con el fin de tener un mejor producto (34).

Fitorreguladores: es comúnmente empleado para regular el crecimiento de las plantas a través de hormonas para poder repotenciar el desarrollo y crecimiento de estas (34).

Existen en el mercado una serie de agroquímicos para distintas aplicaciones dentro del cultivo de maíz, sin embargo, para los agricultores el uso de estos agroquímicos se tiene que dar en etapas apropiadas para un control óptimo, a continuación, se darán a conocer las etapas más apropiadas para realizar el trabajo de fumigación en el cultivo de maíz (34).

2.3.2. Etapas de fumigación del cultivo de maíz

Para los agricultores en su mayoría, el cultivo de maíz es como criar a un hijo, el cuidado del cultivo de maíz empieza desde que se coloca la semilla sobre los surcos. En una entrevista realizada al Ing. Gilberto Gamarra, dio a conocer que el cultivo de maíz no tiene periodos fijos para la fumigación ya que las plagas, enfermedades y malezas se presentan de manera imprevista, ya sea con frecuencias altas o bajas. Sin embargo, el cultivo de maíz tiene un periodo crítico que son los dos primeros meses, y es ahí donde más se debe cuidar la siembra, debido a que las malezas, plagas y enfermedades afectan a los cultivos con mayor frecuencia y mucho dependerá la producción del cuidado del cultivo en esta etapa (29).



*Figura 28. Cultivo de maíz después de 45 días de siembra
Fuente: elaboración propia*

A continuación, se darán conocer las fases de la etapa crítica del cultivo de maíz.

Siembra: en esta fase se colocan las semillas sobre los surcos. Es cuando el maíz no presenta ninguna formación física como altura y volumen (32).

Germinación: la germinación es la fase donde la semilla empieza a reproducirse, dentro de la germinación se encuentra la emergencia, donde se da la aparición de la primera planta sobre la tierra, en esta fase el cultivo presenta una altura variable de 5 a 10 centímetros (32).

Desarrollo vegetativo: dentro del desarrollo vegetativo se da el crecimiento de la panoja y la espiga, en esta fase la planta de maíz presenta muchas variaciones

físicas, su altura varía de 10 cm a 100 cm aproximadamente. Con un volumen de 50 cm³ (32).

2.4. Robot

De acuerdo al libro de Introducción a la Robótica de Subir Kuma Saha el término robot se define como un manipulador reprogramable capaz de mover piezas, herramientas entre otros dispositivos a través de sus movimientos variables reprogramados (35).

2.4.1. Clasificación de los robots de acuerdo a su estructura

La clasificación de los robots de acuerdo a muchas revistas se da en función a su estructura, sin embargo, no presentan diferencias considerables. En el presente trabajo de investigación se da a conocer la clasificación de los robots en función a su estructura debido a que está muy ligado con el tema de investigación (36).

La clasificación de los robots según su estructura se da de la siguiente manera.

2.4.1.1. Los robots poliarticulados

Dentro de esta clasificación podemos encontrar a los robots industriales, cartesianos y a los manipuladores. La característica principal de estos robots es que realizan sus trabajos en lugares específicos (36).

2.4.1.2. Los robots móviles

Los robots móviles son autómatas que poseen capacidades considerables en cuanto a desplazamiento, muchas veces el diseño de estos tipos de robots está fabricado en base a carros, una de sus mayores características es que posee un sistema de locomoción rodante. La elección del sistema de locomoción dependerá de acuerdo con el medio en donde se quiere que el robot se desplace, puede ser: terrestre, marino o aéreo (36).

En este caso el robot a diseñar tendrá un sistema de locomoción por ruedas ya que se va a desplazar por superficies terrestres.

2.4.1.3. Los robots androides

Estos son robots que intentan reproducir de manera completa o parcial el movimiento de los seres humanos, se caracterizan por la locomoción bípeda que presentan (36). Este tipo de robot es el más complejo debido a que requiere de sistemas complejos de control dinámico.

2.4.1.4. Los robots zoomórficos

Estos robots se caracterizan por su sistema de locomoción puesto que intentan reproducir los movimientos de los seres vivos, dentro de estos se pueden encontrar dos tipos de robots que son (36):

- ✓ Robots caminadores
- ✓ Robots no caminadores

2.4.1.5. Los robots híbridos

Estos robots corresponden a los de difícil clasificación debido a que muchas veces presentan una combinación de varias estructuras. Existe una clasificación de los robots, dentro de esta clasificación el robot que se va a diseñar se encuentra dentro del grupo de los robots móviles, sin embargo, como el robot será de servicio, a continuación, se dará a conocer qué es un robot móvil de servicio, las ventajas y desventajas (36).

2.5.1. Robots móviles de servicio (R.M.S.)

Los robots móviles de servicio son robots que cuentan con un sistema de locomoción ya sea por medio de ruedas, patas u orugas, estos robots se caracterizan por realizar servicios a modo de tareas que muchas veces son de difícil acceso, muy distantes o de alto riesgo (36).

Asimismo, estos robots procesan la información a través de sensores para luego procesarla de manera autónoma o asistida (36).

A continuación, se darán a conocer las ventajas y desventajas de los robots móviles de servicio.

2.5.1.1. Ventajas de los R.M.S.

Las ventajas de los robots móviles de servicio son las siguientes:

- ✓ Desarrollan sus actividades de manera uniforme y eficaz.
- ✓ Desarrollan tareas riesgosas con velocidades regulables.
- ✓ Realizan las tareas asignadas sin cansancio (36).

2.5.1.2. Las desventajas de los R.M.S.

Las desventajas de los robots móviles de servicio son las siguientes.

- ✓ Sustituir al ser humano en sus labores.
- ✓ Crear más empleo y/o generar desempleo (36).

2.5.1.3. Arquitectura de un robot móvil de servicio

Un robot móvil de servicio requiere de la unión de distintos elementos que mediante un trabajo de manera sincronizada logra un objetivo común. La arquitectura que requiere un robot móvil de servicio para la fase de diseño y posteriormente para la implementación es la siguiente (37):

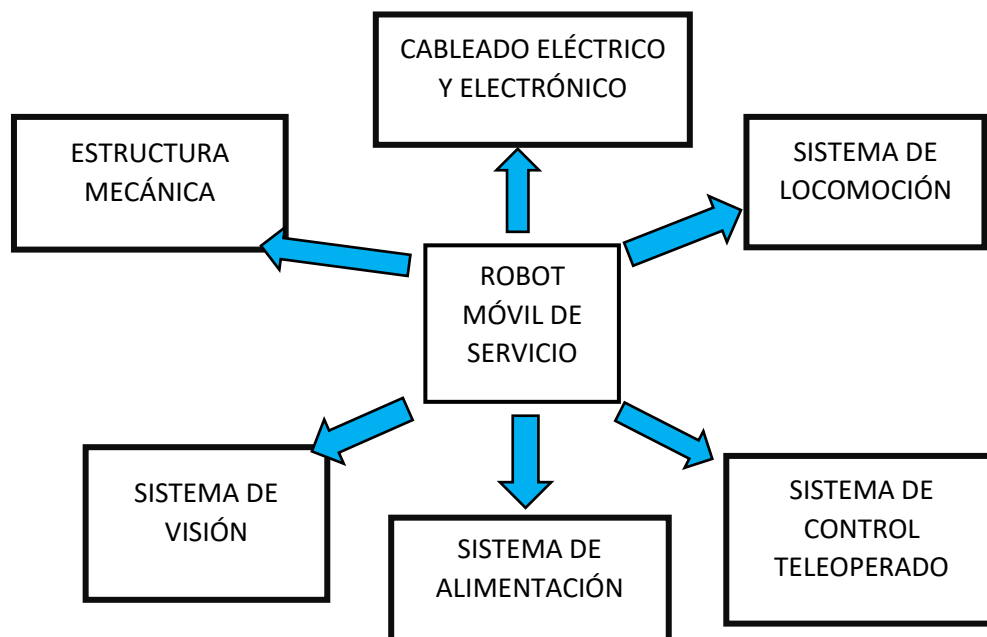


Figura 29. Arquitectura de un robot móvil
Fuente: elaboración propia

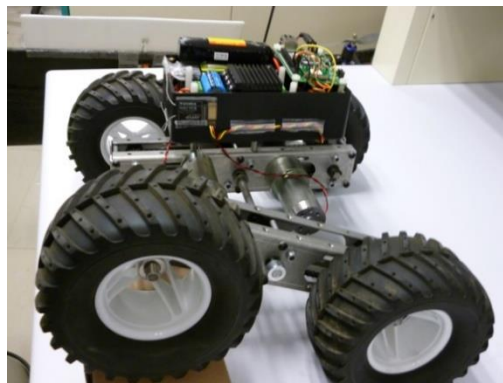
La Figura 29 mostrada presenta los sistemas básicos que se consideran en el diseño de un robot móvil de servicio, a continuación, cada sistema será explicado (37):

Estructura mecánica

Mecánicamente un robot está compuesto por una serie de eslabones o elementos que, unidos mediante articulaciones, forman una especie de esqueleto en el robot; la estructura mecánica del robot tendrá la función de almacenar y sostener a los actuadores, dispositivos electrónicos, eléctricos, actuador hidráulico y electrohidráulicos (37). Respecto al material este debe ser resistente y lo más ligero posible.

Sistema de locomoción

El sistema de locomoción en robots móviles dependerá mucho de la superficie por donde se desplazará. Sin embargo, los sistemas de locomoción más comunes para este tipo de robots son por medio de orugas y ruedas, esto es debido a que son más fáciles de controlar, tienen un buen desempeño en superficies terrestres y son fáciles de construir (37).



*Figura 30. Locomoción por ruedas
Fuente: elaboración propia*

Cuando se menciona el término sistema de locomoción se debe definir qué tipo de tracción y motores que se van a utilizar (37).

Sistemas de tracción

En el caso de sistemas de tracción por ruedas, estas se clasifican en función al número de ruedas y a la posición de las ruedas directrices, la elección de la configuración dependerá mucho del objetivo y el área por donde el robot se va a desplazar (37).

Tracción diferencial

La tracción diferencial es un tipo de configuración, esta consta de dos ruedas motrices las cuales están montadas mediante un eje, sin embargo, estas son movidas por motores independientes, el desplazamiento del robot se dará hacia adelante o hacia atrás, cuando estas giren al mismo tiempo y en el mismo sentido, pero para poder realizar giros las ruedas necesariamente tiene que hacerlo a velocidades distintas (37).

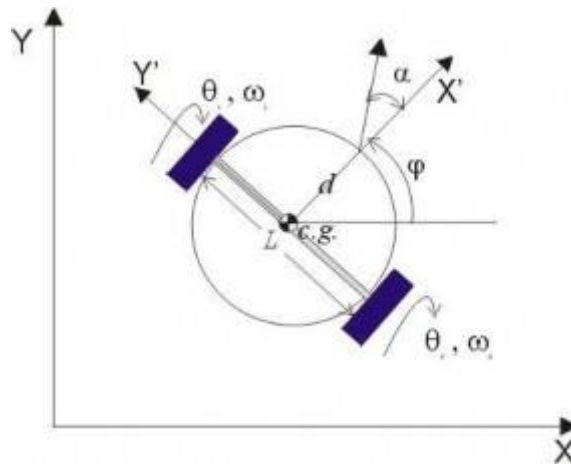


Figura 31. Parámetros geométricos de tracción diferencial
Fuente: elaboración propia

Dirección Ackerman

Este sistema de locomoción consiste en usar dos ruedas motrices y dos ruedas directrices en la parte delantera (37).

Configuración Ackerman

$$\dot{x} = u_1 \cos \theta$$

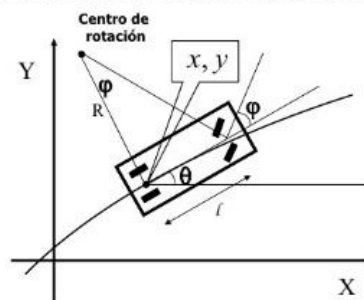
$$\dot{y} = u_1 \sin \theta$$

$$\dot{\theta} = \frac{u_1}{l} \tan \varphi$$

$$\dot{\varphi} = u_2$$

Restricción no holónoma

$$\dot{x} \sin \theta - \dot{y} \cos \theta = 0$$



u_1 : Velocidad del vehículo (ruedas traseras, motrices)
 u_2 : Velocidad angular de las ruedas de dirección

Figura 32. Configuración de tracción Ackerman
Fuente: elaboración propia

Locomoción síncrona

La locomoción síncrona está enfocada en un diseño en el que todas las ruedas son directrices y motrices sea cual sea la cantidad de estas. En este caso todas las ruedas se orientan en la misma dirección y giran a la misma velocidad. En este sistema cuando se quiere que el robot cambie de dirección todas las ruedas giran a su alrededor de su propio eje vertical, lo cual hace que la dirección del robot cambie, pero su chasis sigue apuntando a la misma dirección que tenía en un principio (37).

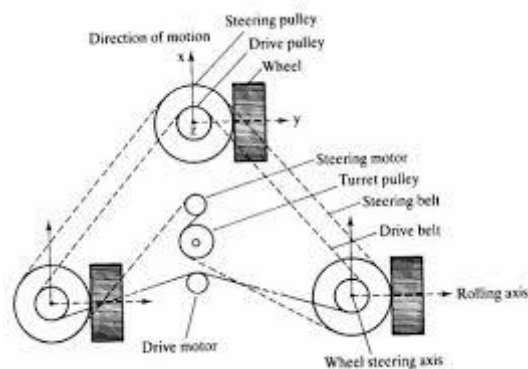


Figura 33. Sistema de locomoción síncrona
Fuente: elaboración propia

Motores eléctricos

Un actuador es un mecanismo que permite al efector realizar una acción. En robótica el actuador más utilizado es el motor eléctrico de corriente continua, motorreductores, servomotores y motores paso a paso, debido a las ventajas que estas presentan (37):

- ✓ Fáciles de controlar
- ✓ Precisos
- ✓ Sencillos
- ✓ Buena receptibilidad
- ✓ Versatilidad

La elección del motor que se va a usar va a depender principalmente de la aplicación y de las características que tiene el robot a diseñar: ya sea buen torque, velocidad, alta precisión, etc. (37).

Motores paso a paso

Este es un dispositivo electromecánico, el cual convierte impulsos eléctricos en desplazamientos angulares, a diferencia del motor de corriente continua, esta funciona en base a grados o pasos. Los ángulos de giro de este motor pueden variar de 90° a 1.8° . La característica principal de estos motores es que presentan alta precisión (37).



Figura 34. Motores paso a paso
Fuente: afel.cl

Motores CC

El motor de corriente continua es una máquina que convierte la energía eléctrica en energía mecánica, el cual se manifiesta mediante giros rotativos, este motor se caracteriza por su fácil control de velocidad y posición. Uno de los métodos más comunes para poder controlar la velocidad es mediante la modulación por ancho de pulso (PWM) (37).



Figura 35. Motor de corriente continúa
Fuente: zuendo.com

Servomotores

Es un actuador mecánico, está compuesta por un motor y un conjunto de engranes que permiten reducir su velocidad y aumentar su torque. Una de las características principales es que tiene un rango restringido de giro que es de 0° a 180° , son actuadores pequeños livianos y de gran torque, al igual que el motor de corriente continua, su control es por modulación por ancho de pulso (PWM) (37).



Figura 36. Servomotor de 12V
Fuente: 330ohms.com

Motoreductores

El motor reductor es un actuador mecánico que está compuesto por un motor eléctrico y una serie de engranajes que van unidos al eje del motor, con el fin de reducir el número de rpm del motor y mantenerlo a una velocidad constante (38).



Figura 37. Motorreductor DC de 24 V
Fuente: aliexpress.com

Sistema de alimentación

Todo sistema autónomo debe contar con su propia fuente de energía, para así suministrar energía a los demás subsistemas. La fuente de energía debe almacenar y suministrar la suficiente energía para una autonomía considerable del robot.

Lo más recomendable es usar baterías recargables ya que son más fiables, económicas y rentables. Dentro del mercado existen una gran variedad de batería, a continuación, se presentan las más comunes (37).

Batería de iones de litio

Las baterías de litio son baterías que se caracterizan por su alta densidad de carga (larga vida). Asimismo, estas baterías producen un alto voltaje por celda, donde cada unidad puede producir de 3.6 y 3.7 V (39).



Figura 38. Batería de litio
Fuente: autosolar.es

Batería de plomo-ácido

Las baterías de plomo-ácido se caracterizan por ser comerciables y de bajo costo. Pero también presenta una densidad baja de descarga, se debe tener bastante cuidado con la ubicación de las baterías ya que una mala ubicación puede generar fuga de ácido (40).

Estas baterías no permiten una carga rápida ya que la carga dura entre 8 y 16 horas. El contenido de plomo y ácido es muy dañino para el medio ambiente (40).

Estas baterías tienen este nombre debido a que utilizan una disolución de ácido sulfúrico (40).



Figura 39. Batería de plomo-ácido
Fuente: amazon.com

Sistema de visión

El sistema de visión abarca al conjunto de elementos que va a proveer información al robot del área por donde se está desplazando, la mayoría utilizan una cámara. El uso de una cámara en el robot móvil de servicio puede tener dos usos, ya sea para la toma de decisiones por el mismo robot o para el usuario, transfiriendo las imágenes en tiempo real para ver todo lo que está alrededor del robot y poder tomar decisiones (37). Para este caso el uso del sistema de visión del robot se dará por medio de cámaras. Para ello se van a colocar cinco cámaras en puntos estratégicos del robot (37).



*Figura 40. Cámara Wifi
Fuente: amazon.com*

2.6.1. La teleoperación

La teleoperación es una interfaz que permite a un operador manipular un robot desde una determinada distancia (41).

2.6.1.1. Elementos de un sistema de teleoperación

Un sistema de teleoperación está constituido básicamente por los siguientes elementos (41).

Operador–teleoperado

Este elemento define que desde una cierta distancia se realiza el sistema de control, puede ser de manera continua o intermitente (41).

Dispositivo–teleoperado

Es la máquina controlada en la zona donde trabaja (41).

Interfaz

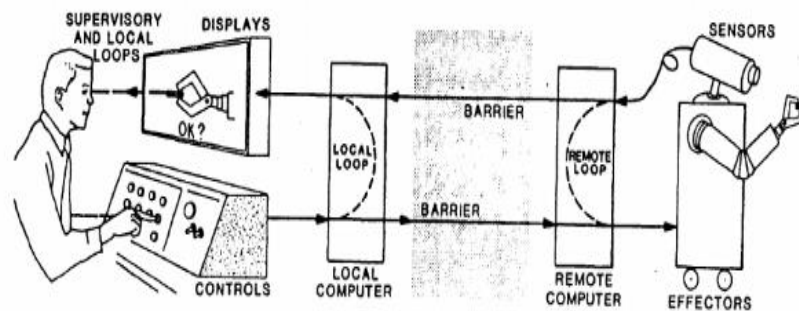
La interfaz es un conjunto de dispositivos con el cual se logra la interacción del operador con el sistema teleoperado (41).

Control de canales de comunicación

Este elemento es un conjunto de dispositivos que mediante la configuración de cada una de ellas modulan y transmiten señales entre la zona remota y la zona local (41).

Sensores

Los sensores son dispositivos que captan una determinada variable física para luego enviarla al controlador y utilizarla en la interfaz y el control (41).



*Figura 41. Elementos básicos de un sistema de teleoperación
Fuente: elaboración propia*

2.6.1.2. Arquitecturas de teleoperación

En teleoperación las diversas arquitecturas que estas presentan se diferencian básicamente por el tipo de información que intercambian entre el emisor y el receptor (42).

De acuerdo con la información que intercambian el maestro con el esclavo se muestra la siguiente clasificación (42).

Esquema posición–posición: la ubicación del esclavo se determina a partir del maestro o de manera viceversa (42).

Esquema fuerza–posición: en este caso la posición del esclavo se genera por intermedio del maestro, y ya solo se requerirá medir las fuerzas del esclavo (42).

Esquema fuerza–fuerza: las trayectorias del maestro y el esclavo se determinan en función a las lecturas de las fuerzas del maestro y del esclavo (42).

Esquema cuatro canales: en este caso el maestro, como el esclavo, intercambia información tanto en posición como en fuerza (42).

2.6.1.3. Clasificación de los sistemas teleoperados

La clasificación está basada en las partes que forman: la estación de control, el tipo de comunicación o las características que tiene el sistema esclavo (42).

- ✓ Distancia de trabajo
- ✓ Volumen de tarea
- ✓ Mecanismos del manipulador
- ✓ Tecnología de control
- ✓ Interfaz hombre–máquina

2.6.1.4. Componentes de los sistemas teleoperados

Los componentes de un sistema teleoperado son los siguientes:

Manipulador: parte del sistema que realiza la labor (42).

Controlador: es el corazón del sistema teleoperado, ya que controla los movimientos del manipulador (42).

Fuente de energía: es el componente con la que se alimentan los actuadores (42).

2.5. Definición de términos básicos

2.5.1. Definiciones básicas

- **Actuador:** componente con capacidad de generar cambios en un sistema.
- **Aspersión:** acción de asperger un líquido mediante la cual el líquido llega a las plantas en forma de lluvia localizada.
- **Aporcado:** labor agrícola que consiste en acumular tierra en la base del tallo de una planta formando así un pequeño montículo de tierra.

- **Controlador:** definido como algoritmo ecuación o elemento que permite definir y ajustar el comportamiento de un sistema.
- **Electroválvula:** instrumento de regulación y control de fluido gobernada por medio de un solenoide.
- **Fumigación:** se define como tratamiento de control de plagas basado en el uso de agentes químicos.
- **Herbicidas:** productos químicos que se utilizan para interrumpir el desarrollo de plantas indeseadas en terrenos de cultivos.
- **Locomoción:** acción de trasladarse de un lugar a otro, para trasladarse en el espacio.
- **Pesticida:** producto químico que se utiliza para destruir, prevenir, repeler o mitigar alguna plaga.
- **Robot:** máquina programable multifuncional controlada por un ordenador, diseñado para mover materiales, piezas o dispositivos especializados por medio de movimientos programados.
- **Sensor:** componente electrónico que permite obtener medidas físicas, transformándola en otra variable, estas pueden ser: resistencia, voltaje, etc.
- **Teleoperación:** operación o interacción a distancia a una determinada máquina compuesta básicamente por un maestro y un esclavo.

CAPÍTULO III

RESULTADOS ESPERADOS Y METODOLOGÍA

3.1. Resultados esperados

En el presente trabajo de investigación aplicando conocimientos de ingeniería y conceptos de robótica móvil al concluir el desarrollo de la tesis se espera contar con el diseño de todas las partes que compongan el robot móvil de servicio para aplicaciones de fumigación del cultivo de maíz en la provincia de Concepción de la región Junín.

Para lograr el resultado principal que es el diseño del robot, se deberá desarrollar una serie de análisis y diseños por subsistemas, estos son:

✓ Diseño mecánico

- Todas las secciones mecánicas que tendrá el robot deben soportar la carga del agroquímico, las baterías y el sistema mecánico del sistema de aspersión frente a las inclinaciones que un terreno de cultivo presenta.
- La arquitectura y las dimensiones de la parte mecánica del robot en general deben contar con las dimensiones y resistencias más apropiadas para desplazarse sin dañar el cultivo y al momento de fumigar.

En cuanto a todas las secciones que el robot presenta tenemos:

- El tanque debe tener la capacidad de soportar el peso y los movimientos que el líquido agroquímico genera al desplazarse.
- La estructura del soporte del tanque debe tener la forma adecuada y ser lo suficientemente resistente frente a las cargas que tendrá sobre ella.
- Los ejes deben tener las dimensiones adecuadas para soportar las cargas y esfuerzos que el robot tendrá y generará respectivamente durante la actividad de fumigación.
- La parte mecánica del sistema de aspersión debe regularse en función a la altura que presentan las plantaciones de maíz.
- La parte mecánica del sistema de aspersión debe estar en la capacidad de configurarse para el tipo de fumigación que se requiere en los cultivos insecticidas y/o fungicidas y herbicidas.
- El robot se debe desplazar a la velocidad de 0.5 m/s tomando como referencia la velocidad de fumigación tradicional.

✓ **Diseño del sistema de aspersión**

- El robot debe contar una bomba hidráulica que bombee la cantidad necesaria de líquido agroquímico para suministrar el agroquímico a los cinco aspersores.
- El robot debe contar con mangueras y uniones para poder distribuir el líquido agroquímico hacia los cinco aspersores.

✓ **Diseño electrónico**

- El sistema debe contar con reguladores de voltaje para suministrar la energía adecuada para todos los dispositivos que componen la parte electrónica del robot.
- Las conexiones eléctricas deben ser las más apropiadas para poder realizar cambios, reparaciones y o mantenimientos.
- El robot debe ser accionado por señales eléctricas de (5 V, 12 V, y 24 V) provenientes del sistema de aspersión y operación.

✓ **Desarrollar la estrategia de control**

- El sistema de control debe contar una interfaz que permita al usuario poder controlar y monitorear el funcionamiento y el trabajo de fumigación del robot en el cultivo de maíz.
- El controlador debe estar en la capacidad de administrar y accionar los actuadores correspondientes para el funcionamiento adecuado de los sistemas de aspersión.
- El controlador debe estar en la capacidad de controlar los actuadores que desplazan y orientan al robot dentro del terreno de cultivo.

Luego del diseño de cada subsistema se va a integrar cada una para lograr el diseño completo del robot.

3.2. Alcance de la investigación

Debido a que el enfoque de la tesis es realizar el diseño de un robot, se debe tomar en cuenta ciertos parámetros y requerimientos, los cuales se mencionan a continuación:

El robot por diseñar debe estar en condiciones de realizar la actividad de fumigación con mayor rentabilidad y eficiencia en el aspecto económico frente a la fumigación tradicional de cómo se realiza en Concepción.

Para ello se requiere que el robot tenga:

Diseño de la parte mecánica y que el sistema de locomoción soporte y se adapte a los parámetros que solicitan los terrenos de cultivo de maíz para ser fumigados en menor tiempo, más efectivos y eficaz; para ello se deberá considerar el torque necesario de los motores para mover las ruedas, la energía necesaria, las dimensiones de la estructura en general, la cantidad de líquido agroquímico que va a llevar, desplazarse sin alterar considerablemente el desplazamiento del robot frente a inclinaciones menores a 30° y la velocidad del robot debe ser como mínimo la misma velocidad a la que trabaja un agricultor en la labor de fumigación.

El sistema de locomoción del robot a diseñar tendrá que desplazar al robot por el espacio que hay entre los surcos del cultivo, teniendo en cuenta que para un buen cultivo de maíz la distancia de separación entre surcos es de 90 cm a 100 cm.

Asimismo, el robot debe contar con un sistema mecánico robusto y resistente a las cargas hidráulicas y a vibraciones para transitar en superficies estrelladas y muchas veces con obstáculos, además que permita al robot tener una estabilidad y direccionamiento que no dañe el cultivo y exijan al robot a realizar movimientos críticos.

Se espera lograr el diseño del sistema de aspersión para fumigar cinco surcos por recorrido, con una dimensión de cuatro metros de eje en donde estarán ubicados las boquillas de los aspersores, considerando el estado del terreno y el crecimiento de las plantas de maíz, para ello el sistema de aspersión será regulable en función a un promedio de los cultivos, el sistema hidráulico será activado mediante sensores para determinar las existencias de plantas en los surcos.

De igual manera se espera lograr el diseño y configuración de la parte electrónica del robot móvil, para mediante ellas, controlar los motores, la bomba, entre otros actuadores, considerando los parámetros más importantes como es el voltaje de operación de 24 voltios y una corriente que estará oscilando de los 2A. a 35^a para los motores y de igual manera para la bomba hidráulica.

Se espera desarrollar la estrategia de control del robot móvil de servicio. Teniendo muy en cuenta que será un sistema teleoperado con una distancia máxima aproximada de 200 m, y que pueda ser monitoreado mediante una cámara por un agricultor u otra persona que quiera satisfacer la necesidad de fumigación en sus terrenos.

Para el sistema de teleoperación se deberá desarrollar una interfaz HMI que genere seguridad, confianza y facilidad al usuario.

La siguiente fase del diseño del robot será la simulación de las partes más críticas del robot, donde se verá la viabilidad y eficiencia del robot, para luego realizar la contratación de resultados y dar a conocer las conclusiones.

En resumen, al culminar este trabajo de investigación se debe contar con los planos de todos los sistemas que compongan el diseño del robot de servicio para aplicaciones de fumigación además de los diagramas de flujo para el control del robot teniendo en cuenta los parámetros y restricciones que requiere y presenta la fumigación de maíz en terrenos de cultivo como los de la provincia de Concepción.

Para el desarrollo de un diseño eficaz al cumplir la actividad de fumigación sin inconvenientes considerables, eficiente al fumigar ya sean las plantaciones de maíz o a las malas hierbas, coordinado, económico, funcional y viable en cuanto a su implementación y operación en los terrenos de cultivos; se hace uso de un plan de proyecto para trabajos de diseño, el cual se da a conocer a continuación.

3.3. Plan de proyecto

El plan del presente trabajo de investigación se ha desarrollado en base a las recomendaciones de la Asociación Alemana de Ingenieros (VDI). VDI 2221 el cual está compuesto por 7 etapas (43).

3.3.1. VDI 2221

El trabajo de investigación está netamente enfocado al diseño del robot por lo que se tomará como referencia las 6 primeras etapas puesto que la última etapa es la de realización y esto no forma parte de los objetivos de la presente tesis (43).

Etapa 1:

Especificación: definir y aclarar la tarea.

Para el diseño se tomó como punto de partida los datos de la problemática o una lista de exigencias de esta. Asimismo, se asumió el problema de forma

crítica para falsas construcciones, copias, incumplimientos y evitar sobrecostos, recomendando tomar el problema como un contrato.

Se debe investigar el estado de la tecnología, en función a la problemática, la información es fundamental para el desarrollo del diseño. Analizar el estado del problema para identificar las prioridades que se deben tener en la etapa del diseño.

Se debe analizar y estudiar la viabilidad del diseño teniendo en cuenta la parte económica (costo de material y técnica) conocimientos de técnicas, ciencia y tecnología. Asimismo, se debe organizar y detallar la lista de exigencias que solicita el problema, y seguidamente organizar el desarrollo del problema.

Etapa 2:

Estructura de funciones: definir funciones y definir estructuras.

En esta fase se debe formular una estructura de funciones (actividades) que abarca el sistema técnico. Para ello se debe determinar la secuencia de operaciones que se tendrá que realizar en el desarrollo de cada parte que componga el diseño en general.

Etapa 3:

Búsqueda de soluciones: buscar principales soluciones y combinaciones.

En esta etapa se hace la búsqueda de las alternativas de solución, en la que mediante una serie de combinaciones se obtiene la propuesta de solución. Una de las herramientas usadas para este diseño es la matriz morfológica, que será usada en este trabajo.

Etapa 4:

Estructura de modelo: dividir en módulos realizables.

Luego de definir la solución más apropiada en esta etapa, la propuesta de solución se divide en módulos realizables. En donde se realiza el análisis y diseño de cada módulo.

Asimismo, se define una estructura de módulos que representen la descomposición de la solución de los ensambles.

En el caso de esta tesis, los módulos serán:

- ✓ El diseño de la parte mecánica del robot
- ✓ El diseño del sistema de aspersion del robot
- ✓ El diseño de la parte electrónica del robot
- ✓ El desarrollo de la estrategia de control

Etapa 5:

Arreglos: arreglos preliminares y Arreglos definitivos

Esta etapa comprende el desarrollo los arreglos y/o modificaciones de los módulos desarrollados en la fase anterior.

Asimismo, se debe se debe revisar, identificar y desarrollar arreglos generales.

Etapa 6:

Documentación: preparar instrucciones de operación y producción.

Una vez culminada la etapa de arreglos preliminares y definitivos se realiza la documentación en donde se da a conocer de manera instructiva todas las partes de los módulos para su respectiva realización del producto.

Etapa 7:

Realización: realización del producto

En esta etapa se realiza el producto, cumpliendo las instrucciones de cada módulo que está registrado en la etapa de documentación.

Par este trabajo de investigación no se llegará a desarrollar esta fase en ningún modulo que compone el desarrollo del diseño del robot, ya que esta fase para este trabajo de investigación estará cubierta por una etapa de simulaciones, los módulos de diseño mecánico, electrónico y el sistema de aspersion.

En cuanto al desarrollo de la estrategia de control se realizaron diagramas de flujos mas no simulaciones ya que no se cuenta con ningún prototipo, sin embargo, se dio a conocer la estrategia de control a detalle.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS Y DISEÑO DE LA SOLUCIÓN

Este capítulo tiene como objetivo sentar las bases del diseño con seis de las siete fases de la metodología ya mencionada en el capítulo 3, por medio de la identificación de requerimientos, análisis de la propuesta de solución, análisis y selección de materiales y componentes y por último el desarrollo de los planos que darán por definido el diseño de un robot móvil de servicio para aplicaciones de fumigación del cultivo de maíz en la provincia de Concepción de la región Junín.

Se tomó como lugar de estudio los terrenos de la zona de Concepción debido a las investigaciones y reportes que se han citado, mencionan que Concepción es una de las provincias que cultiva maíz en un volumen considerable en la zona centro del Perú.

4.1. Etapa I: identificación de requerimientos

El objetivo principal de la tesis es diseñar un robot móvil para aplicaciones de fumigación del cultivo de maíz, para ello se va a realizar la identificación de requerimientos que solicita la fumigación del cultivo de maíz, por medio de los agricultores.

La identificación de requerimientos en el presente trabajo de investigación se realizó por medio de listas de exigencias.

La lista de exigencias se desarrolló de acuerdo a los requerimientos que solicita la actividad de fumigación del cultivo de maíz netamente durante su etapa crítica es decir durante los primeros 45 días de siembra.

Recordando que en el cultivo de maíz la etapa clave para la producción y donde el cultivo requiere un mayor control es la etapa crítica.

En resumen, el diseño del robot móvil de servicio estará en función a lo que solicita la actividad de fumigación durante el periodo crítico que tiene el cultivo de maíz.

Para poder definir y parametrizar el diseño, a continuación, se dará a conocer un análisis a detalle de los requerimientos.

4.1.1. Análisis de requerimientos

El análisis de requerimiento se realizó en función a la etapa crítica del cultivo de maíz en la zona de Concepción y las condiciones físicas y meteorológicas que presentan los terrenos donde se cultiva el maíz.

4.1.2.1. Análisis de requerimientos de los terrenos de cultivos

Los terrenos de cultivo de maíz de la zona de concepción por lo general están ubicados en las llanuras de la provincia.



*Figura 42. Terrenos de cultivo de maíz en Concepción
Fuente: elaboración propia*

Como se puede apreciar, los terrenos de cultivo no presentan desniveles, sin embargo, para el desarrollo del diseño se va a considerar una inclinación de 30° en los terrenos que el robot tendrá que superar al momento de desplazarse.

Los terrenos de cultivo en la zona presentan áreas con distintas dimensiones, para este trabajo de investigación se tomará como referencia un terreno de cultivo de una hectárea (10 000 m²) de área.

Partiendo de la definición de área de terreno como punto de estudio, se va a calcular la cantidad de plantas que pueden caber en un terreno de una hectárea el cual se desarrolla a continuación.

4.1.2.2. Análisis de requerimientos de cultivo de maíz durante la etapa crítica

4.1.2.2.1. Cálculo de cantidad de plantas

Primero se va a calcular la cantidad de plantas de maíz que pueden crecer en un cultivo de una hectárea. Para ello se cuenta con los siguientes datos.

- ✓ Distancia entre plantas de surco es de 40 cm a 50 cm.
- ✓ Por punto se coloca 2 semillas lo que se estima que crecerán 2 plantas.
- ✓ Las distancias entre surco varían desde 80 cm a 100 cm.
- ✓ Terreno de 100 m de ancho por 100 m de largo.

Las dimensiones mencionadas se observan en la Figura 43.

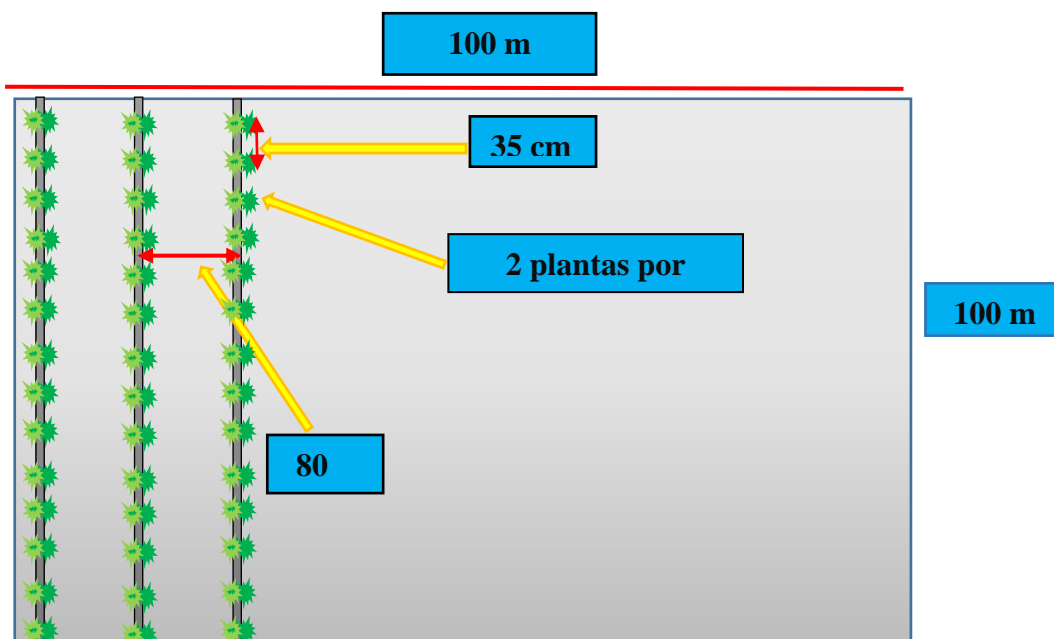


Figura 43. Distribución de surcos y semillas de maíz en un terreno
Fuente: elaboración propia

Cálculo de surcos

Se divide los 100 m de ancho entre la distancia de separación que hay entre surcos.

Donde X1 será el número de surcos.

$$X1 = \frac{100}{0.8} \quad (1)$$

$$X1 = 125$$

Se calcula que hay un promedio de 125 surcos.

Cálculo de plantas por surco

Se divide los 100 m de largo entre la separación que hay por cada punto de semilla en cada surco. Se hará el cálculo con 0.4 m de separación.

Donde X2 será la cantidad de plantas.

Recordando que por punto hay dos semillas se multiplica la cantidad calculada por 2.

$$X2 = \frac{100}{0.4} \times 2 \quad (2)$$

$$X2 = 500$$

Se calcula que hay un promedio de 500 plantas por surco.

Cálculo de plantas en el terreno de una hectárea

Se multiplica la cantidad de surcos por la cantidad de plantas por surcos.

Donde X3 es la cantidad de plantas del terreno.

$$X3 = 125 \times 500 \quad (3)$$

$$X3 = 62,500$$

Se calcula que hay 62,500 plantas.

4.2. Etapa II: determinar las funciones y su estructura

Luego de haber identificado los requerimientos, a continuación, se van a determinar las funciones del robot además de su estructura.

4.2.1. Cálculo de cantidad de agroquímico fungicida y/o pesticida y herbicida aplicado por planta de maíz

El cálculo de la cantidad de agroquímico que necesita una planta será un dato muy importante ya que va a permitir conocer la cantidad necesaria que solicita cada planta.

Para este cálculo se tomarán los datos que se pudo obtener de la entrevista al ingeniero agrónomo Gilberto Gamarra Sánchez. Él considera que la necesidad de fumigar el cultivo de maíz en la etapa crítica se realiza en función a la presencia de enfermedades, plagas y malezas y muchas veces estas son imprevistas, sin embargo, necesariamente una fumigación que se tiene que dar es antes del aporcado de la tierra en los surcos. De acuerdo al ingeniero Gamarra estas malezas se presentan después de los 30 días de siembra.

En resumen, el cálculo de la cantidad de agroquímico se realizará en función a una planta de maíz después de los 45 días de siembra, el cual presenta las siguientes características:

- ✓ La planta tiene una altura aproximada de 50 cm.
- ✓ La parte del tallo hasta la primera hoja tiene una altura de 25 cm.
- ✓ La altura de la primera hoja hasta la superficie de la planta es de 25 cm.



Figura 44. Plantaciones de maíz en a los 2 meses de cultivo
Fuente: elaboración propia

Cálculo de fungicida e insecticidas por planta

Para el ingeniero Gamarra los agroquímicos más usados son los fungicidas e insecticidas, estos productos se aplican directamente a la planta de maíz, la cantidad promedio que se utiliza para una hectárea en la etapa mencionada del cultivo es de 270 L de fungicidas e insecticidas.

Con el dato se calcula la cantidad de agroquímico por planta.

Se divide los 270 L entre la cantidad de plantas.

Donde X4 será la cantidad de agroquímico aplicado en cada planta.

$$X4 = \frac{270 \times 1000}{62,500} \quad (4)$$

$$X4 = 4.32 \text{ ml}$$

Se calcula que por cada planta se aplica 4.32 ml de agroquímico ya sea de pesticida o insecticida.

Cálculo para un surco

Se multiplica la cantidad utilizada de agroquímico en cada planta por la cantidad de plantas que hay en un surco.

Donde X5 será la cantidad de agroquímico aplicado por surco en litros.

$$X5 = 4.32 \times 500 \quad (5)$$

$$X5 = 2.16 \text{ L}$$

Se calcula que por cada surco se aplica 2.16 L de agroquímico ya sea de pesticida o insecticida.

Cálculo de herbicida

Para este caso se va a realizar el cálculo del área que hay entre los surcos en terrenos de una hectárea de área, ya que es el área donde las malas hierbas crecen con mayor frecuencia.

Para el cálculo del área se va a restar una distancia que se debe respetar en el cultivo que cubre una planta de maíz de acuerdo a las condiciones mencionadas en un principio.

Esta distancia será de 20 cm de acuerdo a lo medido, esta dimensión se va a multiplicar por la longitud del surco que para este caso es de 100 m.

Donde X6 será el área del terreno cubierto por surco.

$$X6 = 0.2 \text{ m} \times 100\text{m} \quad (6)$$

$$X6 = 20 \text{ m}^2$$

Se va a multiplicar el área por surco con la cantidad de surcos que son 125.

Donde X7 será el área del terreno que estará totalmente cubierto por plantas de maíz.

$$X7 = 20 \text{ m}^2 \times 125 \quad (7)$$

$$X7 = 2,500 \text{ m}^2$$

A continuación, se van a restar los 2 500 m² de los 10 000 m² que es la hectárea del terreno.

Donde X8 será el área por fumigar con herbicidas.

$$X8 = 10000 \text{ m}^2 - 2500 \text{ m}^2 \quad (8)$$

$$X8 = 7,500 \text{ m}^2$$

El área aproximada a fumigar con herbicidas será de 7 500 m²

La cantidad promedio de agroquímico herbicida utilizada en un terreno de cultivo de una hectárea es de 320 L, a continuación, se va a calcular la cantidad de agroquímico herbicida utilizado en cada m².

Donde X9 será la cantidad de agroquímico utilizado por metro cuadrado.

$$X9 = \frac{320 \times 1000}{7,500 \text{ m}^2} \quad (9)$$

$$X9 = 42.7 \text{ ml}$$

La cantidad de agroquímico herbicida utilizado por metro cuadrado es 42.7 ml

4.2.2. Cálculo de tiempos de fumigación

Uno de los métodos más clásicos que utilizan los agricultores para la fumigación es mediante uso de mochilas hidráulicas, uno de los tiempos a calcular será el que se requiere para fumigar con mochilas hidráulicas.

La capacidad de almacenamiento de la mochila que utilizan los agricultores es 20 L.



*Figura 45. Mochila hidráulica para fumigación marca Jacto
Fuente: porter.com.py*

4.2.2.1. Cálculo de tiempo de fumigación con fungicidas e insecticidas

La fumigación del cultivo de maíz en Concepción es realizada con mochilas hidráulicas con capacidad de 20 L. El tiempo que requiere un personal para preparar y esparcir el fungicida y/o insecticida es de 30 minutos. Donde 10 minutos están destinados a la preparación y 20 minutos netamente a pulverizar el agroquímico. Los cálculos por realizar estarán en función a un terreno de una hectárea, cabe recordar que la cantidad de agroquímico que se necesita es de 270 L (29).

Para poder conocer el tiempo necesario para fumigar el cultivo dadas las condiciones y parámetros mencionados, se va calcular la cantidad de litros por mochila que se necesita.

Se divide los 270 L entre los 20 L.

Donde Y1 es la cantidad de mochilas que cubren los 270L.

$$Y1 = \frac{270 \text{ l}}{20 \text{ l}} \quad (10)$$

$$Y1 = 13.5$$

Se calcula que los 270 L cubren 13.5 mochilas.

Se va a multiplicar la constante 13.5 por los 30 minutos para de esta manera poder obtener el tiempo de fumigación.

Donde Y2 será el tiempo necesario calculado en horas.

$$Y2 = \frac{13.5 \times 30 \text{ min}}{60 \text{ min}} \quad (11)$$

$$Y2 = 6.75 \text{ h}$$

En resumen, para fumigar con insecticidas y/o fungicidas un terreno con cultivo de maíz para 45 días de siembra se necesita 6.75 horas de trabajo neto.

4.2.2.2. Cálculo de tiempo de fumigación con herbicidas

De acuerdo a la entrevista en el caso de la fumigación con herbicidas, el tiempo que se requiere por mochila es de 25 minutos donde 10 minutos son destinados para la preparación y 15 minutos para la pulverización (29).

Al igual que el caso anterior se van a dividir los 320 L entre los 20 L para poder determinar la cantidad de mochilas a utilizar para fumigar con herbicidas.

Donde Y3 será la cantidad de mochilas de fumigación.

$$Y3 = \frac{320 \text{ l}}{20 \text{ l}} \quad (12)$$

$$Y3 = 16$$

Para calcular el tiempo se multiplica la cantidad de mochilas por el tiempo.

Donde Y4 será el tiempo de fumigación con herbicidas.

$$Y4 = \frac{16 \times 25 \text{ min}}{60} \quad (13)$$

$$Y4 = 6.67 \text{ h}$$

La fumigación con herbicidas requiere un tiempo de 6.67 horas de trabajo neto para un terreno de una hectárea.

4.2.2.3. Cálculo de velocidad de fumigación

Calcular la velocidad de fumigación será fundamental para el diseño del robot.

Al igual que los casos anteriores se van a realizar los cálculos para la fumigación con insecticidas y/o pesticidas y herbicidas en un terreno de cultivo de una hectárea.

Cálculo de velocidad de fumigación con fungicidas e insecticidas

Para calcular la velocidad se debe tener en conocimiento la distancia que recorre un agricultor para fumigar. Para ello se va a multiplicar la cantidad de surcos por su longitud.

Donde Z1 será la distancia que recorre un agricultor para fumigar con insecticidas y/o fungicidas.

$$Z1 = 125 \times 100 \text{ m} \quad (14)$$

$$Z1 = 12,500 \text{ m}$$

La distancia calculada es la misma que se recorre para fumigar con insecticidas y/o pesticidas y herbicidas.

Para el cálculo de velocidad de fumigación se va a trabajar con el tiempo en segundos y la distancia en metros.

Donde Z2 será la velocidad de fumigación con insecticidas y/o pesticidas.

$$Z2 = \frac{12500 \text{ m}}{6.75 \times 3600 \text{ s}} \quad (15)$$

$$Z2 = 0.514 \text{ m/s}$$

La velocidad de fumigación con insecticidas y/o pesticidas es de 0.514 m/s.

Cálculo de velocidad de fumigación con herbicidas

Al igual que el caso anterior se va a trabajar con el tiempo en segundos y la distancia en metros.

Donde Z3 será la velocidad de fumigación con herbicidas.

$$Z3 = \frac{12500 \text{ m}}{6.67 \times 3600 \text{ s}} \quad (16)$$

$$Z3 = 0.521 \text{ m/s}$$

La velocidad de fumigación con herbicidas es de 0.521 m/s.

En resumen, la velocidad de fumigación con insecticidas y/o pesticidas es de 0.514 m/s y con herbicidas es de 0.521 m/s.

4.2.2.4. Análisis de costo y tiempo de fumigación con personal contratado

Es de suma importancia saber el costo y tiempo que requiere un personal para fumigar un terreno de cultivo de maíz, para ello se consultó al ingeniero Gamarra. El cual por medio de la entrevista dio a conocer la siguiente carga horaria que tiene un agricultor para fumigar.

Tabla 4. Carga horaria de trabajo de los agricultores

Descripción	Tramo de tiempo	Trabajo en minutos	Descanso en minutos		
Trabajo	8:30 am – 10:59am	150	-		
Receso	11:00 am – 11:19 am	-	20		
Trabajo	11:20 am – 12:59 pm	100	-		
Almuerzo	13:00 pm - 13:59 pm	-	60		
Trabajo	14:00 pm - 15:30 pm	90	-		
Receso	15:31 pm - 15:50 pm	-	20		
Trabajo	15:51 pm - 17:00 pm	70	-		
		Total	465 = 6.8 horas	Total	75 = 1.67 horas

Fuente: elaboración propia (entrevista)

Del cuadro, las horas netas de trabajo de un agricultor es de 6.8 horas y las horas de descanso es de 1.67 horas.

Cálculo de costo de fumigación

Al igual que el caso anterior respecto al costo de labor por día que cobra un personal, oscila entre S/. 50.00 y S/.60.00.

Para el cálculo en este caso se tomó como referencia el costo de S/. 50.00 por día con la jornada de trabajo mostrado en el cuadro anterior. De esta manera se va a calcular el costo por hora que requiere un personal de la siguiente manera.

Se va a dividir el costo de trabajo por día entre la cantidad de horas de trabajo de acuerdo a ley siendo esta de 8 horas.

Donde A1 será el costo de trabajo por hora de un personal.

$$A1 = \frac{s/ 50}{8 h} \quad (17)$$

$$A1 = 6.25 s/h$$

Con el dato obtenido se calculó el costo por horas netamente de trabajo que de acuerdo al cálculo es de 6.8 horas.

Donde A2 es el costo neto de trabajo.

$$A2 = 6.8 h \times 6.25 s/h \quad (18)$$

$$A2 = S/ 42.5$$

Asimismo, el cálculo total de horas de descanso pagadas es el siguiente. Se va a multiplicar los 1.67 horas por los 6.25.

Donde A3 será el costo por horas de descanso de un personal.

$$A3 = 1.67 h \times 6.25 s/h \quad (19)$$

$$A3 = S/ 10.44$$

Tabla de resumen de designaciones

Luego de haber realizado el cálculo necesario para todo lo que concierne en cuanto al cultivo y fumigación del cultivo de maíz, se muestra una tabla con el resumen de los cálculos.

Cabe recordar que parte de los cálculos que se muestran en la tabla fueron realizados en base a las características que presenta una planta de maíz a los 45 días después de siembra.

Tabla 5. Parámetros calculados de cultivo y fumigación de maíz

Descripción	Valor
X1 = Cantidad de surcos	125
X2 = Cantidad de plantas por surco	500
X3 = Cantidad de plantas de terreno	62,500
X4 = Cantidad de agroquímico aplicado en cada planta, pesticida o insecticida.	4.32 ml
X5= Cantidad de agroquímico aplicado por surco en litros.	2.16 l
X6 = El área del terreno cubierto por surco	20m ²
X7 = Área del terreno que estará totalmente cubierto por plantas de maíz	2,500 m ²
X8 = Área a fumigar con herbicidas	7,500 m ²
X9 = Cantidad de agroquímico herbicida utilizado por metro cuadrado	42.7 ml
Y1 = Cantidad de mochilas que cubren los 270l.	13.5
Y2 = Tiempo empleado para fumigar con insecticidas y/o fungicidas un terreno de una hectárea de manera tradicional con mochilas hidráulicas.	6.75 h.
Y3 = Cantidad de mochilas de fumigación con herbicidas	16
Y4 = Tiempo de fumigación con herbicidas	6.67 h
Z1 = Distancia que recorre un agricultor para fumigar con insecticidas y/o fungicidas.	12,500 m
Z2 = Velocidad de fumigación con insecticidas y/o pesticidas	0.514m/s
Z3 = Velocidad de fumigación con herbicidas	0.521m/s.
A1 = Costo de trabajo por hora de un personal.	6.25 s/h
A2 = Costo netamente de trabajo	S/.42.5
A3 = Costo por horas de descanso de un personal	S/.10.44

Fuente: elaboración propia

4.2.3. Definición de requerimientos generales

Luego de haber analizado los requerimientos identificados, el robot debe cumplir con los siguientes requerimientos que se dan a conocer por medio de una lista de exigencias.

4.2.3.1. Lista de exigencias

La lista de exigencias que se muestra a continuación está desarrollada en base a los antecedentes del trabajo de investigación, como también de acuerdo a las necesidades solicitadas en la fumigación del cultivo de maíz, como es la provincia de Concepción.

Por medio de la siguiente lista de requerimientos se podrá determinar el diseño de la solución óptima.

Tabla 6. Lista de exigencias parte mecánica

Lista de exigencias: parte mecánica		Universidad Continental	Pág. 1 de 4
Proyecto Robot móvil de servicio para aplicaciones de fumigación		Facultad de Ingeniería	Fecha 20/11/2018
		E.A.P. Ingeniería Mecatrónica	
		Área de diseño	Autor: Jhimmy Crisostomo Poma
Características	Deseo o Exigencia	Descripción	Responsable
Función	E	El robot se debe desplazar a una velocidad de 0.5m/s tomando como referencia la velocidad de fumigación tradicional.	Jhimmy Crisostomo Poma
Función	E	La estructura de soporte del tanque del robot debe ser lo suficientemente fuerte para soportar la presión del líquido, debe soportar 300 kg de peso como mínimo.	Jhimmy Crisostomo Poma
Función	E	El sistema de locomoción debe ser robusto para soportar la carga total del robot dada las condiciones del terreno del cultivo.	Jhimmy Crisostomo Poma
Función	E	La arquitectura y las dimensiones de la parte mecánica del robot en general deben contar con las dimensiones y resistencias más apropiadas para desplazarse sin dañar el cultivo y al momento de fumigar. Además, deben ser adaptable para su transporte.	Jhimmy Crisostomo Poma
Función	E	La parte mecánica del sistema de aspersión debe regularse en función a la altura que presenta las plantaciones de maíz, para este caso se está considerando que el rango de la altura será de 20 cm a 120 cm.	Jhimmy Crisostomo Poma
Función	E	La parte mecánica del sistema de aspersión debe estar en la capacidad de configurarse para el tipo de fumigación que se requiere en los cultivos insecticidas y/o fungicidas y herbicidas. Es decir, debe ser adaptable y regulable sin la necesidad de desmontar.	Jhimmy Crisostomo Poma

Fuente: elaboración propia 2019

Tabla 7. Lista de exigencias de la parte hidráulica

Lista de exigencias: Parte Hidráulica		UNIVERSIDAD CONTINENTAL	Pág. 2 de 4
PROYECTO Robot móvil de servicio para aplicaciones de fumigación		Facultad de Ingeniería	Fecha 20/11/2018
		E.A.P. Ingeniería Mecatrónica	
		Área de Diseño	Autor: Jhimmy Crisostomo Poma
Características	Deseo o Exigencia	Descripción	Responsable
Función	E	El robot debe contar una bomba hidráulica que bombee la cantidad necesaria de líquido agroquímico para suministrar el agroquímico a los 5 aspersores de manera uniforme teniendo como capacidad de bombeo 1.5 l/min.	Jhimmy Crisostomo Poma
Función	E	El robot debe contar con mangueras y uniones para poder distribuir el líquido agroquímico hacia los 5 aspersores.	Jhimmy Crisostomo Poma

Fuente: elaboración propia 2019

Tabla 8. Lista de exigencias eléctrica – electrónica

Lista de exigencias: Parte Eléctrica - Electrónica		UNIVERSIDAD CONTINENTAL	Pág. 3 de 4
PROYECTO Robot móvil de servicio para aplicaciones de fumigación		Facultad de Ingeniería	Fecha 20/11/2018
		E.A.P. Ingeniería Mecatrónica	
		Área de Diseño	Autor: Jhimmy Crisostomo Poma
Características	Deseo o Exigencia	Descripción	Responsable
Energía	D	El robot debe contar con baterías que logren suministrar energía necesaria para una autonomía considerable.	Jhimmy Crisostomo Poma
Función	E	El robot debe ser accionado por señales eléctricas de (5 V, 12 V, y 24 V) provenientes del sistema de aspersión.	Jhimmy Crisostomo Poma
Función	E	El sistema debe contar con reguladores de voltaje, los sensores y actuadores deben estar conectados a un controlador.	Jhimmy Crisostomo Poma
Función	D	El controlador debe tener una capacidad de comunicación mayo a los 150 m.	Jhimmy Crisostomo Poma
Ergonomía	E	Las conexiones eléctricas deben ser las más apropiadas para poder realizar cambios, reparaciones y o mantenimientos.	Jhimmy Crisostomo Poma

Fuente: elaboración propia 2019

Tabla 9. Lista de exigencias del sistema de control

Lista de exigencias Sistema de control		UNIVERSIDAD CONTINENTAL	Pág. 4 de 4
PROYECTO Robot móvil de servicio para aplicaciones de fumigación		Facultad de Ingeniería	Fecha 20/11/2018
		E.A.P. Ingeniería Mecatrónica	
		Área de Diseño	Autor: Jhimmy Crisostomo Poma
Características	Deseo o Exigencia	Descripción	Responsable
Función	D	El sistema de control debe contar una interfaz que permita al usuario poder controlar y monitorear el funcionamiento y el trabajo de fumigación del robot en el cultivo de maíz.	Jhimmy Crisostomo Poma
Función	E	El sistema de control debe estar en la capacidad de procesar las señales provenientes de los sensores, asimismo debe procesar la información de acuerdo a una lógica de control.	Jhimmy Crisostomo Poma
Función	D	El controlador debe estar en la capacidad de administrar y accionar los actuadores correspondientes para el funcionamiento adecuado sistemas de aspersión.	Jhimmy Crisostomo Poma
Función	E	El controlador debe estar en la capacidad de controlar los actuadores que desplazan y orientan al robot dentro del terreno de cultivo.	Jhimmy Crisostomo Poma
Función	D	El robot debe contar con un sistema de seguridad que permita evitar al robot sufrir desperfecciones en su funcionamiento.	Jhimmy Crisostomo Poma

Fuente: elaboración propia

4.3. Etapa III: búsquedas de conceptos de solución

4.3.1. Concepto de solución

El diseño del robot estará en función a las dimensiones del tanque, lo que se desea es lograr que el robot realice el trabajo de fumigación y por intermedio de ello reducir el tiempo de fumigación.

A continuación, se presenta un concepto de solución para poder definir la capacidad del tanque.

Se propone que el robot tenga la capacidad de movilizarse con un tanque de capacidad para 50 L.

Se propone que el robot debe contar con cinco aspersores para la fumigación.

4.3.1.1. Concepto de solución para fumigación con pesticidas y/o insecticidas y herbicidas

Para este análisis se tomarán los datos calculados en la Tabla 5. Recordando que los cálculos están realizados en base a un terreno de una hectárea de área.

Cálculo de desplazamiento del robot con 5 aspersores

Se sabe que el robot tendrá 5 aspersores, entonces la distancia que tendrá que recorrer será la siguiente:

Se va a dividir la cantidad de surcos entre el número de aspersores que de acuerdo a la propuesta es de 5.

Donde:

X1 = 125 cantidad de surcos

B1 = distancia que recorrerá el robot en el terreno de una hectárea que será multiplicado por 100.

$$B1 = \frac{125}{5} \times 100 \text{ m} \quad (20)$$

$$B1 = 2,500 \text{ m}$$

Si el robot cuenta con 5 aspersores la distancia a recorrer será de 2,500 m.

Cálculo de tiempo de fumigación con pesticidas y/o insecticidas

Del concepto de solución se sabe que el tanque a diseñar debe tener la capacidad de almacenar 50 L.

La velocidad de fumigación será la misma a la que fumiga un agricultor siendo esta de 0.514 m/s.

Para calcular el tiempo de fumigación se va a dividir la distancia entre la velocidad que han sido calculados.

Donde:

Z2 = 0.514 m/s es la velocidad de fumigación con insecticidas y/o pesticidas

B1 = es la distancia que el robot tendrá que recorrer.

B2= tiempo necesario para que el robot fumiga la hectárea de cultivo.

$$B2 = \frac{2,500 \text{ m}}{0.514 \text{ m/s} \times 60\text{s}} \quad (21)$$

$$B2 = 81 \text{ min}$$

B2= tiempo necesario para que el robot fumiga la hectárea de cultivo es de 81 min.

Recordemos que el tanque contenedor será de capacidad para 50 L y se debe tomar en cuenta el tiempo que el robot tendrá que detenerse para recargar el agroquímico. Para ello se va a dividir los 270 L entre la capacidad del tanque.

Donde B3 será el número de veces que tendrá que detenerse el robot para recargar el tanque contener.

$$B3 = \frac{270 \text{ l}}{50 \text{ l}} \quad (22)$$

$$B3 = 5.4$$

B3 = se redondea a 6 el número de veces que el robot será detenido para recargar. El tiempo por retención para recargar el robot por vez, será el mismo que requiere un personal siendo esta de 10 minutos.

En total el tiempo que el robot tendrá que detenerse para recargar el tanque es el siguiente.

Se multiplica el número de veces que el robot será detenido para recargar por el tiempo de retención para recargar.

Donde

B4 = será el tiempo total retenido

$$B4 = 6 \times 10 \text{ min} \quad (23)$$

$$B4 = 60 \text{ min}$$

B4 = 60 min.

B5 = sería 81 minutos más 60 minutos = 141 minutos.

En resumen, el tiempo necesario para que el robot fumigue un terreno de una hectárea será la suma de 141 minutos.

Cálculo de tiempo de fumigación con herbicidas

Al igual que el caso anterior se va a dividir la distancia entre la velocidad que han sido calculados, la distancia será la misma que el cálculo anterior.

Donde:

Z3 = 0.521 m/s es la velocidad de fumigación con herbicidas

B1 = Es la distancia que el robot tendrá que recorrer.

B6 = Tiempo necesario para que el robot fumigue la hectárea de cultivo.

$$B6 = \frac{2,500 \text{ m}}{0.521 \text{ m/s} \times 60\text{s}} \quad (24)$$

$$B6 = 79 \text{ min}$$

B6 = Convertido a minutos sería 79 min.

Para este caso se debe tomar en cuenta el tiempo que el robot tendrá que detenerse para recargar el agroquímico. Para ello se va a dividir los 320 L entre la capacidad del tanque.

Donde B7 será el número de veces que tendrá que detenerse el robot para recargar el tanque contenedor.

$$B7 = \frac{320 \text{ l}}{50 \text{ l}} \quad (25)$$

$$B7 = 6.4$$

B5 = se redondea a 7 el número de veces que el robot será detenido para recargar. Para este caso también, el tiempo por retención para recargar el robot por vez será el mismo que requiere un personal siendo esta de 10 minutos.

Donde:

B8 = será el tiempo total retenido

$$B8 = 7 \times 10 \text{ min} \quad (26)$$

$$B8 = 70 \text{ min}$$

B9 = sería 79 minutos más 70 minutos = 149 minutos.

En resumen, el tiempo necesario para que el robot fumigue un terreno de una hectárea será la suma de 149 minutos.

Tabla 10. Cuadro de parámetros de concepto de solución.

