

**UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA**



**Diseño de máquina autónoma de fumigación con cuatro ruedas para  
reducir exposición a pesticidas en cultivos de maíz**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE  
INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICO**

**AUTOR**

**Juan Diego Alarcon Flores**

**ASESOR**

**Amado Aguinaga Paz**

**<https://orcid.org/0000-0003-0330-6825>**

**Chiclayo, 2026**

**Diseño de máquina autónoma de fumigación con cuatro ruedas  
para reducir exposición a pesticidas en cultivos de maíz**

PRESENTADA POR

**Juan Diego Alarcon Flores**

A la Facultad de Ingeniería de la  
Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo  
para optar el título de

**INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICO**

APROBADA POR

Luis Alberto Gonzáles Bazán

PRESIDENTE

Lucio Antonio Llontop Mendoza

SECRETARIO

Amado Aguinaga Paz

VOCAL

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo de tesis, en primer lugar, a Dios, por haber sido mi guía y mi fuente de fortaleza a lo largo de este recorrido. Su presencia me brindó tranquilidad y valentía en los momentos difíciles, permitiéndome continuar sin rendirme. Gracias a Él, hoy concluyo esta etapa con agradecimiento y satisfacción, habiendo crecido tanto a nivel profesional como personal.

Expreso mi más sincero agradecimiento a mi madre, cuyo amor incondicional, constante aliento y ejemplo de dedicación han sido una inspiración para perseverar y mantenerme firme en mis metas. Este logro representa los principios que me ha enseñado y el respaldo que siempre me ha ofrecido. Extiendo también mi gratitud a toda mi familia, por su apoyo, comprensión y ánimo inquebrantable a lo largo de este proceso.

No puedo dejar de reconocer y valorar el apoyo de los docentes e ingenieros que me orientaron a lo largo de este proyecto. Gracias por compartir su conocimiento, por resolver mis dudas con paciencia y por brindarme las herramientas necesarias para consolidar esta investigación. Cada consejo y observación fue clave para llegar a este resultado.

Finalmente, esta dedicatoria es para todas las personas que, de alguna manera, creyeron en mí. Este logro no es solo mío, sino de todos quienes caminaron a mi lado y me ayudaron a convertir este reto en una realidad.

## **AGRADECIMIENTOS**

Quiero expresar un agradecimiento especial por el apoyo metodológico y profesional brindado durante el desarrollo de esta tesis al Mgtr. Aguinaga Paz Amado, ya que su guía y dedicación fueron fundamentales para llevar a cabo este trabajo académico. Sin su acompañamiento, esta investigación no habría alcanzado los objetivos propuestos.

Del mismo modo, extiendo mi agradecimiento al Ing. Llontop Mendoza Lucio, por su disposición y compromiso al orientarme en los aspectos técnicos y prácticos del proyecto, así como por compartir sus conocimientos de manera clara y accesible. A ambos les doy las gracias por su paciencia, su tiempo y por todo el aprendizaje que me brindaron durante este proceso.

# Diseño de máquina autónoma de fumigación con cuatro ruedas para reducir exposición a pesticidas en cultivos de maíz

## INFORME DE ORIGINALIDAD

20%

INDICE DE SIMILITUD

19%

FUENTES DE INTERNET

1%

PUBLICACIONES

13%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

## FUENTES PRIMARIAS

1	<a href="https://hdl.handle.net">hdl.handle.net</a> Fuente de Internet	10%
2	Submitted to Universidad Continental Trabajo del estudiante	5%
3	<a href="https://tesis.usat.edu.pe">tesis.usat.edu.pe</a> Fuente de Internet	1%
4	<a href="https://docplayer.es">docplayer.es</a> Fuente de Internet	1%
5	<a href="https://archive.org">archive.org</a> Fuente de Internet	<1%
6	<a href="https://www.coursehero.com">www.coursehero.com</a> Fuente de Internet	<1%
7	Submitted to Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo Trabajo del estudiante	<1%
8	<a href="https://repositorio.upch.edu.pe">repositorio.upch.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1%
9	<a href="https://repositorio.continental.edu.pe">repositorio.continental.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1%

# ÍNDICE

Resumen .....	11
Abstract .....	12
I. INTRODUCCIÓN .....	13
REALIDAD PROBLEMÁTICA .....	14
1.1 OBJETIVOS .....	15
Objetivo general .....	15
Objetivos específicos .....	15
II. MARCO TEÓRICO .....	16
2.1 Antecedentes del problema.....	16
2.2. Base teórico – científico.....	17
Aspersor autopropulsado 4630 .....	17
OmniVeyorHV-100. ....	17
La máquina Ladybird.....	18
FAM 18	
Maquina agrícola ecorobotix para desyerbado .....	18
2.3. El cultivo de maíz .....	18
El cultivo de maíz amiláceo blanco .....	18
El cultivo de maíz amarillo duro.....	19
2.4. La fumigación del cultivo de maíz.....	19
Control de plagas, enfermedades y malezas en el cultivo de maíz.....	20
Etapas de fumigación del cultivo de maíz .....	21
2.5. Maquina autónoma .....	21
Clasificación de las maquinas autónomas de acuerdo con su estructura .....	21
Poli articulados .....	22
Androides 22	
Zoomórficos.....	22
Híbridos 22	
De servicio (R.M.S).....	22
2.6 Arquitectura de una maquina autónoma de servicio .....	23
Sistema de automatización.....	23
Sistema de locomoción.....	24
Locomoción síncrona .....	24
Dirección Ackerman.....	24
Sistema de tracción.....	25
Tracción diferencial.....	25

2.7. Motores eléctricos.....	26
Motores paso a paso.....	26
Motores CC.....	26
Servomotores .....	26
Motoreductores.....	26
2.8. Sistema de alimentación.....	27
Batería de iones de litio .....	27
Batería de plomo-ácido .....	27
Sistema de visión .....	27
Sensores.....	28
Arquitecturas de teleoperación .....	28
III. Revisión Literaria .....	29
3.1. Resultados esperados .....	37
3.2. Alcance de la investigación .....	37
3.3. Análisis de requerimientos .....	38
Cálculo de cantidad de plantas .....	38
Cálculo de cantidad de agroquímico fungicida y/o pesticida y herbicida aplicado por planta de maíz	39
Cálculos de tiempo de fumigación .....	40
Cálculo de tiempo de fumigación con fungicidas e insecticidas.....	41
Cálculo de tiempo de fumigación con herbicidas .....	41
Cálculo de velocidad de fumigación.....	42
Análisis de costo y tiempo de fumigación con personal contratado.....	42
3.4. Definición de requerimientos generales .....	44
Lista de exigencias .....	44
3.5. Concepto de solución .....	46
Concepto de solución para fumigación con pesticidas y/o insecticidas y herbicidas .....	47
3.6. Determinación de posibles soluciones.....	50
3.7. Determinación del proyecto .....	51
IV. RESULTADOS.....	53
4.1. Análisis y diseño de la máquina .....	53
4.2. Análisis y diseño del sistema mecánico.....	53
Definición de la solución óptima del tanque .....	54
Materiales para la fabricación del tanque .....	54
Diseño y ubicación de rompeolas .....	55
Soporte del tanque, baterías, bomba electrohidráulica y la parte mecánica del sistema	

de aspersión .....	57
4.3. Base móvil de la máquina .....	61
Diseño de mecanismo para la orientación de la maquina por medio de las ruedas.....	61
Diseño de mecanismo para desplazamiento de la maquina por medio de las ruedas .....	62
Actuadores.....	64
4.4. Sistema hidráulico de la máquina .....	67
Cálculo de caudal para fumigación con fungicidas .....	67
Cálculo de caudal para fumigación con herbicidas .....	68
Montaje del sistema hidráulico .....	70
4.5. Sistema eléctrico.....	70
Cálculo de consumo de corriente de la máquina.....	71
Reguladores de tensión .....	72
4.6. Sistema de control .....	74
4.7. Simulaciones de la máquina .....	77
Simulación del soporte del tanque y las baterías de la máquina .....	77
Simulación del eje horizontal.....	80
Simulación del eje vertical .....	81
Simulación de la máquina en aplicaciones de fumigación .....	82
4.8. COSTOS DE FABRICACIÓN .....	83
Presupuesto.....	83
4.9. COSTOS DE OPERACIÓN .....	95
V. CONCLUSIONES.....	98
VI. RECOMENDACIONES.....	99
VII. REFERENCIAS .....	100
VIII. ANEXOS.....	102

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Características morfológicas del cultivo de maíz.....	19
Tabla 2 Carga horaria de trabajo de los agricultores .....	42
Tabla 3 Parámetros calculados de cultivos y fumigación de maíz.....	43
Tabla 4 Lista de exigencias parte mecánica .....	45
Tabla 5 Lista de exigencias parte hidráulica.....	45
Tabla 6 Lista de exigencias parte eléctrica.....	46
Tabla 7 Lista de exigencias del sistema de control .....	46
Tabla 8 Cuadro de parámetros de concepto de solución.....	48
Tabla 9 Cuadro comparativo de tiempo de fumigación.....	49
Tabla 10 Cuadro de posibles soluciones .....	50
Tabla 11 Evaluación de conceptos de solución (Valor técnico).....	51
Tabla 12 Evaluación de conceptos de solución (Valor económico).....	52
Tabla 13 Componentes del sistema mecánico.....	53
Tabla 14 Materiales metálicos .....	55
Tabla 15 Peso que soportara la máquina.....	58
Tabla 16 Parámetros de motores para desplazamiento en superficies planas .....	65
Tabla 17 Parámetros eléctricos de los motores para orientación de la máquina .....	66
Tabla 18 Consumo de corriente de la máquina fumigadora.....	71
Tabla 19 Peso de los elementos que estarán sobre la estructura.....	78
Tabla 20 Cantidad y precio de metales para fabricación de estructura del soporte del tanque de la máquina .....	83
Tabla 21 Cantidad y precio de metales para fabricación del tanque de la máquina.....	85
Tabla 22 Cantidad y precio de metales para fabricación del sistema de aspersión de la máquina.....	86
Tabla 23 Cantidad y precio de metales para fabricación del sistema de locomoción de la máquina.....	88
Tabla 24 Cantidad y precio de metales para fabricación del sistema de locomoción de la máquina superficie baja.....	89
Tabla 25 Lista de componentes eléctricos .....	90
Tabla 26 Lista de dispositivos electrónicos .....	91
Tabla 27 Lista de dispositivos electrónicos (regulador de voltaje).....	92
Tabla 28 Lista de componentes electrónicos para circuito medidor de nivel .....	93
Tabla 29 Lista de accesorios (parte mecánica).....	94
Tabla 30 Lista de accesorios (parte hidráulica) .....	95
Tabla 31 Lista de accesorios (parte eléctrica) .....	95
Tabla 32 Costo de servicios y energía .....	96
Tabla 33 Costo total de la máquina .....	96
Tabla 34 Comparación económica entre sistemas de fumigación.....	97

## LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Periodo crítico del cultivo de maíz .....	20
Ilustración 2 Arquitectura de una maquina autónoma .....	23
Ilustración 3 Sistema de locomoción síncrona.....	24
Ilustración 4 Configuración de tracción Ackerman .....	25
Ilustración 5 Parámetros geométrico.....	25
Ilustración 6 Distribución de surcos y semillas de maíz en un terreno .....	39
Ilustración 7 Diagrama de evaluación técnico – económico .....	52
Ilustración 8 Diseño del sistema mecánico .....	54
Ilustración 9 Tanque de la máquina .....	54
Ilustración 10 Diseño del tanque de la maquina con rompeolas .....	56
Ilustración 11 Ubicación de los elementos sobre la estructura de la máquina .....	57
Ilustración 12 Estructura de la máquina para soporte de baterías, tanque contenedor, sistema de aspersión .....	59
Ilustración 13 Vista isométrica del ensamblaje del sistema de aspersión en la estructura de la máquina .....	60
Ilustración 14 Mecanismo de la maquina con su motor .....	61
Ilustración 15 Mecanismo de la maquina fumigadora .....	62
Ilustración 16 Mecanismo para el desplazamiento de la máquina .....	63
Ilustración 17 Mecanismo de locomoción de la máquina.....	63
Ilustración 18 Vista isométrica del sistema de locomoción de la máquina.....	64
Ilustración 19 Ubicación del motor que realizará la orientación al motor .....	66
Ilustración 20 Diseño de la máquina con todas sus piezas mecánicas implementadas .....	67
Ilustración 21 Sistema hidráulico de la máquina fumigadora .....	68
Ilustración 22 Sistema hidráulico del sistema de aspersión de la máquina .....	69
Ilustración 23 Sistema eléctrico del sistema de aspersión de la máquina .....	70
Ilustración 24 Diagrama unifilar .....	71
Ilustración 25 Estructura de la conexión.....	72
Ilustración 26 Esquema eléctrico de la máquina.....	73
Ilustración 27 Diagrama del sistema de control de la máquina .....	75
Ilustración 28 Proceso de teleoperación de la máquina .....	76
Ilustración 29 Interfaz de la máquina.....	77
Ilustración 30 Simulación de la estructura de la máquina .....	78
Ilustración 31 Deformación del soporte del tanque y de las baterías.....	79
Ilustración 32 Deformación unitarias del soporte del tanque y de las baterías .....	79
Ilustración 33 Simulación del eje horizontal .....	80
Ilustración 34 Deformación del eje horizontal de la máquina .....	80
Ilustración 35 Deformación unitaria del eje horizontal de la máquina .....	80
Ilustración 36 Simulación del eje vertical.....	81
Ilustración 37 Deformación del eje vertical de la máquina.....	81
Ilustración 38 Deformación unitaria del eje vertical de la máquina .....	82
Ilustración 39 Simulación de la máquina en aplicaciones de fumigación.....	82
Ilustración 40 Soporte con baterías tanque y sistema de aspersión.....	105

Ilustración 41 Ubicación de puntos de apoyo de la estructura de soporte del tanque, baterías y sistema de aspersión .....	109
Ilustración 42 Conexiones del sistema hidráulico de racores y electroválvulas .....	120
Ilustración 43 Conexiones de sistema hidráulico bomba hidráulica y racores.....	120
Ilustración 44 Conexiones de sistema hidráulico racores y aspersores .....	120
Ilustración 45 Diagrama esquemático de electroválvula .....	121
Ilustración 46 Diagrama esquemático de puente H L2978N.....	122
Ilustración 47 Reguladores de voltaje de 12V a 5V .....	123
Ilustración 48 Diagrama esquemático de un sensor de presión .....	124
Ilustración 49 Diagrama esquemático del final de carrera y sensor de flujo de agua.....	125
Ilustración 50 Diagrama esquemático del puente H BTS 7990 .....	126
Ilustración 51 Diagrama esquemático De los controladores.....	127
Ilustración 52 Plano de la estructura la máquina.....	128
Ilustración 53 Plano del eje y resorte montado .....	129
Ilustración 54 Plano del tanque con rompeolas.....	130
Ilustración 55 Plano del mecanismo de soporte .....	131
Ilustración 56 Plano del mecanismo de locomoción.....	132
Ilustración 57 Diagrama unifilar eléctrico de la máquina .....	132

## Resumen

En la actualidad, la exposición a pesticidas en el sector agrícola representa un problema crítico, ya que pone en riesgo la salud de los trabajadores al estar en contacto directo con sustancias químicas nocivas. Esta situación puede desencadenar enfermedades agudas o crónicas, afectando seriamente su bienestar. Estudios señalan que el 33,8% de los agricultores perciben una alta contaminación por pesticidas, y un 10% identifica que dicha exposición ocurre principalmente en los campos de cultivo.

Ante esta realidad, la industria agrícola ha comenzado a implementar soluciones automatizadas que reemplacen tareas manuales peligrosas. Esta transición hacia la automatización no solo busca salvaguardar la salud humana, sino que también permite reducir significativamente los costos operativos y optimizar el tiempo dedicado a procesos como la fumigación. Las máquinas permiten realizar estas labores con mayor precisión, rapidez y sin poner en riesgo a los trabajadores.

Sin embargo, el uso de pesticidas también plantea un desafío ambiental, ya que su uso excesivo puede afectar negativamente a la biodiversidad y contaminar los recursos hídricos. Por ello, es fundamental adoptar un enfoque integral que minimice tanto los riesgos a la salud como los costos y el impacto ambiental.

Este proyecto tiene como propósito diseñar una máquina autónoma que contribuya a disminuir la exposición directa a pesticidas, enfocándose en proteger la salud del trabajador agrícola, reducir los costos asociados a la fumigación y acortar el tiempo de operación. El desarrollo del prototipo se realizará mediante herramientas especializadas: el diseño mecánico en SolidWorks, el sistema de aspersion en FluidSIM, el diseño electrónico en Proteus y el sistema de control en Simulink.

**Palabras clave:** pesticidas, maquina fumigadora, industria agrícola, cultivos.

## Abstract

Currently, pesticide exposure in the agricultural sector represents a critical problem, as it puts workers' health at risk through direct contact with harmful chemicals. This situation can trigger acute or chronic illnesses, seriously affecting their well-being. Studies indicate that 33.8% of farmers perceive high levels of pesticide contamination, and 10% identify that this exposure occurs primarily in the fields.

Faced with this reality, the agricultural industry has begun to implement automated solutions to replace dangerous manual tasks. This transition to automation not only seeks to safeguard human health but also significantly reduces operating costs and optimizes the time spent on processes such as spraying. Machines allow these tasks to be performed more precisely, quickly, and without endangering workers.

However, the use of pesticides also poses an environmental challenge, as excessive use can negatively affect biodiversity and pollute water resources. Therefore, it is essential to adopt a comprehensive approach that minimizes health risks, costs, and environmental impact.

This project aims to design an autonomous machine that will help reduce direct exposure to pesticides, focusing on protecting the health of agricultural workers, reducing costs associated with spraying, and shortening operating time. The prototype will be developed using specialized tools: mechanical design in SolidWorks, the spraying system in FluidSIM, electronic design in Proteus, and the control system in Simulink.

**Keywords:** pesticides, fumigation machine, agricultural industry, crops.

## I. INTRODUCCIÓN

En estos tiempos, el progreso tecnológico ha contribuido a hacer desagradables para los individuos las labores monótonas y pesadas. Estas tareas, además de afectar negativamente el desempeño de las personas, han llevado a compañías a buscar la automatización de la mayoría de sus procesos, especialmente en el ámbito industrial. Aunque se ha avanzado significativamente en este aspecto, existen necesidades no satisfechas, y una de ellas se encuentra en el ámbito agrícola [1].

El desarrollo del sector agrícola es crucial para combatir la pobreza, especialmente considerando las proyecciones demográficas que estiman una población mundial de 9700 millones para el año 2050. En este contexto, la automatización se presenta como una herramienta valiosa. A pesar de que la agricultura es más efectiva que otros sectores, en países como Perú, donde la agricultura ocupa un lugar destacado en los ingresos nacionales, aún hay desafíos por superar [2].

Según el sector agrícola en Perú ha experimentado un crecimiento significativo en su Producto Bruto Interno, pasando de 19 074 238 en 2007 a 25 916 000 en 2016. En la región de Junín, el sembrado de maíz es uno de los más destacados, con un crecimiento en su producción de 18,446 mil hectáreas en 2020 a 20 mil hectáreas en 2025 [3].

En este sentido, resulta crucial considerar las actividades clave en el cultivo del maíz, tal como la fumigación, que frecuentemente se presenta como una labor monótona y peligrosa para los agricultores. El objetivo de este proyecto es crear un equipo de fumigación que asista a los campesinos en el manejo de plagas, enfermedades y hierbas no deseadas durante el proceso de siembra del maíz.

## 1.1 REALIDAD PROBLEMÁTICA

En el sector agrícola, específicamente en el cultivo de maíz, se requiere de la fumigación regular para controlar plagas y enfermedades. Este proceso es esencial para asegurar la salud de las plantas y la calidad de la cosecha. Actualmente, la fumigación se realiza mediante equipos manuales o semiautomatizados, lo que expone a los operarios a riesgos por contacto con pesticidas, además de ser un proceso que consume tiempo y recursos humanos.

El presente trabajo de tesis busca una solución a esta problemática mediante el diseño de una máquina autónoma de fumigación con cuatro ruedas. Esta máquina ayudará a disminuir la cantidad de pesticidas a los que están expuestos los empleados, optimizar la exactitud y efectividad del método de fumigación, y elevar la productividad en la gestión de los cultivos de maíz. Con la automatización de este proceso, se espera obtener una mejor calidad en la aplicación de pesticidas, reducir el tiempo necesario para fumigar grandes áreas y optimizar el uso de recursos en las tareas agrícolas.

- Formulación del problema:

¿De qué manera el diseño de una máquina fumigadora autónoma puede contribuir a reducir la exposición a pesticidas en los cultivos de maíz, disminuyendo el tiempo de aplicación y optimizando los costos operativos?

- Delimitación de la investigación

La investigación de esta tesis se centrará en la propuesta de una máquina autónoma de fumigación para cultivos de maíz, que estará equipada con un sistema de cuatro ruedas.

## 1.2 OBJETIVOS

### Objetivo general:

- ✓ Diseñar una máquina autónoma de fumigación para reducir la exposición directa de los trabajadores agrícolas a pesticidas en cultivos de maíz, reduciendo además el tiempo y costo del proceso.

### Objetivos específicos:

- ✓ Determinar los parámetros de un sistema de fumigación autónomo.
- ✓ Diseñar los componentes mecánicos y eléctricos de la máquina de fumigación.
- ✓ Desarrollar el sistema de control de la máquina para aplicaciones de fumigación del cultivo de maíz.
- ✓ Evaluar los costos de fabricación y de operación de la máquina de fumigación.

## II. REVISIÓN LITERARIA

### 2.1 Antecedentes

La fumigación con equipos manuales en los cultivos de maíz es un proceso en el que los operarios están directamente expuestos a pesticidas mientras aplican productos químicos en las plantas. Sin embargo, con los avances tecnológicos, este procedimiento puede ser automatizado mediante el diseño de una máquina autónoma de fumigación con cuatro ruedas. Esto no solo hace más sencillo el trabajo al limitar la exposición del trabajador a materiales peligrosos, sino que también reduce los gastos y el tiempo de producción, aumentando la efectividad en el manejo de los cultivos.

Borja, Cornejo y Meza (2020): “Dispositivo terrestre móvil destinado a la aplicación de agroquímicos en invernaderos automatizado”. En Perú se realizó la investigación destacada, aunque la introducción de robots en la agricultura es considerada ineficaz para muchas tareas debido a la cantidad de materiales necesarios, ya que causan menos impacto en el suelo comparado con los tractores. A pesar de no contar con hallazgos concretos, la investigación sirve como una guía valiosa para la creación y evolución de sistemas de control en maquinaria agrícola. El proyecto contempla un automóvil de cuatro ruedas junto con un sistema completo destinado a la distribución de productos químicos agrícolas en invernaderos.

Godoy, Tabile y Vierira (2018): “Creación y puesta en marcha de un equipo agrícola móvil destinado a usos de teledetección”. En Bolivia se propuso un robot móvil de 2 metros de altura y 2.5 metros de longitud, diseñado para fumigar hasta 1.5 metros de altura. Con un peso de 500 kg y una velocidad máxima de 1.5 m/s, la máquina tiene una autonomía de 4 horas, utilizando 6 baterías de 70 Ah. Su sistema de locomoción es controlado de manera independiente y puede ser operado a una distancia de hasta 5 km.

León y Vásquez (2019): “Creación y puesta en marcha de un dispositivo móvil que opera de forma independiente y puede ser controlado a distancia para trabajos en el campo”. En Ecuador se hizo un estudio busca impulsar su uso, especialmente en la empresa HILSEA. Los investigadores implementaron con éxito un robot en las instalaciones de la empresa, obteniendo resultados positivos en su primera versión. El robot utiliza un sistema de movimiento basado en ruedas impulsadas, motores DC controlados a través del circuito L298 y un sistema de riego que utiliza una bomba centrífuga con una capacidad de 2 litros por minuto, funcionando de modo teleoperado.

De lo anterior, se concluye que la automatización en la máquina autónoma de fumigación con cuatro ruedas ayuda a mejorar la precisión en la aplicación de pesticidas, disminuir el tiempo necesario para fumigar los cultivos y reducir los costos de operación, además de minimizar la exposición de los trabajadores a productos químicos nocivos.

## **2.2. Base teórico**

### **2.2.1. Aspersion autopropeulsado 4630.**

John Deere, una empresa agrícola, fabrica máquinas como el aspersor autopropeulsado. Aunque no es autónomo, el equipo cuenta con tecnología avanzada. Además, los aspersores se calibran según la siembra del terreno [4].

### **2.2.2. OmniVeyorHV-100.**

El OmniVeyor HV-100, desarrollado por Harvest Automation en 2008, es una máquina diseñada para el transporte eficiente de plantas en invernaderos. Utilice una cinta especial detectable para guiarse, colocada por un operador a través de una interfaz. La máquina tiene un sensor láser que detecta los contenedores más cercanos y los transporta hasta que todas las plantas han sido trasladadas [5].

## 2.2. La máquina Ladybird.

La máquina autónoma Ladybird, fue creada para trabajar en huertas. Está equipada con sensores y cámaras avanzadas que le permiten identificar características de las plantas, como su forma tridimensional y color, incluso a nivel de hoja. Además, posee un brazo robótico capaz de eliminar malezas y colaborar en la cosecha. Funciona con energía solar, que carga sus baterías [6].

## 2.2. FAM.

La máquina FAM (Fumigador Agrícola Móvil), su sistema opera mediante sensores ultrasónicos que detectan las plantas y activan automáticamente la motobomba para la aspersión [7].

## 2.2. Máquina agrícola ecorobotix para desyerbado.

La máquina fumigadora opera de forma completamente autónoma, impulsada por energía de paneles solares, lo que elimina la necesidad de un operador directo [8].

## 2.3. El cultivo de maíz

El cultivo de maíz consiste en la siembra y producción de un cereal originario de América, ampliamente valorado por su alto valor alimenticio y su versatilidad. Es una planta que puede desarrollarse en diversos climas y altitudes —incluso hasta los 3,900 m s. n. m. y ha sido parte esencial en la alimentación humana a lo largo de la historia. Actualmente, el maíz no solo se consume de forma directa, sino también se transforma en numerosos productos como harinas, aceites, almidones y endulzantes. En el contexto peruano, los tipos de maíz más sembrados son el maíz amarillo duro y el amiláceo [9].

### 2.3. El cultivo de maíz amiláceo blanco

El maíz amiláceo blanco, cultivado principalmente en la sierra peruana, se utiliza para la preparación de alimentos como el choclo, mote, cancha y cremas. En la

zona de Concepción, su siembra se realiza entre agosto y octubre, iniciando con la limpieza del terreno. Posteriormente, se trazan surcos de 5 a 7 cm de profundidad, separados entre 80 y 100 cm, y las plantas se colocan a distancias de 40 a 50 cm. La técnica más común es la siembra a golpes, en la que se colocan de 2 a 3 semillas por punto [10].

### 2.3. El cultivo de maíz amarillo duro.

Se caracteriza por tener una textura dura o semidura y un color anaranjado. Es considerado uno de los cultivos de mayor relevancia para la economía y la sociedad del país [11].

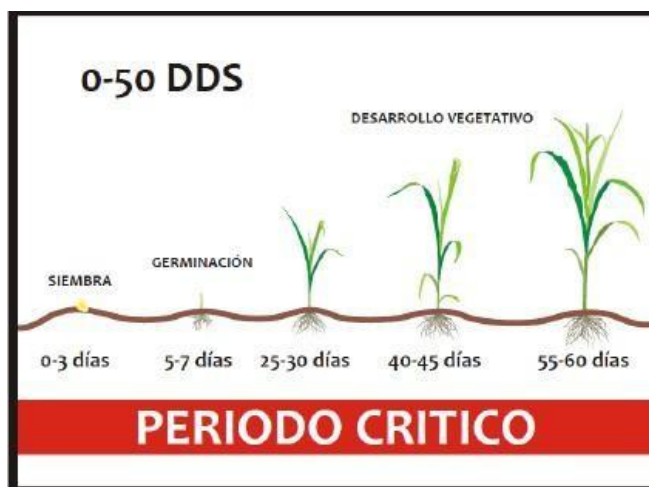
*Tabla 1 Características morfológicas del cultivo de maíz.*

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: <https://core.ac.uk/download/pdf/234574936.pdf>*

### 2.4. La fumigación del cultivo de maíz.

El uso de agroquímicos es crucial por su eficacia y rapidez, muchos agricultores enfrentan dificultades para aplicarlos adecuadamente debido a limitaciones económicas, ambientales y de tiempo. La fumigación se realiza sobre las hojas en una etapa clave del desarrollo del cultivo, que dura cerca de 60 días, y es determinante para asegurar una buena cosecha.



*Ilustración 1 Periodo crítico del cultivo de maíz.*

Fuente: [https://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0258-59362015000400002](https://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362015000400002)

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

Es un aspecto fundamental. Como se mencionó, estos problemas son los principales obstáculos que enfrentan los agricultores. Existen varios métodos de control, siendo el control químico el más relevante para este estudio, ya que se enfoca en el diseño de una máquina de fumigación [12].

El control químico implica la aplicación de productos agroquímicos para manejar plagas, enfermedades y malezas de manera rápida y eficiente. Aunque es eficaz, también representa un riesgo para los agricultores, quienes recurren a este método por necesidad [13]. En el cultivo de maíz, se emplea una amplia gama de agroquímicos, entre los cuales se destacan:

- **Herbicidas:** Eliminan las malezas de los cultivos.
- **Fungicidas:** Combatir enfermedades que impactan negativamente las plantas.
- **Insecticidas:** Controlan y eliminan las plagas.
- **Nematicidas:** Se emplean para erradicar gusanos y organismos dañinos del suelo.
- **Fertilizantes:** Ayudan a mejorar sus raíces, hojas y granos para una mejor calidad del producto.
- **Fitorreguladores:** Controlan el desarrollo de las plantas a través de hormonas.

#### 2.4. Etapas de fumigación del cultivo de maíz.

La fumigación es una tarea crucial desde el inicio del ciclo de crecimiento. Para muchos agricultores, el cuidado del maíz es comparable al de criar a un hijo, comenzando desde el momento en que la semilla se siembra en los surcos. Sin embargo, los primeros dos meses son considerados como el período crítico para el cultivo. Durante este tiempo, es esencial prestar especial atención, ya que las plagas, malezas y enfermedades tienden a afectar más intensamente los cultivos [14].

- **Siembra:** Las semillas se depositan en los surcos, sin presentar aún desarrollo visible en tamaño o estructura.
- **Germinación:** La semilla inicia su desarrollo y emerge la plántula, alcanzando una altura entre 5 y 10 cm.
- **Crecimiento vegetativo:** La planta desarrolla estructuras como la espiga y la panoja, creciendo de 10 cm hasta 1 metro, con un volumen aproximado de 50 cm<sup>3</sup>.

#### 2.5. Maquina autónoma.

Se entiende como un sistema capaz de realizar diferentes tareas mediante movimientos programables, lo que le permite manipular objetos, herramientas u otros elementos de forma flexible y adaptable [15].

##### 2.5. Clasificación de las maquinas autónomas de acuerdo con su estructura.

Diversas publicaciones clasifican las máquinas autónomas según su estructura, aunque las diferencias entre ellas suelen ser mínimas. En esta investigación, se adopta esta forma de clasificación por su estrecha relación con el enfoque del estudio [16].

### 2.5. Poli articulados.

Las máquinas móviles se caracterizan por su capacidad de desplazarse de forma autónoma, y comúnmente están diseñados con estructuras similares a vehículos, utilizando ruedas como sistema de locomoción. Este sistema varía según el entorno en el que operará, ya sea terrestre, acuático o aéreo. En el presente caso, se opta por un desplazamiento sobre ruedas, dado que la máquina será utilizada en superficies terrestres [17].

### 2.5. Androides.

Este tipo de máquinas busca imitar total o parcialmente los movimientos humanos, destacándose por su desplazamiento en dos piernas. Debido a la necesidad de un control dinámico avanzado, son considerados los más complejos en cuanto a diseño y funcionamiento [18].

### 2.5. Zoomórficos.

Estas máquinas se distinguen por su forma de desplazamiento, ya que buscan emular los movimientos propios de los seres vivos [19].

### 2.5. Híbridos.

Estas máquinas son complejas de clasificar, ya que suelen combinar diferentes tipos de estructuras. Aunque el diseño propuesto se enmarca en las máquinas móviles, al tratarse de una máquina destinada a brindar servicios, es importante definir qué implica una máquina móvil de servicio, así como analizar sus beneficios y limitaciones [20].

