

ALEXANDER VARGAS ALMEIDA
HARUMI ALEJANDRA MÉNDEZ JIMÉNEZ
MIGUEL ÁNGEL OLIVARES ROBLES
MARILOLI VARGAS ALMEIDA
VERÓNICA ISIDRA DOMÍNGUEZ RODRÍGUEZ

DESARROLLO DE AGRITECH PARA LA SOSTENIBILIDAD, EFICIENCIA Y RESILIENCIA DEL CACAO EN TABASCO



ALEXANDER VARGAS ALMEIDA
HARUMI ALEJANDRA MÉNDEZ JIMÉNEZ
MIGUEL ÁNGEL OLIVARES ROBLES
MARILOLI VARGAS ALMEIDA
VERÓNICA ISIDRA DOMÍNGUEZ RODRÍGUEZ

DESARROLLO DE AGRITECH PARA LA SOSTENIBILIDAD, EFICIENCIA Y RESILIENCIA DEL CACAO EN TABASCO



2025 by Atena Editora

Copyright © 2025 Atena Editora

Copyright do texto © 2025, o autor

Copyright da edição © 2025, Atena Editora

Os direitos desta edição foram cedidos à Atena Editora pelo autor.

Open access publication by Atena Editora

Editora chefe

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Editora executiva

Natalia Oliveira Scheffer

Imagens da capa

iStock

Edição de arte

Yago Raphael Massuqueto Rocha



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob a Licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC BY 4.0).

A Atena Editora mantém um compromisso firme com a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, assegurando que os padrões éticos e acadêmicos sejam rigorosamente cumpridos. Adota políticas para prevenir e combater práticas como plágio, manipulação ou falsificação de dados e resultados, bem como quaisquer interferências indevidas de interesses financeiros ou institucionais.

Qualquer suspeita de má conduta científica é tratada com máxima seriedade e será investigada de acordo com os mais elevados padrões de rigor acadêmico, transparência e ética.

O conteúdo da obra e seus dados, em sua forma, correção e confiabilidade, são de responsabilidade exclusiva do autor, não representando necessariamente a posição oficial da Atena Editora. O download, compartilhamento, adaptação e reutilização desta obra são permitidos para quaisquer fins, desde que seja atribuída a devida autoria e referência à editora, conforme os termos da Licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC BY 4.0).

Os trabalhos nacionais foram submetidos à avaliação cega por pares, realizada pelos membros do Conselho Editorial da editora, enquanto os internacionais passaram por avaliação de pareceristas externos. Todos foram aprovados para publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

Desarrollo de AgriTech para la sostenibilidad, eficiencia y resiliencia del cacao en Tabasco

| Autores:

Alexander Vargas Almeida
Harumi Alejandra Méndez Jiménez
Miguel Ángel Olivares Robles
Mariloli Vargas Almeida
Verónica Isidra Domínguez Rodríguez

| Revisão:

Os autores

Datos de catalogación en publicación internacional (CIP)

D441 Desarrollo de AgriTech para la sostenibilidad, eficiencia y resiliencia del cacao en Tabasco / Alexander Vargas Almeida, Harumi Alejandra Méndez Jiménez, Miguel Ángel Olivares Robles, et al. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2025.

Otros autores
Mariloli Vargas Almeida
Verónica Isidra Domínguez Rodríguez

Formato: PDF
Requisitos del sistema: Adobe Acrobat Reader
Modo de acceso: World Wide Web
Incluye bibliografía
ISBN 978-65-258-3665-2
DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.652252108>

1. Cacao. I. Almeida, Alexander Vargas. II. Jiménez, Harumi Alejandra Méndez. III. Robles, Miguel Ángel Olivares. IV. Título.

CDD 633.74

Preparado por Bibliotecario Janaina Ramos – CRB-8/9166

Atena Editora

📞 +55 (42) 3323-5493

📞 +55 (42) 99955-2866

🌐 www.atenaeditora.com.br

✉ contato@atenaeditora.com.br

CONSELHO EDITORIAL

CONSELHO EDITORIAL

Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano
Prof^a Dr^a Amanda Vasconcelos Guimarães – Universidade Federal de Lavras
Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás
Prof^a Dr^a Ariadna Faria Vieira – Universidade Estadual do Piauí
Prof. Dr. Arinaldo Pereira da Silva – Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará
Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás
Prof. Dr. Cirênio de Almeida Barbosa – Universidade Federal de Ouro Preto
Prof. Dr. Cláudio José de Souza – Universidade Federal Fluminense
Prof^a Dr^a Daniela Reis Joaquim de Freitas – Universidade Federal do Piauí
Prof^a Dr^a. Dayane de Melo Barros – Universidade Federal de Pernambuco
Prof. Dr. Elio Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof^a Dr^a Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Prof. Dr. Fabrício Moraes de Almeida – Universidade Federal de Rondônia
Prof^a Dr^a Glécilla Colombelli de Souza Nunes – Universidade Estadual de Maringá
Prof. Dr. Humberto Costa – Universidade Federal do Paraná
Prof. Dr. Joachin de Melo Azevedo Sobrinho Neto – Universidade de Pernambuco
Prof. Dr. João Paulo Roberti Junior – Universidade Federal de Santa Catarina
Prof^a Dr^a Juliana Abonizio – Universidade Federal de Mato Grosso
Prof. Dr. Julio Cândido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Prof^a Dr^a Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná
Prof^a Dr^a Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará
Prof. Dr. Sérgio Nunes de Jesus – Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia
Prof^a Dr^a Talita de Santos Matos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Tiago da Silva Teófilo – Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

AGRADECIMIENTOS

AGRADECIMIENTOS

Al **Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Tabasco (CCYTET)**
por el recurso económico proporcionado para desarrollo del proyecto
PROECTI-2020-01/079.

ÍNDICE

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....1

**AUTOMATIZACIÓN EN EL SECTOR AGRÍCOLA PARA
FUMIGACIÓN.....3**

1 México en la agricultura 4.0	3
2 Tipos de robots para sector agrícola	4
3 Situación actual de la aplicación de los equipos de fumigación en cultivos de cacao.....	5

LA IMPORTANCIA DEL CACAO PARA EL ESTADO DE TABASCO 6

1 El cacao en la economía de la cultura prehispánica.....	6
2 Patrimonio cultural.....	7
3 Denominación de origen	7
4 Marco de economía circular	8

ENFERMEDADES QUE AFECTAN A LOS CULTIVOS DE CACAO 10

1 Moniliasis	10
1.1 Agente causal	10
1.2 Síntomas	10
2 Escoba de bruja	11
2.1 Agente causal	11
2.2 Síntomas	11
3 Pudrición parda de la mazorca	12
3.1 Agente causal	12
3.2 Síntomas	12
4 Mal del machete.....	13
4.1 Agente causal.....	13
4.2 Síntomas	13

ÍNDICE

ÍNDICE

DISEÑO DE UN ROBOT DE FUMIGACION AGRÍCOLA.....15

1 Diseño conceptual	15
1.1. Criterios de diseño	15
1.2 Identificación de los procesos	16
1.3 Definición y descripción de las entradas y salidas.....	17
1.4 Diagrama de flujo de procesos	18
2 Diseño preliminar.....	20
2.1 Contenedor 5 litros	20
2.2 Mecanismo de oruga	20
2.3 Chasis del robot	23
3 Diseño detallado	25
3.1 Componentes eléctricos – electrónicos.....	25
3.2 Diagrama eléctrico-electrónico	32

PRUEBAS Y RESULTADOS33

1 Análisis de esfuerzos mediante estrés de Von Mises	33
1.1 Análisis chasis inferior.....	34
1.2 Análisis base de robot.....	36
2 Ensamble del diseño preliminar.....	37
3 Simulación	38
4 Recomendaciones	41

DISEÑO DE DRON PARA APLICACIÓN DE FUNGICIDA POR FUMIGACIÓN AÉREA EN CULTIVOS DE CACAO42

1. Selección de componentes y partes del dron fumigador	42
1.1. Batería.....	42
1.2. Motores	43
1.3. Hélices	44

ÍNDICE

ÍNDICE

1.4. Sensores.....	45
1.5. Controlador de vuelo.....	46
1.6. Variadores de velocidad	47
1.7. Bluetooth.....	48
1.8. Bomba de agua.....	49
1.9. Tanque de líquido.....	50
2. Diseño de elementos del dron.....	50
2.1. Diseño estructural.....	50
Base inferior del dron	51
Base superior del dron.....	52
Brazo, hélice y motor del dron.....	52
Tanque del líquido	53
2.2. Diseño eléctrico-electrónico.....	53
Conexiones del circuito	54
3. Ejecución y construcción	55
PRUEBAS Y RESULTADOS DEL PROTOTIPO DEL DRON	57
Sincronización de motores.....	57
Rendimiento de los motores	57
Tiempo de respuesta.....	58
Precisión de activación.....	58
EXPECTATIVAS A MEDIANO PLAZO	59
1. Discusión de los resultados y expectativas a mediano plazo	59
CONCLUSIÓN	61
REFERENCIAS.....	62



C A P Í T U L O 1

INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas, la agricultura ha enfrentado múltiples desafíos derivados del cambio climático, la creciente demanda de alimentos y la urgencia de adoptar prácticas más sostenibles. La región de Tabasco, conocida históricamente por su riqueza en biodiversidad y por ser una de las principales zonas productoras de cacao en México, no es ajena a estos retos. El campo tabasqueño, especialmente el sector cacaotero, se ve afectado por fenómenos como la variabilidad climática, las inundaciones y la degradación del suelo, lo que ha puesto en riesgo tanto su productividad como la economía local, que depende en gran medida de este cultivo emblemático.

En este contexto, el AgriTech se presenta como una solución prometedora, aplicando tecnologías avanzadas en agricultura para mejorar la sostenibilidad, eficiencia y resiliencia del campo. Con el uso de sensores, robótica, biotecnología y análisis de datos, el sector cacaotero de Tabasco puede transformarse, adoptando prácticas más eficientes en el manejo del suelo y el agua, mejorando la resistencia de los cultivos a plagas y enfermedades, y aumentando la calidad y el rendimiento del cacao.

Tabasco es reconocido por ser uno de los principales productores de cacao de México, por su calidad superior y valor cultural. Sin embargo, el sector cacaotero enfrenta desafíos significativos, como la variabilidad climática, plagas y enfermedades, lo que compromete tanto la producción como el sustento de las comunidades agrícolas locales. Para abordar estos desafíos, es imperativo fomentar la innovación y crear un entorno propicio para el emprendimiento en el ámbito de AgriTech.

La innovación en el sector agrícola es clave para transformar la producción de cacao en Tabasco. Algunas áreas de enfoque incluyen:

- I Desarrollo de Nuevas Tecnologías: La creación de herramientas tecnológicas específicas, como sistemas de monitoreo de cultivos basados en drones o sensores, puede ayudar a los agricultores a tomar decisiones informadas sobre el manejo de sus tierras. Startups pueden enfocarse en diseñar y

comercializar estos dispositivos, promoviendo la adopción de prácticas agrícolas más inteligentes y eficientes.

- Biotecnología y Mejoramiento Genético: Fomentar la investigación y el desarrollo de variedades de cacao resistentes a plagas y enfermedades. Las empresas biotecnológicas pueden colaborar con universidades y centros de investigación para crear soluciones que beneficien a los productores locales, asegurando la calidad y sostenibilidad del cacao.
- Plataformas Digitales: La creación de aplicaciones y plataformas que conecten a los agricultores con proveedores, mercados y recursos educativos puede facilitar el acceso a información y herramientas necesarias para mejorar la producción.

La combinación de innovación y emprendimiento en AgriTech tiene un impacto directo en la sostenibilidad y resiliencia del campo tabasqueño. Al implementar tecnologías avanzadas, los productores de cacao pueden:

- Aumentar la Productividad: Mejorar los rendimientos de sus cultivos, asegurando una mayor rentabilidad y sostenibilidad económica para sus familias.
- Reducir el Impacto Ambiental: Adoptar prácticas agrícolas más sostenibles que minimicen el uso de insumos químicos y optimicen el uso de recursos naturales, contribuyendo a la conservación del ecosistema local.
- Fortalecer la Resiliencia: Adaptarse a las condiciones cambiantes del clima y del mercado, creando un sistema agrícola más robusto que pueda enfrentar adversidades futuras.

En este libro se presentan dos aportaciones desde el ámbito del AgriTech: el diseño de un robot de fumigación terrestre y el diseño de un dron para fumigación aérea; ambos prototipos para incrementar el control de plagas y enfermedades en el cultivo y al mismo tiempo disminuir el trabajo manual integrando sistemas mecatrónicos. A través de sus capítulos se muestra información sobre el estado actual de las fincas cacaoteras en Tabasco, identificando las necesidades en materia de innovación y desarrollo tecnológico para hacer frente a las diversas plagas que afectan la producción del grano de cacao. Posteriormente se desarrolla la metodología de diseño de ambos vehículos fumigadores dando a conocer resultados de simulaciones y pruebas de prototipos.



C A P Í T U L O 2

AUTOMATIZACIÓN EN EL SECTOR AGRÍCOLA PARA FUMIGACIÓN

La implementación de la automatización en el sector agrícola consiste en la aplicación de un conjunto de tecnologías que buscan la optimización de la producción y gestión agrícola en diferentes etapas, mejorando el control, el seguimiento y la forma de trabajar. Sin lugar a duda una importante área de oportunidad para la innovación y la introducción a la agricultura de precisión (Valle & Kienzle, 2021).

1 México en la agricultura 4.0

La agricultura 4.0 está integrada por un conjunto de innovaciones enfocadas en el desarrollo de productos agrícolas. Estas innovaciones engloban la agricultura de precisión y las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) para lograr una mayor eficiencia en la producción. (Valle & Kienzle, 2021)

El concepto de agricultura de precisión se basa en la gestión agrícola mediante la observación, la medición y la respuesta de los cultivos en diferentes campos. La investigación e implementación de tecnología en este sector pretende definir un sistema de apoyo y control para la gestión de toda la explotación con el objetivo de optimizar el rendimiento de los insumos, al tiempo que se preservan los recursos. Es la solución a la conservación y la explotación controlada de los cultivos.

La robótica y automatización en la agricultura puede desempeñar un papel importante en el desarrollo sostenible. Esta tecnología puede contribuir a alcanzar ciertos Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de las Naciones Unidas. Ver Figura 1.1.



Figura 1.1. Objetivos de Desarrollo Sostenible a los que pueden contribuir la agricultura 4.0.

Obtenida de (Valle & Kienzle, 2021)

2 Tipos de robots para sector agrícola

A pesar de que la implementación de la robótica ha revolucionado la industria y es parte fundamental de la manufactura que se conoce en la actualidad, aún existen muchos campos en los cuales desarrollar su aplicación. Los robots agrícolas están en sus inicios y existen muestras muy claras de su potencial. Los desafíos por delante no son solo técnicos, sino también socioeconómicos, sobre todo en lo que respecta a la creación de capacidad y a la necesidad de comprender plenamente los principios y las tecnologías en cuestión.