Descripción	Valor
B1 = distancia que recorrerá el robot en 1 hectárea	2,500 m
B2 = tiempo estimado para que el robot fumigue la hectárea de cultivo (insecticida y/o pesticida sin retención)	81 min.
B3 = número de veces que tendrá que detenerse el robot para recargar el tanque contener (insecticida y/o pesticida).	6
B4 = tiempo total del robot retenido en fumigación con (insecticida y/o pesticida).	60 min.
B5 = tiempo necesario para que el robot fumiga la hectárea de cultivo (Pesticidas y/o insecticidas)	141 min
B6 = tiempo estimado para que el robot fumiga la hectárea de cultivo (insecticida y/o pesticida sin retención)	79 min.
B7 = será el número de veces que tendrá que detenerse el robot para recargar el tanque contener.	7
B8 = tiempo total del robot retenido en fumigación con (herbicida).	70 min.
B9 = tiempo necesario para que el robot fumiga la hectárea de cultivo (Pesticidas y/o insecticidas)	149

Fuente: elaboración propia

Resumen de concepto de solución

Tabla 11. Cuadro comparativo de tiempo de fumigación

Ítem	Parámetros con personal contratado	Parámetros con robot fumigador	Diferencia de tiempos de fumigación entre el robot a diseñar y el personal contratado.	Costo en soles de los tiempos ahorrados
	(Tiempo de trabajo para un terreno de una hectárea)			
Cálculo de tiempo de fumigación con pesticidas y/o insecticidas	6.75 horas	141 = 2.4 horas	4.35 horas	$6.25 \times 4.35 = 27.20$
Cálculo de tiempo de fumigación con herbicidas	6.67 horas	149 = 2.48 horas	4.19 horas	$4.19 \times 6.25 = 26.20$

Fuente: elaboración propia

En resumen, si se diseña un tanque con capacidad de 50L y 5 aspersores el tiempo a reducir es considerable como se muestra en la Tabla 11. Como se mencionó, el diseño del robot se realizará en función a las dimensiones del tanque. En base a la capacidad del tanque se realiza la búsqueda de soluciones mediante una matriz.

4.3.2. Determinación de posibles soluciones

Gracias a la agrupación de las funciones parciales principales de la matriz morfológica para el diseño del robot móvil de servicio para fumigación bajo criterios de diseño se logró definir tres conceptos de solución, los conceptos de solución serán presentados a continuación.

4.3.2.1. Concepto de solución 1

La primera alternativa de solución estará compuesta por ruedas para movilizar el equipo, la estructura del robot estará compuesta por perfiles, platinas, ángulos y eje de acero, el contenedor del agroquímico tendrá la forma de un cilindro con las superficies extrema planas, la configuración del sistema de aspersión será de forma horizontal, se harían uso de las boquillas de aspersores regulables, para recepcionar las imágenes en el monitoreo se utiliza una cámara, la comunicación inalámbrica será mediante Wifi y el control de todo el proceso será mediante un controlador y un procesador para las imágenes en que se transmitirán en tiempo real.

4.3.2.2. Concepto de solución 2

La segunda alternativa de solución estaría compuesto por orugas para movilizar el robot, la estructura del robot estará compuesta por perfiles, platinas, ángulos; en este caso de aluminio, al igual que el caso anterior el contenedor del agroquímico tendrá la forma de un cilindro con las superficies extrema planas, la configuración del sistema de aspersion será de forma horizontal, también se hará uso de las boquillas de aspersores regulables, para recepcionar las imágenes en el monitoreo se hará uso de una cámara industrial, la comunicación inalámbrica será mediante un módulo ETH-iBUS, todo el proceso estará controlado por un Controlador Lógico Programable (PLC).

4.3.2.3. Concepto de solución 3

La segunda alternativa de solución estaría compuesto por ruedas para movilizar el robot, la estructura del robot estará compuesta por perfiles, platinas, ángulos y eje de acero, el contenedor del agroquímico tendrá la forma de una cápsula con las superficies extremas circulares, la configuración del sistema de aspersion será de forma vertical y estaría compuesto por rociadores de plástico, para recepcionar las imágenes en el monitoreo se hará uso de una cámara web, la comunicación inalámbrica sería mediante un módulo RF en este caso el control de todo el proceso sería mediante un DSP (procesador digital de señales).

4.4. Etapa IV: subdividir en módulos realizables

Determinación del proyecto (determinación del concepto de solución más apropiado)

Tabla 12. Evaluación de concepto de solución (valor técnico)

Diseño mecatrónico – evaluación de proyectos										U.C.
Valor técnico (xi)										E.A.P. I.M.
Proyecto: diseño de un robot móvil de servicio para aplicaciones de fumigación del cultivo de maíz en la provincia de Concepción de la región Junín.										
P: puntaje de 0 a 4 (Valores según VDI 2225)										
4= Ideal, 3= Bien, 2= Suficiente, 1= Aceptable a las justas, 0= No satisface										
G: Peso ponderado en función a los criterios de evaluación										
Criterios técnicos			Proyectos							
			S1		S2		S3		S ideal	
N°	Criterios de evaluación	G	P	GP	P	GP	P	GP	P	GP
1	Función	9	3	27	2	18	3	27	4	36
2	Confiability	8	3	24	2	16	3	24	4	32
3	Diseño	8	3	24	3	24	3	24	4	32
4	Estabilidad	8	3	24	2	16	3	24	4	32

5	Fabricación	7	3	21	2	14	2	14	4	28
6	Seguridad	7	3	21	3	21	3	21	4	28
7	Uso	7	3	21	3	21	2	14	4	28
8	Facilidad de manejo	8	3	24	2	16	3	24	4	32
9	Complejidad	7	3	21	2	14	2	14	4	28
10	Mantenimiento	8	3	24	2	16	3	24	4	32
Puntaje máximo $\sum GP$		231		176		215		308		
Valor técnico		0.75		0.57		0.70		1		
$X_1 = \frac{g1 \cdot p1 + g2 \cdot p2 + \dots + gn \cdot pn}{(g1+g2+\dots+gn) \cdot pmax}$										

Fuente: elaboración propia

Tabla 13. Evaluación de concepto de solución (valor económico)

Diseño mecatrónico – evaluación de proyectos Valor económico (Y i)										U.C. E.A.P. I.M.
Proyecto: diseño de un robot móvil de servicio para aplicaciones de fumigación del cultivo de maíz en la provincia de Concepción de la región Junín.										
P: puntaje de 0 a 4 (Valores según VDI 2225) 4= Ideal, 3= Bien, 2= Suficiente, 1= Aceptable a las justas, 0= No satisface G: Peso ponderado en función a los criterios de evaluación										
Criterios económicos			Proyectos							
			S1		S2		S3		S ideal	
N°	Criterios de evaluación	G	P	GP	P	GP	P	GP	P	GP
1	Cantidad de piezas	8	3	24	3	24	2	16	4	32
2	Costos de materiales	9	3	27	3	27	2	18	4	36
3	Adquisición de materiales	7	3	21	2	14	3	21	4	28
4	Viabilidad de construcción	9	3	27	2	18	3	27	4	36
5	Facilidad de mantenimiento	6	3	18	2	12	3	18	4	24
Puntaje máximo $\sum GP$			117		95		100		156	
Valor técnico			0.75		0.61		0.64		1	
$Y_1 = \frac{g1 \cdot p1 + g2 \cdot p2 + \dots + gn \cdot pn}{(g1+g2+\dots+gn) \cdot pmax}$										

Fuente: elaboración propia

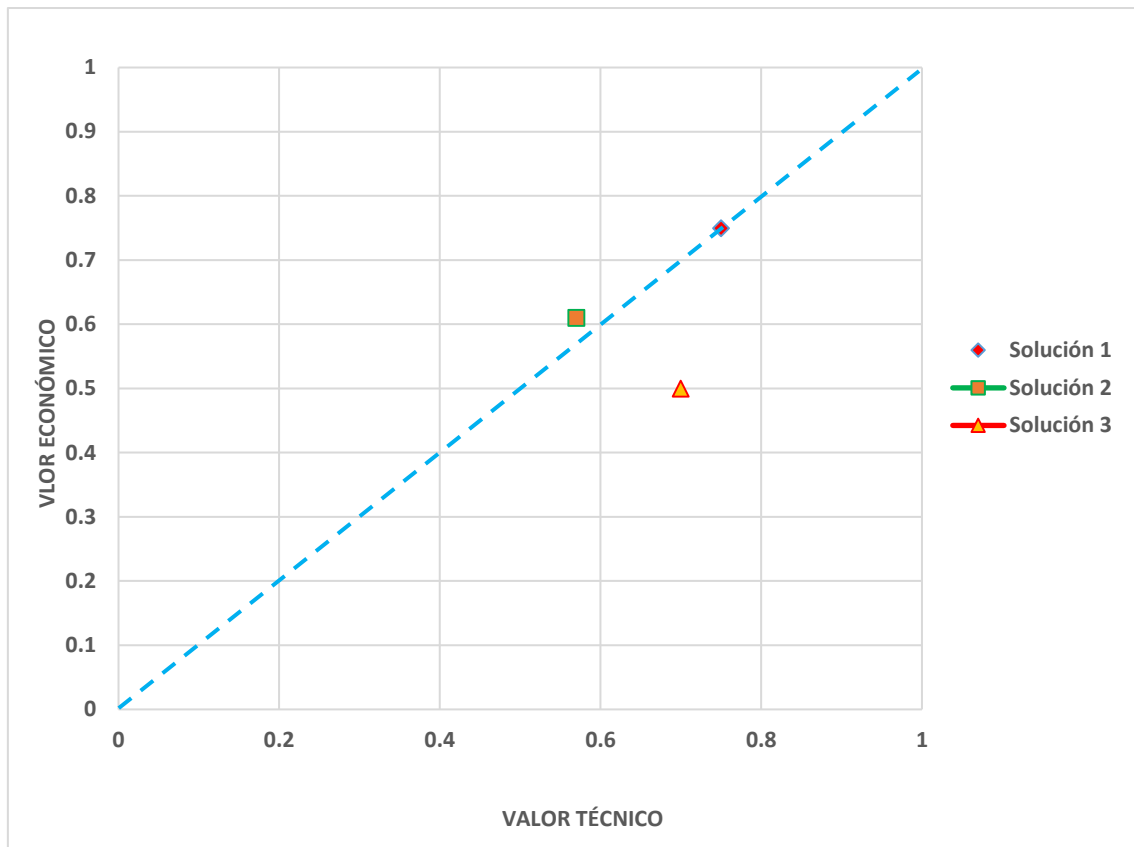


Figura 46. Diagrama de evaluación técnico - económico VDI 2225
Fuente: elaboración propia

En el diagrama presentado se da a conocer la evaluación técnico - económica según el VDI 2221, donde se determina que la solución más cercana a la ideal es la solución 1, por lo que se considera como la solución óptima, y es la que se va a desarrollar en los siguientes capítulos.

4.5. Etapa V: configurar los módulos apropiados - análisis y diseño del robot

El diseño del sistema partirá de la parte mecánica, donde las dimensiones del robot estarán principalmente en función a la capacidad del tanque donde se va a contener el agroquímico.

4.5.1. Análisis y diseño del sistema mecánico

El análisis y diseño del sistema mecánico del robot estará compuesto por las siguientes partes. Tal como se muestra en la Figura 47.

Base móvil: en esta sección estarán los actuadores principales de las ruedas y todas las partes que compongan el sistema de locomoción del robot.

La estructura: aquí estarán ubicadas las baterías, el tanque, las tarjetas electrónicas de control y de potencia, los sensores, la bomba electrohidráulica, la cámara y el cableado eléctrico.

El sistema de aspersión estará compuesto por el tanque y el eje deslizante donde estarán ubicados las electroválvulas, los sensores y las boquillas de los aspersores.

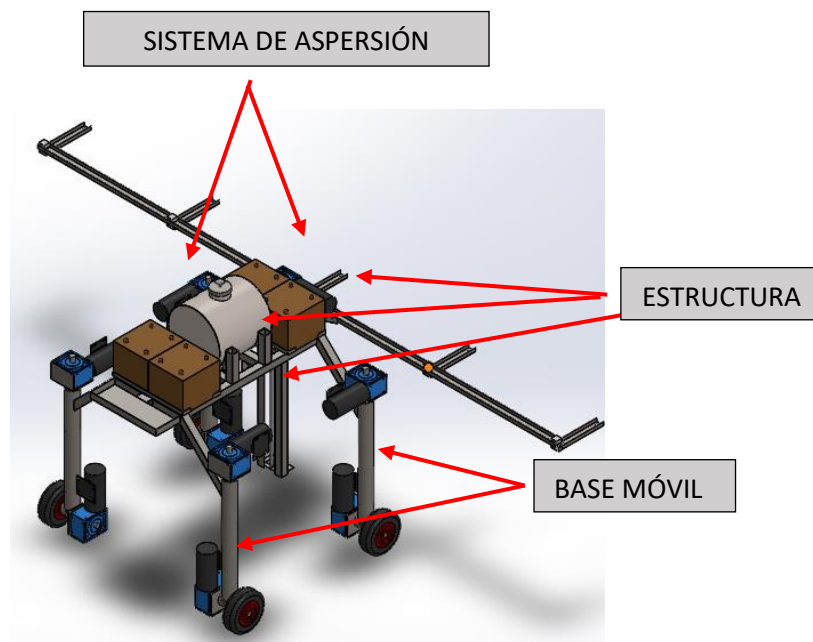


Figura 47. Divisiones del robot fumigador
Fuente: elaboración propia

El análisis y diseño del sistema mecánico del robot, partirá del análisis y diseño del sistema de aspersión donde, en esta primera parte, se iniciará con el diseño del tanque.

4.5.1.1. Análisis y diseño del tanque

El diseño de tanque será fundamental para el diseño de las partes siguientes que compongan todo el sistema mecánico del robot.

Parte del diseño, un factor muy importante, es la forma que tendrá el tanque ya que dentro de ella se llevará el agroquímico a la 0.5 m/s de velocidad, asimismo el costo, la viabilidad de construcción y la optimización de recursos son recursos que se tienen en cuenta para definir el diseño.

Para ello se proponen dos tipos de tanque con distintas formas, los cuales serán analizados a continuación.

Análisis de tanque 1

En este primer caso se propone un tanque que tiene la forma de un cilindro. Este cilindro será rediseñado en cuanto a sus dimensiones para que pueda almacenar una cantidad de 50 L. Se define esta capacidad del tanque debido a que las mochilas de fumigación tradicional tienen una capacidad para 20 L, y lo que se busca es reducir los tiempos muertos, es decir minimizar el tiempo que tomará en preparar el agroquímico y que mientras menos capacidad tenga el tanque contenedor se realizarán más paradas y generará más tiempo muerto.

Los parámetros más importantes para el rediseño serán el radio y altura. Las dimensiones de los tanques serán determinadas por medio de cálculos de optimización todos los cálculos están adjuntados en el anexo A.

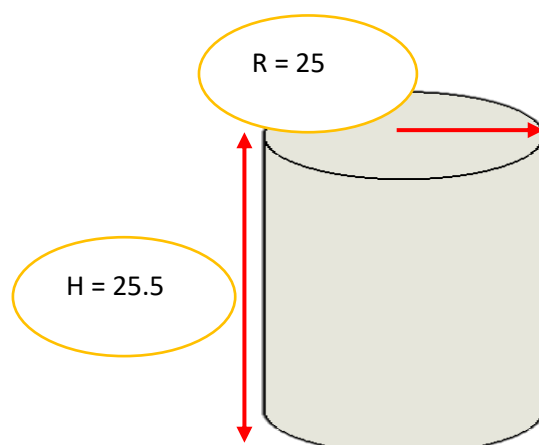


Figura 48. Tanque cilíndrico dimensionado
Fuente: elaboración propia

Análisis de tanque 2

En este caso se propone un diseño de tanque cilíndrico con superficies semiesféricas en las partes extremas y un cilindro sin tapa en la parte intermedia como se muestra en la Figura 49.

Al igual que en el caso anterior se va a tener en cuenta la optimización material, el costo y la viabilidad para su construcción, que son factores muy importantes para su elección como tanque del robot (ver Anexo A).

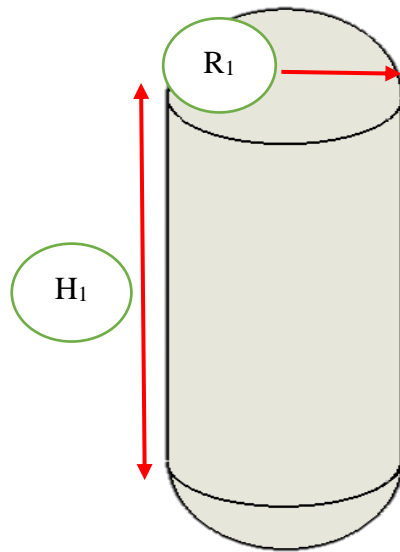


Figura 49. Tanque propuesto
Fuente: elaboración propia

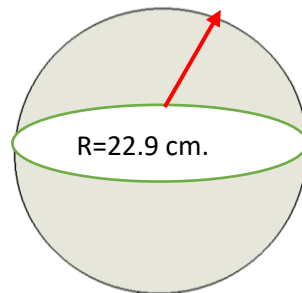


Figura 50. Tanque esférico con medidas optimizadas
Fuente: elaboración propia

Después de haber analizado estos dos tipos de tanque, a continuación, se va a determinar el tipo de material con el que se desea construir, además de poder determinar el costo de inversión por tanque.

4.5.1.2. Materiales para la fabricación del tanque

Como el tanque va a llevar líquido agroquímico y estará en constante movimiento, el material a elegir debe ser duro y lo más ligero posible. Por otro lado, este no debe presentar reacciones frente a los agroquímicos, es decir debe ser resistente al contener agroquímicos. A continuación, se muestra una tabla con las propiedades físicas de manera literal y sus aplicaciones de los metales más comunes y usados en nuestro entorno.

Tabla 14. Materiales metálicos usados en robótico

	Material	Propiedades	Aplicaciones
Metales	Acero	Resistente al desgaste	Estructuras
		Dureza	Carrocerías de automóvil
		Pesado	Turbinas, ejes rodamientos.
	Aluminio	Ligero	Estructuras
		Resistencia a la corrosión	Industria aeronáutica
		Barato y blando	Fabricación de laminas
	Titanio	Muy caro	Aplicaciones aeroespaciales
		Buena resistencia mecánica	Prótesis por ser biocompatible
		Ligero	En misiles y capsulas espaciales

Fuente: diseño e implementación de un robot humanoide asistencial controlado por computador para aplicaciones en pacientes parapléjicos, materiales usados para fabricar estructuras mecánicas

Luego de conocer los materiales metálicos la opción más viable para la fabricación del tanque sería con acero inoxidable tipo AISI 316, de la serie 300, a continuación, se va a determinar el tanque del robot mediante un cuadro comparativo.

En cuanto a la elección del acero para el tanque se va a considerar el acero inoxidable tipo AISI 316 ya que presenta buena resistencia a la corrosión, conformado en frío y soldabilidad, características físicas que cumplen con los requerimientos que se requiere para el tanque, en cuanto a las reacciones del acero con el agroquímico no tiene muchos inconvenientes debido a que los agroquímicos no presentan reacciones que dañan el acero (44).

Determinación del diseño del tanque

Si bien es cierto para optimizar material en la fabricación del tanque, la dimensión del radio debe ser de 25 cm y tendría una altura de 25.5 cm. Sin embargo, por cuestiones ergonómicas y diseño la dimensión del radio se va a modificar a 20 cm donde según lo calculado y analizado como se muestra en la Figura 48, la variación que esta presenta frente a un diseño con 25 cm de radio es mínima (ver Anexo A).

4.5.1.3. Definición de solución óptima del tanque

Una vez realizados los cálculos de área y volumen para cada tipo de tanque que se encuentra en el Anexo A podemos determinar que, el diseño más

apropiado para el robot es el que presenta la forma de un cilindro, por ergonomía y arquitectura del robot se define a la opción 1 como el tanque más apropiado para el robot. La forma del tanque cilíndrico tendrá las siguientes dimensiones:

Radio= 20 cm

Altura= 39.8 cm

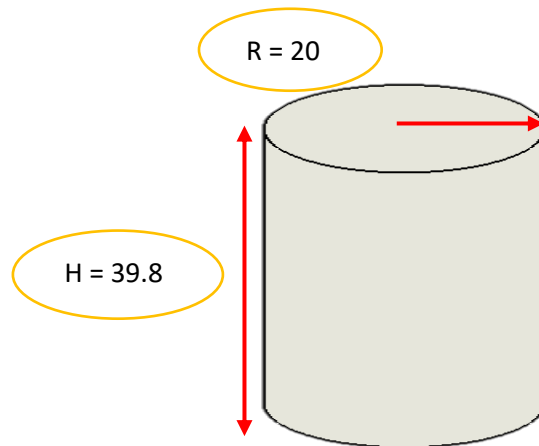


Figura 51. Tanque del robot
Fuente: elaboración propia

4.5.1.4. Diseño y ubicación de rompeolas

Luego de haber definido la forma y las dimensiones del tanque, un punto muy importante a trabajar es el diseño de rompeolas.

El tanque estará en movimiento a una velocidad de 0.5m/s, si bien es cierto no es una alta velocidad, sin embargo, por cuestiones de prevención se van a colocar rompeolas.

Función de los rompeolas

Los rompeolas son paredes que son colocadas en tanques, la función principal que tienen es amortiguar el movimiento del fluido dentro del tanque o depósito (45).

Al momento de colocar rompeolas en un tanque se forman compartimientos, estos no deben ser estancos, para ello se debe realizar agujeros que comuniquen los compartimientos.

Existen dos formas de realizar agujeros que conectan los compartimentos, los cuales son:

Agujeros en las zonas de contacto en las paredes como se muestra en la Figura 52.

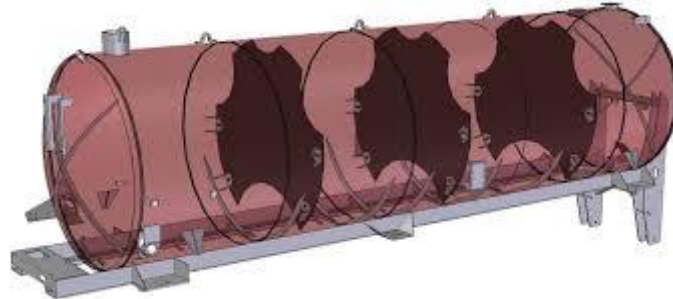


Figura 52. Tanque con rompeolas con agujeros en las paredes
Fuente: amazon.com

Agujeros en medio del rompeolas como se muestra en la Figura 53.

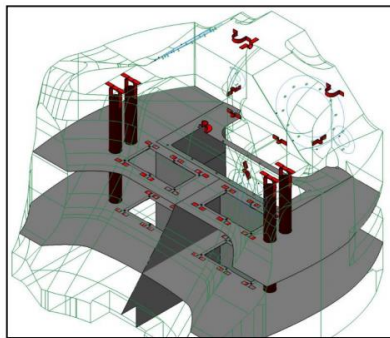


Figura 53. Tanque con agujeros en los rompeolas
Fuente: elaboración propia

El diseño y la ubicación de rompeolas dependen bastante de los compartimentos y los agujeros que se realizan en ellos, ya que estos servirán como conectores.

Para el caso del diseño de los rompeolas en este trabajo de investigación se va a tomar como referencia el rompeolas con agujeros en la zona de contacto con las paredes como se muestra en la Figura 52.

Diseño de los rompeolas

Para el diseño de los rompeolas se debe tomar en cuenta las dimensiones del tanque. Ver Figura 54.

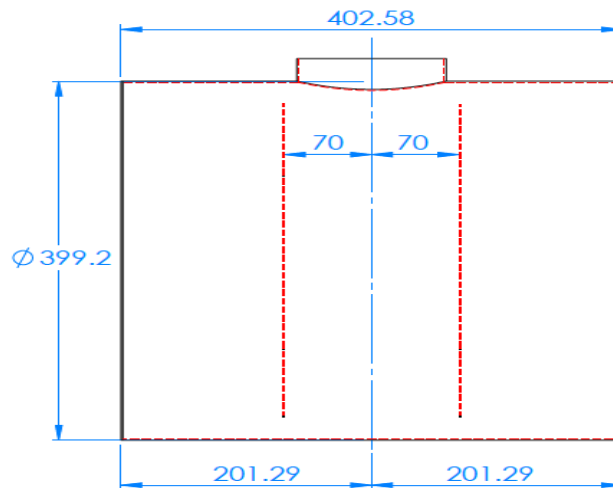


Figura 54. Dimensiones del tanque del robot
Fuente: elaboración propia

De acuerdo a las dimensiones del tanque, el diámetro del rompeolas será de 398.58 mm, se propone que el rompeolas tendrá 4 cortes con un radio de corte de 10 cm con las dimensiones que se muestra en la Figura 55.

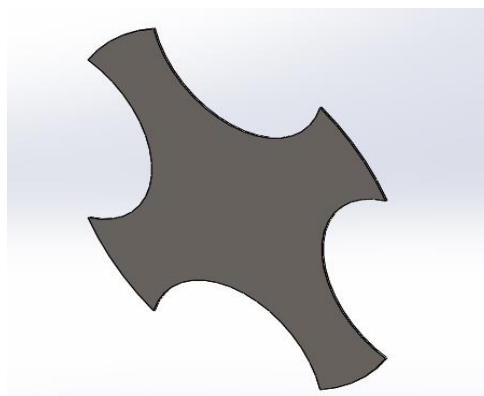


Figura 55. Diseño del rompeolas
Fuente: elaboración propia

Asimismo, en base a la altura del tanque se colocarán 2 rompeolas, cada rompeolas tiene un espesor de 2mm.

La ubicación de los rompeolas se define por el siguiente cálculo:

H= Altura del tanque 399.2 mm

Espesor de las caras extremas del tanque= 4mm

Espesor de los rompeolas (2 mm x 2) = 4 mm

Donde T será la distancia para ubicar cada rompeolas. Para ello se va a restar la altura del tanque menos los espesores y luego dividir el resultado entre las divisiones.

$$T = \frac{399.2 - 8}{3} \quad (27)$$

$$T = 130.4$$

De lo calculado se define que cada rompeolas irá ubicado a 13.04 cm. Como se muestra en la Figura 56.

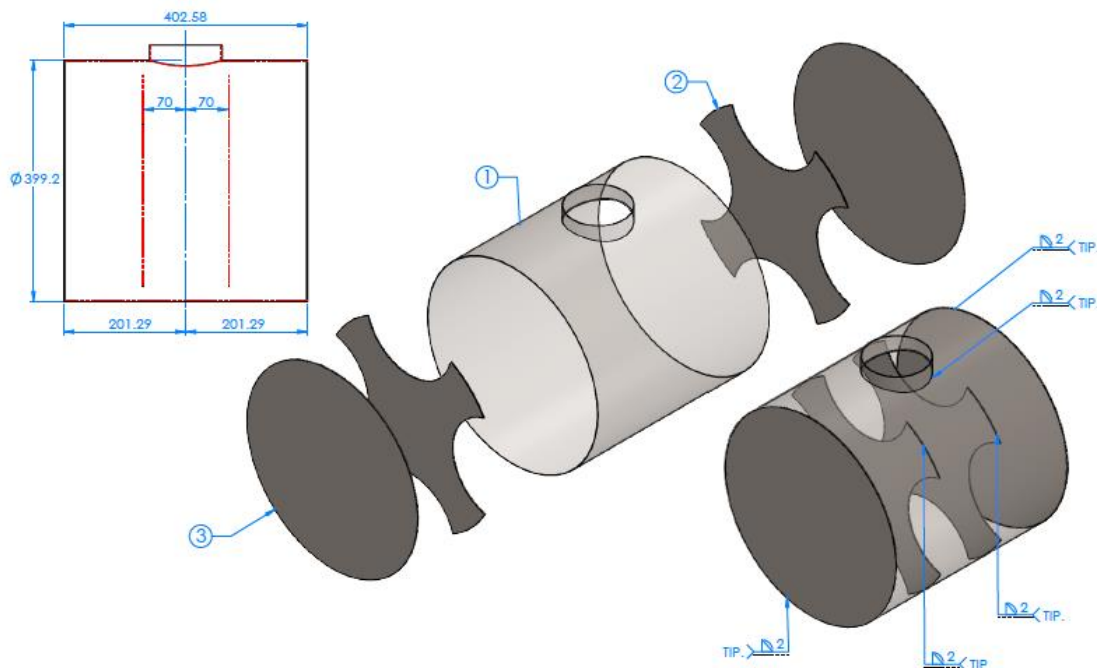


Figura 56. Diseño de tanque del robot con rompeolas
Fuente: elaboración propia

Soldadura del tanque

El proceso de soldadura será muy distinto a todas las secciones del robot, sobre todo en esta sección, debido al tipo de material a soldar como es el acero inoxidable. El proceso de soldadura será el proceso TIG. (*Tungsten inert gas*) se eligió este proceso de soldadura gracias al buen comportamiento que tiene frente al acero inoxidable. El electrodo de tungsteno será de 1/16.

Estructura del robot

La estructura del robot es una de las partes más importantes en el robot móvil, debido a que sobre ella estará ubicado todo el cuerpo del robot y soportará el peso del tanque con el agroquímico, el peso de los motores, las baterías, la parte mecánica del sistema de aspersión entre las partes más resaltantes del robot.

Asimismo, al pensar en el diseño, otro de los puntos importantes que se debe tomar en cuenta es el material que se utilizaría para su implementación, además de que será muy útil para los cálculos correspondientes.

En este análisis y diseño se va a escoger como material al acero ASTM-36 en base a lo mostrado en la Tabla 14.

La estructura del robot estará compuesta por las siguientes partes.

4.5.1.5.1. Soporte del tanque, baterías, bomba electrohidráulica y la parte mecánica del sistema de aspersión

El soporte del tanque, baterías, bomba electrohidráulica y la parte mecánica del sistema de aspersión, estará compuesta de una serie de platinas y tubos rectangulares que, unidas por medio de soldadura, conformarán una estructura.

Para dimensionar la estructura del tanque se debe tomar en cuenta todos los elementos que irán colocados sobre ella.

Identificación y ubicación de elementos que irán sobre el soporte

Los elementos que irán ubicados serán los siguientes.

Las baterías

Las baterías son unos de los accesorios más importantes es por lo que su elección es de suma importancia, una de las baterías más usadas son las baterías de gel debido a que son robustas por la parte interior y exterior.

Estas baterías llevan electrolito gelificado y esto hace que estas baterías tengan ventaja sobre los otros tipos de baterías, las baterías son perfectas frente

a arranques en frío, además presentan un gran ciclaje, es decir presentan unos largos ciclos de carga y descarga. Además, es de suma importancia sus dimensiones en cuanto a su altura, ancho, largo y sobre todo el peso.



Figura 57. Batería de Gel de 24V de 130Ah
Fuente: autosolar.es

Datos técnicos de las baterías.

Tabla 15. Hoja técnica de baterías

Descripción	Valor
Altura	208.00 mm
Longitud	286.00 mm
Ancho	269.00 mm
Peso	39.8 kg (por batería) x 4 = 159.2 kg
Amperaje por hora	130 A/h
Voltaje	24 V

Fuente: batería de del 24V 130Ah

El tanque

Las dimensiones del tanque se tomarán de la Figura 56, para el análisis se va a considerar el peso del tanque más el peso del agroquímico tomando como referencia que el tanque este lleno del líquido, el peso del tanque es de 60 kg.

La bomba electrohidráulica

La bomba hidráulica también estará ubicada en la estructura del tanque, la sustentación de la elección de esta bomba se explicará en los capítulos siguientes, para el diseño del tanque se tomarán los parámetros que se muestran en la Tabla 16.

Tabla 16. Hoja técnica de la bomba electrohidráulica

Descripción	Valor
Altura	7.5 cm
Longitud	18,3 cm
Ancho	10 cm
Peso	1.3 kg

Fuente: hoja técnica de pequeña bomba de agua eléctrica

Parte mecánica del sistema de aspersión

La parte mecánica del sistema de aspersión es parte del diseño del robot el cual se da a conocer a detalle en los capítulos posteriores, sin embargo, su consideración en esta parte del diseño es muy importante ya que estará apoyada en la parte extrema de la estructura del tanque.

Lo importante para definir el diseño de la estructura del tanque es considerar su peso que es de 37.481 kg.

Una vez identificados los elementos se definirán sus respectivas ubicaciones sobre la estructura.

Tomando en consideración los parámetros y dimensiones de cada elemento que estará sobre la estructura, la ubicación será como se muestra en la Figura 58.

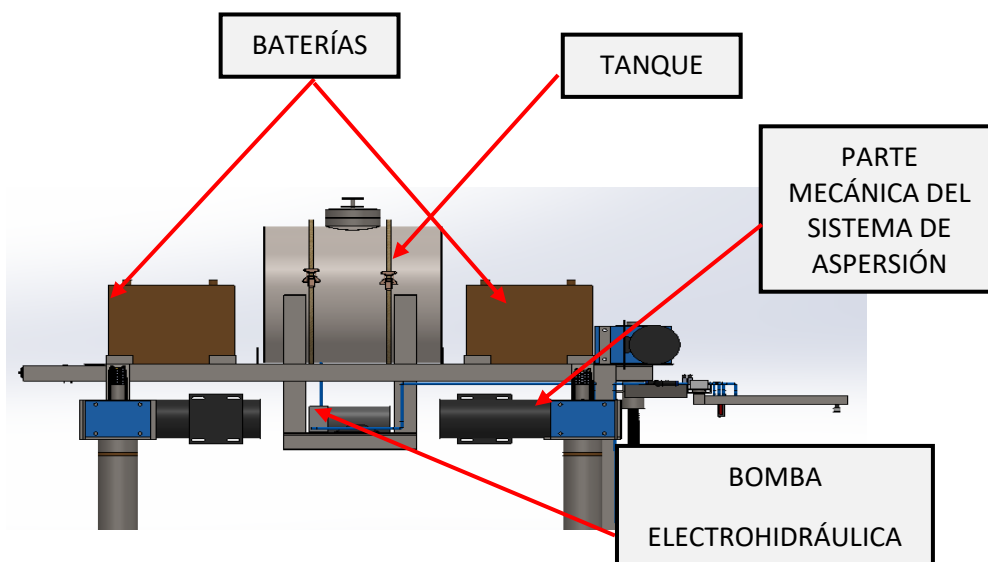


Figura 58. Ubicación de elementos sobre la estructura del tanque
Fuente: elaboración propia

La ubicación de las 4 baterías será de la siguiente manera: se ubicarán 2 baterías en cada parte extrema.

La ubicación de la bomba electrohidráulica será debajo del tanque.

Asimismo, todos los dispositivos que conforman la parte electrónica estarán ubicadas en esta sección sobre una base.

Diseño de la estructura

Finalmente, habiendo hecho todo el análisis de las dimensiones de la base deben ser las suficientes para que contengan todos los elementos que se mencionaron anteriormente. En la Figura 61 se muestra una vista isométrica de la estructura.

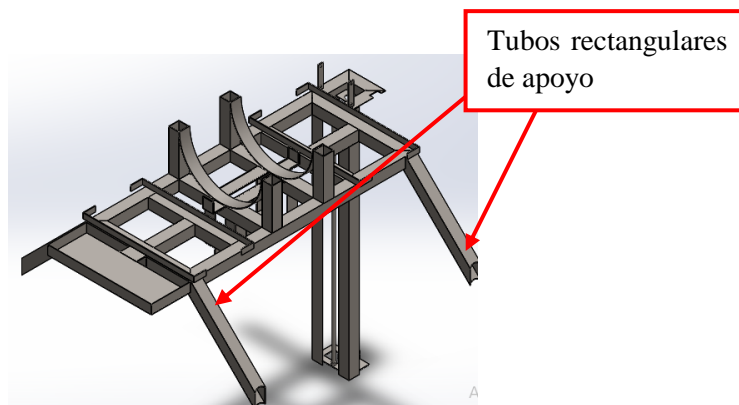


Figura 59. Vista de planta del soporte del tanque
Fuente: elaboración propia

La longitud del soporte será de 110.32 cm, el ancho total será de 50.6 cm.

La longitud de las platinas en forma de arco es de 627.21 cm

La estructura del tanque estará sujeta en 4 apoyos de tubos rectangulares, estos tubos estarán ubicados en las partes extremas de la base de apoyo como se muestra en la Figura 59.

La ubicación de estos tubos rectangulares estarán un ángulo de inclinación en función al ancho de la base de apoyo de los elementos, asimismo cada uno de estos apoyos estarán unidos por soldadura en un tubo que estará ubicada de forma vertical.

Base de apoyo del tanque

El tanque, debido a su forma y ubicación requiere de una base de apoyo apropiada, esta será diseñada específicamente en función a las dimensiones del tanque.

La base de apoyo del tanque estará compuesta de platinas y tubos cuadrados unidos por medio de soldadura como se muestra en la Figura 59.

Asimismo, para mayor seguridad y fijación del tanque se colocarán 2 fajas *Ratchet* de 1.5 m de largo y de 2.5 cm de ancho de agarre como se muestra en la Figura 60, estas irán sujetas a la estructura.



Figura 60. Faja Ratchet
Fuente: almacenesiberia.es

Estructura del soporte del tanque, baterías, bomba electrohidráulica y la parte mecánica del sistema de aspersión

Una vez culminada la ubicación y las dimensiones ahora toca definir la ubicación y espesor de los tubos y platinas que conformarán el soporte de los elementos mencionados, para ello se realizarán los análisis de esfuerzos correspondientes. Estos análisis se encuentran en el Anexo B de cálculos.

Para poder definir el diseño de la estructura se tuvo que tener en cuenta la ubicación, dimensiones y espesor de los tubos y platinas.

Para el análisis de esfuerzos se ha considerado los siguientes elementos como carga que tendrán que movilizar el robot:

- 4 baterías con un peso total de 159 kg
- El peso del agroquímico asumiendo que esté lleno con un peso de 50 kg
- El peso del soporte del tanque de 39.133 kg
- Peso del motor del sistema de aspersión 15 kg
- El peso del esparrago 4.574 kg
- El peso de las platinas de soporte 1.512 kg

A continuación, se muestra una tabla con los pesos que se están considerando para los análisis respectivos.

Tabla con pesos para análisis de esfuerzos

Tabla 17. Peso que soportara la estructura del robot

Ítem	Elemento	Cantidad	Peso unitario	Peso total
1	Baterías	4	39.8 kg	159.2 kg
2	Peso del agroquímico	1	50 kg	50 kg
3	Peso de estructura de tanque y baterías y estructura del sistema de aspersión	1	74.1 kg	74.1 kg
4	Peso de motor del tornillo sin fin del sistema de aspersión	1	15 kg	15 kg
6	Peso de bomba de agua	1	1.3 kg	1.3 kg
Peso total del sistema				299.6 kg

Fuente: elaboración propia

Luego del análisis respectivo el cual se encuentra en el Anexo B, la estructura de soporte del robot es la siguiente:

Asimismo, para la sección de simulaciones se encuentran los análisis estáticos al cual fue sometido.

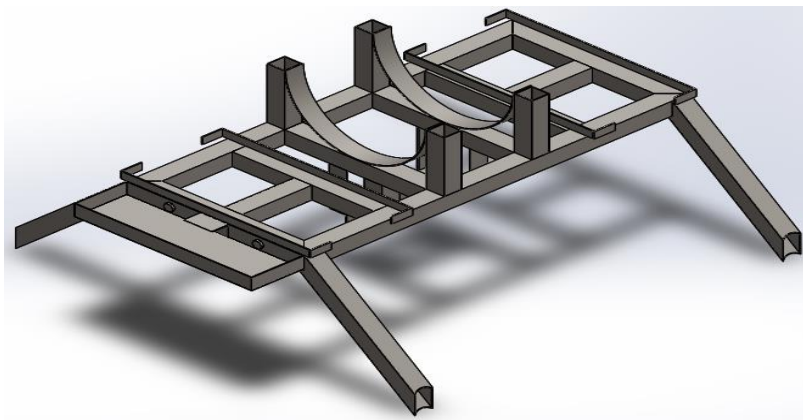


Figura 61. Estructura del robot para soporte de baterías, tanque contenedor, sistemas de aspersión

Fuente: elaboración propia

Para la elección del filete se hará uso de una tabla el cual se muestra a continuación.

DIMENSIÓN MÍNIMA DE FILETES

TABLA J2.4	
Tamaño mínimo de filetes de soldadura	
Espesor del material parte mas gruesa de la junta	Tamaño mínimo del filete de soldadura (a)
Hasta 1/4" inclusive	1/8" 3 mm
De 1/4 a 1/2" inclusive	3/16" 5 mm
De 1/2 a 3/4"	1/4" 6 mm
Por arriba de 3/4"	5/16" 8 mm
(a) El tamaño de este filete debe de hacerse de un solo paso	
(b) Consultar J 2.2 b para el tamaño máximo de la soldadura	

*Figura 62. Tabla de dimensión de filetes para soldadura
Fuente: elaboración propia*

Todas las uniones que conforman la estructura serán por medio de soldadora filete 3/16 con electrodo AWS E7018.

La selección del electrodo se dio en base a las propiedades mecánicas que esta presenta ya que muestra una resistencia a la tensión de 490 MPa (70000 psi) y un límite elástico de 400 MPa (58000 psi), asimismo debido a su composición química y para el tipo acero que se tendrá que soldar (46).

El material que se ha considerado para el diseño es el acero ASTM A-36.

Se ha elegido el acero debido a su buena soldabilidad a su composición química que es simple, ya que es muy adecuado para la fabricación de soportes soldados.

En la Figura 17 se muestra el diseño de la estructura de soporte del robot, está conformada por tubos cuadrados de acero de 2" x 2" de 3 mm de espesor, platina de acero de 1" y 2" de ancho por 3 mm de espesor y perfiles de 2" de ancho de 3mm de espesor.

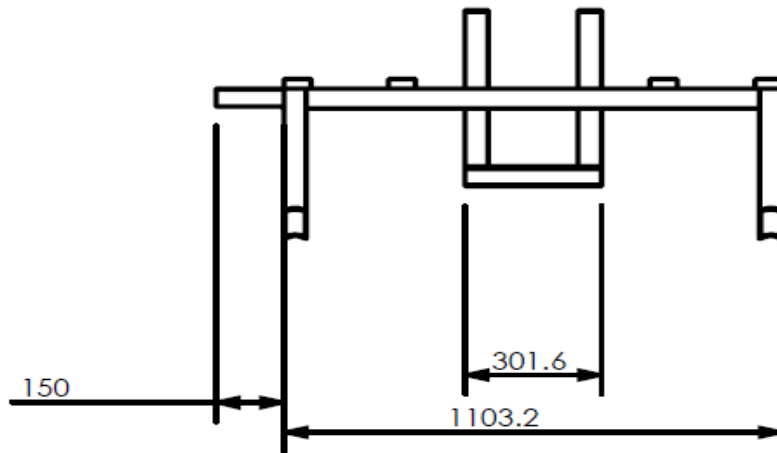


Ilustración 1. Vista lateral de la estructura del robot
Fuente: elaboración propia

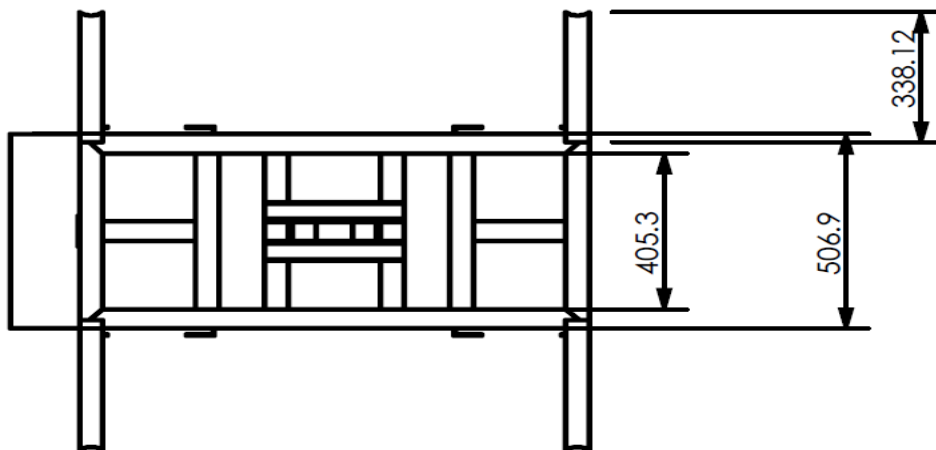


Figura 63. Vista de planta de la estructura del robot
Fuente: elaboración propia

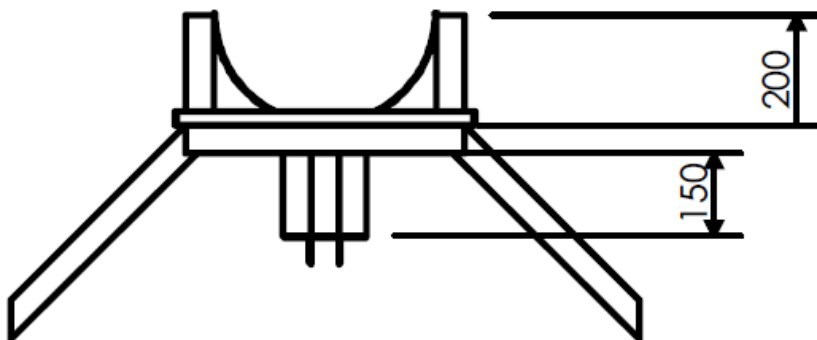


Figura 64. Vista frontal de la estructura del robot.
Fuente: elaboración propia

Una vez culminada la estructura del robot, a continuación, se presenta el diseño de sistema mecánico del sistema de aspersión.

Soldadura de la estructura

Todas las secciones del robot que presenta uniones por soldadura excepto el tanque tendrá el tipo de soldadura por arco eléctrico.

En este tipo de soldadura se hará uso de un electrodo, el cual será fundido, el proceso consiste en provocar la fusión de los extremos de la sección que se desea soldar, esta se logra por medio de un calor intenso que es desarrollado por un arco eléctrico.

El espesor del filete será de 3/16 se acuerdo a la carga que va a soportar esta sección del robot, el electrodo será de AWS E7018.

En cuanto al tipo de junta la estructura tiene junta en T y a tope.

Para la selección del electrodo se tomó como referencia el acero que se está utilizando que, en este caso, es el acero estructural ASTM–A36 el espesor 3 mm y la carga que soportar que es de 300 kg.

La elección del electrodo se justifica con la siguiente tabla de la *American Welding Society* (AWS) (47).

ELECTRODO	Resistencia especificada a la tracción		Esfuerzo de fluencia del metal base	
	Fue (ksi)	Fue (kg/cm ²)	Fy (ksi)	Fy (kg/cm ²)
E60	60	4230	≤ 42	≤ 2960
E70	70	4930	≤ 55	≤ 3870

Figura 65. Características de los electrodos más utilizados - E60 - Y E70
Fuente: elaboración propia

Diseño del sistema mecánico de aspersion:

Como se dio a conocer en el análisis de caso, parte del diseño del robot es reducir el tiempo de fumigación con el diseño del robot.

Para poder reducir se propuso que el sistema de aspersion cuente con 5 aspersores, partiendo de ello a continuación se va a definir el diseño apropiado del sistema de aspersion.

El sistema de aspersión debe diseñarse en función a los requerimientos mencionados en un principio, donde este debe regularse en función a la altura del cultivo y debe configurarse mecánicamente para fumigar con herbicidas y fungicidas y/o pesticidas.

Dentro del mundo de las boquillas de los aspersores existen 4 tipos de boquillas que se utilizan con mayor frecuencia. Los cuales son:

- ✓ Boquillas de abanico
- ✓ Boquillas de cono o turbulencia
- ✓ Boquilla de espejo
- ✓ Boquillas descentradas o de impacto

La elección de la boquilla depende mucho del cultivo al que se va a fumigar, en este caso se va a fumigar maíz, como se sabe la planta maíz presenta hojas haciendo que la parte superior del maíz seas más voluminosa.



Figura 66. Boquillas de aspersor de cono lleno
Fuente: elaboración propia



Figura 67. Plantaciones de maíz
Fuente: elaboración propia

La propuesta de solución al requerimiento de regulación en cuanto a la altura se hará mediante un mecanismo por medio de la unión de una varilla con rosca

en la parte externa y una tuerca de la misma rosca en la parte interna. La alternativa al segundo requerimiento será por medio de motores que irán acoplados independientes a perfiles de acero. Cada una de estas partes será explicada a continuación.

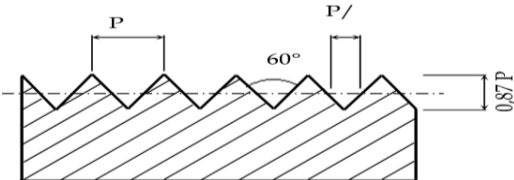
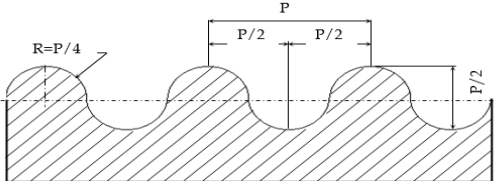
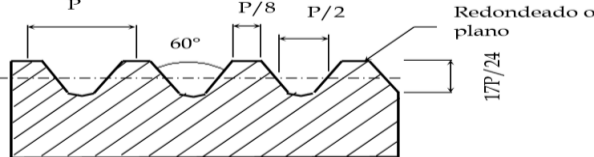
Análisis y diseño del mecanismo transmisor de fuerza

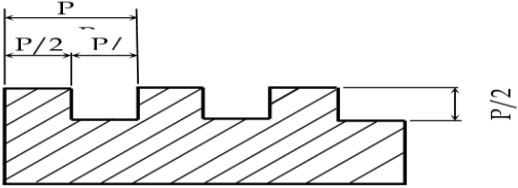
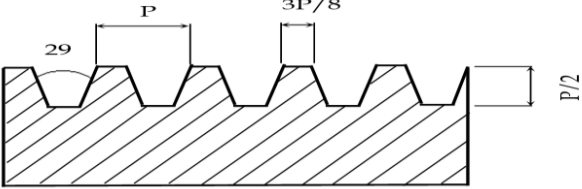
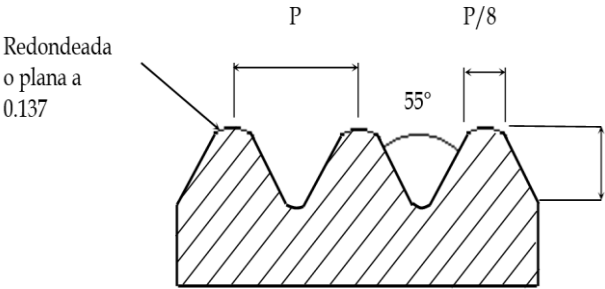
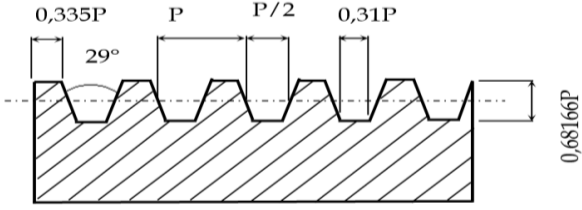
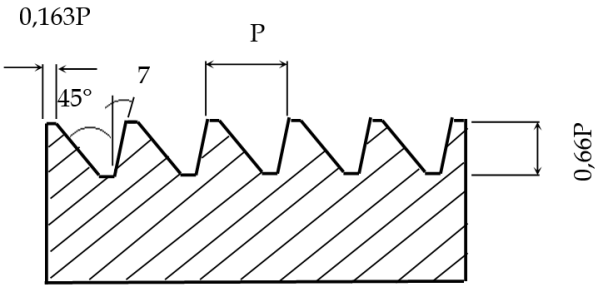
Existe una variedad de mecanismos para regular posiciones mediante transmisión de fuerza, luego de haber revisado y tomando en cuenta los requerimientos que presenta el problema; el mecanismo transmisor de fuerza para regular posiciones estará compuesto por la unión de una tuerca con rosca tipo Acme y un eje roscado en la parte externa, del mismo tipo de rosca como se muestra en la figura. El diseño y la elección de cada una de ellas se explican a continuación.

Determinación del tipo de rosca para el eje regulador de altura de los aspersores.

Para poder definir el diseño de la rosca se da a conocer los tipos de roscas más comerciables el cual se muestra en la Tabla 18 y en base a ello definir el tipo de rosca para el sistema de aspersión, específicamente para el eje de regulación de los aspersores.

Tabla 18. Tipos de rosca

Tipo de rosca	Descripción
<p>Rosca en V aguda</p> 	<p>Estas roscas son utilizadas donde es de gran importancia la precisión, sin embargo, su uso actualmente es raro (48).</p>
<p>Rosca redondeada</p> 	<p>Es utilizada donde no se requiere mucha fuerza, es muy utilizada en tapas para botellas y bombillos (48).</p>
<p>Rosca Nacional Americana Unificada</p> 	<p>Es un tipo de rosca que tiene la forma en base al estándar de las roscas en Estados Unidos, Canadá, Gran Bretaña (48).</p>

<p>Rosca Cuadrada</p> 	<p>Este tipo de rosca se caracteriza por transmitir las fuerzas en dirección paralela al eje (48).</p>
<p>Rosca Acme</p> 	<p>Se caracteriza por haber reemplazado a la rosca de tipo filete truncado. Se caracteriza por ser más resistente, más fácil de tallar. Se utilizan donde se necesita aplicar mucha fuerza (48).</p>
<p>Rosca Whitworth</p> 	<p>Este tipo de rosca es utilizada en tubos de conducción de gas, tubos de calefacción, etc. No recomendable para trabajos donde se desea aplicar fuerzas (48).</p>
<p>Rosca sin fin</p> 	<p>Se caracteriza por ser utilizada para transmitir fuerzas a engranajes sin fin (48).</p>
<p>Rosca trapezoidal</p> 	<p>Este tipo de rosca es utilizado para transmitir fuerzas en una sola dirección, Es muy utilizado en máquinas para sostener cargas de pesos considerables (48).</p>

Fuente: elaboración propia

Rosca Acme para el eje de regulación de los aspersores

Luego de haber revisado las características y aplicaciones que tiene cada uno de los tipos de roscas, la rosca será tipo Acme.

Análisis y diseño de los soportes de los aspersores

Este sistema estará compuesto por un eje con rosca tipo Acme, un eje de guía, perfiles de soporte, y apoyo. Todos en acero ATM 300.

Análisis y cálculo de rosca Acme de una pulgada de diámetro (para este caso será de 5 hilos por pulgada)

Para el análisis y cálculo se tomará como referencia las características de la rosca tipo Acme T 12,6.

Donde:

N = será el número de Hilos por pulgada = 5

El paso está dado por:

$$P = \frac{1}{n} \quad (28)$$

$$P = \frac{1}{5} \quad (29)$$

$$P = 0.20$$

Calculando el valor de D para de esta manera remplazar en la ecuación general:

$$D = \frac{P}{2} + 0.010 \quad (30)$$

$$D = \frac{0.20}{2} + 0.010 \quad (31)$$

$$D = 0,11$$

Distancia de separación entre dientes del tornillo

$$C = (0,307 \times P) - 0,005^4 \quad (32)$$

$$C = (0,307 \times 0,20) - 0,005^4 \quad (33)$$

$$C = 0,0564$$

Longitud de cada diente del tornillo sinfín:

$$F = 0,307 \times P \quad (34)$$

$$F = 0,307 \times 0,20 \quad (35)$$

$$F = 0,0614$$

Diagrama de rosca tipo Acme:

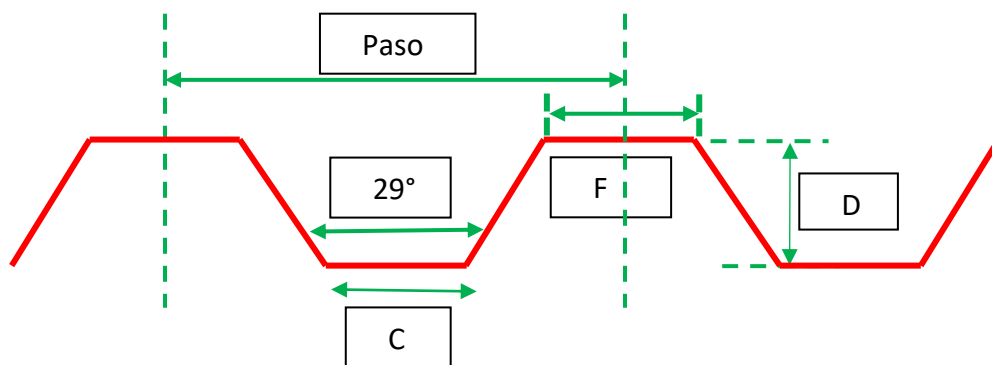


Figura 68. Diseño de la rosca tipo Acme
Fuente: elaboración propia

Para el análisis y cálculo se tomarán como referencia las características de la rosca tipo Acme T 12,6.

La elección de la rosca Acme fue por su resistencia y propiedad para aplicaciones de transmisión de fuerza y sobre todo por su viabilidad de fabricación.

Luego del análisis y cálculo realizado, el eje con rosca sinfín tendrá las siguientes dimensiones.

Sabiendo que el peso que tendrá que elevar hasta un cierto nivel es de 25 kg, en base a este requerimiento se deduce que el diámetro mínimo que debe tener el eje sinfín es de 20.35 mm, sin embargo, por cuestiones de diseño y de seguridad se va a considerar el diámetro de 1".

Asimismo, para que el motor pueda desplazar la carga por medio de este eje roscado debe tener una potencia mínima de 4 000 N/cm como mínimo de acuerdo a los cálculos que se muestran en el Anexo B.

Luego de haber definido el tipo de rosca que tendrá el eje y realizado los cálculos, el eje se muestra en la Figura 69.

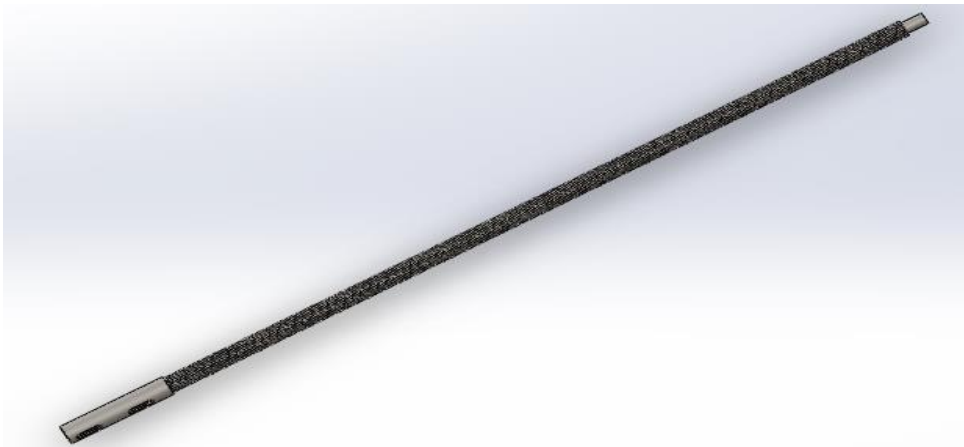


Figura 69. Espiga con rosca tipo Acme
Fuente: elaboración propia

Las dimensiones del eje roscado:

Longitud: 15 cm parte fina /108 cm parte roscada / parte fina final 3 cm

La longitud total del eje es de 126 cm.

Espesor: 3 cm parte liza / 2.54 cm parte roscada

Número de hilos por pulgada: 5

Caja metálica con rosca interna

La caja con rosca interna estará ubicada juntamente con el eje principal (espiga), junto a ella se le acoplará unos apoyos para que esta, al desplazarse, no genere desequilibrio en el eje aspersor.

Las dimensiones de la caja metálica con rosca interna son las siguientes:

Longitud: 10 cm

Diámetro de rosca interna: 2.54 cm

Número de hilos por pulgada: 5

La caja metálica con rosca interna estará apoyada a la platina por medio de perfiles en L con una apertura de 130°. Y una platina intermedia, tal como se muestra en la Figura 70.

Las dimensiones de las platinas de apoyo son:

Largo: 8.3 cm

Espesor: 1.4 mm

Ancho de: 2.69 cm

Asimismo, los perfiles metálicos en forma de L tienen las siguientes dimensiones:

Largo: 211 cm

Espesor: 0.48 mm

Dimensiones: 3.4 cm ancho

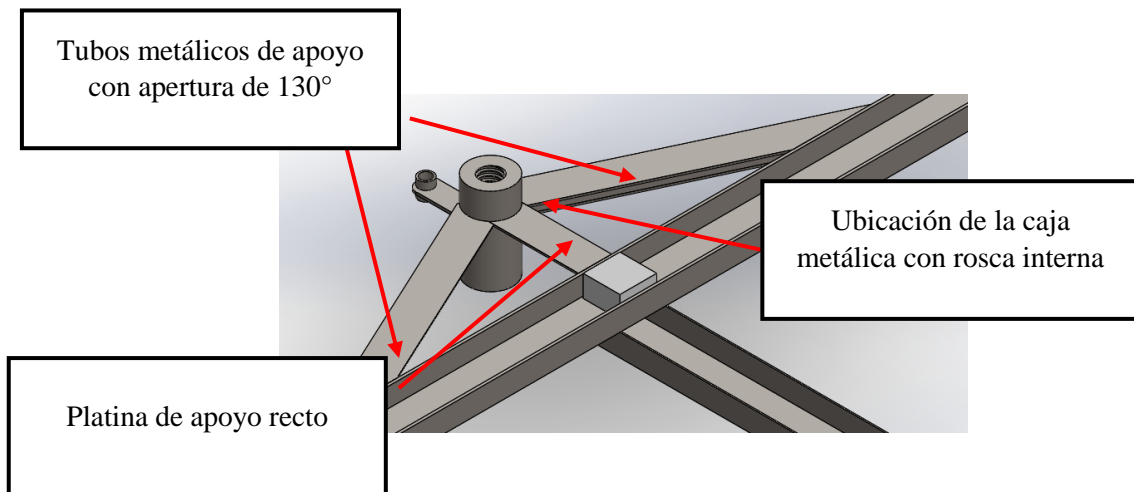


Figura 70. Caja con rosca interna y apoyos

Fuente: elaboración propia

Eje vertical

Seguidamente, para evitar que al regular la altura de los aspersores se va a colocar un eje de sujeción, este servirá de apoyo para evitar que toda la platina de los aspersores sufra inclinaciones.

Las dimensiones del tubo metálico de apoyo recto son las siguientes:

Largo: 20 mm

Espesor: 2 mm

Diámetro externo: 16.7 mm

Diámetro de agujero: 12.7 mm

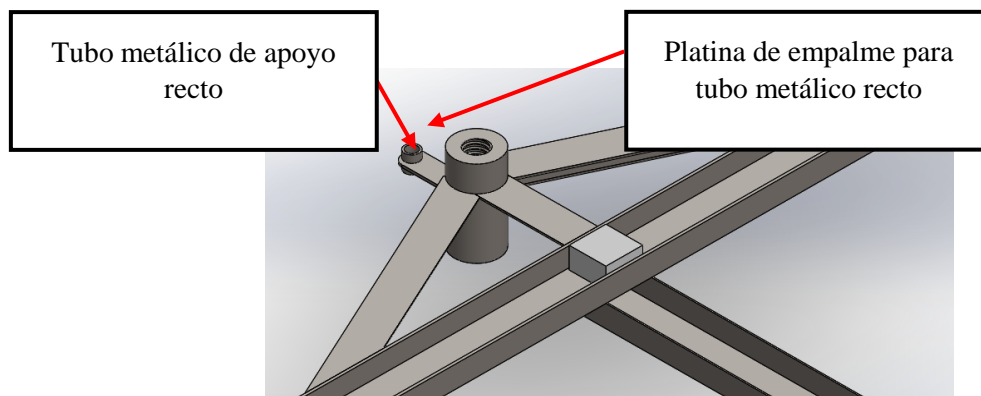


Figura 71. Componentes del sistema de regulación del sistema de aspersión

Fuente: elaboración propia

Eje vertical

El sistema de aspersión tendrá un apoyo el cual estará unido a una tuerca liza fija interna, este apoyo servirá para evitar que la platina horizontal sufra inclinaciones.