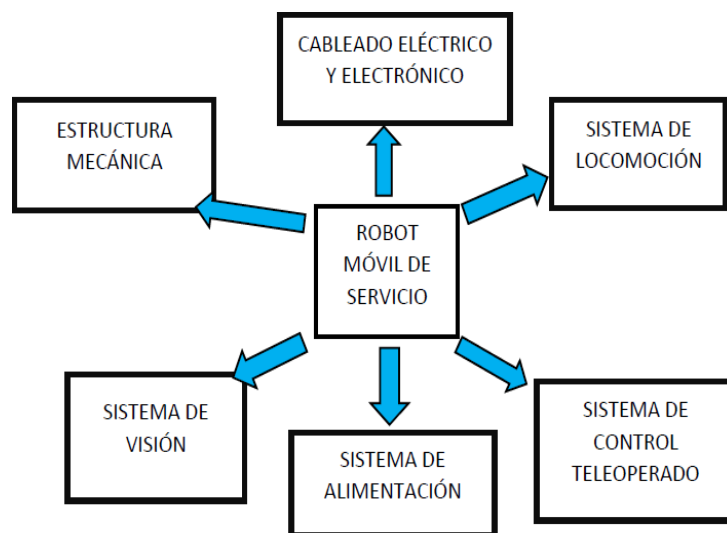
### 2.5. De servicio (R.M.S).

Utilizan distintos sistemas de desplazamiento, como ruedas, patas u orugas, y están diseñadas para ejecutar tareas en zonas de difícil acceso, remotas o

peligrosas. Estas máquinas recopilan datos mediante sensores y los procesan de forma autónoma o con asistencia externa para llevar a cabo sus funciones [21].

## 2.6 Arquitectura de una maquina autónoma de servicio.

Una máquina de servicio que se puede mover requiere la combinación de varios elementos que al trabajar de forma sincronizada, permiten alcanzar un objetivo común. La estructura necesaria para su diseño e implementación incluye los siguientes elementos [22]:



*Ilustración 2 Arquitectura de una maquina autónoma.*

Fuente: <https://gestion.dc.uba.ar/media/academic/grade/thesis/barra.pdf>

### 2.6. Sistema de automatización.

Una máquina de fumigación se compone de varios elementos conectados por articulaciones, formando una estructura que sostiene y almacena los actuadores, dispositivos electrónicos, eléctricos, y actuadores hidráulicos o electrohidráulicos. El material utilizado debe ser resistente y ligero. Aunque la mayoría de las clasificaciones de máquinas se basan en su estructura, las diferencias entre ellas no suelen ser significativas. En este trabajo se aborda dicha clasificación, ya que está estrechamente relacionada con el enfoque de la investigación [23].

## 2.6. Sistema de locomoción.

El modo de desplazamiento en aparatos móviles varía según el terreno, siendo las ruedas y las orugas los sistemas más comunes por su facilidad de uso, eficiencia en distintos suelos y simplicidad de fabricación [24].

### 2.6. Locomoción síncrona.

La locomoción síncrona consiste en que todas las ruedas funcionan como motrices y directrices, girando al mismo tiempo, velocidad y dirección. Al cambiar de rumbo, las ruedas rotan sobre su eje vertical sin alterar la orientación del chasis [25].

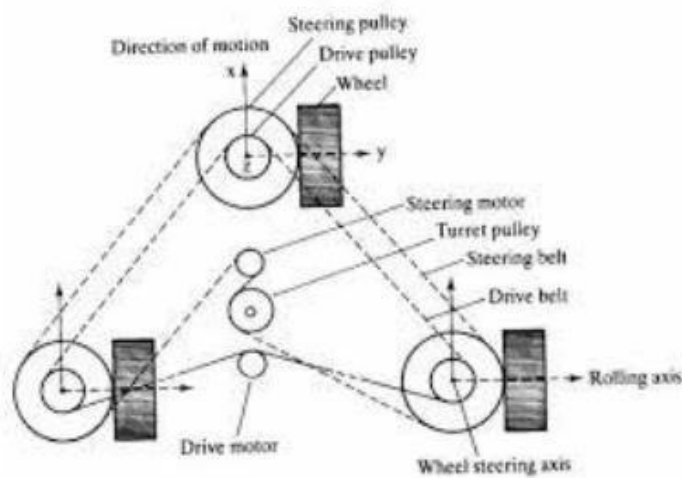


Ilustración 3 Sistema de locomoción síncrona.

Fuente: <https://www.sciencedirect.com/topics/neuroscience/locomotion>

### 2.6. Dirección Ackerman.

Este tipo de locomoción emplea dos ruedas delanteras para dirección y dos traseras como motrices [26].



## 2.7. Motores eléctricos.

Los actuadores permiten que el efector ejecute movimientos. Los más utilizados son motores DC, motorreductores, servomotores y motores paso a paso, por su precisión, control sencillo y versatilidad. Su elección depende de las exigencias de la aplicación, como torque, velocidad y precisión [29].

### 2.7. Motores paso a paso.

Este actuador convierte señales eléctricas en giros angulares por pasos, con movimientos que van de  $1.8^\circ$  a  $90^\circ$ . A diferencia del motor DC, destaca por su alta precisión. [30].

### 2.7. Motores CC.

Transforma electricidad en movimiento rotativo y permite un control sencillo de velocidad y posición [31].

### 2.7. Servomotores

El servomotor es un actuador que combina un motor con engranajes para reducir velocidad y aumentar torque. Gira entre  $0^\circ$  y  $180^\circ$ , es compacto, ligero y de alto torque, y se controla mediante PWM, como los motores DC [32].

### 2.7. Motoreductores.

Es un dispositivo mecánico que combina un motor eléctrico. con engranajes para reducir las revoluciones por minuto (rpm) y mantener una velocidad constante [33].

## 2.8. Sistema de alimentación

Todo sistema autónomo requiere una fuente de energía propia que almacene y proporcione suficiente energía para garantizar una buena autonomía. Las baterías recargables son la opción más recomendada por su fiabilidad, costo y eficiencia. Existen varias alternativas de baterías que se pueden encontrar en el mercado [34].

### 2.8. Batería de iones de litio

Las baterías de iones de litio son valoradas por su notable capacidad para almacenar energía, lo que les concede una duración prolongada. Asimismo, cada celda genera un voltaje que varía entre 3.6 y 3.7 V [35].

### 2.8. Batería de plomo-ácido.

Las baterías de plomo-ácido son asequibles y simples de conseguir, pero tienen una baja densidad de descarga. Requieren una correcta ubicación para evitar fugas de ácido y su carga es lenta, entre 8 y 16 horas. El plomo y ácido que contienen son dañinos para el medio ambiente. Su nombre proviene del uso de una disolución de ácido sulfúrico [36].

### 2.8. Sistema de visión.

El sistema de visión permite a la máquina obtener información de su entorno, siendo la cámara uno de los componentes más comunes. En una máquina móvil de servicio, la cámara ayuda al robot a tomar decisiones autónomas o permite al usuario ver imágenes en tiempo real para tomar decisiones. En este caso, se instalarán cinco cámaras en puntos clave de la máquina de fumigación [37].

## 2.8. Sensores.





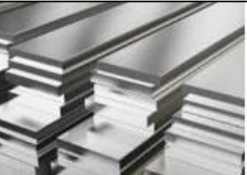

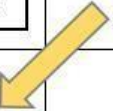





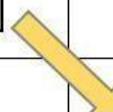
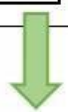
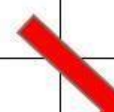
Son dispositivos que detectan variables físicas y envían la información al controlador para su procesamiento y uso en la interfaz y el control [38].

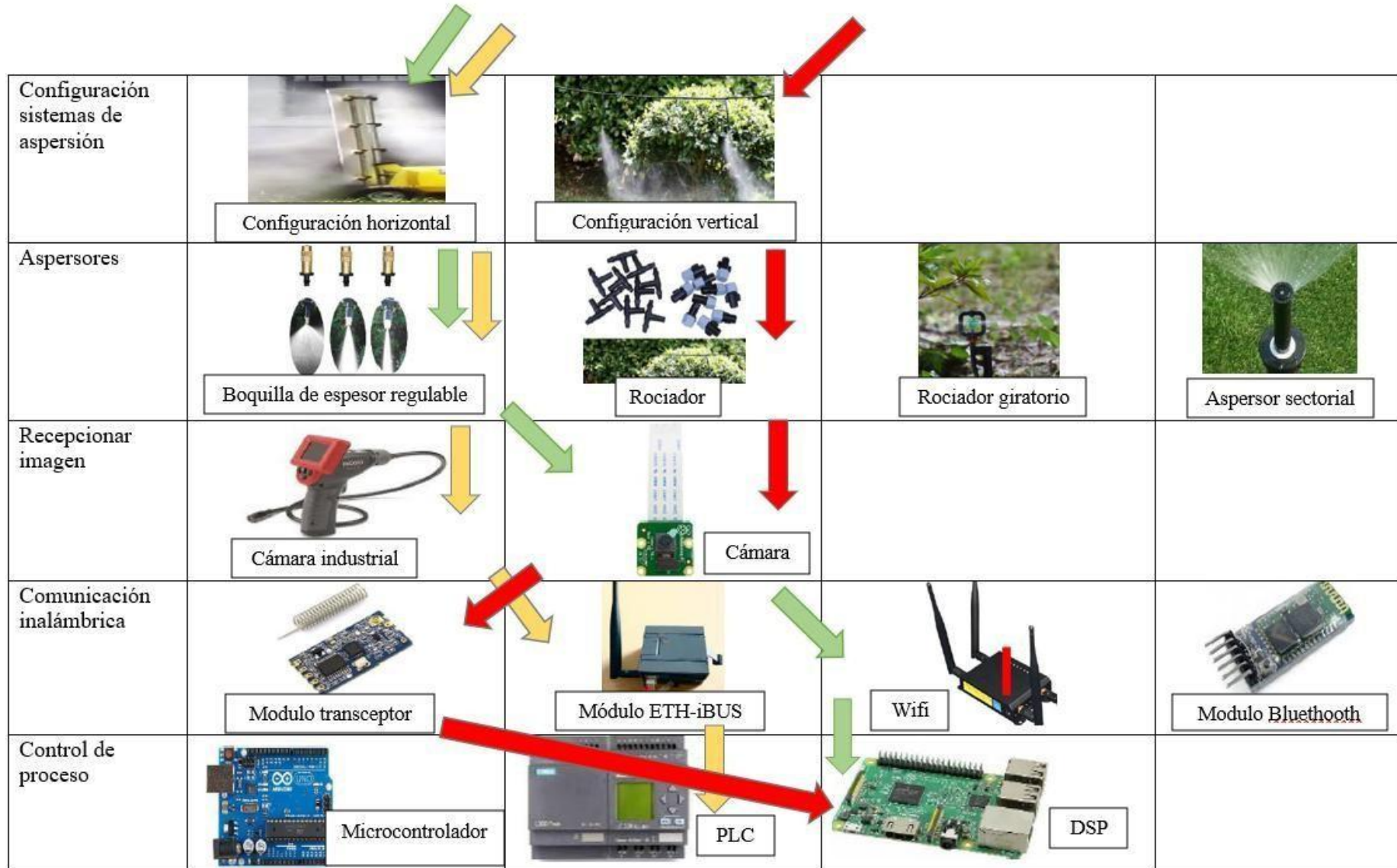
## 2.8. Arquitecturas de teleoperación.

- **Esquema posición–posición:** El maestro define la posición del esclavo o viceversa.
- **Esquema fuerza–posición:** El maestro controla la posición del esclavo y se miden las fuerzas generadas por este.
- **Esquema fuerza–fuerza:** Las trayectorias de ambos se basan en las fuerzas registradas.
- **Esquema de cuatro canales:** Ambos intercambian información sobre posición y fuerza.

### III. METODOLOGIA.

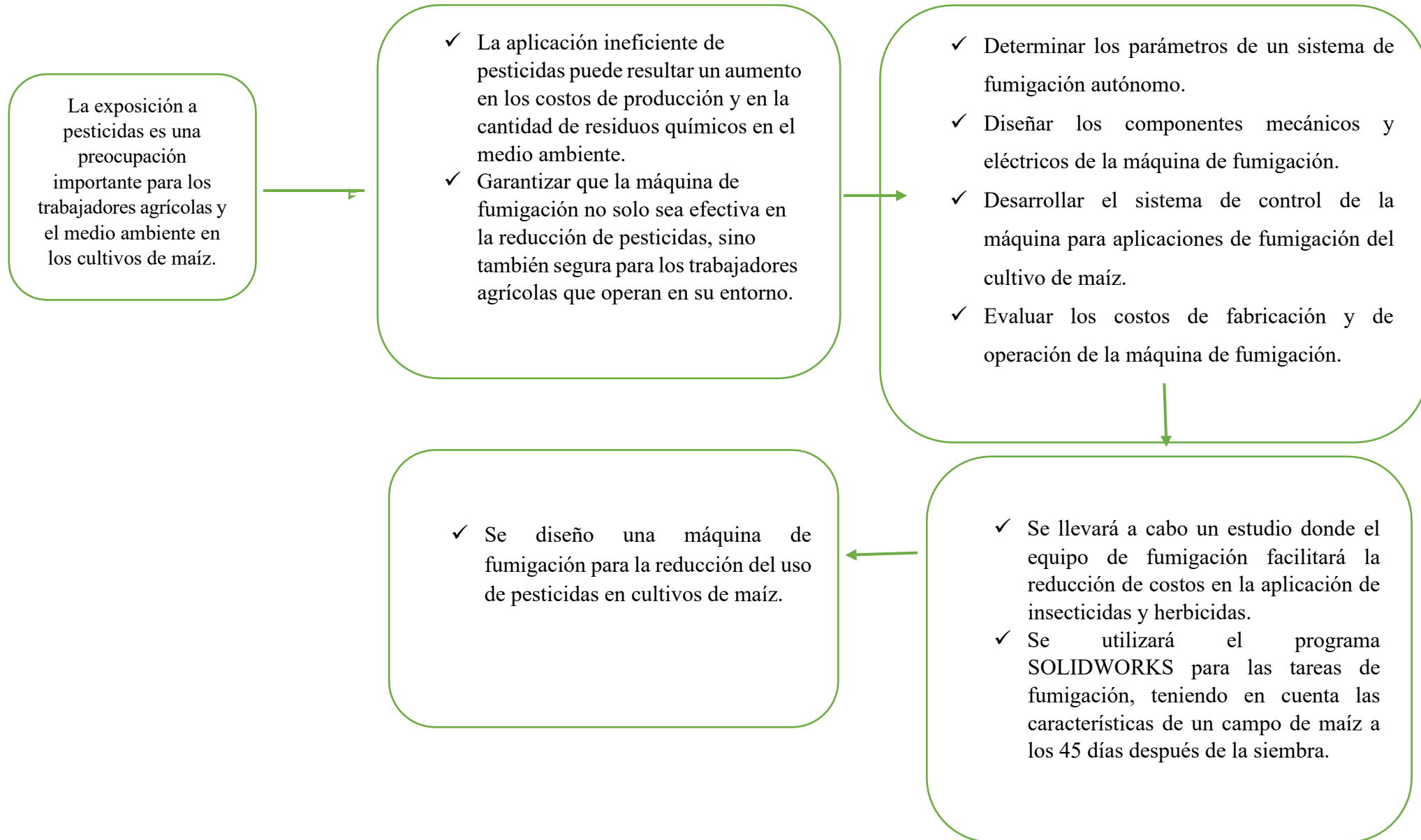
Matriz morfológica

Funciones principales	Portadores de funciones		
Movilizar la maquina  patas  orugas  ruedas			
Estructura mecánica  Estructura de aluminio  Estructura de acero  Estructura de titanio			
Contenedor del agroquímico  Tanque  Tanque con caras planas  Tanque con caras circulares			



OBJETIVOS GENERAL	HIPOTESIS GENERAL
<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Diseñar una máquina de fumigación para la reducción de pesticidas en cultivos de maíz.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Si se diseñara un equipo para la aplicación de pesticidas que reduzca su uso en el cultivo de maíz., esto puede tener un impacto significativo en la disminución de residuos, lo que es beneficioso para la salud humana y la sostenibilidad agrícola.</li> </ul>
OBJETIVOS ESPECIFICOS	HIPOTESIS ESPECIFICAS
<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Determinar los parámetros de un sistema de fumigación autónomo.</li> <li>✓ Diseñar los componentes mecánicos y eléctricos de la máquina de fumigación.</li> <li>✓ Desarrollar el sistema de control de la máquina para aplicaciones de fumigación del cultivo de maíz.</li> <li>✓ Evaluar los costos de fabricación y de operación de la máquina de fumigación.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Si se diseñara la parte mecánica, el sistema de aspersión y la electrónica, se tendría que mejorar la uniformidad de la distribución de pesticidas, optimizar la cantidad de pesticidas aplicada por unidad de área y garantizar un funcionamiento eficiente y seguro del equipo.</li> <li>✓ Si se desarrolla una estrategia de control de la máquina de fumigación basada en datos en tiempo real de condiciones climáticas, tipo de suelo y densidad de cultivo, entonces la máquina podrá ajustar automáticamente la cantidad y la velocidad de aplicación de pesticidas de manera más precisa, reduciendo el desperdicio de pesticidas y mejorando la eficacia en la protección del cultivo de maíz.</li> <li>✓ La implementación de la máquina de fumigación autónoma en los cultivos de maíz reducirá significativamente la cantidad de pesticidas no utilizados y minimizará la contaminación del suelo en comparación con los métodos tradicionales de aplicación</li> </ul>

## 1. Diseño de máquina autónoma de fumigación con cuatro ruedas para reducir exposición a pesticidas en cultivos de maíz.



## OPERACIÓN DE VARIABLES

DISEÑO DE MÁQUINA AUTÓNOMA DE FUMIGACIÓN CON CUATRO RUEDAS PARA REDUCIR EXPOSICIÓN A PESTICIDAS EN CULTIVOS DE MAÍZ.

VARIABLE	DEFINICION CONCEPTUAL	DEFINICION OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ITEMS
VARIABLE INDEPENDIENTE	Dado que una máquina de fumigación podría mejorar la gestión de productos químicos en entornos agrícolas, recursos e impactos ambientales.	Una máquina autónoma de fumigación es un dispositivo automatizado diseñado para aplicar productos químicos o biológicos en áreas agrícolas o industriales, sin intervención humana directa.	Conservación de energía	$\Delta E_{mec} = 0$ $E_{cA} + E_{pA} = E_{cB} + E_{pB}$	kW/h
			Potencia del motor	$P = VI = I^2R = \frac{V^2}{R}$	Kw
			Velocidad de la maquina	$v = \frac{\Delta x}{\Delta t}$	m/s
Diseño de máquina autónoma de fumigación			Eficiencia energética	$(\text{Energía útil} / \text{Energía total}) \times 100$	Adimensional

VARIABLE	DEFINICION CONCEPTUAL	DEFINICION OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ITEMS
<p>VARIABLE DEPENDIENTE</p> <p>Reducción de exposición a pesticidas</p>	<p>La reducción a pesticidas proporciona beneficios en términos de salud humana, seguridad laboral, conservación del medio ambiente, eficiencia y cumplimiento de regulaciones.</p>	<p>El uso de una maquina autónoma de fumigación puede reducir la exposición al eliminar o reducir significativamente la necesidad de que los trabajadores entren en contacto directo con pesticidas.</p>	<p>Caudal para fumigación</p>	$Q = \frac{V}{t}$	<p>1/S</p>

DISEÑO DE MÁQUINA AUTÓNOMA DE FUMIGACIÓN CON CUATRO RUEDAS PARA REDUCIR EXPOSICIÓN A PESTICIDAS EN CULTIVOS DE MAÍZ.				
PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES	METODOLOGIA
¿El diseño de una maquina fumigadora autónoma reducirá la exposición a pesticidas en los cultivos de maíz?	GENERAL	GENERAL	VARIABLE INDEPENDIENTE	DISEÑO DE INVESTIGACION
	Diseñar una máquina de fumigación para la reducción del uso de pesticidas en cultivos de maíz.	Desarrollar un aparato para tratar cultivos de maíz con menos pesticidas podría reducir los residuos de estos productos en la comida y en el ambiente. Esto ayudaría a la salud humana y a la sostenibilidad agrícola.	Diseño de máquina autónoma de fumigación	Método cuantitativo utilizado con el programa Solidworks.
			INDICADORES	TECNICA: RECOLECCION DE DATOS
	ESPECIFICOS	ESPECIFICAS	En este proyecto de investigación se buscará información en bases de datos de sobre los métodos de aplicación de pesticidas en la agricultura	En esta investigación se recolectará información de bases de datos acerca de las técnicas de uso de pesticidas en el sector agrícola.
Determinar los parámetros de un sistema de fumigación autónomo.	La máquina puede no estar funcionando eficientemente debido a un mantenimiento insuficiente, lo que puede manifestarse en problemas como la acumulación de suciedad, desgaste de piezas clave o la falta de lubricación adecuada.	VARIABLE DEPENDIENTE	POBLACION Y MUESTRA	

Diseñar la parte mecánica y eléctrica.	Si se diseñara la parte mecánica y eléctrica, se tendría que mejorar la uniformidad de la distribución de pesticidas, optimizar la cantidad de pesticidas aplicada por unidad de área y garantizar un funcionamiento eficiente y seguro del equipo.	Reducción de exposición a pesticidas	La unidad de estudio son el enfoque en el diseño de maquinaria agrícola, sistemas de fumigación, y tecnologías autónomas aplicadas a la agricultura. (personas)
Desarrollar el sistema de control de la máquina para aplicaciones de fumigación del cultivo de maíz.	Si se desarrolla un sistema de control de la máquina de fumigación basada en datos en tiempo real de condiciones climáticas, tipo de suelo y densidad de cultivo, entonces la máquina podrá ajustar automáticamente la cantidad y la velocidad de aplicación de pesticidas de manera más precisa, reduciendo el desperdicio de pesticidas y mejorando la eficacia en la protección del cultivo de maíz.	INDICADORES	La población que se estudiará será el impacto de la exposición a pesticidas en la salud de los agricultores y de las comunidades cercanas.
Evaluar los costos de operación y fabricación de la máquina.	La implementación de la máquina de fumigación autónoma en los cultivos de maíz reducirá significativamente la cantidad de pesticidas no utilizados y minimizará la contaminación del suelo en comparación con los métodos tradicionales de aplicación	Consumo Frecuencia Métodos de control Selección	

### 3.1. Resultados esperados.

En esta investigación, aplicando conocimientos de ingeniería, se espera que al finalizar la tesis se cuente con el diseño completo de todos los componentes que compondrá la maquina fumigadora. Para alcanzar el objetivo principal del diseño de la máquina, será preciso llevar a cabo varios análisis y crear diseños de los variados subsistemas que la integran.

### 3.2. Alcance de la investigación.

El propósito de esta tesis es el diseño de una máquina que mejore la rentabilidad y eficiencia económica de la fumigación en comparación con los métodos tradicionales. Para ello, se deben tener en cuenta varios parámetros y requisitos clave:

La máquina deberá estar equipada con un diseño mecánico que le permita desplazarse de manera eficiente en campos de maíz, optimizando tanto la velocidad como la eficacia del proceso de fumigación. Asimismo, su velocidad mínima debe igualar la de un agricultor al realizar la fumigación manual.

El sistema de locomoción de la máquina deberá ajustarse a las condiciones de los campos de maíz, donde la distancia entre los surcos suele oscilar entre 90 y 100 cm. También es crucial que el diseño sea robusto, capaz de soportar cargas hidráulicas y resistir vibraciones, para moverse en superficies irregulares con obstáculos sin comprometer la estabilidad, dirección ni dañar los cultivos.

Se diseñará un sistema de aspersion que permita fumigar cinco surcos en cada pasada, con un eje de cuatro metros equipado con boquillas ajustables para adaptarse a las condiciones del terreno y al crecimiento de las plantas. El sistema será activado por sensores que detectarán la presencia de cultivos en los surcos.

Además, se debe abordar el diseño electrónico de la máquina, asegurando el control de los motores, la bomba y otros actuadores. Se trabajará con un voltaje de 24 V y una corriente que varíe entre 2A y 35A para los motores y la bomba hidráulica. También se desarrollará una estrategia de control que permita tele

operar la máquina a una distancia máxima de 200 metros, incluyendo un sistema de monitoreo por cámara que facilite su uso por parte del agricultor.

Para la teleoperación, se diseñará una interfaz HMI (Human Machine Interface) que sea segura, confiable y fácil de usar. La fase final del diseño incluirá simulaciones de las partes más críticas para evaluar su viabilidad y eficiencia antes de validar los resultados y presentar las conclusiones.

En , al finalizar este estudio se tendrán que haber desarrollado los diseños detallados de cada uno de los sistemas que integrarán la máquina, así como los esquemas de funcionamiento para su regulación, considerando las limitaciones y requerimientos particulares de la fumigación en cultivos de maíz.

### 3.3. Análisis de requerimientos.

Se realizó un análisis considerando la etapa importante del crecimiento del maíz en una región específica, junto con las condiciones del suelo y el medio ambiente en las áreas designadas para la siembra. Aunque los campos son mayormente planos, se considerará una pendiente de  $30^\circ$  que la máquina debe poder cruzar. Las dimensiones de los terrenos son variadas, pero se usará una parcela de una hectárea ( $10,000 \text{ m}^2$ ) como referencia para calcular cuántas plantas se pueden sembrar en ese espacio.

### 3.3. Cálculo de cantidad de plantas.

La evaluación de los requerimientos se basó en la etapa más sensible del crecimiento del maíz en una región determinada, considerando además las particularidades físicas y climáticas del área de cultivo. Se utilizaron los siguientes parámetros:

- Una separación de 40 a 50 cm entre plantas dentro del surco.
- Siembra de dos semillas por punto (que usualmente generan dos plantas).
- Una distancia entre surcos de 80 a 100 cm.
- Un terreno con dimensiones de 100 metros por lado.

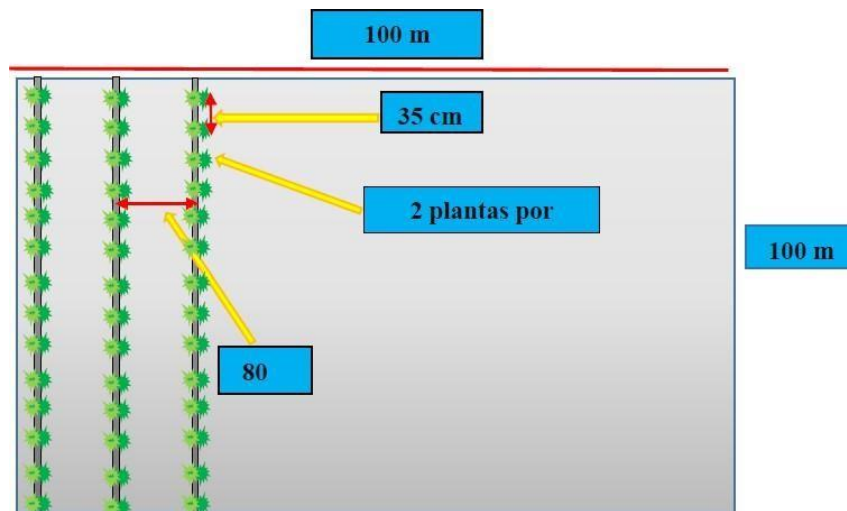


Ilustración 6 Distribución de surcos y semillas de maíz en un terreno.  
Fuente: Elaboración propia

### Cálculo de surcos

$$X1 = \frac{100}{0.8} = 125 \quad (1)$$

### Cálculo de plantas por surco

$$X2 = \frac{100}{0.4} \times 2 = 500 \quad (2)$$

### Cálculo de plantas en el terreno de una hectárea

$$X3 = 125 \times 500 = 62.500 \quad (3)$$

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

Según una entrevista, la fumigación del maíz depende de factores como enfermedades, plagas y malezas, que son impredecibles. Sin embargo, se debe realizar una fumigación antes del aporcado de la tierra. Las malezas suelen aparecer 30 días después de la siembra. En este caso, se considerará una planta de maíz de 45 días con las siguientes características:

- Altura aproximada de 50 cm.
- Distancia de 25 cm desde el tallo hasta la primera hoja.
- 25 cm desde la primera hoja hasta la parte superior de la planta.

**Cálculo de fungicida e insecticidas por planta**

$$X4 = \frac{270 \times 1000}{62.500} = 4.32ml \quad (4)$$

**Cálculo para un surco**

$$X5 = 4.32 \times 500 = 2.16L \quad (5)$$

**Cálculo de herbicida**

$$X6 = 0.2m \times 100m = 20m^2 \quad (6)$$

Se multiplica el área por surco por el número total de surcos, que es 125, para obtener el área total del terreno cubierto por plantas de maíz, representada como X7.

$$X7 = 20m^2 \times 125 = 2500m^2 \quad (7)$$

Se restan 2,500 m<sup>2</sup> de los 10,000 m<sup>2</sup> de la hectárea, lo que da como resultado el área que debe ser fumigada con herbicidas, representada como X8.

$$X8 = 10000m^2 - 2500m^2 = 7500m^2 \quad (8)$$

Se calculará la cantidad de agroquímico herbicida utilizado por metro cuadrado, dividiendo los 320 L de agroquímico para la hectárea entre el área total a fumigar. Este valor se representa como X9.

$$X9 = \frac{320 \times 1000}{7500m^2} = 42.7ml \quad (9)$$

**3.3. Cálculos de tiempo de fumigación.**

En este caso, se calculará el tiempo necesario para realizar la fumigación con estas mochilas, que tienen una capacidad de almacenamiento de 20 litros [48].

### 3.3. Cálculo de tiempo de fumigación con fungicidas e insecticidas.

Dado que se necesitan 270 litros de agroquímico, se calculará cuántas mochilas se requieren, dividiendo los 270 litros entre la capacidad de 20 litros de cada mochila. Y1 representa el número de mochilas necesarias para cubrir los 270 litros [49].

$$Y1 = \frac{270 \text{ l}}{20 \text{ l}} = 13.5 \quad (10)$$

Para calcular el tiempo total de fumigación, se multiplicará 13.5 (el número de mochilas necesarias) por 30 minutos. El resultado, Y2, representará el tiempo total necesario en horas.

$$Y2 = \frac{13.5 \times 30 \text{ min}}{60 \text{ min}} = 6.75 \text{ h} \quad (11)$$

Se necesitan aproximadamente 6.75 horas de trabajo continuo para realizar la fumigación de un campo de maíz a los 45 días después de la siembra, empleando insecticidas y/o fungicidas.

### 3.3. Cálculo de tiempo de fumigación con herbicidas.

Al igual que con los insecticidas, se dividirán los 320 litros entre los 20 litros de capacidad de la mochila para calcular cuántas mochilas son necesarias para completar la fumigación. Y3 representará la cantidad de mochilas necesarias para el proceso.

$$Y3 = \frac{320 \text{ l}}{20 \text{ l}} = 16 \quad (12)$$

Para determinar el tiempo total, se multiplica el número de mochilas por el tiempo que tarda cada una. Y4 representará el tiempo total necesario para la fumigación con herbicidas.

$$Y3 = \frac{16 \times 25 \text{ min}}{60} = 6.67 \text{ h} \quad (13)$$

### 3.3. Cálculo de velocidad de fumigación.

Para calcular la velocidad, Z1, representará la distancia recorrida al aplicar insecticidas y/o fungicidas.

$$Z1 = 125 \times 100\text{m} = 12500\text{m} \quad (14)$$

El resultado, Z2, representará la velocidad al aplicar insecticidas y/o pesticidas.

$$Z2 = \frac{12\,500 \text{ m}}{6.75 \times 3600 \text{ s}} = 0.514\text{m/s} \quad (15)$$

### Cálculo de velocidad de fumigación con herbicidas

$$Z3 = \frac{12\,500 \text{ m}}{6.67 \times 3600 \text{ s}} = 0.521\text{m/s} \quad (16)$$

### 3.3. Análisis de costo y tiempo de fumigación con personal contratado.

Un artículo proporciona información sobre la carga horaria necesaria para llevar a cabo esta tarea..

*Tabla 2 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: <https://mundoagro.cl/ley-de-40-horas-laborales-y-su-impacto-en-la-agricultura/>.*

Según el cuadro, un agricultor dedica 6.8 horas al trabajo neto y toma 1.67 horas de descanso.