Los primeros robots agrícolas disponibles en el mercado realizan tareas principales: eliminación de malezas, vigilancia de plagas y enfermedades y cosecha de cultivos especializados. Un robot agrícola ofrece oportunidades de ahorros de costos, ya que reduce las necesidades de mano de obra, limita el uso de insumos y reduce las pérdidas de rendimiento debido a la detección tardía de plagas y enfermedades (Valle & Kienzle, 2021).

En la actualidad, el principal impulso para que los agricultores inviertan en robots agrícolas se relacionan con aspectos económicos y ambientales. La adopción de robots agrícolas en las explotaciones comerciales ofrece importantes oportunidades de ahorro de costes. Estos sistemas pueden llenar este vacío y reducir el costo de la mano de obra especializada.

3 Situación actual de la aplicación de los equipos de fumigación en cultivos de cacao

La aplicación de equipos de fumigación en los cultivos de cacao ha evolucionado en los últimos años, adaptándose a las necesidades de control de plagas y enfermedades y a los avances tecnológicos en la agricultura. Actualmente, se han desarrollado equipos más eficientes y precisos para la fumigación en los cultivos de cacao. Algunos equipos son:

- Fumigadoras manuales: Son las más comunes en cultivos de cacao, especialmente en cultivos pequeños o medianos, debido a su bajo costo y facilidad de uso. Sin embargo, requiere mano de obra considerable.
- Fumigadoras de mochila: Es una herramienta muy común en cultivos de pequeña y mediana escala. Son fáciles de usar, pero se requiere de un operador esté en contacto con el producto.
- Fumigación aérea: En algunos países, se han implementado las fumigaciones con drones para áreas muy extensas de cultivo garantizando un mayor alcance.

Es crucial abordar los problemas relacionados con la fumigación, fomentar el manejo integrado de plagas y adoptar prácticas agrícolas más sostenibles para garantizar la salud del cultivo y del medio ambiente. (Valle & Kienzle, 2021).



C A P Í T U L O 3

LA IMPORTANCIA DEL CACAO PARA EL ESTADO DE TABASCO

La fertilidad del suelo tabasqueño, combinada con su clima cálido y húmedo, convierte a Tabasco en una región privilegiada para la agricultura. Este estado se destaca a nivel nacional por su producción agrícola, siendo conocido como la “tierra del cacao”. Este cultivo no solo representa una importante fuente de riqueza económica, sino que también contribuye significativamente a la identidad cultural de la región. (Arias, J, & Sepulveda, 1985), (Zapata, Cárdenas, Goez, & Erazo, 2019).

1 El cacao en la economía de la cultura prehispánica

El fruto del cacao desde la época prehispánica hasta la colonial era el principal producto que se cultivaba. Se usaba como moneda de cambio, pues tenía gran valor comercial en ese momento; además era instrumento de tributo, utilizado como alimento en bebidas de los pueblos indígenas, y también era la materia prima para la fabricación de chocolate. (Lopez, Abreu, Saravia, & Antonio, 1994) El cacao en el mundo mesoamericano ocupó un lugar preponderante en la alimentación de los pobladores; dado su alto costo sólo ellos lo consumían; al mismo tiempo, los granos del cacao hechos chocolate fueron la bebida favorita de los nobles. (Arias, J, & Sepulveda, 1985)

Es conocido que el grano de cacao se utilizó como moneda, pero no se sabe con exactitud cuál fue su valor. Poco a poco fue perdiendo importancia como tal, pero durante la época colonial siguió siendo la principal riqueza del pueblo tabasqueño nobles y principales de las cultura azteca y maya. Existieron muchos personajes como Hernán Cortés que dejaron testimonio del cultivo, cosecha y consumo del cacao en la época, que, desde diferentes enfoques, hicieron notar la importancia de este grano en los ámbitos económico, político y social de Tabasco (Arias, J, & Sepulveda, 1985). El cacao se convirtió en el principal tributo que pagaban los indígenas a los españoles. Todos los efectos y frutos que compraban los indígenas a los comerciantes que llegaban a Tabasco eran pagados con una parte del cacao que producían; otra se utilizaba como tributo, y otra parte se almacenaba para uso de la provincia.



Figura 2.1. Granos de cacao. Fuente propia.

2 Patrimonio cultural

El cacao es considerado un patrimonio cultural para México debido a su profunda relación histórica, cultural y económica con las civilizaciones prehispánicas y con la actualidad. Para las antiguas civilizaciones, el cacao era considerado un regalo de los dioses, y lo usaban en ceremonias religiosas, además, de ser utilizado como moneda de intercambio. (Lopez, Abreu, Saravia, & Antonio, 1994), (Gómez, 2014).

Actualmente, el cacao tiene un papel fundamental en la gastronomía mexicana, que constituye una parte importante de la identidad cultural del país. No solo es un símbolo de la riqueza cultural de México, sino que también tiene un impacto significativo en la economía. La producción de cacao continúa siendo una fuente de ingresos para los pequeños productores que promueven prácticas de producción sostenible.

3 Denominación de origen

El 29 de agosto de 2016 el Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial (IMPI) concedió al país la denominación de origen del “Cacao Grijalva”, convirtiéndolo en el 15º producto mexicano con este reconocimiento. Este cacao se produce en la Región Grijalva de Tabasco, que es integrada por tres subregiones productivas, denominadas Chontalpa, Sierra y Centro, en las que se produce la totalidad del Cacao Grijalva del Estado (DOF, 2016).

Tabasco presenta una situación geográfica y clima único que permite el crecimiento del cacao y le otorgan características de aroma, sabor y consistencia únicos. Ha sido una zona productora desde tiempos prehispánicos. Se caracteriza gracias a que es producido gracias al trabajo conjunto de la naturaleza y el hombre en lo que se conocen como selvas domesticadas.

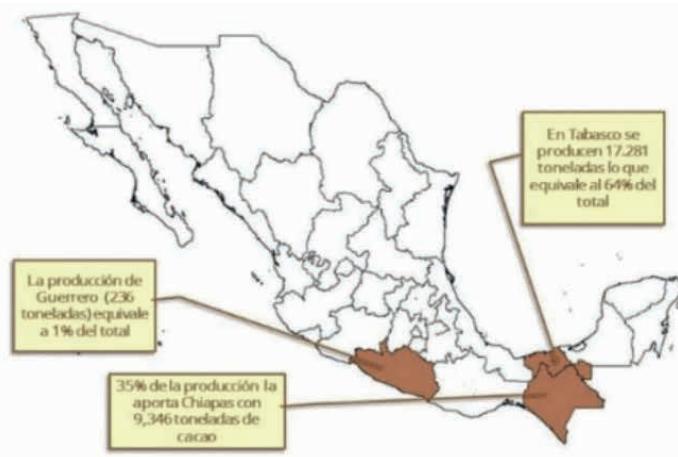


Figura 2.2. Producción de cacao en México. Obtenida de la Procuraduría Federal del Consumidor.

4 Marco de economía circular

La economía circular dentro del cultivo de cacao ofrece diversos beneficios tanto para los productores como para el medio ambiente. Esta no solo se enfoca en la producción del cacao, sino también en aprovechar los subproductos y recursos asociados con el cultivo, permitiendo crear un ciclo más sostenible y rentable. Este proyecto nace dentro del marco de un proyecto más grande de economía circular: *“Uso del material de residuo obtenido por combustión de biomasa seca (ceniza) para combatir la moniliasis (Moniliophthora roreri Cif & Par) en cacao (Theobroma cacao L.)* financiado por el Consejo Estatal de Ciencia y Tecnología de Estado de Tabasco-CCYTET, con clave PROECTI-2022-01/79.”, impulsado por la necesidad de contrarrestar una enfermedad que afecta significativamente a este cultivo. Este subproyecto es diseñado para abordar de manera específica la necesidad de fumigación, ofreciendo una solución innovadora que complementa el objetivo general del proyecto principal.

El cacao no solo produce granos que se utilizan para fabricar chocolate y otros productos derivados, sino que también genera subproductos que suelen ser desechados, como son:

- **Cáscaras de cacao:** Son el principal desecho del proceso. Estas pueden utilizarse para diversas aplicaciones, como abono e incluso para la producción de biocombustibles.

- **Pulpa de cacao:** La pulpa, es rica en azúcares y otros nutrientes, tradicionalmente, es usada para la preparación de jugo o bebidas fermentadas.
- **Leña de caco:** Los restos de árbol que suelen ser obtenidos después de la poda o al secarse son utilizados como combustible para la generación de fuego por los productores.
- **Compostaje:** Los restos orgánicos de la cosecha, como hojas, cascarras y tallos, pueden reutilizarse para enriquecer el suelo de nutrientes de manera eficiente.

El fruto del cacao tiene un gran potencial para beneficiar a la economía de los productores locales y reducir el impacto ambiental. Aprovechar los subproductos permite considerar al cacao como un producto más competitivo y responsable en el mercado global (Gómez, 2014).



C A P Í T U L O 3

ENFERMEDADES QUE AFECTAN A LOS CULTIVOS DE CACAO

Las plagas y enfermedades del cacao son uno de los factores más limitantes para su producción especialmente aquellas que han ganado importancia en los últimos años y representan un peligro potencial para la producción del fruto, tanto a nivel nacional como internacional, pues se ocasionan pérdidas estimadas en 30% de la producción potencial mundial del cultivo (María, Edwin, & Iván, 2015). Lo anterior no solo afecta significativamente a la industria chocolatera sino a todos sus derivados trayendo consigo escases y altos costos de demanda.

Dentro de los patógenos que atacan al cultivo de cacao destacan por su impacto e importantes pérdidas en este sector los siguientes hongos:

1 Moniliasis

1.1 Agente causal

Esta enfermedad es ocasionada por el hongo *Moniliophthora roreri* Cif. & Par. Tuvo orígenes Colombia y se ha propagado en distintos países del continente americano como son: Ecuador, Venezuela, Panamá, Costa Rica, Nicaragua, Perú, Honduras, Guatemala, Belice y México (Coral, 2012), (López-Báez, y otros, 2015).

1.2 Síntomas

Este hongo afecta a los frutos de cacao en las distintas etapas de desarrollo, los síntomas varían de acuerdo con la edad de dichos frutos y se presentan como deformaciones, maduración prematura, aparición de manchas marrones y manchas aceitosas como se puede observar en las siguientes figuras:



Figura 3.1. Mancha marrón con esporas ocasionada por *Moniliophthora roreri* Cif. & Par. Fuente propia

Los frutos jóvenes afectados regularmente presentan deformaciones y necrosis a mitad de su desarrollo, en cambio, los frutos más grandes tienden a una maduración precoz y a la aparición de manchas marrones o aceitosas.

Cuando la infección en el fruto esta avanzada se forma sobre las manchas una capa de tejido blanco algodonoso que se convierte en esporas, después de un periodo de tiempo los frutos se secan y momifican adheridos al árbol. Cada fruto puede producir hasta 7 mil millones de esporas que propagan la enfermedad por medio del viento lo que garantiza el contagio en toda la plantación.

2 Escoba de bruja

2.1 Agente causal

Esta enfermedad es causada por el hongo *Crinipellis perniciosa*. Tuvo orígenes y evolucionó en el Amazonas, es considerada una de las enfermedades más graves del sector cacaotero causando perdidas en la producción de hasta más de un 50% según los registros (María, Edwin, & Iván, 2015).

2.2 Síntomas

El hongo induce distintos síntomas en el cultivo, principalmente brotes anormales en las yemas con una concentración de ramas en un solo punto que se conoce como escoba, además de frutos con forma de chirimoya o zanahoria y manchas negras de consistencia dura.



Figura 3.2. Brotes en yemas del árbol por escoba de bruja. Fuente propia.

Se trata de una infección que afecta a distintas partes del tejido, es notoria la deformación y reducción de hojas en el árbol infectado. Su ataque es más severo en frutos tiernos, así como varían dependiendo su edad con deformaciones, manchas negras y la aparición de islas verdes en la mazorca madura. Se disemina con el viento a partir de órganos infectados secos e insectos que propagan la enfermedad (Coral, 2012).

3 Pudrición parda de la mazorca

3.1 Agente causal

Esta enfermedad es producida por el hongo *Phytophthora*. Tiene alcance a nivel global, se presenta en África, Asia y América, las pérdidas que ocasiona son del 30% a 90% equivalente a millones de dólares en cada país que se presenta (Ramirez & Rodríguez, 1999), (Coral, 2012).

3.2 Síntomas

Esta es de las enfermedades más antiguas e importantes del cacao, su principal síntoma característico es la aparición de manchas color pardo frecuentemente en la punta de la mazorca que van agrandándose con el paso del tiempo e incluso abarcan el fruto en su totalidad. Lo que diferencia a la pudrición parda de la mazorca de las enfermedades anteriores es la consistencia acuosa de la mancha marrón.



Figura 3.3. Mancha color pardo con pudrición del fruto. Fuente propia.

El hongo ocasiona la pudrición de los frutos desde chileres hasta los granos y la aparición de chancros circulares a nivel del tronco. La principal fuente de contaminación es el suelo y las salpicaduras por lluvia, por lo que la parte más afectada son los frutos que se encuentran cerca de éste. El factor que determina la rapidez de la infección es la humedad.

4 Mal del machete

4.1 Agente causal

El causante de esta enfermedad es el hongo *Ceratocystis fimbriata*. Se detectó por primera vez en Ecuador. Recibe su nombre por estar asociado con heridas hechas al cacao, tiene la capacidad de destruir árboles enteros y transmitirse por medio de insectos (María, Edwin, & Iván, 2015), (Ramirez & Rodríguez, 1999).

4.2 Síntomas

Al inicio de la enfermedad se presenta marchitez y amarillamiento de las hojas, en el transcurso de cuatro semanas la copa entera se seca permaneciendo las hojas adheridas al árbol, es notorio el agrietamiento de la leña y aparición de aserrín.



Figura 3.4. Arboles marchitos por causa del hongo *Ceratocystis fimbriata*.

Obtenida de (Phillips-Mora & Cerda, 2011).

Este hongo se transmite por medio de herramientas de corte utilizados durante la poda del árbol, de una planta enferma a una planta sana. Sus daños vienen acompañados por insectos de la familia *Xyleborus* (insectos taladradores) que contribuyen a la diseminación de la enfermedad (Coral, 2012).



C A P Í T U L O 5

DISEÑO DE UN ROBOT DE FUMIGACION AGRÍCOLA

1 Diseño conceptual

Tras realizar una exhaustiva investigación de campo y seleccionar los datos pertinentes, se comienza el diseño del robot mediante la elaboración de un concepto que orienta todos los procesos y las especificaciones técnicas de forma clara y detallada.

1.1. Criterios de diseño

Se trata de una maquina programable diseñada para aplicar fungicidas en un área agrícola mediante aspersores cuya función principal es controlar plagas y enfermedades en el cultivo seleccionado disminuyendo el trabajo manual. Es importante tomar en cuenta ciertos criterios al momento del diseño para garantizar el funcionamiento del sistema.