Las dimensiones de este eje son las siguientes:

Largo: 111.8 cm

Diámetro: 12.8 mm

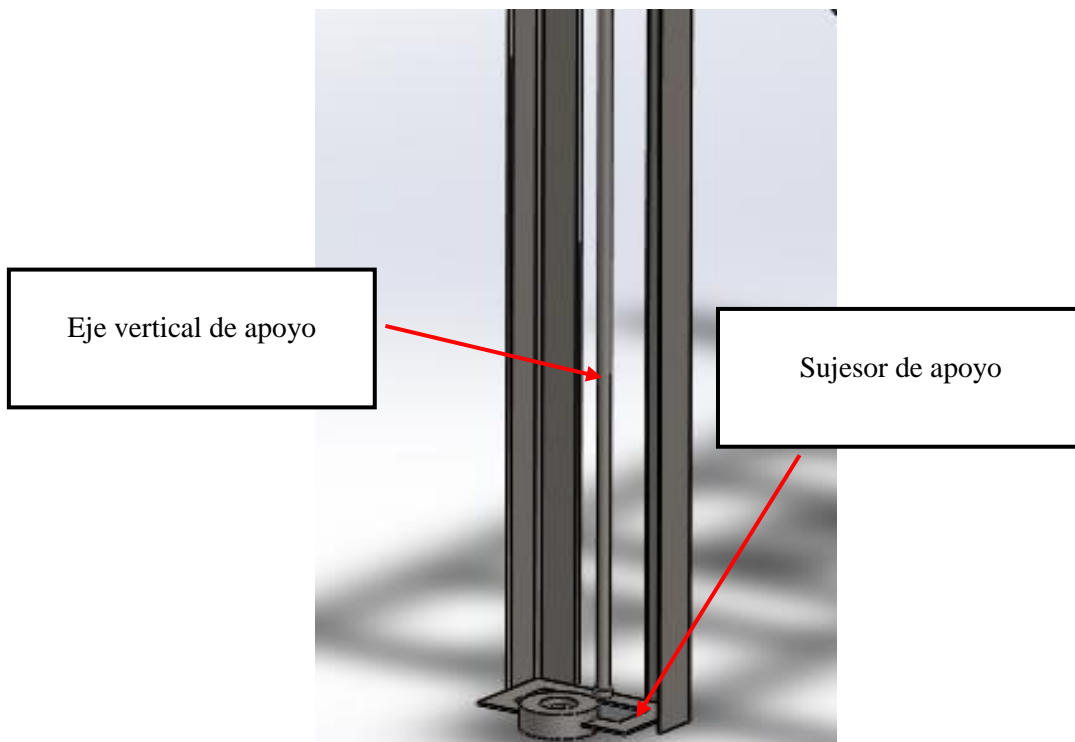


Figura 72. Ubicación de eje vertical de apoyo
Fuente: elaboración propia

Perfil laminado para las partes laterales

El tornillo sinfín tendrá un tope en la parte más baja de toda la parte de regulación del sistema de aspersión, este sistema está unido a unas platinas metálicas y de esta manera mantener en equilibrio la regulación del sistema de aspersión.

Las dimensiones de este perfil laminado son las siguientes:

Largo: 11.32 cm

Ancho: 5.8 cm

Espesor: 1.5 mm

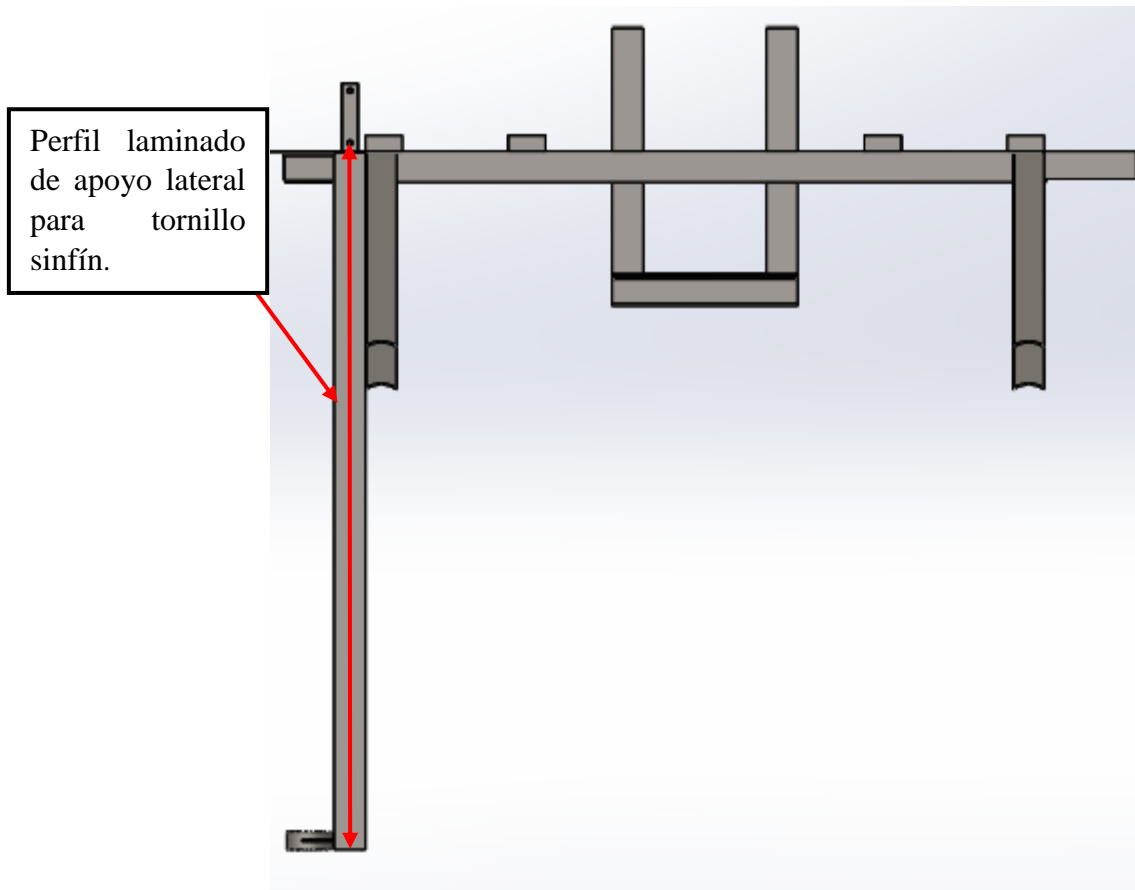


Figura 73. Ubicación de perfil vertical para desplazamiento de perfil en forma de U
Fuente: elaboración propia

Perfil horizontal

Parte del sistema mecánico de aspersión estará compuesto por una platina en forma de U donde en ella estarán ubicados los motores y las mangueras neumáticas por donde circulará el agroquímico, esta platina estará unida a la caja metálica con rosca interna por medio de soldadura. Esta platina tendrá las siguientes dimensiones:

Ancho: 5.8 cm

Altura: 2.540 cm

Espesor: 1.98 mm

Esta platina tendrá una longitud de 4 m, sobre ella irán ubicadas 5 platinas en forma de U para la ubicación de las boquillas de los aspersores y los sensores, y estará gobernado por unos motores.



Figura 74. Platina en forma de U para sistema de aspersión
Fuente: elaboración propia

A continuación, se darán a conocer cómo están ensambladas las platinas de los aspersores juntamente con los motores.

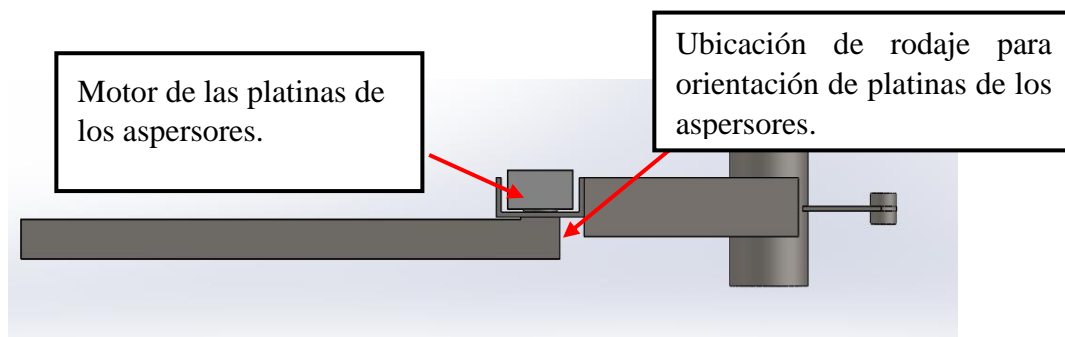


Figura 75. Descripción del ensamblaje de las platinas del sistema de aspersión
Fuente: elaboración propia

Los motores que realizarán el giro de las platinas donde se encuentran ubicadas las boquillas de los aspersores y los sensores, estos motores realizan ciertos giros con el fin de cambiar la ubicación de las boquillas de los aspersores, a medida que sea necesaria y dependiendo del agroquímico con el que se va a trabajar.

Este motor estará sujetado mediante pernos y tuercas sobre una base de metal, asimismo al eje del motor se le va a acoplar otro eje de mayores diámetros el cual se muestra en la Figura 76.

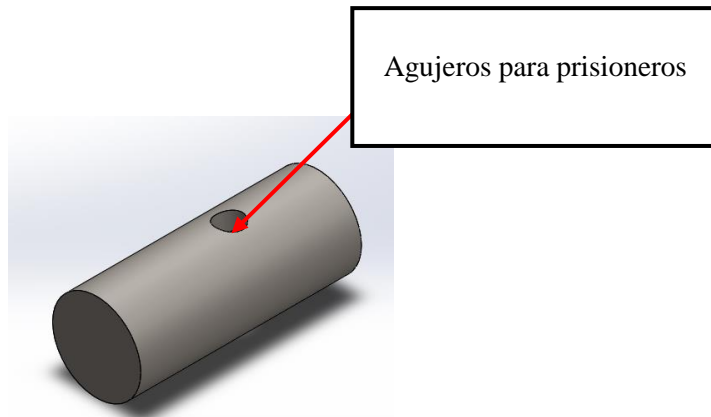


Figura 76. Eje de acople para motor de los perfiles de aspersores
Fuente: elaboración propia

Este eje estará sujeto al eje del motor por medio de prisioneros. Asimismo, se va a colocar un rodaje para facilitar el giro del perfil además de exigir menos al motor.

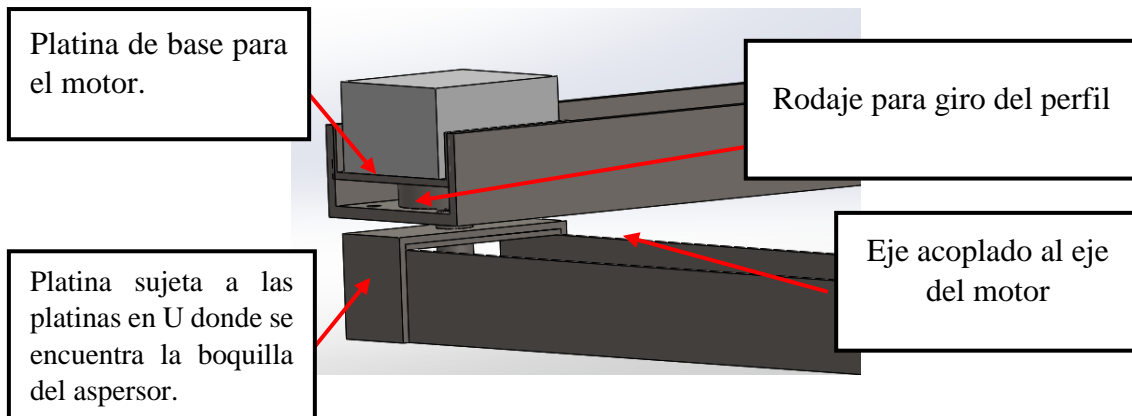


Figura 77. Eje del motor por medio de prisioneros
Fuente: elaboración propia

Asimismo, a continuación, se dará a conocer la ubicación del sensor y las boquillas del aspersor, posteriormente se dará a conocer a detalle el funcionamiento y control tanto de la boquilla del aspersor y del sensor.

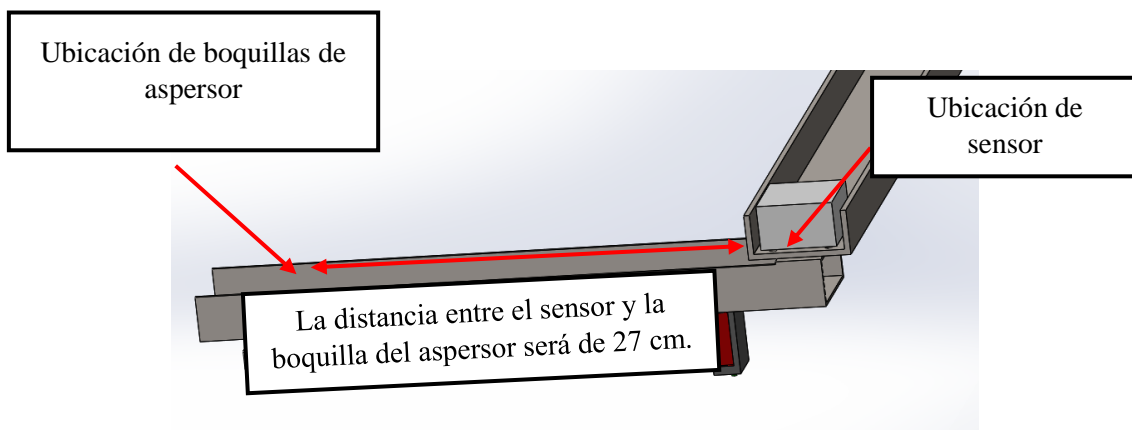


Figura 78. Ubicación de sensor y boquilla de aspersor
 Fuente: elaboración propia

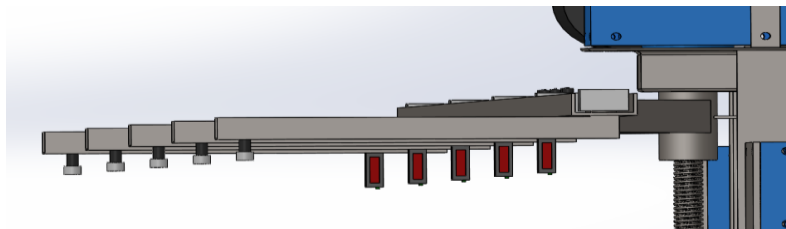


Figura 79. Identificación de sensores y boquillas de aspersores del sistema de aspersión
 Fuente: elaboración propia

Platinas para soporte de boquillas y sensores

Sobre esta platina estarán ubicados los sensores y las boquillas de los aspersores, estas platinas estarán gobernadas por unos motores, que al encenderlas modificarán la posición de los aspersores ya sea para fumigación con plaguicidas o herbicidas.

A continuación, en la imagen se muestra las posiciones en la que las platinas de aluminio trabajarán. Las dimensiones de estas platinas son las siguientes:

Ancho: 5,08 cm

Altura: 2,540 cm

Espesor: 1.98 mm

Longitud: 35 cm



Figura 80. Eje de sistema de aspersión del robot fumigador
Fuente: elaboración propia

Luego de haber realizado los cálculos necesarios y definidas las dimensiones necesarias del sistema de aspersión, a continuación, se dará a conocer la parte mecánica de todo el sistema de aspersión, ensamblado en la estructura de soporte de los accesorios del robot.

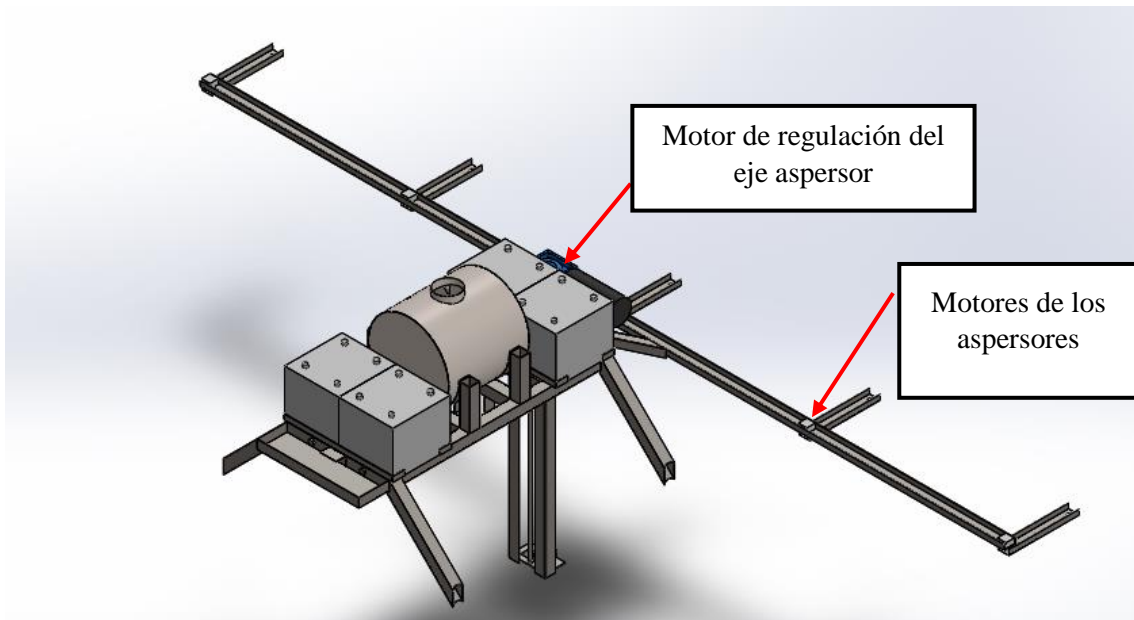


Figura 81. Vista isométrica del ensamblaje del sistema de aspersión en la estructura del robot
Fuente: elaboración propia

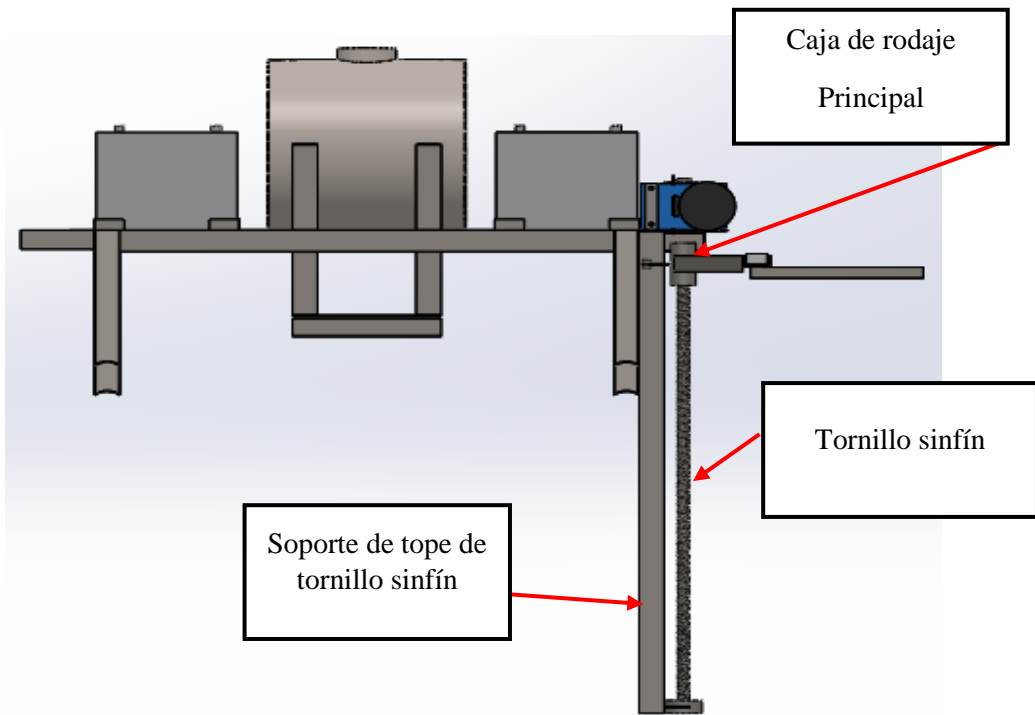


Figura 82. Vista lateral del sistema de aspersión
Fuente: elaboración propia

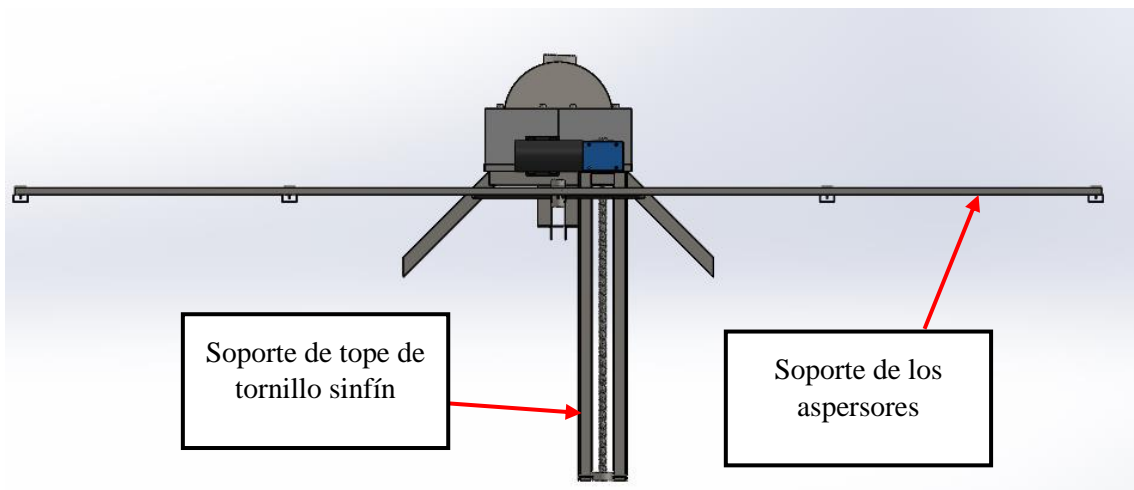


Figura 83. Vista frontal del sistema de aspersión
Fuente: elaboración propia

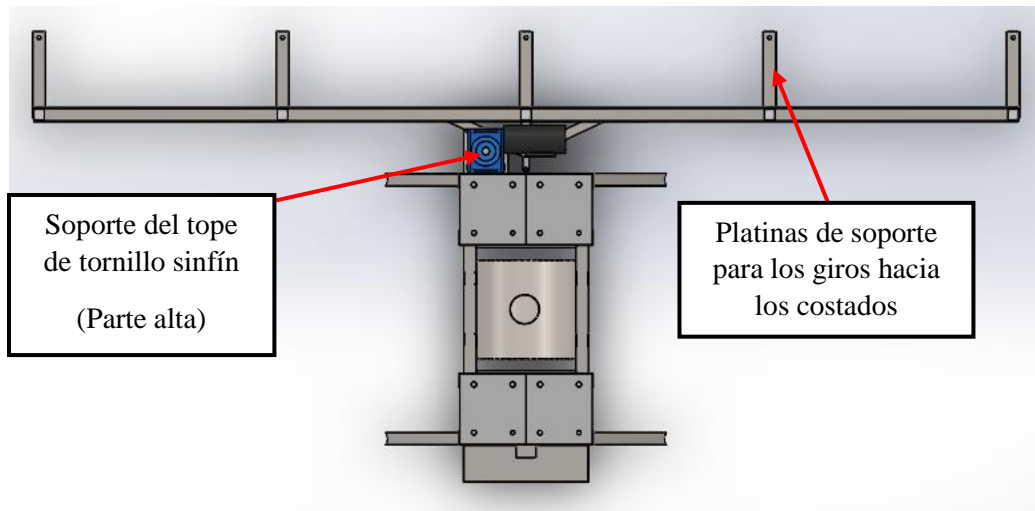


Figura 84. Vista de planta del sistema de aspersión
Fuente: elaboración propia

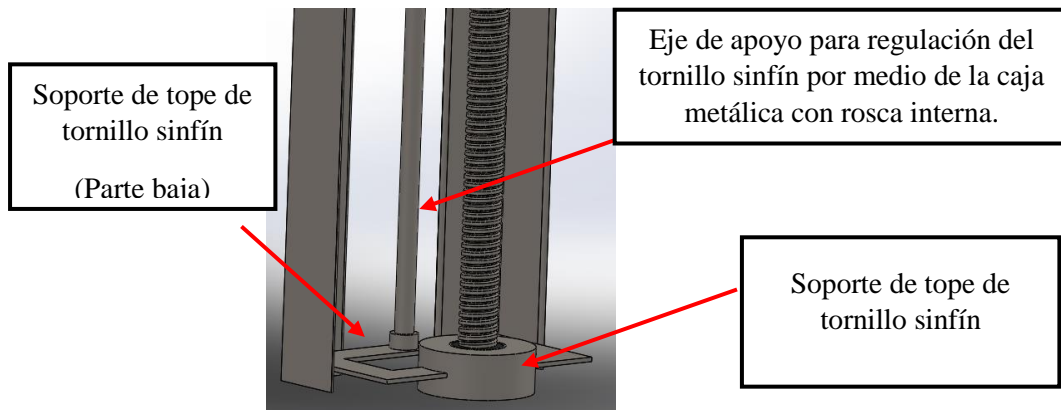


Figura 85. Tornillo sinfín y eje de regulación
Fuente: elaboración propia

Luego de haber definido el diseño mecánico del sistema de aspersión y ensamblado en la estructura del robot, ubicando las baterías, el tanque contenedor y los demás accesorios que componen esta sección del robot, se realizó una serie de análisis para de esta manera garantizar que la estructura soportará la carga y no verse dañada durante el desplazamiento del robot. Los análisis y cálculos de todo lo mencionado que garantizan el diseño de esta primera sección se encuentran en el anexo de cálculos.

Luego de haber culminado el diseño de esta primera sección, seguidamente se realizará y definirá el diseño del sistema mecánico para la orientación y soporte del robot sobre la tierra que es la base móvil.

4.5.1.7. Base móvil del robot

La base móvil del robot está compuesta por dos mecanismos de forma general la primera es un mecanismo para la orientación del robot es decir para direccionar al robot en el terreno de cultivo, el otro mecanismo es el desplazamiento del robot de avance y retroceso, el diseño de cada uno de estos mecanismos se detalla a continuación.

4.5.1.8. Diseño de mecanismo para la orientación del robot por medio de las ruedas.

Una vez culminado el diseño mecánico de la primera parte, luego de varios análisis tomando en cuenta los requerimientos que se mencionaron en un principio, se logró definir la solución más apropiada para esta sección del robot.

La solución óptima para el diseño de esta sección del robot consiste un mecanismo de forma vertical, el fin de esta sección del robot es direccionar al robot y a la vez servir de soporte para el robot.

Este sistema está compuesto por las siguientes piezas mecánicas: un tubo metálico, un eje, un resorte, una bocina, un anillo metálico, un motor y planchas de metal, que al integrarse forman un solo mecanismo de soporte. Las dimensiones a detalle de cada pieza se encuentran en los planos que están en los anexos de planos.

El montaje de estas piezas quedará como se muestra en las Figuras 84 y 85.

Una de las piezas de suma importancia es el diseño de eje, si bien es cierto gracias a los cálculos se logró definir el diámetro apropiado, sin embargo, otro problema a tomar en cuenta son los desniveles que innumerablemente estarán presentes en el terreno cuando el robot realice su trabajo, es por eso que esta sección del robot tendrá incorporado un resorte, y el diseño de un eje con la forma y configuración apropiada para que el robot logre mantenerse en equilibrio frente a los desniveles.

Luego de una serie de análisis considerando los problemas que tendrá que enfrentar este sistema el diseño del eje es el siguiente.

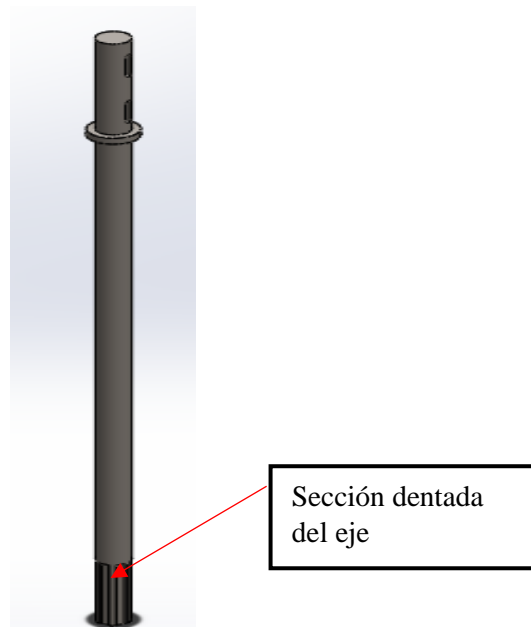


Figura 86. Eje vertical del robot
Fuente: elaboración propia

En la figura 80 se muestra un eje de 98 cm de largo total de diámetro de 30 mm, tiene una sección de 10 cm que es dentada, este diseño se realizó con dos fines, la primera con el fin de amortiguar el peso del robot y ayudar a la orientación del robot cuando el robot realice los giros.

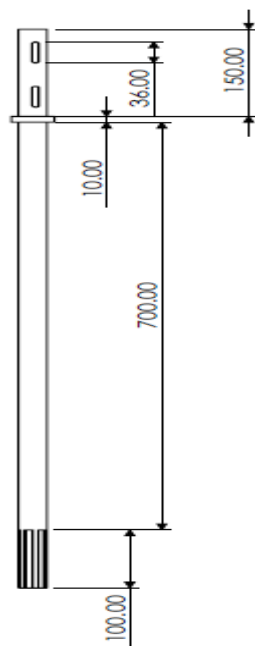


Figura 87. Dimensiones de eje vertical del robot
Fuente: elaboración propia

Asimismo el eje diseñado estará sujeto a un resorte, como se muestra en la Figura 82.



Figura 88. Eje y resorte montado
Fuente: elaboración propia

Luego de un análisis realizado, las dimensiones del resorte son las siguientes, longitud de 405.16 mm, el diámetro del alambre es de 3.1 mm, un diámetro de 31mm conforme al diámetro del eje.

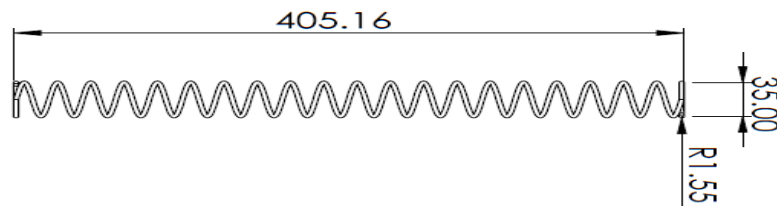


Figura 89. Dimensiones de resorte
Fuente: elaboración propia

A continuación, se muestra cómo estará compuesto todo el mecanismo de orientación y soporte del robot.

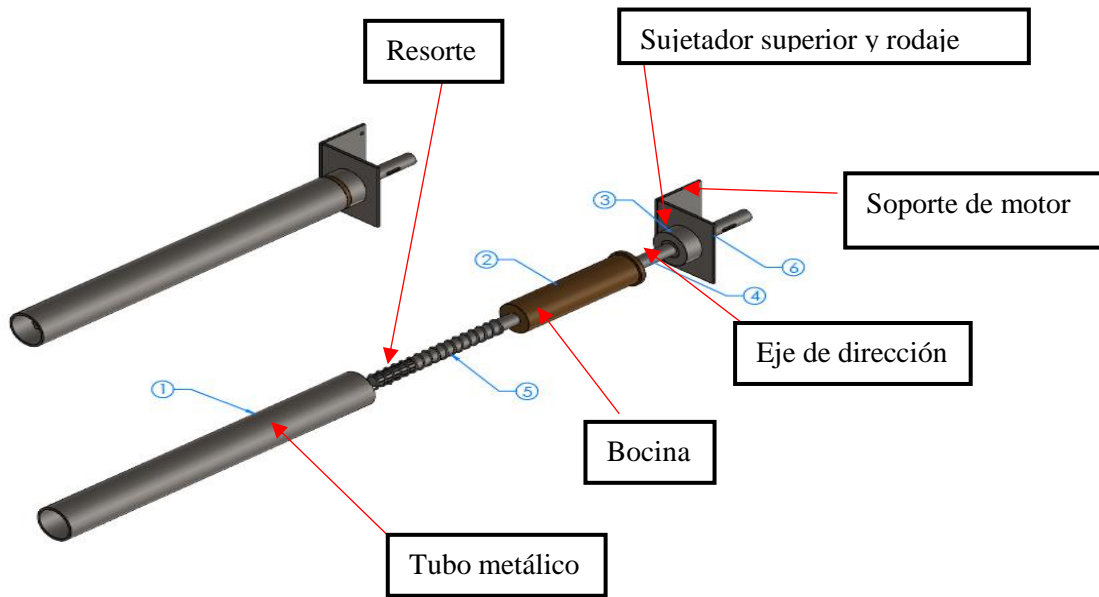


Figura 90. Ubicación de las piezas para el ensamblaje del mecanismo del robot
Fuente: elaboración propia

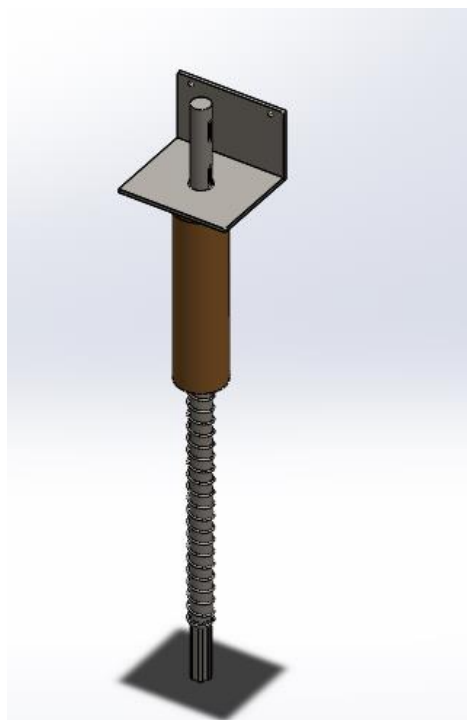
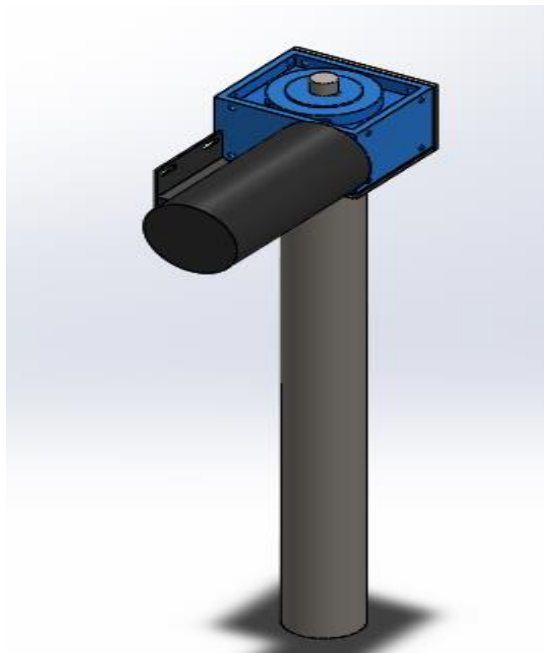


Figura 91. Mecanismo para soporte del robot
Fuente: elaboración propia



*Figura 92. Mecanismo para orientación del robot
Fuente: elaboración propia*

Finalmente, en la Figura 94 se muestra cómo quedará la pieza si se desea fabricar, este mismo mecanismo será utilizado para los cuatro apoyos que tendrá el robot.



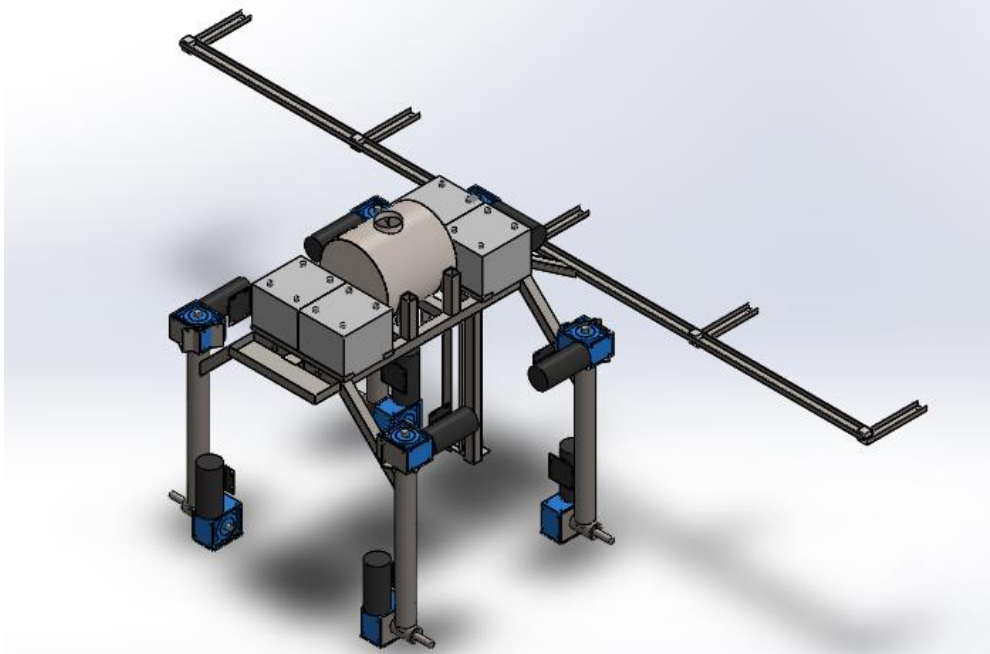
*Figura 93. Mecanismo del robot con su motor
Fuente: elaboración propia*

Una vez culminados los dos apoyos con el que contará el robot, en la Figura 95 se muestra el montaje de todas las piezas que unidas componen el sistema mecánico del robot hasta la fase orientación.

4.5.1.7.2. Diseño de mecanismo para desplazamiento del robot por medio de ruedas

Como se sabe, el desplazamiento del robot se dará por medio de cuatro motores, el cual estará anclado por medio de un eje a la rueda, todas las dimensiones de

las piezas mecánicas están adjuntadas en los anexos de planos. El robot tendrá 4 ruedas para su desplazamiento para ello se tiene que diseñar una base para encajar el motor, el mecanismo que estará compuesto por rodajes y ejes, para que la ruedas giren por medio de los motores.



*Figura 94. Mecanismo del robot fumigador
Fuente: elaboración propia*

El robot para su desplazamiento hará uso de ruedas, sin embargo, la transmisión de la fuerza del motor hacia la rueda consta de una serie de mecanismos que conjuntamente unidas dentro de un tubo cilíndrico harán que el eje gire con la rueda del robot.

A continuación, se detalla y explica cada una de las piezas que, unidas, harán posible el giro de la rueda.

Sistema mecánico para rodamiento de la rueda del robot

El sistema mecánico de esta sección del robot estará compuesto por dos rodamientos y un eje, los rodamientos están ubicados en la parte interior del tubo metálico, como se muestra en la Figura 91.

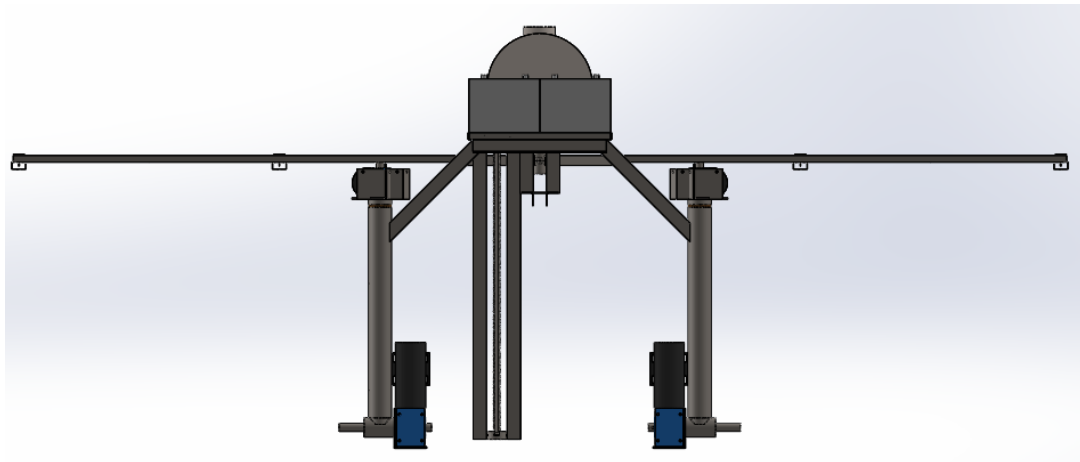


Figura 95. Mecanismo para el desplazamiento del robot
Fuente: elaboración propia

Como se muestra en la Figura 91 dentro del tubo metálico estarán ubicados los dos rodamientos, estas estarán sentadas sobre una base la cual será mecanizada, las dimensiones de los rodajes y el eje están adjuntados en los anexos de la tesis.

Selección de rodajes para el robot

Cálculo de capacidad dinámica

La selección de los rodamientos estará en función a la siguiente formula. Primero se va a calcular la capacidad dinámica.

Para ello es muy importante tener en conocimiento los siguientes datos:

La carga axial que soportará el rodaje será de 300 kg.

La velocidad a la que el motor para el desplazamiento del robot será de 27.3 rpm

El diámetro del eje es de 35 mm para el rodamiento.

$$c = \frac{P d f l}{f N} \quad (36)$$

Donde:

Pd: es la carga de diseño

fL: factor de duración

fN: factor de velocidad

El valor del factor de duración y de velocidad se encuentra en la Figura 97 para rodamientos de rodillos.

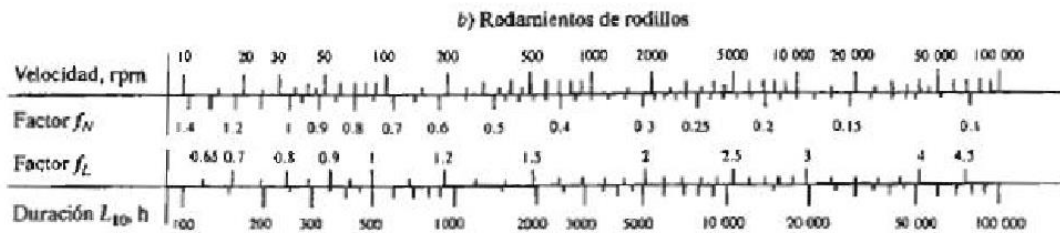


Figura 96. Factores por duración de velocidad de rodamientos de rodillos
Fuente: elaboración propia

Reemplazando los valores en la fórmula:

$$c = \frac{2943 \times 0.8}{1} \quad (37)$$

$$C = 2354.4 \text{ N}$$

La capacidad dinámica de rodamiento debe ser de 2.3544 KN

Cálculo de la capacidad estática

El cálculo de la capacidad estática está dado por la siguiente formula:

$$C_0 = S_0 * P_0$$

Donde:

S0: es el coeficiente de seguridad estática

P0: es la carga estática equivalente

La carga estática será de 300 kg.

P0: se define en función a la tabla que se muestra en la Figura 96.

Condiciones de funcionamiento	Coeficiente de seguridad estática S_0	
	Para rodamientos de rodillos	Para rodamientos a bolas
Funcionamiento suave y normal, con bajas vibraciones y con requisitos poco severos para la suavidad de marcha; rodamientos con reducida oscilación	≥ 1	$\geq 0,5$
Funcionamiento normal, con requisitos más elevados para la suavidad de marcha	≥ 2	≥ 1
Funcionamiento con considerables cargas de impactos o choques	≥ 3	≥ 2
Rodaduras con elevados requisitos de precisión de rotación y suavidad de marcha	≥ 4	≥ 3

Figura 97. Tabla de factores de S_0
Fuente: elaboración propia

Reemplazando los valores:

$$C_0 = 3 \times 2943$$

$$C_0 = 8829 \text{ KN}$$

La capacidad estática del rodamiento debe ser de 8.829 KN

En conclusión, la capacidad dinámica y estática debe ser de 2.3544 KN y 8.829 KN respectivamente, tomando en cuenta que el eje para el rodaje es de 36 mm.

A continuación, se muestra una tabla de rodamientos en la que se muestra que para un eje de 36 mm no existen, sin embargo, se va a considerar las características para eje de 40 mm.

Dímetro Interior (d) mm	Denominación simplificada	Denominación NTN	Dímetro exterior (D)	Ancho del anillo interior (B)	Ancho del anillo exterior (C)	Ancho total (T)	Radio máximo de unión con el eje (r_{rs} max)	Radio máximo de unión con el alojamiento (r_{ra} max)	Peso kg	Capacidad de carga dinámica C kN	Capacidad de carga estática CO	Velocidad límite LUB grasa r.p.m.	Velocidad límite LUB aceite
40	32008	4T-32008X	68	19	14,50	19,00	1,0	1,0	0,273	50,00	65,50	5300	7100
	33008	4T-33008	68	22	18,00	22,00	1,0	1,0	0,312	59,50	82,50	5300	7100
	30208	4T-30208	80	18	16,00	19,75	1,5	1,5	0,435	61,00	67,00	4900	6600
	32208	4T-32208	80	23	19,00	24,75	1,5	1,5	0,558	79,50	93,50	4900	6600
	33208	4T-33208	80	32	25,00	32,00	1,5	1,5	0,728	103,00	132,00	4900	6600
	31308	4T-30308D	90	23	17,00	25,25	2,0	1,5	0,738	77,00	85,50	3900	5200
	30308	4T-30308	90	23	20,00	25,25	2,0	1,5	0,769	91,50	102,00	4400	5900
	32308	4T-32308	90	33	27,00	35,25	2,0	1,5	1,080	122,00	150,00	4400	5900

Figura 98. Tabla de rodamientos
Fuente: elaboración propia

De acuerdo con la tabla se concluye que los parámetros calculados para los rodamientos se encuentran dentro del rango de capacidad de carga estática y dinámica.

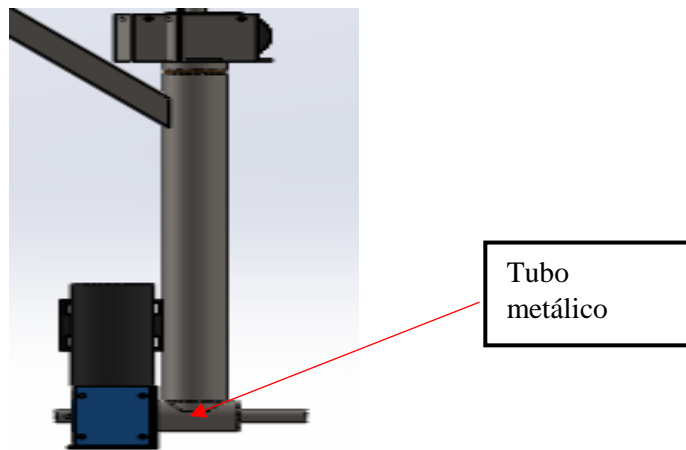


Figura 99. Mecanismo de locomoción del robot
Fuente: elaboración propia

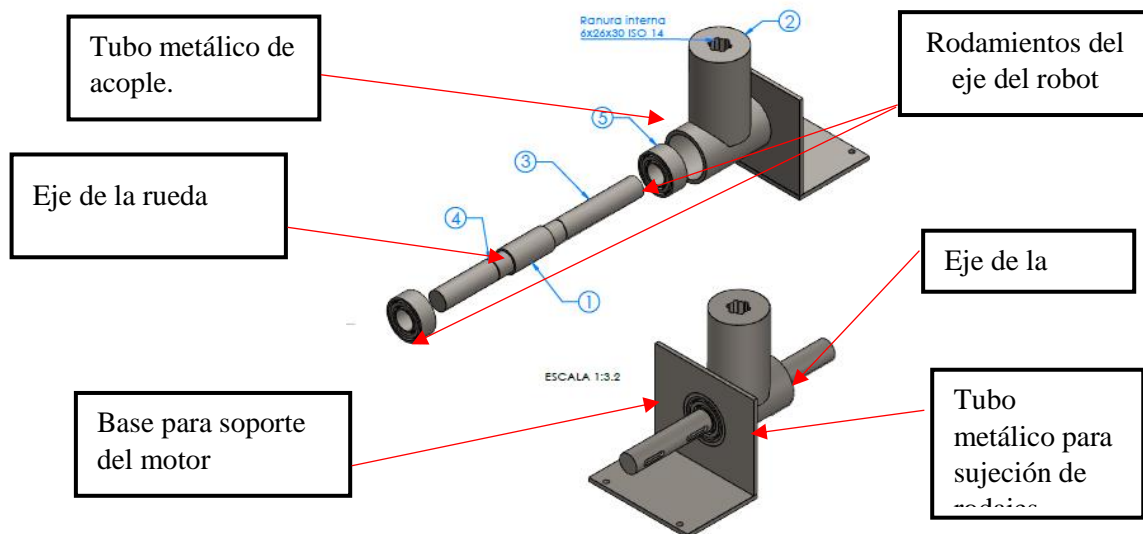
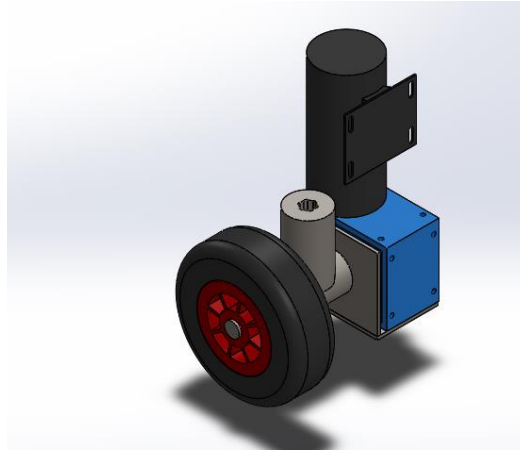


Figura 100. Mecanismo de locomoción del robot
Fuente: elaboración propia

A continuación, se muestra una vista isométrica de la sección mecánica del robot, en ella se muestra la rueda unida por medio de un eje con el motor, la transmisión del eje se da gracias a los dos rodamientos que se encuentran dentro de la tubería. Posteriormente, se estarán especificando las características de las ruedas.



*Figura 101. Vista isométrica del sistema de locomoción del robot
Fuente: elaboración propia*

La configuración de este mecanismo será la misma para las cuatro ruedas que se encargarán de desplazar al robot en dirección de avance y retroceso.

Luego de haber finalizado con el diseño de la estructura principal del robot, seguidamente se analizarán y seleccionarán los actuadores más apropiados para que pueda cumplir su función en cada sección del robot.

Todos los planos se encuentran en los anexos de planos y las hojas de los accesorios se encuentran en el anexo de hoja de datos.

4.5.1.7.3. Actuadores

Los primeros actuadores que se analizarán serán para la estructura mecánica del sistema de aspersión.

Actuadores para sistemas de aspersión

Dado que en el sistema de aspersión irán colocados los ejes para cada aspersor y recordando que, el sistema de fumigación será utilizado para dos tipos de trabajo como es para fumigación con herbicidas para las mala hierbas y las con pesticidas y fungicidas para la fumigación contra insectos y plagas.

Los mecanismos por regular serán dos:

Regulación de posición de las boquillas de los aspersores

Como se dio a conocer desde un inició, el robot contará con 5 aspersores los cuales estarán sujetos en una platina, esta platina estará gobernada por un motor.

Para definir el motor que se va a utilizar se ha realizado una serie de cálculos para definir los parámetros que el motor debe tener, para que pueda mover la platina sin problemas.



Figura 102. Platina del aspersor
Fuente: elaboración propia



Figura 103. Platina de aspersor
Fuente: elaboración propia

De los cálculos realizados que se encuentran en el anexo de cálculos, a continuación, se muestra la tabla con las características que debe tener el motor, para girar la platina sin problemas.

Tabla 19. Motores para los aspersores

Cantidad	Descripción	Voltaje	Potencia	Corriente
5	Motor para la regulación de los ejes de los aspersores	24 V	$P = 10 \text{ W}$	$I = 1.5 \text{ A}$

Fuente: elaboración propia



Figura 104. Motor DC de 24V
Fuente: co.twirl.motor.com

Elección del motor para regular el sistema de aspersión

Luego de haber analizado y definido todos los componentes del sistema de aspersión, a continuación, se va a definir el actuador que regulará la altura de los aspersores. La elección de este motor se dio en base a los cálculos que están en el anexo de cálculos.



Figura 105. Motor para el sistema de aspersión
Fuente: aliexpress.com

A continuación, se da a conocer una tabla con los parámetros más importantes del motor para la regulación de la altura del sistema de aspersión.

Tabla 20. Características del motor del eje para regular los aspersores

Parámetro	Valor
Voltaje	24 V
Corriente	24 A
Diámetro de eje	25 mm
Peso	15 kg
Potencia de salida	500 W

Fuente: elaboración propia

Actuadores para desplazamiento del robot

Dentro de la robótica existen muchos actuadores tales como neumáticos, hidráulicos y eléctricos, sin embargo, para su elección lo fundamental será el tipo

de aplicación que se le quiere dar, para el caso de los robots móviles los actuadores más usados son los eléctricos, siendo en este caso los motores eléctricos.

A continuación, se va a realizar el análisis correspondiente para la selección del motor más apropiado, en este tipo de motores existen parámetros muy importantes a analizar como son:

- Torque (N/m)
- Voltaje (V)
- Corriente (A)
- Velocidad Angular (RPM)

Los cálculos de los parámetros mencionados serán muy importantes, con ello se sabrá el torque mínimo que debe tener el motor para que pueda mover al móvil teniendo en cuenta las condiciones en la que se encuentra un terreno con cultivo de maíz.

Para poder realizar los cálculos necesarios, es muy importante definir el tipo de rueda a considerar.

Selección de rueda

Luego de haber revisado una serie de ruedas para robots móviles, tomando en cuenta las condiciones del terreno, la rueda más apropiada es la del caucho, debido a que este tipo de ruedas presentan un buen deslizamiento en terrenos como el de cultivo de maíz.

Para este caso, si se desea implementar la rueda más apropiada es la de carretilla, debido al diseño de la capa exterior y el material con el que se fabrica, es de caucho; esta llanta cuenta con las siguientes dimensiones 39 cm de diámetro y de 8.5 cm de ancho.



*Figura 106. Llanta del robot
Fuente: cablematic.com*

Tomando como referencia la llanta mostrada en la Figura 107 se hicieron los siguientes cálculos:

Cálculo de velocidad lineal del robot

De acuerdo con los antecedentes revisados y comprobados de manera teórica, la velocidad a la que un agricultor trabaja en tareas de fumigación es de 0.5 m/s.

Asimismo, los robots de los antecedentes revisados denotan la velocidad a la que trabajan y es de 0.5 m/s a 1 m/s.

Cálculo de velocidad angular

Luego de haber determinado el tipo de rueda con sus respectivas dimensiones, y teniendo en conocimiento la velocidad lineal a la que se desplazan los robots diseñados para este enfoque, se realizaron los cálculos que se encuentran en el anexo de cálculos.

En la que se obtuvieron los siguientes datos:

La angular a la que el robot se va a desplazar es de 27.3 rpm.

Voltaje de los motores

Otro parámetro muy importante en la selección de motores es el voltaje, claro está que no se va a utilizar tensiones altas, puesto que el robot estará en el

campo y no será muy factible ni viable energizar lo motores con tensiones altas. Para ello se va a utilizar baterías de 24 V, esta elección se hizo con el fin de reducir lo mayor posible la intensidad de corriente.

Cálculo de torque del motor

El cálculo del torque del motor será fundamental para la selección del motor, se tomará como referencia el torque mínimo que debe tener el motor para desplazar al robot.

Para definir este parámetro de los motores de desplazamiento, se va a realizar un análisis en cuatro eventos los cuales son los siguientes:

Cálculo del potencia y corriente del motor en superficies no inclinadas y con una inclinación de 28.6° (ruedas delanteras y ruedas traseras)

Para este caso se realizó el análisis del motor con carga, asumiendo que la superficie del terreno no presenta inclinación, en un primer caso y otro análisis considerando una inclinación en el terreno de 28.6° tal como se muestra en el anexo de cálculos.

Luego de haber realizado todos los cálculos necesarios de todos los parámetros, a continuación, se muestra una tabla con los parámetros de los motores.

Tabla 21. Parámetros de motores para desplazamiento en superficies planas
Características de motores eléctricos para el robot (desplazamiento)

Cantidad	Descripción (eventos)	Voltaje	Potencia	Corriente
2	Motor de la parte delantera del robot superficie plana	24 V	$P = 579.6 \text{ W}$	$I = 24.14 \text{ A}$
	Motor de la parte delantera del robot superficie inclinada	24V	$P = 655.95 \text{ W}$	$I = 27.33 \text{ A}$
2	Motor para la parte trasera del robot superficie plana	24V	$P = 632.93 \text{ W}$	$I = 26.37 \text{ A}$
	Motor para la parte trasera del robot superficie inclinada	24V	$P = 706.412 \text{ W}$	$I = 29.4 \text{ A}$

Fuente: elaboración propia

Motor para desplazamiento del robot

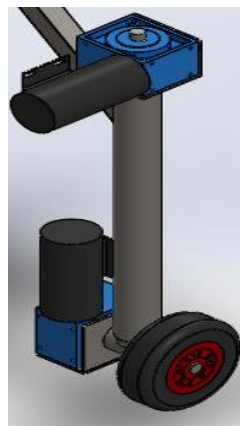
El motor que se muestra en la figura 108 será el encargado de poder desplazar al robot en el terreno de cultivo.



*Figura 107. Motor para el desplazamiento del robot
Fuente: aliexpress.com*

Actuadores para orientación del robot

Para poder orientar al robot en el área de trabajo se hará uso de actuadores eléctricos, como son los motores, estos motores estarán ubicados de manera horizontal a una altura aproximada de 100 cm al cual se le acoplará un eje vertical, para que de esta manera se le pueda orientar al robot.



*Figura 108. Ubicación del motor que realizará la orientación al motor
Fuente: elaboración propia*

Velocidad lineal del robot

Para poder calcular la velocidad angular del motor, primero se va a definir la velocidad a la que esta sección del robot trabaje, para este análisis se tomará

como dato la misma velocidad del robot a la que se desplaza que es de 0.5 m/s como referencia, es decir velocidad constante y máxima.

Velocidad angular del robot

Asimismo, la velocidad angular del motor para la orientación será de 12.2 rpm

Cálculo de potencia y del motor para orientación del robot en superficies planas (ruedas delanteras y ruedas traseras)

El cálculo de la potencia y la corriente son parámetros muy importantes para la selección del motor, asimismo para poder definir el motor apropiado se realizaron los cálculos necesarios que se encuentran en anexo de cálculos, asumiendo que la superficie del terreno no presenta inclinación. El robot solo realizará giros de orientación cuando no presenta inclinación.

Luego de haber realizado todos los cálculos necesarios de todos los parámetros, a continuación, se muestra una tabla con los parámetros de los motores para la orientación del robot.

Tabla 22. Parámetros eléctricos de los motores para orientación del robot

Características de motores eléctricos para orientación del robot				
Cantidad	Descripción	Voltaje	Potencia	Corriente
2	Motor de la parte delantera del robot superficie plana	24 V	$P = 539.5 \text{ W}$	$I = 22.47 \text{ A}$
	Motor de la parte trasera del robot superficie inclinada	24V	$P = 741.3 \text{ W}$	$I = 30.90 \text{ A}$

Fuente: elaboración propia

Motor para orientación del robot

Luego de haber realizado todos los cálculos necesarios para poder conocer el motor y observar lo apropiada que pueda realizar la orientación del robot (giros del robot izquierda y derecha), en la Figura 110 se muestra el motor seleccionado.



Figura 109. Motor para la orientación o del robot
Fuente: aliexpress.com

Montaje e integración de piezas actuadores que conforman el robot fumigador

Luego de haber realizado los cálculos necesarios y definido el diseño de cada sección del robot, a continuación, se detalla y describe el montaje de cada una de estas secciones para de esta manera lograr el diseño del robot.

La primera sección es la estructura del soporte del robot:

Como ya se comentó toda esta sección está compuesta por planchas platinas, tubos cuadrados y perfiles de acero.

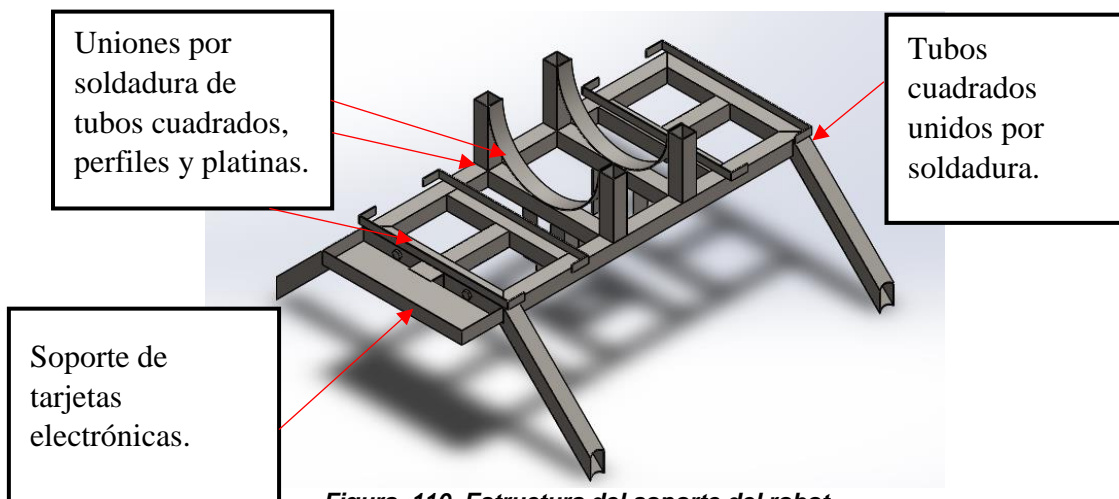


Figura 110. Estructura del soporte del robot
Fuente: elaboración propia

Seguidamente, se da a conocer el diseño del sistema mecánico de aspersion, para que luego esta sea unida hacia la estructura de soporte del robot. En la Figura 112 se muestra el diseño que está compuesto por un motor de corriente directa. Este motor está montado hacia el eje roscado y sujetado mediante pernos y tuercas. Los pernos de acuerdo a las dimensiones del motor serán de

9 mm de diámetro por 25 mm de largo con sus respectivas tuercas y arandelas de presión. En esta sección serán 4 pernos con sus respectivas arandelas de presión.