### Cálculo de costo de fumigación

El costo diario de trabajo de un agricultor varía entre S/. 50.00 y S/. 60.00. Para este cálculo, se utilizó un costo de S/. 50.00 por día, basado en una jornada laboral de 8 horas.

$$Z3 = \frac{S/50}{8h} = 6.25s/h \quad (17)$$

Con el valor obtenido, se determinó que el tiempo efectivo de trabajo es de 6.8 horas.

$$A2 = 6.8h \times 6.25 s/h = S/42.5 \quad (18)$$

Esto da como resultado el costo de las horas de descanso de un trabajador.

$$A3 = 1.67h \times 6.25 \frac{s}{h} = \frac{S}{10.44} \quad (19)$$

### Tabla de resumen de designaciones

Es fundamental destacar que una gran parte de estos cálculos se realizó considerando las características del cultivo de maíz a los 45 días tras su siembra.

*Tabla 3 Parámetros calculados de cultivos y fumigación de maíz.*

Descripcion	Valor
X1 = Cantidad de surcos	125
X2 = Cantidad de plantas por surco	500
X3 = Cantidad de plantas por terreno	62500
X4 = Cantidad de agroquimico aplicado en cada planta,pesticida o insecticida	4.32ml
X5 = Cantidad de agroquimico aplicado por surco en litros	2.16l
X6 = El area del terreno cubierto por surco.	20m <sup>2</sup>

X7 = Area del terreno que estara totalmente cubierto por plantas de maiz	2500m <sup>2</sup>
X8 = Area a fumigar con herbicidas	7500m <sup>2</sup>
X9 = Cantidad de agroquimico herbicida utilizado por metro cuadrado	42.7ml
Y1 = Cantidad de mochilas que cubren los 270L	13.5
Y2 = Tiempo empleado para fumigar con insecticidas y/o fungicidas un terreno de una hectarea de manera tradicional con mochilas hidraulicas	6.75h
Y3 = Cantidad de mochilas de fumigacion con herbicidas	16
Y4 = Tiempo de fumigacion con herbicidas.	6.67h
Z1 = Distancia que recorre un agricultor para fumigar con insecticidas y/o fungicidas	12500m
Z2 = Velocidad de fumigacion con insecticidas y/o pesticidas	0.514m/s
Z3 = Velocidad de fumigacion 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.*

### 3.4. Definición de requerimientos generales.

Una vez analizadas las condiciones necesarias, la máquina tiene que tener un conjunto de exigencias que se describen a continuación en una lista de características.

#### 3.4. Lista de exigencias.

Los siguientes requisitos fueron establecidos con base en los antecedentes del estudio y las necesidades particulares del cultivo de maíz, y servirán como guía para definir el diseño más apropiado de la solución.

Tabla 4 Lista de exigencias parte mecánica.

Características	Deseo o exigencia	Descripción
Funcion	E	La máquina debe moverse a una velocidad de 0.5 m/s, similar a la fumigación tradicional.
Funcion	E	El tanque debe ser lo suficientemente resistente para soportar la presión del líquido, con una capacidad mínima de 300 kg.
Funcion	E	El sistema de locomoción debe ser robusto para manejar la carga total de la máquina en las condiciones del terreno de cultivo.
Funcion	E	Las dimensiones y la estructura de la parte mecánica de la máquina deben ser apropiadas para desplazarse sin dañar los cultivos durante la fumigación, además de ser adaptables para su transporte.
Funcion	E	El sistema de aspersión debe ajustarse a la altura de las plantas de maíz, que varía entre 20 cm y 120 cm.
Funcion	E	También, el sistema debe ser configurable para aplicar insecticidas, fungicidas o herbicidas, permitiendo ajustes sin necesidad de desmontar componentes.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5 Lista de exigencias parte hidráulica.

Características	Deseo o exigencia	Descripción
Funcion	E	La máquina debe incluir una bomba hidráulica capaz de suministrar 1.5 l/min de agroquímico, garantizando una distribución uniforme a los 5 aspersores.
Funcion	E	La maquina debe de contar con mangueras y conexiones adecuadas para transportar el líquido a los aspersores de manera eficiente.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6 Lista de exigencias parte eléctrica.

Características	Deseo o exigencia	Descripción
Energía	D	La máquina debe estar equipada con baterías que proporcionen suficiente energía para una autonomía adecuada.
Funcion	E	La máquina debe ser operada mediante señales eléctricas de 5V, 12V y 24V provenientes del sistema de aspersión.
Funcion	E	El sistema debe contar con reguladores de voltaje, los sensores y actuadores deben estar conectados a un controlador.
Funcion	D	El sistema contará con reguladores de voltaje, y los sensores y actuadores estarán conectados a un controlador con capacidad de comunicación superior a 150 m.
Ergonomía	E	Las conexiones eléctricas deben ser fácilmente accesibles para facilitar cambios, reparaciones y mantenimiento.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 7 Lista de exigencias del sistema de control.

Características	Deseo o exigencia	Descripción
Funcion	D	El sistema de control debe incluir una interfaz que permita al usuario gestionar y supervisar el funcionamiento de la máquina durante la fumigación del cultivo de maíz.
Funcion	E	El sistema de control debe ser capaz de procesar las señales de los sensores y aplicar una lógica de control adecuada.
Funcion	D	El controlador debe estar en la capacidad de administrar y accionar los actuadores correspondientes para el funcionamiento adecuado sistemas de aspersión.
Funcion	D	El controlador también debe gestionar y activar los actuadores para asegurar el correcto funcionamiento del sistema de aspersión, así como controlar los actuadores que guían el desplazamiento y la orientación de la máquina en el terreno.
Funcion	E	La máquina debe contar con un sistema de seguridad para prevenir fallos en su operación.

Fuente: Elaboración propia.

### 3.5. Concepto de solución.

El diseño de la máquina se basará en las dimensiones del tanque, con el objetivo de optimizar el tiempo de fumigación. Se sugiere que la máquina esté equipada

con un tanque de 50 L de capacidad y cinco aspersores para realizar la fumigación. Esto permitirá mejorar la eficiencia del proceso.

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

#### **Cálculo de desplazamiento de la máquina con 5 aspersores:**

Dado que la máquina contará con 5 aspersores, la distancia que recorrerá se calculará dividiendo el número total de surcos (125) entre el número de aspersores (5).

$$B1 = \frac{125}{5} \times 100 = 2500 \text{ m} \quad (20)$$

#### **Cálculo de tiempo de fumigación con pesticidas y/o insecticidas**

Dado que la máquina debe tener un tanque con capacidad para 50 L y la velocidad de fumigación es de 0.514 m/s.

$$B2 = \frac{2500}{0.514 \text{ m/s} \times 60 \text{ s}} = 81 \text{ min} \quad (21)$$

El tanque tendrá una capacidad de 50 L, por lo que se calculará cuántas veces deberá detenerse la máquina para recargar el agroquímico.

$$B3 = \frac{270 \text{ l}}{50 \text{ l}} = 5.4 \quad (22)$$

El número de veces que la máquina se detendrá para recargar el tanque es de 6, redondeado. El tiempo de detención por recarga es de 10 minutos, igual que el tiempo que un trabajador emplea.

Donde

$$B4 = 6 \times 10 \text{ min} = 60 \text{ min} \quad (23)$$

En síntesis, el tiempo total requerido para que la máquina fumigue una hectárea es de aproximadamente 141 minutos.

### Cálculo de tiempo de fumigación con herbicidas

B1 representa la distancia que la máquina debe recorrer, y B6 será el tiempo necesario para que la máquina complete la fumigación en la hectárea.

$$B6 = \frac{2500m}{0.521m/s \times 60s} = 79 \text{ min} \quad (24)$$

En este caso, se deberá considerar el tiempo que la máquina necesita para detenerse y recargar el agroquímico.

$$B7 = \frac{320l}{50l} = 6.4 \quad (25)$$

Donde:

$$B8 = 7 \times 10\text{min} = 70\text{min} \quad (26)$$

En resumen, la máquina necesitará 149 minutos para fumigar un terreno de una hectárea.

*Tabla 8 Cuadro de parámetros de concepto de solución.*

Descripcion	Valor
B1 = distancia que recorre la maquina en 1 hectarea	2500m
B2 = tiempo estimado para que la maquina fumigue la hectarea de cultivo (insecticida y/o pesticida)	81min
B3 = numero de veces que tendra que detenerse la maquina para recargar el tanque (insecticida y/o pesticida)	6
B4 = tiempo total de la maquina retenido en fumigacion con (insecticida y/o pesticida)	60min
B5 = tiempo necesario para que la maquina fumigue la hectarea de cultivo (insecticida y/o pesticida)	141min
B6 = tiempo estimado para que la maquina fumigue la hectarea de cultivo (insecticida y/o pesticida sin retencion)	79min
B7 = el numero de veces que tendra que detenerse la maquina para recargar el tanque	7
B8 = tiempo total de la maquina retenido en fumigacion con (herbicida)	70min
B9 = tiempo necesario para que la maquina fumigue la hectarea de cultivo (insecticida y/o pesticida)	149

*Fuente: Elaboración propia.*

## Resumen de concepto de solución.

Tabla 9 Cuadro comparativo de tiempo de fumigación.

Item	Parametros con personal contratado	Parametros con maquina fumigadora	Diferencia de tiempos de fumigacion entre la maquina y el personal	Costo en soles de los tiempos ahorrados
	(Tiempo de trabajo para un terreno de una hectarea)			
Calculo de tiempo de fumigacion con pesticidas y/o insecticidas	6.75 horas	141 = 2.4 horas	4.35 horas	$6.25 \times 4.35 = 27.20$
Calculo de tiempo de fumigacion con herbicidas	6.67 horas	149 = 2.48 horas	4.19 horas	$4.19 \times 6.25 = 26.20$

Fuente: Elaboración propia.

En resumen, crear un tanque de 50L con 5 aspersores ayudará a disminuir notablemente el tiempo. La elaboración del equipo se fundamentará en el tamaño del tanque, y con base en su capacidad, se explorarán alternativas mediante una matriz.

### 3.6. Deermiación de posibles soluciones.

Se lograron establecer tres ideas de solución, las cuales serán expuestas a continuación.

*Tabla 10 Cuadro de posibles soluciones.*

SOLUCION 1	SOLUCION 2	SOLUCION 3
<p>La primera alternativa de solución contará con ruedas para el desplazamiento del equipo, y una estructura construida con perfiles, platinas, ángulos y ejes de acero. El tanque de agroquímico tendrá forma cilíndrica con superficies planas en ambos extremos. El sistema de aspersión será de configuración horizontal, utilizando boquillas de aspersores ajustables. Se empleará una cámara para el monitoreo, con comunicación inalámbrica mediante Wifi. El control del proceso será gestionado a través de un controlador y un procesador que transmitirá las imágenes en tiempo real.</p>	<p>La segunda alternativa de solución empleará orugas para el desplazamiento de la máquina, con una estructura fabricada de perfiles, platinas y ángulos de aluminio. Al igual que en la opción anterior, el tanque de agroquímico tendrá una forma cilíndrica con superficies planas en ambos extremos. El sistema de aspersión será de configuración horizontal y contará con boquillas de aspersores ajustables. Para el monitoreo, se utilizará una cámara industrial, y la comunicación inalámbrica se gestionará mediante un módulo ETH-iBUS. El proceso completo estará controlado por un Controlador Lógico Programable (PLC).</p>	<p>La tercera opción de solución empleará ruedas para el desplazamiento de la máquina, con una estructura construida a partir de perfiles, platinas, ángulos y un eje de acero. El tanque de agroquímicos tendrá una forma cápsula, con superficies circulares en ambos extremos. El sistema de aspersión será vertical y contará con rociadores de plástico. Para el monitoreo, se utilizará una cámara web y la comunicación inalámbrica se gestionará a través de un módulo RF. El control total del proceso será realizado por un procesador digital de señales (DSP).</p>

*Fuente: Elaboración propia.*

## 3.7. Determinación del proyecto.

Tabla 11 Evaluación de conceptos de solución (Valor técnico).

Tesis: Diseño de máquina autónoma de fumigación con cuatro ruedas para reducir exposición a pesticidas en cultivos de maíz.										
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	Funcion	9	3	27	2	18	3	27	4	36
2	Confiabilidad	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	Fabricacion	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 maximo GP			231		176		215		308	
Valor tecnico			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 12 Evaluación de conceptos de solución (Valor económico).

Tesis: Diseño de máquina autónoma de fumigación con cuatro ruedas para reducir exposición a pesticidas en cultivos de maíz.										
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	
Nº	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	2	18	4	24
Puntaje maximo GP			117		95		100		156	
Valor economico			0,75		0,61		0,64		1	
$x_1 = \frac{g1 \cdot p1 + g2 \cdot p2 + \dots + gn \cdot pn}{(g1 + g2 + \dots + gn) \cdot pmax}$										

Fuente: Elaboración propia.

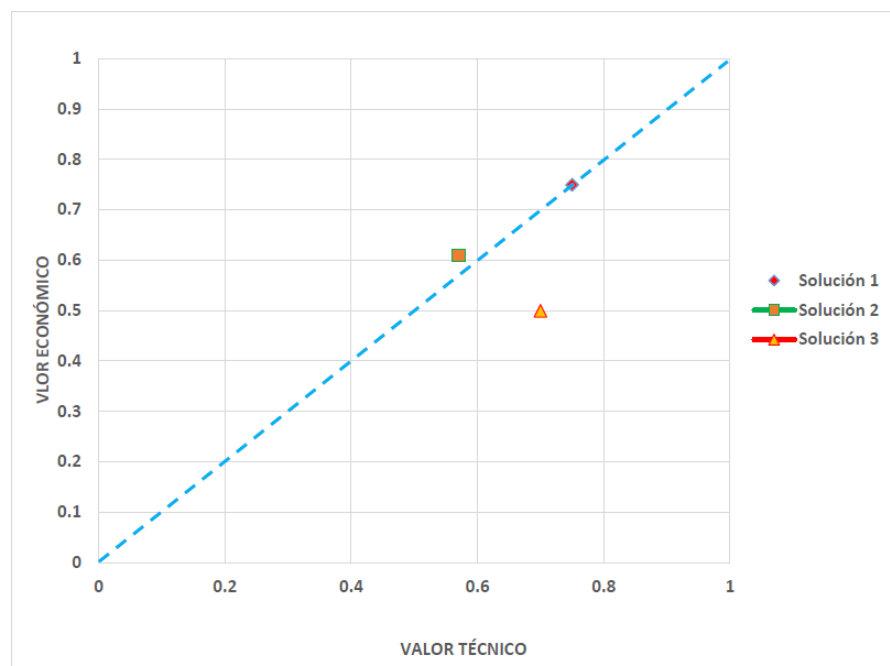


Ilustración 7 Diagrama de evaluación técnico – económico.

En el diagrama mostrado, se realiza una evaluación técnica y económica conforme a la norma VDI 2225, determinando que la alternativa que más se asemeja a la ideal es la opción uno. Así, esta será tratada como la solución más adecuada y se avanzará en su desarrollo.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Análisis y diseño de la máquina.

El desarrollo del sistema iniciará con el aspecto mecánico, donde las medidas de la máquina se establecerán, en su mayor parte, de acuerdo con la capacidad del depósito destinado al agroquímico.

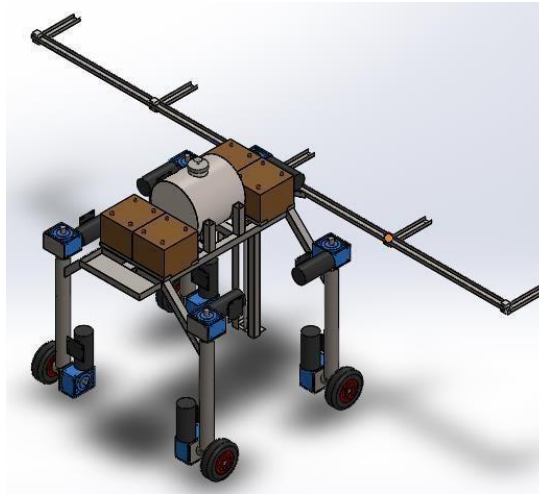
### 4.2. Análisis y diseño del sistema mecánico.

El diseño y evaluación del sistema mecánico de la máquina abarca las siguientes partes:

*Tabla 13 Componentes del sistema mecánico.*

BASE MÓVIL	ESTRUCTURA	SISTEMA DE ASPERSIÓN
Esta parte alberga los actuadores principales de las ruedas y los componentes del sistema de desplazamiento.	Aquí se encuentran las baterías, el tanque, las tarjetas de control y potencia, los sensores, la bomba electrohidráulica, la cámara y el cableado eléctrico.	Este sistema consiste en el tanque y un eje deslizante donde se ubican las electroválvulas, los sensores y las boquillas de los aspersores.

*Fuente: Elaboración propia.*



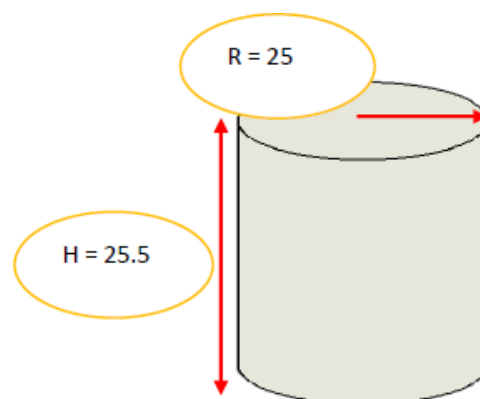
*Ilustración 8 Diseño del sistema mecánico.  
Fuentes: Elaboración propia.*

#### 4.2. Definición de la solución óptima del tanque.

Se ha concluido que el diseño más adecuado para la máquina es el cilíndrico. Por razones de ergonomía y estructura.

#### 4.2. Materiales para la fabricación del tanque.

Dado que el tanque contendrá agroquímicos líquidos y se moverá constantemente, el material elegido debe ser fuerte, ligero y compatible con los productos químicos, evitando reacciones al entrar en contacto con ellos.



*Ilustración 9 Tanque de la máquina.  
Fuentes: Elaboración propia.*

Tabla 14 Materiales metálicos.

	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: <https://repositorio.urp.edu.pe/handle/20.500.14138/403>

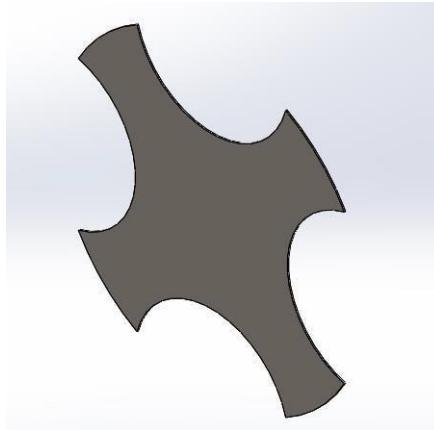
Tras evaluar los materiales metálicos, se determinó que el acero inoxidable AISI 316 es la mejor opción para fabricar el tanque debido a su resistencia a la corrosión, su capacidad de ser moldeado en frío y su buena soldabilidad. Estas propiedades lo hacen ideal para cumplir con los requisitos del tanque. Además, el acero inoxidable AISI 316 no presenta problemas de interacción con los agroquímicos, ya que no reacciona con ellos. A continuación, se presentará un cuadro comparativo con las características del tanque. [2]

#### 4.2. Diseño y ubicación de rompeolas.

Una vez determinadas la forma y dimensiones del tanque, se procederá al diseño de rompeolas. Aunque la máquina se moverá a una velocidad de 0.5 m/s, que no es alta, se optará por incorporar rompeolas como medida de prevención.

#### **Función de los rompeolas**

Los rompeolas son estructuras internas del tanque diseñadas para disminuir el movimiento del líquido. Su objetivo principal es reducir las oscilaciones del fluido, mejorando la estabilidad del tanque durante su desplazamiento. Al añadirlos, se crean varios compartimentos dentro del tanque, pero estos no deben estar completamente sellados, por lo que se realizan perforaciones para permitir la circulación del fluido entre los compartimentos [3].



*Ilustración 10 Diseño del tanque de la máquina con rompeolas.  
Fuentes: Elaboración propia.*

Para determinar la ubicación de cada rompeolas, se resta la altura total del tanque con los espesores tomados en cuenta y se divide por la cantidad de secciones. Así, se obtiene que la distancia entre rompeolas será de 13.04 cm.

$$T = \frac{399.2 - 8}{3}$$

$$T = 130,4 \quad (27)$$

### **Soldadura del tanque**

Se empleará el método TIG (Gas Inerte de Tungsteno) debido a su excelente funcionamiento con acero inoxidable. El electrodo de tungsteno tendrá un tamaño de 1/16.

### **Estructura de la máquina.**

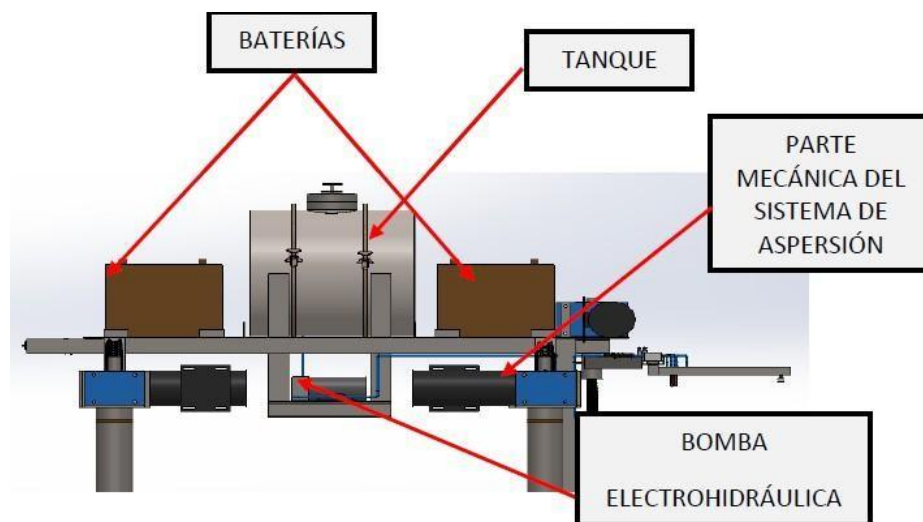
La estructura de la máquina es fundamental, ya que debe soportar el peso del tanque con agroquímicos, los motores, las baterías y otros componentes importantes. Al diseñarla, es crucial elegir el material adecuado, ya que esto influye en los cálculos estructurales. Se ha seleccionado el acero ASTM-36 para su construcción, como se muestra en la Tabla 14. La estructura se compondrá de diversas partes.

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

Estará compuesto por platinas y tubos rectangulares soldados, formando una estructura robusta. Para dimensionar adecuadamente esta estructura, es esencial tener en cuenta todos los componentes que se montarán sobre ella. A continuación, se identifican y ubican los elementos que serán instalados en el soporte.

### La parte mecánica del sistema de aspersión

Es esencial considerar el peso del tanque, que asciende a 37.481 kg, al establecer el diseño de la estructura. Este factor es crucial porque el tanque se situará en el extremo de la estructura. Después de identificar todos los componentes, se determinarán sus ubicaciones en la estructura, teniendo en cuenta las dimensiones de cada parte.



*Ilustración 11 Ubicación de los elementos sobre la estructura de la máquina.  
Fuentes: Elaboración propia.*

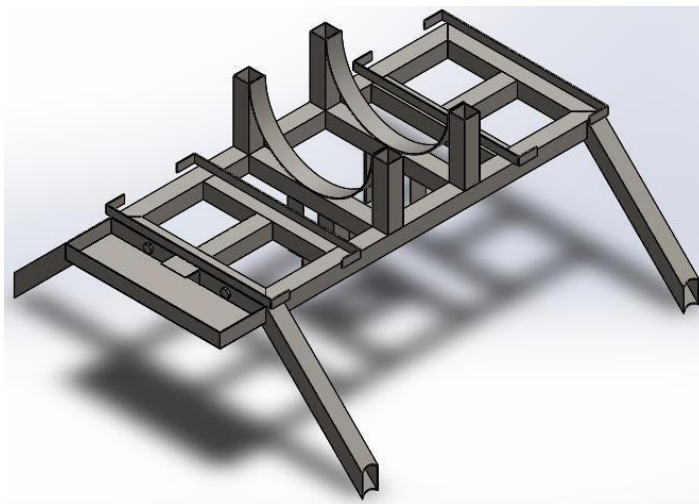
## Tabla con pesos para análisis de esfuerzos

Tabla 15 Peso que soportara la máquina.

ítem	Elemento	Cantidad	Peso unitario	Masa Total
1	Baterías	4	39,8 kg	159,2 kg
2	Masa del agroquímico	1	50 kg	50 kg
3	Masa de estructura de tanque y baterías y estructura del sistema de aspersión.	1	74,1 kg	74,1 kg
4	Masa del motor de tornillo sin fin del sistema de aspersión.	1	15 kg	15 kg
6	Masa de la bomba de agua	1	1.3 kg	1.3 kg
Masa total del sistema				299,6 kg

Fuente: Elaboración propia.

Después del análisis correspondiente, la estructura de soporte de la maquina es la siguiente:



*Ilustración 12 Estructura de la máquina para soporte de baterías, tanque contenedor, sistema de aspersión.*

*Fuentes: Elaboración propia.*

Las uniones de la estructura se harán con soldaduras de filete de 3/16 utilizando el electrodo AWS E7018. Este electrodo es adecuado para el acero que se empleará. Para la fabricación de la estructura, se ha seleccionado acero ASTM A-36, conocido por su excelente capacidad de soldadura y su composición química simple, lo que lo hace ideal para este tipo de construcciones.

### **Soldadura de la estructura**

Todas las partes de la máquina que requieran uniones por soldadura, excepto el tanque, se unirán mediante soldadura por arco eléctrico. Este proceso utiliza un electrodo que se funde al crear un arco eléctrico, fusionando los extremos de las piezas a través del calor generado. El espesor del filete será de 3/16, adecuado para el peso que soportará esa sección de la máquina. Se utilizará el electrodo AWS E7018.

### **Diseño del sistema mecánico de aspersión:**

Para lograr la meta de reducir el tiempo de rociado y la exposición a pesticidas, se ha creado un sistema de pulverización que cuenta con cinco rociadores. Este sistema puede modificarse en altura para ajustarse al desarrollo de los cultivos y está diseñado para aplicar herbicidas, fungicidas y pesticidas de forma efectiva. La selección de aspersores adecuados es esencial; se deben considerar factores como el caudal, el diámetro y la presión de operación, así como el tipo de cultivo y las características del terreno. Además, es importante evaluar el índice de gotas y la uniformidad de la precipitación para garantizar una distribución óptima del agroquímico. La elección de aspersores debe basarse en el tamaño del área a

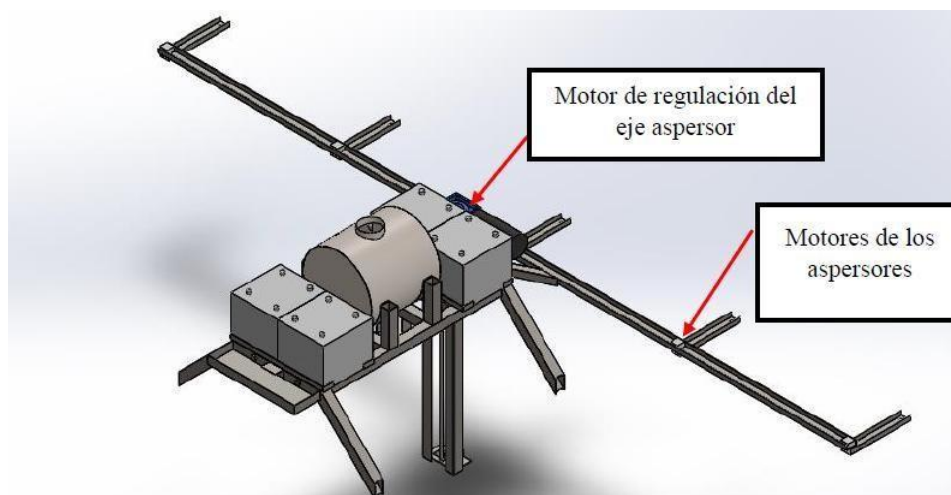
cubrir, recomendándose aspersores de mayor alcance para superficies extensas y aspersores más pequeños para áreas reducidas. [4].

### **Análisis y diseño del mecanismo de transmisión de fuerza:**

Después de considerar varias alternativas para la regulación de ubicaciones mediante la transmisión de potencia, se ha optado por un mecanismo que se integra por una tuerca con hilos tipo Acme y un eje que tiene hilos en el exterior con el mismo diseño. Este diseño permite regular la posición de manera eficiente y precisa, aprovechando las ventajas del perfil Acme, que es comúnmente utilizado en aplicaciones que requieren la conversión de movimiento rotacional en lineal y la transmisión de cargas significativas. [5].

### **Ensamblaje del sistema de aspersión:**

Una vez determinadas las dimensiones y la disposición del sistema de aspersión, se procede a integrar su parte mecánica en la estructura de soporte de la máquina. Este proceso implica ensamblar componentes como los aspersores, sistemas de ajuste y otros accesorios, garantizando su funcionalidad y estabilidad durante las operaciones de fumigación. La correcta instalación y alineación de estos elementos son esenciales para lograr una distribución eficiente de los agroquímicos y minimizar el tiempo de aplicación.



*Ilustración 13 Vista isométrica del ensamblaje del sistema de aspersión en la estructura de la máquina.*

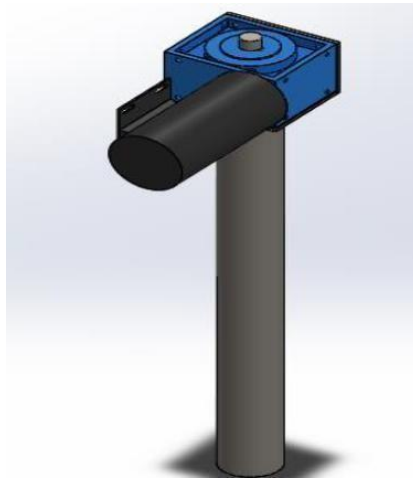
*Fuentes: Elaboración propia.*

### 4.3. Base móvil de la máquina.

La base móvil de la máquina incorpora dos mecanismos principales: el primero permite la orientación del equipo en el terreno de cultivo, mientras que el segundo facilita su desplazamiento hacia adelante y hacia atrás.

#### 4.3. Diseño de mecanismo para la orientación de la maquina por medio de las ruedas.

Después de finalizar el diseño mecánico de la sección inicial y llevar a cabo los análisis necesarios de acuerdo a los requerimientos originales, se determinó que la solución más adecuada para esta parte de la máquina es un mecanismo de orientación vertical. Este mecanismo no solo guía la dirección de la máquina en el terreno de cultivo, sino que también sirve como soporte estructural para el conjunto [6].

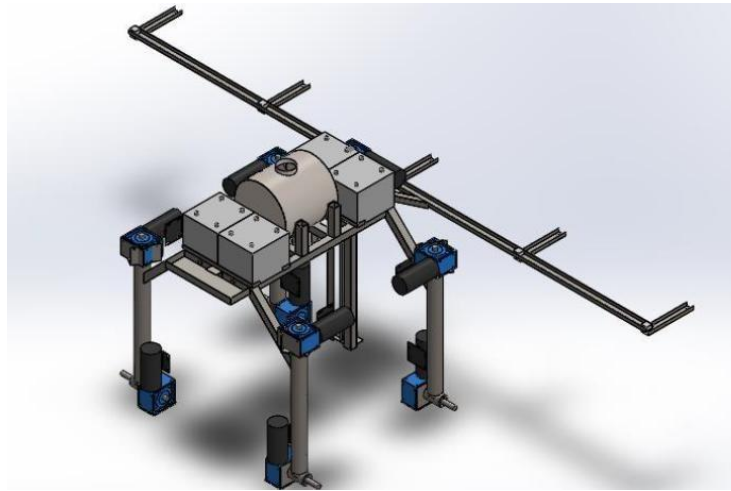


*Ilustración 14 Mecanismo de la maquina con su motor.  
Fuentes: Elaboración propia.*

Ya completado el diseño mecánico de la primera sección de la máquina y tras realizar los análisis pertinentes, se identificó la solución más adecuada para esta parte del equipo. La Figura 35 ilustra el ensamblaje de las piezas que, al unirse, conforman el sistema mecánico de la máquina hasta la fase de orientación.