- Ergonomía y seguridad
 - Dimensiones adecuadas para su desplazamiento.
 - Fumigación con alto alcance de la plantación.
 - Peso del sistema.
 - Acceso todoterreno con sistema de oruga.
 - Diseño sin bordes puntiagudos o cortantes.
 - Acceso al tanque de llenado cómodo para el usuario.
 - Adaptadores de boquillas.
- Sustentabilidad
 - Aprovechamiento de agua captada de lluvia.
 - Condiciones de uso
 - Previa filtración de la sustancia a utilizar.

- █ Terreno despejado de obstáculos ajenos al suelo natural.
- █ Marcos de plantación establecidos.
- █ Delimitación de recorrido del robot con cinta marcaje de terreno.
- █ Cargar previamente la batería del sistema.
- █ Restricciones
 - █ De ningún modo poner en operación el robot sin un recorrido delimitado.
 - █ No sobrepasar el límite de capacidad del tanque.
 - █ En ningún caso activar el robot sin el tapón del tanque correctamente colocado.
 - █ No poner en operación cuando la batería no esté cargada.

1.2 Identificación de los procesos

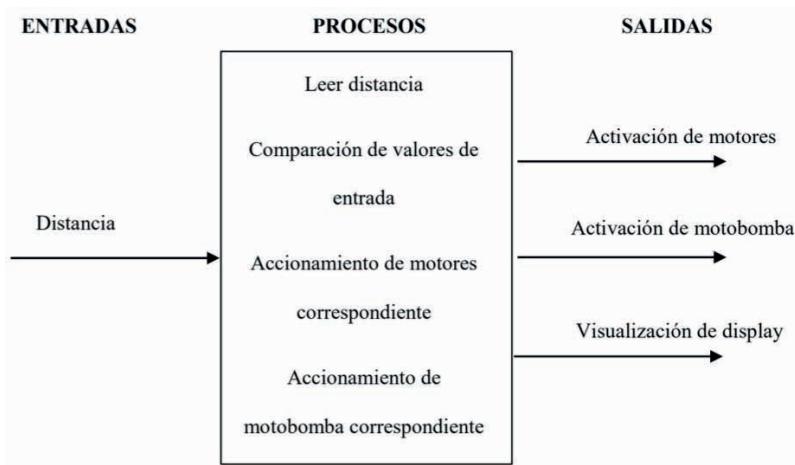


Figura 4.1. Diagrama de procesos. Fuente propia.

Para que el robot pueda ejecutar de manera correcta la fumigación dentro de la plantación es necesario que cumpla con una serie de pasos a seguir como se muestra en la Figura 4.1.

- █ Leer distancia: Al tratarse de un robot autónomo sus decisiones están basadas de acuerdo con las lecturas de distancias dentro del terreno, este proceso se llevará a cabo durante toda la fumigación.

- Comparar valores de entrada: Las lecturas tomadas en el momento se comparan con las distancias ya establecidas dentro de la programación para tomar la decisión del traslado.
- Accionamiento de motores correspondientes: De acuerdo con las lecturas obtenidas se encienden los motores siguiendo las indicaciones de su programación para realizar el recorrido (avanzar, girar, retroceder o parar).
- Accionamiento de motobomba: Si las condiciones del traslado no presentan ninguna obstrucción se inicia el proceso de fumigación en el plantío.
- En caso de detectar algún error enviar alerta: En el momento que el robot detecte una obstrucción en la que ponga en juego su desplazamiento se apagan los componentes y envía una alerta al usuario indicando un error en su recorrido.

1.3 Definición y descripción de las entradas y salidas

- Entradas:
 - Distancia: El espacio entre cada planta y su distribución en el terreno es la variable crucial dentro del sistema. El robot debe tomar una lectura constante en centímetros para poder identificar su posición y tomar las decisiones que le permitan realizar el recorrido.
- Salidas:
 - Activación de motores: Las activaciones de dichos motores dependerá de los valores detectados en la entrada como lecturas de distancia, debido a que el robot necesita tener espacio suficiente para avanzar, girar y evadir cualquier obstáculo en el terreno.
 - Activación de motobomba: Si el sistema no detecta obstáculos para iniciar el desplazamiento significa que el proceso de fumigación se puede realizar sin problema alguno, por lo que se activará la motobomba hasta que el sistema detecte lo contrario.
 - Visualización de display: En caso de presentarse algún error para llevar a cabo el proceso de fumigación, por medio del display se enviará una alerta que permita informar al usuario el error este verifique nuevamente las condiciones de uso y se pueda corregir.

1.4 Diagrama de flujo de procesos

SIMBOLOGÍA DE DIAGRAMA DE FLUJO		
Símbolo	Nombre	Descripción
	Inicio/Fin	Representa el punto de inicio, el punto de fin y los posibles resultados de un camino.
	Entrada(s)	Simboliza los datos que están disponibles como entrada o sensores del sistema.
	Proceso	Representa un proceso, una acción o una función.
	Salida(s)	Simboliza los datos que están disponibles como salida o accionamiento de actuadores del sistema.
	Decisión	Indican una pregunta que debe responderse –por lo general sí/no o verdadero/falso.
	Flujo de datos	Representa una interconexión entre otros dos símbolos, y la dirección del flujo.
	Conector dentro de la página	Indica que el flujo continuo donde se ha colocado un símbolo idéntico.

Tabla 4.1. Simbología de diagrama de flujo. Fuente propia.

TABLA LÓGICA DE VERDAD						
Entradas		Salidas				
Distancia izquierda	Distancia derecha	Motor 1		Motor 2		Motobomba
		Adelante	Atrás	Adelante	Atrás	
0	0	0	0	0	0	0
0	1	1	0	0	1	1
1	0	0	1	1	0	1
1	1	1	0	1	0	1

Tabla 4.2. Lógica de verdad. Fuente propia.

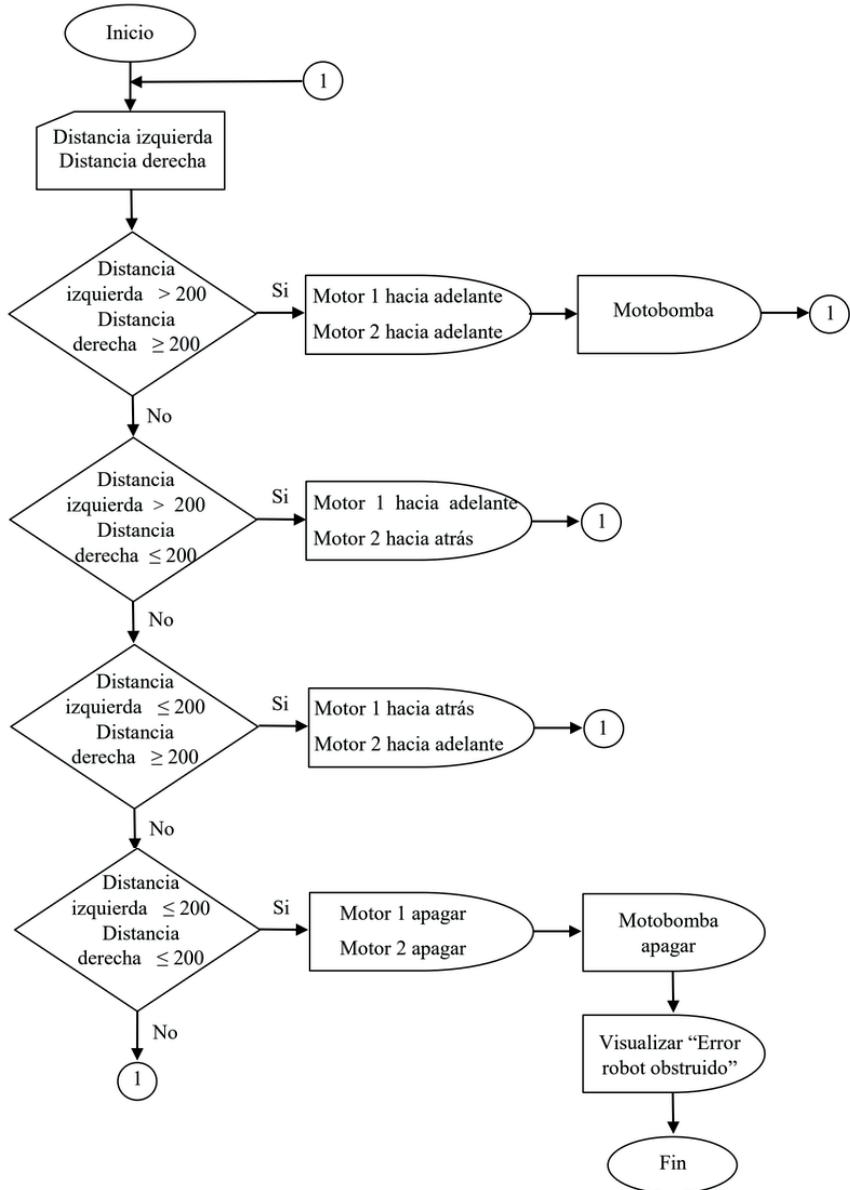


Figura 4.2. Diagrama de flujo de procesos. Fuente propia.

2 Diseño preliminar

Después de establecer las delimitaciones del modelo conceptual, en esta etapa se generan las ideas para el boceto y se procede al diseño de las piezas mecánicas del sistema utilizando el software Autodesk Inventor. Este proceso implica la creación de modelos 3D, la selección de materiales adecuados y la consideración de aspectos funcionales y estéticos.

2.1 Contenedor 5 litros

Almacena la solución de agua con el fungicida a utilizar durante la fumigación. Elaborado de polietileno de alta densidad para garantizar la resistencia a la presión del cubo, resistente al ácido y el álcali, lo que garantiza antienvejecimiento, no es fácil de deformar y durable. Su capacidad es de 5 litros sus dimensiones son 20x20x15 cm, nótese en la Figura 4.3.

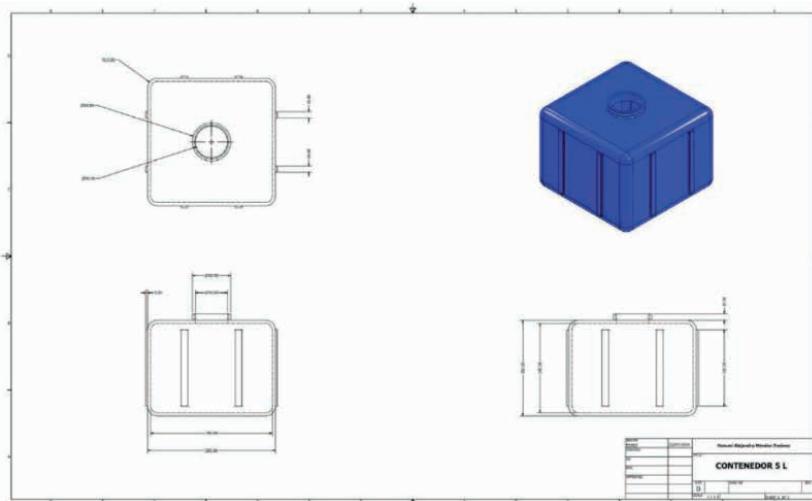


Figura 4.3. Contenedor de 5l. Fuente propia.

2.2 Mecanismo de oruga

Posibilita un desplazamiento estable en terrenos irregulares y escabrosos. Las orugas forman parte de un cinturón flexible con un conjunto de eslabones rígidos unidos unos a otros como se observa en la Figura 4.4. Los eslabones ayudan al robot a distribuir el peso en la superficie y a recorrerla sin hundirse, nótese Figura 4.5. Este mecanismo de moverá por medio de unos piñones como se observa en la Figura 4.6 y unos rodillos que atenuaran el movimiento brusco de las orugas en

terreno desigual que se muestran en la Figura 4.7. Las orugas son elaboradas de caucho de neopreno por su eficiencia en la relación peso-potencia del mecanismo. Sus dimensiones en general son 63x15x10 cm.

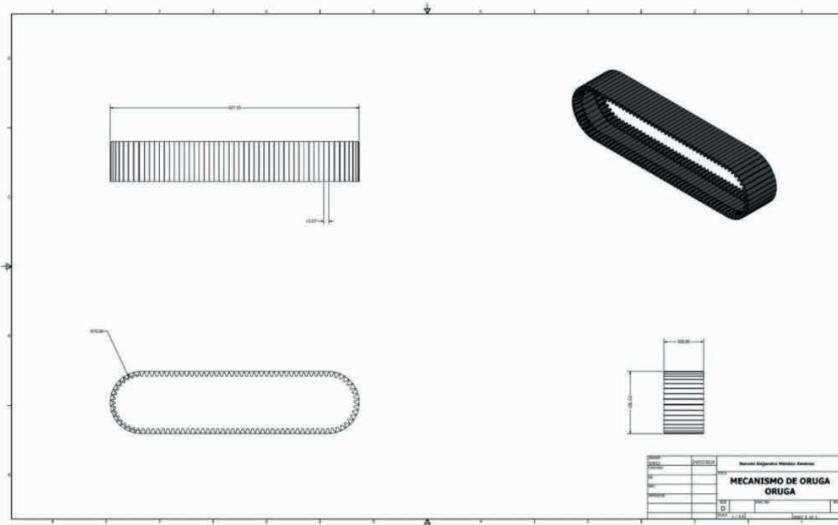


Figura 4.4. Oruga de mecanismo de oruga. Fuente propia.

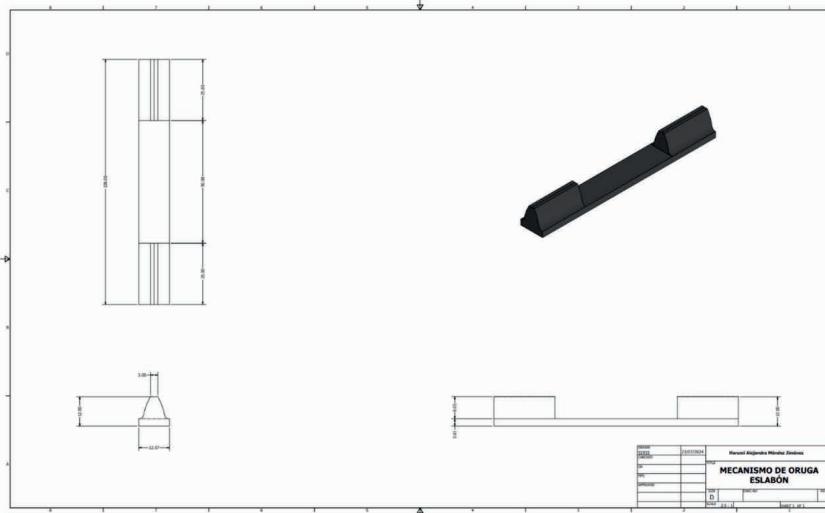


Figura 4.5. Eslabón de mecanismo de oruga. Fuente propia.