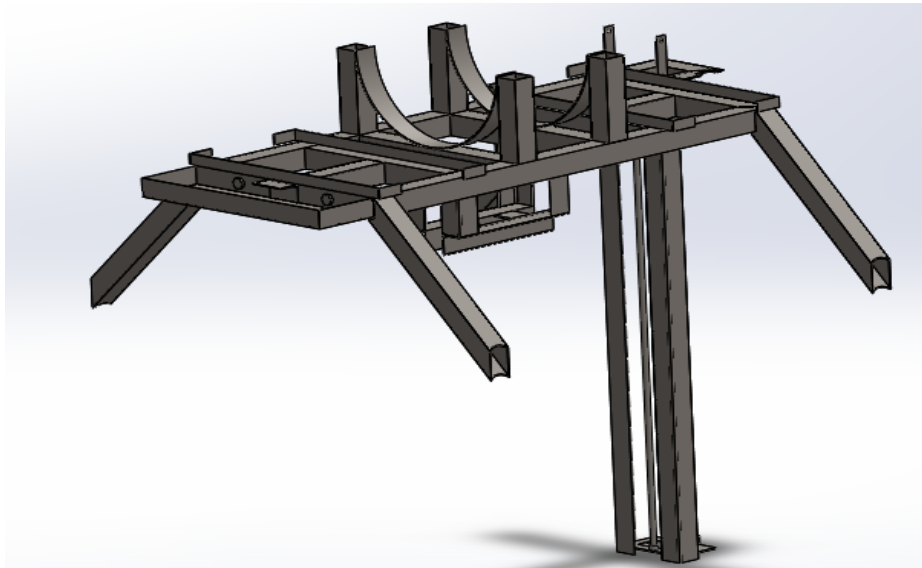


Figura 111. Estructura del robot con el soporte del motor y del eje roscado
Fuente: elaboración propia

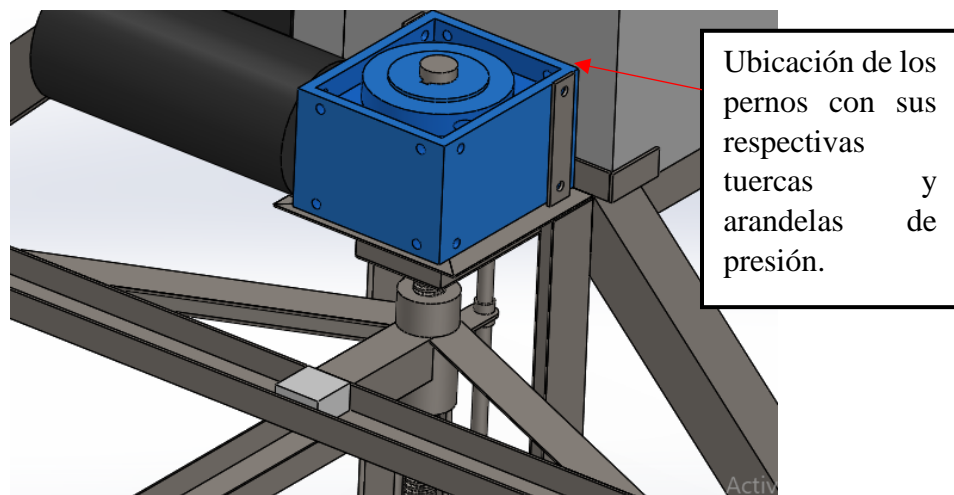


Figura 112. Ubicación y montaje del motor del sistema de aspersión
Fuente: elaboración propia

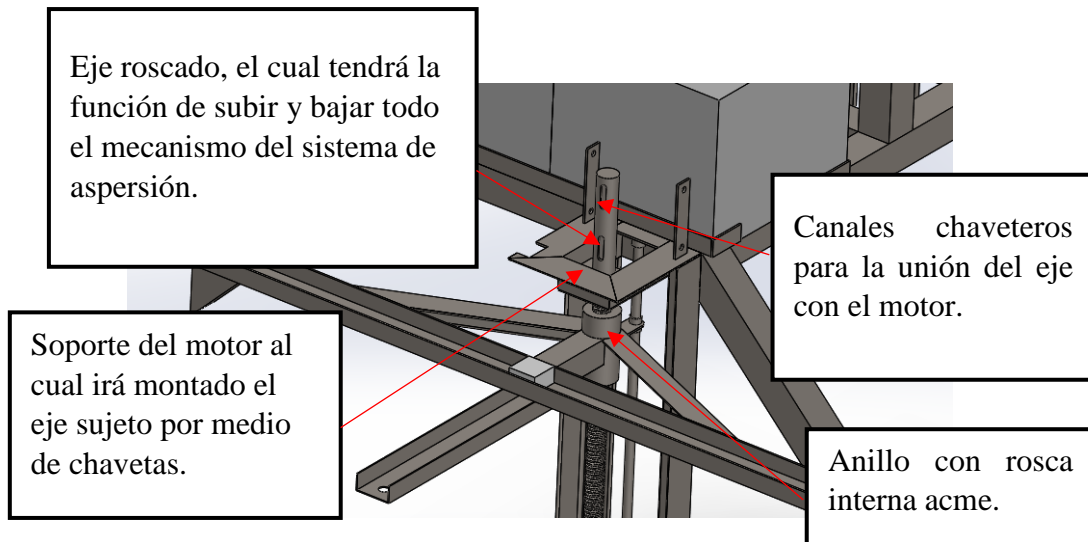


Figura 113. Eje roscado del sistema mecánico de aspersión y soporte del motor
 Fuente: elaboración propia

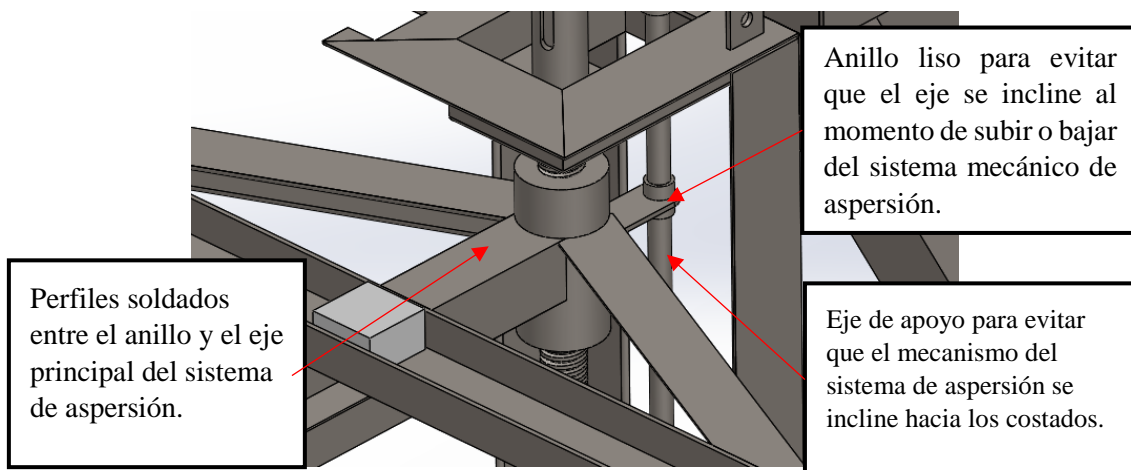


Figura 114. Uniones mecánicas para el desplazamiento vertical del sistema de aspersión
 Fuente: elaboración propia

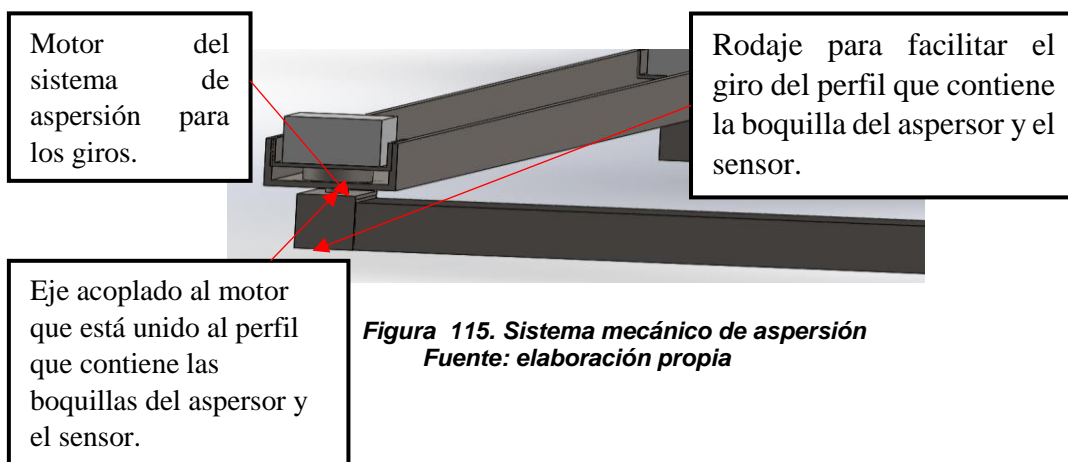


Figura 115. Sistema mecánico de aspersión
 Fuente: elaboración propia



Figura 116. Sistema mecánico de aspersión completo
Fuente: elaboración propia

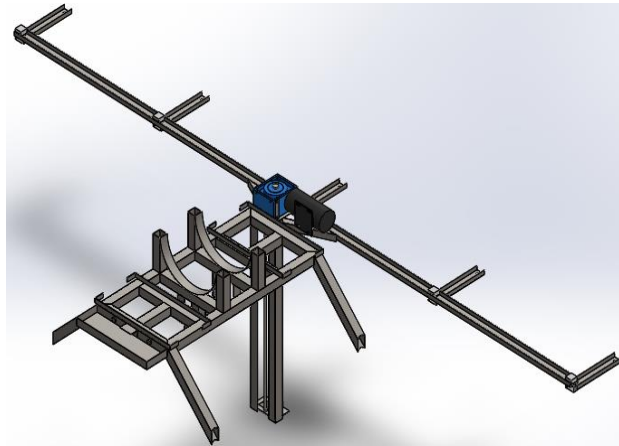


Figura 117. Mecanismo del robot con el soporte mecánico del sistema de aspersión.
Fuente: elaboración propia

Culminada esta sección del robot, a continuación, se dará a conocer el ensamblaje y unión de todas las piezas que componen el sistema mecánico para la orientación y desplazamiento del robot. En la Figura 119 se muestra el mecanismo por el cual el robot realizará las orientaciones, es decir, los giros necesarios para que pueda realizar el trabajo de fumigación sin problemas.

Todo el diseño interno ya se explicó, en esta sección se va a detallar la posición de su ubicación y la ubicación de los motores.

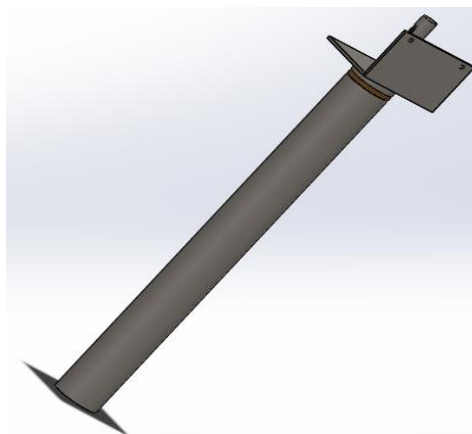


Figura 118. Sistema mecánico para orientación del robot
Fuente: elaboración propia

A continuación, en la Figura 120 se muestra el montaje y la ubicación del motor.

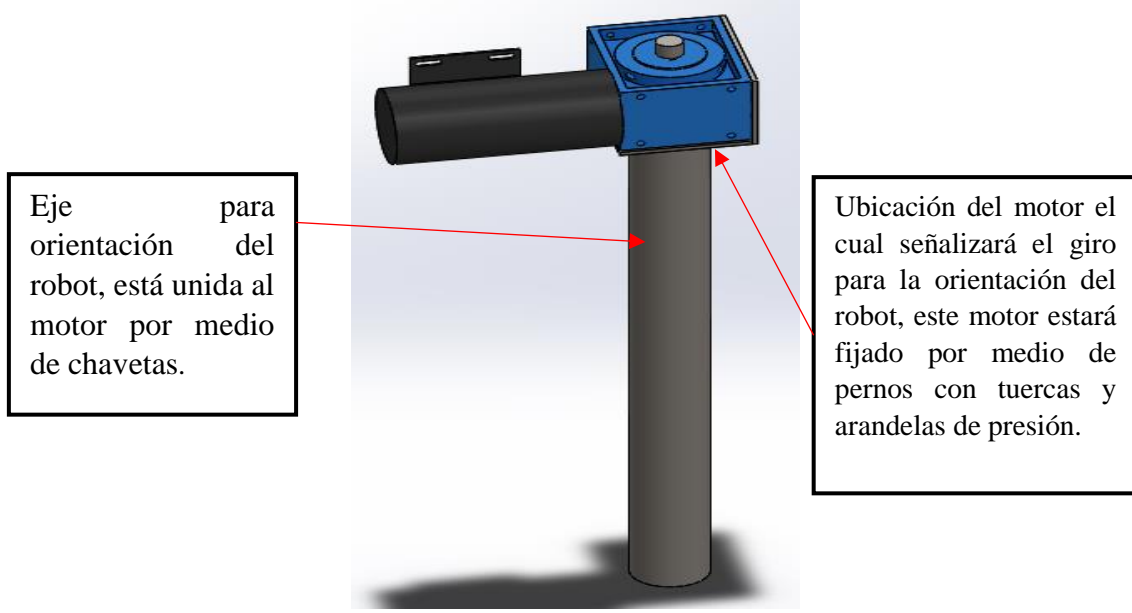


Figura 119. Mecanismo para orientación del robot
Fuente: elaboración propia

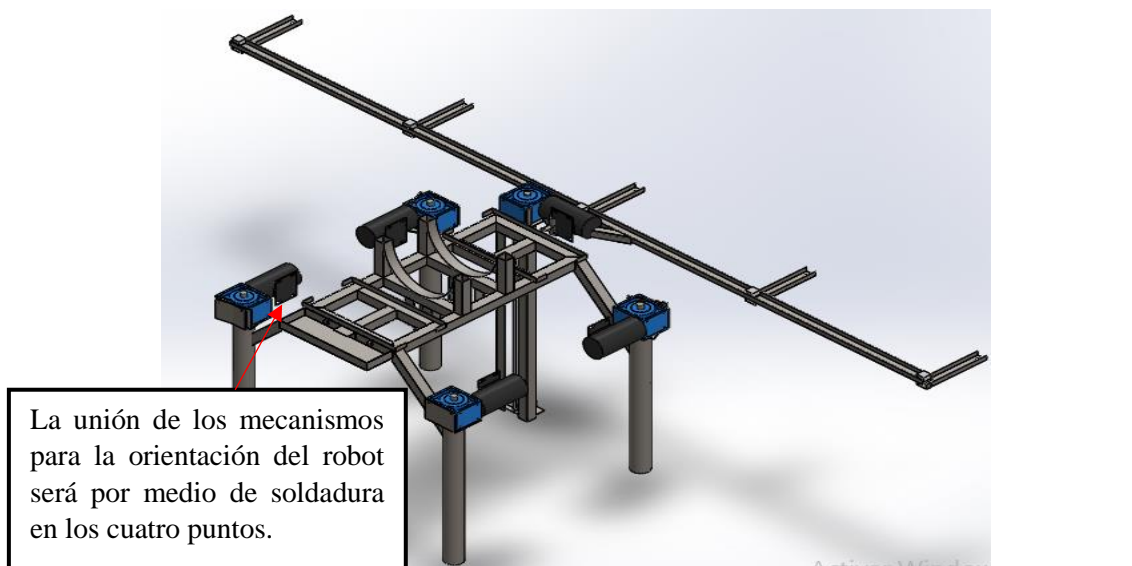
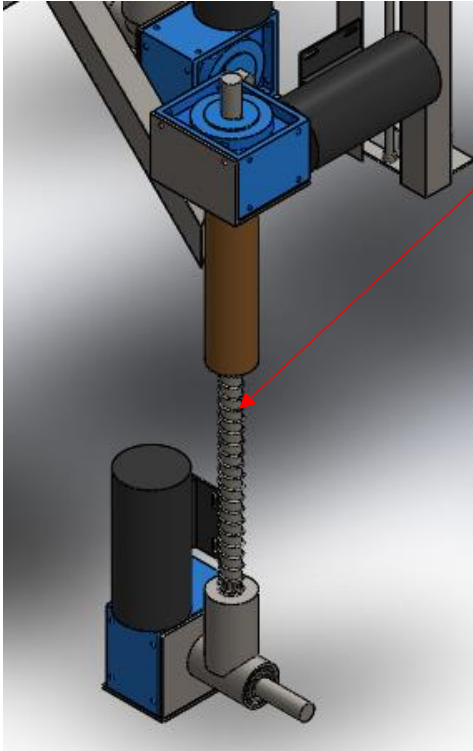


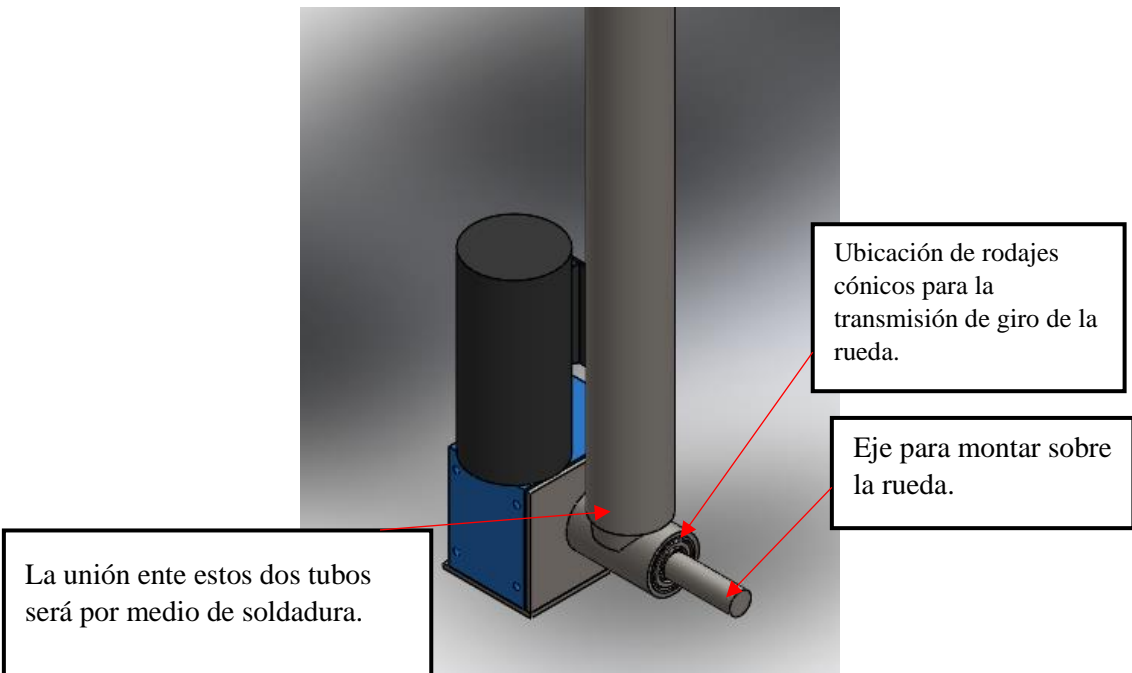
Figura 120. Montaje de los cuatro apoyos para orientación del robot con sus respectivos motores
Fuente: elaboración propia



Mecanismo de amortiguamiento para equilibrar al robot frente a inclinaciones en el terreno de cultivo.

Figura 121. Mecanismo de orientación y desplazamiento del robot unidos por medio de soldadura
 Fuente: elaboración propia

Culminada la parte de orientación del robot se va a continuar con el mecanismo para el desplazamiento del robot, el mecanismo para el desplazamiento del robot se explicó anteriormente a detalle, en esta sección se va a complementar con la unión de sus respectivas piezas.



La unión ente estos dos tubos será por medio de soldadura.

Ubicación de rodajes cónicos para la transmisión de giro de la rueda.

Eje para montar sobre la rueda.

Figura 122. Mecanismo para desplazamiento del robot
 Fuente: elaboración propia

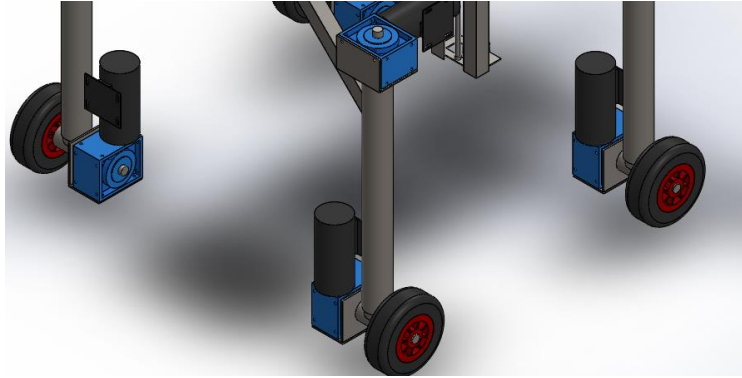


Figura 123. Mecanismo para desplazamiento de robot con las llantas ensambladas
Fuente: elaboración propia

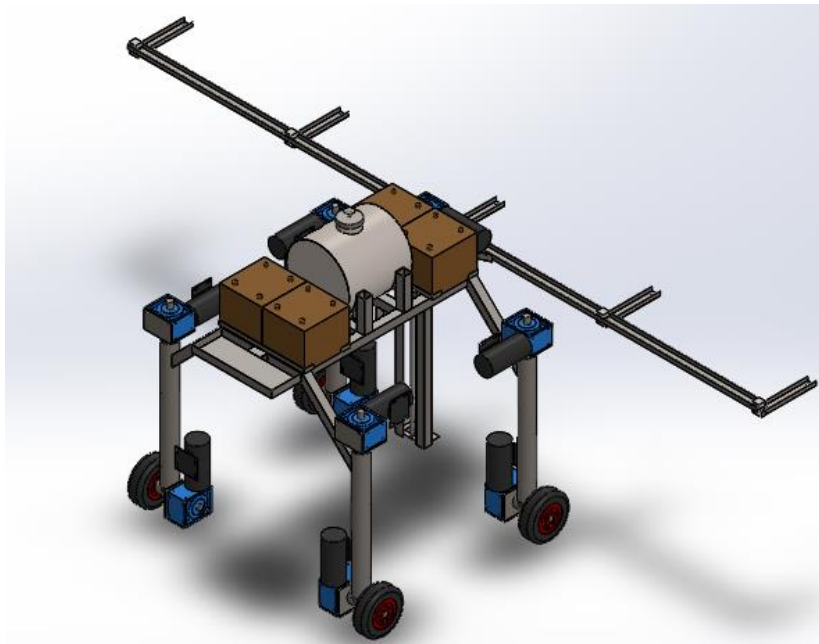


Figura 124. Diseño del robot con todas sus piezas mecánicas implementadas
Fuente: elaboración propia

Hasta este punto se ha presentado el diseño mecánico del robot en cuanto al tanque, la estructura la base móvil, la siguiente sección a diseñar será la del sistema hidráulico con el que el robot debe de trabajar para que de esta manera se realice la fumigación.

4.5.2. Sistema de locomoción del robot

Luego de haber diseñado la parte mecánica del robot, habiendo diseñado el mecanismo para el desplazamiento y orientación del robot por medio de ruedas, a continuación, se va a definir el tipo de locomoción con el que el robot se desplazara por todo el terreno de trabajo.

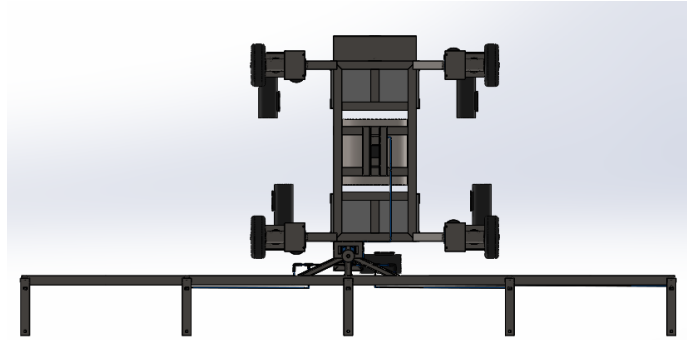


Figura 125. Robot móvil para fumigación
Fuente: elaboración propia

4.5.2.1. Sistemas holonómicos

Analizado el diseño del robot y de cómo funcionarán cada una de las secciones del robot móvil para aplicaciones de fumigación, se concluye que este es un robot holonómico debido a que el robot modificará su dirección instantáneamente, y por esta característica básicamente es la que se considera que el robot presenta una configuración holonómica.

El modelo cinemático del robot está dado por la siguiente ecuación:

$$\begin{cases} x = v \cos(\phi) \\ y = v \sin(\phi) \\ z = \frac{-v}{L} \tan(d) \end{cases} \quad (36)$$

Donde:

$$y = 0$$

$$\phi = 0$$

El desplazamiento del robot será el siguiente:

En X

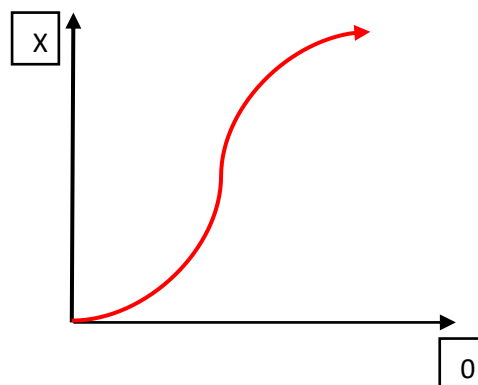


Figura 126. Trayectoria en x
Fuente: elaboración propia

En y

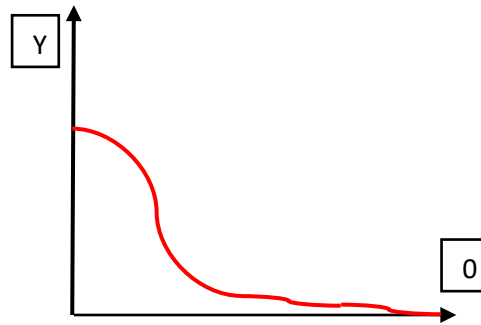


Figura 127. Trayectoria en Y
Fuente: elaboración propia

En \emptyset

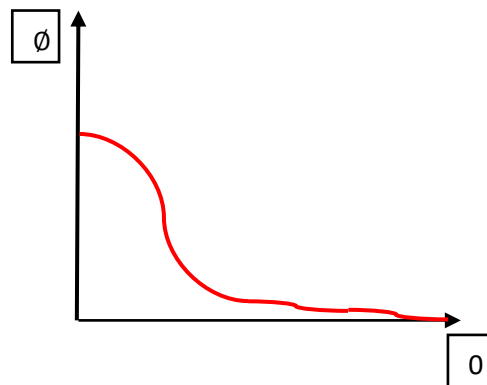


Figura 128. Trayectoria en \emptyset
Fuente: elaboración propia

4.5.4. Sistema hidráulico del robot

El sistema hidráulico del robot estará compuesto por una motobomba, para ello uno de los parámetros principales que se deberá tener en cuenta es el caudal, para de esta manera definir la cantidad de líquido, que debe circular por las mangueras y suministrar a los 5 aspersores.

El cálculo del caudal está dado por la siguiente formula:

$$C = \frac{v}{t} \quad (37)$$

Donde C es el caudal

V: es el volumen que se desea bombear

T: el tiempo que se estima bombea el agroquímico

El cálculo del caudal está en función al tipo de agroquímico que se desea aplicar, para ello se va a realizar el cálculo con los dos tipos de agroquímicos que se va a utilizar como son: fungicidas y herbicidas en función a los 10 000 metros cuadrados de terreno a fumigar.

4.5.4.1. Cálculo de caudal para fumigación con fungicidas

Como ya se tiene en conocimiento el volumen y el tiempo, a continuación, se reemplazarán los datos.

El agroquímico en litros y el tiempo en minutos:

$$C = \frac{270 \text{ l}}{219 \text{ min}} \quad (38)$$

$$= 1.23 \text{ L/min.}$$

El caudal para fumigar el terreno con herbicidas debe ser de 1.23 L/min.

Seguidamente, para saber el caudal que se debe tener por cada aspersor se divide entre los 5 aspersores.

$$C = \frac{1,23 \text{ l/min}}{5} \quad (39)$$

$$C = 0.2465 \text{ l/min}$$

4.5.4.2. Cálculo de caudal para fumigación con herbicidas

Al igual que el caso anterior se va a calcular de la misma forma.

El agroquímico en litros y el tiempo en minutos:

$$C = \frac{320 \text{ l / min}}{201} \quad (4028)$$

$$C = 1,59 \text{ l/min}$$

De igual manera esta cantidad de caudal se va a dividir entre los 5 aspersores

$$A = \frac{1.591 \text{ l/min}}{5} \quad (41)$$

$$C = 0.318 \text{ l/mim}$$

Estos parámetros calculados serán fundamentales para la elección de la bomba hidráulica.

La bomba hidráulica debe tener la capacidad de bombear de 1.231 l/m hasta 1.591l/m.

La bomba en cuanto a parámetro eléctrico, el volante con el que se tendrá que energizar será de 24 V.



Figura 129. Bomba de diafragma
Fuente: aliexpress.com

Tabla 23. Características de bomba hidráulica

Ítem	Descripción	Parámetro
1	Voltaje de alimentación	24 V
2	Potencia	100 W
3	Índice de flujo	8L/M
4	Peso	1.3Kg
5	Estructura "Bomba de diafragma"	-
6	Índice de flujo	8 l/min

Fuente: elaboración propia

Como se mencionó desde la fase del diseño de la parte mecánica, el robot debe estar en condiciones para poder fumigar 5 surcos por cada pasada, luego de haber seleccionado la bomba, se tiene que distribuir el fluido entre las 5 boquillas.

Racores

Debido a que la bomba solo tiene una sola toma de salida la configuración de los racores será de la siguiente manera:

Para ello se va a analizar y configurar los racores de distribución, estos se muestran a continuación:



Figura 130. Codo racor de distribución de 1 a 2
Fuente: romecoindustrial.com

El racor que se ha seleccionado tiene las siguientes dimensiones:

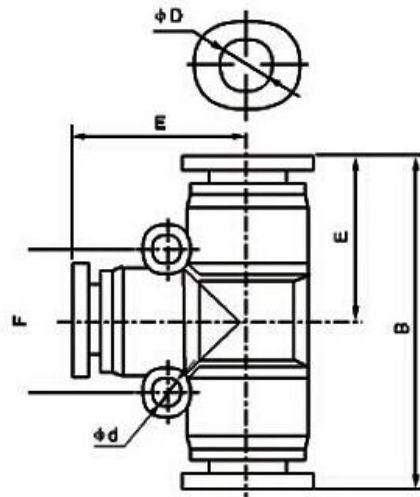


Figura 131. Racor para el sistema hidráulico
Fuente: romecoindustrial.com

Tabla 24. Características de racor T

Ítem	Descripción	Parámetro
1	B Longitud del racor	41 mm
3	F Ancho de toma de entrada	16 mm
4	D Diámetro interior de racor	6 mm

Fuente: elaboración propia



Figura 132. Distribución y conexión de los racores para las 5 boquillas de aspersores
Fuente: elaboración propia

Una vez elegida la bomba y realizada la distribución para los 5 aspersores, lo siguiente es definir mediante qué accesorio se va a controlar el fluido del líquido en el terreno de cultivo.

Mangueras flexibles

La transmisión del fluido por todo el sistema será por medio de mangueras flexibles esta elección se dio debido a que el sistema de aspersión del robot estará diseñado para trabajar en dos tipos de aplicaciones.

Por lo que las mangueras deben de ser flexibles.



Figura 133. Tubo Flexible de PVC
Fuente: aliexpress.com

Electroválvulas

Las electroválvulas deben ser de 24 V. Asimismo, la válvula de acuerdo a un análisis debe ser de 3/2 tres vías, dos posiciones. Accionada por un solenoide para que de esta manera se pueda controlar el fluido del líquido.



Figura 134. Válvula electropneumática de 24V
Fuente: co.rexroth.hyd

Tabla 25. Válvula solenoide de control de dirección de 24V

Ítem	Descripción	Parámetro
1	Voltaje de operación	24 V
2	Accesorios de salida (Conexión de manguera)	12.7 mm
3	Potencias	3 W
4	Presión de trabajo	0.15 – 0.8 MPa
5	Dimensiones	6.5 x 6 x 3.5 mm

Fuente: elaboración propia

Boquillas de los aspersores

Dentro de la variedad de boquillas de aspersores existe una gran variedad, sin embargo, la que más se ajusta para la aplicación que se le quiere dar en este caso es la boquilla que se muestra en la Figura 136. La elección de esta boquilla se hizo en base a la forma en la que expulsa el fluido.



Figura 135. Rociador de agua
Fuente: banggood.com

Tabla 26. Características de las boquillas de los aspersores

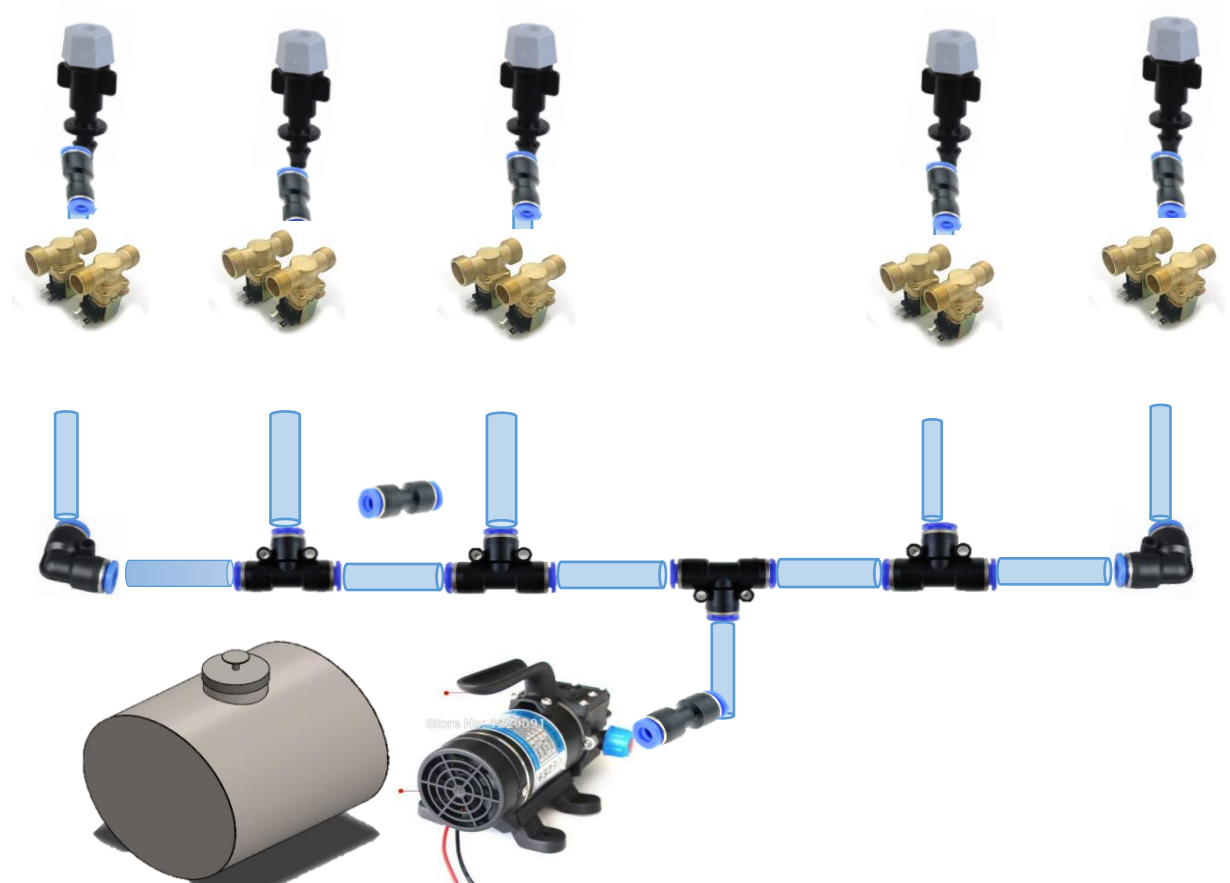
Ítem	Descripción	Parámetro
1	Diámetro exterior	4 mm
2	Diámetro exterior de	6 mm
3	Diámetro de pulverizar el agua	80 cm
4	Material	PVC

Fuente: elaboración propia

Configuración y unión los componentes que integran el sistema hidráulico del robot.

En la siguiente figura se muestra la configuración y unión de todos los accesorios que componen el sistema hidráulico del robot.

En la Figura 137 el sistema está compuesto por 4 racores tipo T, 2 racores tipo L, 5 electroválvulas de 3 vías, 2 posiciones, 5 racores de reducción para empalmar los tubos flexibles con las boquillas de los aspersores, 1 racor para la salida del fluido de la bomba hacia todo el sistema y por último racor para el paso del fluido del tanque hacia la bomba hidráulica.



*Figura 136. Sistema hidráulico del robot fumigador
Fuente: elaboración propia*

Desarrollo del sistema electrohidráulico del robot

Circuito electrohidráulico:

El circuito electrohidráulico del robot está compuesto por 5 electroválvulas puesto el robot por cada pasada fumigará 5 surcos, el sistema electrohidráulico

debe estar apagado y solo debe activarse cuando los sensores detectan las plantaciones de maíz. A continuación, se muestra el desarrollo del sistema electrohidráulico para el sistema de fumigación, para ello se hizo uso del software, *Fluid sim*.

Parte hidráulica

Las electroválvulas por utilizar serán de 3 vías 2 posiciones con activación por relay.

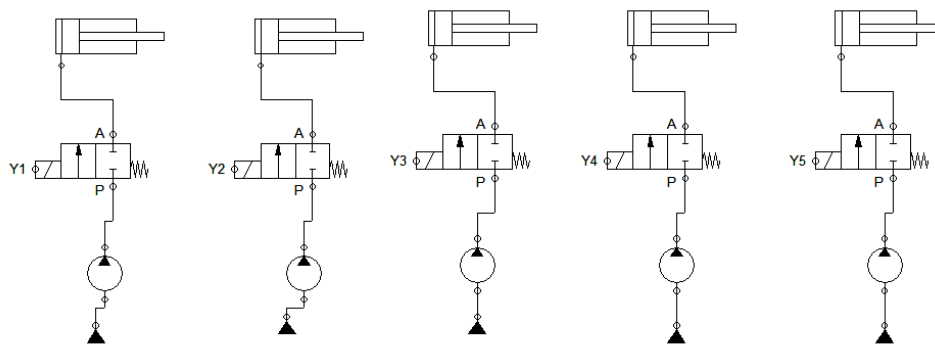


Figura 137. Sistema hidráulico del sistema de aspersión del robot
Fuente: elaboración propia

Parte eléctrica

En la parte eléctrica, se hará uso de 24 V para energizar el circuito y temporizadores, todas con alimentación con corriente continua. La lógica de control se muestra en la Figura 138.

Cada electroválvula será activada por el sensor infrarrojo con detección tipo réflex, para que luego por medio de una señal active una bobina y este cierre un contacto, seguidamente se activará un temporizador, para activar el solenoide y de esta manera activar la electroválvula.

Es la lógica que será la misma para los 5 aspersores. El diagrama de las conexiones eléctricas se dará a conocer a detalle en los siguientes capítulos.

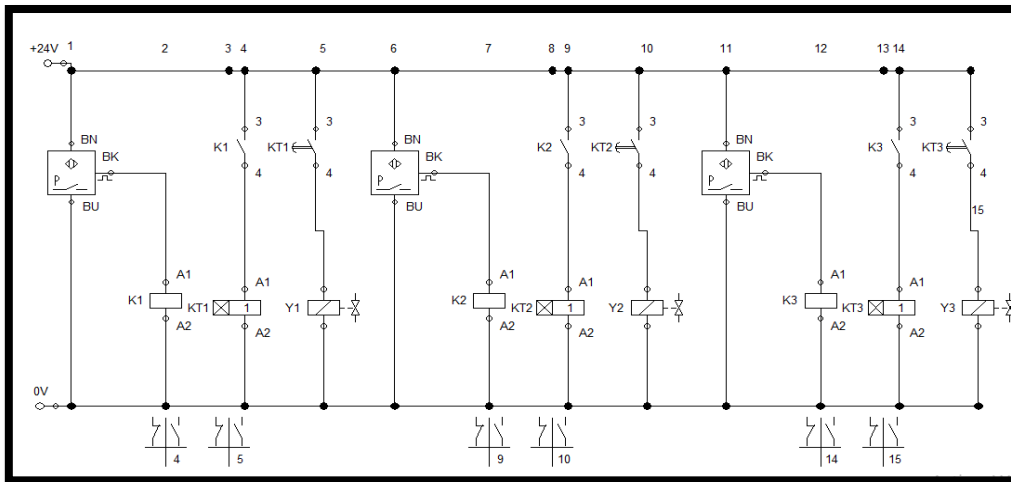


Figura 138. Sistema eléctrico del sistema de aspersión del robot
Fuente: elaboración propia

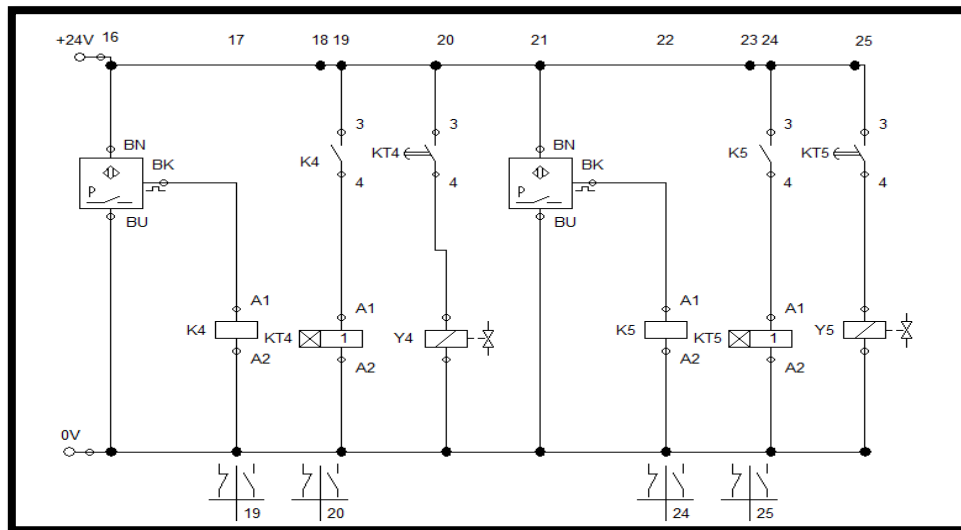


Figura 139. Sistema eléctrico del sistema de aspersión del robot
Fuente: elaboración propia

4.5.4.3. Montaje del sistema hidráulico en la estructura del robot

A continuación, se muestra el montaje hidráulico del robot, todas las conexiones hidráulicas están realizadas por medio de mangueras de polietileno sujetadas sobre el robot. El diámetro interno por la que el ductor pasar es de 5 mm. Para la distribución del líquido se configuro por medio de racores tipo T y L.

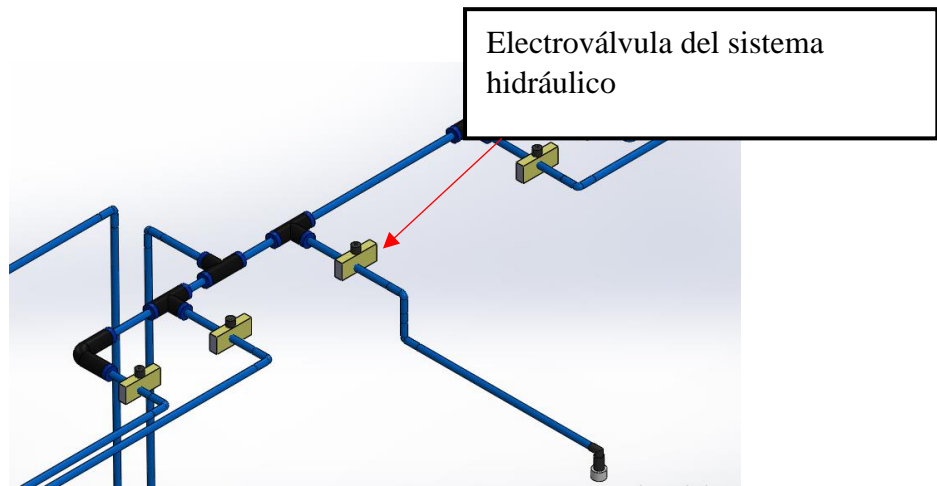


Figura 140. Conexiones del sistema hidráulico de racores y electroválvulas
Fuente: elaboración propia

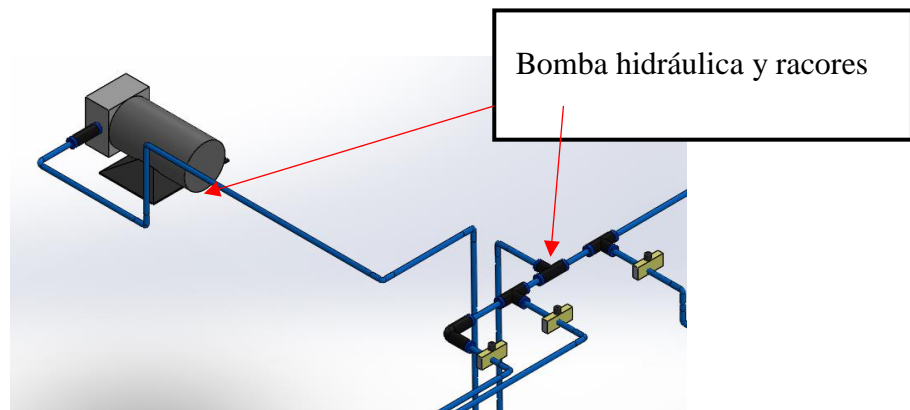


Figura 141. Conexiones de sistema hidráulico bomba hidráulica y racores
Fuente: elaboración propia

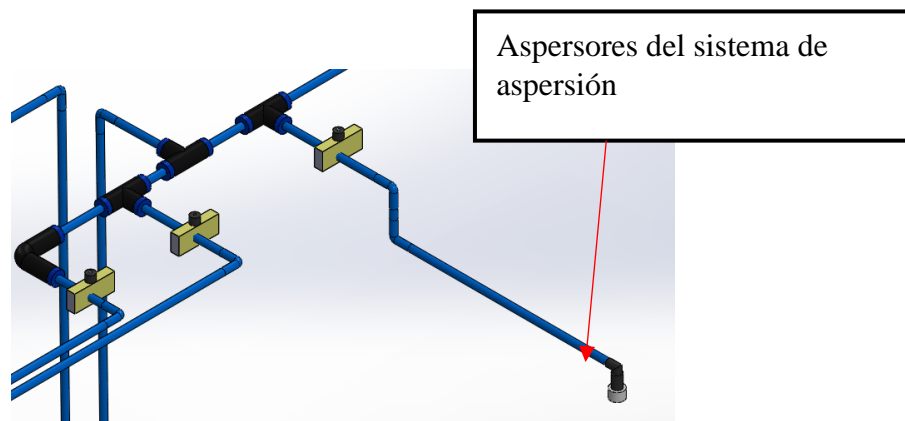


Figura 142. Conexiones de sistema hidráulico racores y aspersores
Fuente: elaboración propia

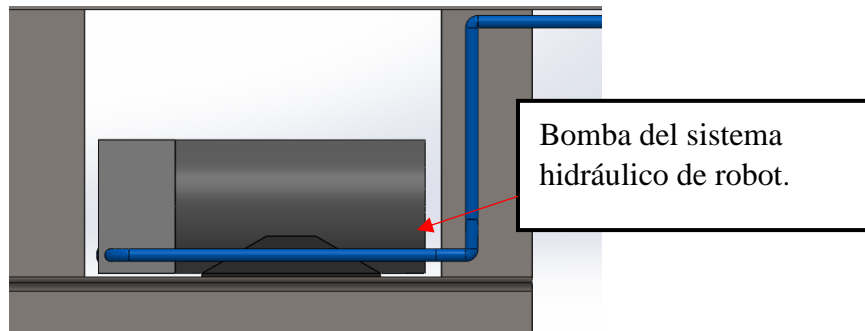


Figura 143. Ubicación de la bomba en el robot
Fuente: elaboración propia

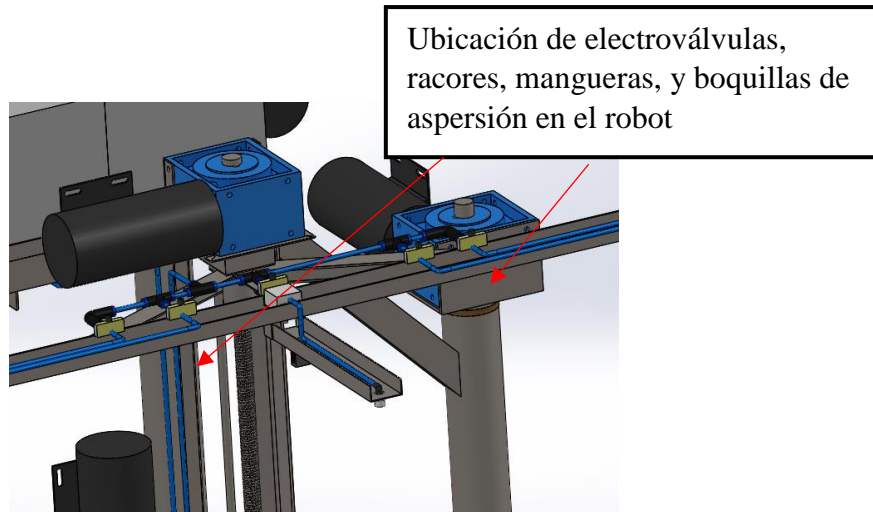


Figura 144. Ubicación de las electroválvulas y racores y las boquillas de aspersión en el robot
Fuente: elaboración propia

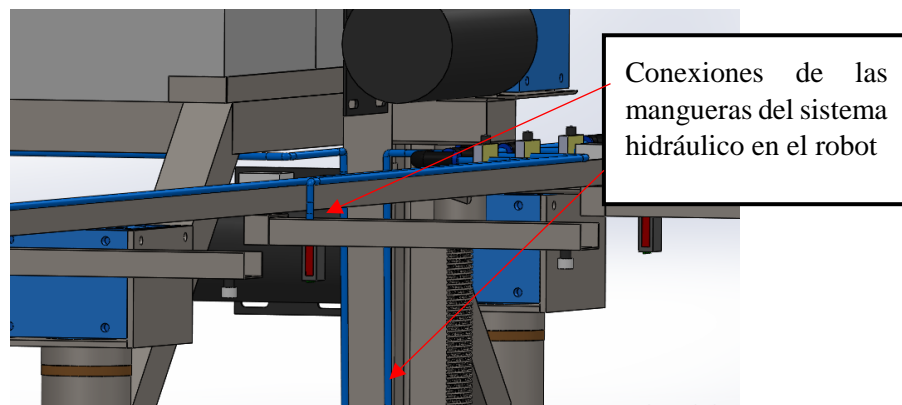


Figura 145. Conexiones de mangueras conductoras del líquido agroquímico
Fuente: elaboración propia

4.5.5. Sistema eléctrico del robot

El sistema eléctrico del robot está compuesto por una serie de elementos, para el transporte y distribución de la energía eléctrica hacia todo el sistema de control del robot, todas estas señales deben ser suministradas desde un punto, en este caso el lugar serán los bornes de distribución.

En el robot fumigador, los bornes de distribución de energía eléctrica estará ubicada a la altura de las baterías del robot como se muestra en la figura 139.

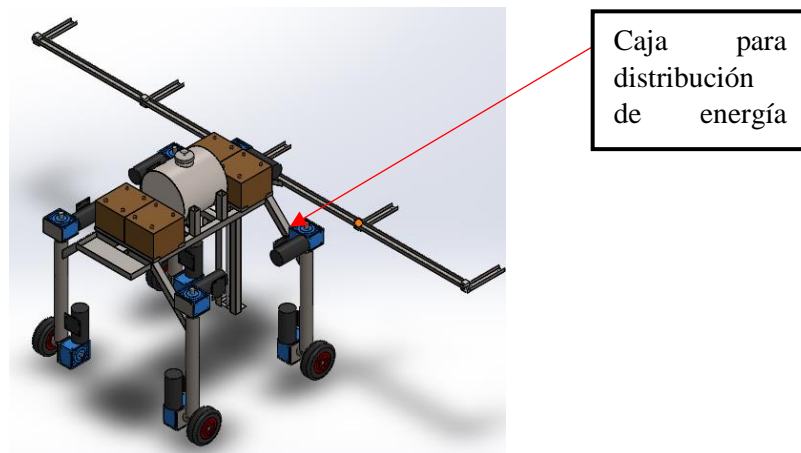


Figura 146. Robot móvil para fumigación
Fuente: elaboración propia

En el sistema eléctrico se requiere, que los bornes distribuyan la energía a todos los sistemas eléctricos, sin inconvenientes, considerando que el sistema eléctrico del robot no debe estar expuesto al agua ni al polvo que son problemas que el robot deberá enfrentarse cuando realice su labor. En base a estas restricciones se optó por ubicar los bornes eléctricos a la altura de las baterías como se muestra en la Figura 148.

El sistema eléctrico de distribución del robot contará con una serie de borneras para que mediante ellas se pueda distribuir la energía hacia todos los puntos necesarios que el robot necesite para un funcionamiento óptimo.

4.5.5.1. Composición del sistema eléctrico del robot

El sistema eléctrico del robot está compuesto por los siguientes elementos:

Baterías

Estas baterías serán la fuente de alimentación del robot, cabe recordar que el robot será controlado de forma teleoperada, y estará en un terreno donde no se contará con conexión a energía eléctrica.

La función principal de la batería será suministrar energía a todos los motores del robot, 9 motores de los 14 motores funcionarán con 24 V; además, de la bomba hidráulica, los otros motores restantes funcionarán con 12 V.

Asimismo, se deberá suministrar energía a 5 electroválvulas de 24 V, a las 5 cámaras de 5 V, las tarjetas de control, de potencia y a los sensores.

Ubicación de las baterías

La ubicación de las baterías en el robot es de suma importancia ya que, debido a su peso, estas influyen considerablemente en la estabilidad del robot, por otro lado, estas tienen que ser accesibles para su recambio de baterías, cuando estas se encuentren sin energía y tomando en cuenta la restricción de no tratar de dañar el cultivo.

Por todo lo mencionado y por factores de seguridad, la ubicación de las baterías será en la superficie del robot, cabe resaltar que el robot cuenta con cuatro baterías de ciclo profundo, la ubicación de las baterías será de la siguiente manera como se muestra en la siguiente Figura 148.

La ubicación de las baterías se muestra a continuación: dos baterías en cada extremo del robot, con el fin de equilibrar al robot.

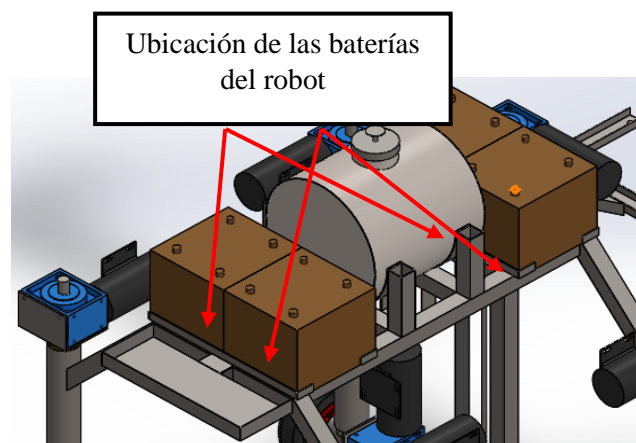


Figura 147. Ubicación de las baterías en el robot
Fuente: elaboración propia

El voltaje de las baterías será de 24 VDC por las razones que se mencionó anteriormente, luego de haber definido la tensión de las baterías, a continuación se deberá definir cuantos Amper-hora se necesita, se muestra la tabla indicando el consumo de corriente aproximado que tendrá el robot fumigador.

4.5.5.2. Cálculo de consumo de corriente del robot

Tabla 27. Consumo de corriente del robot fumigador

Componente	Cantidad	Consumo por unidad	Consumo total
Motorreductor de 24 Vdc	9	34 A	315 A
Motor de 12 Vdc	5	1.5 A	7.5 A
Bomba hidráulica	1	1.5 A	1.5 A
Cámara de 24 Vdc	1	-	2 A
Tarjetas electrónicas	No definido	-	3 A
Otros (Sensores, electroválvulas)	No definido	-	3 A
Total			332 A

Fuente: elaboración propia

Las corrientes que se mostraron en la tabla son las llamadas corrientes pico. El tiempo de operación de las baterías está en función con el tiempo en la que el robot funcionará, como se mencionó desde un principio parte del objetivo del diseño del robot es que logre fumigar una hectárea de cultivo, ya sea con líquido pesticida o herbicida. Para poder cumplir con el requerimiento se propondrá que el robot se desplazará por un tiempo de 2 horas.

A continuación, se calculará la capacidad de la batería en (Amper-Hora), que está dada por la siguiente fórmula

$$Ah = T \times At \quad (42)$$

$$Ah = 1.22\text{hora} \times 332A \quad (43)$$

$$438.24 A/h$$

Las baterías para elegir deben suministrar una corriente mayor a 438.24 A/h. Para que pueda suministrar la energía a todos los componentes que se hizo mención.

Por ello la batería a elegir es la que se muestra en la Figura 149. Cada batería suministra 130 Ah, por diseño y ergonomía se ubicarán 4 baterías al robot haciendo un total de 520 A/h.

Para obtener los 520 A/h las 4 baterías irán directamente conectadas en paralelo para de esta manera poder tener la mayor corriente posible y alimentar los 9 motores que desplazan y direccionan al robot.

Asimismo, se colocará un batería adicional de 6 V de 50 A/h para alimentar las placas electrónicas.



*Figura 148. Baterías para el robot fumigador
Fuente: autosolar.es*



*Figura 149. Batería de 6V de 50A/h
Fuente: autosolar.es*

4.5.5.3. Reguladores de tensión

El regulador de tensión es un dispositivo diseñado para regular y/o mantener un cierto nivel de voltaje y de esta manera ser utilizado, esto es debido a que no todos los dispositivos electrónicos serán energizados con 24 Vdc.

Los parámetros a tener en cuenta para elegir un regulador de tensión son los siguientes:

Tensión de entrada y salida

La corriente de salida y el encapsulado del dispositivo.

A continuación, se muestran los dispositivos que necesariamente necesitan un regulador.

Tabla 28. Dispositivos que requieren regulador de voltaje

Componente	Tensión de entrada	Corriente máxima	Tensión de Salida
Tarjetas electrónicas y otros	24 V	10 A	12 V

Fuente: elaboración propia

En una primera fase se hará la regulación de 24 V a 12 V ello se logrará con un circuito integrado Im7812TV. Como se muestra en la Figura 150.

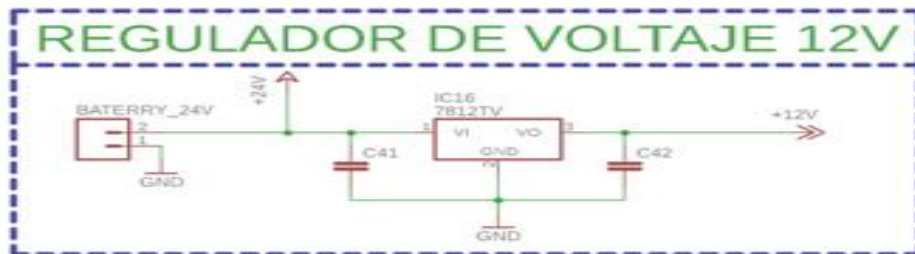


Figura 150. Regulador de voltaje de 24V a 12V

Fuente: elaboración propia

Seguidamente en el mercado existen una serie de reguladores de voltaje, sin embargo, luego de un análisis a continuación se muestra el regulador de voltaje para las tarjetas electrónicas.



Figura 151. Regulador 78H05 para tarjetas electrónicas

Fuente: aliexpress.com

Otro factor muy importante es obtener el voltaje de salida lo más exacto posible, esto es debido a que los dispositivos electrónicos al tener una sobretensión o baja tensión no funcionarán de manera óptima, lo que afectará el funcionamiento del robot, para ello se emplearán reguladores ajustables, un regulador ajustable con la capacidad de suministrar voltaje en un rango de 1 V a 24 V. Luego de revisar y analizar una serie de reguladores, el regulador LM338 como se muestra en la Figura 145 tiene las características que se requiere.

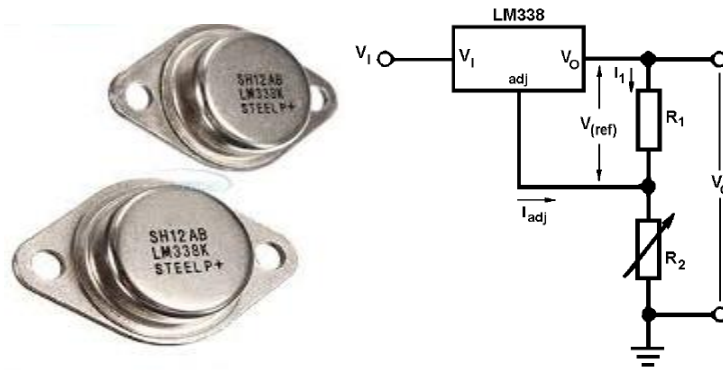


Figura 152. Regulador ajustable LM338
Fuente: www.censa.mx

Para poder calcular el voltaje de salida se debe calcular el valor de una resistencia de R1 y R2 tal como se muestra en la Figura 152, el cálculo se realiza con la siguiente fórmula.

$$V_0 = V_{ref} * 1 + \frac{R_2}{R_1} + I_{adj} R_2 \quad (44)$$

Donde:

V_0 = es el voltaje de salida

V_{ref} = es 1.25_{ref} (Voltaje de referencia)

R_2 = resistencia unida a la tierra

R_1 = resistencias que está conectada entre V_0 y I_{adj}

I_{adj} = es la corriente ajustable

Para obtener un voltaje de 5 V dándole un valor a $R_1 = 330$ se tiene

$$5 = 1.25 \times 1 + \frac{R_2}{330} + R_2 \quad (45)$$

$$\frac{5}{1.25} - 1 \times 330 = R_2 \quad (46)$$

$$990 \, \Omega = R_2$$

Calculando se concluye que la resistencia R_2 será de 990 Ω y R_1 será de 330 Ω y de esta manera se obtendrá 5 V de salida. A continuación, se muestra un plano esquemático del regulador de voltaje a 5 V



Figura 153. Circuito regulador de voltaje de 12V 5 V
 Fuente: elaboración propia

Luego de haber definido los reguladores de voltaje con su respectivo regulador ajustable, a continuación, se explica cómo será la estructura de la conexión.

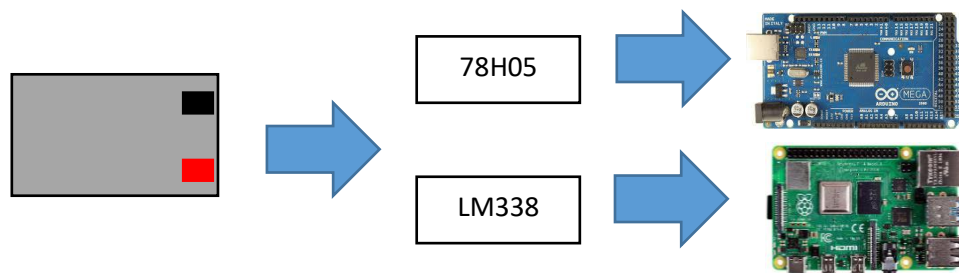


Figura 154. Reguladores de voltaje para baterías
 Fuente: elaboración propia

Carga de baterías

Para mayor eficiencia el robot no contará con un sistema de carga de baterías implementada en sí misma, para ello el robot deberá contar con un banco de baterías que deben ser reemplazadas.

Cuando las baterías están descargadas estas serán retiradas para facilitar los cambios de baterías se harán uso de borneras el cual estarán unidas a los cables de conexión, estos terminales deben ser fáciles de poder conectar y desconectar.

Borneras

La conexión de los bornes de las baterías con los cables será por medio de los conectores el cual se muestra en la Figura 156.