#### 4.3. Diseño de mecanismo para desplazamiento de la maquina por medio de las ruedas.

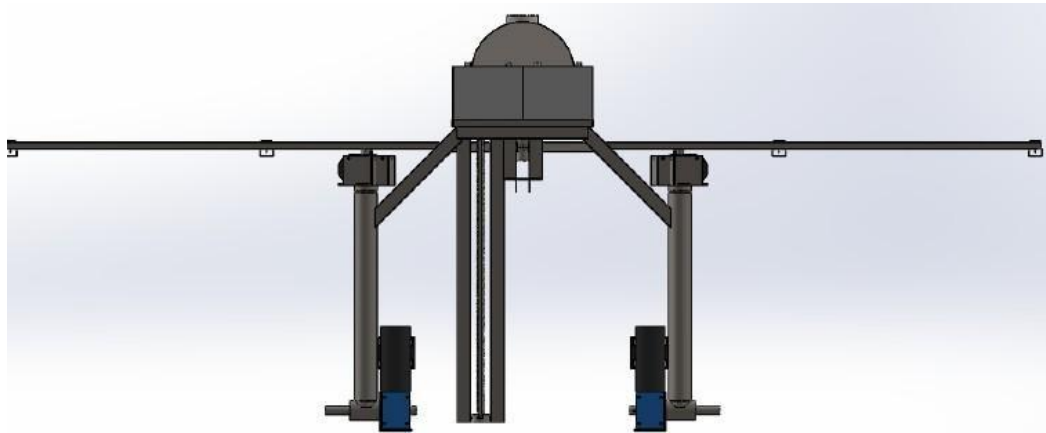
La máquina se desplazará utilizando cuatro motores, cada uno conectado a una rueda mediante un eje. Para su movimiento, se diseñará una base que fijará los motores, integrando un sistema con rodamientos y ejes que permitirá que las ruedas giren impulsadas por los motores [7].



*Ilustración 15 Mecanismo de la maquina fumigadora.  
Fuentes: Elaboración propia.*

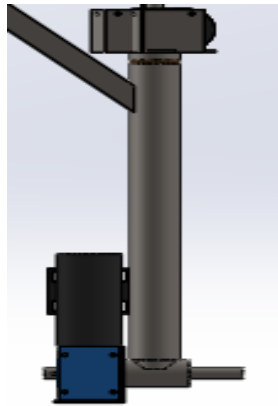
La máquina se desplazará mediante ruedas, pero el movimiento generado por el motor se transfiere a las ruedas a través de un conjunto de componentes mecánicos. Estos componentes se encuentran dentro de un cilindro, y su trabajo conjunto hace posible que el eje gire junto con la rueda, lo que ayuda a que funcione correctamente. A continuación, se detalla cada parte que participa en este mecanismo de transmisión.

### Sistema mecánico para el rodamiento de la rueda de la máquina.



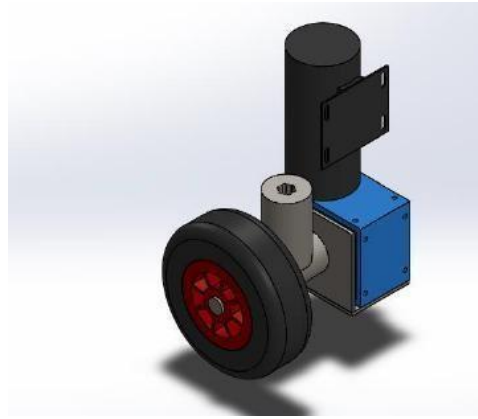
*Ilustración 16 Mecanismo para el desplazamiento de la máquina.  
Fuentes: Elaboración propia.*

Como se puede ver en la Figura 16, el tubo de metal contiene dos rodamientos sostenidos por una base que ha sido mecanizada. Las dimensiones exactas del eje y de los rodamientos se encuentran especificadas en los anexos.



*Ilustración 17 Mecanismo de locomoción de la máquina.  
Fuentes: Elaboración propia.*

Se muestra una vista isométrica del sistema mecánico de la máquina, donde se aprecia la conexión entre el motor y la rueda mediante un eje. Esta transmisión es posible gracias a dos rodamientos instalados dentro de un tubo. Las especificaciones de las ruedas se explicarán más adelante.



*Ilustración 18 Vista isométrica del sistema de locomoción de la máquina.  
Fuentes: Elaboración propia.*

#### 4.3. Actuadores.

##### **Actuadores para el sistema de aspersión**

Se utilizará principalmente para dos propósitos: aplicar herbicidas para eliminar malezas y utilizar pesticidas o fungicidas para controlar plagas y enfermedades. Será necesario regular dos mecanismos específicos para estas funciones.

##### **Regulación de la posición de las boquillas de los aspersores**

Como se mencionó anteriormente, la máquina estará equipada con cinco aspersores montados sobre una platina controlada por un motor. Para seleccionar el motor adecuado, se realizaron cálculos que permitieron definir los requisitos necesarios para mover la platina de manera efectiva.

##### **Actuadores para el desplazamiento de la máquina**

Se utilizan distintos tipos de actuadores, como los neumáticos, hidráulicos y eléctricos, dependiendo de la aplicación específica. Para la mayoría de los casos, los actuadores eléctricos, especialmente los motores, son los más frecuentes. Por ello, se realizará un análisis para elegir el motor más adecuado, considerando ciertos parámetros fundamentales.

### Selección de rueda.

Después de estudiar diferentes alternativas de ruedas y considerar las características del suelo, se determinó que la rueda de goma es la más apropiada para los campos de maíz, con medidas de 39 cm de diámetro y 8.5 cm de ancho.

Se llevaron a cabo los cálculos siguientes: cálculo de la velocidad lineal de la máquina, velocidad angular, voltaje de los motores, torque del motor, potencia y corriente en suelos planos, que se pueden encontrar en los anexos.

*Tabla 16 Parámetros de motores para desplazamiento en superficies planas.*

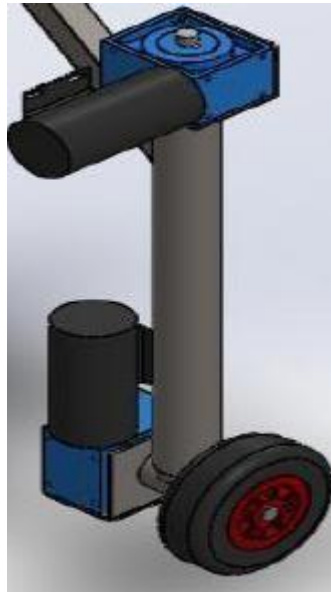
<b>Características de motores eléctricos para la maquina (desplazamiento)</b>				
Cantidad	Descripción (eventos)	Voltaje	Potencia	Corriente
2	Motor de la parte delantera de la máquina superficie plana	24 V	P = 579,6 W	I = 24,14 A
	Motor de la parte delantera de la máquina	24 V	P = 655,95 W	I = 27,33 A

2	Motor de la parte trasera de la máquina superficie plana	24 V	P = 632,93 W	I = 26,37 A
	Motor de la parte trasera de la máquina superficie inclinada	24 V	P = 706,412 W	I = 29,43 A

*Fuentes: Elaboración propia.*

### Actuadores para la orientación de la máquina

Para orientar la máquina en el área de trabajo, se utilizarán motores eléctricos instalados horizontalmente a unos 100 cm de altura, a los que se les acoplará un eje vertical para facilitar el movimiento.

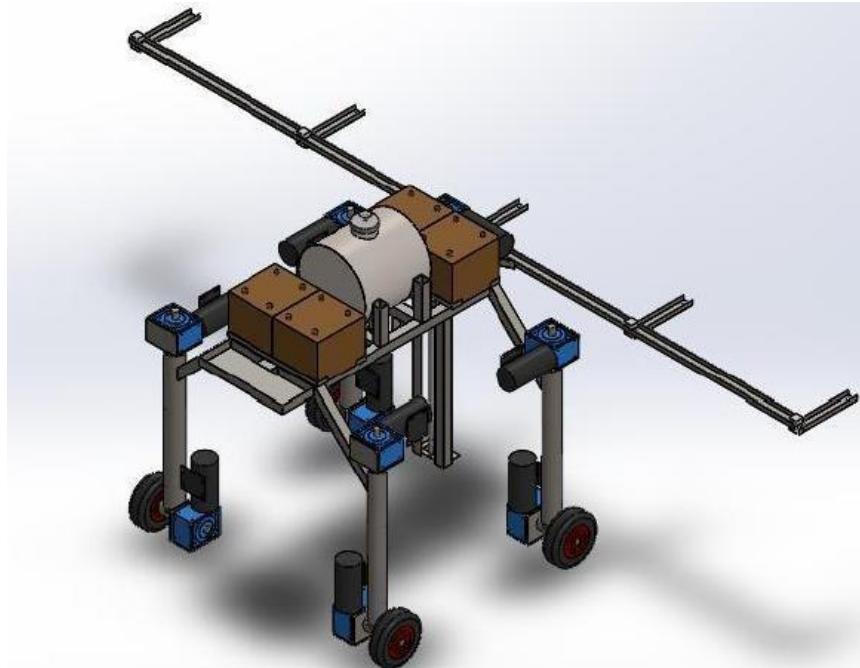


*Ilustración 19 Ubicación del motor que realizará la orientación al motor.*

*Tabla 17 Parámetros eléctricos de los motores para orientación de la máquina.*

<b>Características de motores eléctricos para la máquina (orientación)</b>				
Cantidad	Descripción	Voltaje	Potencia	Corriente
2	Motor de la parte delantera de la máquina superficie plana.	24 V	P = 539,5 W	I = 22,47 A
	Motor de la parte trasera de la máquina superficie inclinada.	24 V	P = 741,3 W	I = 30,90 A

*Fuentes: Elaboración propia.*



*Ilustración 20 Diseño de la máquina con todas sus piezas mecánicas implementadas.*

*Fuentes: Elaboración propia.*

#### 4.4. Sistema hidráulico de la máquina.

El sistema hidráulico de la máquina incluirá una motobomba. Un factor crucial es el caudal, que determinará la cantidad de líquido que debe fluir a través de las mangueras para alimentar los 5 aspersores. El caudal se calcula usando la siguiente fórmula:

$$c = \frac{v}{t} \quad (32)$$

El caudal se calculará según el tipo de agroquímico, realizando los cálculos para fungicidas y herbicidas.

#### 4.4. Cálculo de caudal para fumigación con fungicidas.

$$c = \frac{270 \text{ l}}{219 \text{ min}} \quad (33)$$

$$c = 1,23 \text{ L/min} \quad (33)$$

$$c = \frac{1,23 \text{ l/min}}{5} \quad (34)$$

$$c = 0,24651 \text{ l/min} \quad (34)$$

#### 4.4. Cálculo de caudal para fumigación con herbicidas.

$$c = \frac{320 \text{ l/min}}{201} \quad (35)$$

$$c = 1,59 \text{ L/min} \quad (35)$$

De igual manera esta cantidad de caudal se va a dividir entre los 5 aspersores

$$c = \frac{1,591 \text{ l/min}}{5} \quad (36)$$

$$c = 0,318 \text{ l/min} \quad (36)$$

Los parámetros calculados son clave para elegir la bomba hidráulica, que debe ser capaz de bombear entre 1.231 L/min y 1.591 L/min. Además, el volante eléctrico necesario para energizarla debe operar a 24 V.

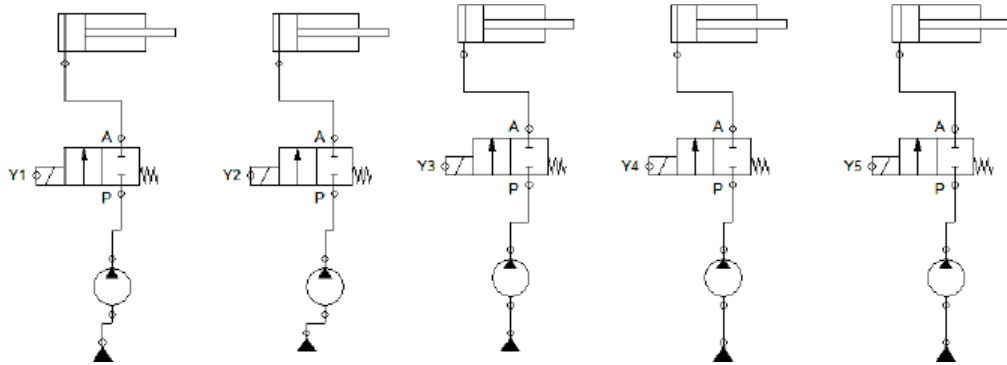
#### Configuración y conexión de los componentes del sistema hidráulico de la máquina.



*Ilustración 21 Sistema hidráulico de la máquina fumigadora.  
Fuentes: Elaboración propia.*

## Parte hidráulica

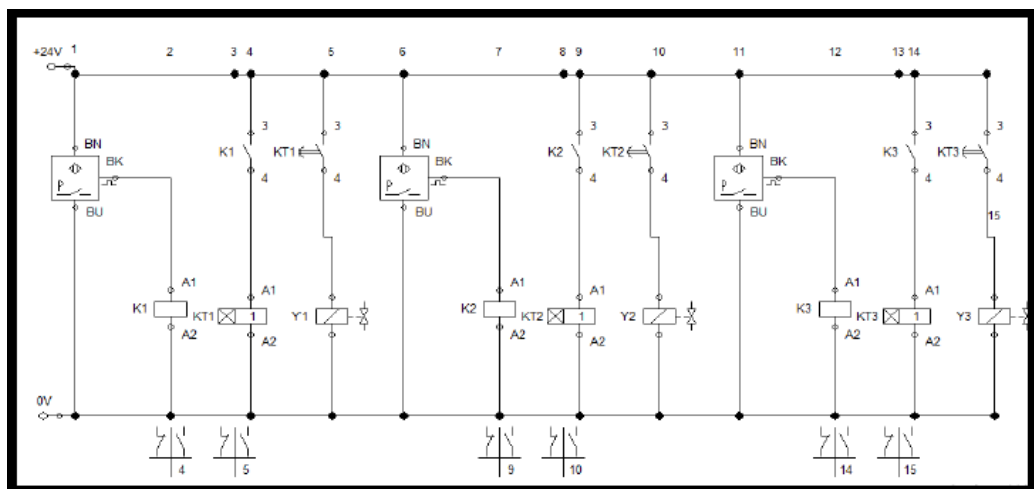
Las válvulas eléctricas que se emplearán serán de tres vías y dos posiciones, y su activación se realizará a través de un relé.

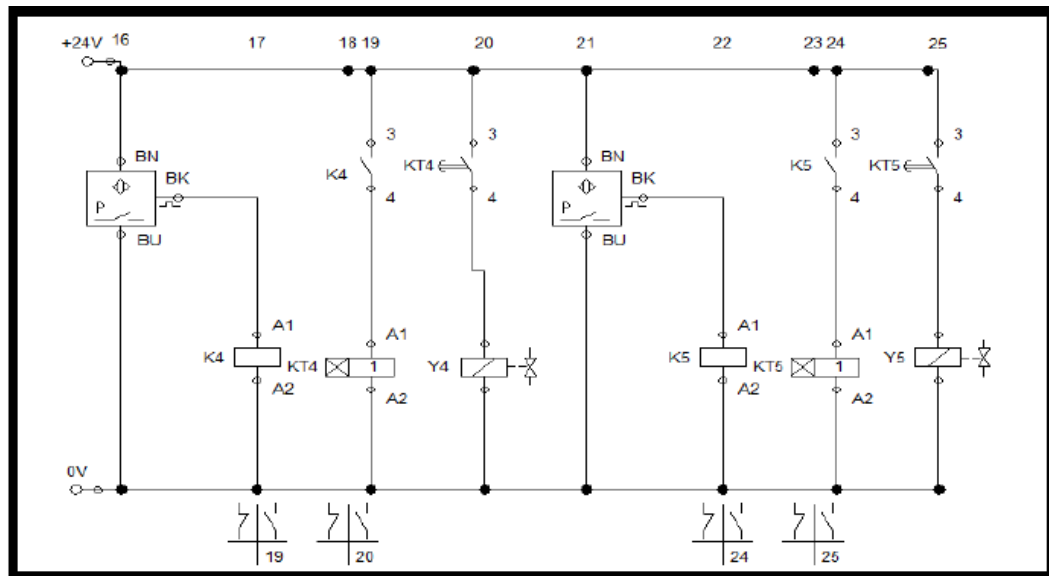


*Ilustración 22 Sistema hidráulico del sistema de aspersión de la máquina.  
Fuentes: Elaboración propia.*

## Parte eléctrica.

En el sistema de electricidad se emplearán 24 V para proporcionar energía al circuito y a los temporizadores, todos utilizando corriente directa.





*Ilustración 23 Sistema eléctrico del sistema de aspersion de la máquina.  
Fuentes: Elaboración propia.*

#### 4.4. Montaje del sistema hidráulico.

El ensamblaje del sistema hidráulico de la máquina se detalla en el anexo. Las conexiones hidráulicas se realizan con mangueras de polietileno fijadas a la estructura, cuyo diámetro interno es de 5 mm. El fluido se distribuye mediante racores en configuraciones T y L.

#### 4.5. Sistema eléctrico.

Incluye varios elementos para transportar y distribuir energía a los componentes del sistema de control. Todos los componentes reciben la energía desde un único punto de distribución, que en este caso serán una serie de bornes [9].

El sistema de distribución requiere que los bornes suministren energía de manera confiable a todos los sistemas eléctricos, evitando interrupciones. Debido a que la máquina estará expuesta al agua y al polvo, los bornes se ubicarán estratégicamente a la altura de las baterías para reducir su exposición. Esta disposición asegura una distribución eficiente y segura de la energía, garantizando el buen funcionamiento de la máquina [10].

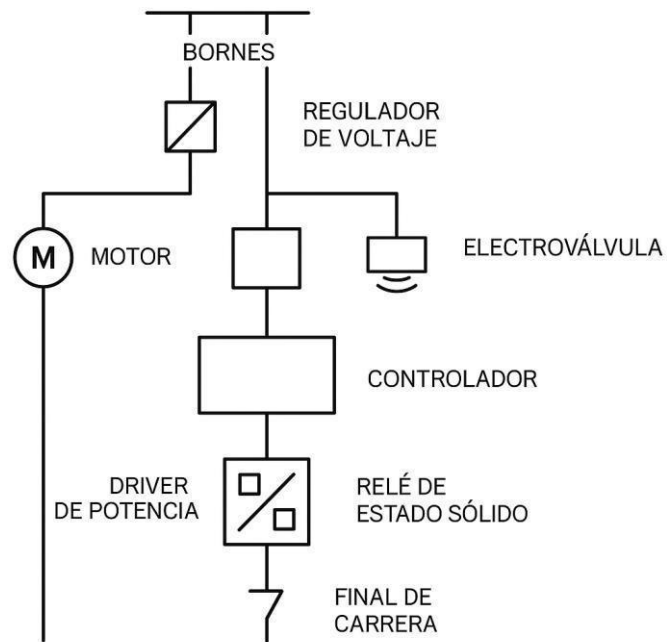


Ilustración 24 Diagrama unifilar.

#### 4.5. Cálculo de consumo de corriente de la máquina.

Tabla 18 Consumo de corriente de la máquina fumigadora.

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

Fuentes: Elaboración propia.

Las corrientes de la tabla corresponden a los valores máximos instantáneos generados en el sistema eléctrico de la máquina. La duración de las baterías depende del tiempo de operación de la máquina, que se estima en 2 horas de funcionamiento continuo. Para cumplir con este requisito, se debe calcular la capacidad adecuada de la batería en Amperios-Hora (Ah).

$$Ah = T \times At$$

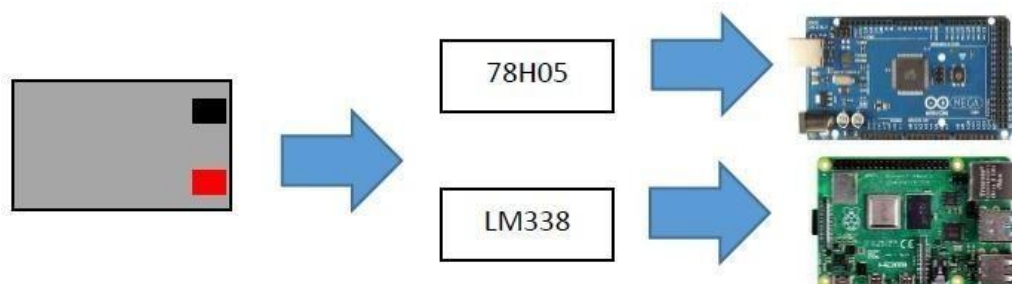
$$Ah = 1,22 \text{ hora} \times 332 \text{ A}$$

$$Ah = 438,24 \text{ A/h}$$

Las baterías deben ser capaces de suministrar al menos 438,24 Ah para abastecer adecuadamente los componentes. Como cada batería tiene una capacidad de 130 Ah, se instalarán cuatro baterías en la máquina, lo que proporcionará una capacidad total de 520 Ah.

#### 4.5. Reguladores de tensión.

En una primera fase, se regulará de 24 V a 12 V utilizando un circuito integrado LM7812TV. Es crucial obtener un voltaje de salida preciso, ya que cualquier desviación puede afectar el rendimiento de los dispositivos y el funcionamiento de la máquina. Para garantizar esta precisión, se utilizarán reguladores de voltaje ajustables, capaces de proporcionar un rango de 1 V a 24 V. Tras revisar opciones, se ha seleccionado el regulador ajustable LM338 por sus características adecuadas.



*Ilustración 25 Estructura de la conexión.  
Fuentes: Elaboración propia.*

## Distribución del sistema de alimentación

Con el fin de garantizar que la máquina opere de manera eficiente, se segmentará la energía de las baterías en dos partes.

Sección 1: Parte trasera de la máquina.

Esta sección está conformada por una batería de 24 V que, mediante un interruptor, distribuye energía a cinco motores ubicados en la parte posterior. Estos motores se encargan de generar la tracción necesaria para el desplazamiento del equipo.

Sección 2: Parte delantera de la máquina.

De manera similar, esta sección emplea una batería independiente de 24 V para alimentar otros cinco motores situados en la parte delantera. Junto con los traseros, permiten un movimiento coordinado y estable a lo largo de los surcos del cultivo.

### Esquema eléctrico.



Ilustración 26 Esquema eléctrico de la máquina.

Fuentes: Elaboración propia.

#### **4.6. Sistema de control.**

El programa de control está compuesto por una serie de indicaciones que facilitan la ejecución de funciones determinadas en un sistema., y gracias al avance tecnológico, se ha vuelto más completo, compatible e intuitivo. En este estudio, su objetivo principal será permitir que el usuario gestione y controle la máquina a través del envío de información.

El objetivo es establecer un protocolo de comunicación eficiente entre la máquina y el usuario, utilizando una laptop con Windows o una Tablet con Android. El software debe ser fácil de usar, configurar y seguro, minimizando fallos y errores. Además, su diseño debe ser comprensible, sin necesidad de capacitación constante, y adaptable al entorno de trabajo.

##### **Esquema de vídeo**

Funcionará con el sistema eléctrico de la máquina, facilitando la recolección y el envío inmediato de información, así como el tratamiento de las señales del Arduino. Para evitar interferencias, se sugiere que la cámara y el procesador sean del mismo fabricante y modelo. También es importante tener en cuenta la fuente de energía disponible para asegurar un rendimiento estable [11].

Diagrama de control de funcionamiento de la máquina.

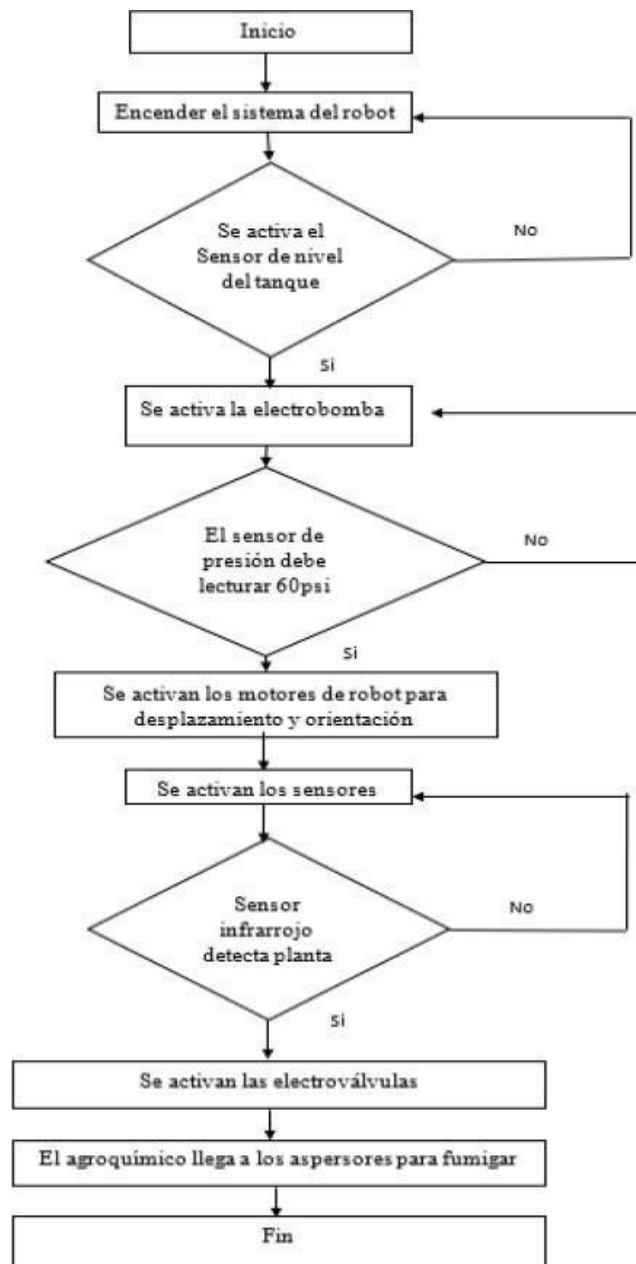


Ilustración 27 Diagrama del sistema de control de la máquina.  
Fuentes: Elaboración propia.

## Entorno de Operación de la Máquina desde una Computadora Portátil

El operador podrá controlar la máquina desde una computadora portátil con una aplicación en Python instalada. La máquina estará equipada con una Raspberry Pi que ejecutará Raspbian, el cual incluye Python por defecto. La programación que permite su funcionamiento estará en la Raspberry Pi, que se conectará a una red Wi-Fi .

La computadora tendrá una interfaz gráfica desarrollada con Tkinter, que permitirá al usuario teleoperar la máquina y ver las imágenes capturadas en vivo. Así, la computadora funcionará como un panel de control remoto, permitiendo interactuar con la máquina desde una ubicación segura. A continuación, se presenta gráficamente el proceso de teleoperación.

A continuación, se describe de forma gráfica el proceso de teleoperación de la máquina.

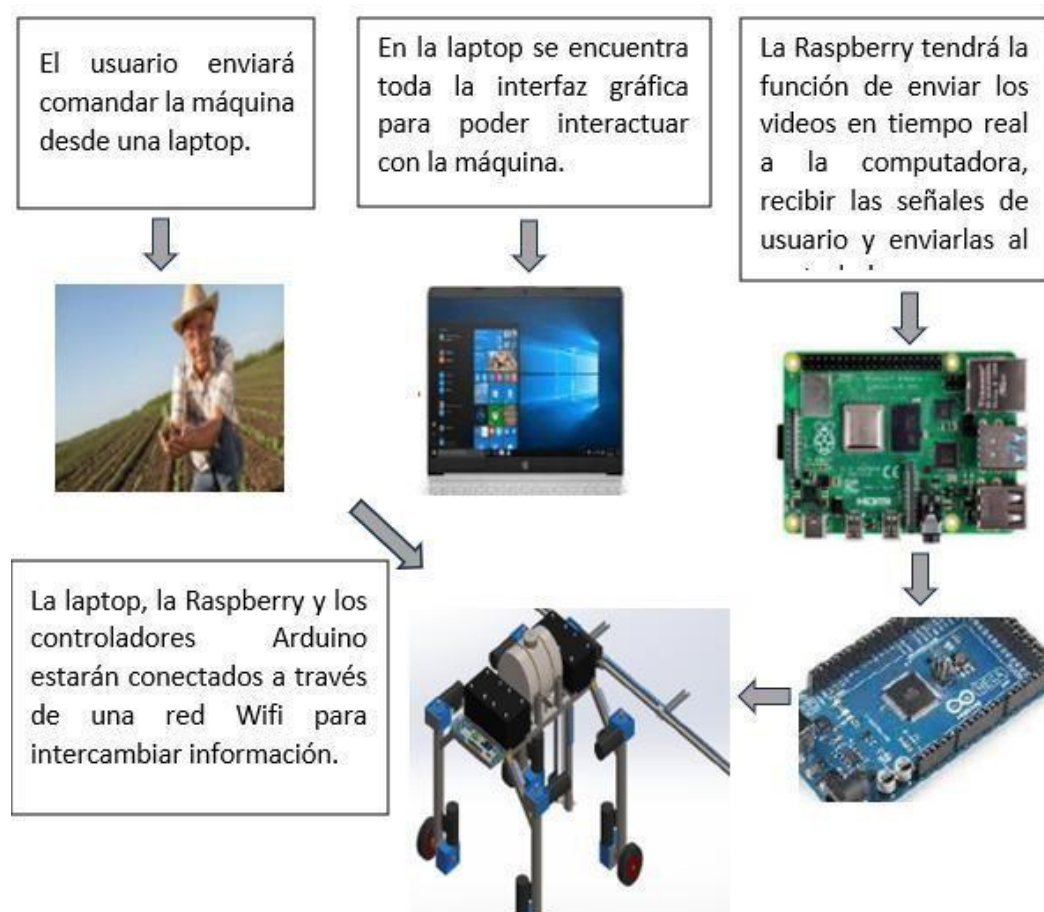


Ilustración 28 Proceso de teleoperación de la máquina.

Fuentes: Elaboración Propia

### Interfaz gráfica en la laptop.



Ilustración 29 Interfaz de la máquina.  
Fuentes: Elaboración propia.

#### 4.7. Simulaciones de la máquina.

Para validar el diseño de las secciones expuestas a esfuerzos constantes, se mostrarán las simulaciones correspondientes realizadas en SolidWorks.

#### 4.7. Simulación del soporte del tanque y las baterías de la máquina.

Estará expuesto a esfuerzos constantes, por lo que se presentan las simulaciones basadas en los cálculos previos. En estas simulaciones se han considerado los elementos involucrados y sus respectivos pesos.

Tabla 19 Peso de los elementos que estarán sobre la estructura.

Ítem	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

Fuentes: Elaboración propia.