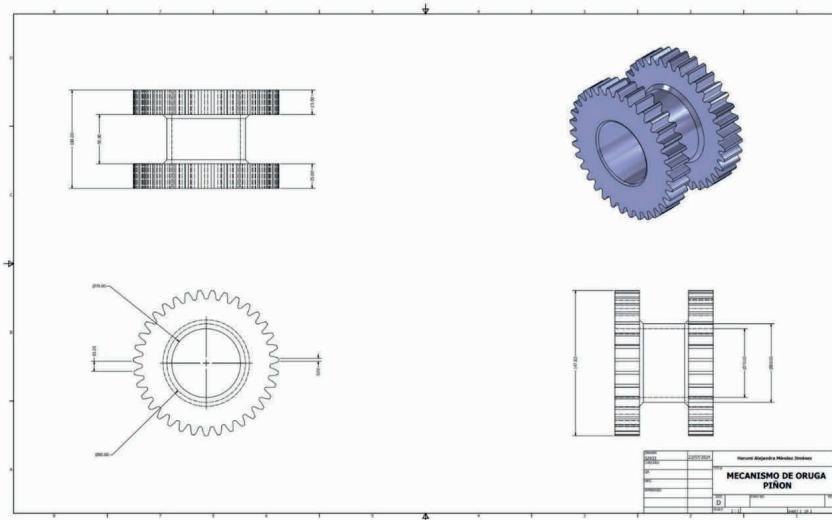


Figura 4.6. Piñón de mecanismo de oruga. Fuente propia.

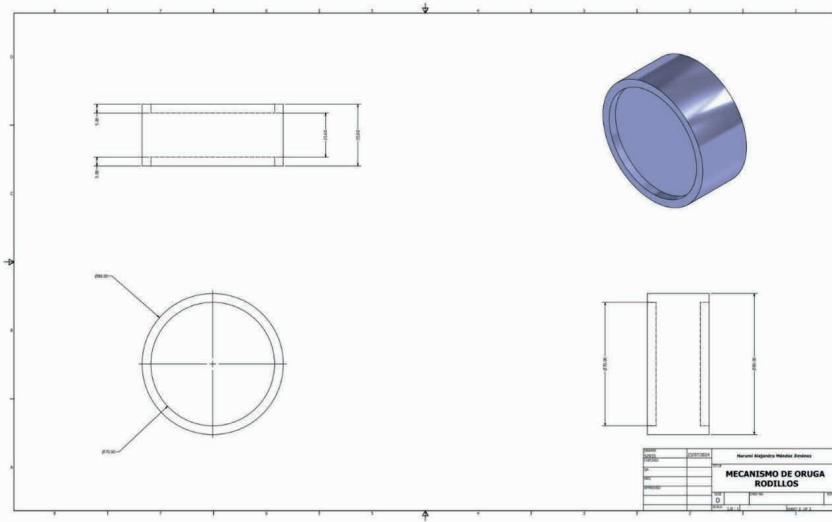


Figura 4.7. Rodillo de mecanismo de oruga. Fuente propia.

2.3 Chasis del robot

Estructura básica que sostiene y conecta los diferentes componentes. Para el chasis de un robot agrícola, es crucial un material que sea resistente, duradero y adecuado para las condiciones del campo. El chasis se une al mecanismo de oruga por medio de una base que conecta ambos elementos, como se muestra en la Figura 4.8. Además de la base el chasis de dividirá en dos partes. Parte superior que cubrirá el sistema se observa en la Figura 4.9, la cual tiene en la parte frontal el espacio designado para los sensores y a los costados la conexión de las boquillas. Parte inferior que servirá como base del sistema y se puede observar en la Figura 4.10, que es más pequeña y sencilla de ensamblar. Se sugiere su fabricación de una aleación de aluminio 5083 por su resistencia a la corrosión y desgaste por trabajo pesado, además de ligereza como se puede consultar en los anexos. Sus dimensiones en general son 37x52x cm.

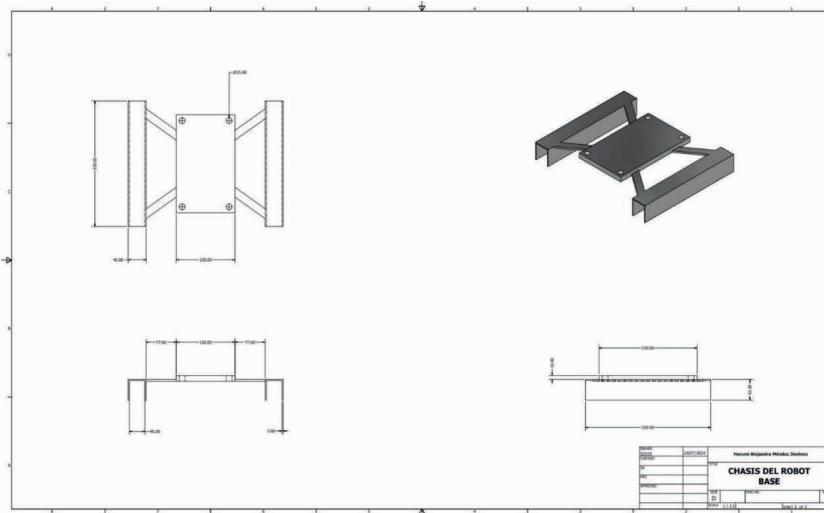


Figura 4.8. Base de chasis del robot. Fuente propia.

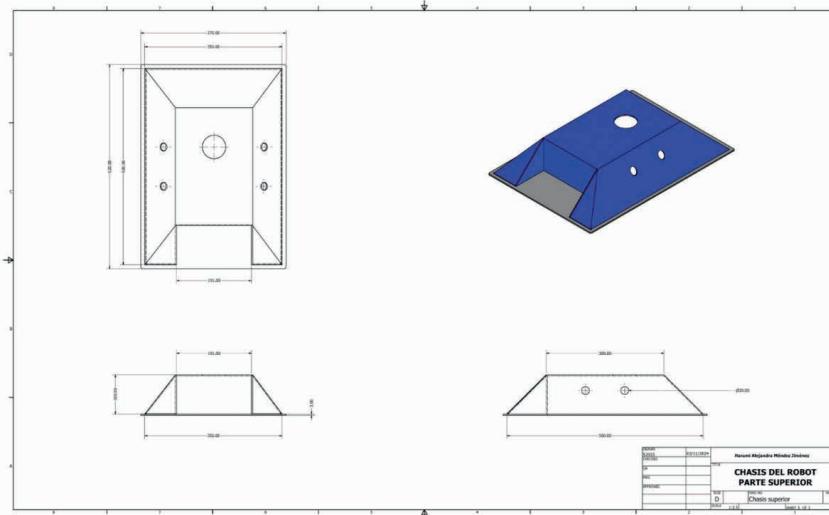


Figura 4.9. Parte superior de chasis de robot. Fuente propia.

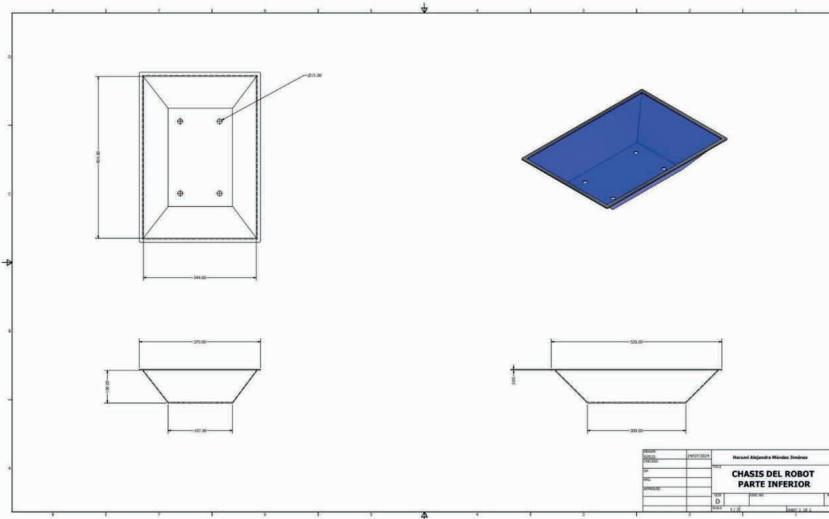


Figura 4.10. Parte superior de chasis de robot. Fuente propia.

3 Diseño detallado

Para la elaboración de especificaciones detalladas y precisas del sistema fundamental que todos los componentes y características del circuito estén claramente definidos y cumplan con los requisitos establecidos. Este proceso minucioso de especificación es clave para garantizar que el circuito sea funcional, eficiente, seguro y cumpla con los estándares técnicos correspondientes.

3.1 Componentes eléctricos – electrónicos

Son los dispositivos utilizados en el diseño y construcción del circuito que poseen características eléctricas y electrónicas específicas, las cuales permitirán cumplir diversas funciones del sistema y a su vez controlarlas.

I Sensor HC-SR04

Determina la distancia entre el robot y la cinta de marcación en el suelo, la cual indica el recorrido que debe seguir. Los actuadores del sistema se activan según las lecturas del sensor.

Características Técnicas	
Voltaje	DC 5V
Corriente	15mA
Frecuencia	40 Hz
Alcance máximo	4m
Alcance mínimo	2cm
Ángulo de medición	15 grados
Señal de entrada de disparo	10uS Pulso TTL
Dimensión	40*20*15mm

Datasheet: HC-SR04 (sparkfun.com)



Figura 4.11. Sensor HC-SR04. Obtenida de [HC-SR04 \(sparkfun.com\)](http://HC-SR04 (sparkfun.com)).

I MOSFET IRF520N

Interruptor digital que auxilia en el control del encendido y apagado de la motobomba de acuerdo con la codificación establecida.

Características Técnicas	
Voltaje de salida	0V – 24V
Voltaje de control	3.3V – 5V
Corriente	5A
Potencia Máxima Disipada	60W
Transistor MOSFET	Canal N
Dimensiones	33*24mm

Datasheet: irf520.pdf (vishay.com)



Figura 4.12. MOSFET IRF520N. Obtenida de irf520.pdf (vishay.com).

I Potenciómetro lineal

Resistencia variable con regulación manual que ajusta el contraste del visualizador para garantizar comodidad al usuario.

Características técnicas	
Valor	10K ohm
Tipo	Resistencia variable
Número de Vueltas	1
Potencia	500 kW
Temperatura de funcionamiento	-25°C – 70°C
Dimensiones	15*16.5mm

Datasheet: (PDF) [Datasheet - 24mm D-Shaft Potentiometer](#)



Figura 4.13. Potenciómetro lineal. Obtenida de (PDF) *Datasheet - 24mm D-Shaft Potentiometer*.

I Modulo L298N

Controla los motores con el accionamiento correspondiente para el desplazamiento del robot de acuerdo con los datos recibidos y la codificación del sistema.

Características Técnicas	
Voltaje de alimentación de motor máximo	46V
Corriente de alimentación del motor máxima	2A
Voltaje del controlador	5-35V
Corriente del controlador	2A
Potencia máxima	25W
Dimensión	43*43*26mm

Datasheet: *Datasheet - L298 - Dual full-bridge driver (st.com)*

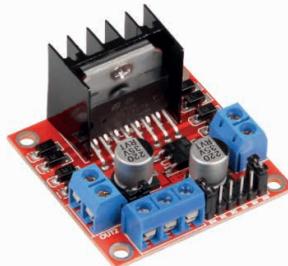


Figura 4.14. Modulo L298N. Obtenida de *Datasheet - L298 - Dual full-bridge driver (st.com)*.

I Arduino UNO R3

Microcontrolador que permite la comunicación de todos los componentes del sistema y controlarlos usando un lenguaje de programación.

Características Técnicas	
Microcontrolador	ATmega328P
Voltaje	5V
Pines E/S digitales	14
Pines de entrada analógica	6
Corriente continua por pin	20mA
Memoria flash	32KB
Velocidad del reloj	16MHz
Dimensión	68.6*53.4mm

Datasheet: A000066-datasheet.pdf (arduino.cc)



Figura 4.15. Arduino UNO R3. Obtenida de *A000066-datasheet.pdf (arduino.cc)*.

I LCD para Arduino

Permite al usuario visualizar una alerta en caso de detectar algún error para su desplazamiento u obstrucción.

Características Técnicas	
Tipo de display	Transitivo positivo
Luz de fondo	LED 5V
Dirección a la vista	06:00
Temperatura de funcionamiento	0 – 50°C
Método de alimentación	Fuente individual
Dimensión	80*36*19mm

Datasheet: LCDscreen.PDF (arduino.cc)



Figura 4.16. LCD para Arduino. Obtenida de *LCDscreen.PDF (arduino.cc)*.

I Motobomba

Este dispositivo será el encargado de esparcir en fungicida en toda la plantación al impulsar el fluido través de las boquillas cuando el entorno lo permita.

Características Técnicas	
Voltaje	12V
Potencia	70W
Altura máxima	40m
Caudal máximo	7 l/min
Presión de trabajo	90bar
Dimensión	6.5*3*1.86mm

Manual: P00_coverpage&t-of-contents.doc (yamadapump.com)



Figura 4.17. Motobomba. Obtenida de *P00_coverpage&t-of-contents.doc* (yamadapump.com).

I Motor

Convierte la energía eléctrica en movimiento lo que permitirá el desplazamiento del robot a lo largo del terreno para realizar el recorrido de la fumigación.

Características Técnicas	
Tensión Nominal:	12V
Velocidad sin carga:	160 rpm
Consumo sin carga:	20 mA
Consumo nominal:	< 60 mA
Velocidad nominal:	140 rpm
Fuerza nominal:	10 kgf·cm / 0,98 N·m
Fuerza a máxima eficiencia:	30 kgf·cm / 2,94 N·m

Datasheet: file/0J1736/pololu-37d-metal-gearmotors-rev-1-2.pdf



Figura 4.18. Motor. Obtenida de <file:///0J1736/pololu-37d-metal-gearmotors-rev-1-2.pdf>.

■ Protoboard

Placa que conecta los componentes eléctrico-electrónicos para hacer un circuito funcional permitiendo así realizar las pruebas necesarias antes de la unión final.

<i>Características Técnicas</i>	
Puntos de contacto	400
Configuración matriz	10*30
Contactos	Bronce fosforoso y níquel plata
Soporte	Plástico ABS
Vida útil	10,000 inserciones
Dimensión	165*54*9.7mm

Datasheet: <PROTO-BOARD.PDF> (agelectronica.lat)

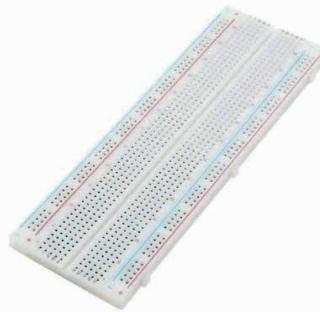


Figura 4.19. Protoboard. Obtenida de <PROTO-BOARD.PDF> (agelectronica.lat).