Figura 155. Borneras de conexión para las baterías
Fuente: elaboración propia

Bornera de conexión

Para la conexión de los motores que desplazan y orientan al robot, la electrobomba y el motor que regula el eje principal de los aspersores se hará uso de bornes de conexión como se muestra en la Figura 149.



Figura 156. Bornera de conexión de 50 Amp
Fuente: laumayer.com

Para suministrar energía a los motores que gobiernan los ejes de los aspersores, las electroválvulas harán uso de la misma bornera, pero de menor amperaje esta bornera se muestra en la Figura 150.



Figura 157. Bornera de conexión de 25 Amp
Fuente: laumayer.com

Terminales para cables

Dentro de la gama de terminales para claves existe una gran variedad, la elección dependerá del modelo y para el tipo de conexión que se quiere realizar en función al calibre del cable, en este caso se tomará como mejor opción el

terminal tubular. Con diámetros para los calibres de los cables que se harán uso tanto en la parte de potencia y control.



Figura 158. Terminales tubulares
Fuente: electropo.pe

Interruptor

Para lograr un mayor control del robot, asimismo que el robot eléctricamente se encuentre bien seguro, se colocará un interruptor para encender y apagar el robot, dentro del mundo de los interruptores existe una gran variedad de tipos y modelos, sin embargo, el que se ha elegido se muestra en la Figura 160.

El componente que se muestra en la Figura 160 es un selector, para su elección se tomó como dato de referencia la cantidad de corriente que circulará por el circuito en este caso este selector puede controlar una corriente de hasta 100 A.



Figura 159. Interruptor
Fuente: spanish.industrialswitchsocket.com

Cables

Los cables en un sistema eléctrico son componentes muy importantes puesto que por medio de ellas se da el paso de la energía eléctrica.

El cableado eléctrico se dará por toda la estructura del robot y estará aislada por medio de canaletas y organizadores de cable, esta se dará en función a la ubicación de actuador al que se le desea suministrar energía.



Figura 160. Organizador de cable
Fuente: www.amazon.es

Dentro de la gama de cables encontramos los dos siguientes grupos cables para potencia

Para la etapa de potencia, los cables a elegir deben ser de calibres más altos. La elección de los cables para este caso se dará en función al amperaje con el que trabajan los actuadores eléctricos. A continuación, se muestra una tabla donde describe el calibre de los cables más usados en conexiones eléctricas.

Amperaje que soportan los cables de cobre					
Nivel de temperatura:	60°C	75°C	90°C	60°C	
Tipo de aislante:	TW	RHW, THW, THWN	THHN, XHHW-2, THWN-2	SPT	
Medida / calibre del cable	Amperaje soportado			Medida / calibre del cable	Amperaje soportado
14 AWG	15 A	15 A	15 A	20 AWG	2 A
12 AWG	20 A	20 A	20 A	18 AWG	10 A
10 AWG	30 A	30 A	30 A	16 AWG	13 A
8 AWG	40 A	50 A	55 A	14 AWG	18 A
6 AWG	55 A	65 A	75 A	12 AWG	25 A
4 AWG	70 A	85 A	95 A		
3 AWG	85 A	100 A	115 A		
2 AWG	95 A	115 A	130 A		
1 AWG	110 A	130 A	145 A		
1/0 AWG	125 A	150 A	170 A		
2/0 AWG	145 A	175 A	195 A		
3/0 AWG	165 A	200 A	225 A		
4/0 AWG	195 A	230 A	260 A		

Figura 161. Calibres de cables con relación al amperaje que soportan
Fuente: elaboración propia

Cables para el sistema de control

Para la etapa de control, los cables a elegir serán de calibres menores a comparación de los cables para potencia, los cables más apropiados, dadas las características que tienen las placas electrónicas, los más apropiados serán los cables conectores tal como se muestra en la Figura 153.



Figura 162. Cable conectores DuPont
 Fuente: www.arcaelectronica.com

Distribución del sistema de alimentación

Para un buen funcionamiento del robot se va a distribuir la alimentación de las baterías en dos secciones, la primera sección estará compuesta por 5 motores y la otra sección estará compuesta por 4 motores y la electrobomba. Cada sección estará compuesta por dos baterías tal como se muestra en la siguiente figura.

Sección 1



Figura 163. Sección 1, compuesta por 5 motores - parte trasera del robot
 Fuente: elaboración propia

Sección 2

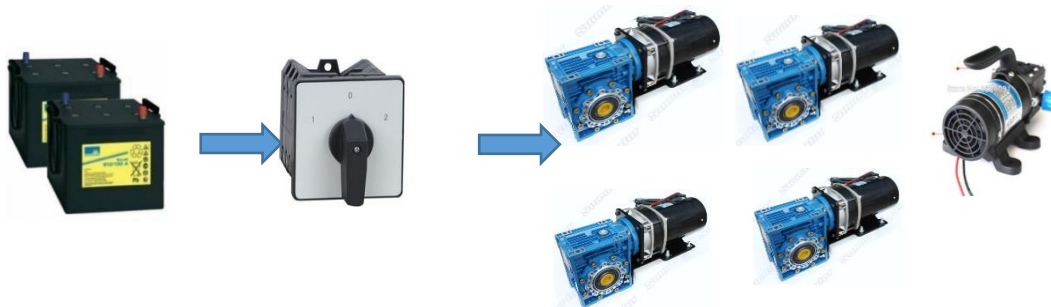


Figura 164. Compuesta por 5 motores - parte delantera del robot
 Fuente: elaboración propia

Esquema eléctrico

El robot contará con el siguiente diagrama eléctrico el cual se grafica a continuación.

En la Figura 166 se muestran el controlador, los sensores, los drivers de potencia para los motores, los relés de estado sólido, las electroválvulas y los finales de carrera; el diagrama de conexión de cada uno de estos componentes se detalla a continuación.



Figura 165. Esquema eléctrico electrónico del robot
Fuente: elaboración propia

Luego de haber definido el diseño mecánico y definido los voltajes que nos proporcionará el sistema de alimentación, se necesita diseñar una etapa con el que se debe brindar la potencia necesaria a los motores reductores para que de esta manera puedan desplazar al robot.

Para ello, se hará el diseño del sistema electrónico de potencia, este sistema reproducirá las señales eléctricas que son enviadas por la etapa de control. Por medio del sistema de control se debe controlar la velocidad y el giro de los motores.

Control de velocidad de los motores

El control de velocidad de los motores se realizará mediante la Modulación por ancho de pulso PWM.

La tecnología PWM es una técnica que consiste en conectar de manera controlada la alimentación con el objetivo de poder variar la velocidad sin perder tracción. Para ello se usará un controlador que enviará una secuencia de unos y ceros a una frecuencia con un determinado de ciclo de trabajo variable, esta también es conocida como duty.

El sistema electrónico de potencia presenta las siguientes características:

- ✓ La inversión del giro de los motores se realizará por medio de un puente H.
- ✓ La velocidad será controlada mediante la modulación por ancho de pulsos (PWM).
- ✓ Para el cambio de giro de los motores tendrá 4 señales.

Luego de haber definido ciertos parámetros y restricciones se mencionará cómo será el diseño del sistema electrónico de potencia y dónde estará ubicado.

Diseño y configuración

Uno de los parámetros más importantes a tener en consideración es la corriente pico que necesitarán los motores, para ello se tomará como referencia la corriente más alta de todo lo motores, siendo esta de 35 A. El puente H a elegir debe superar la corriente pico mencionada de los motores. Estos 9 motores estarán gobernados por esta tarjeta de potencia que se muestra en la Figura 167.

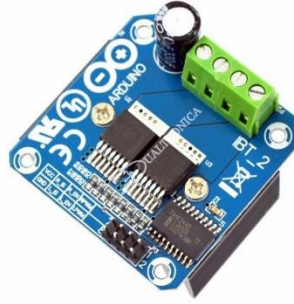


Figura 166. Puente H
Fuente: mtlab.pe

La creación del ancho de pulso se dará por medio del controlador Arduino de la serie Atmega 2 560.

Asimismo, para controlar los 5 motores del sistema de aspersion se hará uso de 5 puentes H L298N, los cuales están encargados de controlar el giro de los aspersores para la fumigación con herbicidas o pesticidas. Para esta sección se eligió estos drivers debido a la poca capacidad de corriente que se va a controlar.



Figura 167. Puente H L298N 3A
Fuente: naylampmechatronics.com

Relés de estado sólido

El relé de estado sólido es un interruptor automático, en esta oportunidad se hará uso de ello para poder trabajar por medio de señales de control, el controlador enviará una señal de control, el cual llegará al relé, esta señal será amplificada y de esta manera se podrá activar el actuador.

En este caso se hará uso de 6 relés de estado sólido para poder controlar 5 electroválvulas y la electrobomba.

Existe una gran variedad de relés, sin embargo, ya depende su elección para la aplicación que se le desee dar.

En este caso se ha optado por trabajar con relés de estado sólido debido a la velocidad con la que pueden realizar los contactos necesarios y la resistencia al deterioro. A continuación, se ilustra un esquema de un relé de estado sólido.

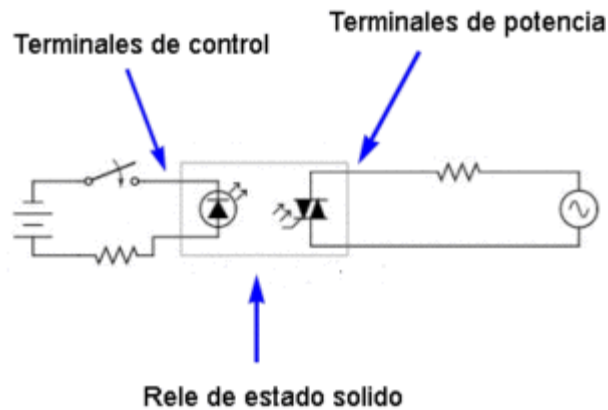


Figura 168. Esquemático de un relé de estado sólido
Fuente: elaboración propia



Figura 169. Banco de 4 relés de estado sólido
Fuente: coldfire-electronica.com

Finales de carrera o interruptores de posición

También conocido como sensor de contacto, es un dispositivo que permite activar o desactivar ciertos mecanismos o actuadores.

En el presente trabajo de investigación se hará uso de 2 finales de carrera, los cuales estarán ubicados en las partes extremas del tornillo sinfín, tanto en la parte más alta y baja que tendrá que recorrer el anillo con rosca interna.

Existen varios tipos de finales de carrera, el elegido para este diseño es el final de carrera con accionador tipo palanca corta. Su diagrama esquemático se muestra en la Figura 170.

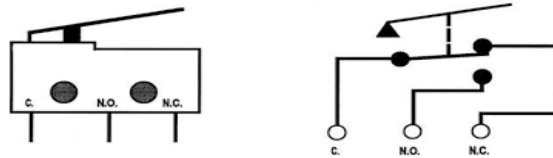


Figura 170. Diagrama esquemático de un final de carrera
Fuente: elaboración propia

Los finales de carrera también se clasifican por el tipo de contacto que ofrecen, que puede ser normalmente abierto (NA) o normalmente cerrado, el final de carrera elegido tiene una configuración (NC).

Unos de los tipos de finales de carrera es el Honeywell de seguridad, y se caracteriza por que presenta una estructura compacta, de pequeño tamaño y estos pueden tener una carcasa de metal o de plástico dependiendo de la serie.

Asimismo, la clasificación de los finales de carrera se da también por el tipo de accionador que presentan.

Luego de un análisis, el interruptor de posición más apropiado de acuerdo a nuestras necesidades será el final de carrera con palanca corta, como se muestra en la Figura 171.



Figura 171. Interruptor final de carrera con palanca corta
Fuente: elaboración propia

Sensores infrarrojos

Los sensores infrarrojos son dispositivos opto-eléctricos, que funcionan en base a la medición de la radiación electromagnética proveniente de los objetos, en este caso el objeto será la planta de maíz. Estos sensores cuentan con un emisor y un receptor, el emisor está compuesto por un diodo led infrarrojo y el receptor por un fototransistor.

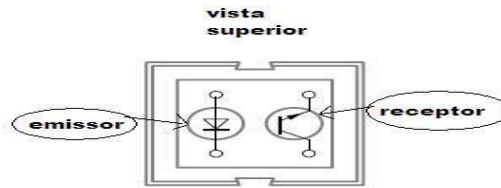


Figura 172. Esquemático de un sensor infrarrojo
Fuente: elaboración propia

En base a su funcionamiento hay cinco sistemas básicos de detección:

- Barrera
- Réflex
- Réflex polarizado
- Proximidad
- Proximidad con borrado del plano posterior

Luego de un análisis, tomando en cuenta al diseño mecánico del robot, para la ubicación del sensor y el espacio que se tiene, el sensor más apropiado es el sensor infrarrojo tipo réflex de 5 V, el cual se muestra a continuación.

Sensor infrarrojo tipo réflex

Un sensor infrarrojo tipo réflex se caracteriza porque el emisor y el receptor se encuentran en una misma caja o cuerpo, en ausencia de un objeto devuelve al receptor el haz infrarrojo que emite el emisor, la detección ocurre cuando se bloquea el haz entre el emisor y el reflector. Este sensor será el encargado de captar las plantas.



Figura 173. Sensor infrarrojo
Fuente: naylampmechatronics.com

Sensor de presión

Otra de las variables al controlar en el robot es la presión, este sensor estará ubicado en la base del tanque contenedor y estará encargado básicamente de medir la presión del fluido. Este dispositivo medirá un rango de presión para tener

la cantidad de líquido que se tiene almacenado en el tanque contenedor, el sensor de presión se muestra a continuación.



Figura 174. Sensor de presión
Fuente: naylampmechatronics.com

Sensor de flujo

Para un mejor control del robot, otra de las variables a controlar será el caudal, para ello se hará uso de un sensor de flujo; dentro del mundo de los medidores de flujo existen una gran variedad y su elección depende más que nada de la aplicación y ubicación del sensor.

Para esta oportunidad se está tomando en cuenta un sensor de flujo que detecta paso del líquido por medio de pulsos bajo el efecto hall. Cada pulso es, aproximadamente, el paso de 2.25 ml. A continuación, se muestra el sensor de flujo.



Figura 175. Sensor de flujo
Fuente: tienda.bricogeek.com

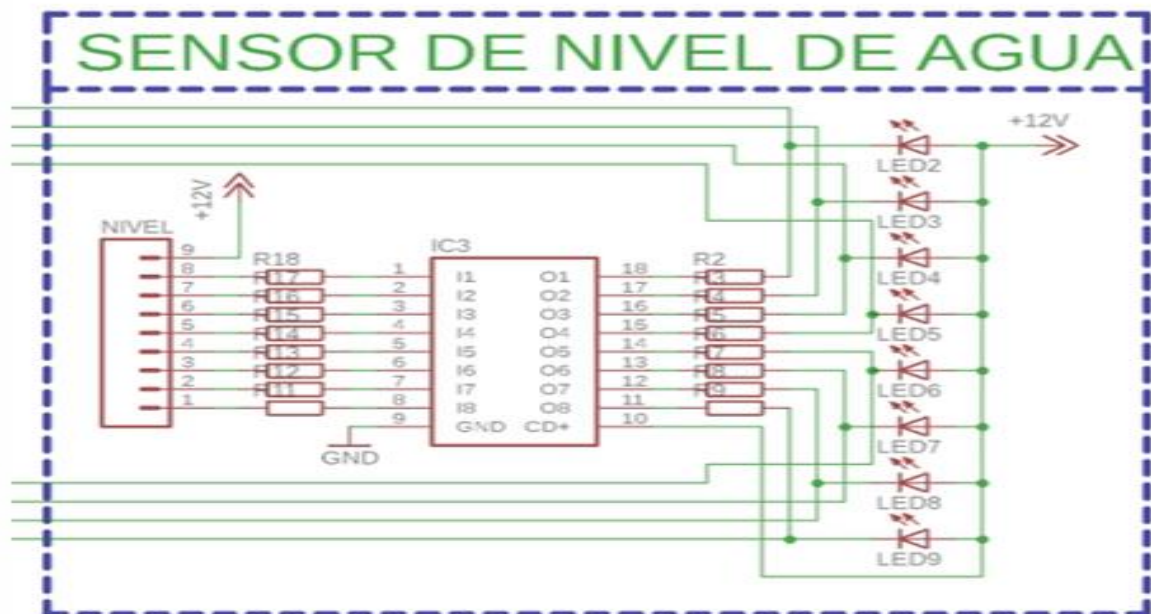
El sensor cuenta con 3 cables de conexión, 2 de alimentación y 1 cable de señal. Cabe resaltar que cada aspersor contará con su respectivo sensor de flujo, en total 5 sensores de flujo.

Circuito medidor y señalizador de nivel

Para poder medir el nivel del agua se diseñará un circuito señalizador de agua el cual estará compuesto básicamente por un circuito integrado ULN 2803A, que contiene matrices de Transistores Darlington, en este caso son 8, para visualizar

el nivel se hará uso de diodos leds, en este caso de color rojo. Ocho resistencias de 330 ohm ocho de 210 kilo ohm conector en serie.

El funcionamiento de este circuito básicamente será de la siguiente manera, dentro del tanque estará introducido un alambre conductor de 50 cm de largo, por un lado; por otro lado, se introducirán cables que estas unidos con las resistencias de 10 K ohm al circuito integrado, al llenar el líquido al tanque este se comportará como un conductor haciendo que el cable y el alambre tengan continuidad para el paso de la corriente, y de esta manera encender el led.



*Figura 176. Circuito medio de nivel
Fuente. elaboración propia*

Controlador

Para poder elegir el controlador se debe tener en cuenta los siguientes enunciados.

Especificaciones

El robot cuenta con los siguientes actuadores, los cuales tienen que ser controlados ya sea mediante señales analógicas o digitales, para ello, se muestra una tabla especificando el tipo de señal con el que se tendrá que controlar cada actuador.

Identificación de entradas

Tabla 29. Entradas

Ítem	Descripción	Cantidad	Señal (Analógica /Digital)
1	Pulsador de encendido	1	Digital
2	Sensor infrarrojo	5	Digital
3	Finales de carrera	2	Digital
4	Sensor de flujo	5	Analógico
5	Sensor de presión	5	Analógico
6	Interruptor de encendido	1	Digital

Fuente: elaboración propia

Identificación de salidas

Tabla 30. Salidas

Ítem	Actuador	Cantidad	Aplica PWM	Control ON/OFF
1	Motor para desplazamiento del robot.	4	Sí	
2	Moto para orientación del robot	4	Sí	
3	Motor del sistema de aspersión	1	Sí	
4	Bomba hidráulica	1	Sí	
5	Electroválvulas	5		Sí
6	Motores de ejes aspersores	5	Sí	

Fuente: elaboración propia

Arduino ATmega 2560

Este controlador posee un microcontrolador ATmega 2560, este microcontrolador solo puede suministrar 5 V y una corriente nominal que oscila en los 40 mA. Esta señal es muy baja para poder alimentar los motores del robot, para ello se tiene que amplificar la señal que envía el controlador, esta señal amplificada será enviada al puente H para recién poder controlar los motores.

En este caso la etapa de amplificación se encuentra incorporada en la placa impresa del puente H.

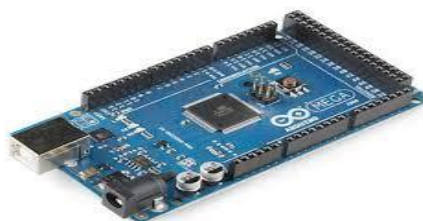


Figura 177. Arduino de la serie mega
Fuente: www.electrontools.com

Asimismo, por la cantidad de pines PWM se hará uso de un arduino nano extra. Esta placa es de la misma serie y presenta las mismas características que

el arduino mega, la diferencia es que este dispositivo suministra menos pines de entradas y salidas.



Figura 178. Arduino nano
Fuente: www.iberobotics.com

Modulo Wifi para Arduino

El módulo Wifi ESP8266 es un dispositivo electrónico diseñado para las necesidades de un mundo conectado de forma inalámbrica. Este módulo Wifi puede trabajar de dos modos, uno como estación Wifi u otra como Punto de acceso.

Este módulo debe estar energizado con 3.3V con una capacidad para protegerlo de las sobretensiones.

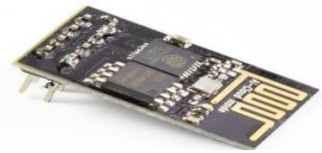


Figura 179. Modulo Wifi EPS8266
Fuente: naylampmechatronics.com

Este módulo cuenta con las siguientes características:

Tabla 31. Especificaciones técnicas del módulo Wifi Serial EPS – 01 EPS8266

Ítem	Descripción	Valor
1	Voltaje de alimentación	3.3V
2	Frecuencia de reloj	80MHz
3	Ram	96Kb
4	Memoria flash externa	4MB

Fuente: *elaboración propia*

Localización

La ubicación de todo el sistema electrónico de potencia deber estar cerca a la batería para que el voltaje no se pierda por causas de distancia (caída de tensión). Por ello, el sistema electrónico de potencia debe estar cerca de las baterías, asimismo, debe estar aislada del líquido agroquímico, puesto que, una

gota de agua puede generar un corto circuito dejando sin funcionamiento al robot dañando las tarjetas electrónicas.

Por ello la ubicación del sistema electrónico de potencia será en la parte superior delantera tal como se muestra en la figura 170.

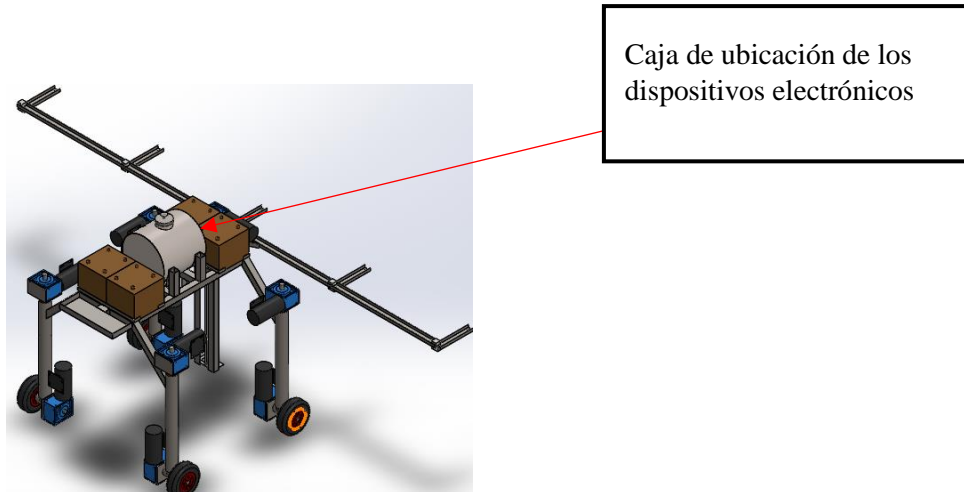


Figura 180. Localización del sistema electrónico de potencia
Fuente: elaboración propia

En todo el espacio que se muestra se ubicarán las tarjetas electrónicas, el controlador y los dispositivos electrónicos que tendrá el robot para su funcionamiento.

4.5.6. Sistema de control por computador

Software de control

El software de control es una serie de instrucciones lógicas que están codificadas en un sistema informático con el fin de realizar tareas específicas en una determinada aplicación.

La tecnología avanza a pasos agigantados y gracias a ello los softwares cada día son más completos, compatibles e intuitivos.

Para el presente trabajo de investigación, en cuanto al software de control, el objetivo principal será enviar información por parte del usuario para que de esta manera gobierne al robot.

Antes de todo el desarrollo del software de control se tomarán algunas consideraciones.

Consideraciones previas

El objetivo principal será desarrollar el protocolo de comunicación más apropiado para que el robot mantenga comunicación con el usuario del robot.

Para ello se hará uso de un computador, el cual será una laptop con un sistema operativo Windows o una Tablet con un sistema operativo Android.

Los softwares a utilizar deben ser intuitivos fáciles de configurar, modificar y usar. Deben ser seguros frente a una falla de comunicación o un error de código. Comprensible, el usuario no debe tener la necesidad de recibir capacitaciones constantes para la operación del robot.

El programa no debe solicitar demasiados requisitos para que el usuario interactúe. Asimismo, debe ser configurable de acuerdo al ambiente de trabajo.

Esquema de vídeo

El esquema de vídeo trabajará conjuntamente con el circuito electrónico del robot, esta sección del robot tendrá dos funciones: la primera, será la de captar y enviar los vídeos en tiempo real, y a la vez procesar las señales que envía el controlador Arduino. Posteriormente, se estará detallando la lógica de control del robot por medio de diagramas de flujo.

Para la transmisión de vídeos en tiempo real se requiere necesariamente de un procesador, debido a que, la transmisión de vídeo consiste en el envío de mucha información, trabajo que un controlador no puede realizar.

Asimismo, para evitar interferencias en la transmisión de los vídeos en tiempo real lo más recomendable es que la cámara y el procesador sean de la misma marca, modelo y serie. Además, se debe tomar en cuenta el suministro de energía que se tiene en el robot.

Tomando en cuenta todas las consideraciones previas en cuanto al suministro de energía, la compatibilidad de las cámaras y procesador, se eligió como procesador a una Raspberry Pi4 con sus cámaras. En este caso serán 5 cámaras. El procesador que trabaja con 5V, las cámaras se muestran en la Figura 182.

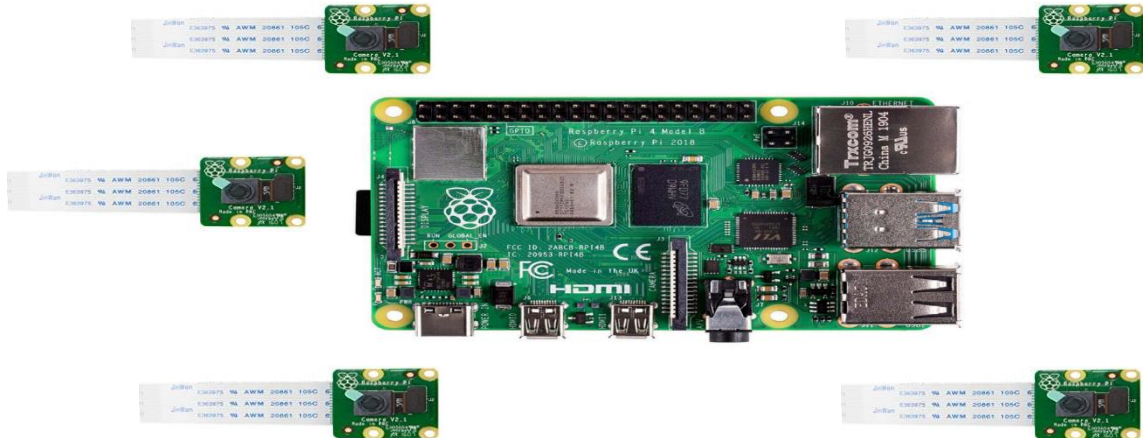


Figura 181. Procesador Raspberry con sus cámaras
Fuente: planetared.com

Plano electrónico del robot

Luego de haber dado a conocer todos los componentes que conjuntamente gobernarán al robot, se presenta el plano electrónico del robot.

En el plano electrónico se representan los diagramas:

Diagrama esquemático de la electroválvula

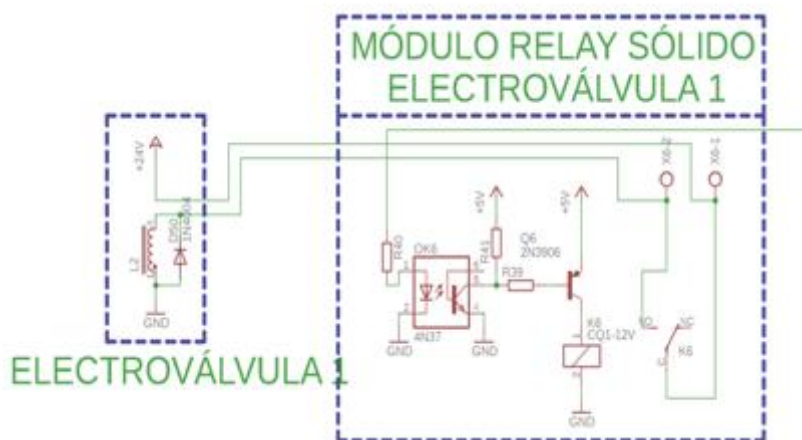


Figura 182. Diagrama esquemático de electroválvula
Fuente: elaboración propia

Diagrama esquemático de motor con puente H L298 N

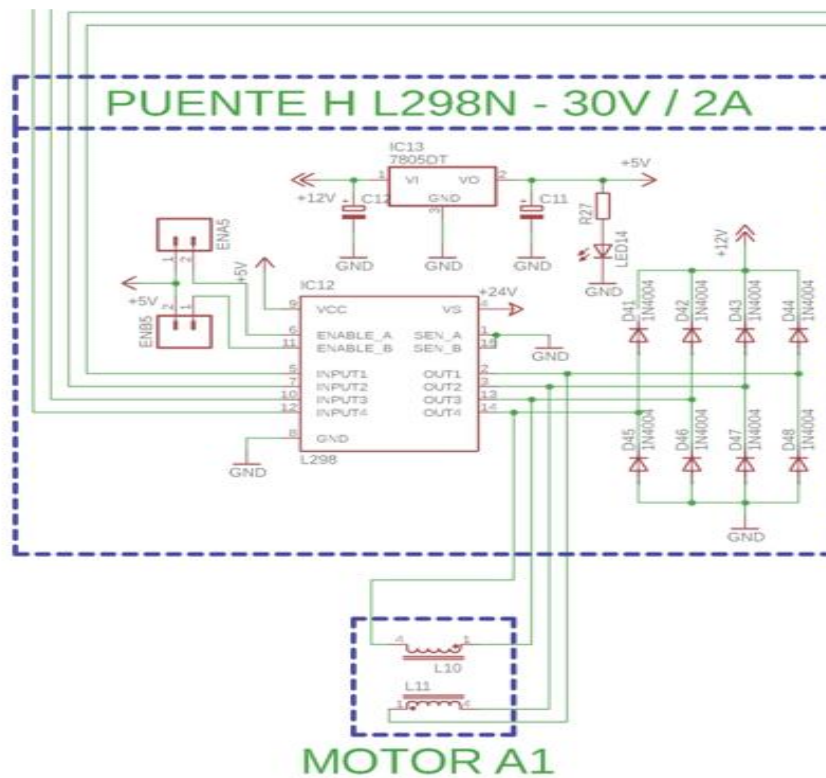


Figura 183. Diagrama esquemático de puente H L2978N
Fuente: elaboración propia

Diagrama esquemático de los reguladores de voltaje de 24V a 5V

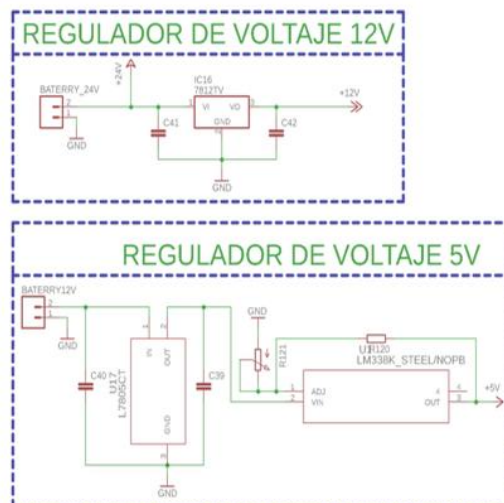


Figura 184. Reguladores de voltaje de 24V a 5V
Fuente: elaboración propia

Diagrama esquemático del sensor infrarrojo

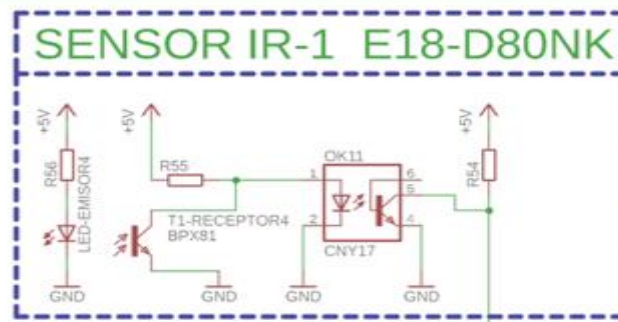


Figura 185. Diagrama esquemático de un sensor
Fuente: elaboración propia

Diagrama esquemático del sensor de presión

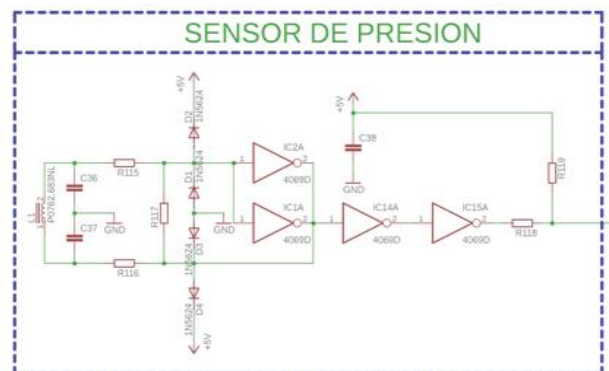


Figura 186. Diagrama esquemático de sensor de presión
Fuente: elaboración propia

Diagrama esquemático de interruptor de posición



Figura 187. Diagrama esquemático del final de carrera
Fuente: elaboración propia

Diagrama esquemático del sensor de flujo

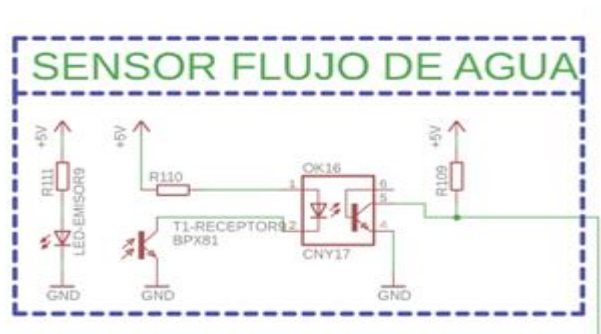


Figura 188. Diagrama esquemático del sensor de flujo
Fuente: elaboración propia

Diagrama esquemático del puente h BTS 7990

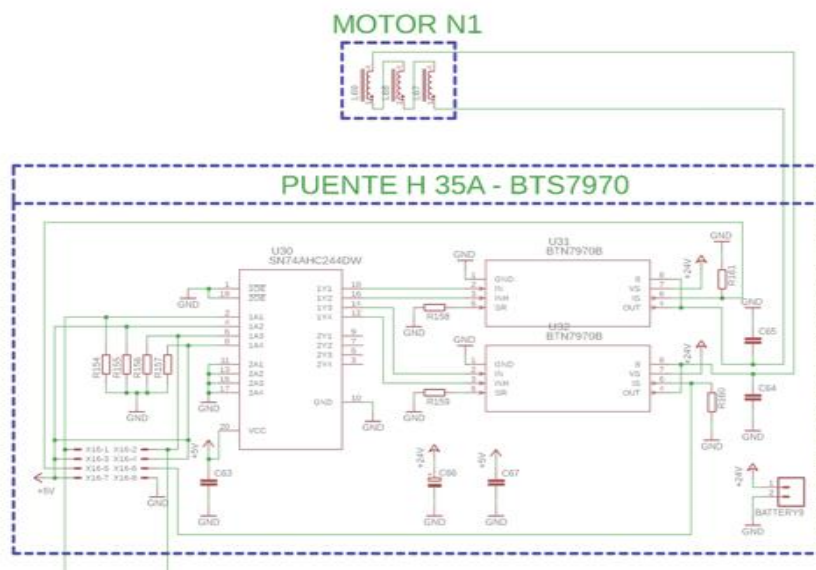


Figura 189. Diagrama esquemático del puente H BTS 7990
Fuente: elaboración propia

Diagramas esquemáticos de los controladores arduinos

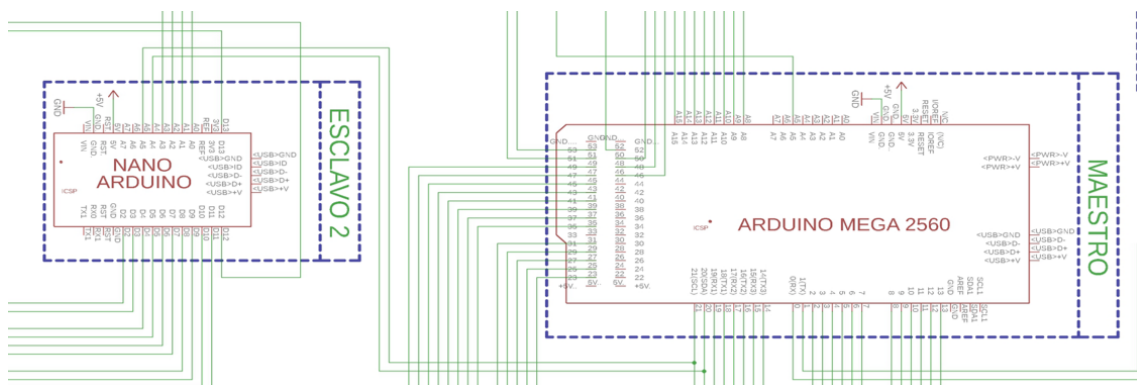


Figura 190. Diagrama esquemático de los controladores.
Fuente: elaboración propia



Figura 191. Diagrama esquemático de la parte electrónica del robot
Fuente: elaboración propia

4.5.6.1. Diagrama de control de funcionamiento del robot

El diagrama del control del robot estará compuesto por un diagrama general y 3 diagramas específicos:

Diagrama general de funcionamiento del robot

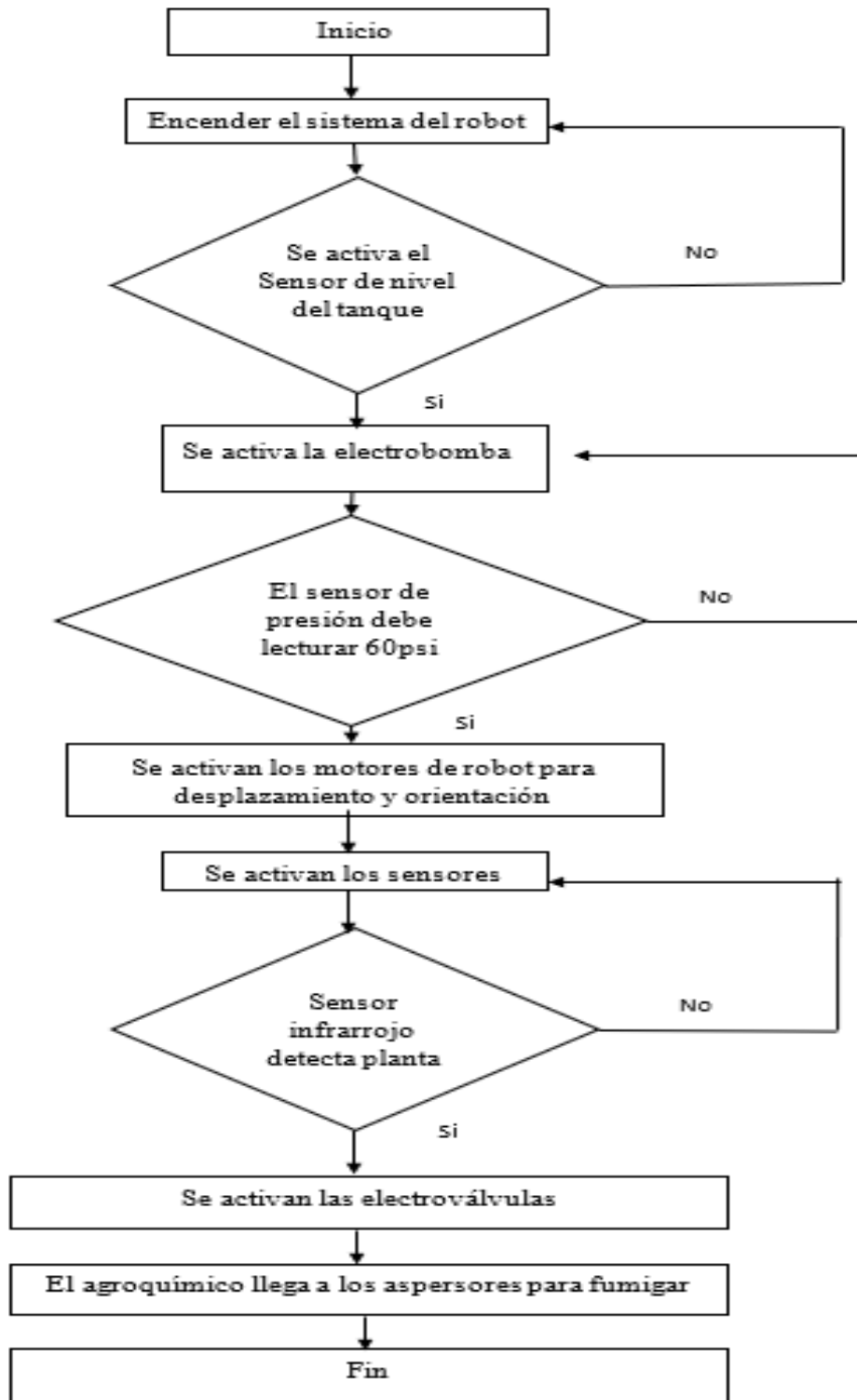


Figura 192. Diagrama de flujo del funcionamiento del robot
Fuente: elaboración propia

Diagrama de control del robot para fumigación con fungicidas

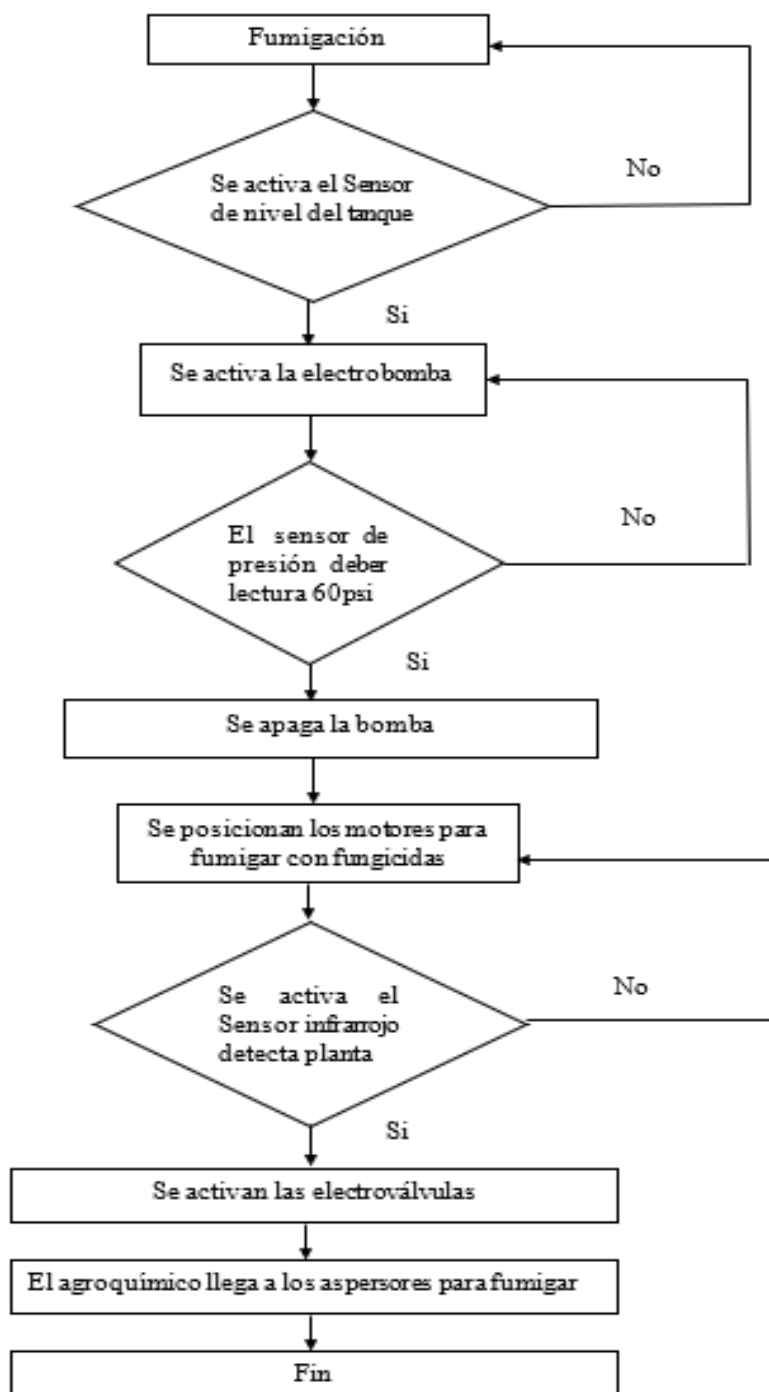


Figura 193. Diagrama de control del robot con fungicidas

Fuente: Elaboración propia

Diagrama de control para fumigación del robot con herbicidas

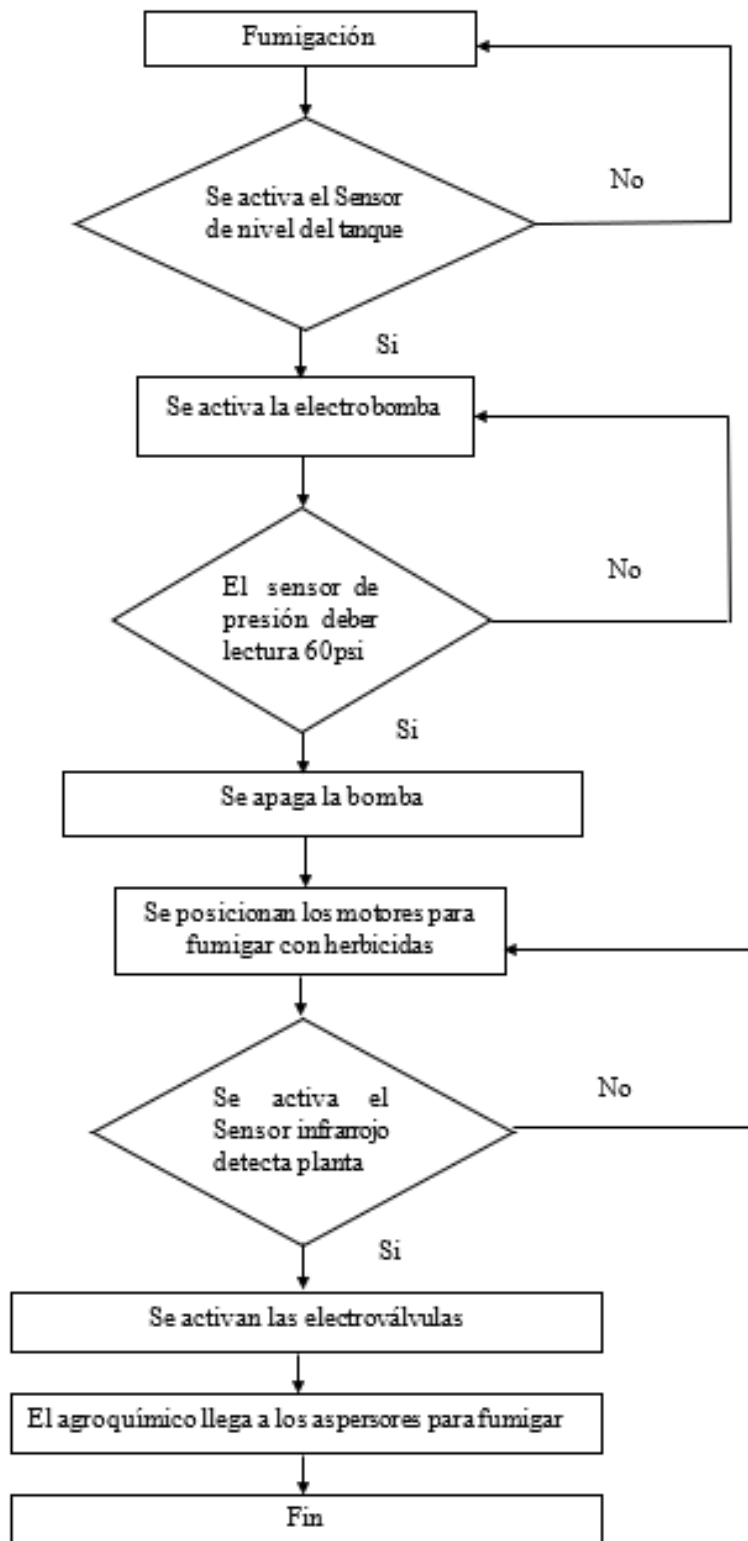


Figura 194. Diagrama de control del robot con herbicidas
Fuente: elaboración propia

4.5.6.2. Comunicación con el robot fumigador

Luego de haber desarrollado los diagramas de control tanto para el sistema de funcionamiento del robot y la operación del robot. Toca definir el medio de comunicación que debe tener el robot con el usuario, para ello se debe enviar y recibir información, para que de esta manera se pueda gobernar al robot; sin comunicación entre el área de control y el robot no se podrá realizar la teleoperación del robot.

Se sabe que la distancia del área de control y el robot es de aproximadamente 200 m, a ello hay sumarle todo el recorrido que hará el robot, por lo que es ilógico usar cable, es por ello que lógicamente no se hará uso de cables.

El sistema de comunicación será en modo esclavo – maestro.

4.5.6.3. Interfaz de comunicación inalámbrica

Dentro de la gama de comunicaciones inalámbricas existe una gran cantidad, sin embargo, las más utilizadas en robótica son: Bluetooth, RF, Wifi.

A continuación, se detallan las características más importantes de cada una.

WIFI: es una tecnología inalámbrica que básicamente permite conectar dispositivos electrónicos.

Ventajas

Es una tecnología que es compatible con la mayoría de los dispositivos electrónicos en el mercado. Presenta muchos puntos de acceso, asimismo la interfaz de red soporta varios niveles de encriptación. Cuenta con una cobertura de comunicación que puede oscilar de 20 m a 1 000 m, para este último con uso de repetidores.

Desventajas

Las conexiones inalámbricas no son muy seguras si no están bien direccionadas, pues pueden ser usados por otros usuarios para *jaqueo* o robar información.

Bluetooth: es una tecnología inalámbrica que permite la transmisión de datos entre distintos dispositivos por medio de una radio frecuencia.

Ventajas

La cobertura de este tipo de comunicación es de 100 m a más, según la potencia, la implementación es de bajo costo, la sincronización de conexión es instantánea.

Desventajas

Una de las limitaciones es la cantidad de periféricos que se pueden usar, si se realiza la conexión inadecuada se puede dar la recepción de datos e información falsa o fallida.

RF: es la característica que define a un grupo de ondas electromagnéticas, las cuales se propagan en el espectro.

Ventaja

Son más económicos en comparación a los otros tipos de comunicación, el esquema de conexión es fácil.

Desventaja

La banda de comunicación es limitada, no se puede integrar la comunicación de otros dispositivos, puesto que presentan un protocolo de comunicación cerrado. Luego de haber revisado y analizado las interfaces de comunicación inalámbrica más utilizadas en robótica, y de acuerdo a la necesidad que se quiere cubrir, para nuestro caso la comunicación de forma inalámbrica con el robot será por medio de Wifi, debido a las características con la que cuenta como es la banda de comunicación y la configuración de comunicación que permite realizar.

Asimismo, es un producto muy comercial en el mercado y su costo es compensable con la tecnología que nos brinda.

La comunicación Wifi estará integrada por los siguientes elementos.

Sistema de usuario del robot

La comunicación del usuario con el robot será de forma teleoperada, en este caso el usuario debe contar con un ordenador o una Tablet, para que por medio de este se pueda realizar el control del robot.

La computadora contará con una aplicación desarrollada en el sistema Linux donde se podrá visualizar el desplazamiento del robot en tiempo real.

Asimismo, en el robot estarán ubicados el procesador Ras Berry pi y los controladores arduinos. Tanto el robot y la computadora del usuario estarán enlazados por medio de una red Wifi.

El robot se enciende de modo independiente con la desactivación del pulsador de emergencia y activación de interruptor.

Por otro lado, se debe encender el router y el ordenador del usuario, ya sea computadora o Tablet. Al encender los tres sistemas, se debe enlazar la comunicación del robot con la computadora por medio de la aplicación.

Por otro lado, para un mejor control de las comunicaciones de la Raspberry, los controladores arduinos se darán por medio de una comunicación socket (Servidor cliente).

Comunicación socket (servidor - cliente)

En esta comunicación la Raspberry tendrá dos funciones, una como cliente y otra como servidor, procesará las imágenes que serán enviadas al ordenador del usuario, por otro lado, enviará las señales a los controladores, enviadas por el usuario (operario). A continuación, se detalla la operación del robot por medio de la teleoperación.

Raspberry: este procesador tendrá la función de captar y enviar los videos en tiempo real, sea donde se encuentre el robot, a la vez captará, procesará y enviará las señales al controlador Arduino generadas por el usuario que estará operando el robot (Comunicación socket- servidor cliente).

Arduino: este controlador tendrá la función de trabajar con los sensores del robot, captará las señales, las procesa y envía al usuario por medio de la Raspberry que estará enlazada a una red Wifi.

Tanto el controlador Arduino y la Raspberry trabajan conjuntamente la función principal del Arduino, que será controlar al robot y; de la Raspberry, será procesar. Ambos tendrán comunicación con el usuario por medio de la computadora portátil enlazadas a una red Wifi.

Entorno de operación del robot desde la computadora portátil

El usuario para la operación del robot contará con una computadora, esta computadora contará con una aplicación con la cual se va a controlar el robot.

La computadora debe contar con el software de Python instalado. Asimismo, el procesador Raspberry debe contar con un sistema operativo, en este caso será Raspbian, este sistema operativo automáticamente cuenta con software Python.

En la Raspberry estará el desarrollo de toda la programación del robot, asimismo, configurado con la red Wifi para la emisión y recepción de las señales y videos en tiempo real.

Por otro lado, en la computadora por medio de Python se contará con una interfaz gráfica que luego de un análisis será Tkinter. Por medio de este entorno grafico se podrá controlar el robot de manera teleoperada, además se podrán apreciar los videos en tiempo real.

En resumen, la computadora tendrá el papel de una interfaz para controlar el robot, a continuación, se explica de forma gráfica el proceso de teleoperación del robot.