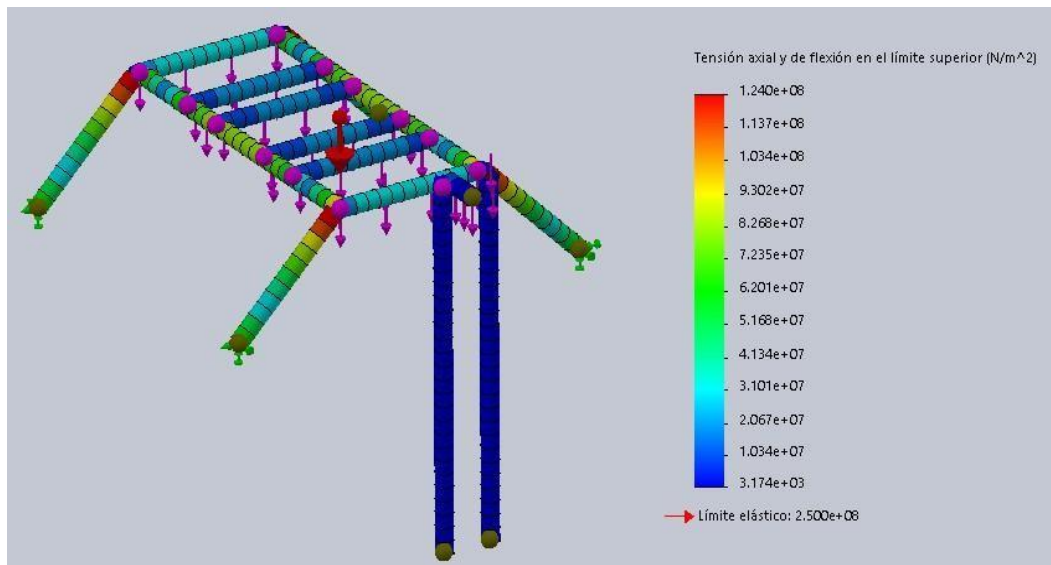
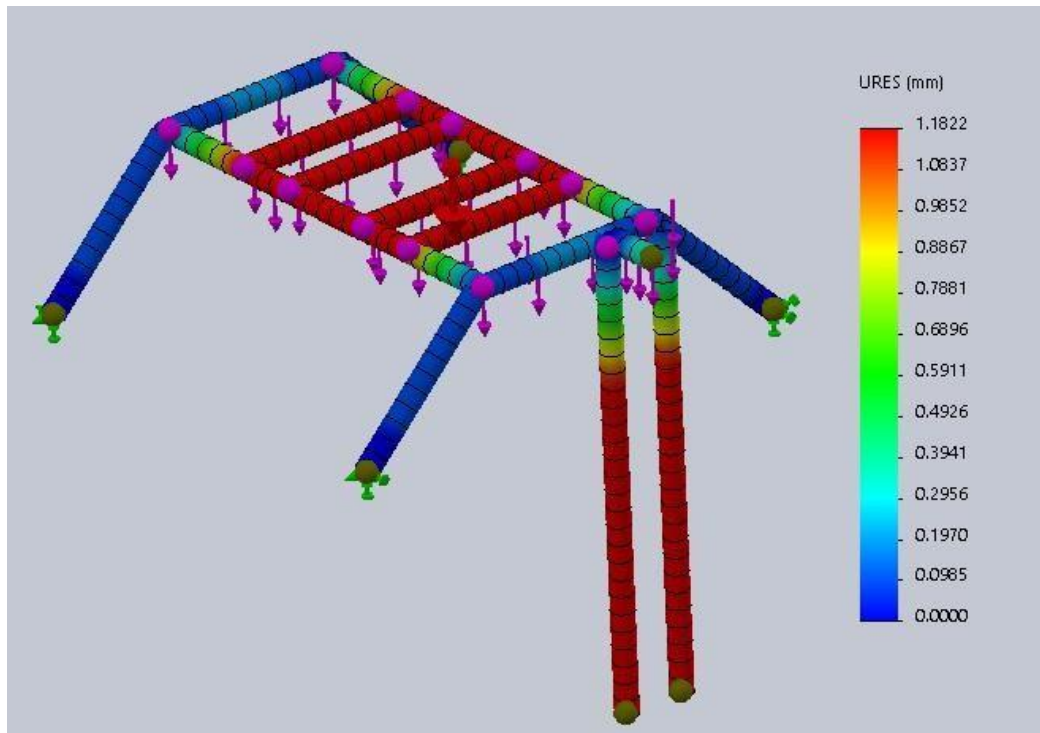
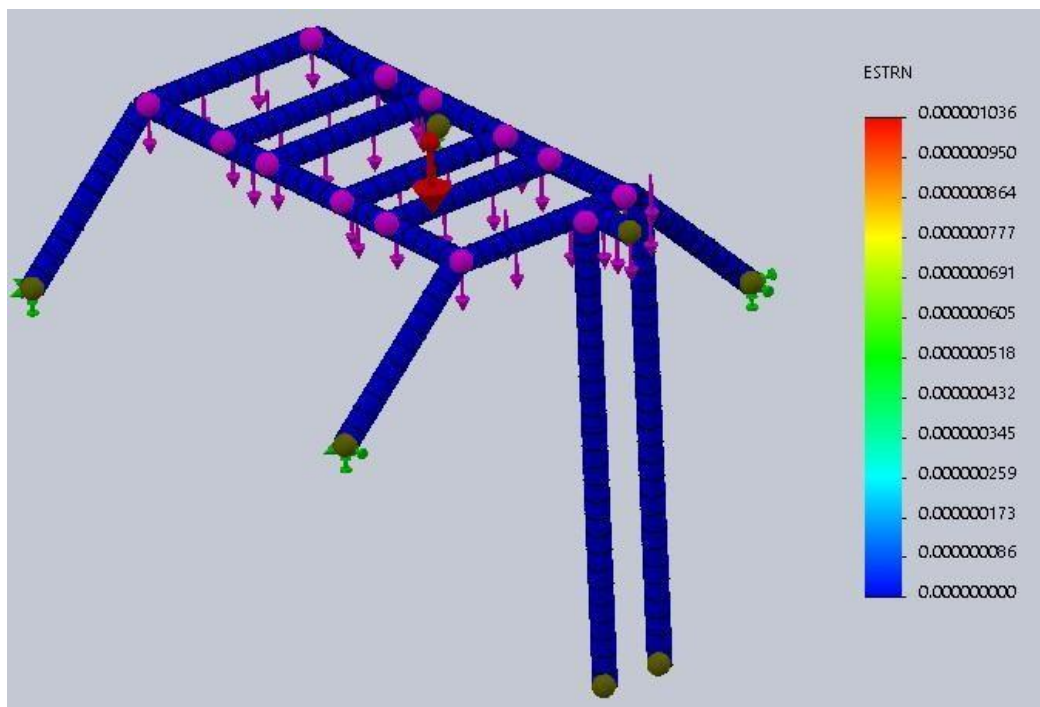


Ilustración 30 Simulación de la estructura de la máquina.

Fuentes: Elaboración propia.



*Ilustración 31 Deformación del soporte del tanque y de las baterías.  
Fuentes: Elaboración propia.*



*Ilustración 32 Deformación unitarias del soporte del tanque y de las baterías.  
Fuentes: Elaboración propia*

#### 4.7. Simulación del eje horizontal.

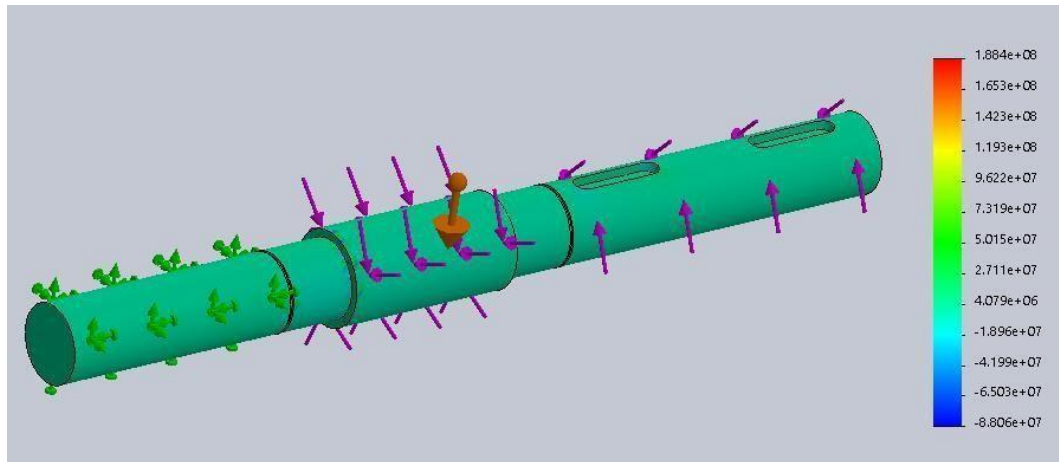


Ilustración 33 Simulación del eje horizontal.

Fuentes: Elaboración propia.

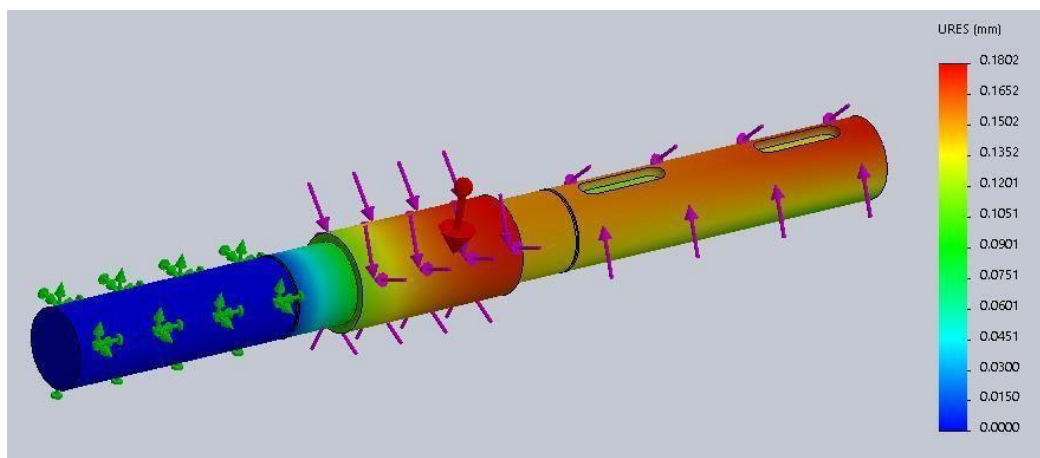


Ilustración 34 Deformación del eje horizontal de la máquina.

Fuentes: Elaboración propia.

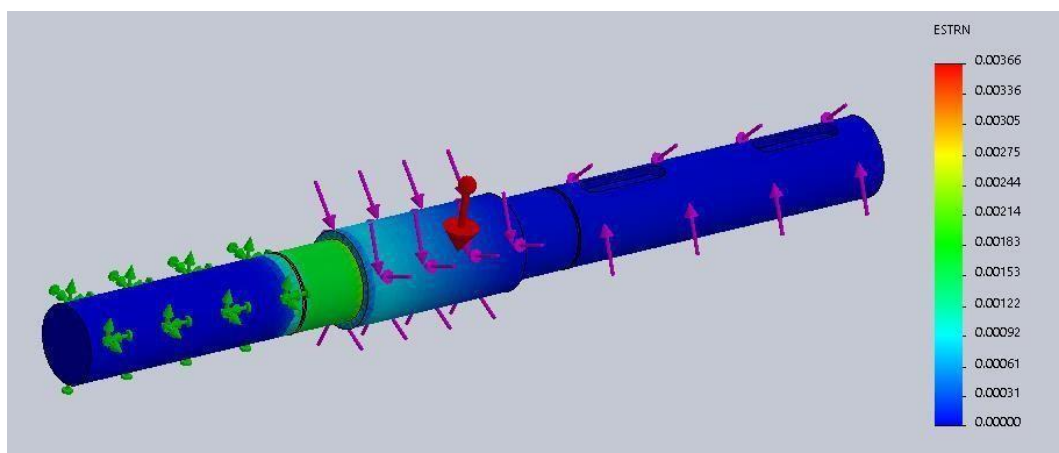


Ilustración 35 Deformación unitaria del eje horizontal de la máquina.

Fuentes: Elaboración propia.

## 4.7. Simulación del eje vertical.

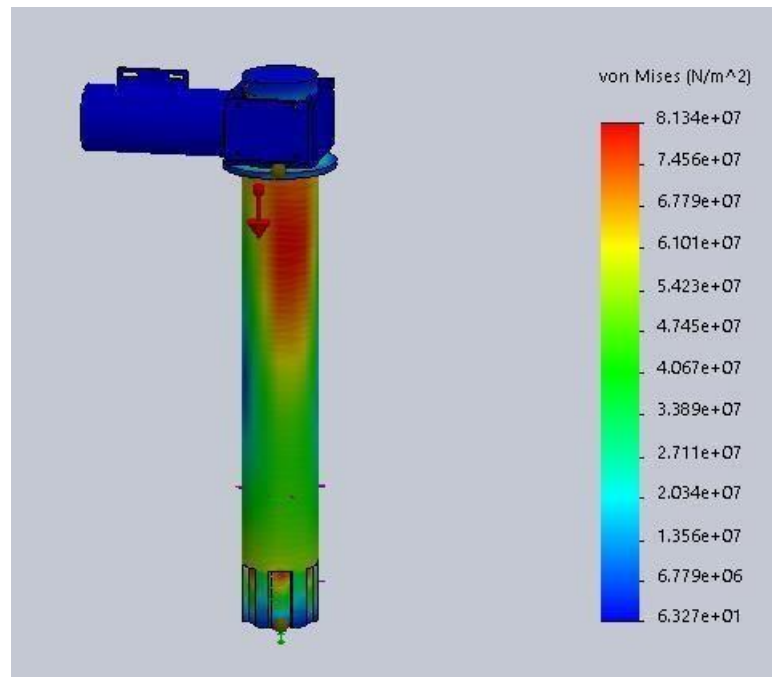


Ilustración 36 Simulación del eje vertical.  
Fuentes: Elaboración propia.

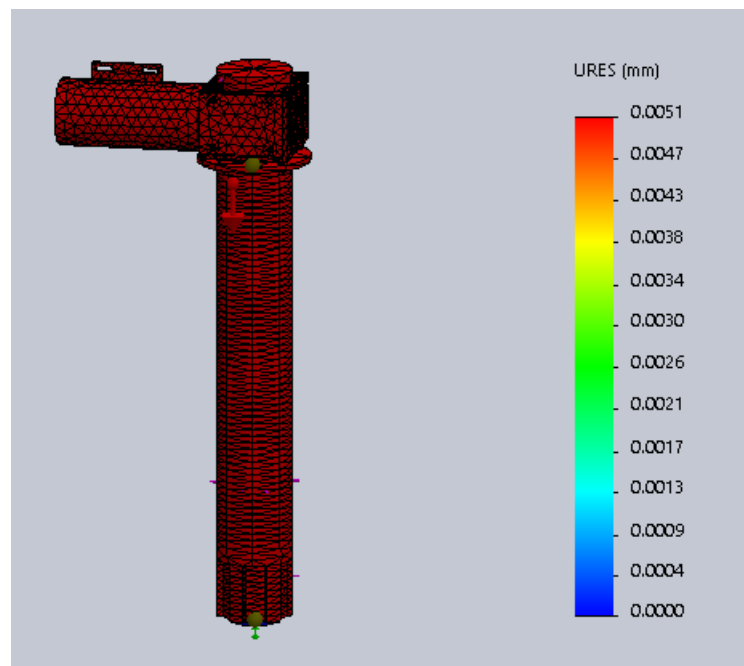
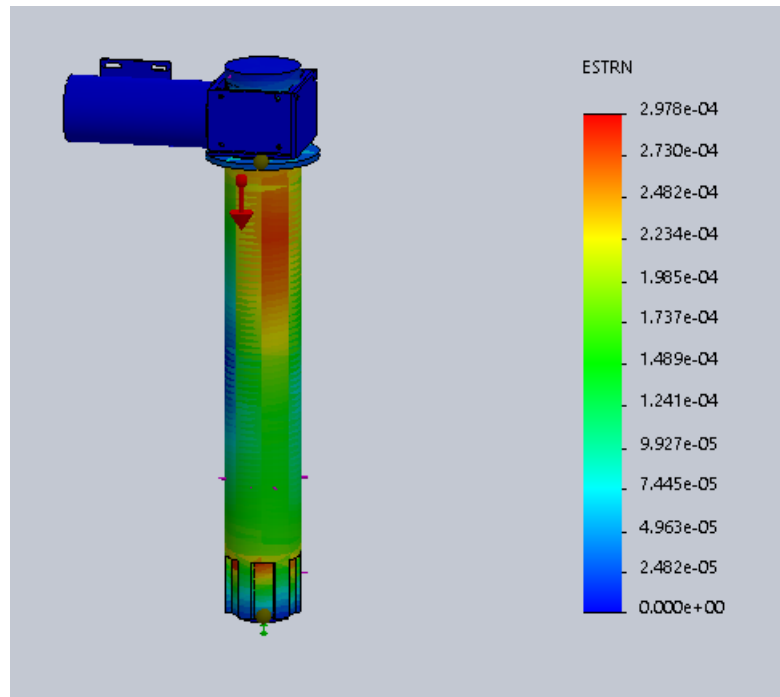
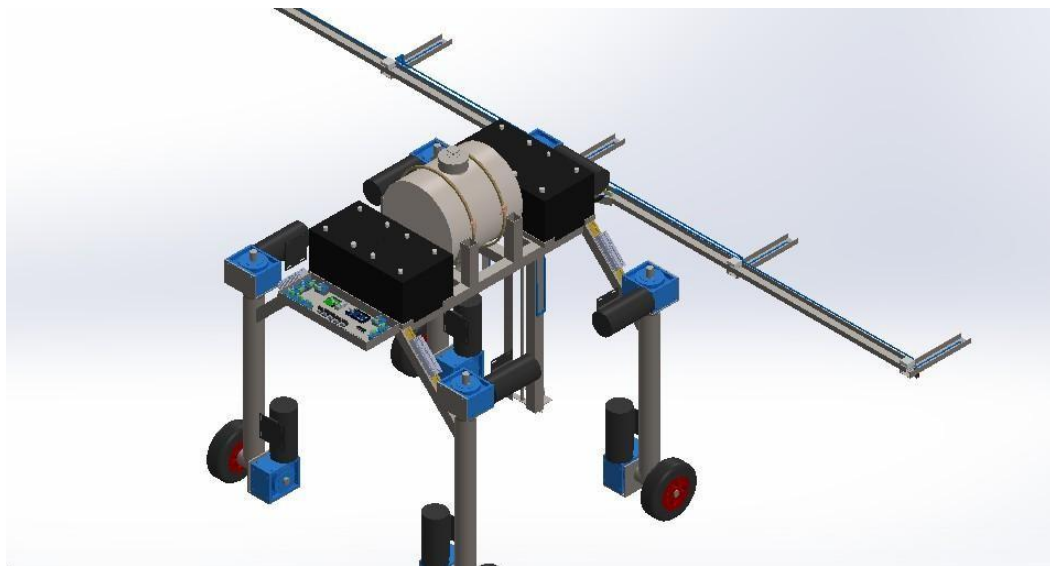


Ilustración 37 Deformación del eje vertical de la máquina.  
Fuentes: Elaboración propia.



*Ilustración 38 Deformación unitaria del eje vertical de la máquina.  
Fuentes: Elaboración propia.*

#### 4.7. Simulación de la máquina en aplicaciones de fumigación.



*Ilustración 39 Simulación de la máquina en aplicaciones de fumigación.*

*Fuentes: Elaboración propia.*

## 4.8. COSTOS DE FABRICACIÓN.

## 4.8. Presupuesto.

**Sección: estructura de soporte del tanque de la máquina.**

*Tabla 20 Cantidad y precio de metales para fabricación de estructura del soporte del tanque de la máquina.*

Componentes mecánicos (planchas, perfiles y platinas)							
Item	Sección de la máquina	Descripción	Especificaciones	Cantidad	Costos Unitarios	Costos transporte	Costo Total
1	Estructura de soporte.	Tubo cuadrado principal de parrilla.	Tubo cuadrado de acero ASTM A500, sección 50.8×50.8 mm	2	S/ 50	S/ 8	S/116
2	Estructura de soporte.	Tubo cuadrado de apoyo horizontal.	Tubo cuadrado de acero ASTM A500, sección 50.8×50.8 mm	2	S/ 10	S/ 8	S/ 36
3	Estructura de soporte.	Tubo de apoyo horizontal.	Tubo cuadrado de acero ASTM A500, sección 50.8×50.8 mm	4	S/ 8	S/ 10	S/ 72
4	Estructura de soporte.	Tubo de apoyo vertical.	Tubo cuadrado de acero ASTM A500, sección 50.8×50.8 mm	2	S/ 6	S/ 8	S/ 28
5	Estructura de soporte.	Tubo de sujeción para el tanque contenedor.	Tubo cuadrado de acero ASTM A500, sección 50.8×50.8 mm	4	S/ 6	S/ 10	S/ 52
6	Estructura de soporte.	Platinas de apoyo para baterías.	Chapa de acero A36, 65.8×20.74 mm, espesor 2.59 mm	4	S/ 10	S/ 5	S/ 60
7	Estructura de soporte.	Platinas en forma de arco para soporte del tanque.	Chapa de acero A36, 635×3 mm	2	S/ 10	S/ 5	S/ 30
8	Estructura de soporte.	Platina de soporte frontal del tanque.	Chapa de acero A36, 600×3 mm	1	S/ 10	S/ 5	S/ 15

9	Estructura de soporte.	Tubos rectangulares.	Tubo rectangular de acero ASTM A500, ancho 50.8 mm, espesor 2.11 mm	4	S/ 12	S/ 10	S/ 88
10	Estructura de soporte.	Platinas de soporte para el motor de regulación del nivel de los aspersores.	Chapa de acero A36, 100×27.4 mm, espesor 2.8 mm	2	S/ 5	S/ 5	S/ 20
11	Estructura de soporte.	Platinas para soporte del motor de regulación del nivel de los aspersores.	Chapa de acero A36, 180×50.8 mm, espesor 3.17 mm	3	S/ 10	S/ 5	S/ 45
12	Estructura de soporte.	Platinas de soporte para eje de regulación del eje roscado.	Chapa de acero A36, 345×39.7 mm, espesor 3 mm	1	S/ 8	S/ 5	S/ 13
13	Estructura de soporte.	Platinas de soporte de eje fijo para apoyo al eje roscado.	Chapa de acero A36, 78×25.4 mm, espesor 3 mm	1	S/ 5	S/ 5	S/ 10
14	Estructura de soporte.	Platinas para paso de eje roscado.	Chapa de acero A36, 58×78 mm, espesor 3 mm	1	S/ 8	S/ 5	S/ 13
15	Estructura de soporte.	Deslizador para eje fijo.	Varilla cromada, Ø 18.7 mm × 10 mm	2	S/ 5	S/ 4	S/ 18
16	Estructura de soporte.	Platinas el L para el desplazamiento del mecanismo de aspersión.	Angulo de acero A36, 50.8×31.7 mm, espesor 3.17 mm	2	S/ 8	S/ 5	S/ 26
17	Estructura de soporte.	Eje deslizador de apoyo para regular la altura	Varilla cromada, Ø 12.7 mm × 1120 mm	1	S/ 50	S/ 4	S/ 54
18	Estructura de soporte.	Platinas para el soporte del eje deslizador	Chapa de acero A36, 440×25.4 mm, espesor 3 mm	1	S/ 15	S/ 5	S/ 20

19	Estructura de soporte.	Eje para soporte del eje del sistema de aspersión	Tubo de acero A500, Ø 38.1×18.1 mm, pared 2 mm	1	S/ 10	S/ 4	S/ 14
20	Estructura de soporte.	Tubo rectangular para soporte de la bomba hidráulica	Tubo rectangular ASTM A500, 150×58 mm, pared 2 mm	4	S/ 10	S/ 10	S/ 80
21	Estructura de soporte.	Platinas el L para soporte de la bomba hidráulica	Angulo de acero A36, 50.8×31.7 mm, espesor 3.17 mm	2	S/ 15	S/ 5	S/ 40
22	Estructura de soporte.	Platinas para soporte de la bomba hidráulica	Chapa de acero A36, 150×50.8 mm, espesor 3.17 mm	1	S/ 8	S/ 5	S/ 13
Costo Total							S/ 863

Fuentes: Elaboración propia.

### Sección: Tanque de la máquina.

Tabla 21 Cantidad y precio de metales para fabricación del tanque de la máquina.

Componentes mecánicos (planchas, perfiles y platinas)							
Item	Sección de la máquina	Descripción	Especificaciones	Cantidad	Costos Unitarios	Costo Transporte	Costo Total
1	Tanque de la máquina.	Plancha de acero para el tanque.	Acero inoxidable AISI 316, 3 mm espesor, 115 cm de largo x 40 cm de ancho	1	S/ 120	S/ 5	S/ 125
2	Tanque de la máquina.	Plancha de acero para rompeolas y cara frontales del tanque.	AISI 316, corte láser, 40 cm de diámetro x 3 mm de espesor	4	S/ 50	S/ 20	S/ 280
3	Tanque de la máquina.	Tapa del tanque.	AISI 316, Platinas de 50 cm x 50 cm,	1	S/ 8	S/ 5	S/ 13
4	Tanque de la máquina.	Eje para tapa	Varilla acero inoxidable, eje para tapa de 6.35 mm de diámetro por 3 cm de largo	1	S/ 4	S/ 5	S/ 9
Costo Total							S/ 427

Fuentes: Elaboración propia.

### Sección: Sistema mecánico del sistema de aspersión de la máquina.

Tabla 22 Cantidad y precio de metales para fabricación del sistema de aspersión de la máquina.

Componentes mecánicos (planchas, perfiles y platinas)							
Ítem	Sección de la máquina	Descripción	Especificaciones	Cantidad	Costos Unitarios	Costos Transporte	Costo Total
1	Sistema de aspersión de la máquina.	Perfiles de acero en forma de U para sujeción de los 5 aspersores.	Perfil U A36, 400 cm de largo, ancho de 50.8 mm interno y espesor de 1.59 mm	1	S/ 200	S/ 20	S/ 220
2	Sistema de aspersión de la máquina.	Perfiles de acero en forma de U para los 5 aspersores con los sensores.	Perfil U A36, 80 cm de largo 50.8 mm interno y espesor de 1.59 mm	4	S/ 20	S/ 40	S/ 240
3	Sistema de aspersión de la máquina.	Perfiles en forma de L para apoyo de eje principal del sistema de aspersión.	Angulo A36, 80 cm de largo 5.08 cm de ancho, espesor de 3.17 mm	1	S/ 80	S/ 10	S/ 90
4	Sistema de aspersión de la máquina.	Eje para desplazamiento de los aspersores.	Varilla acero 1045, eje de 50.8 mm de diámetro x 10 cm de largo	5	S/ 3	S/ 25	S/ 140
5	Sistema de aspersión de la máquina.	Eje para bocina de apoyo en el desplazamiento del sistema de aspersión.	Varilla acero, eje de 16.7 mm de diámetro por 20 mm de largo	1	S/ 3	S/ 5	S/ 8
6	Sistema de aspersión de la máquina.	Platina para el sistema mecánico de aspersión.	Chapa acero dulce, platina de 5.1 cm de largo por 2.54 cm de ancho por 3 mm de espesor	1	S/ 5	S/ 5	S/ 10
7	Sistema de aspersión de la máquina.	Platinas para sujeción de motores.	Chapa acero dulce, platinas de 85 mm de largo por 50.8 mm de ancho x 3 mm de espesor	5	S/ 3	S/ 25	S/ 140

8	Sistema de aspersión de la máquina.	Platinas para sujeción de eje con platinas del aspersor.	Chapa acero dulce, platinas de 12 cm de largo x 2.54 cm de ancho por 3 mm de espesor	5	S/ 8	S/ 25	S/ 165
59	Sistema de aspersión de la máquina.	Eje para motor del aspersor.	Varilla acero, eje de 1 cm de diámetro por 2.5 cm de largo	5	S/ 3	S/ 25	S/ 140
10	Sistema de aspersión de la máquina.	Tubo para base del rodaje.	Tubo acero A500, diámetro externo de 30 mm, diámetro interno de 28 mm, 9 mm de largo	5	S/ 2	S/ 25	S/ 135
11	Sistema de aspersión de la máquina.	Tornillo sin fin para desplazamiento de aspersores.	Rosca Acme 30 mm, diámetro de 3 cm por 130 cm de eje	1	S/ 200	S/ 20	S/ 220
Costo Total							S/ 1508

Fuentes: Elaboración propia.

**Sección: Sistema mecánico del sistema de locomoción de la máquina.**

*Tabla 23 Cantidad y precio de metales para fabricación del sistema de locomoción de la máquina.*

Componentes mecánicos (planchas, perfiles y platinas)							
Item	Sección de la máquina	Descripción	Especificaciones	Cantidad	Costos Unitarios	Costo Transporte	Costo Total
1	Sistema de locomoción de la máquina.	Platina de acero para sujeción de los motores.	Chapa acero A36, 23 cm de largo, ancho de 14.5 cm interno y espesor de 4.9 mm	4	S/ 20	S/ 20	S/ 160
2	Sistema de locomoción de la máquina.	Tubo de acero para soporte de toda la estructura de la máquina.	Tubo acero A500, 65.5 cm de largo 88.9 mm de diámetro externo, espesor de 5.5 mm	4	S/ 50	S/ 40	S/ 360
3	Sistema de locomoción de la máquina.	Eje vertical para orientación de la máquina.	Varilla acero 1045, 100 cm de largo 4.5 mm de diámetro	4	S/ 80	S/ 20	S/ 400
4	Sistema de locomoción de la máquina.	Bocina para amortiguamiento de la máquina.	Tope goma EPDM, eje de 8.9 cm de diámetro x 24.5 cm de largo	4	S/ 120	S/ 60	S/ 600
5	Sistema de locomoción de la máquina.	Resorte para amortiguamiento de la máquina.	Resorte compresión, 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	S/ 40	S/ 360
Costo Total							S/ 1880

*Fuentes: Elaboración propia.*

**Sección: Sistema mecánico del sistema de locomoción de la máquina superficie baja.**

*Tabla 24 Cantidad y precio de metales para fabricación del sistema de locomoción de la máquina superficie baja.*

Componentes mecánicos (planchas, perfiles y platinas)							
Item	Sección de la máquina	Descripción	Especificaciones	Cantidad	Costos Unitarios	Costo Transporte	Costo Total
1	Sistema de locomoción de la máquina superficie baja.	Eje horizontal de la máquina.	Eje acero 1045, eje de 35 cm de largo de 36 mm de diámetro	4	S/ 100	S/ 40	S/ 560
2	Sistema de locomoción de la máquina superficie baja.	Tubo de acero para soporte de rodajes y paso de eje.	Tubo A500, 12 cm de largo x 7.3 cm de diámetro externo 5.16 mm de espesor	4	S/ 50	S/ 40	S/ 360
3	Sistema de locomoción de la máquina superficie baja.	Eje vertical para sujeción del eje.	Tubo acero, 13 cm de largo x 7.8 cm de diámetro	4	S/ 70	S/ 40	S/ 440
4	Sistema de locomoción de la máquina superficie baja.	Platina de acero para soporte del motor.	Chapa acero A36, platina de 6.35 mm de espesor 26.9 cm de largo x 17.5 cm de ancho	4	S/ 40	S/ 20	S/ 240
Costo Total							S/ 1600

*Fuentes: Elaboración propia.*

## Productos internacionales de exportación

A continuación, se muestra el precio de los componentes de exportación.

Tabla 25 Lista de componentes eléctricos.

Componentes eléctricos						
Item	Descripción	Especificaciones	Cantidad	Costos Unitarios	Costo Transporte	Costo Total
1	Motores eléctricos de 24V en DC	200 W, 3000 rpm, torque 18 Nm	9	S/ 400	S/ 120	S/ 4680
2	Baterías de corriente continua de 24 V de 130 Aph	VRLA, sellada, 24 V,130 Ah, ciclo profundo	4	S/ 400	S/ 80	S/ 1920
3	Electrobomba de 24 V. DC	Caudal 10 L/min, presión 2 bar, consumo 4 A	1	S/ 200	S/ 20	S/ 220
4	Motores DC de 24V DC	50 W, 1500 rpm	5	S/ 20	S/ 10	S/ 150
5	Electroválvulas de 24 V DC	Válvula solenoide ½" NPT, normalmente cerrada	5	S/ 30	S/ 10	S/ 200
6	Sensor de presión	Rango 0-10 bar, salida 4-20 mA	1	S/ 50	S/ 5	S/ 55
7	Sensor infrarrojo	Detección 5-30 cm, salida digital	5	S/ 50	S/ 10	S/ 300
8	Sensor de caudal	Rango 1-30 L/min, salida pulsos Hall	5	S/ 50	S/ 10	S/ 300
9	Finales de carrera	Micro interruptor IP65, palanca metálica	2	S/ 20	S/ 5	S/ 50
Costo Total						S/ 7875

Fuentes: Elaboración propia.

Tabla 26 Lista de dispositivos electrónicos.

Placas impresas						
Item	Descripción	Especificaciones	Cantidad	Costos Unitarios	Costo Transporte	Costo Total
1	Puentes H BTS 7960 de alta potencias de 24V para 43 A.	Driver H-bridge dual, 24 V máx., 43 A por canal, PWM	9	S/ 80	S/ 20	S/ 900
2	Puentes H de 2A LM 298 de 24V DC.	Driver H-bridge dual, 2 A por canal, 24 V máx., PWM	5	S/ 20	S/ 5	S/125
3	Placa Arduino Mega	ATmega2560, 54 I/O digitales, 16 MHz, 16 entradas analógicas	1	S/ 60	S/ 5	S/ 65
4	Placa Arduino Nano	ATmega328 P, 14 I/O digitales, 8 entradas analógicas, 16 MHz	2	S/ 30	S/ 5	S/ 70
5	Módulo de Relés de 24 V	8 canales, optoaislador, bobina 24 V DC	5	S/ 20	S/ 10	S/ 150
6	Placa Raspberry Pi 4	Quad-core 1.5 GHz, 4 GB RAM, LAN, USB, GPIO	1	S/ 200	S/ 10	S/ 210
7	Cámara de Raspberry Pi 4	Módulo CSI, 8 MP, 1080P30fps	5	S/ 80	S/ 10	S/ 450
Costo Total						S/ 1970

Fuentes: Elaboración propia.