■ Cable de conexiones

Transmite señales eléctricas y brinda una conexión rápida y flexible entre los diferentes componentes del circuito.

Características Técnicas	
Colores	Naranja, amarillo, verde, azul, morado, marrón, negro, blanco y gris
Cable	22 AWG trenzado
Cubierta	Cloruro de polivinilo

Datasheet: datasheet/2/46/39122_techdata-2323007.pdf



Figura 4.20. Cable de conexiones. Obtenida de datasheet/2/46/39122_techdata-2323007.pdf

I Batería de litio 12v

Alimenta el mecanismo funcionando como un sistema híbrido por ser una batería recargable que utiliza una tecnología de electrolito gelificado para evitar derrames y fugas.

Características Técnicas	
Capacidad	5200mAh
Voltaje	11.1V
Tecnología	Ion-Litio
Tamaño	54 x 36 x 67 mm
Peso	280g

Datasheet: datasheet/2/419/DS_UBBL25-1122015.pdf



Figura 4.21. Batería de litio. Obtenida de datasheet/2/419/DS_UBBL25-1122015.pdf

3.2 Diagrama eléctrico-electrónico

El siguiente diagrama elaborado en el software de Fritzing muestra la conexión de cada uno de los componentes previamente descritos que intervienen en el sistema y como estos interactúan entre sí para llevar a cabo de forma correcta el proceso de la fumigación.

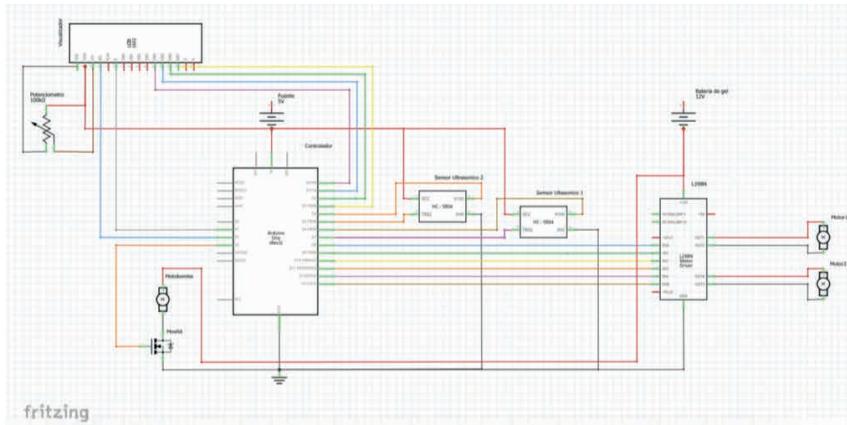


Figura 4.22. Diagrama eléctrico – electrónico. Fuente propia.

Tras una cuidadosa elección de componentes del circuito eléctrico-electrónico de acuerdo con sus características, se llevó a cabo una validación a través de una simulación, que replicó escenarios de operación. Los resultados de la simulación confirmaron que las conexiones del circuito son correctas y funcionan correctamente en todas las condiciones previstas.



C A P Í T U L O 6

PRUEBAS Y RESULTADOS

1 Análisis de esfuerzos mediante estrés de Von Mises

La teoría de esfuerzos es un conjunto de principios que se utilizan para analizar el comportamiento de los materiales bajo cargas o esfuerzos. Los esfuerzos son las fuerzas internas que actúan sobre un material debido a cargas externas, y pueden ser de compresión, tracción, torsión, flexión, entre otros (Budynas & Nisbett, 2012). Los conceptos básicos de la teoría de esfuerzos incluyen:

- I Teoría de Von Mises: "La teoría de la energía de deformación máxima predice que la falla por fluencia ocurre cuando la energía de deformación total por unidad de volumen alcanza o excede la energía de deformación por unidad de volumen correspondiente a la resistencia a la fluencia en tensión o en compresión del mismo material." (Budynas & Nisbett, 2012).

$$\sigma = \left[\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}{2} \right]^{1/2}$$

- I Factor de seguridad: Utilizado para asegurar que los diseños no fallen bajo las cargas esperadas. Se define como la relación entre la resistencia o capacidad del material y la carga o esfuerzo permisible (Budynas & Nisbett, 2012).

$$n_d = \frac{\text{resistencia de pérdida de la función}}{\text{esfuerzo permisible}} = \frac{S}{\sigma_{(ot)}}$$

El análisis de esfuerzos es crucial para prevenir fallos, optimizar recursos y asegurar un rendimiento seguro y confiable de las piezas mecánicas en su aplicación real. Los desplazamientos muestran cómo se mueve una pieza bajo carga. Pueden presentarse como una distorsión visual exagerada para facilitar la observación e identificar áreas de posibles concentraciones de tensión. Se llevaron a cabo análisis de esfuerzos en el chasis inferior del robot y la base de robot encargada de unir el mecanismo, considerando el peso del sistema en cada una de las partes, debido a que estas son las piezas en donde se ejercen cargas considerables que puedes llegar a comprometer la integridad estructural del equipo.

1.1 Análisis chasis inferior

Se realizó la simulación en el software Autodesk Inventor para evaluar el comportamiento estructural de la pieza bajo condiciones de carga específicas. Los resultados obtenidos indican que las tensiones y deformaciones en la pieza se mantienen dentro de los límites de seguridad establecidos, por lo que la integridad de la pieza no está comprometida. Para una revisión más exhaustiva ver anexos del capítulo.

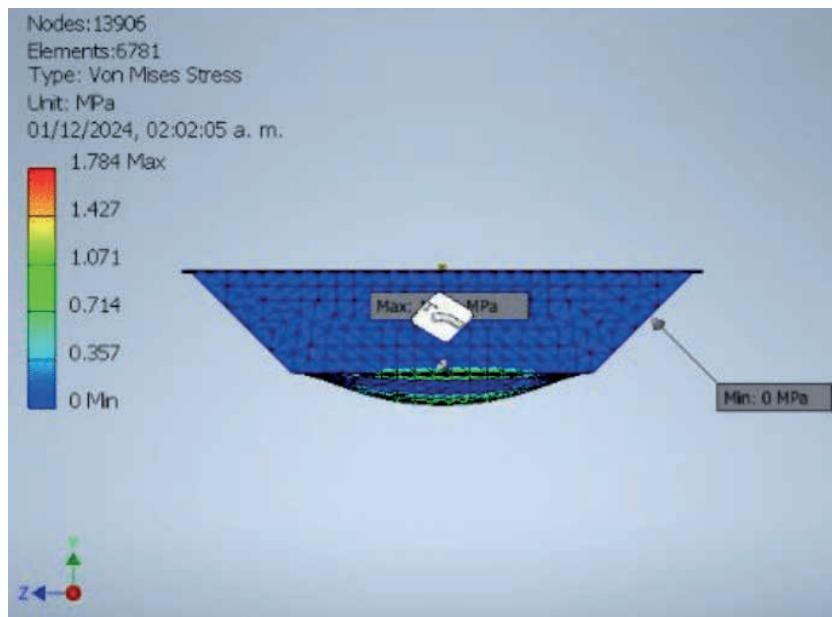


Figura 5.1. Análisis en chasis inferior. Fuente propia.

Nombre	Mínimo	Máximo
Volumen	583642 mm ³	
Masa	1,55249 kilos	
El estrés de von Mises	0,00000227744 MPa	1,78428 MPa
1. ^a tensión principal	-0,350678 MPa	2.054 MPa
3.er estrés principal	-2,18135 MPa	0,39259 MPa
Desplazamiento	0 milímetros	0,0249824 milímetros
Factor de seguridad	15ul	15ul
Estrés XX	-2,17784 MPa	2,05326 MPa
Estrés XY	-0,41157 MPa	0,402244 MPa
Estrés XZ	-0,373172 MPa	0,374661 MPa
Estrés YY	-0,394448 MPa	0,501858 MPa
Estrés YZ	-0,299129 MPa	0,316274 MPa
Estrés ZZ	-1,56173 MPa	1,31209 MPa
Desplazamiento X	-0,000603906 milímetros	0,000602911 milímetros
Desplazamiento Y	-0,0249824 milímetros	0,0000107544 milímetros
Con desplazamiento	-0,000431282 milímetros	0,000429134 milímetros
Tensión equivalente	0,000000000294532 ul	0,0000237679 ul
1. ^a cepa principal	-0,00000000132575ul	0,0000250233 ul
3. ^a cepa principal	-0,0000261559ul	0,00000000020398ul
Cepa XX	-0,0000261471ul	0,0000250089 ul
Cepa XY	-0,00000793317ul	0,00000775339 ul
Cepa XZ	-0,00000719303ul	0,00000722173 ul
Cepa YY	-0,0000103258ul	0,0000127637 ul
Cepa YZ	-0,00000576581ul	0,0000060963 ul
Cepa ZZ	-0,0000189961ul	0,0000160915 ul

Tabla 5.1. Resumen de resultados de chasis inferior. Fuente propia.

1.2 Análisis base de robot

Los resultados de la simulación muestran que las tensiones principales en todas las áreas de la pieza están por debajo del límite de fluencia del material, lo que indica que la integridad estructural está garantizada bajo las condiciones de carga uniforme consideradas de 88.3 N. Los desplazamientos máximos observados se encuentran dentro de las tolerancias aceptables. Ver anexos del capítulo.

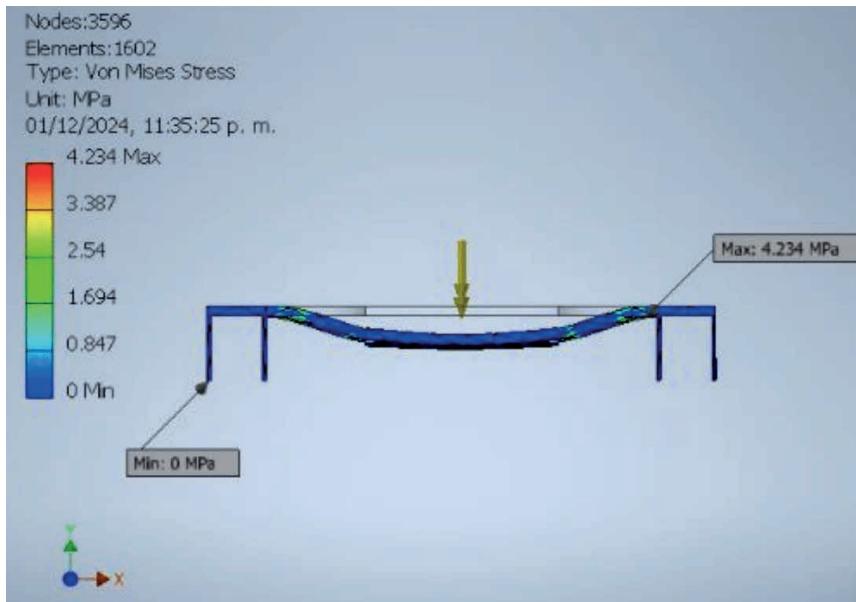


Figura 5.2. Análisis en base de robot. Fuente propia.

Nombre	Mínimo	Máximo
Volumen	789120 mm ³	
Masa	2,09906 kilos	
El estrés de von Mises	0,0000460917 MPa	4,23395 MPa
1. ^a tensión principal	-0,750112 MPa	3,14459 MPa
3.er estrés principal	-5,09953 MPa	0,283712 MPa
Desplazamiento	0 milímetros	0,0345217 milímetros
Factor de seguridad	15ul	15ul
Estrés XX	-4,39495 MPa	2,77447 MPa
Estrés XY	-0,454931 MPa	0,655864 MPa
Estrés XZ	-1,29725 MPa	1,43248 MPa
Estrés YY	-0,856626 MPa	0,631229 MPa
Estrés YZ	-0,439721 MPa	0,440422 MPa
Estrés ZZ	-1,58943 MPa	1,03562 MPa
Desplazamiento X	-0,00133792 milímetros	0,00134132 milímetros
Desplazamiento Y	-0,0345217 milímetros	0,00000696112 milímetros
Desplazamiento Z	-0,000760518 milímetros	0,000755995 milímetros
Tensión equivalente	0,000000000716606 ul	0,0000566804 ul
1. ^a cepa principal	-0,00000000290874ul	0,0000419591ul
3. ^a cepa principal	-0,0000655775ul	0,00000000266153 ul
Cepa XX	-0,0000519964ul	0,0000348249 ul
Cepa XY	-0,00000876896ul	0,000012642 ul
Cepa XZ	-0,0000250049ul	0,0000276116 ul
Cepa YY	-0,0000163716ul	0,0000236723 ul
Cepa YZ	-0,00000847578ul	0,0000084893 ul
Cepa ZZ	-0,0000198288ul	0,0000104668 ul

Tabla 5.2. Resumen de resultados de base de robot. Fuente propia.

2 Ensamble del diseño preliminar

Recopilada la información sobre el terreno, procedimiento, medidas y datos necesarios que permitieron definir los diseños de las piezas mecánicas. Se puede llevar a cabo el ensamblaje de las piezas uniendo el trabajo del diseño conceptual y del diseño preliminar, lo que brinda la visualización completa del producto final que se espera. Ver Figura 5.3.

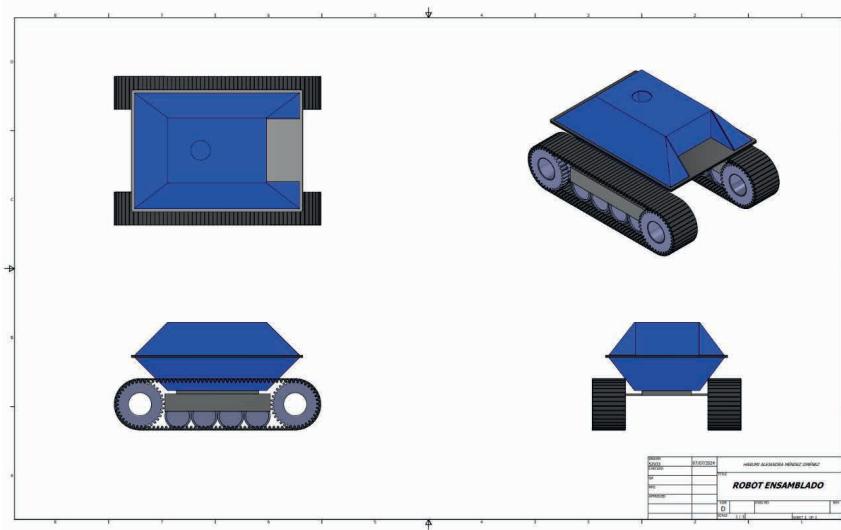


Figura 5.3. Ensamble del diseño preliminar. Fuente propia.

3 Simulación

Es necesario probar la funcionalidad del circuito eléctrico simulando el comportamiento del sistema ante posibles escenarios de la vida real en un software especializado como lo es Proteus, aplicando en código de programación previamente desarrollado en base al diagrama de flujo de procesos para validar su comportamiento y hacer los cambios necesarios. Para ver la simulación de manera más detallada ver anexos.