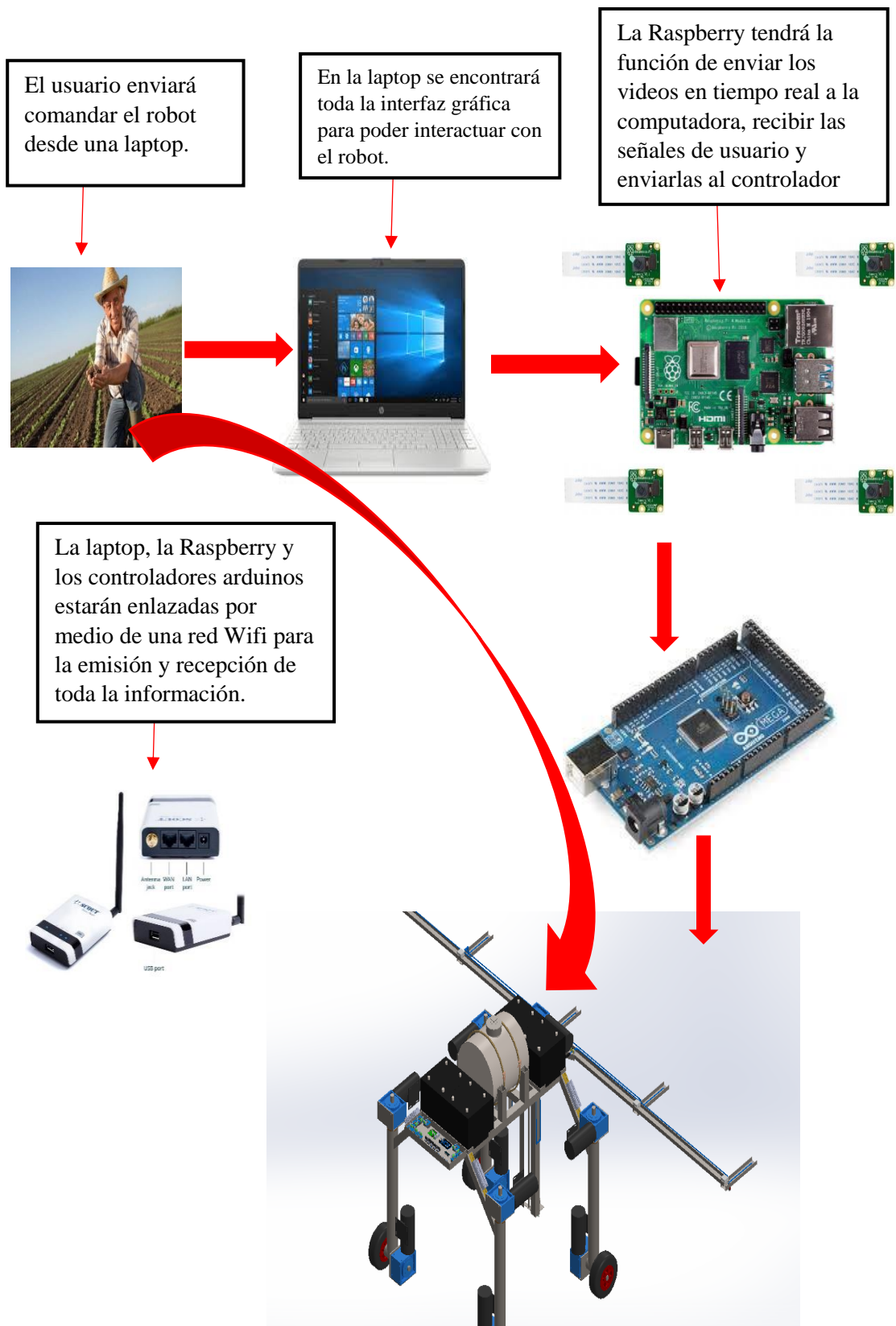
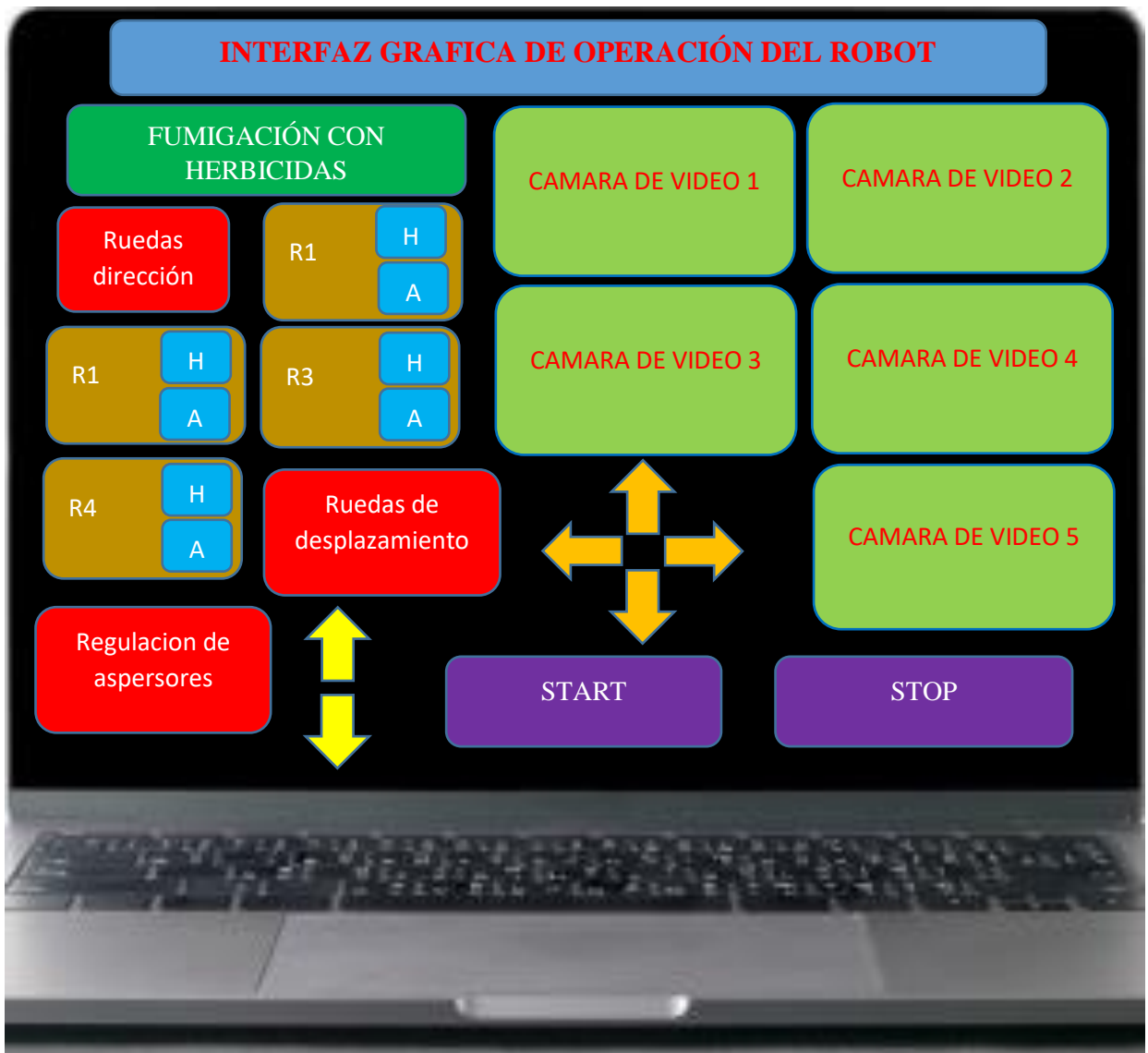
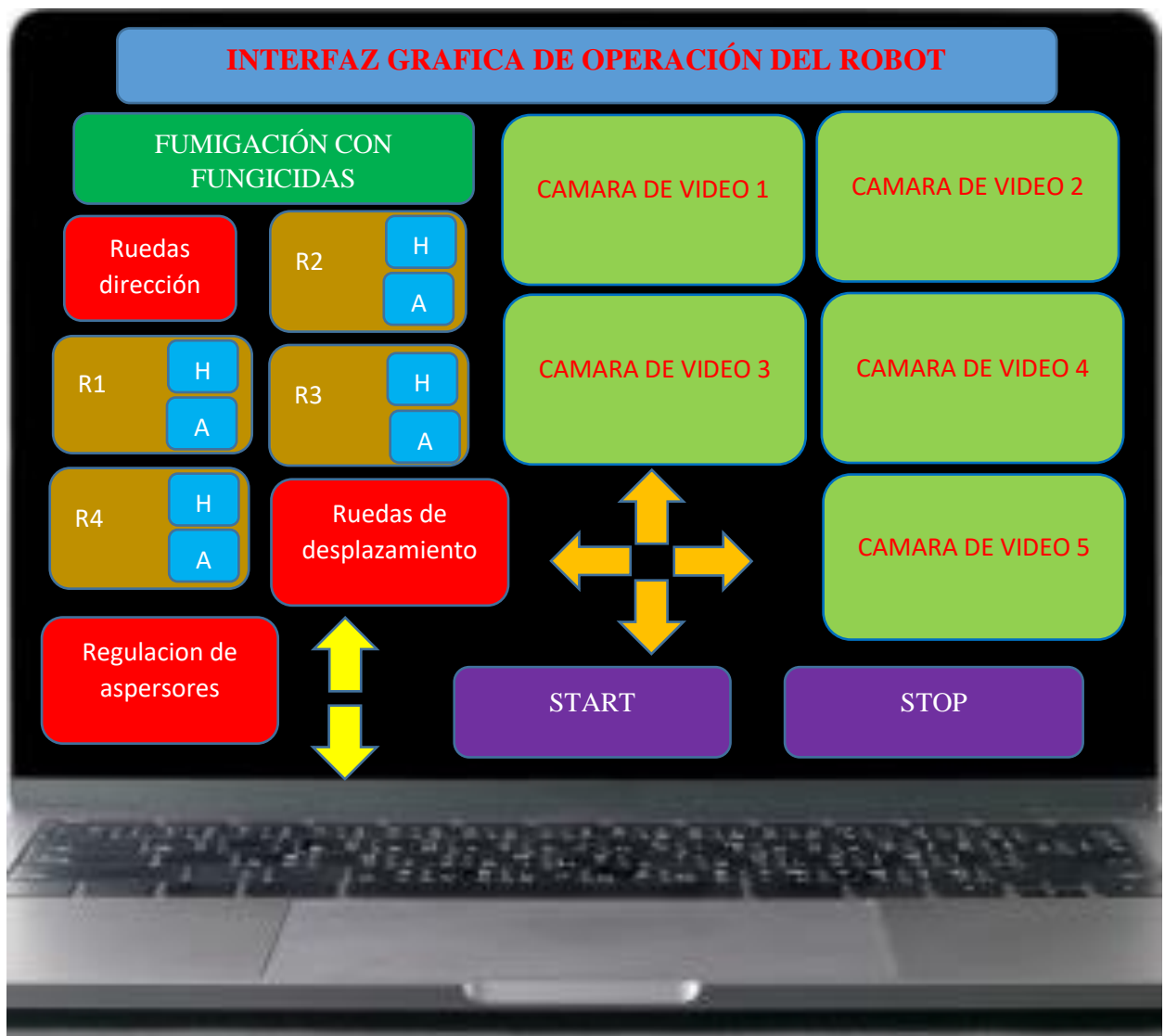


Figura 195. Entorno de operación del robot
Fuente: elaboración propia

Interfaz gráfica en la laptop



*Figura 196. Interfaz gráfica para el usuario - Fumigación herbicidas
Fuente: elaboración propia*



*Figura 197. Interfaz gráfica para el usuario - Fumigación fungicidas
Fuente: elaboración propia*

4.1. Etapa VI: configurar el producto final (documentación)

Luego de haber culminado la etapa de diseño, se presenta la configuración del robot con la implementación de todos los módulos que los conforman:

- La parte mecánica del robot
- El sistema de aspersión del robot
- La parte electrónica del robot
- La estrategia de control del robot

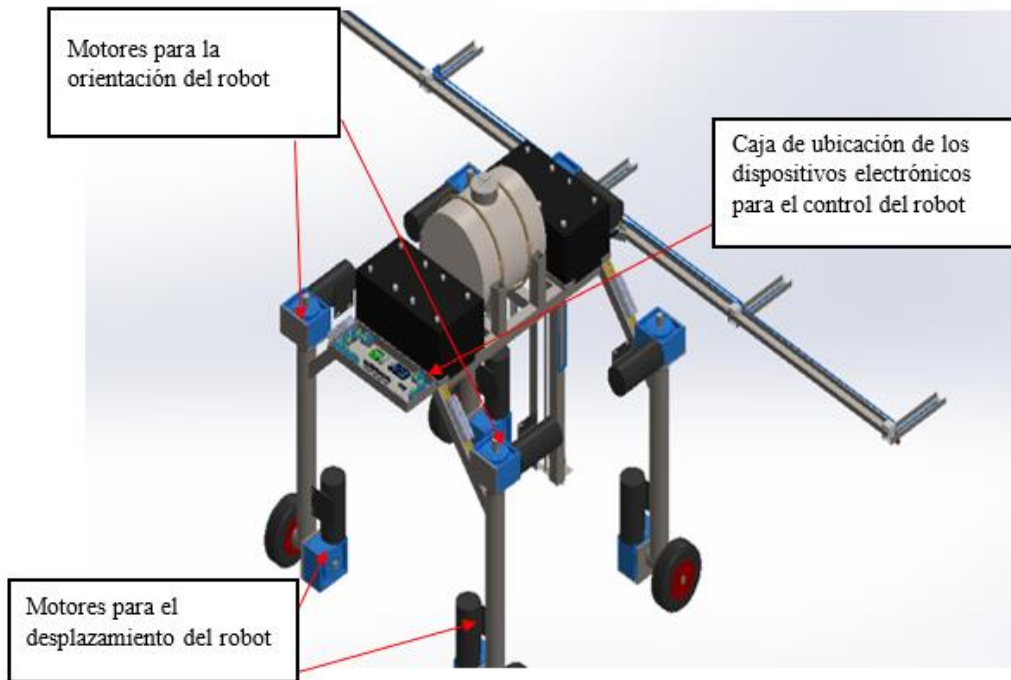


Figura 198. Vista isométrica del robot con todas las partes que la conforman
Fuente: elaboración propia

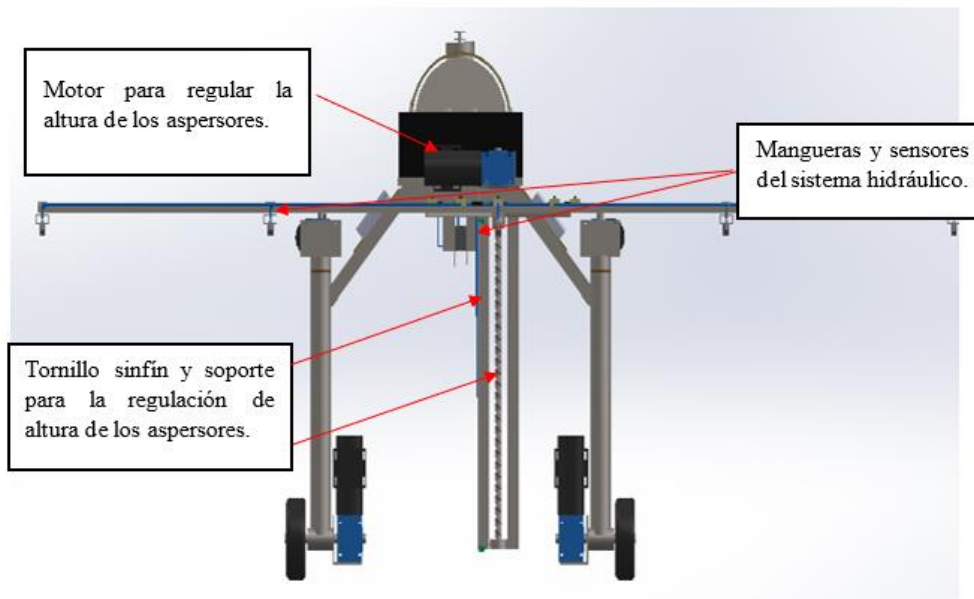


Figura 199. Vista de la parte trasera del robot
Fuente: elaboración propia

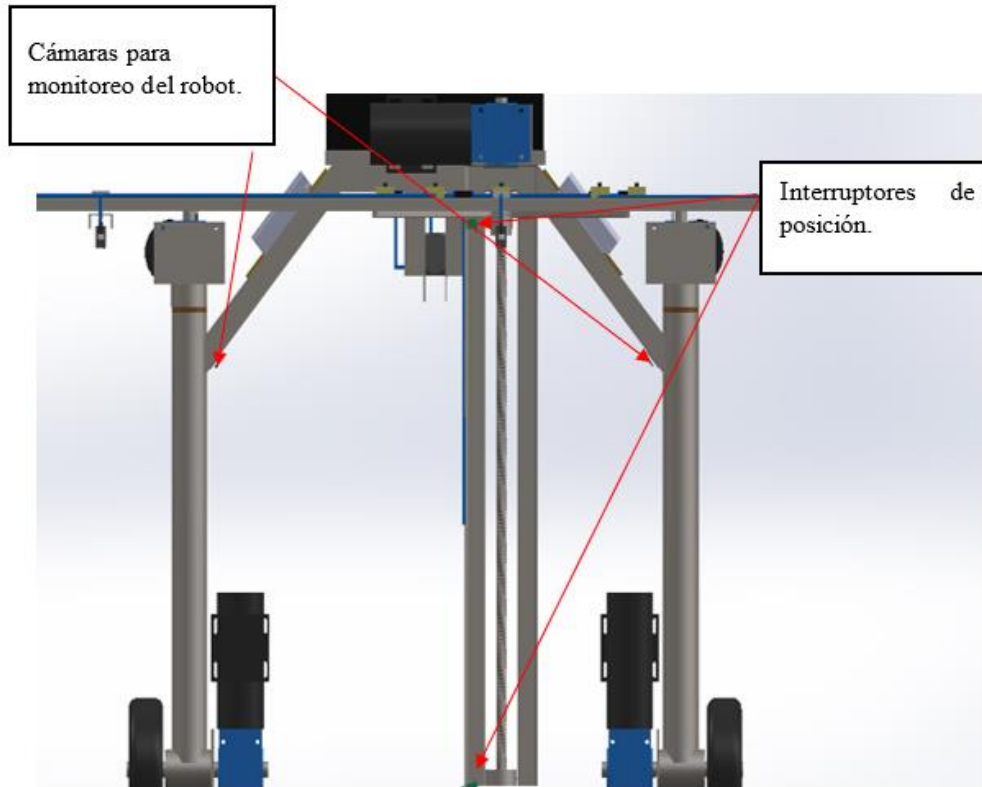


Figura 200. Vista de la parte trasera del robot
Fuente: elaboración propia

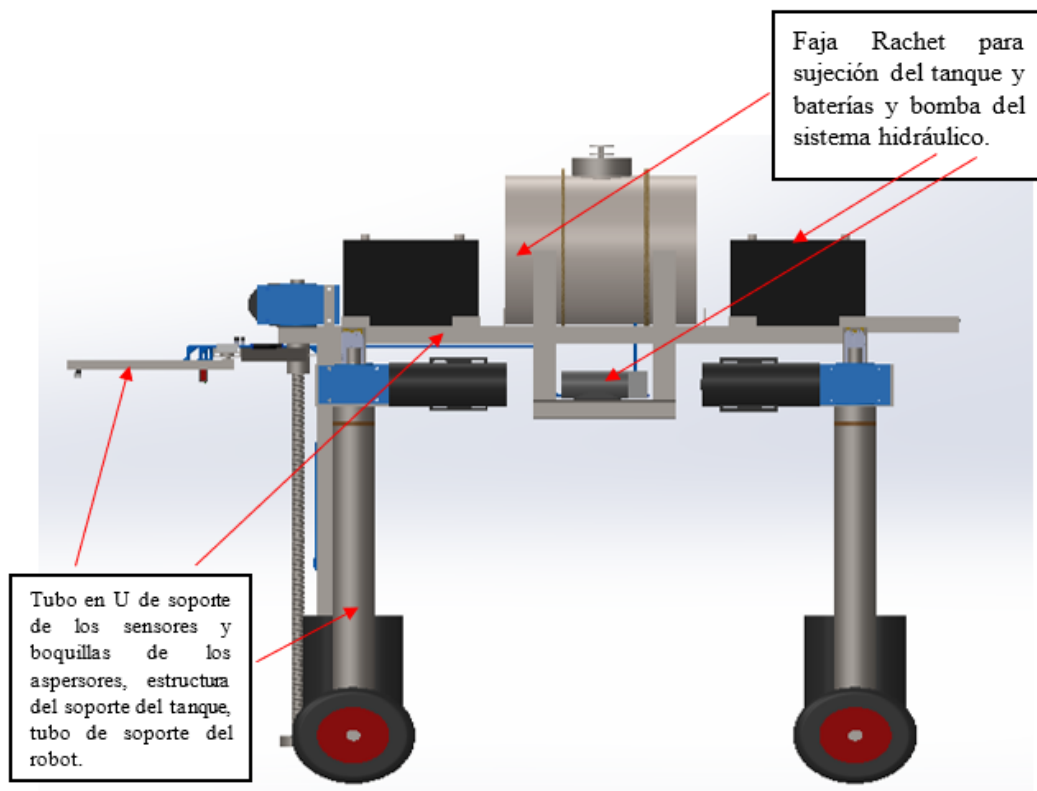


Figura 201. Vista lateral del robot
Fuente: elaboración propia

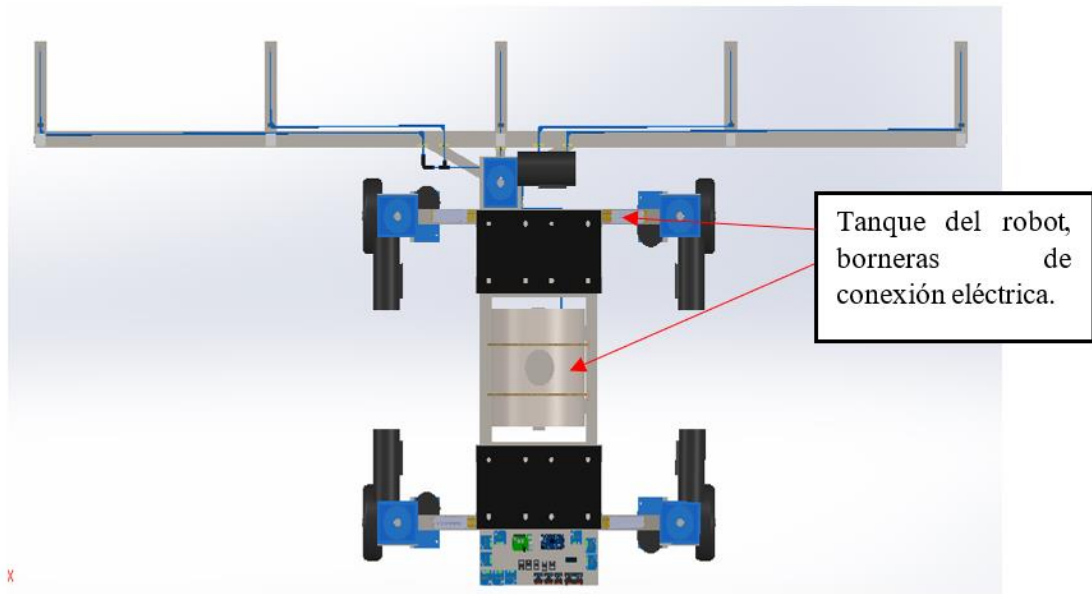


Figura 202. Vista de planta del robot
Fuente: elaboración propia

CAPÍTULO V

SIMULACIONES DEL ROBOT

5.1. Simulaciones mecánicas

Para corroborar el diseño de las secciones que estarán sometidas a constante esfuerzo, a continuación, se dará conocer sus respectivas simulaciones por medio de un software CAD (SolidWorks).

5.1.1. Simulación del soporte del tanque y las baterías del robot

El soporte de las baterías y el tanque será una de las secciones que está sometido a constante esfuerzo, es por eso que con los datos de los cálculos realizados se muestran las respectivas simulaciones.

Para la simulación se están considerando los siguientes elementos con sus respectivos pesos:

Tabla 32. Pesos de los elementos que estarán sobre la estructura del robot

Item	Descripción	Peso en kilogramos
1	Baterías	150 kg
2	Tanque contenedor	11 kg
3	Motor	15 kg
4	Otros	100 kg
	Peso total	276 kg = 2707.56 N

Fuente: elaboración propia

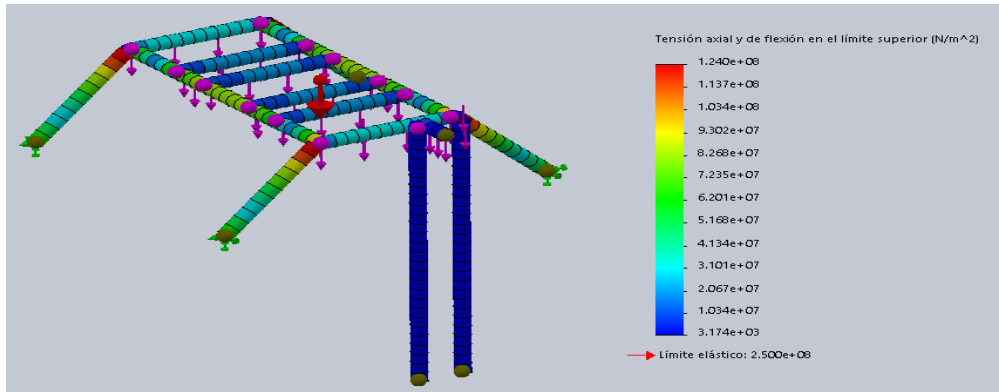


Figura 203. Simulación de la estructura del robot
Fuente: elaboración propia

Deformaciones

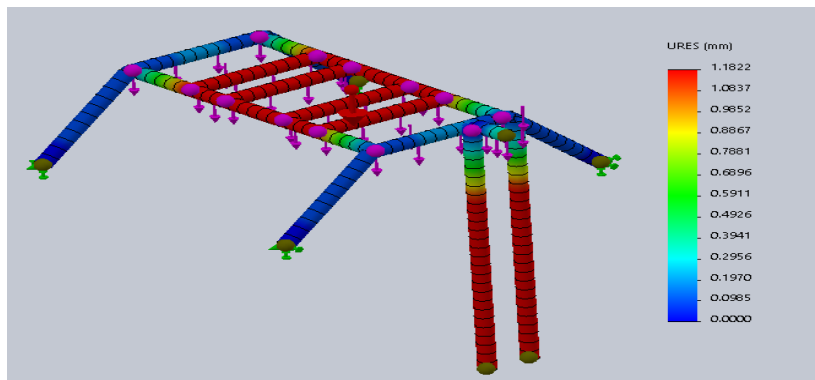


Figura 204. Deformación del soporte del tanque y las baterías
Fuente: elaboración propia

Deformaciones unitarias

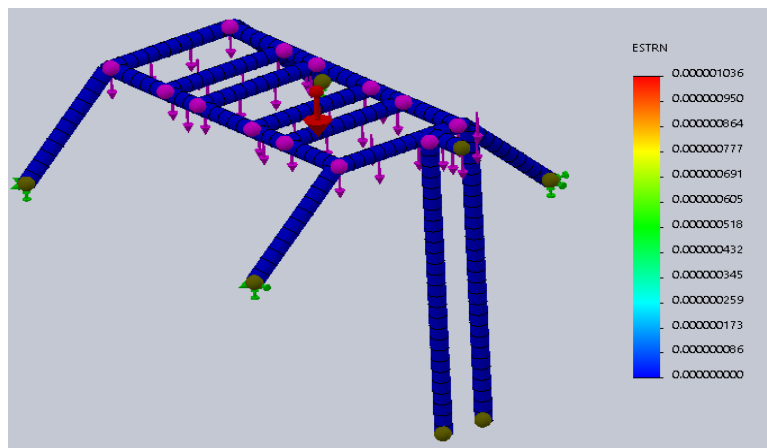


Figura 205. Deformaciones unitarias del soporte del tanque y las baterías
Fuente: elaboración propia

5.1.2. Simulaciones eje horizontal

Otra de las secciones que estará sometida a constante esfuerzo es el eje horizontal, para la simulación con el software se está considerando las siguientes magnitudes.

Fuerza: 1740 N

Momento en J: 1740 N/m

Torque: 40 N/m

Para el presente esfuerzo las flechas de color verde son donde está ubicada la llanta, para este caso el programa está considerando a todo como una geometría fija, toda una cara; esto se especifica en los cálculos, puesto que el programa no considera reacciones en el eje X o el eje Y.

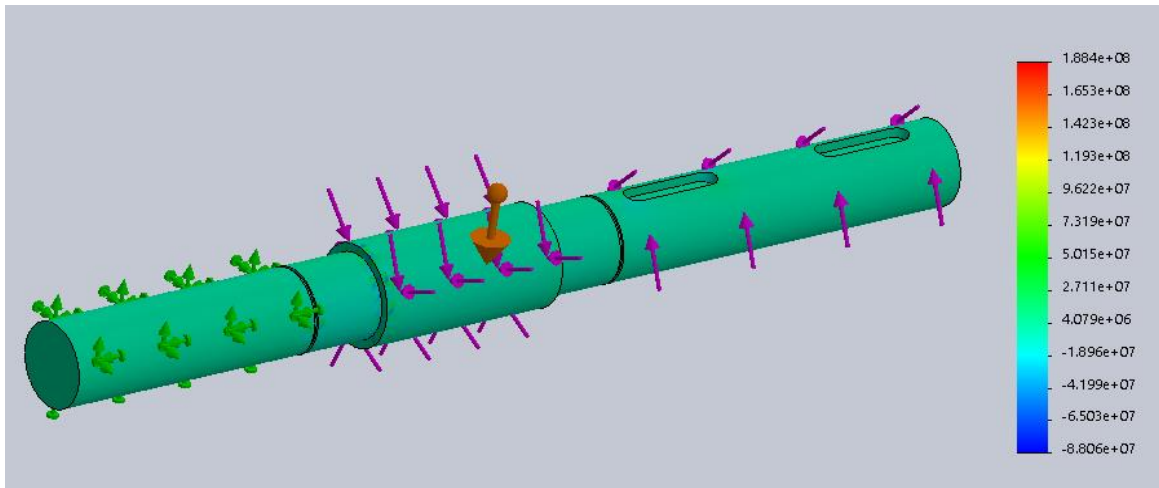


Figura 206. Simulación del eje horizontal
Fuente: elaboración propia

Deformaciones

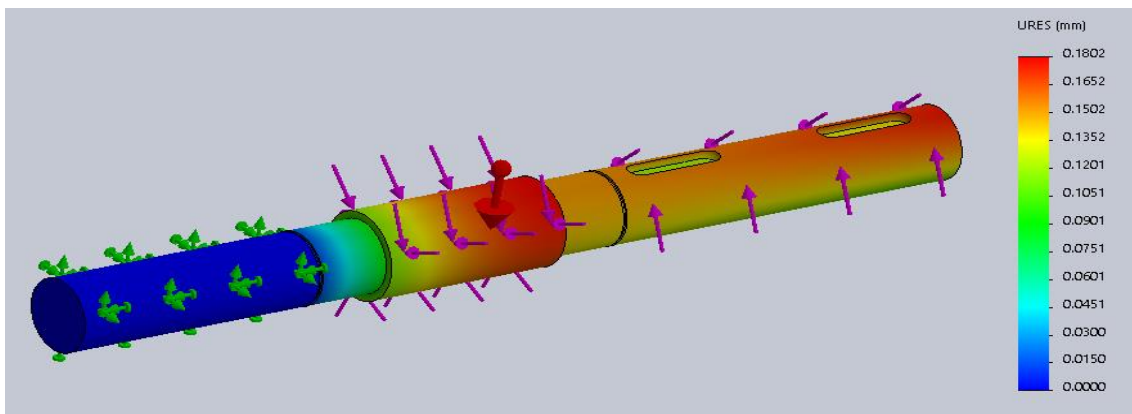
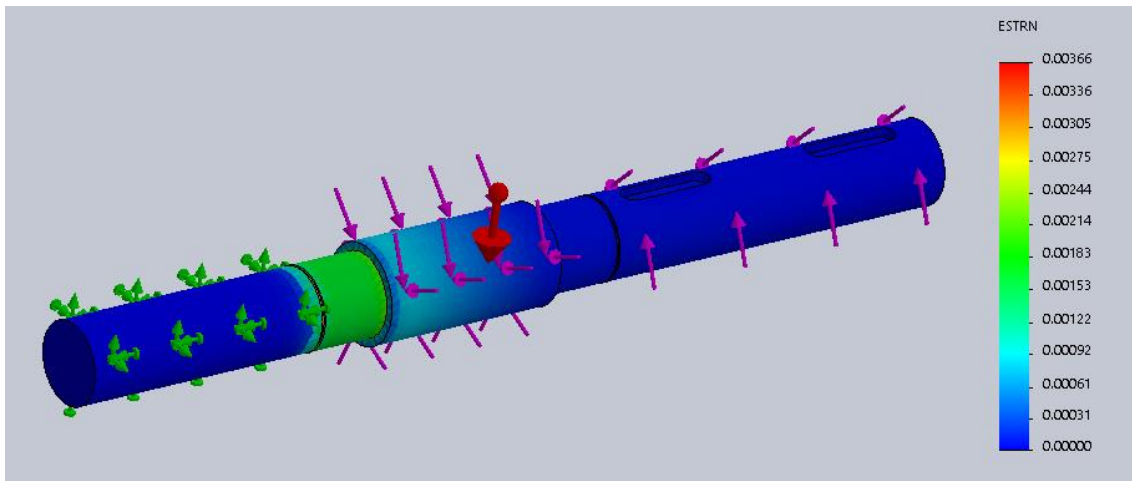


Figura 207. Deformaciones del eje horizontal del robot
Fuente: elaboración propia

Deformaciones unitarias



*Figura 208. Deformaciones unitarias del eje horizontal del robot
Fuente: elaboración propia*

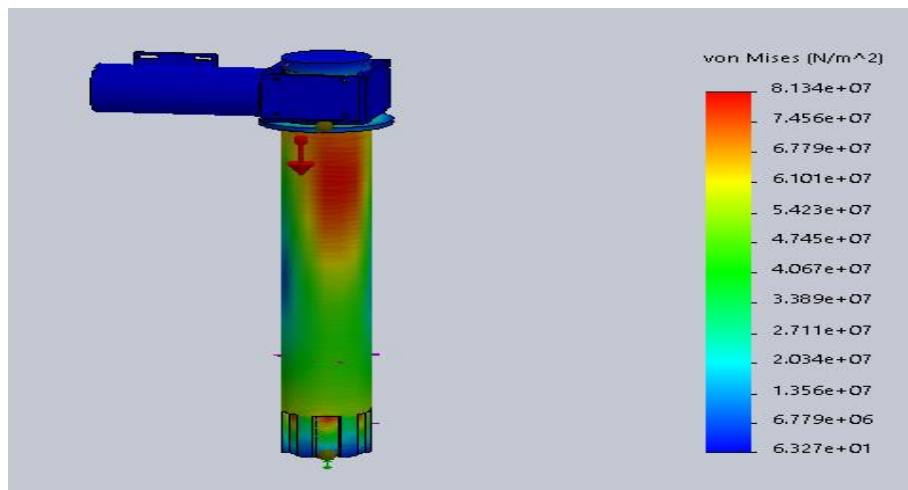
5.1.3. Simulaciones de eje vertical

Asimismo, a continuación, se va a simular el eje vertical, esta también estará en constante esfuerzo en el eje horizontal, para la simulación con el software se están considerando las siguientes magnitudes.

Fuerza: 1740 N

Momento en J: 1740 N/m

Torque: 40 N/m



*Figura 209. Simulación del eje horizontal
Fuente: elaboración propia*

Deformaciones

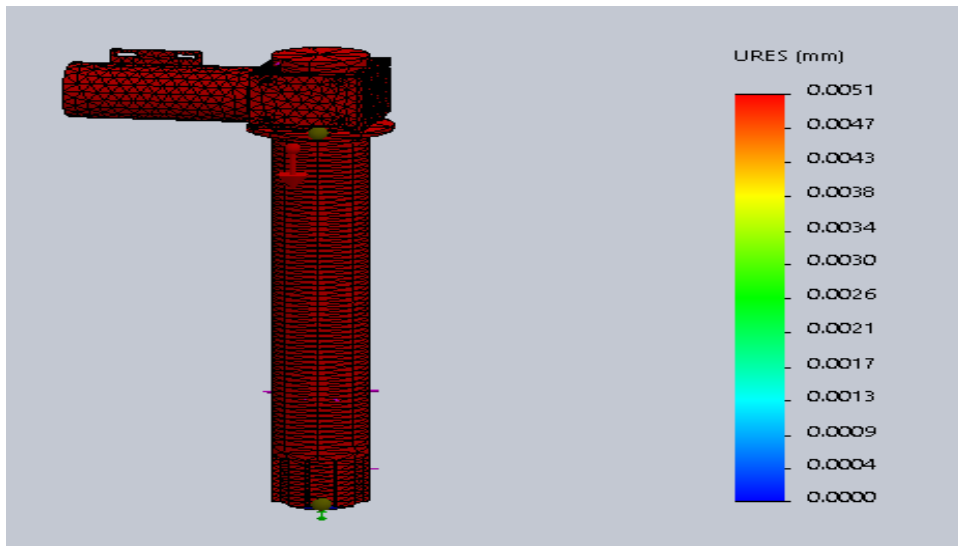


Figura 210. Deformación del eje vertical del robot
Fuente: elaboración propia

Deformaciones unitarias

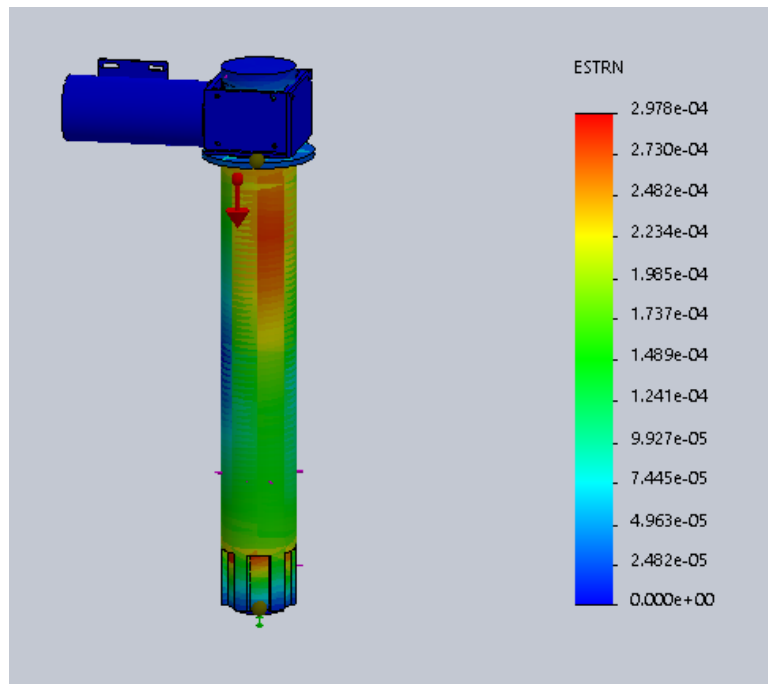


Figura 211. Deformaciones Unitarias del eje vertical del robot
Fuente: elaboración propia

5.2. Simulaciones electrohidráulicas

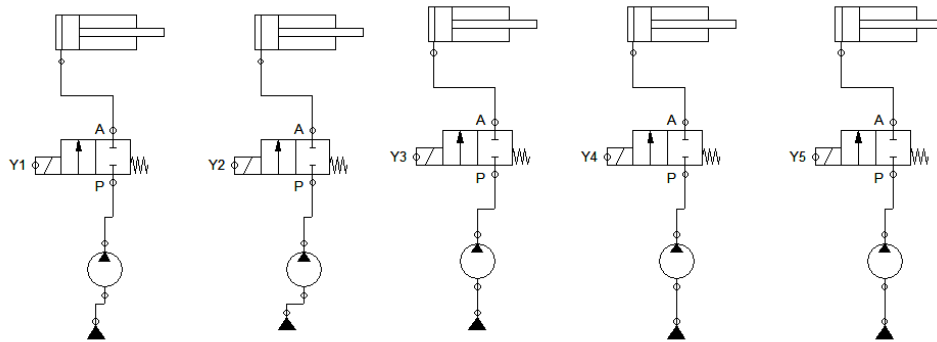


Figura 212. Simulación del sistema hidráulico del robot
Fuente: elaboración propia

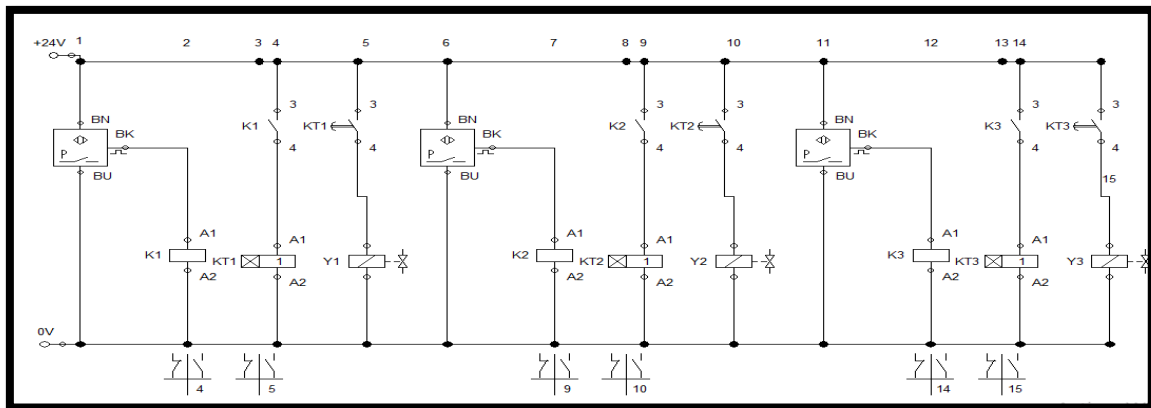


Figura 213. Simulación del sistema eléctrico del robot
Fuente: elaboración propia

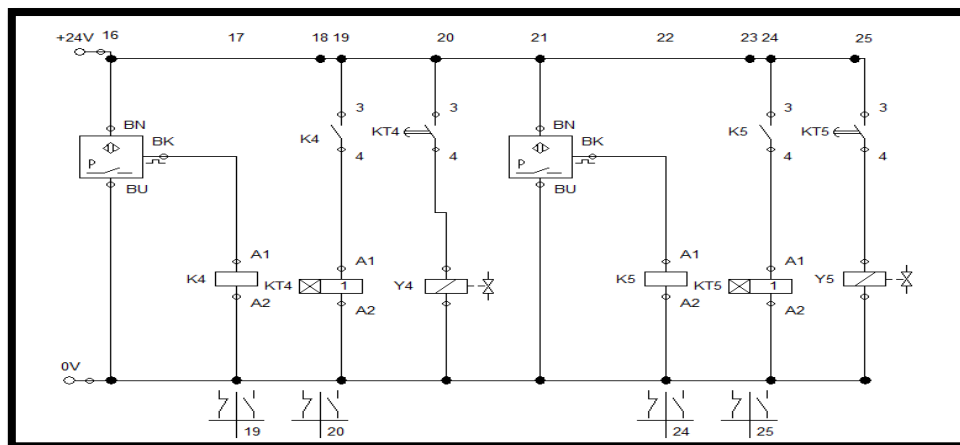


Figura 214. Simulación del sistema eléctrico de la aspersión del robot
Fuente: elaboración propia

5.3. Simulaciones electrónicas

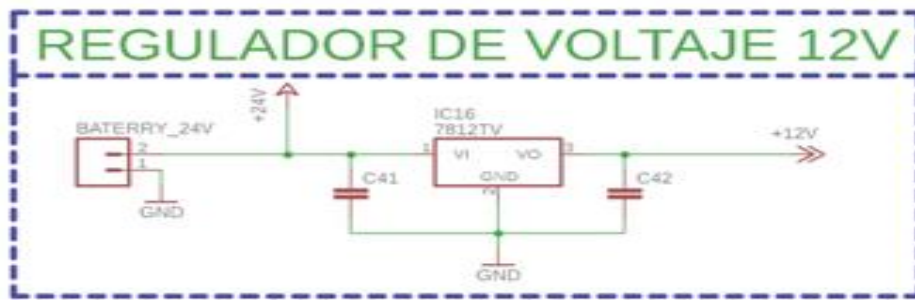


Figura 215. Simulación del regulador de voltaje de 12V
Fuente: elaboración propia

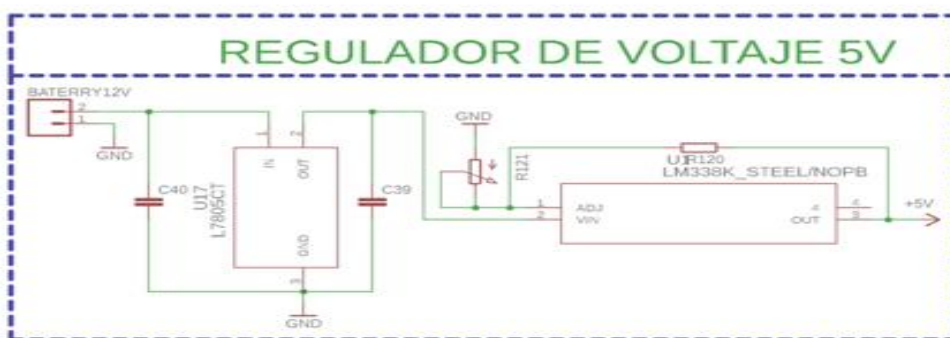


Figura 216. Simulaciones del regulador de voltaje de 5V
Fuente: elaboración propia

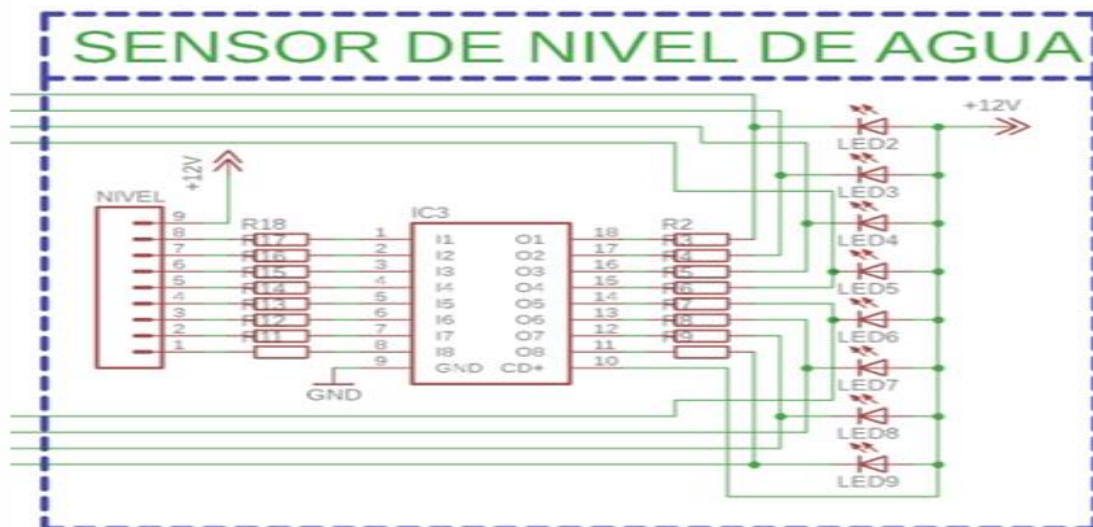
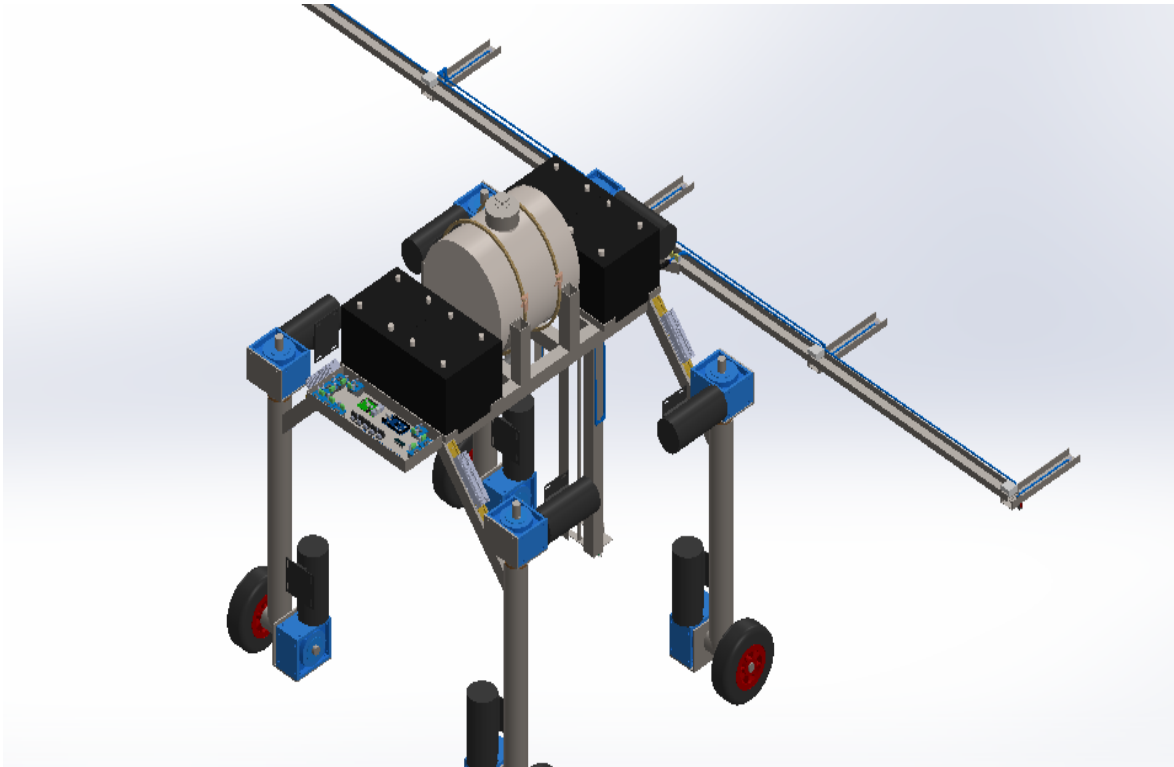


Figura 217. Simulación del sensor de nivel
Fuente: elaboración propia

5.1. Simulación de robot en aplicaciones de fumigación

En la siguiente imagen se muestra el diseño del robot móvil simulando la tarea de fumigación.



*Figura 218. Simulación del robot en aplicaciones de fumigación
Fuente: elaboración propia*

CAPÍTULO VI

COSTOS DE CONSTRUCCIÓN

6.1. Presupuesto

Productos nacionales

A continuación, se muestra el precio de los componentes mecánicos (planchas, perfiles y platinas).

Sección: estructura de soporte del tanque del robot

Tabla 33. Cantidad y precio de metales para fabricación de estructura del soporte del tanque del robot

Componentes mecánicos (planchas, perfiles y platinas)						
Ítem	Sección del robot	Descripción	Dimensiones	Cantidad	Costos Unitarios	Costo total
1	Estructura de soporte del tanque del robot.	Tubo cuadrado principal de parrilla.	115 cm x 2pulg. de ancho.	2	S/. 50.00	S/.100.00
2	Estructura de soporte del tanque del robot.	Tubo cuadrado de apoyo horizontal	50.6 cm x 2pulg. de ancho	2	S/. 10.00	S/. 20.00
3	Estructura de soporte del tanque del robot.	Tubo de apoyo horizontal	40.5 cm x 2pulg. de ancho	4	S/. 8.00	S/. 32.00
4	Estructura de soporte del tanque del robot.	Tubo de apoyo vertical	20 cm de x 2 pulg. de ancho	2	S/. 6.00	S/. 12.00
5	Estructura de soporte del tanque del robot.	Tubo de sujeción para el tanque contenedor	20.3 cm x 2pulg. de ancho	4	S/. 6.00	S/. 12.00
6	Estructura de soporte del tanque del robot.	Platinas de Apoyo para baterías	65.8 cm x 20.74 mm de ancho 2.59 de espesor	4	S/. 10.00	S/. 10.00
7	Estructura de soporte del tanque del robot.	Platinas en forma de arco para soporte del taque.	63.5 cm x 3 mm de espesor	2	S/. 10.00	S/. 20.00
8	Estructura de soporte del tanque del robot.	Platina de soporte frontal del tanque.	60 cm x 3 mm de espesor.	1	S/. 10.00	S/. 10.00

9	Estructura de soporte del tanque del robot.	Tubos rectangulares para soporte de la estructura del robot	48 cm x 2pulg. de ancho por 2.11 mm de espesor	4	S/. 12.00	S/. 48.00	
10	Estructura de soporte del tanque del robot.	Platinas de soporte para el motor de regulación del nivel de los aspersores	10 cm x 2.74 cm de ancho por 2.8 mm de espesor	2	S/. 5.00	S/. 10.00	
11	Estructura de soporte del tanque del robot.	Platinas para soporte del motor de regulación del nivel de los aspersores.	18 cm x 5.08 cm de ancho por 3.17 mm de espesor	3	S/. 10.00	S/. 30.00	
12	Estructura de soporte del tanque del robot.	Platinas de soporte para eje de regulación del eje roscado	34.5 cm x 39.7 mm de ancho x 3 mm de espesor	1	S/. 8.00	S/. 8.00	
13	Estructura de soporte del tanque del robot.	Platinas de soporte de eje fijo para apoyo al eje roscado	7.8 cm x 2.54 cm de ancho x 3 mm de espesor.	1	S/. 5.00	S/. 5.00	
14	Estructura de soporte del tanque del robot.	Platina para paso de eje roscado	5.8 cm por 7.8 cm x 3 mm de espesor	1	S/. 8.00	S/. 8.00	
15	Estructura de soporte del tanque del robot.	Deslizador para eje fijo	Eje de 1 cm de largo por 18.7 mm de diámetro	2	S/. 5.00	S/. 10.00	
16	Estructura de soporte del tanque del robot.	Platinas el L para desplazamiento del mecanismo de aspersión	115 cm por 5.08 cm de ancho, espesor de 3.17 mm	2	S/. 8.00	S/. 16.00	
17	Estructura de soporte del tanque del robot.	Eje deslizador de apoyo para regular la altura del mecanismo de aspersión	12.7 mm de diámetro x 112 cm de largo	1	S/. 50.00	S/. 50.00	
18	Estructura de soporte del tanque del robot.	Platinas para el Soporte del eje deslizador	44 cm x 2.54 cm de ancho x 3 mm de espesor.	1	S/. 15.00	S/. 15.00	
19	Estructura de soporte del tanque del robot.	Eje para soporte del eje del sistema de aspersión del robot	Eje de 3 cm de largo x 3.81 cm de diámetro externo por 1.81 cm de diámetro interno.	1	S/. 10.00	S/. 10.00	
20	Estructura de soporte del tanque del robot.	Tubo rectangular para soporte de la bomba hidráulica	Tubo de 15 cm x 5.8 cm de ancho	4	S/. 10.00	S/. 10.00	
21	Estructura de soporte del tanque del robot.	Platinas el L para soporte de la bomba hidráulica	30.1 cm, 5.08 cm de ancho, espesor de 3.17 mm	2	S/. 15.00	S/. 30.00	
22	Estructura de soporte del tanque del robot.	Platinas para soporte de la bomba hidráulica	15 cm x 5.08 de ancho x 3.17 mm de espesor.	1	S/. 8.00	S/. 16.00	
23	Costo total						S/.482.00

Fuente: elaboración propia

Sección: tanque del robot

Tabla 34. Cantidad y precio de metales para la fabricación de la estructura del soporte del tanque del robot

Componentes mecánicos (planchas, perfiles y platinas)						
Ítem	Sección del robot	Descripción	Dimensiones	Cantidad	Costos Unitarios	Costos totales
1	Tanque del robot	Plancha de acero para el tanque	115 cm de largo x 40 cm de ancho	1	S/. 120.00	S/. 120.00
2	Tanque del robot	Plancha de acero para rompeolas y cara frontales del tanque	40 cm de diámetro x 3 mm de espesor.	4	S/. 50.00	S/. 200.00
3	Tanque del robot	Tapa del tanque	Platinas de 50 cm x 50 cm	1	S/. 8.00	S/. 8.00
4	Tanque del robot	Eje para tapa	Eje para tapa de 6.35 mm de diámetro por 3 cm de largo	1	S/. 4.00	S/. 4.00
Costo total						S/. 332.00

Fuente: elaboración propia

Sección: sistema mecánico del sistema de aspersión del robot

Tabla 35. Cantidad y precio de metales para la fabricación de la estructura del soporte del tanque del robot

Componentes mecánicos (planchas, perfiles y platinas)						
Ítem	Sección del robot	Descripción	Dimensiones	Cant.	Costos Unitarios	Costo total
1	Sistema mecánico del sistema de aspersión del robot.	Perfiles de acero en forma de U para sujeción de los 5 aspersores	400 cm de largo, ancho de 50.8 mm interno y espesor de 1.59 mm	1	S/. 200.00	S/. 200.00
2	Sistema mecánico del sistema de aspersión del robot.	Perfiles de acero en forma de U para los 5 aspersores con los sensores	35 cm de largo 50.8 mm interno y espesor de 1.59 mm	4	S/. 20.00	S/. 80.00
3	Sistema mecánico del sistema de aspersión del robot.	Perfiles en forma de L para apoyo del eje principal del sistema de aspersión	80 cm de largo 5.08 cm de ancho, espesor de 3.17 mm	1	S/. 80.00	S/. 80.00
4	Sistema mecánico del sistema de aspersión del robot.	Eje para desplazamiento de los aspersores del sistema de aspersión	Eje de 50.8 mm de diámetro x 10 cm de largo	5	S/. 3.00	S/. 15.00
5	Sistema mecánico del sistema de aspersión del robot.	Eje para bocina de apoyo en el desplazamiento del sistema mecánico de aspersión	Eje de 16.7 mm de diámetro por 20 mm de largo.	1	S/. 3.00	S/. 3.00
6	Sistema mecánico del sistema de aspersión del robot.	Platina para el sistema mecánico de aspersión	Platina de 5.1 cm de largo por 2.54 cm de ancho por 3 mm de espesor	1	S/. 5.00	S/. 5.00

7	Sistema mecánico del sistema de aspersión del robot.	Platinas para sujeción de motores.	Platinas de 85 mm de largo por 50.8 mm de ancho x 3 mm de espesor.	5	S/. 3.00	S/. 15.00
8	Sistema mecánico del sistema de aspersión del robot.	Platinas para sujeción de eje con platinas del aspersor.	Platinas de 12 cm de largo x 2.54 cm de ancho por 3 mm de espesor.	5	S/. 8.00	S/. 40.00
9	Sistema mecánico del sistema de aspersión del robot.	Eje para motor del aspersor	Eje de 1 cm de diámetro por 2.5 cm de largo	5	S/. 3.00	S/. 15.00
10	Sistema mecánico del sistema de aspersión del robot.	Tubo para base del rodaje.	Diámetro externo de 30 mm, diámetro interno de 28 mm, 9 mm de largo.	5	S/. 2.00	S/. 10.00
11	Sistema mecánico del sistema de aspersión del robot.	Tornillo sin fin para desplazamiento de aspersores	Diámetro de 3 cm por 130 cm de eje.	1	S/. 200.00	S/. 200.00
Costo total						S/. 663.00

Fuente: elaboración propia

Sección: sistema mecánico del sistema de locomoción del robot

Tabla 36. Cantidad y precio de metales para la fabricación del sistema mecánico del sistema de locomoción del robot.

COMPONENTES MECÁNICOS (Planchas, Perfiles y Platinas)						
Ítem	Sección del robot	Descripción	Dimensiones	Cant	Costos Unitarios	Costo total
1	Sistema mecánico del sistema de locomoción del robot.	Platina de acero para sujeción de los motores	23 cm de largo, ancho de 14.5 cm interno y espesor de 4.9 mm	4	S/. 20.00	S/. 80.00
2	Sistema mecánico del sistema de locomoción del robot.	Tubo de acero para soporte de toda la estructura del robot	65.5 cm de largo 88.9 mm diámetro externo, espesor de 5.5 mm	4	S/. 50.00	S/. 200.00
3	Sistema mecánico del sistema de locomoción del robot.	Eje vertical para orientación del robot	100 cm de largo 4.5 mm de diámetro.	4	S/. 80.00	S/. 320.00
4	Sistema mecánico del sistema de locomoción del robot.	Bocina para amortiguamiento del robot	Eje de 8.9 cm de diámetro x 24.5 cm de largo	4	S/. 120.00	S/. 480.00
5	Sistema mecánico del sistema de locomoción del robot.	Resorte para amortiguamiento del robot.	Alambre de 1.5 mm de diámetro, largo de 40.52 cm, diámetro externo de alambre de 3.9 cm, diámetro interno de alambre de 3.19 cm	4	S/. 50.00	S/. 200.00
Costo total						S/. 1280.00

Fuente: elaboración propia

Sección: sistema mecánico del sistema de locomoción del robot superficie baja

Tabla 37. Sistema mecánico del sistema de locomoción del robot superficie baja

Componentes mecánicos (planchas, perfiles y platinas)						
Ítem	Sección del robot	Descripción	Dimensiones	Cant	Costos Unitarios	Costo total
1	Sistema mecánico del sistema de locomoción del robot superficie baja.	Eje horizontal del robot	Eje de 35 cm de largo de 36 mm de diámetro	4	S/. 100.00	S/. 400.00
2	Sistema mecánico del sistema de locomoción del robot superficie baja.	Tubo de acero para soporte de rodajes y pasó de eje.	12 cm de largo x 7.3 cm de diámetro externo. 5.16 mm de espesor.	4	S/. 50.00	S/. 200.00
3	Sistema mecánico del sistema de locomoción del robot superficie baja.	Eje vertical para sujeción de eje.	13 cm de largo x 7.8 cm de diámetro.	4	S/. 70.00	S/. 280.00
4	Sistema mecánico del sistema de locomoción del robot superficie baja.	Platina de acero para soporte de motor.	Platina de 6.35 mm de espesor 26.9 cm de largo x 17.5 cm de ancho.	4	S/. 40.00	S/. 160.00
Costo total						S/. 1040.00

Fuente: elaboración propia

Productos internacionales de exportación

A continuación, se muestra el precio de los componentes de exportación.

Tabla 38. Lista de componentes eléctricos (placas impresas)

Componentes eléctricos				
Ítem	Descripción	Cantidad	Costos Unitarios	Costo total
1	Motores eléctricos de 24V en DC	9	S/. 400.00	S/. 3600.00
2	Baterías de corriente continua de 24 V de 130 Aph	4	S/. 400.00	S/. 1600.00
3	Electrobomba de 24 V. DC	1	S/. 200.00	S/. 200.00
4	Motores DC de 24V DC	5	S/. 20.00	S/. 100.00
5	Electroválvulas de 24 V DC	5	S/. 30.00	S/. 150.00
7	Sensor de presión	1	S/. 50.00	S/. 50.00
8	Sensor Infrarrojo	5	S/. 50.00	S/. 250.00
9	Sensor de caudal	5	S/. 50.00	S/. 250.00
10	Finales de carrera	2	S/. 20.00	S/. 40.00
Costo total				S/. 6400.00

Fuente: elaboración propia

Tabla 39. Lista de dispositivos electrónicos (componentes electrónicos)

Placas impresas				
Ítem	Descripción	Cantidad	Costos Unitarios	Costos totales
1	Puentes H BTS 7960 de alta potencias de 24V para 43 A.	9	S/. 80.00	S/. 720.00
2	Puentes H de 2A LM 298 de 24V DC.	5	S/. 20.00	S/. 100.00
3	Placa Arduino Mega	1	S/. 60.00	S/. 60.00
4	Placa Arduino Nano	2	S/. 30.00	S/. 60.00
5	Módulo de Reles de 24 V	5	S/. 20.00	S/. 100.00
6	Placa Raspberry Pi 4	1	S/. 200.00	S/. 200.00
7	Cámara de Raspberry Pi 4	5	S/. 80.00	S/. 400.00
Costo total				S/. 1640.00

Fuente: elaboración propia

Tabla 40. Lista de dispositivos electrónicos (regulador de voltaje)

Placas impresas eléctricas				
Ítem	Descripción	Cantidad	Costos Unitarios	Costos totales
1	Transistor regulador de voltaje (7812 TV)	2	S/. 5.00	S/. 10.00
2	Transistor regulador de voltaje (7805)	2	S/. 2.00	S/. 4.00
3	Resistencias	5	S/.0.20	S/. 1.00
4	Regulador de voltaje ajustable (LM338 K)	3	S/. 5.00	S/. 15.00
4	Capacitores 4	5	S/. 1.00	S/. 5.00
6	Potenciómetros	5	S/. 2.00	S/. 10.00
Costo total				S/. 45.00

*Fuente: elaboración propia***Tabla 41. Lista de componentes electrónicos para circuito medidor de nivel**

Placas impresas eléctricas				
Ítem	Descripción	Cantidad	Costos Unitarios	Costos totales
1	Circuito integrado (ULN 2803)	1	S/. 5.00	S/. 5.00
2	Resistencias de carbón 330 ohm	8	S/. 0.20	S/. 1.00
3	Resistencias de 210 Kilo ohm	8	S/. 0.20	S/. 1.00
4	Resistencias de 10Kohm	8	S/. 0.20	S/. 1.00
5	Diodo led	8	S/. 0.50	S/. 4.00
6	Cables para conectores	20	S/. 0.50	S/. 10.00
Costo total				S/. 22.00

Fuente: elaboración propia

Lista de accesorios:

Tabla 42. Lista de accesorios (parte mecánica)

Lista de accesorios (parte mecánica)				
Ítem	Descripción	Cantidad	Costos Unitarios	Costos totales
1	Fajas ratchet	2	S/. 60.00	S/.120.00
2	Ruedas	4	S/. 40.00	S/. 160.00
4	Pernos M6	40	S/. 2.00	S/. 80.00
5	Tuercas M6	40	S/. 1.00	S/. 40.00
6	Arandelas de presión M6	40	S/. 1.00	S/. 40.00
7	Prisioneros M4	10	S/. 2.00	S/. 20.00
8	Rodajes cónicos	8	S/. 50.00	S/. 400.00
9	Rodajes clásicos	5	S/. 10.00	S/. 50.00
10	Rodajes clásicos	5	S/. 20.00	S/. 100.00
Costo total				S/. 1100.00

*Fuente: elaboración propia***Tabla 43. Lista de accesorios (parte hidráulica)**

Lista de accesorios (parte hidráulica)				
Ítem	Descripción	Cantidad	Costos Unitarios	Costos totales
1	Tubo flexible de silicona	20 metros	S/. 2.00	S/. 40.00
2	Racores T	4	S/. 10.00	S/. 40.00
3	Racores en L	2	S/. 10.00	S/. 20.00
4	Racores de reducción	7	S/. 10.00	S/.70.00
Costo total				S/. 170.00

*Fuente: elaboración propia***Tabla 44. Lista de accesorios (parte eléctrica)**

Lista de accesorios (parte eléctrica)				
Ítem	Descripción	Cantidad	Costos Unitarios	Costos totales
1	Cables de calibre 10	30 m.	S/. 1.00	S/. 30.00
2	Terminales	20	S/. 0.50	S/. 10.00
3	Borneras	60	S/. 1.00	S/. 60.00
4	Conectoras para baterías	10	S/. 2.00	S/. 20.00
Costo total				S/. 120.00

Fuente: elaboración propia

Análisis de costo beneficio

En el siguiente cuadro se dará a conocer el costo beneficio del robot, para ello se realizará un análisis del costo que tiene el robot en caso se desee implementar y el beneficio que brindaría el robot.

Cálculo del consumo de energía eléctrica en soles

Este cálculo es muy importante debido a que el robot funciona con corrientes considerables el cual hace que las baterías que usará tienen que recargarse frecuentemente y eso es un costo que se tiene que considerar en la viabilidad del proyecto. Para el presente análisis se tomó como referencia los siguientes datos en base a una hora de operación del robot.

Tabla 45. Costo de servicios y energía

Ítem	Descripción	Cantidad	Costos unitarios	Costo total
1	Carga de baterías de 24 V de 200 A/h	4	S/. 5.00	S/. 20.00

Fuente: elaboración propia

Tabla 46. Costo total del robot fumigador

Ítem	Monto
Estructura de soporte del tanque del robot.	S/. 482.00
Tanque del robot	S/. 332.00
Sistema mecánico del sistema de aspersión del robot.	S/. 663.00
Sistema mecánico del sistema de locomoción del robot.	S/. 1280.00
Sistema mecánico del sistema de locomoción del robot superficie baja.	S/. 1040.00
Componentes eléctricos	S/. 6400.00
Placas impresas	S/. 1640.00
Dispositivos electrónicos (Regulador de voltaje)	S/. 45.00
Dispositivos electrónicos (Señalizador de nivel de agua)	S/. 22.00
Accesorios (Parte mecánica)	S/. 1100.00
Accesorios (Parte hidráulica)	S/. 170.00
Accesorios (Parte eléctrica)	S/. 120.00
Costo total de materiales del robot móvil de servicio para aplicaciones de fumigación	S/. 15,294.00

Fuente: elaboración propia

Luego de haber realizado y definido todos los costos de los componentes que componen el robot, en el siguiente cuadro se hará la comparación del costo y beneficio del trabajo de fumigación tradicional con la fumigación del robot. Para ello se tomarán los datos de la Tabla 47.

Tabla 47. Comparación económica entre sistemas de fumigación

Descripción	Fumigación tradicional	Costo con fumigación tradicional	Fumigación con el robot	Costo con fumigación con robot más costo de carga de baterías	Diferencia
Tiempo (fumigación con pesticidas y/o insecticidas)	8 horas x S/.6.25	S./ 50.00	2.4 horas x S/.6.25	S/.15.00 + S/. 10.00	S./ 25.00
Tiempo (Fumigación con herbicidas)	8 horas x S/.6.25	S./ 50.00	2.48 horas x S/.6.25	S./15.50 + S/. 10.00	S./ 24.50

Fuente: elaboración propia

De la tabla se concluye que por cada hectárea de fumigación de cultivos de maíz el agricultor obtendrá un ahorro de S/25.00, asimismo, por día se podrá fumigar con el robot 4 hectáreas del cultivo, es decir el agricultor por día tendrá un ahorro de S/100.00.

Por lo que en aproximadamente cuatro meses se estaría cubriendo la inversión del robot si se implementa.

CONCLUSIONES

Del presente trabajo de investigación se concluye lo siguiente:

1. El diseño del robot móvil de servicio para aplicaciones de fumigación del cultivo de maíz en general fue posible en todas sus partes que la conforman.
2. El diseño de la parte mecánica del robot fue posible dadas las restricciones y los requerimientos que solicita un terreno de cultivo de maíz con las siguientes dimensiones: 186 cm de largo, 400 cm de ancho considerando los aspersores, y una altura de 167 cm, asimismo, se diseñó un sistema de amortiguamiento para el robot el cual le permite inclinarse sin generar desajuste o quebraduras en las uniones mecánicas y no perder el equilibrio, el robot mantendrá el equilibrio hasta una inclinación de 30°.
3. En cuanto al desplazamiento y orientación del robot este cuenta con cuatro patas, donde cada una de ellas está gobernada por dos motores, uno para desplazamiento y otro para la orientación del robot, gracias a este diseño se podrá tener un mejor control del robot.
4. En cuanto al sistema de aspersion se logró el diseño del tanque, un contenedor óptimo con una capacidad de 50 L con rompeolas para evitar que los golpes del fluido afecten en la estabilidad del robot, asimismo, se logró el diseño del sistema mecánico de aspersion el cual es regulable en cuanto a la altura que se desee de 13 cm hasta 110 cm, con 5 aspersores con una longitud de 400 cm para 5 surcos; por otro lado, los mecanismos de los aspersores que es gobernando por un motor independientemente es ajustable para el tipo de actividad que se desee realizar, ya sea la fumigación con pesticidas o herbicidas.
5. Se diseñó la parte electrónica del robot, para el control del encendido y apagado de la bomba, un circuito señalizador que indica el nivel del agroquímico, se diseñó 2 circuitos reguladores de voltaje de 12 V y 5 V para suministrar el voltaje apropiado para los controladores, procesador y los

dispositivos como las cámaras y sensores para el control teleoperado del robot; en cuanto a las conexiones eléctricas, para los motores y la bomba hidráulica se lograron adaptar la conexiones de acuerdo a la estructura del robot, el suministro de energía será brindada por 4 baterías de 24 V.

6. Se desarrollaron 3 diagramas de flujo en las que se detallan las estrategias de control para cada actividad en específico. Se desarrolló una estrategia de control del robot tanto para fumigación con herbicidas y otra con fungicidas. Asimismo, una estrategia de control del robot en general. También, la interfaz de operación que se expone en el trabajo de investigación es sumamente intuitiva para el usuario ya que podrá observar en tiempo real la labor que el robot realiza dentro del terreno por medio de las cámaras que se encuentra en el robot.