Tabla 27 Lista de dispositivos electrónicos (regulador de voltaje).

Placas impresas						
Item	Descripción	Especificaciones	Cantidad	Costos Unitarios	Costo Transporte	Costo Total
1	Transistor regulador de voltaje (7812 TV)	Regulador lineal fijo 12 V, 1.5 A máx., encapsulado TO-220	2	S/ 5	S/ 2	S/ 10
2	Transistor regulador de voltaje (7805)	Regulador lineal fijo 5 V, 1 A máx., encapsulado TO-220	2	S/ 2	S/ 2	S/ 8
3	Resistencias	¼ W, Carbón, tolerancia 5% valores varios	5	S/ 0.20	S/ 1	S/ 6
4	Regulador de voltaje ajustable (LM338)	Regulador lineal ajustable 1.2-32 V, 5 A máx., encapsulado TO-220	3	S/ 5	S/ 2	S/ 21
5	Capacitores 4	Electrolíticos 16 V, 10 µF	5	S/ 1	S/ 2	S/ 15
6	Potenciómetros	10 Ω lineal, 0.5 W, eje 6 mm	5	S/ 2	S/ 2	S/ 20
Costo Total						S/ 80

Fuentes: Elaboración propia.

Tabla 28 Lista de componentes electrónicos para circuito medidor de nivel.

Placas impresas eléctricos						
Item	Descripción	Especificaciones	Cantidad	Costos Unitarios	Costo Transporte	Costo Total
1	Circuito integrado (ULN 2803).	Driver Darlington 8 canales; 50 V máx.; 500 mA por canal; encapsulado DIP-18	1	S/ 5	S/ 2	S/ 7
2	Resistencias de carbón 330 ohm.	¼ W; tolerancia ±5 %; carbón; axial	8	S/ 0.20	S/ 1	S/ 9.6
3	Resistencias de 210 ohm	¼ W; tolerancia ±5 %; carbón; axial	8	S/ 0.20	S/ 1	S/ 9.6
4	Resistencias de 10 ohm	¼ W; tolerancia ±5 %; carbón; axial	8	S/ 0.20	S/ 1	S/ 9.6
5	Diodo led	LED 5 mm; 2 V $V_f$ típico; 20 mA; ángulo 30°	8	S/ 0.50	S/ 2	S/ 20
6	Cables para conectores	AWG 22 (0.34 mm <sup>2</sup> ); PVC 300 V; flexibles	20	S/ 0.50	S/ 3	S/ 70
Costo Total						S/ 125.8

Fuentes: Elaboración propia.

**Lista de accesorios:***Tabla 29 Lista de accesorios (parte mecánica).*

Item	Descripción	Especificaciones	Cantidad	Costos Unitarios	Costo Transporte	Costo Total
1	Fajas ratchet	Poliéster reforzado, capacidad 500 kg	2	S/ 60	S/ 10	S/ 140
2	Ruedas	Caucho macizo, diámetro 200 mm, eje 12 mm	4	S/ 40	S/ 10	S/ 200
3	Pernos M6	Acero inoxidable A2, longitud 20mm	40	S/ 2	S/ 10	S/ 120
4	Tuercas M6	Acero galvanizado	40	S/ 1	S/ 5	S/ 240
5	Arandelas de presión M6	Acero templado	40	S/ 1	S/ 5	S/ 240
6	Prisioneros M4	Acero al carbono, rosca M4	10	S/ 2	S/ 5	S/ 70
7	Rodajes cónicos	Acero endurecido, rodamientos 6204	8	S/ 50	S/ 20	S/ 560
8	Rodajes clásicos	Acero cromado, rodamientos 6001	5	S/ 10	S/ 5	S/ 75
9	Rodajes clásicos	Acero cromado, rodamientos 6002	5	S/ 20	S/ 5	S/ 125
<b>Costo Total</b>						<b>S/ 1770</b>

*Fuentes: Elaboración propia.*

Tabla 30 Lista de accesorios (parte hidráulica).

Item	Descripción	Especificaciones	Cantidad	Costos Unitarios	Costo Transporte	Costo Total
1	Tubo flexible de silicona	Silicona grado alimentario, ID 10 mm, OD 14mm	20 metros	S/ 2	S/ 5	S/ 140
2	Racores T	Latón ½" NPT, resistente a químicos	4	S/ 10	S/ 5	S/ 60
3	Racores en L	Latón ½" NPT, ángulo 90	2	S/ 10	S/ 2	S/ 24
4	Racores de reducción	Latón ¾" x ½" NPT	7	S/ 10	S/ 5	S/ 105
Costo Total						S/ 434

Fuentes: Elaboración propia.

Tabla 31 Lista de accesorios (parte eléctrica).

Item	Descripción	Especificaciones	Cantidad	Costos Unitarios	Costo Transporte	Costo Total
1	Cables de calibre 10	Cobre estañado, aislamiento PVC, 600 V	30 metros	S/ 1	S/ 5	S/ 180
2	Terminales	Terminal aislado, AWG 10-12	20	S/ 0.50	S/ 2	S/ 50
3	Borneras	Plástico PA66, 600 V, 10 A	60	S/ 1	S/ 5	S/ 360
4	Conectores para baterías	Conector rápido 12 V, 50 A	10	S/ 2	S/ 3	S/ 50
Costo Total						S/ 640

Fuentes: Elaboración propia.

#### 4.9. COSTOS DE OPERACIÓN.

A continuación, se presentará el costo operacional de la máquina, mediante un análisis de su implementación y los beneficios que proporcionaría.

### Cálculo del consumo de energía eléctrica en soles

Este cálculo es fundamental, ya que el equipo utiliza altas corrientes, lo que hace necesario recargar sus baterías con regularidad. El estudio se fundamenta en la información de una hora de operación de la máquina.

Tabla 32 Costo de servicios y energía.

Ítem	Descripción	Especificaciones	Cantidad	Costos Unitarios	Costo Total
1	Cargas de baterías de 24 V de 200 A/h	Recarga en taller local (4 horas por carga)	4	S/ 5	S/ 20

Fuentes: Elaboración propia.

Tabla 33 Costo total de la máquina.

Item	Especificaciones	Descripción
Estructura de soporte del tanque de la máquina.	Acero ASTM A-36, 1.5 x 1.0 x 0.6, soldadura E7018	S/ 863
Tanque de la máquina	Acero inoxidable AISI 316, 50 L, diámetro 400 x 400 mm	S/ 427
Sistema mecánico del sistema de aspersión.	Perfiles U y L, ejes y platinas de acero, 5 boquillas	S/ 1508
Sistema mecánico del sistema de locomoción	Motores DC 24 V (18 Nm), ejes 36 mm, suspensión	S/ 1880
Sistema mecánico del sistema de locomoción superficie baja	Ejes horizontales 36 mm, tubos 50 x 50 mm, platinas	S/ 1600
Componentes eléctricos (placas impresas)	Arduino Mega, puentes H L298, sensores IR, sensores de caudal, electroválvulas	S/ 7875 S/ 125.8
Dispositivos electrónicos (Regulador de voltaje)	Reguladores LM7812, LM338 (ajustable 5V y 12V), fuente de alimentación	S/ 1970
Dispositivos electrónicos (Señalizador de nivel de agua)	Sensor de nivel flotante, LED de advertencia	S/ 80
Accesorios (Parte mecánica)	Platinas de soporte, ejes, tornillos, arandelas, ruedas	S/ 1770
Accesorios (Parte hidráulica)	Mangueras, codos, uniones rápidas, filtros	S/ 434
Accesorios (Parte eléctrica)	Bornes, conectores, interruptores, caja de control	S/ 640
Costo Total de materiales de la máquina móvil para aplicaciones de fumigación.		S/ 19 172.8

Fuentes: Elaboración propia.

Después de calcular todos los gastos de los elementos de la máquina, en la siguiente tabla se llevará a cabo una comparación entre el precio y la ventaja del método clásico de fumigación y el método llevado a cabo con la máquina.

*Tabla 34 Comparación económica entre sistemas de fumigación.*

Descripción	Fumigación tradicional	Costo con fumigación tradicional	Fumigación con la máquina	Costo con fumigación con la máquina más costo de carga de baterías	Diferencia
Tiempo (fumigación con insecticidas o pesticidas)	8 horas x S/ 6.25	S/ 50	2.4 horas x S/ 6.25	S/ 15 + S/ 10	S/ 25
Tiempo (fumigación con herbicidas)	8 horas x S/ 6.25	S/ 50	2.48 horas x S/ 6.25	S/ 15.50 + S/ 10	S/ 25.50

*Fuentes: Elaboración propia.*

De acuerdo con la información, por cada hectárea tratada en cultivos de maíz, el productor agrícola ganará S/25. 00. Usando la máquina, se pueden fumigar hasta 4 hectáreas al día, lo que genera un ahorro diario de S/100.00. Así, la inversión en la máquina podría recuperarse en aproximadamente cuatro meses.

## V. CONCLUSIONES

- Se determinó con exactitud los parámetros fundamentales para un sistema de fumigación autónomo eficiente en cultivos de maíz, garantizando así una aplicación homogénea y efectiva.
- Se desarrolló un diseño funcional y robusto de los sistemas mecánicos y eléctricos, garantizando el correcto soporte estructural, desplazamiento eficiente y adecuado suministro de energía a los componentes.
- Se implementó exitosamente un sistema de control teleoperado con cámaras, sensores e interfaz HMI, permitiendo operar la máquina hasta 200 metros de distancia con precisión y seguridad.
- El análisis de costos evidenció que la máquina es económicamente viable frente a métodos tradicionales, ya que reduce significativamente los gastos de operación, el tiempo de trabajo y la exposición del personal a pesticidas.

## VI. RECOMENDACIONES

- Se recomienda investigar el desarrollo de un sistema inteligente de ajuste automático de parámetros según el tipo de plaga, etapa del cultivo o condiciones ambientales, utilizando inteligencia artificial o sensores especializados.
- Se sugiere realizar estudios orientados al rediseño estructural con materiales compuestos o biodegradables para reducir el peso de la máquina, mejorar su eficiencia energética y evaluar su impacto ambiental en la agricultura sostenible.
- Se plantea como futura investigación el desarrollo de un sistema completamente autónomo basado en algoritmos de visión artificial y aprendizaje automático, que permita la fumigación sin intervención humana, con detección de plagas en tiempo real.
- Se propone realizar un estudio comparativo de rentabilidad entre esta máquina y otras tecnologías agrícolas automatizadas en distintos tipos de cultivos, considerando estabilidad, impacto económico y barreras de adopción por parte de pequeños productores.

## VII. REFERENCIAS

- [1] J. D. S. e. al, «Desarrollo de una fumigadora autónoma para aplicaciones en huertos,» *Applied Engineering in Agriculture*, vol. 35, nº 1, pp. 45-54, 2022.
- [2] H. J. U. Pilamunga, «Desarrollo de un robot autónoma mediante un sistema conjunto para la administración de la salud agrícola en el cultivo de arándanos de la Corporación Cosecha. » Tesis de Ingeniería en Ciencias de la Computación, Ambato,, 2020.
- [3] J. P. A. y. V. Vougioukas, «Evaluación en campo de un prototipo de fumigadora inteligente para aplicaciones de agricultura de precisión,» *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 128, pp. 93-102, 2022.
- [4] A. M. Salihi, «Diseño y desarrollo de un vehículo robótico para la pulverización de fertilizantes líquidos y pesticidas en agricultura,» *Academia.edu*, 2022.
- [5] M. S. R. y. M. A. H. A. K. M. K. Rahman, «Diseño y desarrollo de un robot autónomo fumigador de pesticidas para cultivos fertirrigados,» *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, vol. 11, nº 2, 2020.
- [6] S. K. B. e. al, «Robot fumigador de pesticidas para agricultura de precisión: una revisión categórica de la literatura,» *Journal of Field Robotics*, vol. 37, nº 2, pp. 301-325, 2020.
- [7] XAG, Vehículo terrestre no tripulado XAG R150, 2023.
- [8] Y. Z. e. al, «Diseño y experimento de un robot de gestión de campo agrícola con múltiples modos de dirección,» *Agronomy*, vol. 14, nº 4, p. 654, 2024.
- [9] M. A. H. A. e. al, «Robot automático fumigador de pesticidas,» *International Journal of Computer Engineering in Research Trends*, vol. 9, nº 11, pp. 1-6, 2022.
- [10] S. K. B. e. al, «Creación y elaboración de un robot de agricultura con cuatro ruedas destinado a la aplicación de pesticidas, » *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, vol. 13, nº 4, pp. 1-8, 2020.
- [11] R. G. C. Orosco, «Creación de un robot agrícola para la aplicación automática de pesticidas en cultivos de terrenos planos mediante el uso de visión por computadora » Tesis de Ingeniería Mecatrónica,, Lima, 2020.
- [12] H. J. C. y. A. F. Cañón, « Creación, ejecución y supervisión de un modelo de robot rociador para la agricultura. » Tesis de Ingeniería Electrónica, Bogotá, 2022.

- [13] J. A. P. Guamán, «Diseño y construcción de un robot autónomo para la fumigación de diferentes cultivos agrícolas evitando la intoxicación del ser humano,» Tesis de Ingeniería Electrónica, La Paz, 2021.
- [14] J. D. C. e. al, «Dispositivo motorizado para la aplicación de pesticidas en campos de maíz, equipado con un sistema de navegación independiente, diseñado para las áreas planas de los Andes. » *Proceedings of the International Conference on Robotics and Automation Sciences (ICRAS)*, pp. 1-5, 2022.
- [15] B. F. M. Rendón, «Servicio de fumigación de precisión con drones para cultivos de maíz,» Tesis de Maestría en Negocios Agrícolas que Promueven la Sostenibilidad,» Tesis de Maestría en Agronegocios Sostenibles, Guayaquil, 2023.
- [16] J. J. C. Poma, Desarrollo de un robot autónomo de apoyo para la aplicación de pesticidas en los cultivos de maíz en la provincia de Concepción, ubicada en la región de Junín, Huancayo, Universidad Continental, 2020.
- [17] D. G. e. al, «Diseño y análisis de un vehículo de trabajo eléctrico integrado para la fertilización en el intercultivo de maíz y la aplicación de pesticidas» vol. 14, p. 23, 2024.
- [18] C. ., y. J.-Y. Q. C.-L Chang, «Guiado robusto y fumigación selectiva basada en aprendizaje profundo para un robot agrícola avanzado de cuatro ruedas,» vol. 14, nº 1, 28 diciembre 2023.
- [19] H. J. Z. B. H. S. y. A. K. M. Zhou, «Diseño y evaluación de una plataforma de fumigación dirigida,» *International Journal of Advanced Robotic Systems*, vol. 18, nº 2, 2021.
- [20] M. T. P. e. al, «Diseño y desarrollo de un robot autónomo de fumigación de pesticidas,» *International Journal of Robotics and Control Systems*, vol. 3, nº 1, pp. 1-12, 2021.

## VIII. ANEXOS

### ANEXO A:

#### CALCULO DE OPTIMIZACION TANQUE N1:

Donde:

$$0.05m^3 = \pi r^2 h$$

$$\frac{0.05m^3}{\pi r^2} = h$$

Una vez despejada la altura, se va a remplazar en la ecuación del área total.

$$AT = 2\pi r^2 + 2\pi r \frac{0.1m^3}{\pi r^2}$$

$$AT = 2\pi r^2 + 2x \frac{0.1m^3}{r}$$

$$AT = 2\pi r^2 + \frac{0.2m^3}{r}$$

$$\frac{dAT}{dr} = 4\pi r - \frac{0.2m^3}{r^2}$$

$$4\pi r - \frac{0.2m^3}{r^2} = 0$$

$$4\pi r = \frac{0.2m^3}{r^2}$$

$$4\pi r^3 = 0.2m^3$$

$$r^3 = \frac{0.2m^3}{4\pi}$$

$$r = \sqrt[3]{\frac{0.2m^3}{4\pi}}$$

$$r = \frac{\sqrt[3]{0.2 \times \sqrt[3]{m^3}}}{\sqrt[3]{4\pi}}$$

$$r = 0.25 \text{ m}$$

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

Los valores de R que se encuentran en la tabla serán sustituidos en la primera derivada de la fórmula del área total.

PARA:

R= 0.20 m.

$$P = 4\pi r - \frac{0.2m^3}{r^2}$$

$$P = 4\pi(0.20) - \frac{0.2m^3}{0.20^2}$$

$$P = -2.49$$

PARA:

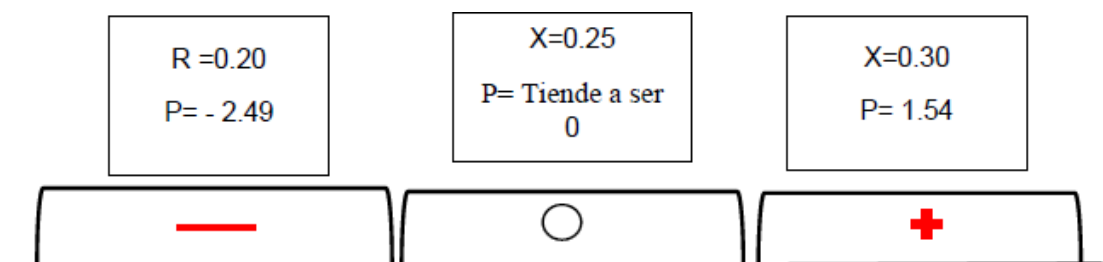
R= 0.30 m.

$$P = 4\pi r - \frac{0.2m^3}{r^2}$$

$$P = 4\pi(0.30) - \frac{0.2m^3}{0.30^2}$$

$$P = 1.54$$

Ubicamos los calores de P en una recta.



Donde:

$$V = \pi r^2 h$$

$$V = \pi(25)^2 h$$

$$\frac{50000}{25^2 \times \pi} = h$$

$$25.5 \text{ cm} = h$$

En conclusión, las medidas más adecuadas que debería tener el tanque son las siguientes:

$$R = 25 \text{ cm}$$

$$H = 25.5 \text{ cm}$$

## ANEXO B:

### DIMENSIONES MECANICAS QUE COMPONEN LA MAQUINA:

$$L = 2\pi r \left( \frac{x}{360} \right)$$

$$L = 2\pi r \left( \frac{180}{360} \right)$$

$$L = 62,72 \text{ cm}$$

Cada platina en forma de arco tiene 62.72 cm de longitud.

### ANALISIS DE ESFUERZOS DE LA MAQUINA:

#### CARGA TOTAL

$$P1 = 156 \text{ Kg} + 50 \text{ kg} + 39.133 \text{ kg} + 15 \text{ kg} + 17 \text{ kg} + 4.574 \text{ kg} + 1.512 \text{ kg}$$

$$P1 = 299.614 \text{ kg}$$

$$P1 = 2939.21 \text{ N}$$

Se calcula la fuerza F1:

$$F1 = \frac{P1 \times F.S}{4}$$

$$P1 = \frac{2939.21 \text{ N} \times 1.5}{4}$$

$$F1 = 1103 \text{ N}$$

$$F \rightarrow \rightarrow \rightarrow = 1103j$$

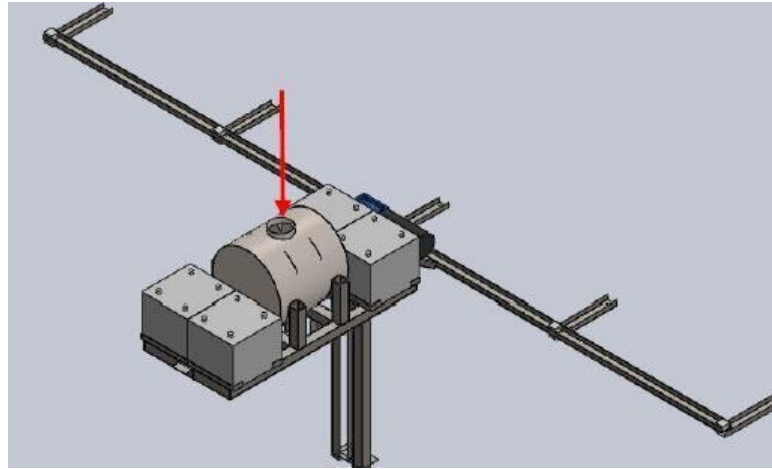
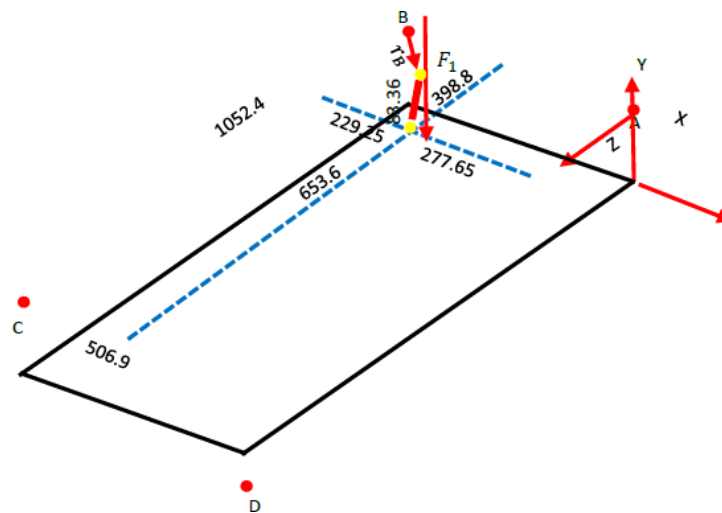


Ilustración 40 Soporte con baterías tanque y sistema de aspersión.

Fuentes: Elaboración propia.

D.C.L De soporte de baterías, tanque y sistema de aspersión.



Descomponemos las fuerzas que actúan en la coordenada  $r_B$ .

$$r_{\rightarrow\rightarrow B\rightarrow\rightarrow} = 0 \cdot 229i + 0.083j + 0.398k$$

Realizamos cálculo de momentos en el punto B.

$$M_{\rightarrow\rightarrow\rightarrow B\rightarrow\rightarrow} = r_{\rightarrow\rightarrow B\rightarrow\rightarrow} \times F_{\rightarrow\rightarrow\rightarrow B\rightarrow\rightarrow}$$

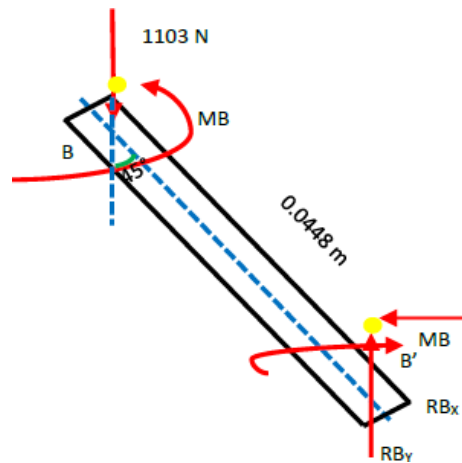
$$M_{\rightarrow\rightarrow\rightarrow B\rightarrow\rightarrow} = (0 \cdot 229i + 0.083j + 0.398k) \times 1103j$$

$$M_B = -252.587k + 428.994i$$

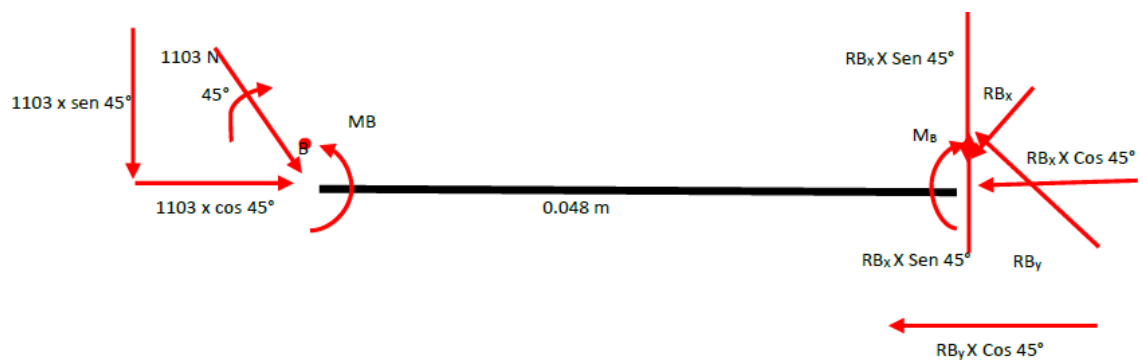
$$M_B = 506.43Nm$$

El momento en el punto B es de 506.43 Nm

D.C.L de soporte de eje inclinado.



Primero se calcula la reacción en el punto B. D.C.L del eje horizontal de soporte de baterías, tanque y sistema de aspersión.



Sumatoria de fuerzas en x.

$$\sum F_x = 0$$

$$RB_x \cos 45^\circ + RB_y \cos 45^\circ = 1103 \times \cos 45^\circ$$

$$RB_x + RB_y = 1103$$

Sumatoria de fuerzas en y.

$$\sum F_y = 0$$

$$1103 \times \text{Sen } 45^\circ + RB_x \times \text{Sen } 45^\circ = RB_y \times \text{Sen } 45^\circ$$

$$1103 = RB_y - RB_x$$

Sumando las ecuaciones.

$$RB_y + RB_x - 1103$$

$$RB_y - RB_x - 1103$$

---


$$RB_y = 1103 \text{ N}$$

$$RB_x = 0$$

Seguidamente se realizará los cálculos de momentos en B.

$$\sum M_B = 0$$

$$M_B = 1103x \text{ Sen } 45^\circ + 0.488$$

$$M_B = 506.43 + 420.46$$

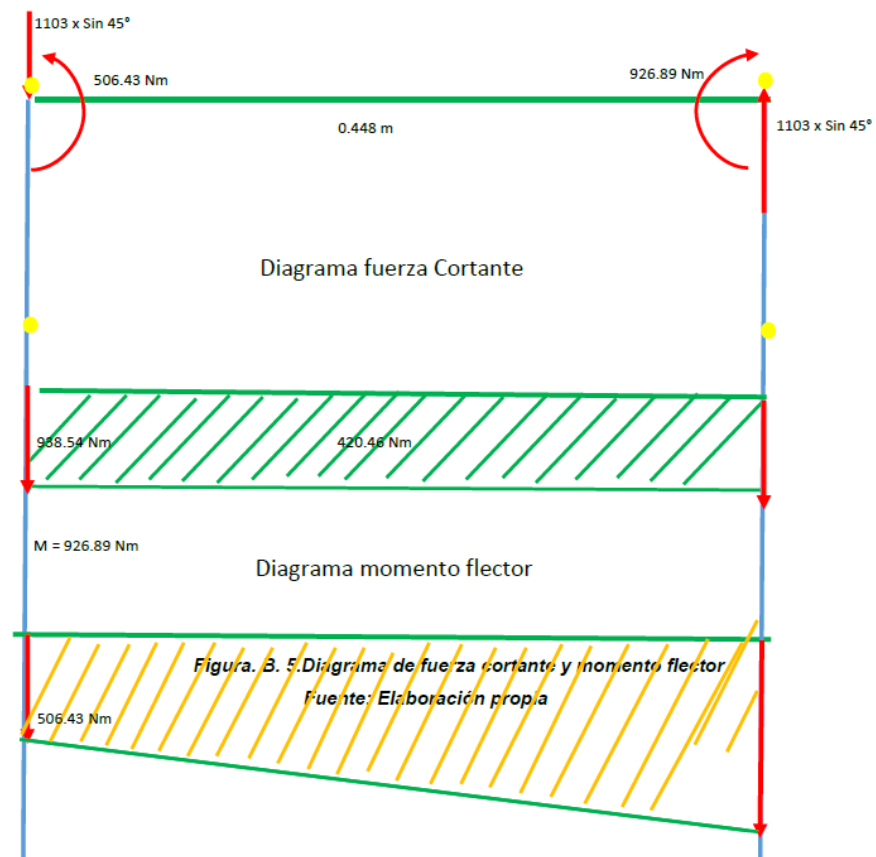
$$M_B = 926.89 \text{ Nm}$$

El momento en el punto MB es de 926.89 Nm.

### ESFUERZO NORMAL.

$$\partial n = \frac{v}{A}$$

#### DIAGRAMA DE ESFUERZOS



Cálculo del área:

$$A = 2^2 - (2 - 0.240)^2$$

$$A = 4 - 3.0976$$

$$A = 0.9024 \text{in}^2 \times \left(\frac{25.4}{2 \text{in}}\right)^2$$

$$A = 582.19 \text{mm}^2 \times \left(\frac{1 \text{m}}{1000 \text{mm}}\right)^2$$

$$A = 0.000582 \text{m}^2$$

Se calcula que el esfuerzo normal será de:

$$\partial n = \frac{938.54 \text{Nm}}{0.000582 \text{m}^2}$$

$$\partial n = \frac{938.54 \text{Nm}}{0.000582 \text{m}^2}$$

$$\partial n = 1.0612 \text{MPa (Compresión)}$$

#### ESFUERZO CORTANTE.

$$T = \frac{v}{A}$$

$$T = \frac{938.54}{0.000582}$$

$$T = 1.612 \text{ Mpa}$$

#### ESFUERZO DE FLEXIÓN.

$$\Sigma F = \frac{m \times c}{Ix}$$

Cálculo de momento de inercia:

$$x = \frac{(0.0508)^2}{12} - \frac{(0.044704)^2}{12}$$

$$Ix = 2.21 \times 10^{-7} \text{m}^4$$

$$\partial F = \frac{926.89 \times 0.0254}{2.21 \times 10^{-7}}$$

$$\partial F = 106.52 \text{ Mpa}$$

Según Von Misés:

$$T \leq 250 \text{MPa}$$

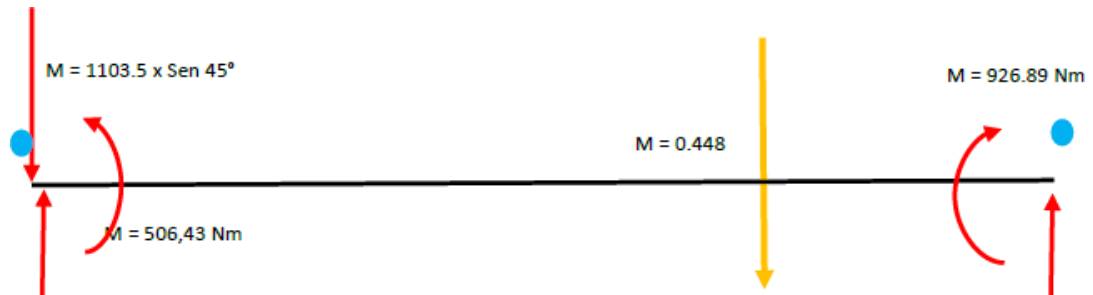
$$T = \sqrt{(\partial F + T)^2 + 3xt^2}$$

$$T = \sqrt{(106.52 - 1.612)^2 + 3x(1.612)^2}$$

$$T = 104.94 \text{ MPa}$$

$$T = 104.94 \leq 250 \text{ MPa}$$

### CALCULO DE DEFORMACIÓN:



$$y = \frac{M_B \times L^2}{2 \times E \times I}$$

$$y = \frac{506.43 \times 0.448^2}{2 \times 200 \times 100^9 \times 2.21 \times 108^{-7}}$$

$$y = 0.00114 \text{ m}$$

$$y = 1.14 \text{ mm}$$

### ANÁLISIS DE ESFUERZOS EN LOS PUNTOS DE APOYO DE LA ESTRUCTURA:

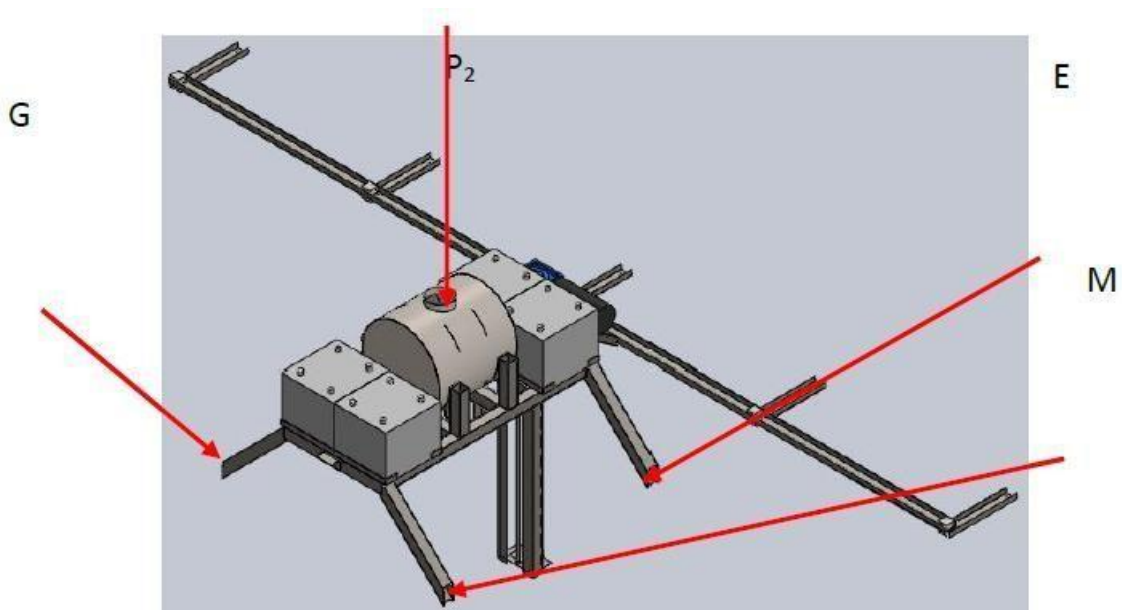
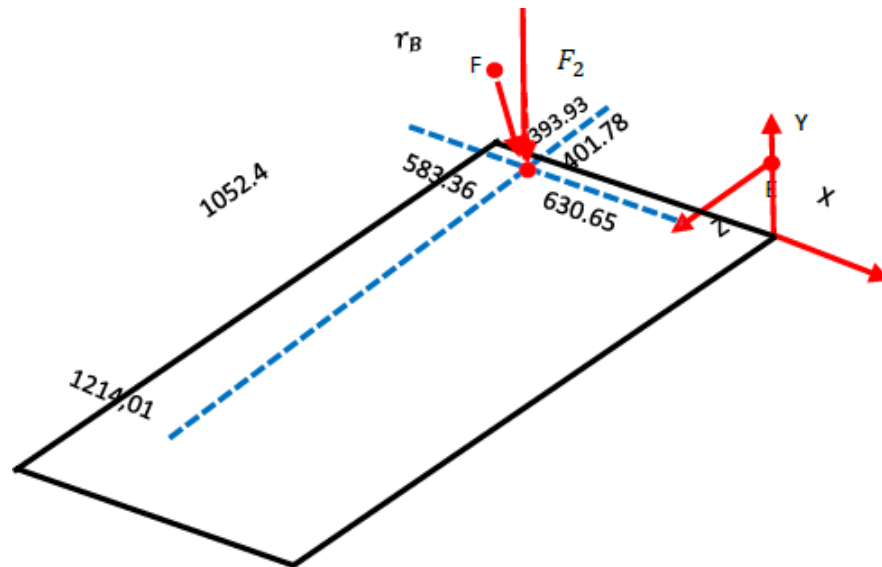


Ilustración 41 Ubicación de puntos de apoyo de la estructura de soporte del tanque, baterías y sistema de aspersión.