- Caso 1: Si la distancia izquierda y la distancia derecha son mayores a 200 cm el robot avanza y fumiga.
- Caso 2: Si la distancia izquierda es mayor a 200 cm y distancia derecha menor o igual a 200 cm el robot gira a la izquierda y fumiga.
- Caso 3: Si la distancia izquierda es menor o igual a 200 cm y distancia derecha mayor a 200 cm el robot gira a la derecha y fumiga.
- Caso 4: Si la distancia izquierda y la distancia derecha son menores a 200 cm el robot se detiene.

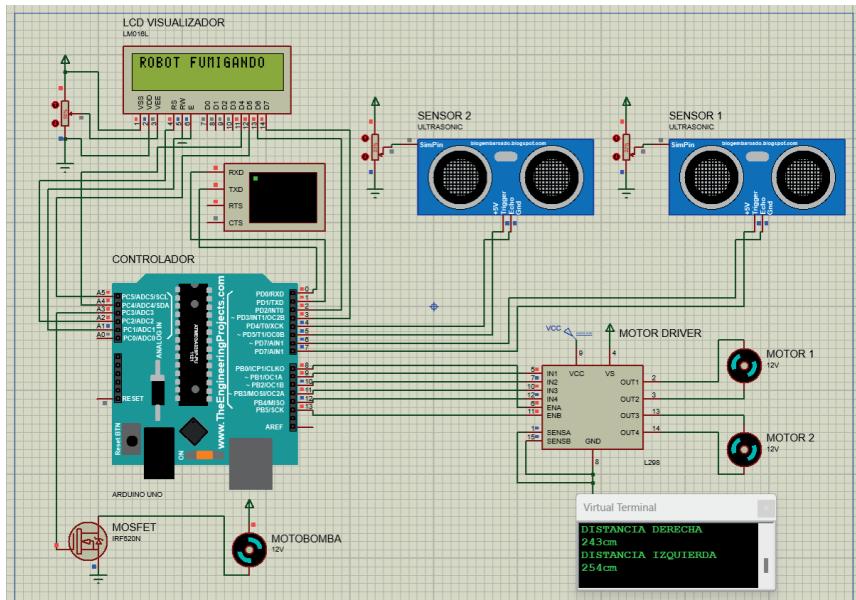


Figura 5.4. Simulación caso 1. Fuente propia.

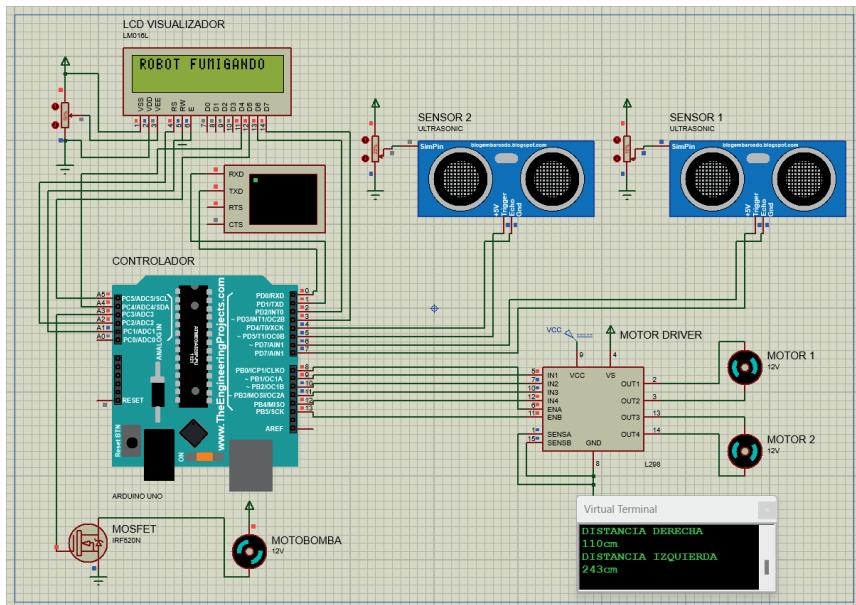


Figura 5.5. Simulación caso 2. Fuente propia.

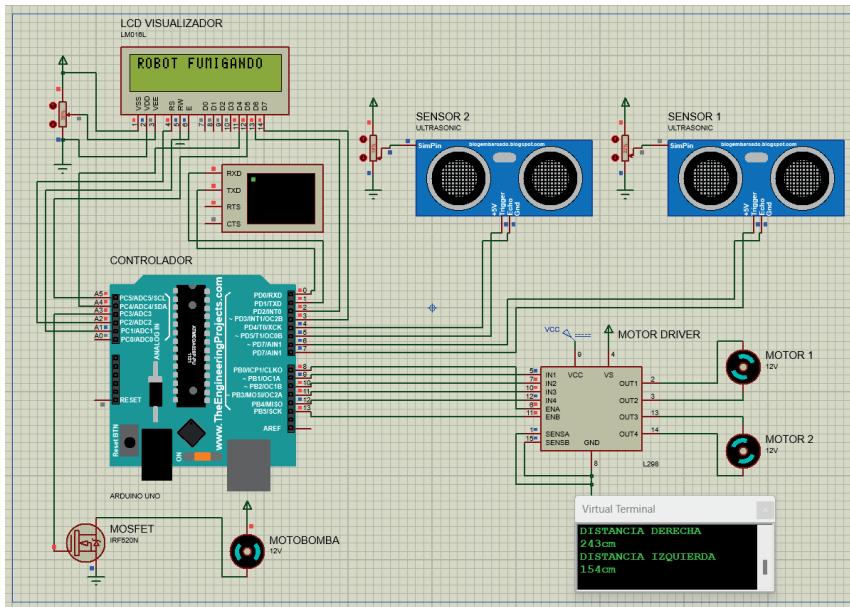


Figura 5.6. Simulación caso 3. Fuente propia.

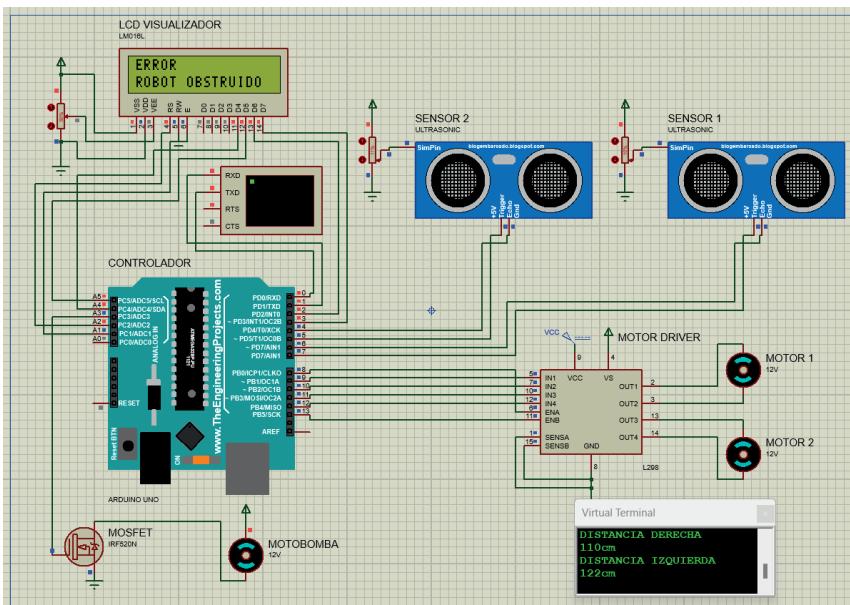


Figura 5.7. Simulación caso 4. Fuente propia.

4 Recomendaciones

Al finalizar el diseño del robot en base a los resultados obtenidos y con el fin de mejorar y alcanzar los objetivos de manera más eficiente es necesario ajustar ciertos puntos desarrollados en este trabajo. A continuación, se enumeran una serie de recomendaciones cuya implementación son vitales para mejorar el proyecto.

1. Delimitar detalladamente los procesos a llevar a cabo para trabajar de manera precisa y perfeccionar el funcionamiento.
2. Investigar previamente las herramientas, funciones y características de los softwares a utilizar para un mejor control de este.
3. Analizar el ambiente al que será expuesto el sistema y seleccionar adecuadamente los materiales y las propiedades requeridas.
4. Tomar las mediciones necesarias en el campo de prueba para realizar diseños basados en el entorno real.
5. Respetar la normatividad de dibujo técnico para garantizar la calidad, la precisión, la comunicación efectiva en el diseño y la construcción del proyecto.
6. Seleccionar de acuerdo con las necesidades del sistema los componentes eléctricos-electrónicos e identificar sus características funcionales.
7. Corroborar continuamente las dimensiones de las piezas mecánicas durante su diseño para evitar errores al momento del ensamble.
8. Aplicar en análisis de elementos finitos al ensamble final para predecir cómo se comportará ante diversas fuerzas físicas.



C A P Í T U L O 7

DISEÑO DE DRON PARA APLICACIÓN DE FUNGICIDA POR FUMIGACIÓN AÉREA EN CULTIVOS DE CACAO

Para idear el diseño del dron se realizó trabajo de campo en fincas de cacao, para hacer mediciones de parámetros como: la altura y la distancia entre los árboles de cacao. Se obtuvo un promedio total de 5 m de altura de los árboles y la distancia entre ellos de 2 a 3 m. Con estos datos de referencia se planteó las dimensiones del dron, con el fin de que se pueda hacer posible un dron adaptado a las plantaciones de cacao y se pueda realizar una fumigación interna y pueda ayudar a la aspersión de cualquier sustancia de forma efectiva, evitando que se pueda realizar estas actividades agrícolas por encima de la copa del árbol.

Se revisaron diseños reportados en tesis o informes para tener ideas y conocer distintos diseños de drones fumigadores, aunque la idea que se quiere transmitir en esta investigación es interesante respecto a adecuar una tecnología a una necesidad específica lo que son las plantaciones de cacao, partiendo desde su diseño hasta su construcción.

1. Selección de componentes y partes del dron fumigador

1.1. Batería

La batería seleccionada es de tipo LiPo ya que, por su alta densidad de energía, alta velocidad de descarga y su peso ligero, las hacen ideales para aplicaciones de control remoto (RC). Estas baterías cuentan con cableado principal que corresponde a la energía que ésta entrega y el cableado de balance donde se carga las celdas del batería y para ello, las celdas de estar con un mismo voltaje y no afecte el rendimiento de la batería. Las especificaciones son: capacidad de corriente, expresada en miliamperios hora (mAh), el voltaje, dicho voltaje se expresa de la siguiente manera: 1s, 2s, 3s y así, esto quiere decir las celdas que tiene la batería LiPo y cada celda equivale a 3.7 v y por último la capacidad de descarga o el C rating, que es la velocidad de la batería parar entregar la energía sin dañarse. El C rating viene etiquetado en la batería con un una c mayúscula y a lado una cantidad (Prometec, s.f.).

Las especificaciones de la batería escogida son las siguientes:

- Voltaje: 11.1 v
- Celdas: 3s
- Capacidad: 2200 mAh
- Tasa de descarga: 25 C
- Descarga máxima en ráfaga: 50 C
- Dimensiones: 106 x 34 x 26 mm (l x an x al)
- Peso: 190 g
- Conector de equilibrio: JST- XH
- Conector: Estilo T/Deans



Figura 6.1. Batería LiPo del dron. Elaboración propia

1.2. Motores

El modelo que se escogió de los motores brushless es el A2212/13T 1000 kv, es un motor de conmutación electrónica, que utilizan anillos rozantes para hacer el cambio de polaridad, funciona con corriente directa y es recomendada para prototipos de dron y otros dispositivos que funcionen por radio (aelectronics, s.f.).

- Motor brushless: modelo A2212
- RPM/V: 1000 kv (1000 revoluciones por minuto por cada Volt suministrado)
- Diámetro del eje: 3.175 mm.
- Corriente: 12 A/60 s.
- Controlador recomendado: ESC 30 A.
- Propelas adecuadas: 8 x 4.5 inch, 9 x 4.5 inch, 10 x 4.5 inch, 10 x 4.7 inch

- Ideal para baterías de LiPo de 2 a 3 celdas.
- Dimensiones: 4.0 cm x 2.8 cm x 2.8 cm



Figura 6.2 Motor brushless. *Elaboración propia*

1.3. Hélices

Las hélices se consiguieron con un kit de motores brushless y el variador de 30 A, entonces esta combinación ya viene asegurada sin necesidad de hacer otra configuración de algunos de los elementos. El kit se compone de 2 hélices y cada una forma diferente, una de sentido contrario y otra de sentido antihorario, esta configuración de hélices en el dron es importante para que se pueda elevar. Las medidas son 7 x 3/7 x 4.



Figura 6.3. Hélices del dron. *Elaboración propia*

1.4. Sensores

El sensor escogido para la prueba es el IMU MPU6050, consta de 6 grados de libertad dentro de un circuito integrado que combina un giroscopio de 3 ejes y un acelerómetro de 3 ejes también en un solo chip, obteniendo los 6 grados de libertad (df).

Es un componente útil para sistemas de control, medición de vibración, sistemas de medición inercial (IMU), detección de caídas y/o velocidad o goniometría (medición de ángulos).

Las especificaciones técnicas del sensor son las siguientes:

- █ Voltaje de operación: 3.3 v a 5 v
- █ Chip: MPU-6050.
- █ Grados de libertad (df): 6
- █ Protocolo de comunicación: I2C
- █ Convertidor analógico a digital: 16 bit en todos los ejes.
- █ Rango:

Giroscopio: +/-250, +/- 500, +/- 1000 y +/- 2000° /s(dps)

Acelerómetro: +/-2 , +/-4 , +/-8 y +/-16g

Este sensor se comunica a través de protocolo I2C, integra un regulador de 3.3 v, por lo que se le puede alimentar una tensión de 5 v que incluye las placas Arduino como tensión de salida en cada uno de sus pines (UNIT Electronics, s.f.).

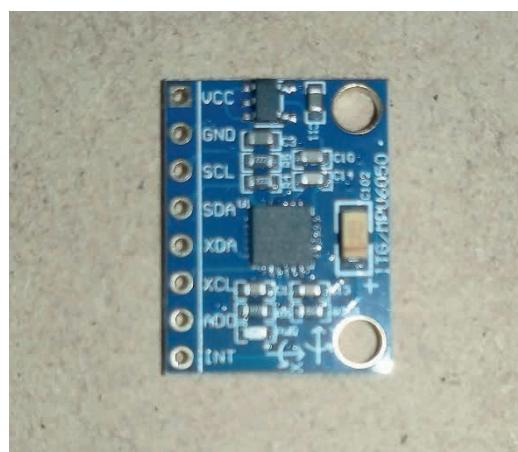


Figura 6.4. Sensor MPU6050. Elaboración propia

1.5. Controlador de vuelo

Para este proyecto se usó la placa Arduino como controlador de vuelo, es una de las placas más recomendadas y populares entre los programadores y electrónicos para realizar proyectos de prototipado ya sea de automatización y robótica. El alcance de esta placa abarca desde personas principiantes como expertos en estas áreas, incluso para aficionados a este mundo de la tecnología. Se eligió esta placa por su facilidad de uso, ya que cuenta con mucho material de apoyo desde documentación hasta librerías, también tiene una amplia comunidad de desarrolladores y se puede aprender mucho de ellos, cuenta con su propio entorno de programación y también por su bajo costo.