7. Por otro lado, del presente trabajo de investigación, se concluye que la implementación del robot fumigador permite ahorrar S/ 27.20 y S/ 26.20 en fumigación con pesticidas y herbicidas respectivamente por hectárea. Asimismo, el tiempo de trabajo se reduce en más de cuatro horas por hectárea tanto en fumigación en herbicidas y pesticidas.

RECOMENDACIONES

1. En cuanto al diseño mecánico se recomienda que el diseño de la gran mayoría de piezas sea desarmable como es el caso del soporte del tanque, las baterías y los ejes verticales, puesto que todo el robot tiene un peso considerable lo cual sería una limitación para el uso del robot en terrenos húmedos, Asimismo para un mejor desplazamiento del robot se recomienda incrementar el diámetro del robot.
2. Para el transporte del robot, en futuras investigaciones se recomienda diseñar y construir una base móvil, para de esta manera superar la limitación que sería el transporte del robot.
3. En cuanto al sistema hidráulico se recomienda considerar dos bombas para distribuir mejor la presión hacia los aspersores y tener un mejor control de las mismas, incrementar la cantidad de aspersores de 5 a 10 para esta manera reducir el tiempo de fumigación en un 50% más.
4. En cuanto al sistema de alimentación, para poder ahorrar y reducir costos se recomienda colocarle paneles solares sobre el robot para aprovechar y captar la energía solar teniendo en cuenta de que la actividad de fumigación es óptima cuando hay calor.
5. Para el sistema de control en futuras investigaciones sería muy interesante implementarle visión artificial, para el reconocimiento de las plantas de maíz y aplicar el agroquímico apropiado con la cantidad apropiada, y a la vez aprovechar para entrenar al robot e implementarle también una generación de trayectoria.

TRABAJOS FUTUROS

1. En cuanto al sistema mecánico se puede mejorar el diseño de las partes móviles del robot tanto para el desplazamiento y para la orientación del robot.
2. De igual manera se puede mejorar el diseño de la estructura de soporte de tanque del robot.
3. Mejorar la parte mecánica del sistema de aspersión, aumentar la cantidad de aspersores para reducir el tiempo de fumigación.
4. Mejorar las boquillas de los aspersores adecuadas para la fumigación del cultivo de maíz, estas deben ser regulables.
5. En cuanto a la parte electrónica se debe desarrollar un sensor ideal para detección de plantas.
6. En cuanto a la estrategia de control se deben implementar nuevas tecnologías como visión artificial para el reconocimiento de plantas, en este caso plantaciones de maíz, para que de esta manera el robot tenga mayor autonomía.

BIBLIOGRAFÍA

1. **MUNDIAL, Banco.** *Agricultura y alimentos.* [En línea] Banco Mundial, 25 de setiembre de 2017. [Citado el: 5 de mayo de 2018.] Disponible en: <http://www.bancomundial.org/es/topic/agriculture/overview..>
2. **INEI.** PBI de los departamentos, segun actividades economicas. *Instituto Nacional de Estadística e Informática* . [En línea] junio de 2017. [Citado el: 5 de mayo de 2018.] Disponible en: <https://www.inei.gov.pe/estadisticas/indice-tematico/pbi-de-los-departamentos-segun-actividades-economicas-9110/>.
3. **VIVANCO, Thalía.** *Se incrementa la producción de maiz en Junin a 20 mil toneladas.* [En línea], 10 de agosto de 2015. [Citado el: 5 de mayo de 2018.] Disponible en: <https://diariocorreo.pe/peru/se-incrementa-la-produccion-de-maiz-a-20-mil-609016/>.
4. **GONZALES, Richard, SANCHEZ HERMOSILLA, Julian, RODRIGUEZ, Francisco, GARCIA DONAIRE, Julian.** Experiencias en sistemas de navegación de robots móviles para tareas en invernadero. [En línea] 12 de noviembre de 2014. [Citado el: 6 de mayo de 2018.] Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/266877203_Experiencias_en_sistemas_de_navegacion_de_robots_moviles_para_tareas_en_invernadero..
5. **GERARDO MASIA, Trakur.** Plataforma autoguiada para aplicaciones . [En línea] 30 de octubre de 2013. [Citado el: 5 de mayo de 2018.] Disponible en: https://inta.gov.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_-_trakr_plataforma_autoguiada__hase_2013_gerardo.pdf.
6. **ROBÓTICA, Federación Internacional de.** El valor de las ventas globales aumento en un 39% . *Robots de servicio.* [En línea] 18 de octubre de 2018. [Citado el: 2 de noviembre de 2018.] Disponible en: <https://ifr.org/ifr-press-releases/news/service-robots-global-sales-value-up-39-percent>.
7. **AGRICULTORES.** La próxima revolución agrícola en Estados Unidos. [En línea] Red de especilatas en agricultura, 15 de agosto de 2017. [Citado el: 3 de noviembre de 2018.] Diponible en: <http://agriculturers.com/la-proxima-revolucion-agricola-en-estados-unidos/>.
8. **AGRICOLA, ERP.** El software para la gestión integral en las empresas. [En línea] Agrícola, ERP. [Citado el: 2 de noviembre de 2018.] Disponible en: <http://sistemaagricola.com.mx/>.
9. **AGROPECUARIO, Instituto Nacional de Tecnología.** El automatismo y la robótica ejes de la agricultura del futuro. [En línea], 7 de octubre de 2015. [Citado el: 3 de noviembre de 2018.] Disponible en :<http://intainforma.inta.gov.ar/?p=29132>.

- 10. AGRICULTURA, Ministerio de Riego y.** *Costo de producción del maíz.* [En línea]. [Citado el: 3 de noviembre de 2018.] Disponible en: <http://www.minagri.gob.pe/portal/30-sector-agrario/maiz/253-costos-de-produccion?start=1>.
- 11. GIRALDES, Lucy, SILVA, Yamina y TRASMONTE, Grace.** Antecedentes generales del sector agrícola y los impactos de eventos meteorológicos externos. [En línea] 29 de noviembre de 2013. [Citado el: 2 de noviembre de 2018.] Disponible en: <http://www.met.igp.gob.pe/publicaciones/2012/articulos/Sector%20Agricultura.pdf>.
- 12. AGUEDA SIHUAS, Orellano Julio, ROJAS Juan.** Boletín estadístico de medios de producción agropecuarios. [En línea] diciembre de 2017. [Citado el: 5 de Noviembre de 2018.] Disponible en: http://siea.minag.gob.pe/siea/sites/default/files/medios-produccion-agropecuario-ivtrimestre2017_070318.pdf.
- 13. MONTOR, Ymelda, MORENO Rocio, REYES Maria.** Características de uso de plaguicidas químicos y riesgos para la salud en agricultores de la sierra central del Perú. [En línea] 2009. [Citado el: 4 de noviembre de 2018.] Disponible en: <http://www.scielo.org.pe/pdf/rins/v26n4/a09v26n4.pdf>.
- 14. DEERE, John.** Aspersora autopropulsada 4630. [En línea] [Citado el: 3 de noviembre de 2018.] Disponible en: <https://www.deere.com.mx/es/aspersoras-autopropulsadas/4630/>.
- 15. AUTOMATIÓN, Harvest.** Robots móviles para actividad industrial. [En línea], 2016. [Citado el: 5 de junio de 2018.] Disponible en: <https://www.public.harvestai.com/>.
- 16. UDERWOOD, James.** Ladybird [En línea] Robohub, 21 de mayo de 2016. [Citado el: 12 de junio de 2018.] Disponible en: <https://robohub.org/robots-ladybird/>.
- 17. NAVIDAD, Jose Caleb de la Vara.** Robot fumigador FAM. [En línea] Instituto Tecnológico de Culiacán, 2015. [Citado el: 10 de junio de 2018.] Disponible en: <https://mx.socialab.com/challenges/idi2017idea/idea/47299>.
- 18. ECOROBOTIX.** *Agriexpo el salon de la agricultura.* [En línea], agosto de 2018. [Citado el: 8 de noviembre de 2018.] Disponible en: <https://www.ecorobotix.com/en/autonomous-robot-weeder/>.
- 19. BORJA PADILLA, Jose Luis, CORNEJO OROSCO, Renato.** *Robot móvil terrestre para aplicación de agroquímicos en invernaderos controlados.* [En línea] [Citado el: 5 de mayo de 2018.] Disponible en: <http://v-beta.urp.edu.pe/pdf/id/5803/n/robot-movil-te>.
- 20. GRIMSTAD, Lars, PAL Johan.** *Thorvald II robot agrícola modular y configurable.* [En línea] 30 de setiembre de 2017. [Citado el: 6 de mayo de 2018.] Lars Grimstad, Pal Johan From. Thorvald II robot agrícola modular y configurable. [En línea] ScienceDirect,

30 de setiembre de 2017. [Citado el: 6 de mayo de 2018.] Disponible en: <https://www.mdpi.com/2218-6581/6/4/24>.

21. ADAMIDES G., KATSANOS C., PARMET Y., CHRISTOU G., XENOS M., HADZILACOS T., EDAN Y. Evaluación de usabilidad HRI de los modos de interacción para un rociador robótico agrícola teleoperado. [En línea] marzo de 2017. [Citado el: 1 de mayo de 2018.] Disponible en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0003687017300674>.

22. GODOY, Eduardo, RUBENS Andre, ROBSON PEREIRA, Giovana. Tangerino. *Diseño e implementación de un robot agrícola móvil para aplicaciones de teledetección*. [En línea] mayo de 2014. [Citado el: 3 de abril de 2018.] Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/228631565_Design_and_implementation_of_a_mobile_agricultural_robot_for_remote_sensing_applications.

23. LEON VASQUEZ, Ivan Andres, VASQUEZ TAPIA, Adrian Jonatan. Diseño e implementación de un robot móvil autónomo teleoperado para labores agrícolas. Fase1 Fumigacion para plantaciones de rosas. [En línea] junio de 2013. [Citado el: 13 de junio de 2018.] Disponible en: <https://docplayer.es/16517758-Diseno-e-implementacion-de-un-robot-movil-autonomo-y-teleoperado-para-labores-agricolas-fase-1-fumigacion-para-plantaciones-de-rosas.html>.

24. CERDA JÁCOME, Diana Itzel, ESTRADA CORTES, Ivan, SÁNCHEZ VALENTÍN, David, SANDOVAL GUTIÉRREZ, Jorge Alonso. Robot móvil para la fumigación en invernaderos. [En línea] 27 de junio de 2008. [Citado el: 11 de mayo de 2018.] Disponible en: <https://tesis.ipn.mx/handle/123456789/191>.

25. GIOVANI, Fabricio. *El maiz y sus productos derivados* . [En línea] 2011 de setiembre de 2011. [Citado el: 6 de abril de 2018.] Disponible en: <https://es.scribd.com/doc/66709362/El-Maiz-y-Sus-Productos-Derivados>.

26. PANDO, Gilberto, GARCIA, Arquimidez. Fertilización en el cultivo de maiz amilaceo blanco . [En línea] 2013. [Citado el: abril de 2 de 2018.] Disponible en: <https://www.agrobanco.com.pe/data/uploads/ctecnica/022-d-mab.pdf>.

27. PERULACTEA. *Maiz amarillo duro: Híbrido triple INIA 609 naylamp*. [En línea] 2013. [Citado el: 2 de abril de 2018.] Disponible en: <http://www.perulactea.com/2014/09/12/maiz-amarillo-duro-hibrido-triple-inia-609-naylamp/>.

28. TREBEJO VARILLAS, Irene, ALARCÓN VELAZCO, Constantino, CRUZADO CUZQUE, Luis, QUEVEDO CARIÑA, Karim. Caracterización y aptitud agroclimática de los cultivos de papa y maíz amilaceo en la subcuenca del río Shullca, Junín. [En línea] 2013. [Citado el: 15 de mayo de 2018.] Disponible en: https://issuu.com/praa/docs/senamhi_cap_agro_shullcas.

- 29. GAMARA SANCHEZ, Gilberto.** *Entrevista sobre el cultivo de maíz.* Video grabación, Huancayo, 15 de junio de 2018.
- 30. INGA, Isabel.** Clínica de plantas- Una necesidad agrícola que busca reducir las plagas y enfermedades . [En línea] Diario correo , 2 de enero de 2016. [Citado el: 16 de mayo de 2018.] Disponible en:<https://diariocorreo.pe/peru/clinica-de-plantas-una-necesidad-agricola-que-busca-reducir-plagas-y-enfermedades-643766/>.
- 31. MINSA, Mida, Meduca, Jilca.** *Guía del manejo de plagas.* [En línea] Minsa-Mida, Meduca-Jica, 2010 de febrero. [Citado el: 16 de mayo de 2018]. Disponible en :https://www.jica.go.jp/project/panama/0603268/materials/pdf/04_manual/manual_04.pdf.
- 32. GUANAJATO, Comité estatal de.** *Manual de plagas y enfermedades en maíz.* [En línea] gobierno del estado de Guanajato . [Citado el: 21 de abril de 2018.] Disponible en:http://www.cesaveg.org.mx/html/folleto/folleto_11/folleto_maiz_11.pdf.
- 33. PLAGAS, Guía de manejo integrado de.** Guía de manejo integrado de plagas (MIP) para técnicos y productores. [En línea] [Citado el: 29 de mayo de 2018.] Disponible en :https://www.jica.go.jp/project/panama/0603268/materials/pdf/04_manual/manual_04.pdf .
- 34. VALENCIA, Universidad de.** *Los agroquímicos más utilizados.* [En línea] Universidad de Valencia, 10 de diciembre de 2015. [Citado el: 12 de junio de 2018.] Disponible en: <https://www.uv.es/uvweb/master-quimica/es/blog/agroquimicos-mas-utilizados-1285949128883/GasetaRecerca.html?id=1285953068917>.
- 35. SAHA, Subir Kumar.** *Introducción a la robótica.* México D.F. : Mc Graw Hill, 2010., 2010.
- 36. CORTES, Fernando.** *Control de robots manipuladores.* México : Alfaomega, 2011.
- 37. CHAVEZ MONTES, Paul Jeampier, CABRERA DONAYRE, Rony Martin.** Diseño e implementación de un robot humanoide asistencial controlado por computadora para aplicaciones en pacientes parapléjicos. [En línea] 2013. [Citado el: 15 de julio de 2018.] Disponible en: <http://cybertesis.urp.edu.pe/handle/urp/403>..
- 38. BONILLA GONZALES, Kelli, MESA BORRERO, Leydi Ximena, MATIZ, Luis Carlos, CALDERON, Alezandra, MOTTA, Leonardo, PARRA, Diego Fernando.** *Motorreductores.* [En línea] 22 de mayo de 2015. [Citado el: 2018 de junio de 23.] Disponible en:<https://prezi.com/zlba2hdi1jqg/motorreductores/>.
- 39. AUTOSOLAR.** ¿Qué es el litio? ¿Qué es una batería de litio? [En línea] 18 de octubre de 2017. [Citado el: 21 de mayo de 2018.] Disponible en: <https://autosolar.es/blog/aspectos-tecnicos/que-es-el-litio-que-es-una-bateria-de-litio>.
- 40. SORIANO, Alexander, GARCÍA ALVAREZ, Moises, GARCIA MATAS, Lucia, SATANOVSKI LEBEDEV, Obiol Edouard.** Batería de plomo ácido. [En línea] 11 de

diciembre de 2011. [Citado el: 16 de mayo de 2018.] Disponible en : <https://es.slideshare.net/OscarOliverObiol/batera-de-plomo-cido>.

41. ORTEGA, Enmanuel y BASAÑEZ, Luis. Teleoperación de robots: Técnicas aplicaciones, entorno sensorial y teleoperación inteligente. [En línea] abril de 2004. [Citado el: 1 de junio de 2018.] Disponible en:

https://www.researchgate.net/publication/33421071_Teleoperacion_de_robots_tecnicas_aplicaciones_entorno_sensorial_y_teleoperacion_inteligente.

42. TELEOPERACIÓN . [En línea] 5 de junio de 2018. [Citado el: 5 de junio de 2018.] Disponible en:

http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lmt/padilla_m_o/capitulo2.pdf.

43. GAMARRA, Benjamin. Métodos para el diseño en ingeniería mecánica. [En línea] Agosto de 2016. [Citado el: junio de 6 de 2019.]

file:///C:/Users/Asus/Downloads/359452509-Metodos-de-Diseno-en-Ing-Mecanica-Introduccion-Benjamin-Barriga-PUCP.pdf.

44. STEEL, Carbone. *Ficha técnica del acero inoxidable.* [En línea] [Citado el: 30 de enero de 2020.] <https://www.empresascarbhone.com/pdf/ficha-tecnica-del-acero-inoxidable.pdf>.

45. LAVIADA, Ana. Estudio y diseño de los rompeolas para el depósito del monoplaza UPM13C. [En línea] febrero de 2017. [Citado el: 15 de junio de 2018.] Disponible en : http://oa.upm.es/46334/1/TFG_ANA_PELAEZ_DIAZ_LAVIADA.pdf.

46. ATENCIÓN, Electroodos - Economía - Calidad y. ECA E 7018 - ECA ELECTRODOS. *ECA E 7018 - ECA ELECTRODOS.* [En línea] [Citado el: 30 de enero de 2020.] <http://www.ecaelectroodos.com/wp-content/uploads/2015/06/Hoja-T%C3%A9cnica-7018.pdf>.

47. GUACHON, Vicente. *Diseño de conexiones soldadas.* [En línea] marzo de 2009. [Citado el: 5 de enero de 2020.]










<https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/8497/3/CD-2066.pdf>.

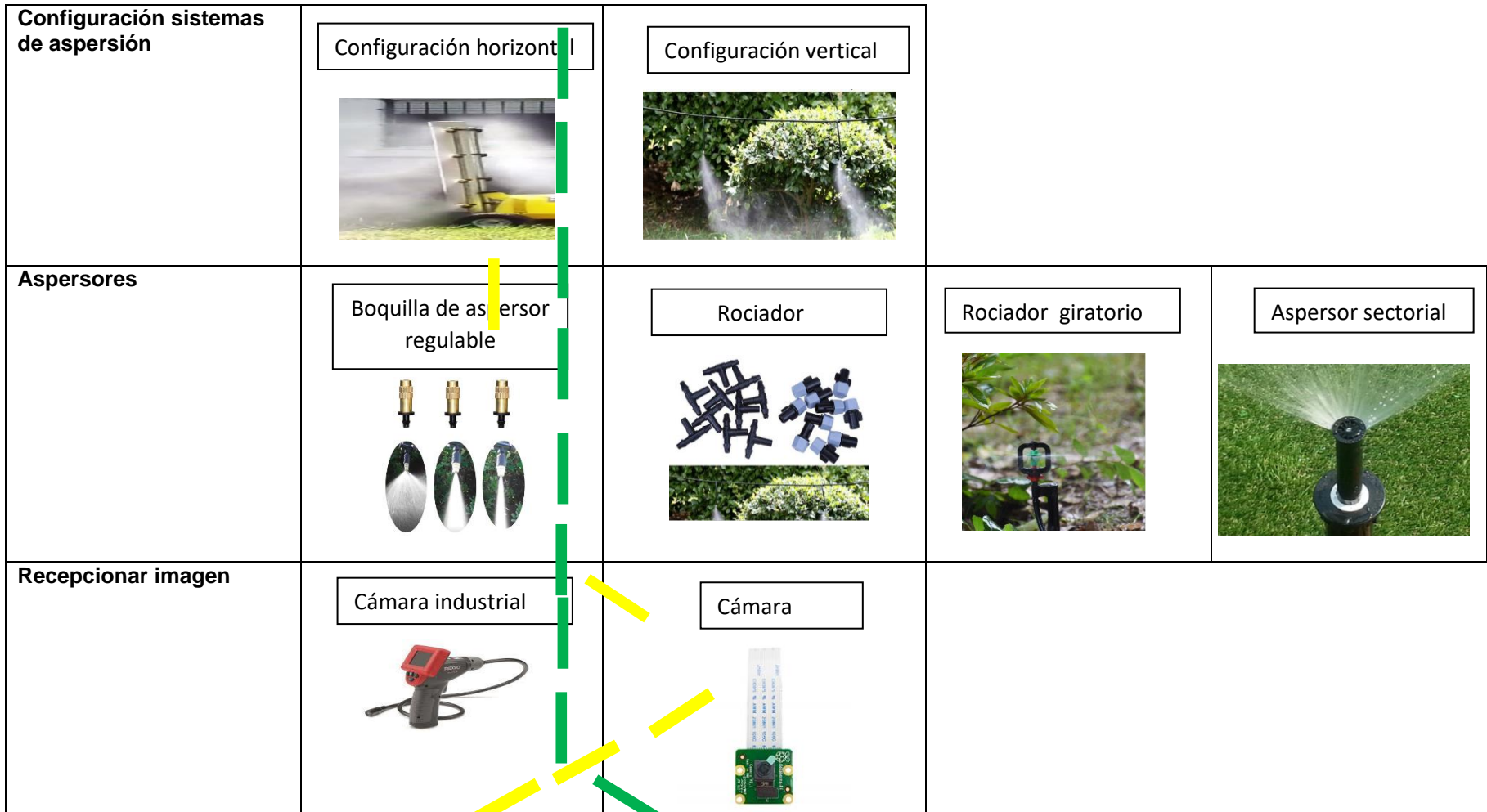
48. PINTO, Crus. Sujetadores de rosca. [En línea] Slide Player, 2014. [Citado el: 26 de junio de 2018.] Disponible en: <https://slideplayer.es/slide/1865248/>.

ANEXOS

Matriz morfológica

En la siguiente tabla se muestra el esquema para definir la solución óptima

Funciones parciales principales	Portadores de funciones		
Movilizar el equipo	<div data-bbox="705 395 810 451" style="border: 1px solid black; padding: 2px; text-align: center;">Patas</div> 	<div data-bbox="1070 395 1205 451" style="border: 1px solid black; padding: 2px; text-align: center;">Orugas</div> 	<div data-bbox="1574 395 1702 451" style="border: 1px solid black; padding: 2px; text-align: center;">Ruedas</div> 
Estructura mecánica	<div data-bbox="600 651 902 691" style="border: 1px solid black; padding: 2px; text-align: center;">Estructura de aluminio</div> 	<div data-bbox="981 651 1261 691" style="border: 1px solid black; padding: 2px; text-align: center;">Estructura de acero</div> 	<div data-bbox="1473 651 1753 691" style="border: 1px solid black; padding: 2px; text-align: center;">Estructura de titanio</div> 
Contenedor del agroquímico	<div data-bbox="600 914 880 954" style="border: 1px solid black; padding: 2px; text-align: center;">Tanque cuadrado</div> 	<div data-bbox="981 914 1305 954" style="border: 1px solid black; padding: 2px; text-align: center;">Tanque con caras planas</div> 	<div data-bbox="1462 914 1832 970" style="border: 1px solid black; padding: 2px; text-align: center;">Tanque con caras circulares</div> 










Comunicación inalámbrica	<div data-bbox="600 209 882 268" data-label="Text">Módulo transceptor</div> 	<div data-bbox="969 209 1274 268" data-label="Text">Módulo ETH-iBUS</div> 	<div data-bbox="1384 209 1576 268" data-label="Text">Wifi</div> 	<div data-bbox="1711 209 1989 268" data-label="Text">Módulo Bluetooth</div> 
Control del proceso	<div data-bbox="600 592 882 651" data-label="Text">Micro-controlador</div> 	<div data-bbox="994 592 1276 651" data-label="Text">PLC</div> 	<div data-bbox="1352 592 1621 651" data-label="Text">DSP</div> 	

Figura A1. Matriz morfológica
Fuente: elaboración propia

Solución 3

Anexo B Cálculos

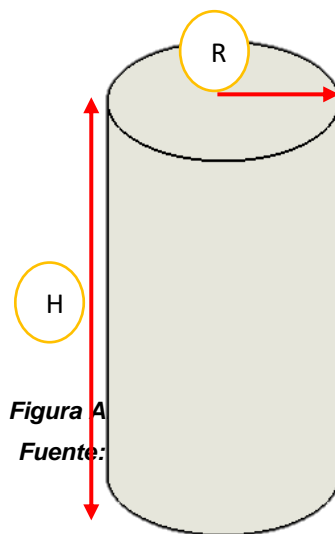
CÁLCULOS PARA EL DISEÑO DEL ROBOT

TANQUE CONTENDOR DEL ROBOT

CÁLCULOS DE OPTIMIZACIÓN TANQUE N.º 1

Donde

- ✓ R= Radio del cilindro
- ✓ H= Altura del cilindro
- ✓ V= Volumen de capacidad del cilindro que este caso será de 50L (0.05m³)



Para realizar el cálculo de optimización haremos uso de las ecuaciones que componen el cilindro.

Ecuación del área de la base:

$$\text{Área de la base} = Ab = \pi r^2 \quad (47)$$

Ecuación de área lateral del cilindro:

$$\text{Área lateral del cilindro} = 2\pi r h^2 \quad (48)$$

El área total del cilindro está dada por la siguiente formula:

$$\text{Área total} = 2Ab + Al \quad (49)$$

$$\text{Área total} = 2\pi r^2 + 2\pi r h^2 \quad (50)$$

La ecuación del volumen del cilindro:

$$\text{Volumen del cilindro} = \pi r^2 h \quad (51)$$

Reemplazando datos y despejando la altura la ecuación quedaría de la siguiente forma:

$$0.05 \text{ m}^3 = \pi * r^2 * h \quad (52)$$

$$\frac{0.03 \text{ m}^3}{\pi * r^2} = h$$

Una vez despejada la altura, se va a reemplazar en la ecuación del área total.

$$AT = 2 \pi r^2 + 2 \pi r h = 2 \pi r^2 + 2 \pi r x \frac{0.1 \text{ m}^3}{\pi r^2} \quad (53)$$

$$AT = 2 \pi r^2 + 2 x \frac{0.1 \text{ m}^3}{r}$$

$$AT = 2 \pi r^2 + \frac{0.2 \text{ m}^3}{r}$$

$$\frac{dAT}{dr} = 4 \pi r - \frac{0.2 \text{ m}^3}{r^2}$$

$$4 \pi r - \frac{0.2 \text{ m}^3}{r^2} = 0$$

$$4 \pi r = \frac{0.2 \text{ m}^3}{r^2}$$

$$4 \pi r^3 = 0.2 \text{ m}^3$$

$$r^3 = \frac{0.2 \text{ m}^3}{4 \pi}$$

$$r = \sqrt[3]{\frac{0.2 \text{ m}^3}{4 \pi}}$$

$$r = \frac{\sqrt[3]{0.2} x \sqrt[3]{\text{m}^3}}{\sqrt[3]{4 \pi}}$$

$$r = \frac{\sqrt[3]{0.2}}{\sqrt[3]{4 \pi}}$$

$$r = 0.25 \text{ m.}$$

De lo calculado se determina que el radio del cilindro es de 0.25m el cual será analizado para saber si es un punto máximo o mínimo.

Para ello se tomará dos valores el cual serán los siguientes:

Tabla A. 1. Evaluación de máximos y mínimos

Valor menor al calculado	Valor calculado	Valor mayor al calculado
R= 0.20	R=0.25	R=0.30
P=-0.824	P=Tiende a ser 0	P=0.0133

Fuente: Elaboración propia

Estos valores de R asignados en la tabla serán reemplazados en la primera derivada de la ecuación del área total.

PARA:

$$R= 0.20 \text{ m.}$$

$$P = 4 \times \pi \times r - \frac{0.2 \text{ m}^3}{r^2} \tag{54}$$

$$P = 4 * \pi * 0.20 - \frac{0.2 \text{ m}^3}{0.20^2}$$

$$P = -2.49$$

PARA:

$$R= 0.30 \text{ m}$$

$$P = 4 \times \pi \times r - \frac{0.2 \text{ m}^3}{r^2} \tag{55}$$

$$P = 4 * \pi * 0.30 - \frac{0.2 \text{ m}^3}{0.30^2}$$

$$P = 1.54$$

Ubicamos los calores de P en una recta.

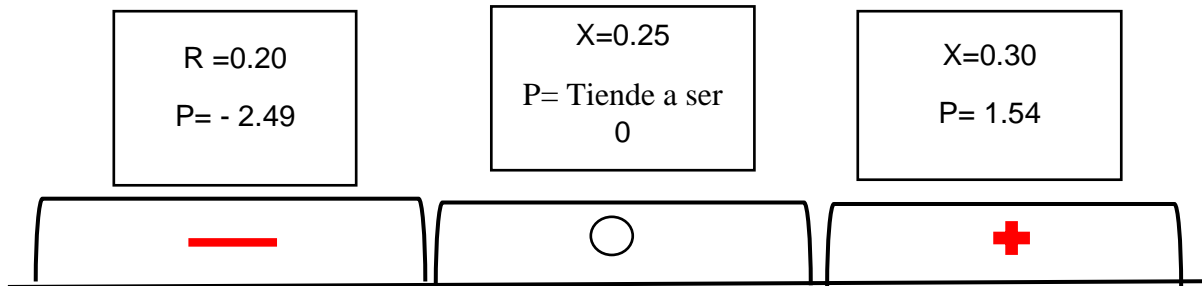


Figura A3. Ubicación de máximos y mínimos solución
 Fuente: elaboración propia

De lo calculado se concluye que el valor de $R = 0.25$ y este es un valor mínimo. Por lo tanto, con este dato se va a calcular la altura del cilindro a diseñar.

Para ello se va a reemplazar este dato en la fórmula del volumen de un cilindro.

Donde:

R = Radio 25 cm

V = Volumen a almacenar de 50 000ml.

Remplazando y despejando en la fórmula:

$$V = \pi * r^2 * h \tag{56}$$

$$V = \pi * 25^2 * h$$

$$\frac{50000}{25^2 * \pi} = h$$

$$25.5cm = h$$

En resumen, las dimensiones más apropiadas que debe tener el tanque son las siguientes:

$R = 25cm$

$H = 25.5cm$

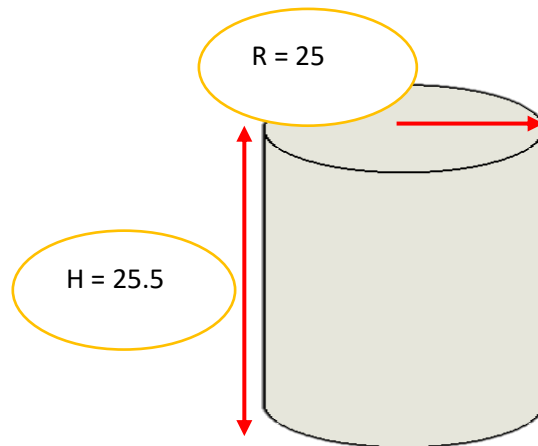


Figura A4. Tanque cilíndrico dimensionado
Fuente: elaboración propia

CÁLCULOS DE OPTIMIZACIÓN TANQUE N.º 2

Para ello se le asignará lo siguiente:

H = altura del tanque (parte rectangular)

R = Radio de la parte semiesférica

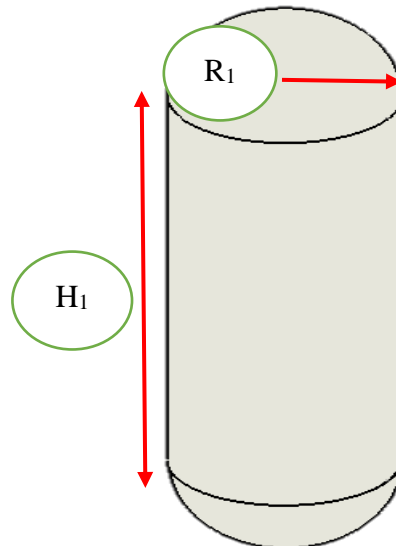


Figura A5. Tanque con superficies semicirculares
Fuente: elaboración propia

Para el análisis en este caso se hará uso de fórmulas de área y volumen de una esfera y un cilindro sin tapa.

Fórmulas de áreas:

El área de una esfera está dada por:

$$\text{Area de una esfera} = 4\pi r^2 \quad (57)$$

El área de un cilindro sin tapa está dada por:

$$\text{Area de un cilindro} = 2\pi r h \quad (58)$$

El área total en este caso será la suma de estas dos áreas

$$AT = 4\pi r^2 + 2\pi r h \quad (59)$$

Fórmulas de volúmenes:

El volumen de una esfera está dado por:

$$V = \pi * r^2 * h \quad (60)$$

Lo primero que se va a realizar es sumar las ecuaciones de los volúmenes para en ella poder despejar la altura las sumas de estas dos ecuaciones estarán igualadas a los 50L recordando que se trabajaran en m³ que son 0.005m³.

$$\frac{4}{3} \pi r^3 + \pi r^2 h = 0.005 \text{ m}^3 \quad (61)$$

$$h = \frac{0.005 - \frac{4}{3} \pi r^3}{\pi r^2}$$

Una vez despejada la ecuación en función a la altura esta será reemplazada en la ecuación del área total y quedará de la siguiente manera.

$$AT = 4 * \pi * r^2 + 2 * \pi * r * h \quad (62)$$

$$AT = 4 * \pi * r^2 + 2 * \pi * r * \frac{0.005 - \frac{4}{3} \pi r^3}{\pi r^2} \quad (63)$$

$$AT = 4 * \pi * r^2 + \frac{2}{r} * (0.005 - \frac{4}{3} \pi * r^3)$$

$$AT = 4 * \pi * r^2 + \frac{0.1}{r} - \frac{8}{3} \pi * r^2$$

$$AT = \left(4 * \pi - \frac{8}{3} \pi\right) r^2 + \frac{0.1}{r}$$

$$AT = \frac{4\pi}{3} * r^2 + 0.1 * r^{-1}$$

$$\frac{dAT}{dr} = \frac{8\pi}{3} * r - 0.1 * r^{-2}$$

$$S = \frac{8\pi}{3} * r - 0.1 * r^{-2} = 0$$

$$\frac{8\pi}{3} * r = \frac{1}{10 * r^2}$$

$$r^3 = \frac{3}{80 * \pi}$$

$$r = \sqrt[3]{\frac{3}{80 * \pi}}$$

$$r = 0.23$$

De lo calculado se determina que el radio del cilindro es de 0.23 m el cual será analizado para saber si es un punto máximo o mínimo. Para ello se tomará dos valores el cual serán los siguientes:

Tabla. A2. Evaluación de máximos y mínimos

Valor menor al calculado	Valor calculado	Valor mayor al calculado
R= 0.210	R=0.23	R=0.235
P= -0.508	P=Tiende a ser 0	P= 0.158

Fuente: elaboración propia

Estos valores serán reemplazados en la primera derivada de la ecuación del área total.

PARA:

R= 0.210

$$P = \frac{8\pi}{3} * -0.1 * r^{-2} \quad (64)$$

$$P = \frac{8\pi}{3} * 0.210 - 0.1 * 0.210^{-2}$$

$$P = -0.508$$

PARA:

R=0.235

$$P = \frac{8\pi}{3} * -0.1 * r^{-2} \tag{65}$$

$$= \frac{8\pi}{3} * 0.235 - 0.1 * 0.235^{-2}$$

$$P = 0.158$$

Ubicamos los valores de P en una recta.

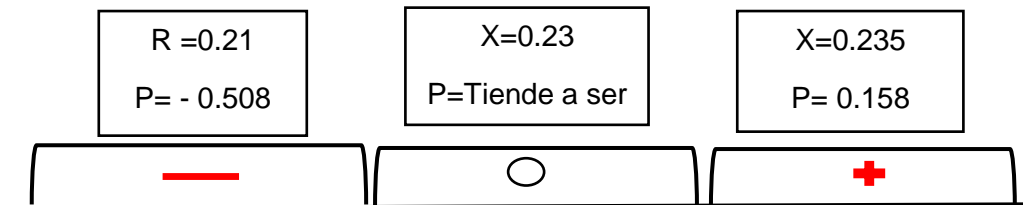


Figura A6. Ubicación de máximos y mínimos solución 1
Fuente: elaboración propia

De lo calculado se concluye que el valor de R = 0.23 y este es un valor mínimo. Por lo tanto, con este dato se va a calcular la altura del cilindro a diseñar.

Seguidamente se va a remplazar este dato en la ecuación, para poder determinar la altura de este tipo de tanque.

$$h = \frac{0.005 - \frac{4}{3} \pi * r^3}{\pi * r^2} \tag{66}$$

$$h = \frac{0.005 - \frac{4}{3} \pi * 0.229^3}{\pi * 0.229^2}$$

$$h = -0.275 \text{ m.}$$

El resultado es una altura negativa, lo que significa que si se quiere optimizar material en este tanque no debe haber una altura, es decir el tanque sería

una esfera, cabe recalcar que cuantas más curvaturas tenga un tanque se optimizarían más material y se reduciría costos.

Para poder comprobar ello se va a reemplazar este dato en la ecuación y así determinar la capacidad de volumen de la esfera.

$$V = \frac{4}{3} * \pi * r^3 \quad (67)$$

$$V = \frac{4}{3} * \pi * 23^3$$

$$V = 50303.13$$

Este dato indica que con un radio de 23 cm los 50L. De agroquímico alcanzarían sin problema y prácticamente el cilindro intermedio que estaría entre las partes semiesféricas ya no sería necesario si se desea optimizar material. De otro lado si se desea obtener el diseño mostrado en un principio necesariamente se le tiene que asignar una altura fija.

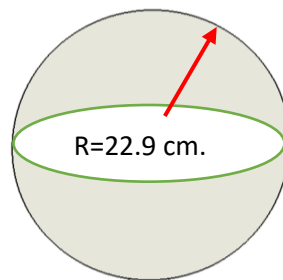



Figura A7. Tanque esférico dimensionado
Fuente: elaboración propia

Después de haber analizado estos dos tipos de tanque a continuación se va determinar el tipo de material con el que se desea construir además de poder determinar costo de inversión por tanque.

Análisis para la determinación del tanque con parámetros de acuerdo al análisis de optimización

ANÁLISIS N.º 1


Tabla. A3. Análisis de primera opción de tanque.

Diseño Cilíndrico (opción 1)	CÁLCULOS	VIABILIDAD DE FABRICACIÓN
<p>Radio= 25.00cm Altura= 25.5cm Diámetro= 50 cm</p> 	<p>ÁREA DEL CILINDRO</p> $AT = 2 * \pi * r * h + 2 * \pi * r^2$ $AT = 2 * \pi * 25 * 25.5 + 2 * \pi * 25^2$ $AT = 4005.53 + 3926.99$ $AT = 7932.52 \text{ cm}$ <p>VOLUMEN DE MATERIAL A UTILIZAR Para este cálculo se va a utilizar acero liso de 2 mm de espesor</p> <p>Primero se va a calcular el volumen exterior.</p> $V = \pi * r^2 * h$ $V = \pi * (0.25)^2 * 0.255$ $V = 0.0501$ <p>Ahora se hará el cálculo del volumen reduciéndola en un milímetro los lados que compongan el cilindro.</p> $V = \pi * r^2 * h$ $V = \pi * (0.248)^2 * 0.251$ $V = 0.0485$ <p>Ahora se va a restar los volúmenes hallados entre el volumen externo y volumen interno.</p> $V = 0.0500 - 0.0476$ $v = 1.5 \times 10^{-3}$ <p>CÁLCULO DE MASA</p> $M = \rho * V$ $M = 11775 * 1.5 \times 10^{-3}$ $M = 11.85 \text{ Kg}$ <p>CÁLCULO DE PESO</p> $P = M * g$ $P = 11.85 * 9.81$ $P = 115.51 \text{ N}$	<p>Para este caso la cantidad total de acero que se va a necesita será de 7932.52 cm.</p> <p>La viabilidad de construcción de este tanque es más factible ya que mediante el corte de planchas y la unión de estas por soldadura hará que su implementación sea posible.</p> <p>Por otro lado, el diseño de este tanque ergonómicamente es más apropiado puesto que el robot a diseñar se va a desplazar por una superficie estrellada y el movimiento del fluido que se origina con el movimiento del robot no implicará considerablemente a comparación del diseño del tanque esférico.</p>

Fuente: *Elaboración propia*

ANÁLISIS N.º 2

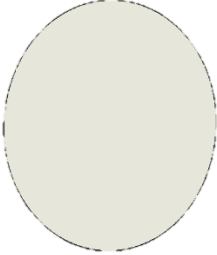
Tabla. A4. Análisis de segunda opción de tanque

DISEÑO CILÍNDRICO (opción 2)	CÁLCULOS	VIABILIDAD DE FABRICACIÓN
<p>Radio= 20.00cm Altura= 39.80cm Diámetro= 50 cm</p> 	<p>ÁREA DEL CILINDRO</p> $AT = 2 * \pi * r * h + 2 * \pi * r^2$ $AT = 2 * \pi * 20 * 39.8 + 2 * \pi * 20^2$ $AT = 5001.4 + 2503.27$ $AT = 7504.7\text{cm}$ <p>VOLUMEN DE MATERIAL A UTILIZAR Para este cálculo se va a utilizar acero liso de 2 mm de espesor. Primero se va a calcular el volumen exterior.</p> $V = \pi * r^2 * h$ $V = \pi * (0.20)^2 * 0.398$ $V = 0.0500$ <p>Ahora se hará el cálculo del volumen reduciéndola en un milímetro los lados que compongan el cilindro</p> $V = \pi * r^2 * h$ $V = \pi * (0.198)^2 * 0.394$ $V = 0.0490$ <p>Ahora se va a restar los volúmenes hallados entre el volumen externo y volumen interno.</p> $V = 0.0500 - 0.0476$ $v = 1 \times 10^{-3}$ <p>CÁLCULO DE MASA</p> $M = \rho * V$ $M = 7850 * 1 \times 10^{-3}$ $M = 7.85 \text{ Kg}$ <p>CÁLCULO DE PESO</p> $P = M * g$ $P = 7.85 * 9.81$ $P = 77.00 \text{ N}$	<p>Para este caso la cantidad total de acero que se va a necesita será de 7 504.7 cm.</p> <p>La viabilidad en esta opción es igual a la primera opción.</p>

Fuente: Elaboración propia

ANÁLISIS N.º 3

Tabla. A5. Análisis de tercera propuesta de solución

DISEÑO CILÍNDRICO (opción 2)	CÁLCULOS	VIABILIDAD DE FABRICACIÓN
<p>Radio= 22.9 cm</p> 	<p>ÁREA DE LA ESFERA</p> $V = 4 * \pi * r^2$ $V = 4 * \pi * 22.9^2$ $V = 6589.93$ <p>CÁLCULO DE VOLUMEN</p> <p>Al igual que el caso anterior se va a calcular el volumen con radio mayor.</p> $V = \frac{4}{3} \pi * r^3$ $V = \frac{4}{3} \pi * 0.229^3$ $V = 0.0503$ <p>Calcular el volumen con un espesor de 2mm.</p> $V = \frac{4}{3} \pi * r^3$ $V = \frac{4}{3} \pi * 0.227^3$ $V = 0.0490$ <p>El volumen netamente del acero esta dado entre la diferencia de la superficie exterior ya superficie interior.</p> $V = 0.0503 - 0.0489$ $V = 1.3 \times 10^{-3} m^3$ <p>CÁLCULO DE LA MASA.</p> $M = \rho * V$ $M = 7850 * 1.3 \times 10^{-3}$ $M = 10.20 \text{ Kg}$ <p>CÁLCULO DE PESO</p> $P = M * g$ $P = 10.20 * 9.81$ $P = 100.1 \text{ N}$	<p>Si se desea obtener un tanque con las superficies esféricas como en un principio se dio a conocer se tiene asignar una altura para la parte cilíndrica.</p> <p>Si se desea implementar el tanque esférico ergonómicamente a comparación del tanque cilíndrico no ayudar puesto que el robot estará en movimiento por superficies estrelladas y el movimiento del fluido ocasionado por el desplazamiento del robot implicará en mayor magnitud comparación del tanque cilíndrico haciendo de que el robot sea más inestable.</p>

Fuente: elaboración propia

DIMENSIONES MECÁNICAS QUE COMPONE EL ROBOT

Dimensiones de platinas y tubos cuadrados del robot.

Cálculo de longitud de arco de platinas para el soporte del tanque.

$$L = 2 * \pi * r * \left(\frac{x}{360}\right) \quad (68)$$

$$L = 2 * \pi * r * \left(\frac{180}{360}\right) \quad (69)$$

$$L = 62,72 \text{ cm}$$

Cada platina en forma de arco tiene 62.72 cm le longitud.

ANÁLISIS DE ESFUERZOS ESTRUCTURA DEL ROBOT

Para el análisis se va a considerar las cargas que soportara esta parte del robot, las cuales son:

- 4 baterías con un peso total de 156 Kg
- El peso del agroquímico asumiendo que esté lleno con un peso de 50 Kg
- El peso del soporte del tanque de 39.133 Kg
- Peso del motor de 15 Kg
- El peso del cilindro de 17 Kg
- El peso del espárrago 4.574 kg
- El peso de las platinas de soporte 1.512 Kg

CARGA TOTAL

La carga total será la suma de todo lo mencionado, donde P1 será el peso total.

$$P1 = 156 \text{ Kg} + 50\text{kg} + 39.133\text{kg} + 15\text{kg} + 17\text{kg} + 4.574\text{kg} + 1.512\text{kg} \quad (70)$$

$$P1 = 299.614 \text{ kg}$$

$$P1 = 2939.21 \text{ N}$$

Con el peso definido, se hará el análisis de esfuerzo en un punto, con un factor de seguridad de 1.5 se divide entre 4 la fuerza debido a las 4 ruedas de apoyo del robot. →

Se calcula la fuerza F1

$$F1 = \frac{P1 \times F.S}{4} \quad (71)$$

$$P1 = \frac{2939.21 \text{ N} \times 1.5}{4}$$

$$F1 = 1103 \text{ N}$$

$$\vec{F1} = 1103j$$

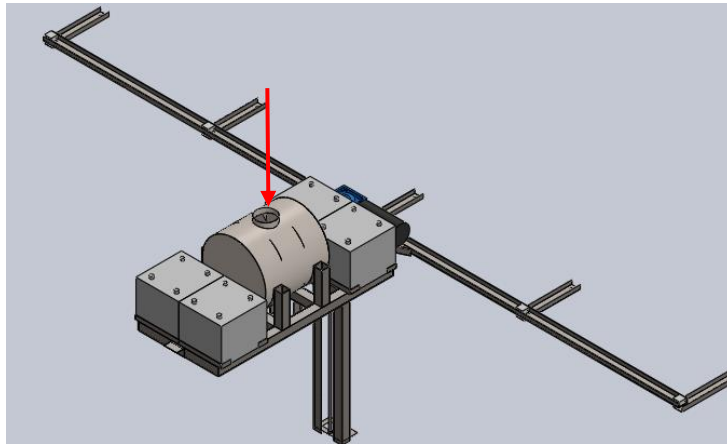


Figura B1. Soporte con baterías tanque y sistema de aspersión
Fuente: elaboración propia

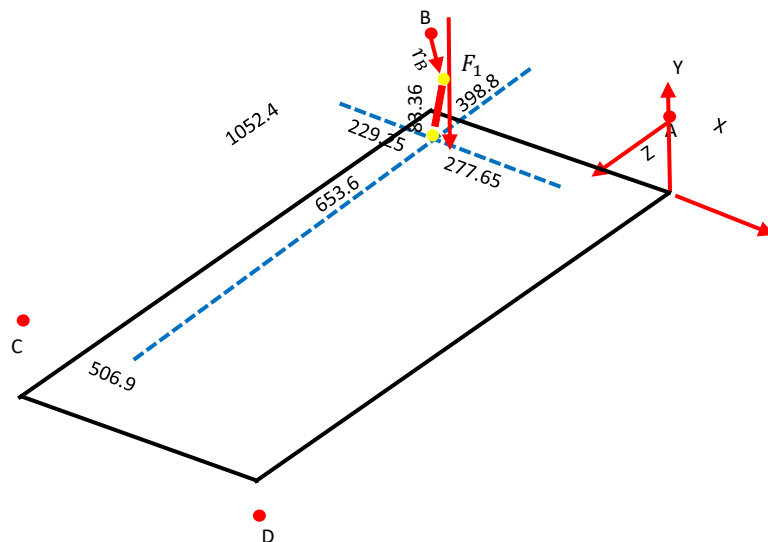


Figura B2. D.C.L. de soporte de baterías, tanque y sistema de aspersión
Fuente: elaboración propia

Descomponemos las fuerzas que actúan en la coordenada r_B

$$\vec{r}_B = 0.229i + 0.083j + 0.398k \quad (72)$$

Realizamos cálculo de momentos en el punto B

$$\vec{M}_B = \vec{r}_B \times \vec{F}_B \quad (73)$$

$$\vec{M}_B = (0.229i + 0.083j + 0.398k) \times -1103j \quad (74)$$

$$M_B = -252.587k + 438.994i$$

$$M_B = 506.43 \text{ Nm}$$

El momento en el punto B es de 506.43 Nm

Seguidamente se va a calcular las reacciones en los puntos de apoyo de los ejes inclinados las inclinaciones de este eje será de 45 grados.

Las reacciones de estos puntos serán representadas a continuación por medio de un diagrama de cuerpo libre.

En la figura se muestra el diagrama de cuerpo libre de soporte.

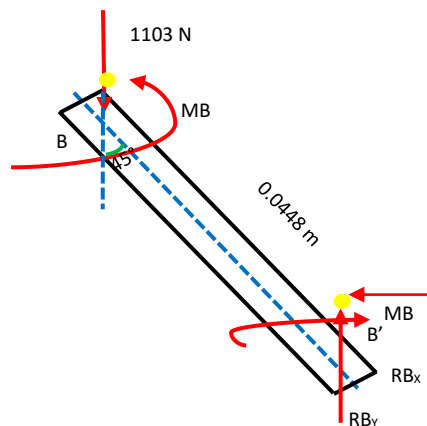


Figura B3.D.C.L. de apoyo de eje inclinado.

Fuente: elaboración propia

Para el análisis correspondiente, este soporte inclinado será colocado de manera horizontal para el ella poder analizar los esfuerzos correspondientes

Primero se calcula la reacción en el punto B.

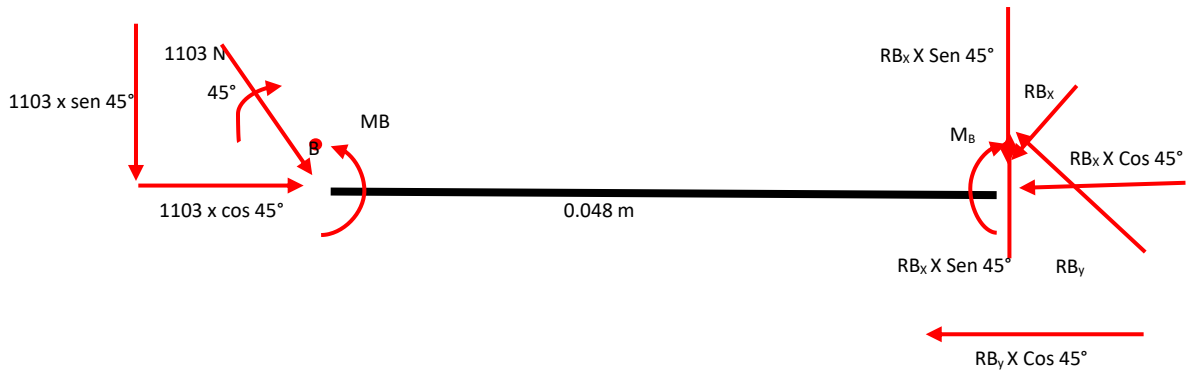


Figura B4. D.C.L. de eje horizontal de soporte de baterías, tanque y sistema de aspersion
Fuente: elaboración propia

Sumatoria de fuerzas en x

$$\sum F_x = 0 \quad (75)$$

$$RB_x \times \cos 45^\circ + RB_y \times \cos 45^\circ = 1103 \times \cos 45^\circ \quad (76)$$

$$RB_x + RB_y = 1103 \quad \text{Ecuación 1} \quad (77)$$

Sumatoria de fuerzas en y

$$\sum F_y = 0 \quad (78)$$

$$1103 \times \sin 45^\circ + RB_x \times \sin 45^\circ = RB_y \times \sin 45^\circ \quad (79)$$

$$1103 = RBy - RBx \text{ Ecuación 2} \quad (80)$$

Sumando las ecuaciones

$$\frac{RBy + RBx - 1103}{RBy - RBx - 1103}$$
$$RBy = 1103 \text{ N} \quad (81)$$

$$RBx = 0$$

Seguidamente se realizará los cálculos de momentos en B

$$\sum M_B = 0 \quad (82)$$

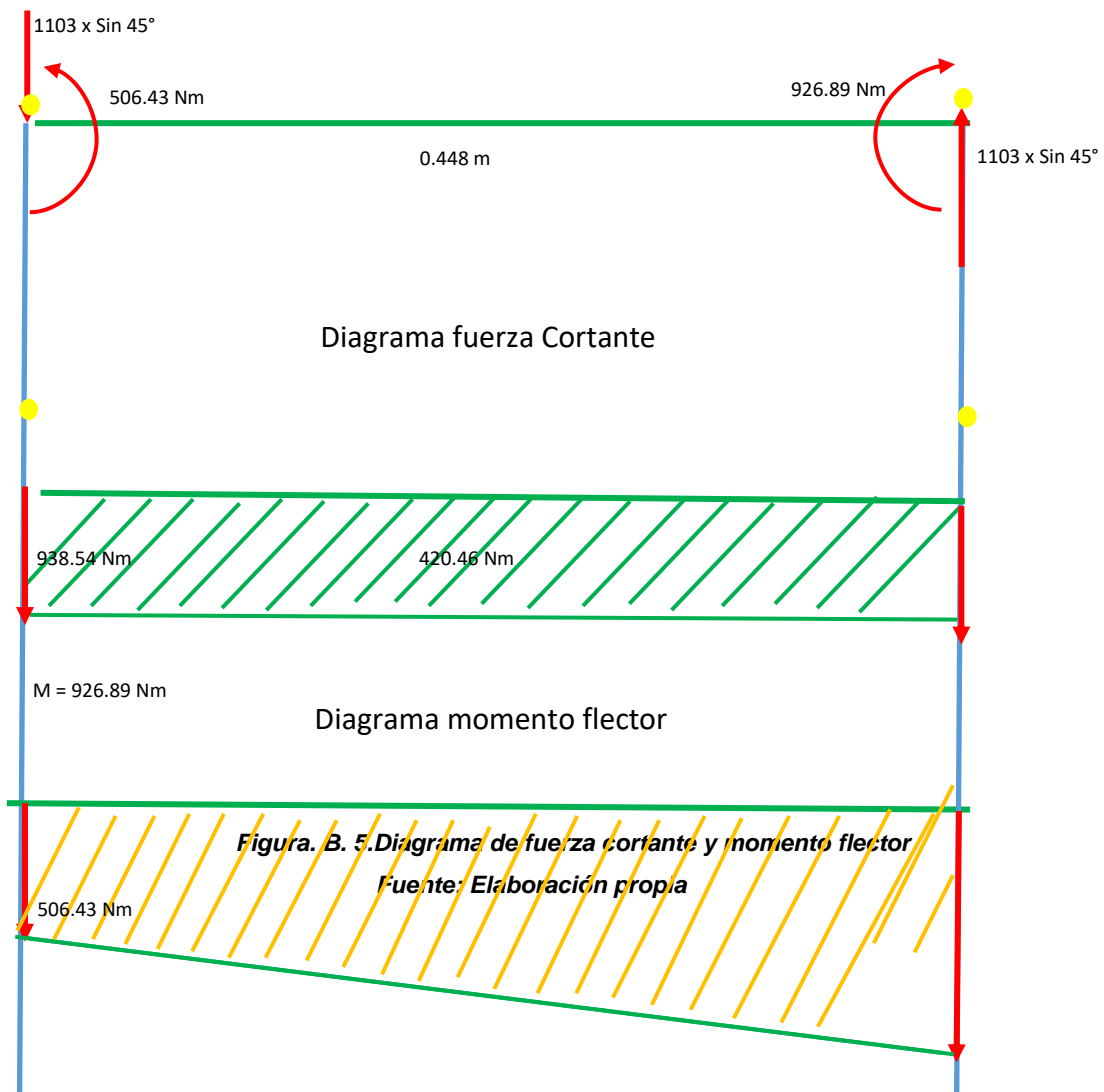
$$M_B + 1103 \times \text{Sen } 45^\circ + 0.488 = M_B \quad (83)$$

$$M_B = 506.43 + 420.46$$

$$M_B = 926.89 \text{ Nm}$$

El momento en el punto M_B es de 926.89 Nm.

DIAGRAMA DE ESFUERZOS



ESFUERZO NORMAL

$$\sigma_n = \frac{V}{A}$$

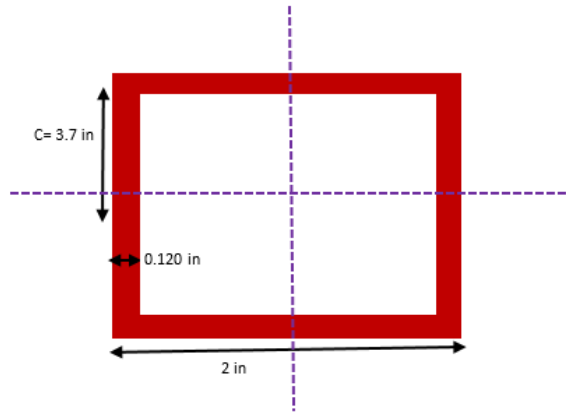


Figura B6. Perfil de acero para análisis
Fuente: elaboración propia

Cálculo del área:

$$A = 2^2 - (2 - 0.240)^2 \quad (84)$$

$$A = 4 - 3.0976 \quad (85)$$

$$A = 0.9024 \text{ in}^2 \times \left(\frac{25.4}{1 \text{ in}}\right)^2 \quad (86)$$

$$A = 582.19 \text{ mm}^2 \times \left(\frac{1 \text{ m}}{1000 \text{ mm}}\right)^2 \quad (87)$$

$$A = 0.000582 \text{ m}^2$$

Se calcula que el esfuerzo normal será de:

$$\sigma_n = \frac{938.54 \text{ Nm}}{0.000582 \text{ mm}^2} = 1.0612 \text{ MpA (Compresión)}$$

ESFUERZO CORTANTE

$$T = \frac{V}{A} \quad (88)$$

$$T = \frac{938.54}{0.000582} \quad (89)$$

$$T = 1.612 \text{ Mpa} \quad (90)$$

ESFUERZO DE FLEXIÓN

$$\Sigma f = \frac{M \times C}{I_x} \quad (91)$$

Cálculo de momento de inercia

$$x = \frac{(0.0508)^2}{12} - \frac{(0.044704)^2}{12} \quad (92)$$

$$I_x = 2.21 \times 10^{-7} \text{ m}^4 \quad (93)$$

$$\sigma F = \frac{926,89 \times 0.0254}{2.21 \times 10} \quad (94)$$

$$\sigma F = 106,52 \text{ Mpa}$$

Según Von Misés

$$T \leq 250 \text{ Mpa} \quad (95)$$

$$T = \sqrt{(\sigma F + T)^2 + 3 \times t^2} \quad (96)$$

$$T = \sqrt{(\sigma F + T)^2 + 3 \times t^2} \quad (97)$$

$$T = \sqrt{(106.52 - 1,612)^2 + 3 \times (1,612)^2} \quad (98)$$

$$T = 104,94 \text{ Mpa}$$

$$T = 104,94 \leq 250 \text{ MPa} \quad (99)$$

CÁLCULO DE DEFORMACIÓN

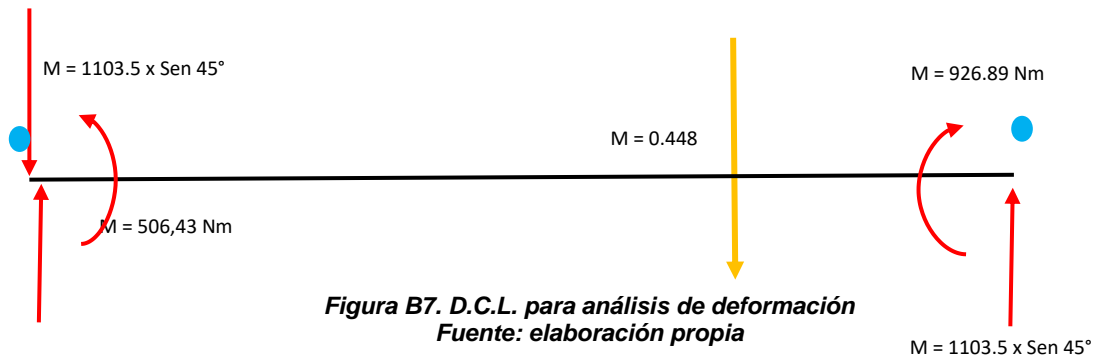


Figura B7. D.C.L. para análisis de deformación
Fuente: elaboración propia

$$y = \frac{M_B \times L^2}{2 \times E \times I} \quad (100)$$

$$y = \frac{506,43 \times 0,448^2}{2 \times 200 \times 10^9 \times 2,21 \times 10^{-7}} \quad (101)$$

$$Y = 0.00114 \text{ m}$$

$$Y = 1,14 \text{ mm}$$

ANÁLISIS DE ESFUERZOS EN LOS PUNTOS DE APOYO DE LA ESTRUCTURA

A continuación, se va a realizar un análisis de esfuerzos en los puntos de apoyo que están indicadas por las flechas como se muestra en la figura B 8.