Fuentes: Elaboración propia.

Donde: D.C.L de apoyo de ejes inclinados.



Donde:

$$P2 = P1 + \text{Peso de los tubos rectangulares}$$

$$P2 = 299.614 \text{ kg} + 4 \times 1.46 \text{ kg}$$

$$P2 = 305.454 \text{ Kg}$$

$$P2 = 305.454 \text{ N}$$

El peso a considerar en este análisis será de:

$$P2 = 2997 \text{ N}$$

$$F2 = \frac{P2 \times F.S}{4}$$

$$F2 = \frac{2997 \times 1.5}{4}$$

$$F2 = 1123.835$$

$$F_{\rightarrow\rightarrow\rightarrow} = -1124 \text{ Nj}$$

Descomponiendo las fuerzas que actúan en el punto RF:

$$R_{\rightarrow\rightarrow\rightarrow} = 0 \cdot 583i + 0.393j + 0.401k$$

Descomponiendo las fuerzas que actúan en el punto MF:

$$M_{\rightarrow\rightarrow\rightarrow} = (0 \cdot 583i + 0.393j + 0.401k)x - 1124j$$

$$M_{\rightarrow\rightarrow\rightarrow} = -655.292k + 450.724i$$

$$M_{\rightarrow\rightarrow\rightarrow} = 795.33 \text{ Nm}$$

El torque del motor a considerar en este caso es de  $T = 40 \text{ Nm}$

**CÁLCULO DE DIÁMETRO DE EJE DEL SOPORTE VERTICAL:**

El cálculo del diámetro del eje está dado por la siguiente formula.

$$\frac{J}{c} = \sqrt{\frac{T^2 + MF^2}{T_{\text{pura}}} = \frac{\pi}{2} \frac{c^4}{c} = \sqrt{\frac{40^2 + 795.33^2}{250 \times 10^6}}$$

$${}^3\sqrt{\frac{J}{c^3}} = \sqrt[3]{\frac{2 \times 796.33}{\pi \times 250 \times 10^6}}$$

$$c = 0.01265m$$

$$c = 12.65mm$$

El diámetro del eje está dado por la siguiente formula:

$$2c = d$$

$$c = 12.65 \times 2$$

$$c = 25.3$$

### CÁLCULO DE ESFUERZO CORTANTE MÁXIMO, TORQUE Y MOMENTO:

Cálculo del valor de C:

$$T_{\text{max}} = \frac{(\sqrt{T^2 - T^2}) \times c}{J}$$

$$C = \frac{d}{2} \times \frac{30}{2} \times 15$$

$$C = 0.015m$$

Cálculo del valor de J:

$$J = \frac{\pi}{2} (r^4)$$

$$J = \frac{\pi}{2} (0.015^4)$$

$$J = 7.95 \times 10^{-8} m^4$$

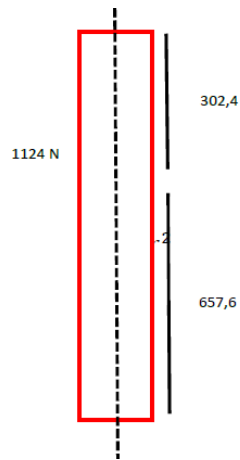
Reemplazando los valores en la formula principal:

$$T_{\text{max}} = \frac{(\sqrt{40^2 - 795.33^2}) \times 0.015}{7.95 \times 10^{-8}}$$

$$T_{\text{max}} = 150.25 \text{ Mpa} \leq 250 \text{ Mpa}$$

**CÁLCULO DE DEFORMACION:**

A continuación, se realizará en análisis de uno de los ejes verticales.



$$\delta = \frac{P \times L}{E \times A}$$

$$\delta = \frac{1124 \times 0.6576}{200 \times 10^9 \times \pi \times 0.015^2}$$

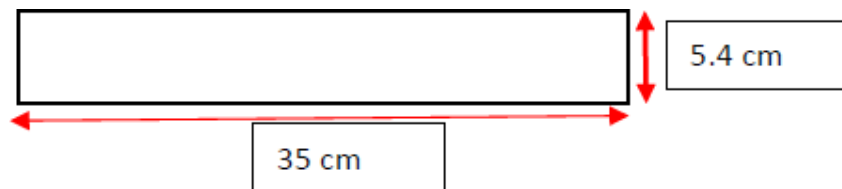
$$\delta = 5.22 \times 10^{-6} m$$

$$\delta = 0.00522 \text{ mm}$$

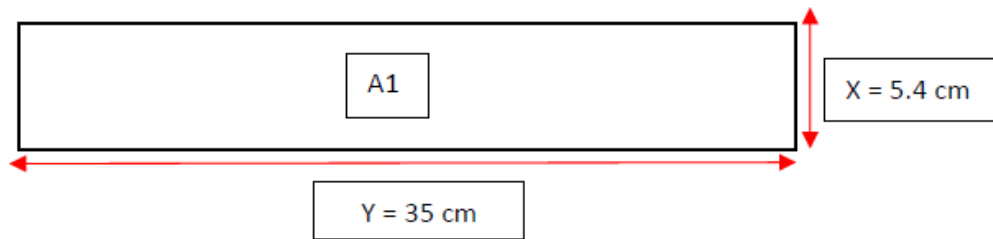
La deformación que este presentará será de 0.00522 mm.

**CÁLCULO DE ACTUADORES PARA EL SISTEMAS DE ASPERCIÓN****CÁLCULO DEL TORQUE DEL MOTOR:**

Dimensiones:



Cálculo del centro de gravedad:



Cálculo de área:

$$A = 5.4 \text{ cm} \times 35 \text{ cm}$$

$$A = 189 \text{ cm}^2$$

Cálculo del punto en el eje X:

$$x = \frac{5.4 \text{ cm}}{2}$$

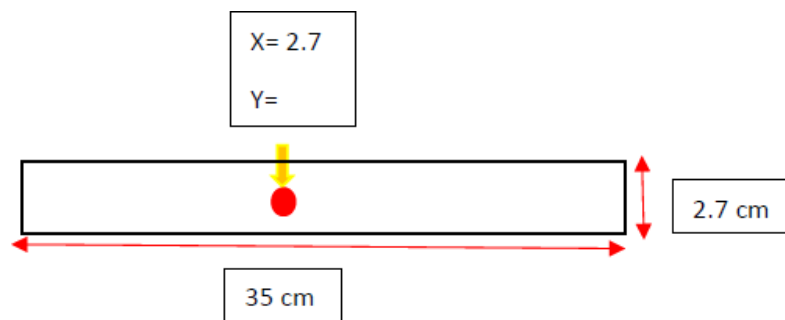
$$x = 2.7 \text{ cm}$$

Cálculo del punto en el eje y:

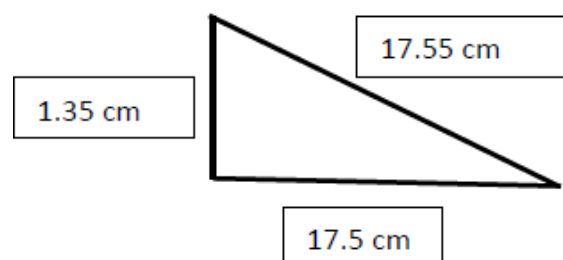
$$y = \frac{35 \text{ cm}}{2}$$

$$y = 17.5 \text{ cm}$$

Ubicando los puntos en la pieza:



Por Pitágoras se calcula la hipotenusa el cual será tomado como radio.



## CÁLCULO PARA ACTUADORES DE DESPLAZAMIENTO DE LA MÁQUINA.

Cálculo de la velocidad angular de la máquina para definir el motor apropiado.

$$W = \frac{v}{2 \times \pi \times r}$$

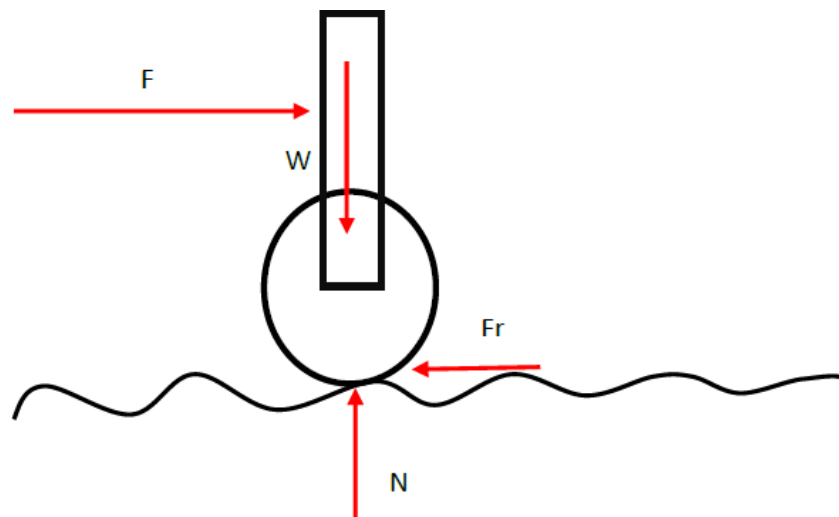
Donde:

$$W = \frac{0,5 \text{ m/s}}{2 \times 3,1416 \times 0,175 \text{ m}}$$

$$W = 0,455 \text{ Rps}$$

$$W = 27,3 \text{ Rpm}$$

## CÁLCULO DEL TORQUE DEL MOTOR EN SUPERFICIES PLANAS (RUEDAS DELANTERAS).



$$P_1 = \frac{299,614 \text{ kg}}{4}$$

$$P_1 = 74,9 \text{ kg}$$

$$F_r = \mu e \times N$$

Donde:

$$F_r = 1 \times 881,72 \text{ N}$$

$$F_r = 881,72 \text{ N}$$

Teniendo todos los datos de calcula el torque mínimo del motor a continuación:

$$T = 881,72 N \times 0,175 m$$

$$T = 154,301 N.m$$

### POTENCIA DEL MOTOR.

$$P = W \times T$$

Donde:

$$W = \frac{28}{1 \text{ min}} \times \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} \times \frac{2 \pi}{1}$$

$$W = 2,93 \text{ rad/s}$$

Reemplazando en la fórmula:

$$P = 2,93 \frac{\text{rad}}{\text{s}} \times 154,301 N.m$$

$$P = 452,09 W$$

A la potencia calculada se le va a agregar el factor de seguridad de 30 %.

$$P = 452,09 W + 30\%$$

$$P = 452,09 W + 127,5 W$$

$$P = 579,6 W$$

### CÁLCULO DE LA CORRIENTE.

$$P = I \times V$$

$$I = \frac{P}{V}$$

$$I = \frac{579,6 W}{24 V}$$

$$I = 24,14 A$$

### Cálculo del torque del motor en superficies no inclinadas (ruedas traseras):

$$P = 452,09 W \times 40 \%$$

$$P = 452,09 W \times 180,83 W$$

$$P = 632,93 W$$

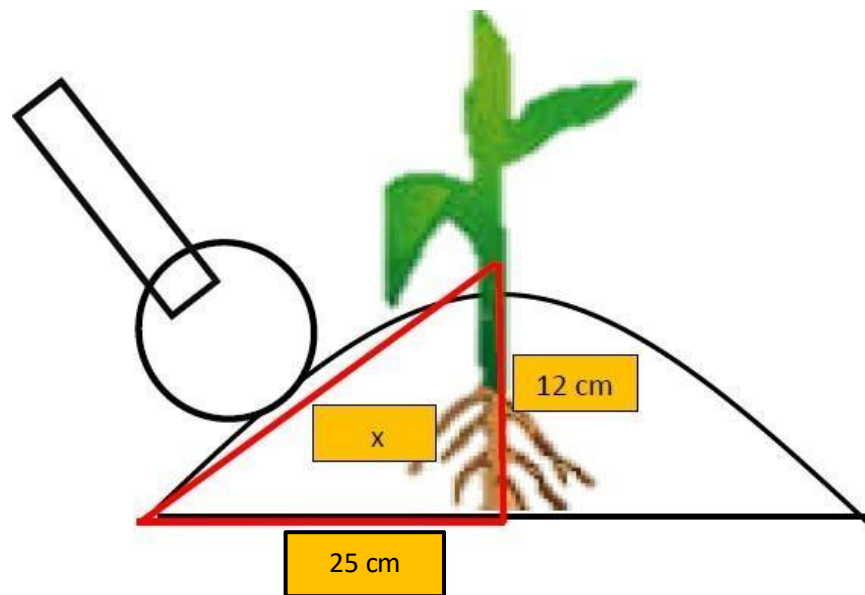
Del cálculo de la potencia se va a calcular la corriente del motor para las ruedas de la parte trasera.

$$I = \frac{P}{V}$$

$$I = \frac{497,3}{24}$$

$$I = 26,37 A$$

### CÁLCULO DE INCLINACIÓN DE LA RUEDA.



**Cálculo del torque del motor en superficies inclinadas (ruedas delanteras).**

$$x^2 = 12^2 \text{ cm} + 25^2 \text{ cm}$$

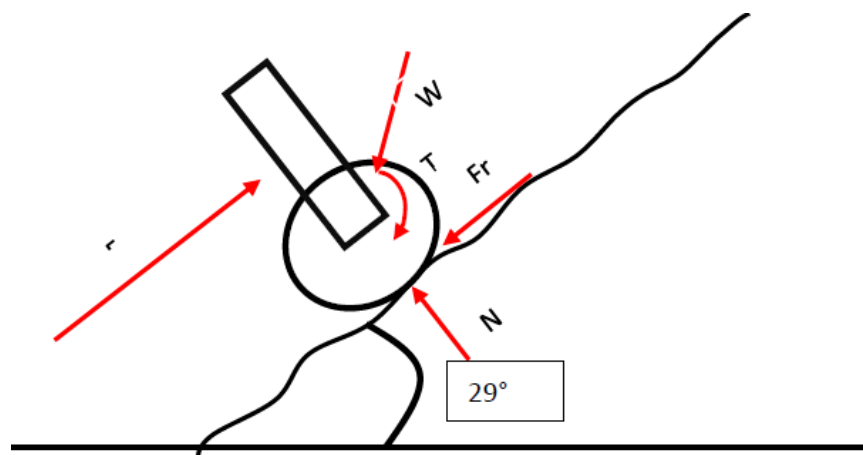
$$x = \sqrt{769} \text{ cm}$$

Con este dato se podrá calcular el ángulo el cual se muestra a continuación:

$$\sin x = \frac{12}{25}$$

$$x = \text{sen}^{-1} \frac{12}{25}$$

$$x = 28,68^\circ$$



Por descomposición de fuerzas.

Sumatoria de fuerzas en Y:

$$\sum Fy = 0$$

$$N \cos 29 + F \sin 29 = N 1 \sin 29 + W$$

$$(0,87) + F (0,48) = N (0,48) + 881,72 N$$

Sumatoria de fuerzas en X:

$$\sum Fx = 0$$

$$F \cos 29 - \sin 29 + N \cos 29 = 0$$

$$(0,87) - N (0,48) + N (0,39) = 0$$

Igualando las ecuaciones 1y 2 y despejando N se obtiene:

$$\sum Fx = F(0,87) + N(0,39) = N (0,48)$$

$$\sum Fy = F(0,48) + N(0,87) = N (0,48) + 881,72 N$$

$$N = \frac{F(0,87)}{0,09}$$

$$F(0,48) + F \frac{(0,87)}{0,09} (0,48) = 881,72 N$$

$$F (5,12) = 881,72 N$$

$$F = \frac{881,72}{5,12}$$

$$F = 172,21 N$$

Con la fuerza obtenida, se procederá a calcular la potencia que el motor debe generar para poder mover la máquina bajo estas condiciones.

$$P = 2,93 \frac{rad}{seg} \times 172,2 N$$

$$P = 504,58 W$$

A la potencia calculada se le va a agregar el factor de seguridad en un 30%.

$$P = 504,58 W + 151,37 W$$

$$P = 655,95 W$$

Cálculo de corriente

$$I = \frac{P}{V}$$

$$I = \frac{655,95 W}{24 V}$$

$$I = 27,33 A$$

### Cálculo del torque del motor en superficies inclinadas (ruedas traseras).

$$P = 504,58 \text{ W} + 201,8 \text{ W}$$

$$P = 706,412 \text{ W}$$

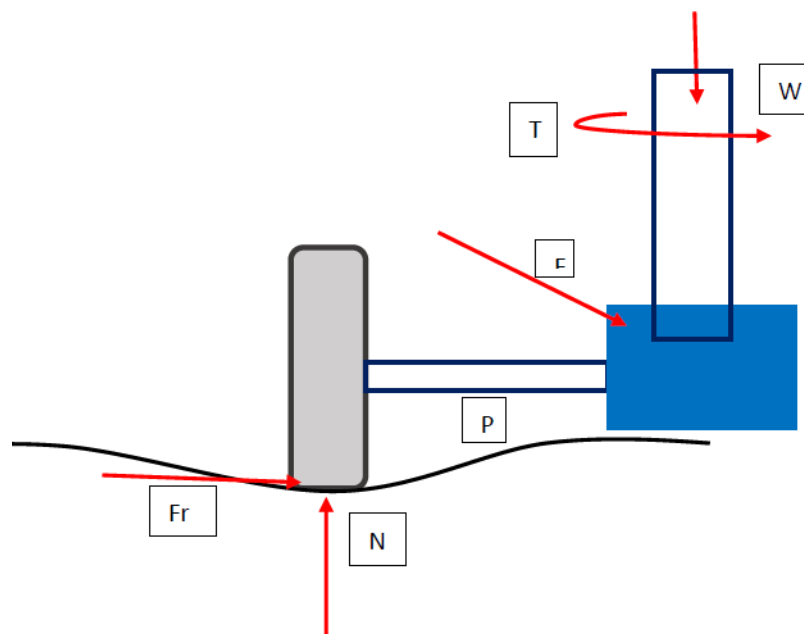
Cálculo de corriente:

$$I = \frac{706,412}{24}$$

$$I = 29,43 \text{ A}$$

### Cálculo del torque del motor para orientación de la máquina en superficies planas (ruedas delanteras).

D.C.L del eje vertical del motor.



El torque mínimo que deberá tener el motor está dado por la siguiente fórmula.

$$T = Fr \times r$$

$$T = 881,72 \times 0,30 \text{ m}$$

$$T = 264.516 \text{ N. m}$$

Conversión de velocidad:

$$W = \frac{14,96}{1 \text{ min}} \times \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} \times \frac{2 \pi}{1}$$

$$W = 1,567 \text{ rad/s}$$

Reemplazando en la fórmula:

$$P = W \times T$$

$$P = 1,567 \frac{\text{rad}}{\text{s}} \times 264,516 \text{ N.m}$$

$$P = 414,50 \text{ W}$$

A la potencia calculada se le va a agregar el factor de seguridad de 30 %.

$$P = 452,09 \text{ W} + 30\%$$

$$P = 452,09 \text{ W} + 127,5 \text{ W}$$

$$P = 579,6 \text{ W}$$

### **CÁLCULO DE CORRIENTE QUE CONSUMIRA EL MOTOR.**

$$I = \frac{P}{V}$$

$$I = \frac{539,5 \text{ W}}{24 \text{ V}}$$

$$I = 22,47 \text{ A}$$

**Cálculo del torque del motor para la orientación de la máquina en superficies planas (ruedas traseras).**

Para este caso el factor de seguridad será de 40%.

$$P = 539,5 \text{ W} + 201,8 \text{ W}$$

$$A = 741,3 \text{ W}$$

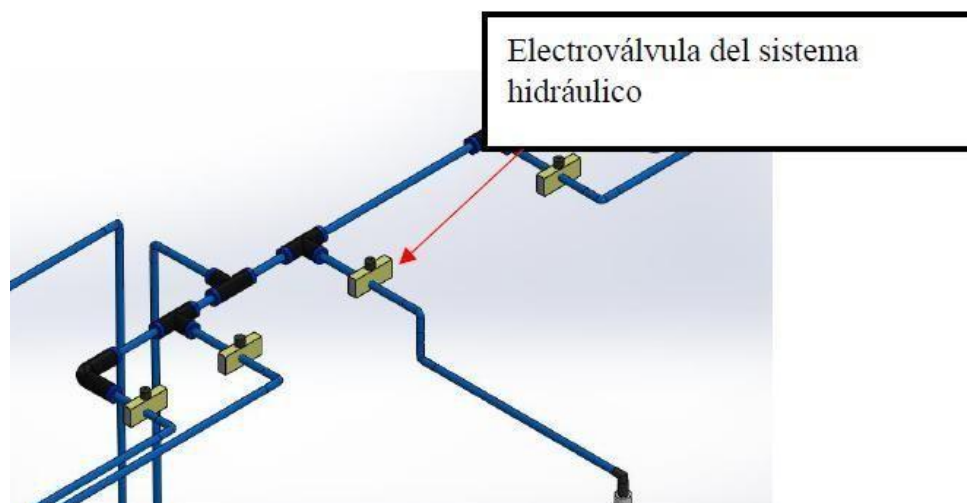
### **CÁLCULO DE LA CORRIENTE.**

$$P = I \times V$$

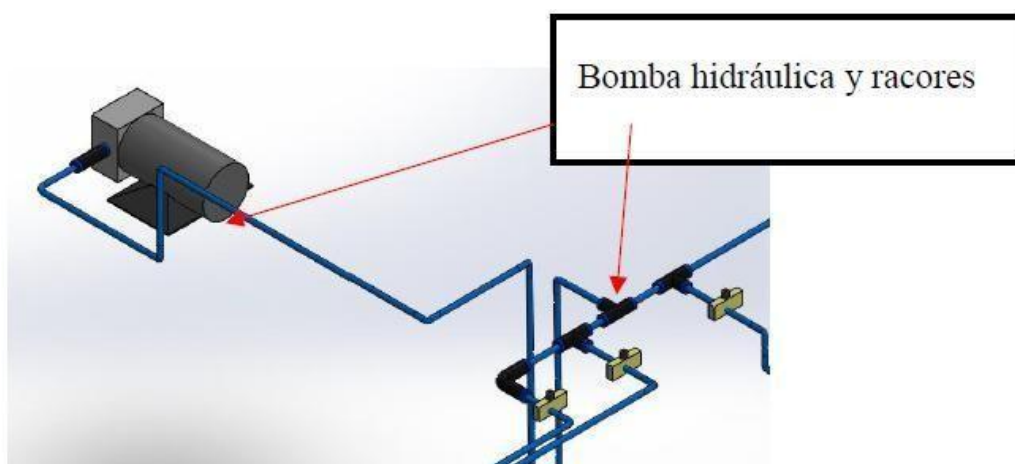
$$I = \frac{P}{V}$$

$$I = \frac{741,3 \text{ W}}{24 \text{ V}}$$

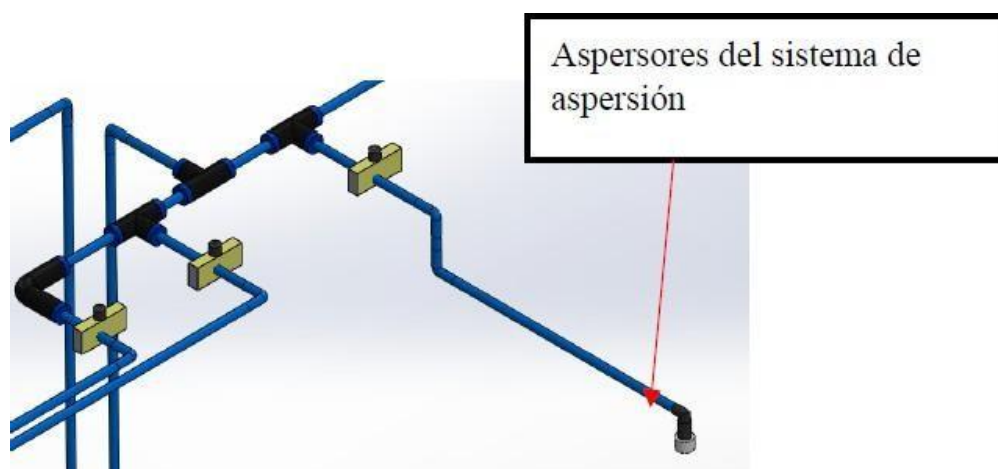
$$I = 30,9 \text{ A}$$

**ANEXO C:****Conexiones del sistema hidráulico.**

*Ilustración 42 Conexiones del sistema hidráulico de racores y electroválvulas.*



*Ilustración 43 Conexiones de sistema hidráulico bomba hidráulica y racores.*



*Ilustración 44 Conexiones de sistema hidráulico racores y aspersores.*

## ANEXO D:

## Plano electrónico de la máquina.

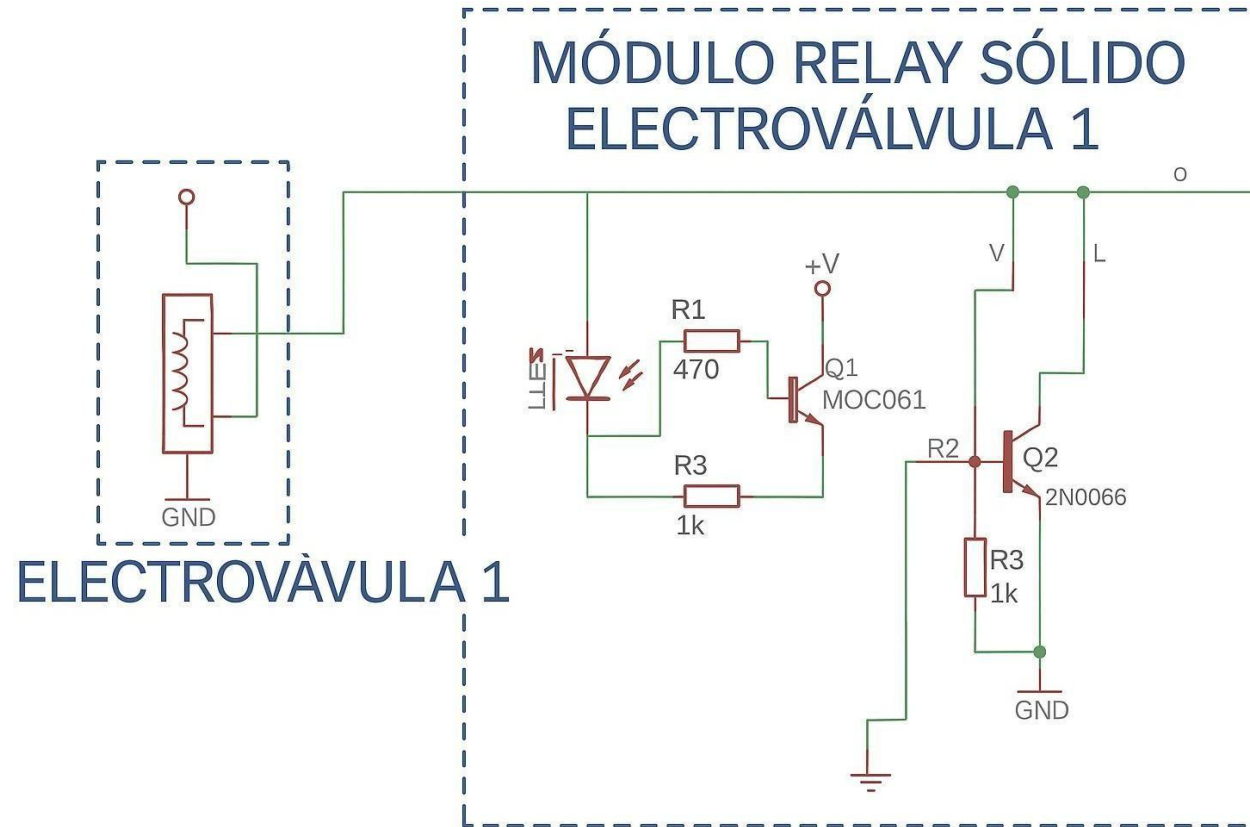


Ilustración 45 Diagrama esquemático de electroválvula.

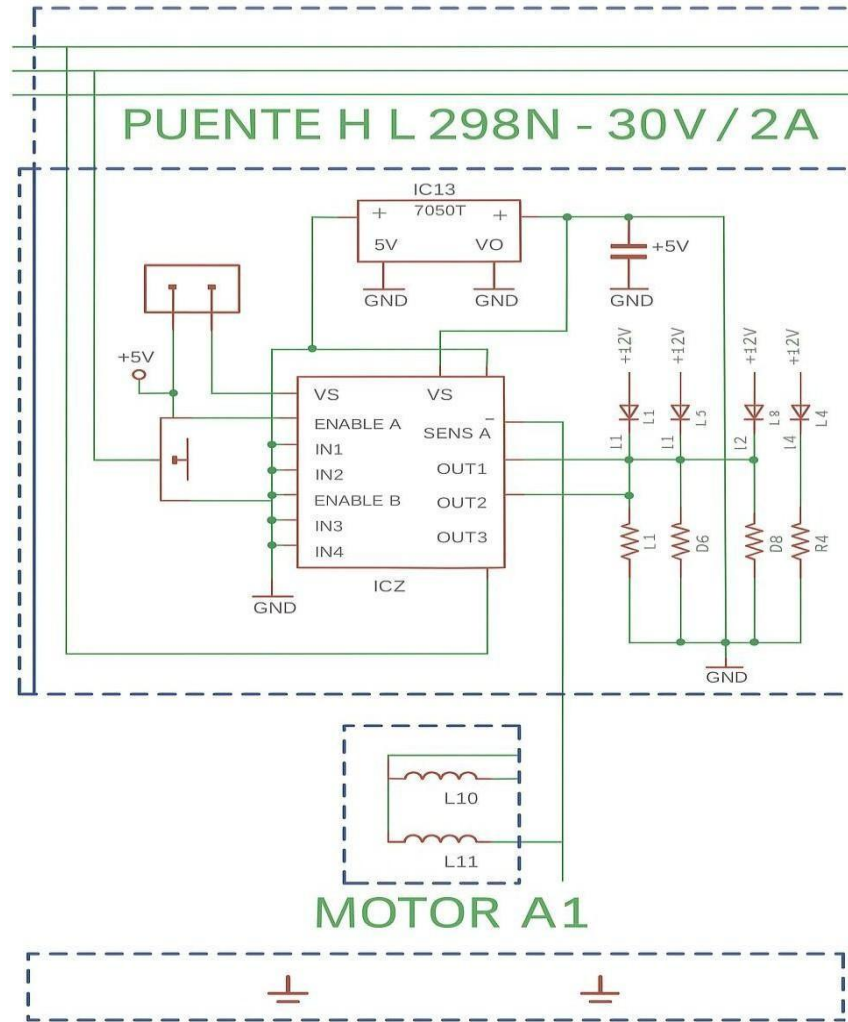
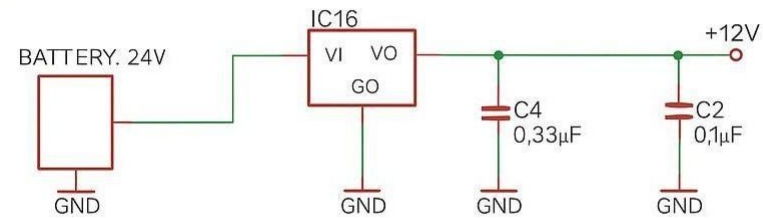


Ilustración 46 Diagrama esquemático de puente H L2978N.