Este componente es un microcontrolador basado en el chip Atmega328. Cuenta con 14 pines digitales I/O (entradas y salidas), de los cuales 4 se pueden utilizar para señales PWM, tiene 6 entradas análogas, un resonador cerámico de 16 MHz, un conector para USB tipo hembra, un Jack para fuente de poder, un conector ICSP y un botón de reset.

Se puede alimentar de distintas maneras, desde un puerto USB desde la computadora o una fuente de alimentación externa como una batería DC, un adaptador de AC-DC, sin embargo, a la hora alimentar la placa, solo es necesario usar un solo método ya sea por medio de la entrada USB o el puerto Jack (PlusElectric, 2014).

El modelo a utilizar es el Arduino uno, un modelo muy clásico y cuenta con las siguientes características:

- | Microcontrolador: ATmega328
- | Voltaje Operativo: 5 v
- | Voltaje de Entrada (Recomendado): 7 – 12 v
- | Pines de Entradas/Salidas Digital: 14 (De las cuales 6 son salidas PWM)
- | Pines de Entradas Análogas: 6
- | Memoria Flash: 32 KB (ATmega328) de los cuales 0,5 KB es usado por bootloader.
- | SRAM: 2 KB (ATmega328)
- | EEPROM: 1 KB (ATmega328)
- | Velocidad del Reloj: 16 MHZ.



Figura 6.5. Controlador de vuelo (Arduino). Elaboración propia

1.6. Variadores de velocidad

El variador de velocidad o ESC de 30 A es un driver para motor brushless que funciona como un controlador de velocidad y dirección para dichos motores y se puede aplicar para proyectos RC ya sea un dron, helicóptero, carro, avión entre otros.

El ESC sirve para definir la velocidad de giro de un motor brushless a través de la generación de pulsos compatibles con este tipo de motor, por lo que lo hace ideal para drones (UNIT Electronics, s.f.).

La selección de este variador vino incluido por el mismo kit del motor y las hélices. Las especificaciones son las siguientes:

- Modelo: ESC 30 A
- Voltaje de entrada: 2-4 batería de litio o 5-12 células de NiCd/NiMH
- Corriente continua: 30 A
- Corriente máxima: 40 A
- Salida Regulador BEC: 2 A / 5 V
- Tipo de batería: 2 – 3 Celdas
- Tamaño: 57mm x 25mm x 8mm
- Peso: 27g

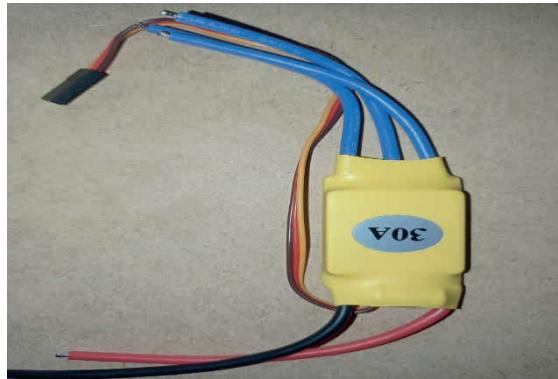


Figura 6.6. ESC 30 A. Elaboración propia

1.7. Bluetooth

El Bluetooth HC-06 es el módulo utilizado con fuente de control inalámbrico. La configuración de este modelo es esclavo, ya que la función es que el dron reciba datos por medio de un dispositivo maestro que es el celular y dicho datos recibos se transmiten en todo el sistema del dron, de esta forma facilita el intercambio de comunicación y control remoto sin necesidad de cables. Una de las ventajas de este Bluetooth es que puede ser utilizado en una amplia variedad de proyectos electrónicos, transmisión de datos, monitoreo remoto, entre otros. Otra ventaja es su compatibilidad con microcontroladores populares como Arduino, Raspberry Pi, PICs, así como computadoras y dispositivos móviles de baja hasta alta gama (UNIT Electronics, s.f.).

Entre las características y especificaciones del HC-06 encontramos:

- Tipo: Bluetooth V2.0
- Modo: Esclavo
- Voltaje de operación:
 - Mínimo: 3.3 V DC
 - Máximo: 5 V DC
- Corriente máxima: 40 mA
- Baudios por defecto: 9600, 8, 1, n.
- Versión o firmware: 3.0-20170609
- Frecuencia: 2.4 GHz, banda ISM
- Potencia de emisión: 4 dBm, clase 2

- █ Modulación: GFSK
- █ Antena: Incorporada en PCB
- █ Alcance: 5 m a 10 m
- █ Sensibilidad: ≤ -81 dBm a 0.1% BER
- █ Velocidad: Asincrónica: 2 Mbps (max.) / 160 kbps,
- █ Velocidad sincrónica: 1 Mbps/1 Mbps
- █ Seguridad: Autenticación y encriptación (Password por defecto: 1234)
- █ Configuración: Comandos AT
- █ Temperatura de operación: 75°C a -25°C
- █ Dimensiones: 37.3mm x 17.24mm
- █ Peso: 4g



Figura 6.7. Bluetooth HC-06. Elaboración propia

1.8. Bomba de agua

Para el sistema de fumigación se escogió una mini bomba de agua sumergible, es útil para simular pruebas de simulación, consume poco voltaje, transporta el líquido de un punto a otro, una vez estando dentro del recipiente; extrae todo el contenido.

Las características de la mini bomba sumergible, son las siguientes:

- █ Voltaje de Operación: 2.5 – 6 V
- █ Corriente de Operación: 130 – 220 mA
- █ Flujo: 80 -120 L/H
- █ Elevación máxima de columna de agua: 40 cm
- █ Material: Plástico

- Diámetro externo del tubo de salida: 7.5 mm
- Diámetro Interno del tubo de salida: 5 mm
- Largo de cable: 20 cm aprox.
- Tamaño: 43 mm (largo) x 23mm (diámetro)
- Temperatura del agua: -20 a 50 °C



Figura 6.8. Mini bomba de agua. Elaboración propia

1.9. Tanque de líquido

El tanque de almacenamiento a utilizar para las pruebas fue un recipiente pequeño de $\frac{1}{4}$ de litro, incluyendo manguera y boquilla, representando la fumigación.

2. Diseño de elementos del dron

2.1. Diseño estructural

De acuerdo con las mediciones hechas en campo, tomando medidas de las alturas de los árboles de cacao, se obtuvo un promedio de 5 m. Con este dato se planteó un diseño de un dron fumigador que estuviese volando entre las plantaciones de cacao, no necesariamente encima de la copa y se plantearon medidas en software para tener una idea de un tamaño adecuado y evitar daños por colisión. El software utilizado para el diseño de los elementos mecánicos fue de Autodesk Inventor.

Inventor es un software CAD de modelado paramétrico de sólidos en 3D, que se utiliza para diseño, renderización y simulación de productos. Mediante una representación visual del producto finalizado, permite la integración de datos en 2D y 3D. Los bloques cruciales en Inventor son las piezas, donde se definen características y operaciones basadas en bocetos; dibujos 2D.

Tiene la opción de incluir planos de trabajo en donde se pueden crear bocetos en distintas ubicaciones del plano. Una ventaja de esto es que los bocetos se pueden corregir sin empezar desde cero. El software también cuenta para hacer el proceso de ensamblaje de piezas, esto permite que, modificando piezas y ensambles, se obtengan variantes del producto. Las piezas ensambladas se les puede añadir restricciones sobre las superficies en aristas, planos, puntos y ejes (Nti-group, 2024).

Base inferior del dron

El cuerpo central del dron se dividió en 2 piezas, una base inferior y otra superior que cierra el centro del dron. La primera pieza es la base inferior del dron, aquí se distribuirá los componentes y se realizaron en ciertos de la base unos tubos con un vaciado en cada uno, ya que se plantea unir ambas bases a presión y es una idea sencilla y reduce el mantenimiento del dron al desarmarse.

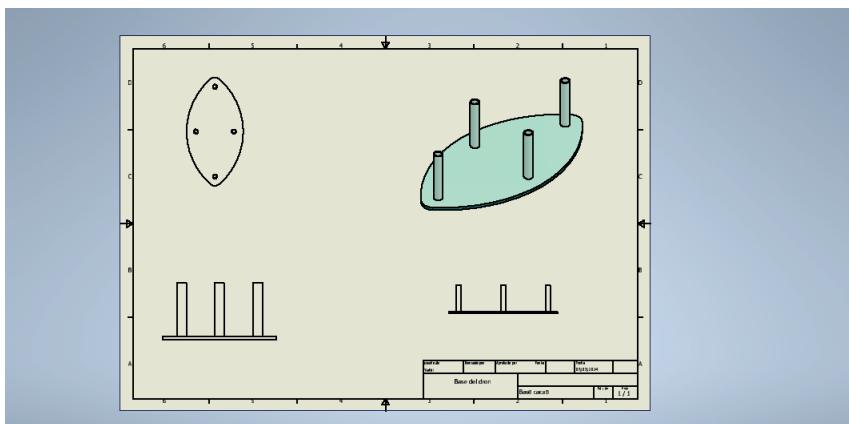


Figura 6.9. Base inferior del dron. Elaboración propia

Base superior del dron

La siguiente pieza es la base superior para cerrar el chasis del dron, de igual manera se diseña sus tubos, una vez hecho esto se hace la unión de ambas bases, añadiendo que esta pieza tendrá unos tubos diseñados como parte de la base donde se ensamblen los brazos del dron.

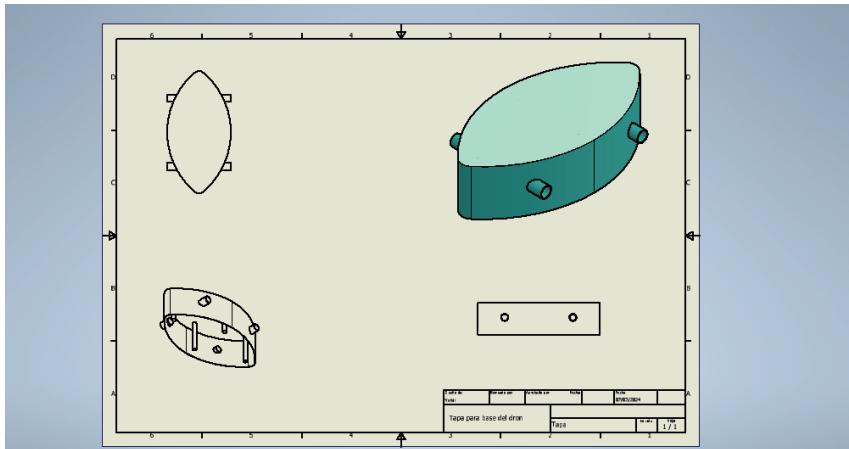


Figura 6.10. Base superior del dron. Elaboración propia

Brazo, hélice y motor del dron

Para terminar las partes más fundamentales del dron, se diseñó el brazo del dron junto con su motor y la hélice, esta pieza ya integrada con los otros elementos se ensamblará en los espacios de la base superior.

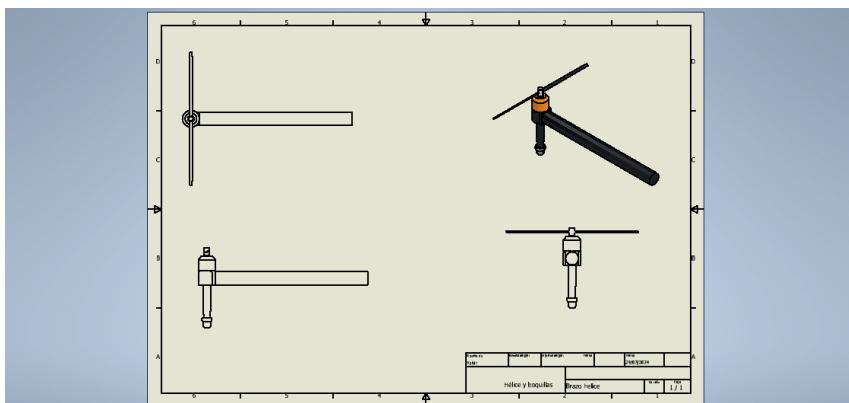


Figura 6.11. Brazo del dron. Elaboración propia

Tanque del líquido

Por último, se diseñó el recipiente donde se almacena el líquido, con una forma cilíndrica y se ubicará en la parte inferior del dron.

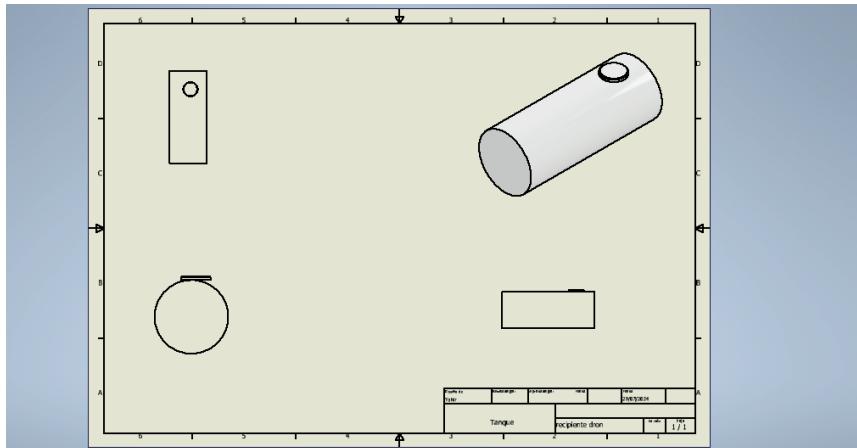


Figura 6.12. Recipiente de almacenamiento. Elaboración propia

2.2. Diseño eléctrico-electrónico

Fritzing es una herramienta de software que facilita el diseño de los circuitos electrónicos, permite crear esquemas, diseños de PCB, circuitos en protoboard y es una plataforma para personas interesados en la electrónica ya sea estudiantes, maestros y aficionados, de tal forma que puedan aprender de una forma intuitiva. Esta plataforma permite proyectar cualquier trabajo visualmente, utilizando los componentes más usados en la electrónica.

Entre los beneficios de Fritzing se quedan destacar como un software intuitivo y fácil de usar, accesibilidad a documentación y colaboración, tiene una comunidad amplia, por lo que es fácil encontrar material de apoyo y soporte de otras personas y es de código para trabajar con otras plataformas como Arduino y simular proyectos.