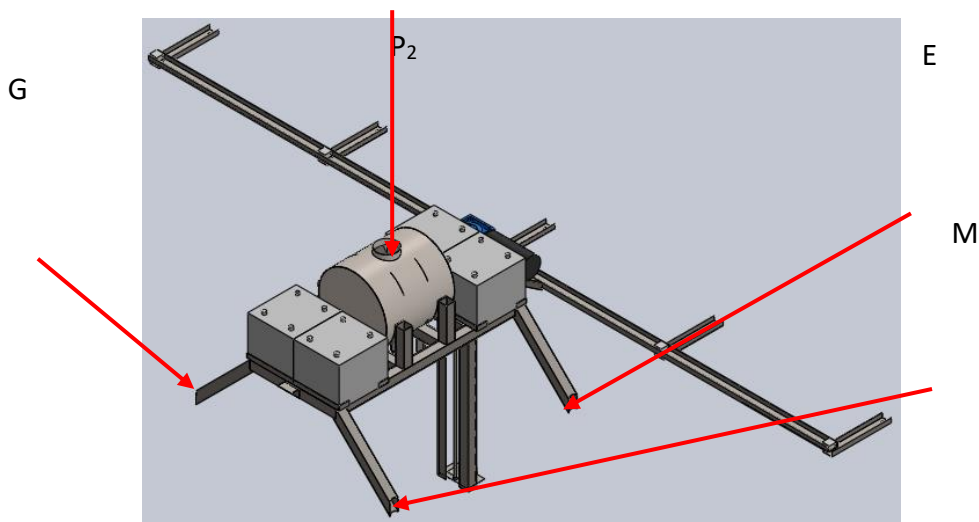


Figura B8. Ubicación de puntos de apoyo de la estructura de soporte del tanque, baterías y sistema de aspiración
Fuente: elaboración propia

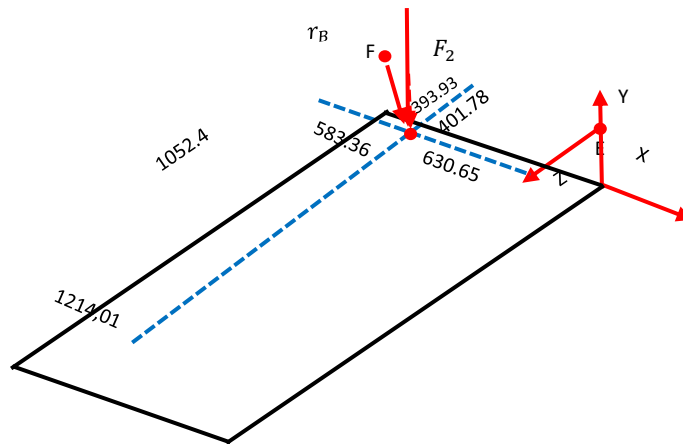


Figura B9. D.C.L. de apoyo de ejes inclinados
Fuente: elaboración propia

Primero se define el peso

Donde:

$$P_2 = P_1 + \text{Peso de los tubos rectangulares} \quad (102)$$

$$P_2 = 299.614 \text{ kg} + 4 \times 1,46 \text{ kg} \quad (103)$$

$$P_2 = 305.454 \text{ Kg}$$

$$P_2 = 305.454 \text{ N}$$

El peso a considerar en este análisis será de:

$$P_2 = 2997 \text{ N}$$

Con el peso definido, se calcula la fuerza que actúa sobre el soporte.

$$F_2 = \frac{P_2 \times FS}{4} \quad (104)$$

$$F_2 = \frac{2997 \times 1.5}{4} \quad (105)$$

$$F_2 = 1123.835$$

Representando la fuerza en forma vectorial queda de la siguiente manera.

$$\mathbf{F_2} = -1124 \text{ N } \mathbf{j}$$

Descomponiendo las fuerzas que actúan en el punto RF:

$$\vec{R}F = 0.583i + 0.393j + 0.401k \quad (106)$$

Descomponiendo las fuerzas que actúan en el punto MF:

$$\vec{M}F = (0.583i + 0.393j + 0.401k) x - 1124j \quad (107)$$

$$\vec{M}F = -655,292k + 450,724i \quad (108)$$

$$MF = 795,33 Nm$$

→

El torque del motor a considerar en este caso es de $T = 40 Nm$

CÁLCULO DE DIÁMETRO DE EJE DEL SOPORTE VERTICAL

El cálculo del diámetro del eje está dado por la siguiente formula:

$$\frac{J}{C} = \frac{\sqrt{T^2 + MF^2}}{T \text{ pura}} = \frac{\pi}{2} \times \frac{C^4}{C} = \frac{\sqrt{40^2 + 795,33^2}}{250 \times 10^6 N/m^2} \quad (109)$$

$$\sqrt[3]{C^3} = \sqrt[3]{\frac{2 \times 796,33}{\pi \times 250 \times 10^6}} \quad (110)$$

$$C = 0.01265 m$$

$$C = 12.65 mm$$

El diámetro del eje está dado por la siguiente formula:

$$2C = d \quad (111)$$

$$C = 12.65 \times 2$$

$$C = 25.3$$

CÁLCULO DE ESFUERZO CORTANTE MÁXIMO, TORQUE Y MOMENTO

Cálculo de T max:

Primero se calcula los valores de las variables que componen la formula principal

Cálculo del valor de C:

$$T_{\max} = \frac{(\sqrt{T^2 - T^2}) \times C}{J} \quad (112)$$

$$C = \frac{d}{2} \times \frac{30}{2} \times 15 \quad (113)$$

$$C = 0.015 \text{ m}$$

Cálculo del valor de J:

$$J = \frac{\pi}{2} (r^4) \quad (114)$$

$$J = \frac{\pi}{2} (0.015^4) \quad (115)$$

$$J = 795 \times 10^{-8} \text{ m}^4$$

Reemplazando los valores en la formula principal:

$$T_{\max} = \frac{(\sqrt{40^2 - 795,33^2}) \times 0,015}{7,95 \times 10^{-8}} \quad (116)$$

$$T_{\text{MAX}} = 150,25 \text{ Mpa} \leq 250 \text{ Mpa}$$

CÁLCULO DE DEFORMACIÓN

A continuación, se realizará en análisis de uno de los ejes verticales.

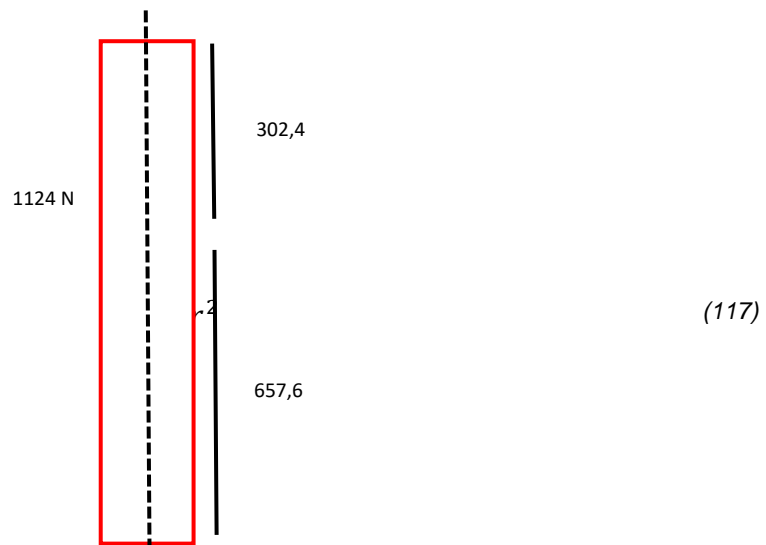


Figura B10. Eje con dimensiones para análisis de deformación
Fuente: elaboración propia

$$\delta = \frac{P \times L}{E \times A} \quad (118)$$

$$\delta = \frac{1124 \times 0,6576}{200 \times 10^9 \times \pi \times 0,015^2} \quad (119)$$

$$\delta = 5,22 \times 10^{-6} m$$

$$\delta = 0,00522 \text{ mm}$$

La deformación que este presentará será de 0.00522 mm.

ANÁLISIS DE ESFUERZOS EN LOS PUNTOS DE LOCOMOCIÓN

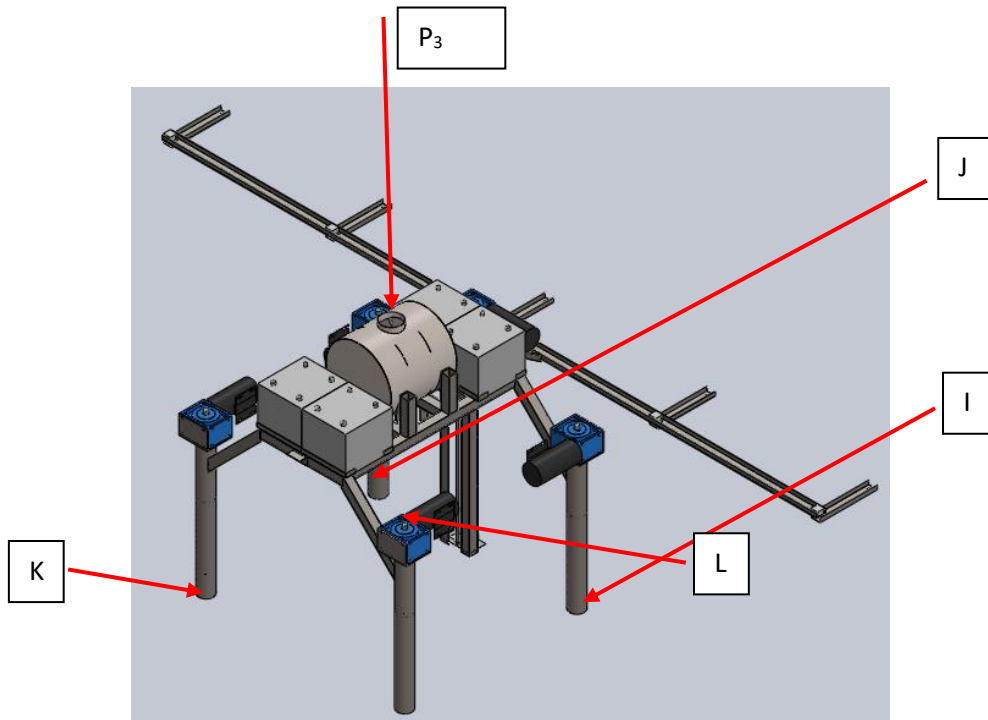


Figura B11. Identificación de puntos para análisis de esfuerzos en el sistema de locomoción en el robot
Fuente: elaboración propia

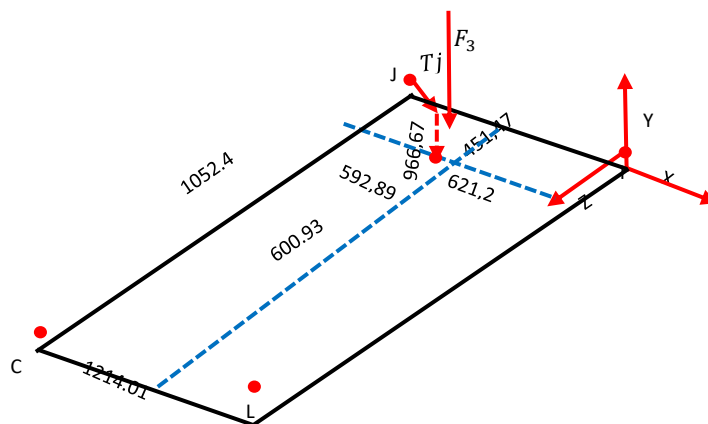


Figura B12. D.C.L. de los puntos para análisis de esfuerzos en el sistema de locomoción en el robot
Fuente: elaboración propia

Para este caso se va a considerar el peso de los siguientes partes que irán ubicados en el robot.

$P_3 = P_2 +$ peso de los motores + Peso del eje + Peso del tubo + Peso de soporte de reductores + peso de sujetador + Peso Bocinas + Peso de resortes.

$$P_3 = 305,454 + 4 \times 15 + 4 \times 3,755 + 4 \times 9,27 + 4 \times 2,144 + 4 \times 0,808 + 4 \times 10,735 + 4 \times 0,121 \quad (120)$$

$$P_3 = 472,786 \text{ kg}$$

$$P_3 = 472,786 \text{ N}$$

La fuerza 3 está dada por la siguiente fórmula:

$$F_3 = \frac{P_3 \times F \times S}{4} \quad (121)$$

$$F_3 = \frac{4638,03 \times 1,5}{4} \quad (122)$$

$$F_3 = 1740 \text{ kg}$$

$$F_3 = -1740 \text{ j}$$

Descomponiendo la fuerza Tj:

$$T_j = 0.592i + 966,67 j + 451,47 k \quad (123)$$

Cálculo de momento en el punto J

$$M_J = T_j \times F_3 \quad (124)$$

$$M_J = (0.592i + 966,67 j + 451,47 k) \times -1740j \quad (125)$$

$$M_J = -1030,08k + 784,74i \quad (126)$$

$$F_3 = 1294,94 \text{ Mn}$$

El momento en j es de 129,94 Nm.

CÁLCULO DE DIÁMETRO DE EJE

$$\frac{J}{C} = \frac{\sqrt{r^2 + MJ^2}}{T} = \frac{\pi}{2} \times \frac{C^4}{C} = \frac{\sqrt{40^2 + 1294,94^2}}{250 \times 10^6 \text{ N/m}^2} \quad (127)$$

$$C = \sqrt[3]{\frac{2 \times 129,55}{\pi \times 250 \times 10^6}} \quad (128)$$

$$C = 0.01489 \text{ m}$$

$$C = 14.89 \text{ mm}$$

El diámetro del eje está dado por la siguiente ecuación:

$$2C = d \quad (129)$$

$$2 \times 14.89 = d \quad (130)$$

$$29.78 = d$$

CÁLCULO DE ESFUERZO CORTANTE MÁXIMO DEBIDO AL TORQUE Y MOMENTO.

Cálculo de T max:

Primero se calcula los valores de las variables que componen la formula principal

Cálculo del valor de C:

$$T_{MAX} = \frac{\sqrt{T^2 + MF^2} \times C}{J} \quad (131)$$

$$\frac{\sqrt{40^2 + 294,94^2} \times 0.015}{7,95 \times 10^{-8}} \quad (132)$$

$$244,44 \text{ MPa} \leq 250 \text{ MPa}$$

Donde se calcula el valor de C:

$$C = \frac{d}{2} = \frac{30}{2} = 15mm = 0.015m \quad (133)$$

Y se calcula el valor de J:

$$J = \frac{\pi}{2}(r^4) = \frac{\pi}{2} = (0.015^4) = 7.95 \times 10^{-8} m^4 \quad (134)$$

Cálculo de transmisión de potencia del motor al eje.

$$P = T \times w \quad (135)$$

Catálogo de motor $W = 120 \text{ Rev / Min} = 12,56 \text{ Rad/ S}$

$$P = 40 \times 12.56 \quad (136)$$

$$P = 502.4 \text{ Nm/s}$$

CÁLCULO DE DEFORMACIÓN DEL EJE:

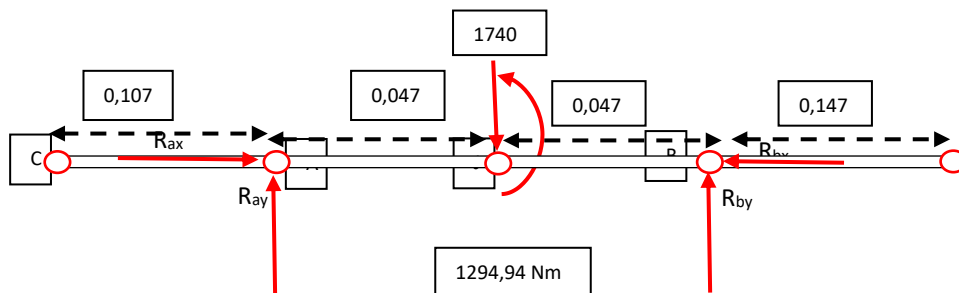


Figura B13. Diagrama de cuerpo libre de la estructura del robot
Fuente: elaboración propia

Sumatoria de fuerzas en Y:

$$\sum F_y = 0 \quad (137)$$

$$R_{AY} + R_{BY} = 1740 \text{ N} \quad (138)$$

Sumatoria de momentos en A:

$$\sum MA = 0 \quad (139)$$

$$1294,94 + R_{by} \times 0,094 = 1740 \times 0,047 \quad (140)$$

Despejando R_{by} se obtiene:

$$R_{by} = -12905,95 \text{ N ()} \quad (141)$$

Reemplazando en la ecuación de la sumatoria de fuerzas

$$R_{AY} + 12905,95 = 1740 \text{ N} \quad (142)$$

$$R_{AY} = 14645,95 \text{ N} \quad (143)$$

El tramo AC es fijo, y estará como apoyo la llanta

El tramo BD es fijo, estará fijo el motor.

ANÁLISIS EN EL TRAMO AB

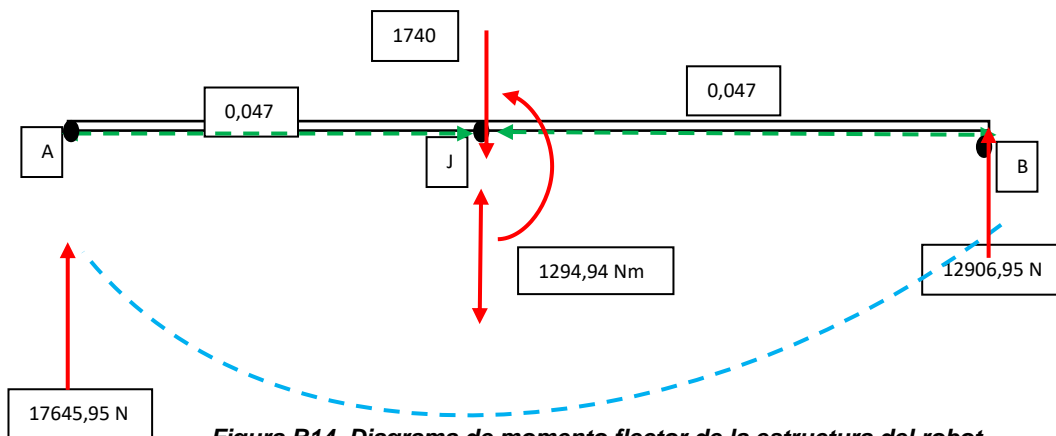


Figura B14. Diagrama de momento flector de la estructura del robot
Fuente: elaboración propia

Cálculo de momento de inercia:

$$I = \frac{1}{4} x \pi x r^4 \quad (144)$$

$$I = \frac{1}{4} x \pi x (0,015^4) \quad (145)$$

$$I = 3,976 \times 10^{-8} m^4$$

$$E = 200 \text{ GPa}$$

Análisis del tramo x

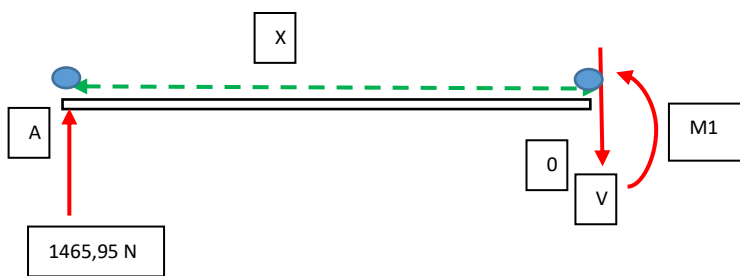


Figura. B. 15. Diagrama de cuerpo libre de la estructura del robot
 Fuente: elaboración propia

El momento M1 es:

$$\sum M_0 = 0 \quad (146)$$

$$M_1 = 14645,95 X$$

CÁLCULO DE DEFLEXIÓN MÁXIMA

$$E I \frac{d^2y}{dx^2} = 14645,95 x \quad (147)$$

$$E I \frac{dy}{dx} = 7322,975 x^2 + C_1 \dots \dots \dots 1 \quad (148)$$

$$I y = 2440,99x^3 + C_1 + C_2 \dots \dots \dots 2 \quad (149)$$

Por condiciones de frontera:

En "A" $X = 0$ $Y = 0$ En 1 $C_1 = 0$

En "B" $X = 0,094$ $Y = 0$ En 2 $0 = 2440,99 (0,094^3) + C_2$ $C_2 = - 2,027$

La deflexión máxima ocurre en el punto "J" cuando $x = 0.047$

$$E I y = 2440,99 (0,0177^3) - 2,027 \quad (150)$$

$$y = \frac{1,7735}{200 \times 10^9 \times 3,976 \times 10^{-8}} = 0.000223m = 0,223mm \quad (151)$$

ANÁLISIS DE ESFUERZOS EN LA PARTE DE SUJECIÓN DEL SISTEMA MECÁNICO DEL SISTEMA DE ASPERSIÓN

En este caso se va a realizar el análisis de esfuerzos en toda la parte de sujeción donde está ubicado el sistema mecánico del sistema de aspersión en la figura B 16.

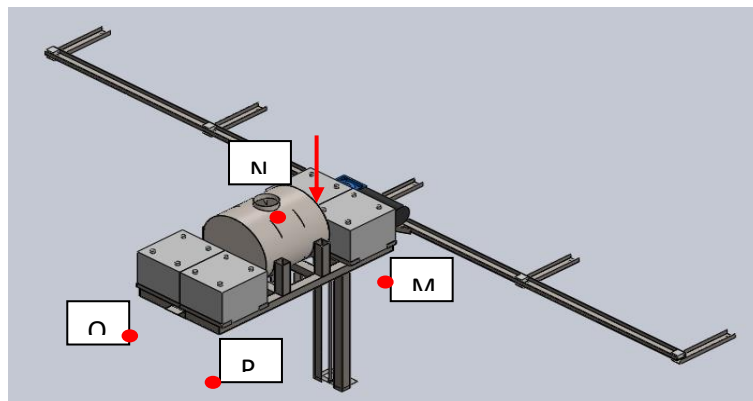


Figura. B. 16. Tanque, baterías, y sistema mecánico del sistema de aspersión

Fuente: elaboración propia

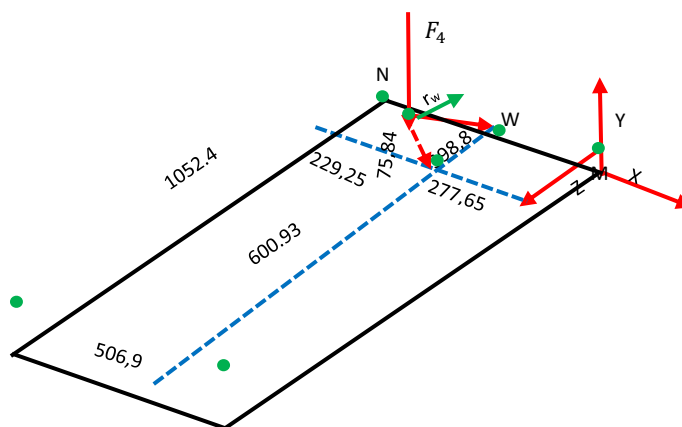


Figura. B. 17. Diagrama de cuerpo libre del robot considerando el Tanque, baterías, y sistema mecánico del sistema de aspersión.

Fuente: elaboración propia

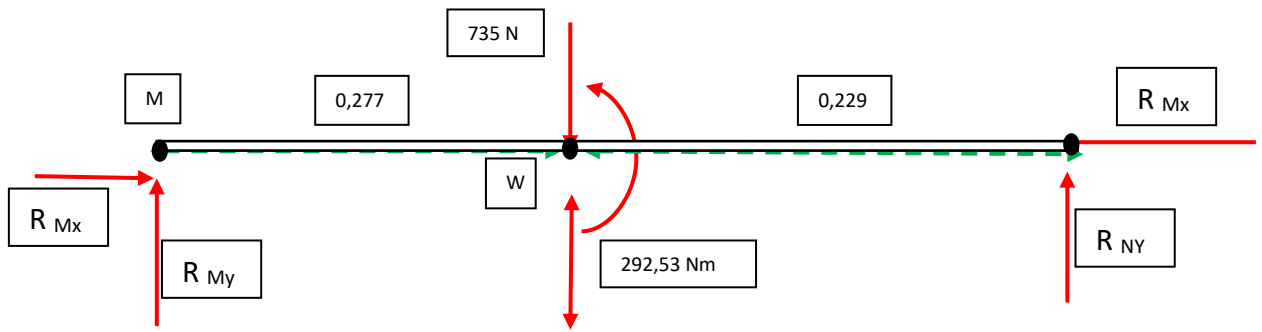


Figura. B. 18. Diagrama de cuerpo libre de la estructura del robot, considerando el mecanismo de sistema de aspersión del robot.

Fuente: elaboración propia

Se sabe que:

$$P_4 = P_1 = 299,614 \text{ N} = \text{N } 2939,21 \text{ N} \quad (152)$$

$$F_4 = \frac{F_4 \times F_{xS}}{6} = \frac{2939,21 \times 1,5}{6} = 734,8 \text{ N} \quad (153)$$

$$F_4 = 735 \text{ N}$$

Descomponiendo la fuerza:

$$\vec{F}_4 = -735\mathbf{j} \quad (154)$$

$$\vec{F}_W = 75,84\mathbf{j} + 398,8\mathbf{k} \text{ mm} \quad (155)$$

$$M_W = r_w \times F_4 \quad (156)$$

$$M_W = (0,075\mathbf{j} + 0,398\mathbf{k}) \times -735\mathbf{j} \quad (157)$$

$$\vec{M}_W = -292,53\mathbf{i}$$

$$M_w = 292,53 \text{ Nm}$$

Análisis de equilibrio

$$\sum F_x = 0 \qquad R_{MX} = R_{NX} \qquad (158)$$

$$\sum F_y = 0 \qquad R_{MY} + R_{NY} = 735 \qquad (159)$$

$$\sum F_M = 0 \qquad (160)$$

$$R_{NY} \times 0,506 + 292,53 = 735 \times 0,277 \dots\dots\dots 1 \qquad (161)$$

$$R_{NY} \times 0,506 = - 88,935 \qquad (162)$$

$$R_{NY} = \frac{-88,935}{0,506} \qquad (163)$$

$$R_{NY} = -175,76 \text{ N}$$

Remplazando en la ecuación 1



$$R_{NY} - 175,76 = 735 \qquad (164)$$

$$R_{NY} = 910,76 \text{ N}$$

(165)

DIAGRAMA DE ESFUERZOS

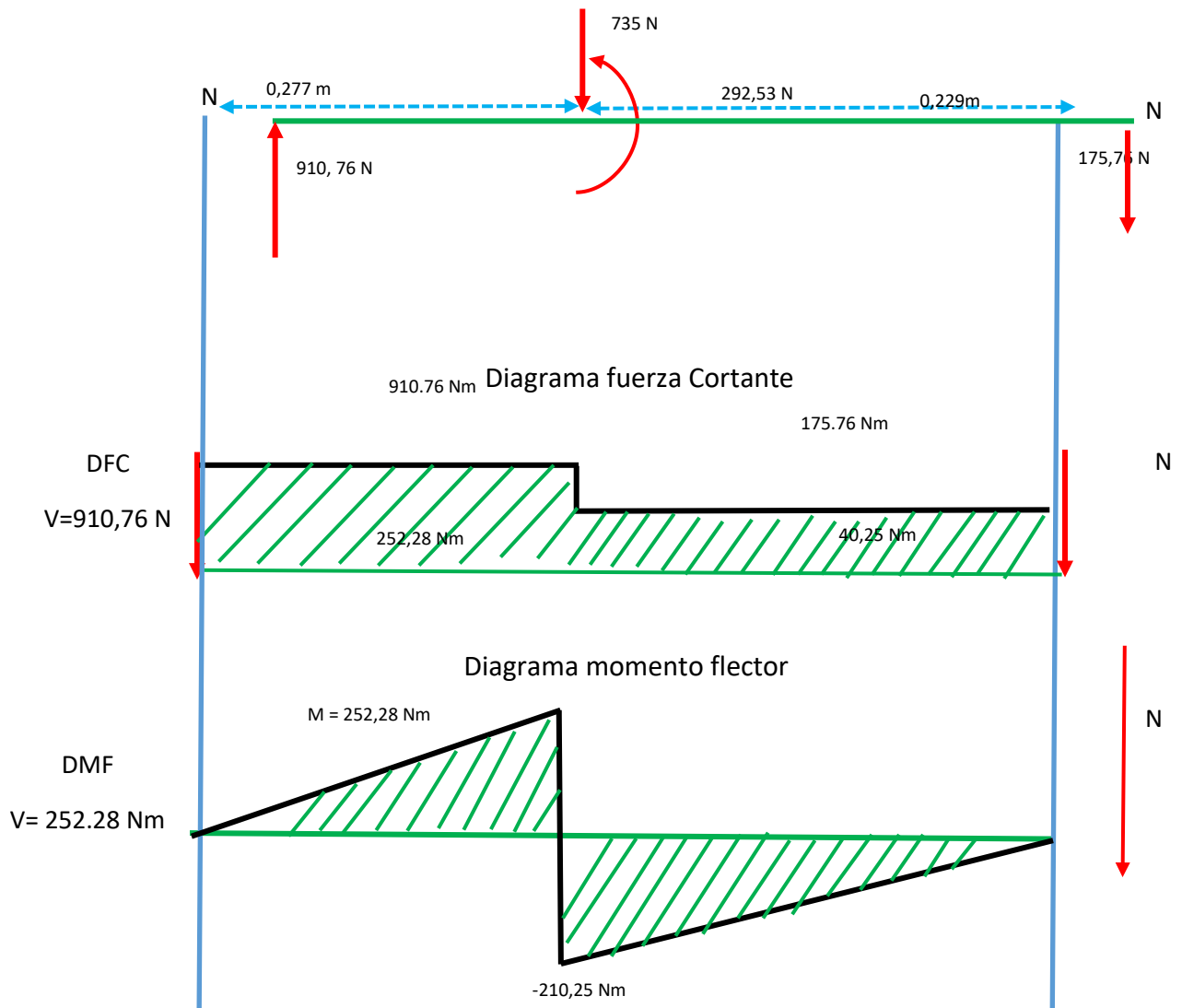


Figura. B. 19. Diagrama de fuerza cortante y momento flector
 Fuente: elaboración propia

CÁLCULO DEL ÁREA DE LOS TUBOS CUADRADOS DEL SOPORTE

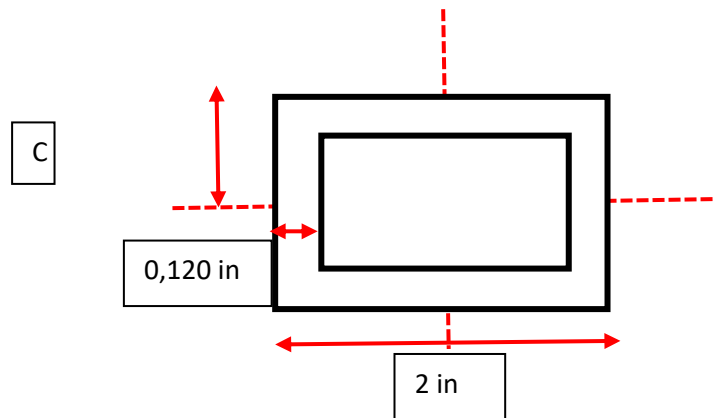


Figura. B. 20. Diagrama para cálculo de área
Fuente: elaboración propia

El cálculo del área se obtiene del siguiente modo:

$$e = 1 \text{ in} = 0,0254 \text{ m} \quad (166)$$

Se calcula el área del tubo cuadrado:

$$A = 2^2 - (2 - 0,240)^2 \quad (167)$$

$$A = 0,9024 \text{ in}^2 = 582,19 \text{ mm}^2 \quad (168)$$

$$A = 0,000582 \text{ m}^2$$

CÁLCULO DE MOMENTO DE INERCIA

$$I = \left(\frac{0,0508}{12}\right)^4 - \left(\frac{0,044704}{12}\right)^4 \quad (169)$$

$$I = 2,21 \times 10^{-7} \text{ mm}^4$$

ESFUERZO NORMAL

$$\sigma_n = \frac{V}{A} \quad (170)$$

$$\sigma_n = \frac{910,76}{0.000582} \quad (171)$$

$$\sigma_n = 1,564 \text{ MPa}$$

ESFUERZO CORTANTE

$$T = \frac{V}{A} \quad (172)$$

$$T = \frac{910,76}{0.000582} \quad (173)$$

$$T = 1,564 \text{ MPa}$$

ESFUERZO DE FLEXIÓN

$$T_F = \frac{IM \times C}{I} \quad (174)$$

$$T_F = \frac{252,28 \times 0,0254}{2,21 \times 10^{-7}} \quad (175)$$

$$28,99 \text{ MPa}$$

COMPROBANDO SEGÚN VON MISES

Según Von Mises

$$T \leq 250 \text{ Mpa} \quad (176)$$

$$\sqrt{(\sigma F + T)^2 + 3 x t^2} \leq 250 \text{ Mpa} \quad (177)$$

$$\sqrt{(28.99 - 1,564)^2 + 3 x (1,564^2)} \leq 250 \text{ Mpa} \quad (178)$$

$$T = 30,67 \text{ MPa} \leq 250 \text{ MPa}$$

Del cálculo obtenido se concluye que el espesor y las dimensiones del tubo cuadrado son las óptimas para la carga, puesto que la tensión es menor al límite máximo.

CÁLCULO DE DEFORMACIÓN

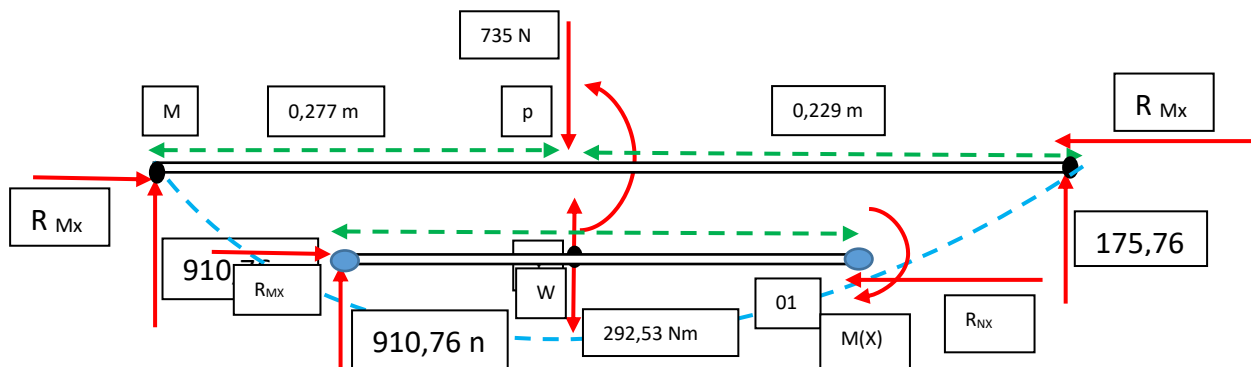


Figura. B. 21. Diagrama de cuerpo libre de la estructura del robot, considerando el mecanismo de sistema de aspersión del robot

Fuente: elaboración propia

Se tiene la expresión:

$$E I \frac{d^2 y}{d^2 x} = M_x \quad (179)$$

$$E = 200 \text{ GPa}$$

$$I = 2,21 \times 10^{-7} \text{ m}^4$$

Sumatoria de momentos en el punto O1

$$\sum R_{O1} = 0 \quad (180)$$

$$M_{(x)} + 910,76X = 0 \quad (181)$$

$$M_{(x)} = -910,76X \quad (182)$$

DIAGRAMA DE CUERPO LIBRE CONSIDERANDO EL MECANISMO DEL SISTEMA DE ASPERSIÓN

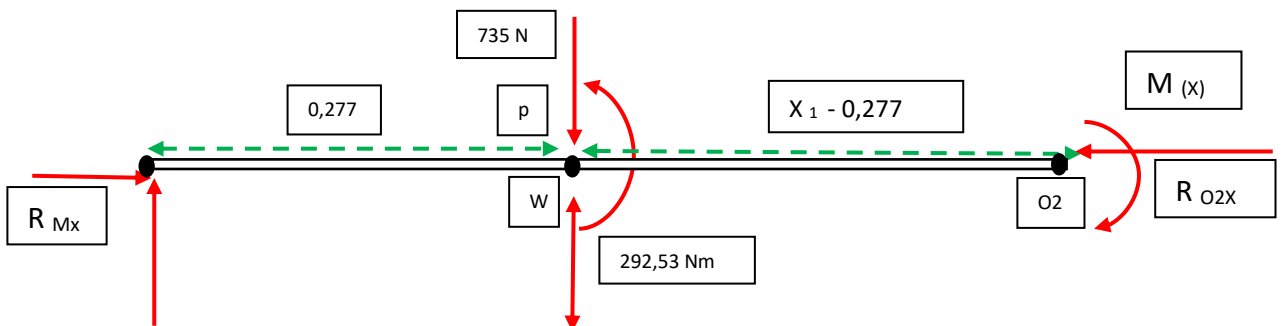


Figura. B. 22. Diagrama de cuerpo libre de la estructura del robot, considerando el mecanismo de sistema de aspersión del robot

Fuente: elaboración propia

Sumatoria de fuerzas en el punto O2

$$\sum M_{O2} = 0 \tag{183}$$

$$M_{(X_1)} + 910,76 X_1 = 735 \times (X_1 - 0,277) + 292,53 \tag{184}$$

$$M_{(X_1)} = 735 \times X_1 - 203,595 + 292,53 - 910,76 X_1 \tag{185}$$

$$M_{(X_1)} = -175,76 \times X_1 + 88,93 \tag{186}$$

La máxima de flexión se da en el tramo más largo, que para este caso es el MW y en punto "P".

La ubicación del punto "P" es donde la Pendiente que está dada por la ecuación $(E I \frac{dy}{dx})$ debe ser igual a 0

El punto "P" se ubicará en medio del eje ya que las diferencias entre las distancias de "P" y "W" son mínimas.

Remplazando los valores y resolviendo la ecuación:

$$E I \frac{d^2y}{dx_1^2} = -17576 \times X_1 + 88,93 \tag{187}$$

$$E I \frac{dy}{dx_1} = -8788 \times X_1^2 + 88,93 X_1 + C_1 \dots \dots \dots 1 \tag{188}$$

$$E I y = -29,29 \times X_1^3 + 44,46 X_1^2 + Cx_1 + C_2 \dots \dots \dots 2 \tag{189}$$

Por condiciones de frontera:

En "M": $X_2 = 0$ $Y = 0$ En 1 $C_1 = 0$

En "N": $X_1 = 0,506$ $Y = 0$ En 2

$$0 = -29,29 (0,506) + 44,46 (0,506^2) + C_2 \quad (190)$$

$$C_2 = - 14,99$$

Remplazando el valor de C_2 en la ecuación 169

$$E I y = -29,29 x X_1^3 + 44,46 X_1^2 + 14,99 \quad (191)$$

Para $X_1 = 0,253$; Y max

$$E I y = -29,29 (0,253)^3 + 44,46(0,253^2) - 14,99 \quad (192)$$

$$y = \frac{12,618}{200 \times 10^9 \times 2,21 \times 10^{-7}} \quad (193)$$

$$y = 0,000285 \text{ m}$$

$$y = 0,285 \text{ m}$$

ANÁLISIS DE ESFUERZO DEL EJE SUJESOR DE LOS ASPERSORES

El peso del sistema de aspersión es de $25\text{Kg} = 245,25\text{N}$

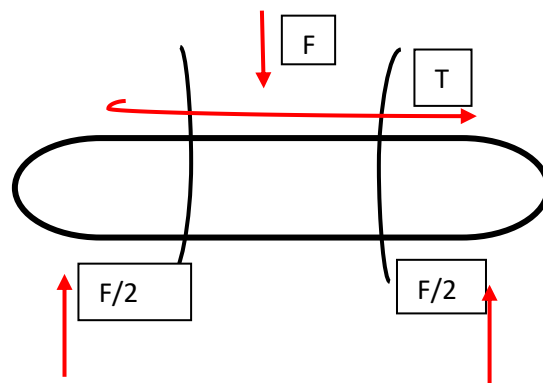


Figura. B. 23. Diagrama de cuerpo libre del eje sujetador del sistema de aspersión.

Fuente: elaboración propia

El Ángulo de separación entre dientes está dado por la siguiente fórmula.

$$A = \frac{d}{2} \quad (29)$$

$$A = \frac{24}{2} \quad (30)$$

$$A = 15.4^\circ$$

El cálculo de torsión que se ejerce en el eje está dado por la siguiente formula:

$$T = \frac{F \, dm \, (1 + \pi \times U \times dm \times \text{Sec } A)}{2(\pi \times dx - U \times L \times \text{Sec } A)} \quad (31)$$

Cálculo de diámetro mínimo:

$$dm = D - P \quad (32)$$

$$dm = 1 - 0.2 \quad (33)$$

$$dm = 0.8 \text{ pulg.}$$

El diámetro mínimo en milímetros es 20.32 mm

Coefficiente de rozamiento estático de = 0,1

Remplazando lo datos en la fórmula:

$$T = \frac{245,25 \times 20,32 \, (1 + \pi \times 0,1 \times 20,32 \times \text{Sec } 14,5^\circ)}{2(\pi \times 20,32 - 0,1 \times 25,4 \times \text{Sec } 14,5^\circ)} \quad (34)$$

$$T = 63,015971 \text{ N/mm} \times \frac{1 \text{ cm}}{10 \text{ mm}} \quad (35)$$

$$T = 6,3 \text{ N.cm}$$

CÁLCULO DE ACTUADORES PARA EL SISTEMAS DE ASPERCIÓN CÁLCULO DEL TORQUE DEL MOTOR

Los siguientes cálculos servirán para definir el actuador ideal en este caso los motores.

Dimensiones:

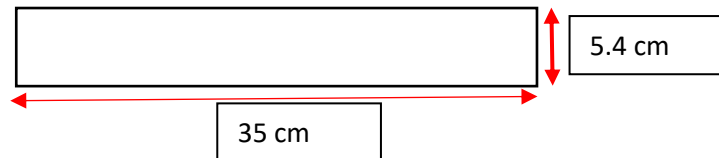


Figura. B. 24. Dimensiones de platina a analizar
Fuente: elaboración propia

Cálculo del centro de gravedad

El cálculo de centro de gravedad se va a realizar por figuras geométricas conocidas como se muestra a continuación

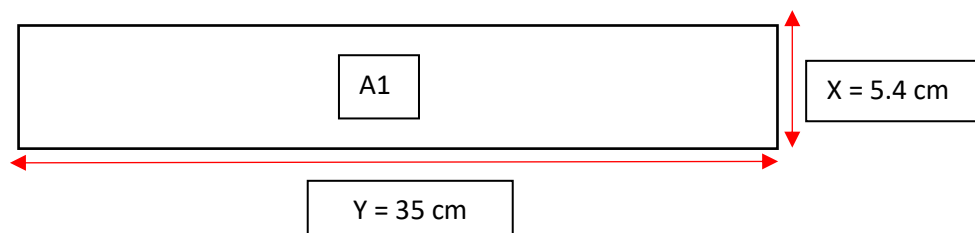


Figura. B. 25. Dimensiones para el cálculo de centro de gravedad
Fuente: elaboración propia

Cálculo de área:

$$A = 5.4 \text{ cm} \times 30 \text{ cm} \quad (36)$$

$$A = 162 \text{ cm}^2$$

Cálculo del punto en el eje X

$$A = \frac{5.4 \text{ cm}}{2} \quad (37)$$

$$x = 2.7 \text{ cm}$$

Cálculo del punto en el eje y

$$y = \frac{35 \text{ cm}}{2} \quad (38)$$

$$y = 17.5 \text{ cm}$$

Ubicando los puntos en la pieza:

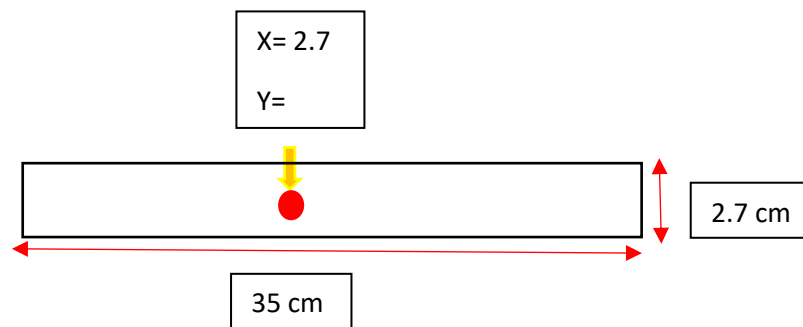


Figura. B. 26. Identificación del centro de gravedad en la platina

Fuente: elaboración propia

Por Pitágoras se calcula la hipotenusa el cual será tomado como radio.

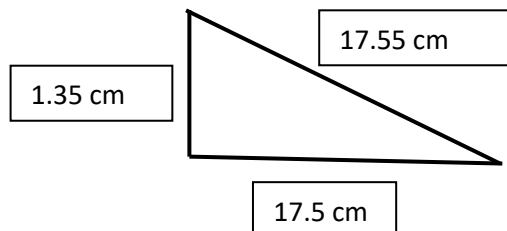


Figura. B. 27. Cálculo de radio

Fuente: elaboración propia

El valor calculado de 17.55 cm será tomado como radio para calcular la distancia, se tomará en cuenta el peso que tendrá como carga.

La masa será de 0.50 Kg = 4.905 N.

La velocidad angular a la que los motores realizarán el giro será de 60 rpm.

Cálculo del torque será de la siguiente manera

$$T = F * r \quad (39)$$

Reemplazando:

$$T = 4.905 \text{ N} \times 0.175 \text{ m} \quad (40)$$

$$T = 0.869 \text{ N/m}$$

Donde la velocidad angular estará dada en radiales por segundo:

$$\omega = 60 \text{ seg} \times \frac{2\pi}{60} \text{ rad} \quad (41)$$

$$\omega = 6.283 \text{ rad/s}$$

La potencia del motor estar dado por la siguiente fórmula:

$$P = \omega * T \quad (42)$$

$$A = 6.28 \text{ rad} \times 0.86 \text{ N/m} \quad (43)$$

$$P = 5.45 \text{ w}$$

Luego de haber realizado los de potencia, se puede calcular fácilmente la corriente del motor. Recordando que el voltaje con el que estará alimentado los motores es de 24 V. El cálculo de la corriente está dado por la siguiente formula.

$$I = \frac{P}{V} \quad (44)$$

$$I = \frac{8.45 \text{ w}}{24 \text{ v}} \quad (45)$$

$$I = 0.223 \text{ A.}$$

Cálculo para actuadores de desplazamiento del robot

Cálculo de la velocidad angular del robot para definir el motor apropiado

La velocidad angular está dada por la siguiente formula:

$$W = \frac{v}{2 * \pi * r} \quad (46)$$

Donde:

W : Es la velocidad angular

V: Es la velocidad lineal

r : Radio de la rueda en metros

Remplazando y calculando

$$W = \frac{0.5 \text{ m/s}}{2 * 3.1416 * 0.175 \text{ m}} \quad (47)$$

$$W = 0.455 \text{ Rps}$$

$$W = 27.3 \text{ Rpm}$$

Luego del cálculo se define que la velocidad angular del robot debe ser de 27,3 rpm es decir 28 rpm para que esta manera el robot pueda cumplir con los requerimientos que se mencionó.

Cálculo del torque del motor en superficies no inclinadas (ruedas delanteras)

Para este caso se realizará, el análisis del motor con carga asumiendo que la superficie del terreno no presenta inclinación, para ello se va a realizar un DCL del sistema a analizar.

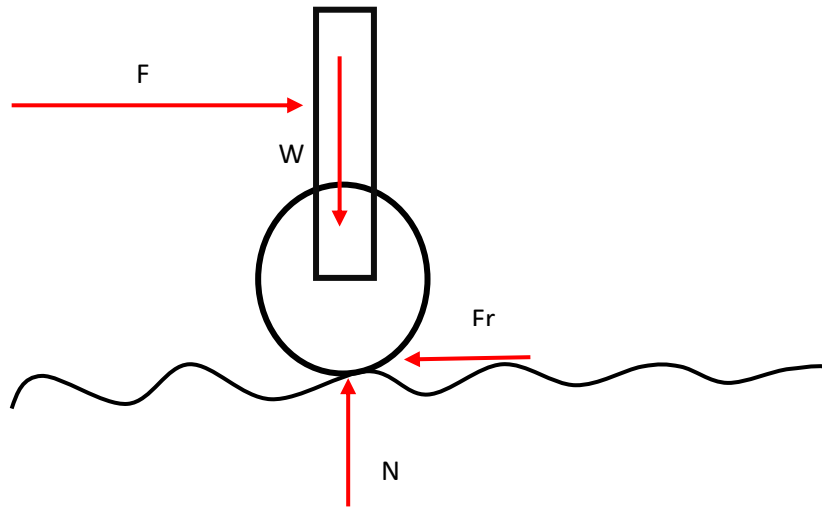


Figura. B. 28. Diagrama de cuerpo del sistema
Fuente: elaboración propia

Las cargas que tiene el robot serán representadas como fuerzas que actúan sobre el robot, siendo las siguientes:

Como se sabe el peso tiene el robot será aproximadamente de 299.614 kg este peso será distribuido entre los cuatro apoyos que tendrá el robot que en este caso serán las ruedas.

$$P_1 = \frac{299,614}{4} \quad (48)$$

$$P_1 = 74,9 \text{ Kg}$$

El peso que aproximadamente soportará será de 74,9Kg, a ello se le va a sumar el factor de seguridad de 20% haciendo un total de 89,88 Kg, por lo que $W=881,72N$

La fuerza cuyo módulo es igual al peso será de $N=881,72 \text{ N}$.

La fuerza de rozamiento estático (Fr) entre la rueda y la superficie por donde la rueda se va a deslizar esta dada por la siguiente fórmula:

$$Fr = \mu_e \times N \quad (49)$$

Donde:

F_r = Es la fuerza de rozamiento

μ_e = Es el coeficiente de fricción entre la superficie y la rueda

N = Es la fuerza que actúa sobre la rueda

Asimismo, el torque necesario para para que el motor pueda mover al robot está dada por la siguiente formula:

$$T = F_r * r \quad (50)$$

Donde r el radio de la rueda, F_r es la fuerza de rozamiento estático y T el torque del motor.

De acuerdo a los antecedentes revisados, el coeficiente de fricción es muy importante, para el calcular parámetros en cuanto al desplazamiento del robot, la fuerza de rozamiento estático es proporcional al coeficiente estático, para este caso dado las condiciones del terreno por donde se va a desplazar el robot el coeficiente será de 1.

Entonces la fuerza de rozamiento será de:

$$F_r = 1 \times 881,72 \text{ N} \quad (51)$$

$$F_r = 881,72 \text{ N}$$

Teniendo todos los datos de calcula el torque mínimo del motor a continuación:

$$T = 881,72 \text{ N} \times 0.175 \text{ m} \quad (52)$$

$$T = 154,301 \text{ N.m}$$

POTENCIA DEL MOTOR

Para contar con datos más comerciables en cuanto a parámetros de motor se va a calcular la potencia del motor. La potencia del motor esta dad por la siguiente fórmula:

$$P = W \times T \quad (53)$$

Donde:

P = Es la potencia del motor

W = Es la velocidad angular

T = El torque el motor N.m

La velocidad angular debe estar en radiales por segundo.

$$W = \frac{28}{1 \text{ min}} \times \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ seg}} \times \frac{2\pi}{1} \quad (54)$$

$$W = 2.93 \text{ rad/seg}$$

Reemplazando en la fórmula:

$$AP = 2,93 \frac{\text{rad}}{\text{seg}} \times 154,301 \text{ N.m} \quad (55)$$

$$P = 452.09 \text{ W}$$

A la potencia calculada se le va a agregar el factor se seguridad de 30 %.

$$P = 452.09 \text{ W} + 30\% \quad (56)$$

$$P = 452.09 \text{ W} + 127.5 \text{ W} \quad (57)$$

$$P = 579.6 \text{ W}$$

CÁLCULO DE CORRIENTE

Con este dato se podrá calcular la corriente con la que trabajaran los motores, teniendo en cuenta que la fuente de alimentación del robot será de 24 V. De la fórmula de potencia:

$$P = I \times V \quad (58)$$

Despejamos:

$$I = \frac{P}{V} \quad (59)$$

$$I = \frac{579.6 \text{ W}}{24 \text{ V}} \quad (60)$$

$$I = 24.14 \text{ A}$$

Cálculo del torque del motor en superficies no inclinadas (ruedas traseras)

Para el caso de las ruedas traseras se va a incrementar el factor de seguridad en un 10%. En los parámetros de potencia: es decir a un 40%.

$$P = 452.09 \text{ W} + 40\% \quad (61)$$

$$P = 452.09 \text{ W} + 180.83 \text{ W} \quad (62)$$

$$P = 632.93 \text{ W}$$

Del cálculo de la potencia se va a calcular la corriente del motor para las ruedas de la parte trasera.

$$I = \frac{P}{V} \quad (63)$$

$$I = \frac{497.3}{24} \quad (64)$$

$$I = 26.37 \text{ A}$$

CÁLCULO DEL TORQUE DEL MOTOR EN SUPERFICIES INCLINADAS (RUEDAS DELANTERAS)

Si bien es cierto el robot, se va a desplazar por superficies inclinadas, eso hace los motores realicen mayores esfuerzos en cuanto a torque, incrementando de esta manera el consumo de corriente, Estos son desconocidos, sin embargo, son muy útiles para una implementación del robot, Para ello a continuación se va a calcular la potencia necesaria que deberán tener los motores para mover al robot.

CÁLCULO DE INCLINACION DE LA RUEDA

La inclinación de la rueda del robot, se conocerá en base a los parámetros que muestra un surco luego de la etapa de aporcado del surco.

A continuación, se muestra las dimensiones aproximadas que muestra un surco de maíz luego se ser aporcado.

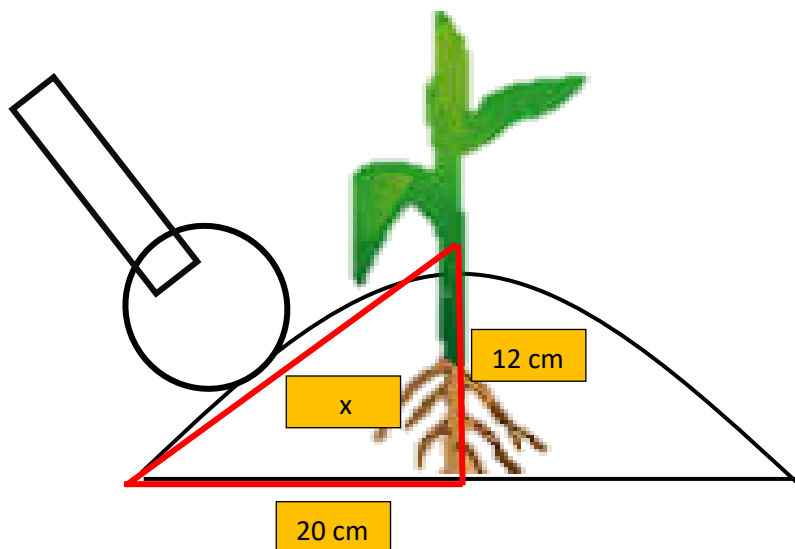


Figura. B. 29. Planta de maíz, luego se aporcado de la tierra
Fuente: Aporcado de una planta de maíz

Del grafico mostrado el dato más importante es la pendiente para con ella poder calcular el Ángulo por donde la rueda moverá al robot.

CÁLCULO DEL TORQUE DEL MOTOR EN SUPERFICIES INCLINADAS (RUEDAS DELANTERAS)

Con los datos mostrados a continuación se va a calcular los parámetros mencionados.

Donde X será la longitud de la pendiente.

$$x^2 = 12^2 \text{ cm} + 25^2 \text{ cm} \quad (65)$$

$$A = \sqrt{769} \text{ cm} \quad (66)$$

$$x = \sqrt{769}$$

Con este dato se podrá calcular el ángulo el cual se muestra a continuación:

$$\sin x = \frac{12}{25} \quad (67)$$

$$x = \sin^{-1} \frac{12}{25} \quad (68)$$

$$x = 28.68^\circ$$

Luego del cálculo se determina que el ángulo de inclinación el cual el robot tendrá que superar será de 28.68° . Con este dato a continuación se podrá realizar los análisis respectivos del motor en una posición inclinada.

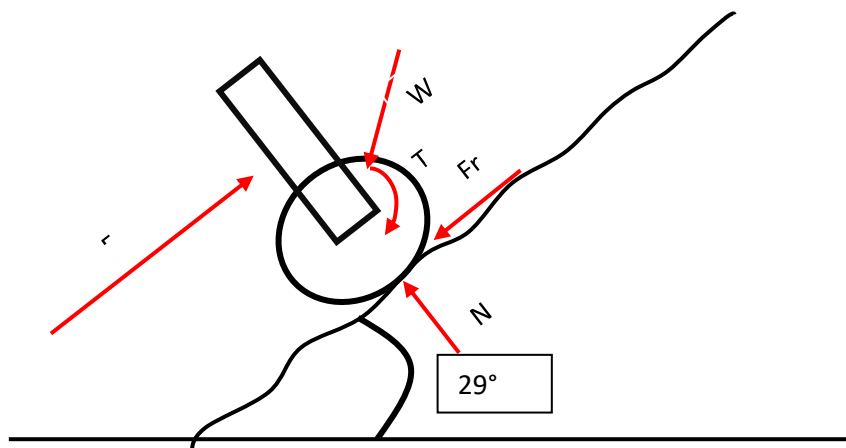


Figura. B. 30.D.C.L. en posición inclinada de la rueda.

Fuente: Aporcado de una planta de maíz

Por descomposición de fuerzas.

Sumatoria de fuerzas en Y:

$$\sum F_y = 0 \quad (69)$$

$$N \cos 29 + F \sin 29 = N \sin 29 + W \quad (70)$$

$$(0.87) + F(0.48) = N(0.48) + 881,72 N. \dots\dots\dots (1) \quad (71)$$

Sumatoria de fuerzas en X:

$$\sum F_x = 0 \quad (72)$$

$$F \cos 29 - \sin 29 + N \cos 29 = 0 \quad (73)$$

$$(0.87) - N(0.48) + N(0.39) = 0 \dots\dots\dots (2) \quad (74)$$

Igualando las ecuaciones 1y 2 y despejando N se obtiene:

$$\sum F_x = F(0.87) + N(0.39) = N(0.48) \quad (75)$$

$$\sum F_y = F(0.48) + N(0.87) = N(0.48) + 881,72 N. \quad (76)$$

$$N = \frac{F(0.87)}{(0.09)} \quad (77)$$

$$F(0.48) + F \frac{0.87}{0.09} (0.48) = 881.72 N \quad (78)$$

$$F(5.12) = 881.72N \quad (79)$$

$$F = \frac{881.72}{5.12} \quad (80)$$

$$F = 172.21 N$$

Con la fuerza calculada en la ecuación 235 a continuación se va a calcular la potencia que debe ejercer el motor para que pueda desplazar al robot en estas circunstancias.

$$P = 2.93 \frac{\text{rad}}{\text{seg}} \times 172.21 N \quad (81)$$

$$P = 504.58 W$$

A la potencia calculada se le va a agregar el factor de seguridad en un 30%.

$$P = 504.58 W + 151.37 W \quad (82)$$

$$P = 655.95 W$$

Cálculo de corriente

$$I = \frac{P}{V} \quad (83)$$

$$I = \frac{655.95 W}{24 V} \quad (84)$$

$$I = 27.33 A$$

CÁLCULO DEL TORQUE DEL MOTOR EN SUPERFICIES INCLINADAS (RUEDAS TRASERAS)

Para el caso de las ruedas traseras, el análisis será el mismo que el caso anterior sin embargo se va incrementar la potencia y que en esta parte la carga que va a movilizar las ruedas mediante el motor relativamente será mayor.

Para este el factor de seguridad será de 40%.

$$P = P = 504.58 W 40\% \quad (85)$$

$$P = 504.58 W + 201.8 W \quad (86)$$

$$P = 504.58 W \quad (87)$$

Cálculo de corriente:

$$I = \frac{P}{V} \quad (88)$$

$$I = \frac{706.412}{24} \quad (89)$$

$$I = 29.43 A$$

CÁLCULO DEL TORQUE DEL MOTOR PARA ORIENTACIÓN DEL ROBOT EN SUPERFICIES PLANAS (RUEDAS DELANTERAS)

Seguidamente se va realizar el calcular del torque del motor. Para ello se va realizar el diagrama del cuerpo libre de acuerdo a la configuración que tiene el robot.

En la imagen se muestra el diagrama con todas las fuerzas que actúan sobre la sección donde se ubicará el motor.

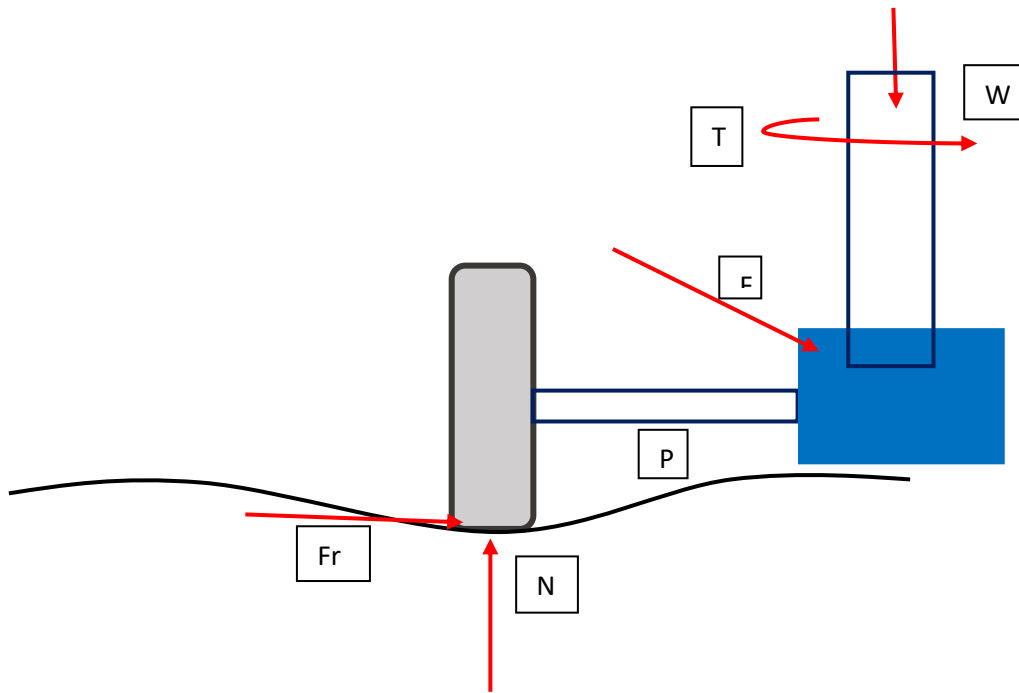


Figura. B. 31. Diagrama de cuerpo libre del eje vertical con el motor
Fuente: Aporcado de una planta de maíz

Las Fuerzas que actúan sobre la sección del robot son las siguientes:

El peso de la carga que es de 74.9 Kg más el factor de potencia

La fuerza normal sería de 881,72 N.

Como en el caso anterior, el torque mínimo de los motores, para esta parte, del robot implica considerar fuerza de rozamiento estático, que estará dada por el producto de coeficiente de fricción que es de 1.0 al igual que el caso anterior, y el peso el N que será de 881.72N.

El torque mínimo que deberá tener el motor está dado por la siguiente formula.

Donde Fr es la fuerza de rozamiento estático que es de 881.72, el radio para este caso será la distancia P que tiene un valor de 0.30 m.

$$T = Fr * r \quad (90)$$

$$T = 881.72 * 0.30 \text{ m} \quad (91)$$

$$T = 264.516 \text{ N.m} \quad (92)$$

A continuación, se va a calcular la potencia que debe tener el motor. Para ello la velocidad se va a convertir en radiales/segundo.

Conversión de velocidad:

$$V = \frac{14.96}{1 \text{ min}} \times \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ seg}} \times \frac{2\pi}{1} \quad (93)$$

$$V = 1.567 \text{ rad/seg}$$

Reemplazando en la fórmula de potencia:

$$P = W \times T \quad (94)$$

$$P = 1.567 \frac{\text{rad}}{\text{seg}} * 264.516 \text{ N.m} \quad (95)$$

$$P = 414.50 \text{ W} \quad (96)$$

En resumen, de acuerdo con lo calculado, en cuanto a parámetros del motor que realizarán la orientación del giro del motor tendrán que tener una potencia mínima de 414.50 W más el factor de seguridad del 30% siendo en total de 539.5 W.

CÁLCULO DE CORRIENTE QUE CONSUMIRÁ EL MOTOR:

Despejando de la fórmula se calcula la corriente:

$$I = \frac{P}{V} \quad (97)$$

$$I = \frac{539.5 W}{24 V} \quad (98)$$

$$I = 22.47 A$$

CÁLCULO DEL TORQUE DEL MOTOR PARA LA ORIENTACIÓN DEL ROBOT EN SUPERFICIES PLANAS (RUEDAS TRASERAS).

Para este caso el análisis será el mismo que el caso anterior sin embargo el factor de potencia se a incrementar ya que en esta sección del robot el peso a considerar será mucho mayor.

Para este caso el factor de seguridad será d 40%.

$$P = 539.5 W + 201.8 W \quad (99)$$

$$A = 741.3 W \quad (100)$$

CÁLCULO DE CORRIENTE:

$$I = \frac{P}{V} \quad (101)$$

$$I = \frac{741.3 W}{24 V} \quad (102)$$

$$I = 30.9 A \quad (103)$$

ANEXO C

PLANOS

PLANOS MECÁNICOS

PLANOS ELECTRÓNICOS

ANEXO D

HOJAS DE DATOS