## REGULADOR DE VOLTAJE 12V



## REGULADOR DE VOLTAJE 5V

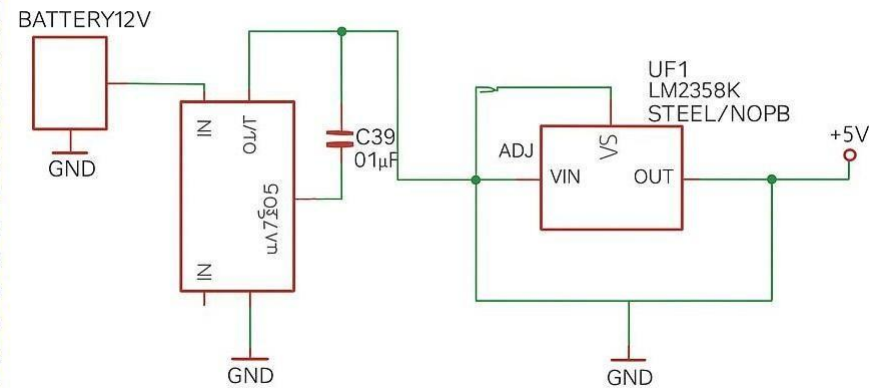


Ilustración 47 Reguladores de voltaje de 12V a 5V.

# SENSOR IR-1 E18-D80NK

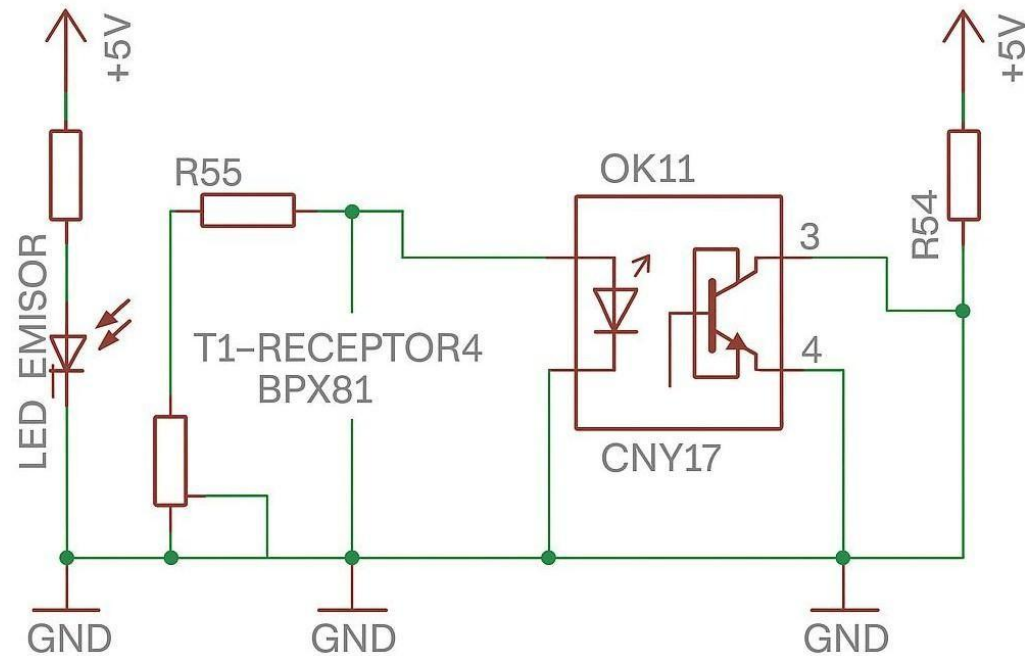


Ilustración 48 Diagrama esquemático de un sensor de presión.

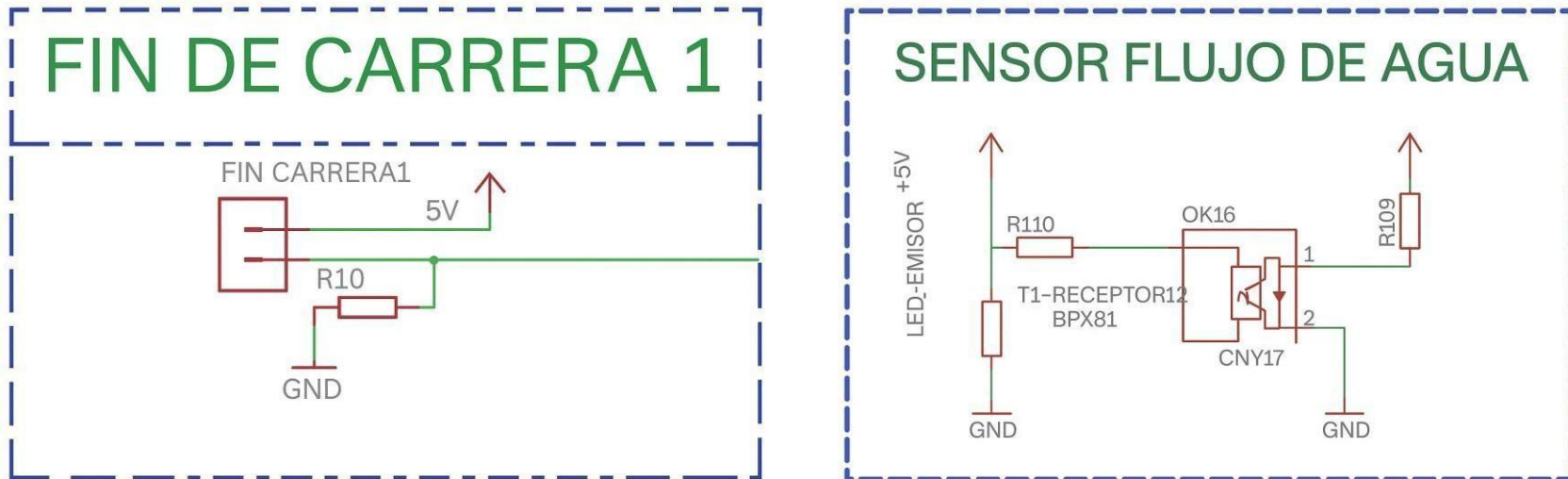


Ilustración 49 Diagrama esquemático del final de carrera y sensor de flujo de agua.

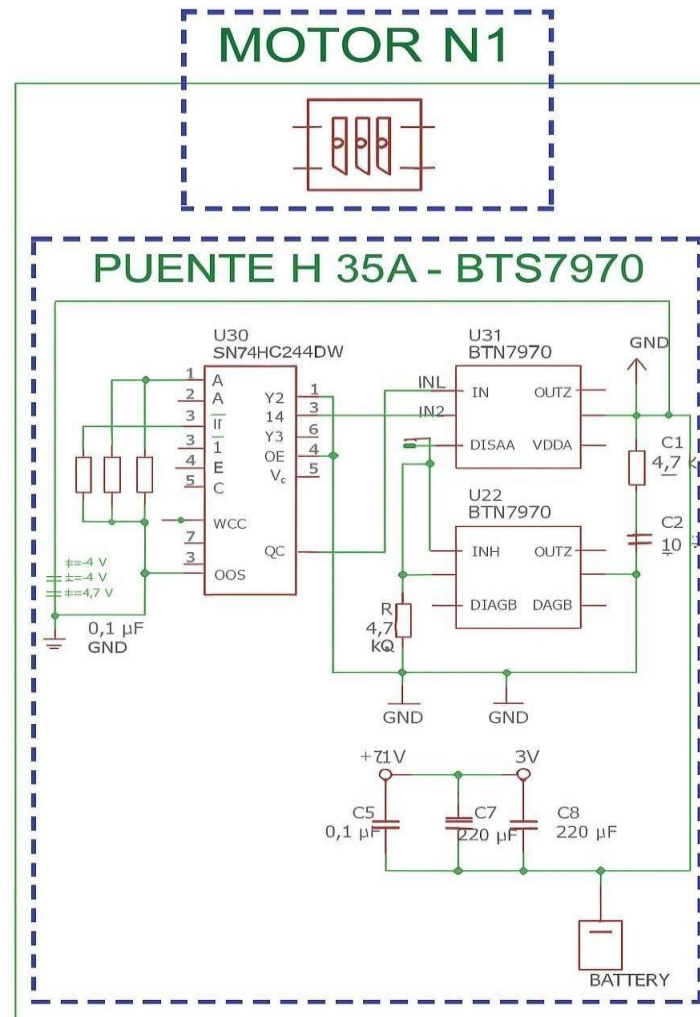


Ilustración 50 Diagrama esquemático del puente H BTS 7990.

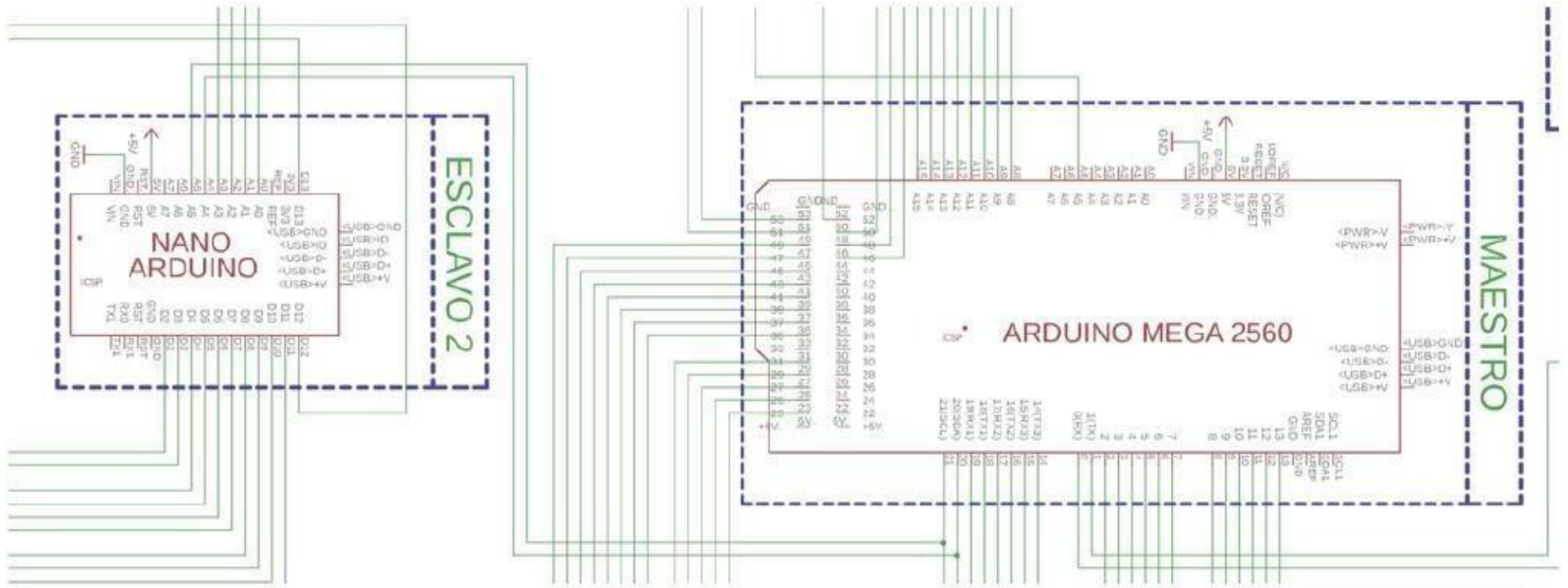
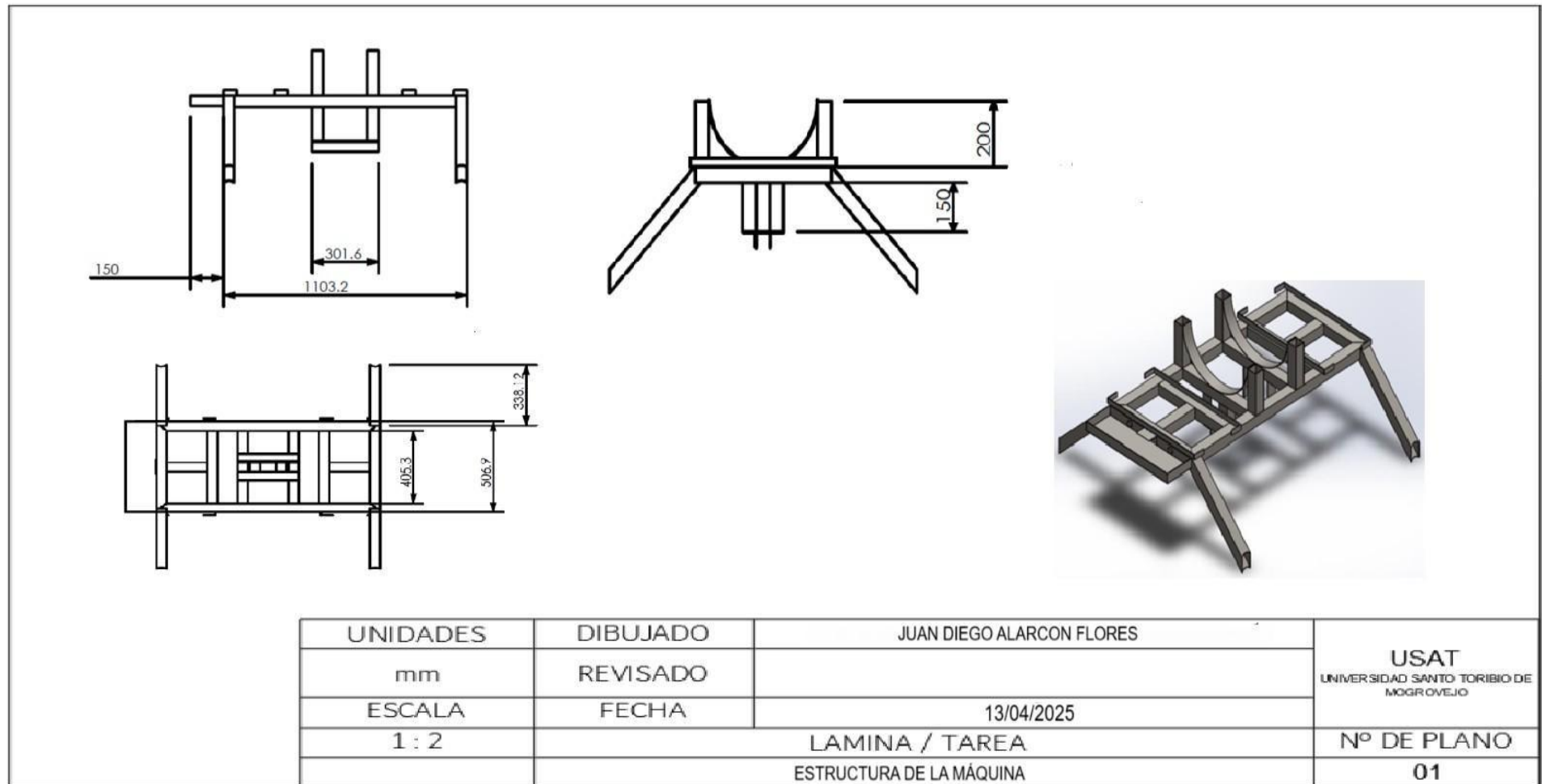


Ilustración 51 Diagrama esquemático De los controladores.

## ANEXO E:



*Ilustración 52 Plano de la estructura la máquina.*

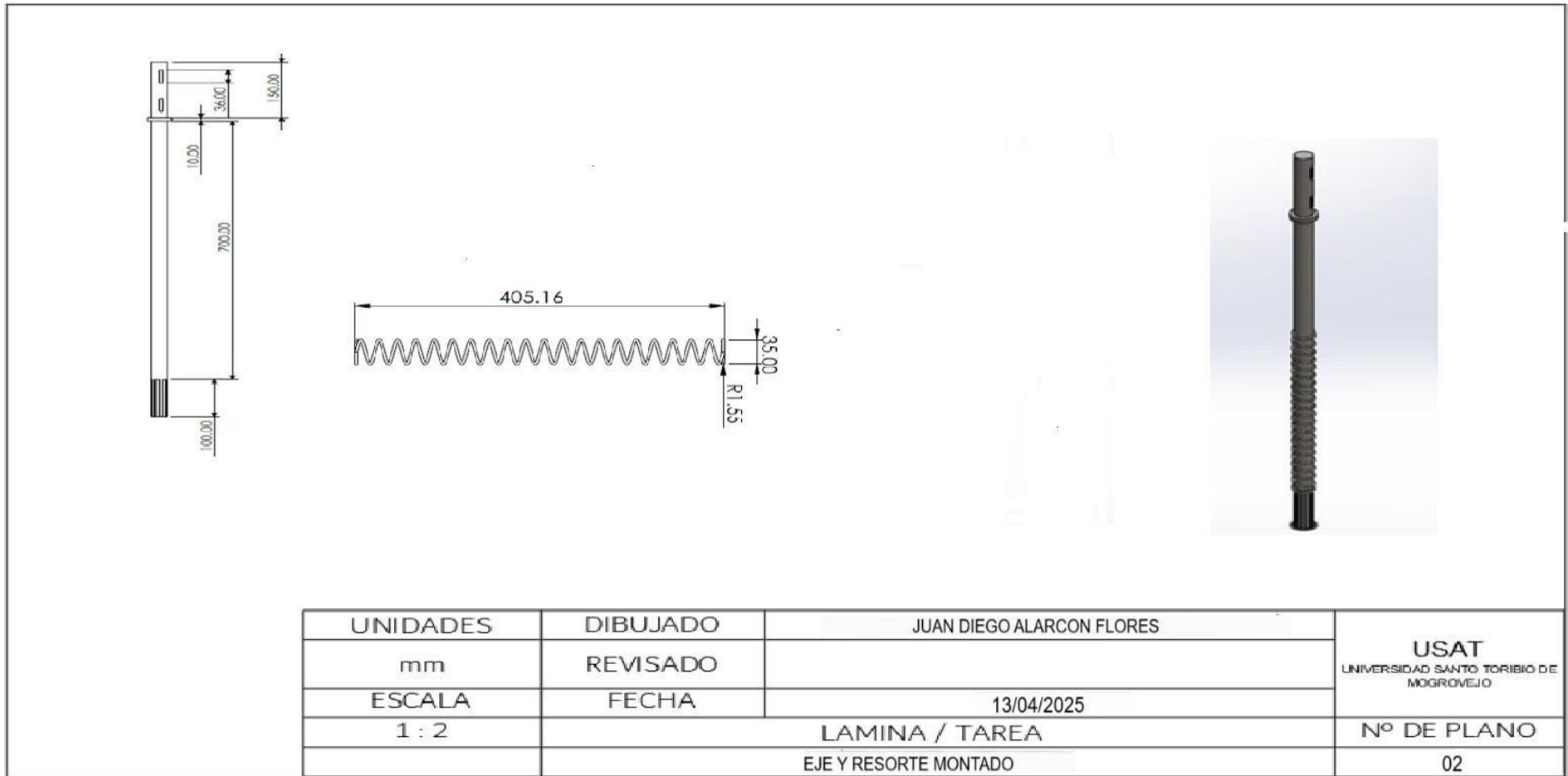


Ilustración 53 Plano del eje y resorte montado.

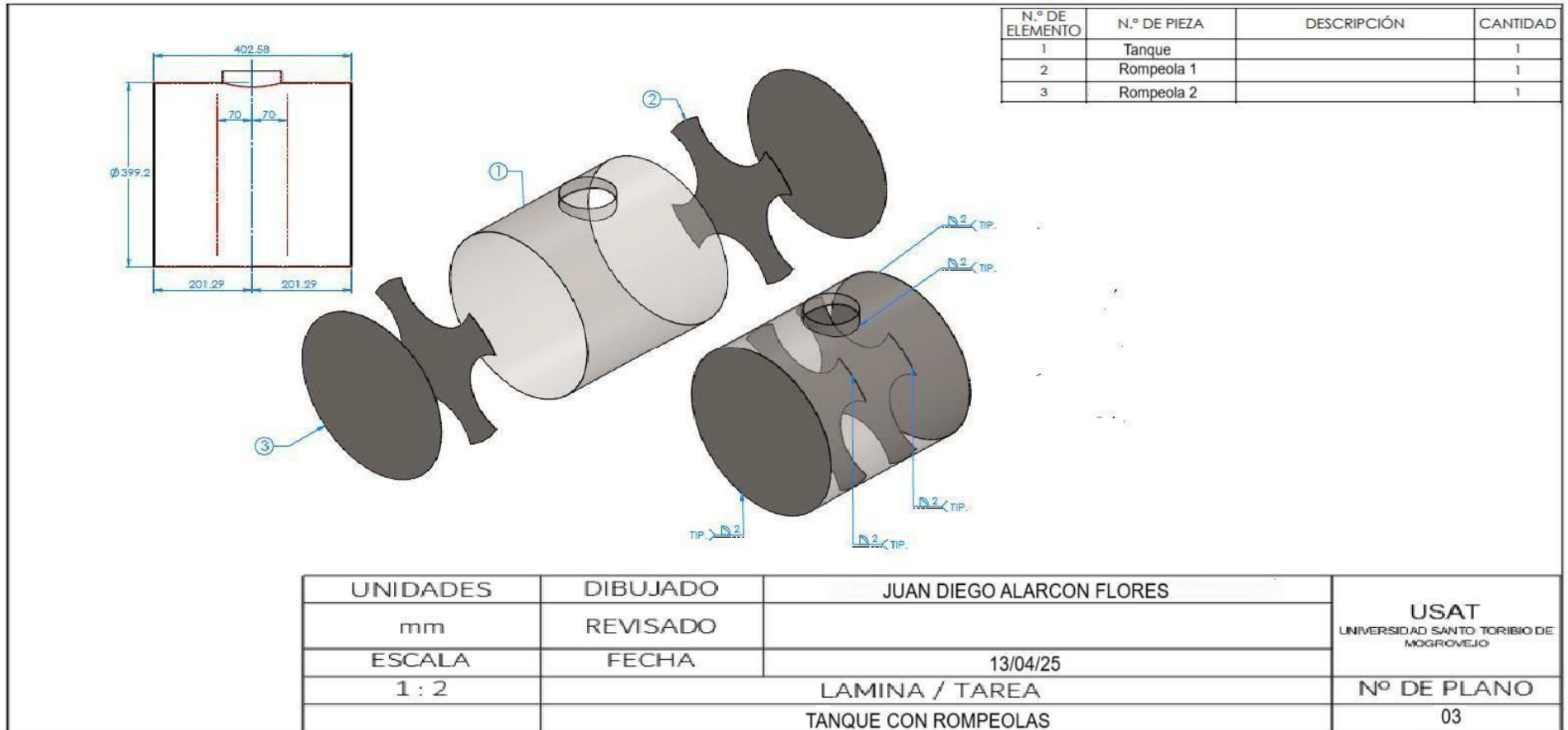


Ilustración 54 Plano del tanque con rompeolas.

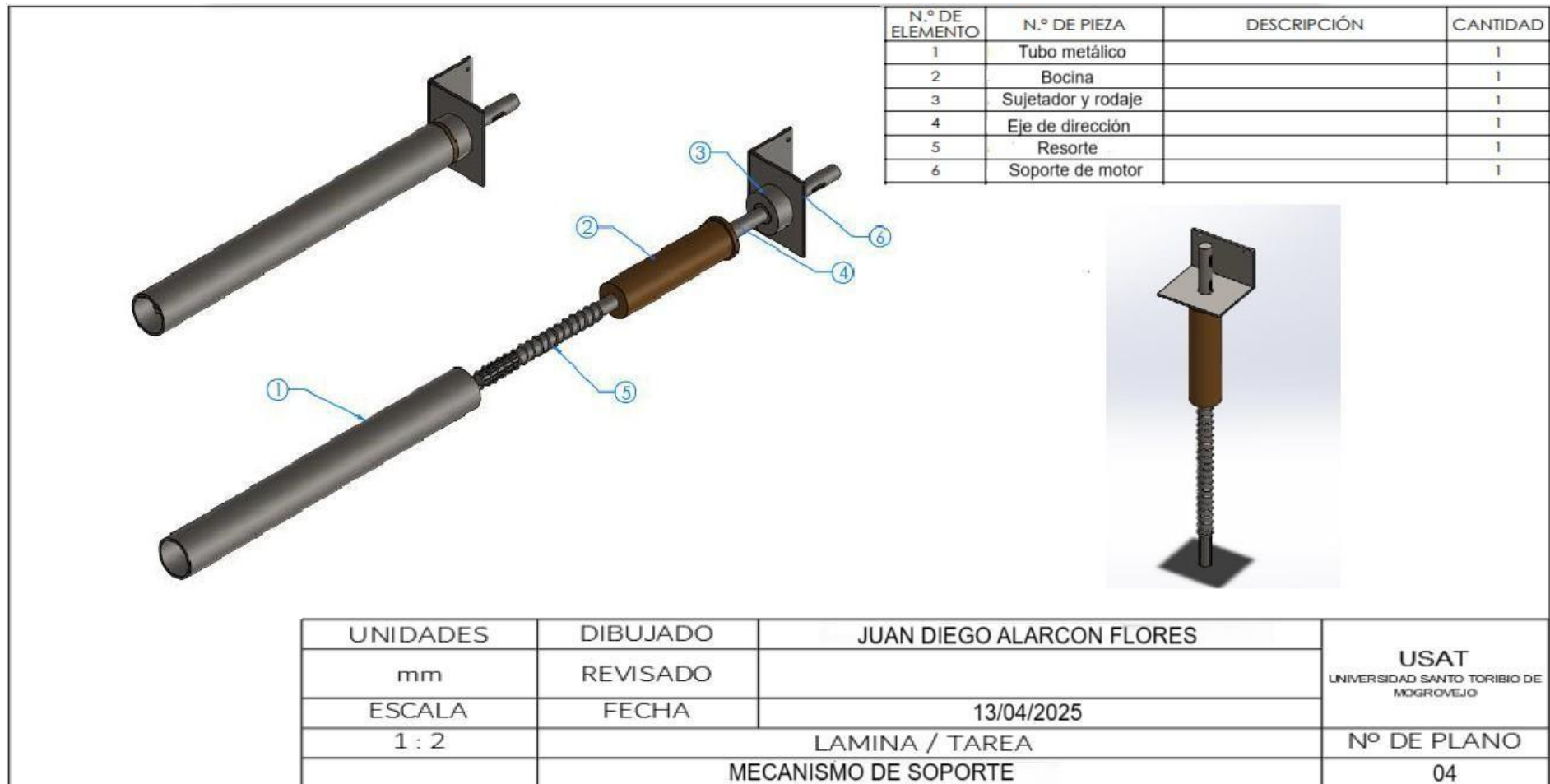


Ilustración 55 Plano del mecanismo de soporte.

N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	Tubo de sujeción		1
2	Tubo de acople		1
3	Base para soporte		1
4	Eje de la rueda		1
5	Rodamientos del eje		1

UNIDADES	DIBUJADO	JUAN DIEGO ALARCON FLORES	USAT UNIVERSIDAD SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
mm	REVISADO	13/04/2025	
ESCALA	FECHA		
1 : 2	LAMINA / TAREA		Nº DE PLANO
	MECANISMO DE LOCOMOCIÓN		05

Ilustración 56 Plano del mecanismo de locomoción.

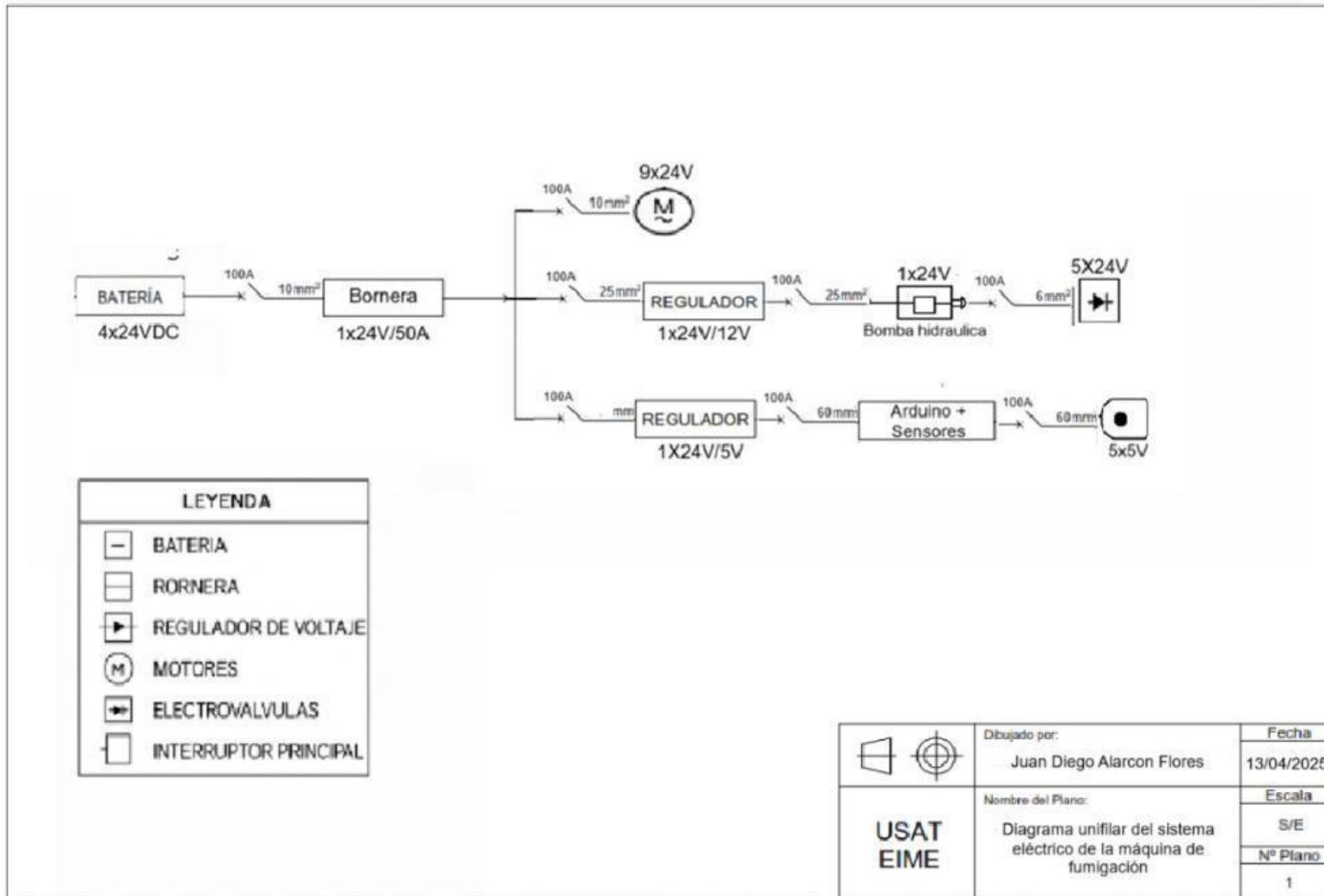


Ilustración 57 Diagrama unifilar eléctrico de la máquina.