Entre las principales características de Fritzing incluyen:

Vista de protoboard: Permite a los usuarios diseñar y simular circuitos de forma intuitiva, asemejando a la realidad, puedes arrastrar y colocar componentes, hacer uso de cables, ofreciendo una apariencia realista.

Esquemáticos: Permite organizar conexiones de manera clara y precisa, lo cual es fundamental para la documentación y análisis de circuitos.

Diseño PCB: Ofrece esta herramienta para realizar placas de circuito impreso a partir de esquemáticos, colocar componentes y trazar pistas de manera efectiva.

Biblioteca de componentes: Fritzing cuenta con una extensa biblioteca de componentes desde componentes básicos (resistencias, capacitores, leds) hasta microcontroladores (Arduino, Raspberry Pi) y lo mejor es que puedes personalizar y crear tus propios componentes, permitiendo a los usuarios diseñar diagramas de componentes menos comunes.

Documentación y exportación: El software tiene la opción de exportar y documentar proyectos, generando imágenes de alta calidad, esquemáticos en formato PDF y para archivos de PCB (Dimex, 2024). A continuación, el esquema electrónico del dron fumigador:

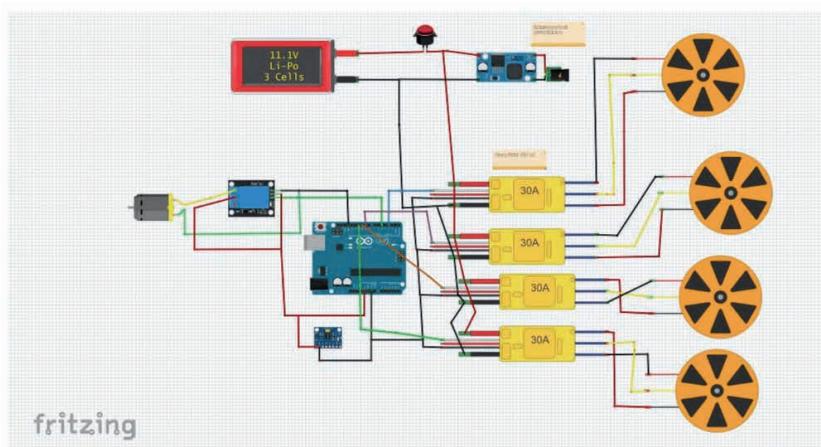


Figura 6.13. Esquemático electrónico del dron. Elaboración propia

Conecciones del circuito

La alimentación del circuito depende de un botón principal entre la batería y el puerto del Arduino para el sistema de control y los variadores para la parte de potencia de los motores.

Para la alimentación del sistema de control, la batería se conecta a un regulador de 9 v de salida, hasta la conexión del puerto Jack donde se suministrará energía a la placa Arduino, lo suficiente para mandar la señal a los componentes. Entre los componentes conectados están las señales de los variadores y sus respectivos gnd y vcc conectados a la placa, el sensor MPU6050, el relevador para activar la mini bomba sumergible y el Bluetooth HC-06.

El sensor MPU6050 sus pines SDA y SCL a los pines analógicos A0 y A1y los pines de gnd y vcc al Arduino. Para el sistema de fumigación, controlado por un relevador se conecta el pin de señal al pin 5 digital del Arduino con sus respectivos gnd y vcc, y la alimentación del motor se genera del pin de 5 v de la placa y del Bluetooth, los pines de comunicación se conectan de la siguiente manera: el pin tx del Bluetooth al pin rx del Arduino, ahora al revés, el pin rx al pin tx del Arduino. Por otro lado, la alimentación de los motores es por medio de los variadores quienes reciben la energía de entrada de la batería LiPo, cada variador y motor se unen de una conexión trifásica, la de tierra, voltaje y de señal. Así quedan las conexiones representadas en el esquema.

3. Ejecución y construcción

- Para la construcción primero se imprimieron unos planos y se elaboraron moldes en MDF para obtener una primera idea de la estructura de las bases que representen el cuerpo del dron y posteriormente realizar ajustes.
- Se realizaron ajustes y posteriormente se realizó el diseño completo en software especializado.
- Una vez validado el diseño, se cortaron las piezas principales de la estructura del cuerpo del dron.
- Una vez teniendo las bases cortadas, se realizaron las demás piezas mecánicas como los brazos para las hélices, un tren de aterrizaje, usando material PVC para su elaboración. Una forma útil de realizar los tubos de conexión para el modelo del dron con materiales accesibles y económicos.
- Para la finalización de la estructura, se realizó el ensamblaje de los elementos y acabados de las piezas para una mejor forma y sea lo más parecido a su modelo aerodinámico hecho en software y por último el proceso de pintura a la estructura.
- Para avanzar con la parte del sistema de impulsión del vuelo, se seleccionaron los motores brushless, que son los motores específicos para construir drones, la selección se realizó en base a una guía con parámetros estándar, el principal criterio para la selección de estos componentes fue la estabilidad.
- Obtenido el cuerpo final ensamblado y pintado. Se adquirieron los componentes electrónicos para realizar las conexiones y comprobar su funcionamiento.
- Concluido el proceso de instrumentación y comprobado su correcto funcionamiento, se realizó el ensamblaje de componentes.

- Una vez hecho el acomodo, realizar el ensamblaje electrónico a la base manteniendo el orden de cables, correcta posición de los elementos tomando en cuenta el equilibrio del peso en toda la distribución de la base.
- Una vez realizado el ensamblaje, y realizadas ciertas correcciones de dimensión de brazos, tren de aterrizaje, se procedió a la programación.
- Ejecución de pruebas de vuelo y estabilidad.
- Integración del sistema de bombeo y boquilla para fumigación.
- Pruebas de fumigación en laboratorio.



C A P Í T U L O 8

PRUEBAS Y RESULTADOS DEL PROTOTIPO DEL DRON

Sincronización de motores

La configuración de los motores depende de la programación de los variadores de velocidad, ya sea de forma manual mediante control remoto o programada en este caso a través del IDE de Arduino para mandar la señal de activación desde el controlador hacia los variadores. Al principio se controlaba la señal de los variadores inicializando los valores de la velocidad mínima, es decir, los motores apagados todo el proceso se configura mediante la programación.

Por medio de investigaciones, diagnósticos del circuito y de la programación, se llegó a una conclusión que los variadores vienen configurados según por fabrica, pero no asegura que estén bien calibrados, por lo tanto era necesario hacer una calibración y ajustando código para la calibración y este proceso solo se hace una vez.

Rendimiento de los motores

Durante las pruebas se pudo observar que en cuanto a velocidad son eficientes, tienen alta potencia ya que son motores sin escobillas, esto es suficiente para hacer rotar las hélices y elevar el cuerpo del dron, en esta investigación esa parte del dron queda como teoría ya que solo a este punto se logró el buen funcionamiento de los motores.

La batería también es parte del rendimiento del sistema de propulsión y en este trabajo se pudo observar el comportamiento de diferentes baterías a causa de las limitaciones mencionadas anteriormente. En primer lugar, la batería LiPo da la suficiente potencia y corriente a los motores por su tasa de descarga al arranque de los motores por lo que asegura la elevación del dron.

Tiempo de respuesta

Una vez conectada la fuente de alimentación a los variadores, el tiempo de activación fue de 2 segundos. Por otro los pulsos enviados eran de 1000 microsegundos, según la programación, esto se traducía como velocidad de 1000-2000, cada pulso enviado era una diferente velocidad desde la mínima hasta la máxima velocidad, por lo tanto, se podía ir variando y comprobando la potencia de los motores. Una recomendación importante a la hora de hacer las prácticas, primero activar el circuito del controlador ya que primero debemos conectarnos al Bluetooth y después activar la alimentación de los variadores y una vez sincronizado, empiecen desde la velocidad baja o apagado.

Precisión de activación

Tomando en cuenta su tiempo de respuesta y calibración de los motores, su precisión de activación es rápida, incluso en las pruebas que su activación dependía por conectividad inalámbrica; el Bluetooth, los motores respondían perfectamente ante los pulsos enviados desde el dispositivo móvil.

Como nota se recomienda que se calibren antes de operar con ellos, esto para evitar problemas de sincronización ya que, en las pruebas, por medio del controlador configuraba que al enviar un pulso de una velocidad baja; se encendieran los motores al mismo tiempo y esto no siempre sucedía por más que los programara en ese orden, incluso se hicieron simulaciones de diversos programas, estructurando códigos diferentes. La aplicación móvil parecía ser menos problema de lo que se podría imaginar, pero se descubrió que una aplicación que no se encuentra en cualquier tienda en línea de aplicaciones como Google Play o App Store, de alguna forma se alteraba la activación de los motores, permitiendo que hubiese activaciones repentinas sin enviar comandos y esto era peligroso para las prácticas. El uso de esta aplicación, descargada de otra fuente, se justifica por su facilidad de personalización de botones en proyectos de bajo consumo que integran tecnologías bluetooth o wifi, pero no se encontraba registrado en la tienda de Google Play por lo que es posible que el archivado de este programa estuviese dañado. Es importante para dispositivos móviles usar aplicaciones registradas en estas plataformas, con el fin de evitar fallas técnicas en los proyectos.



C A P Í T U L O 9

EXPECTATIVAS A MEDIANO PLAZO

1. Discusión de los resultados y expectativas a mediano plazo

Entre los aspectos que funcionaron durante el proceso de fabricación del dron se encuentra la activación y calibración de motores. El sistema de fumigación (boquilla, bomba de agua y relevador), realizaron bien su trabajo de cierta forma simular una fumigación y como parte fundamental del trabajo; la estructura del dron se construyó con materiales ligeros, de hecho se realizaron pequeñas modificaciones respecto a los brazos y tren de aterrizaje. Trabajar con PVC fue una de las ventajas de la construcción del dron, se logró la distribución de los componentes internos, la resistencia y ligereza, así como su facilidad de modificarse.

Por último, como resultado final del proyecto en base a los datos e información recopiladas en campo, se tiene como principal evidencia, el diseño del dron, así como la construcción del dron fumigador para plantaciones de cacao, se espera que esta idea permita optimizar la agricultura en Tabasco e introducirse en la nueva era tecnológica. A continuación, las dimensiones del dron de acuerdo con las investigaciones y diseño planteado.

Dimensiones	Medidas
Largo	50 cm
Alto	8 cm
Ancho	35 cm

Dimensiones del prototipo de dron

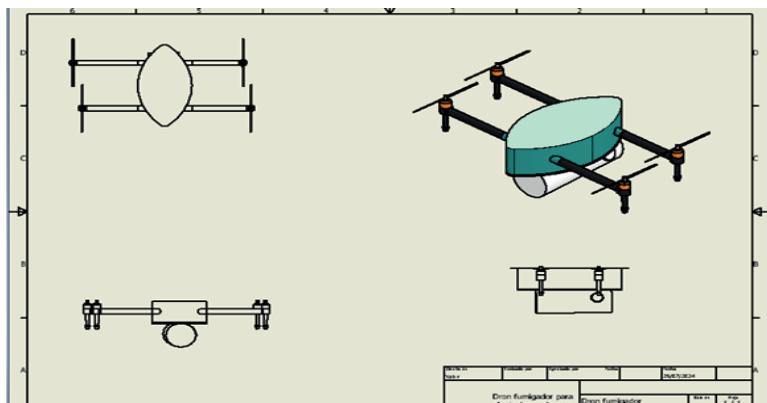


Figura 6.14. Diseño de dron fumigador. Elaboración propia



Figura 6.15. Prototipo de dron fumigador. Elaboración propia



C A P Í T U L O 1 0

CONCLUSIÓN

La finalidad de este trabajo ha sido presentar ideas y diseños innovadores dentro del sector cacaotero que permitan impulsar el campo agrícola en el estado de Tabasco mediante la aplicación y desarrollo de tecnología. El diseño y la elaboración está constituido por un arduo trabajo e implementación de un sistema mecatrónico que permita este proceso.

Realizar los proyectos mostrados ha sido todo un desafío al tratarse de un dominio totalmente distinto y con muy pocos antecedentes en cuestión del uso robots y drones para fumigación en el cacao, la investigación es un punto clave, así como la metodología a seguir, por esta misma razón cada resultado a lo largo del trabajo permitirá ampliar conocimientos y trabajar las áreas de oportunidad para la producción del estado de Tabasco.

Este importante mencionar que los avances en los proyectos han sido presentados en ferias académicas locales con el objetivo de contribuir a cambiar en forma positiva la situación de los productores de cacao.

REFERENCIAS

- Arias, E., J. A., & Sepulveda, X. (1985). *Tabasco Textos de su historia*. Villahermosa: Instituto de investigaciones Jose María Luis Mora.
- Budynas, R. G., & Nisbett, J. K. (2012). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*. The Mc- Graw-Hill Companies, Inc.
- Coral, L. M. (2012). *Manejo integrado de plagas y enfermedades en el cultivo del cacao*. Perú: Extensión y proyección social UNALM.
- DOF. (2016). Declaracion General de Protección de la denominación de origen Cacao Grijalva. México: Diario Oficial de la Federación .
- Gómez, M. C. (2014). *Chocolate del Edén para el mundo* . Villahermosa: Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
- Lopez, R. M., Abreu, C. R., Saravia, G. T., & Antonio, E. B. (1994). *Historia general de Tabasco*. Villahermosa: Gobierno del estado de Tabsco Secretaria de Educación, Cultura y Recreación.
- López-Báez, O., Ramírez-González, S. I., Espinosa-Zaragoza, S., Moreno-Martínez, J. L., Ruiz-Bello, C., Villarreal-Fuentes, J. M., & González-Mejía, O. (2015). Comportamiento de la moniliasis del cacao causada por *Moniliophthora roreri* (Cif. y Par.) en Tapachula, Chiapas, México. *ACTA AGRÍCOLA Y PECUARIA*, 16-23.
- María, S. C., Edwin, J. A., & Iván, R. M. (2015). *Enfermedades del cacao*. Universidad Técnica de Machala.
- Phillips-Mora, W., & Cerda, R. (2011). *Catalogo Enfermedades del cacao en Centroamérica*. Turrialba: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza.
- Ramirez, A., & Rodríguez, L. (1999). *Plagas y enfermedades del cacao*. Zamorano: Escuela Agricola Panamericana.
- Valle, S. S., & Kienzle, J. (2021). *Agricultura 4.0*. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
- Zapata, K. P., Cárdenas, J. D., Goez, D. P., & Erazo, J. E. (2019). La agricultura 4.0 un camino a la continuidad de nuestro conocimiento y modelos de siembra. Colombia: Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería .

DESARROLLO DE AGRITECH PARA LA SOSTENIBILIDAD, EFICIENCIA Y RESILIENCIA DEL CACAO EN TABASCO

- 🌐 www.atenaeditora.com.br
- ✉ contato@atenaeditora.com.br
- 📷 [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)
- FACEBOOK www.facebook.com/atenaeditora.com.br

DESARROLLO DE AGRITECH PARA LA SOSTENIBILIDAD, EFICIENCIA Y RESILIENCIA DEL CACAO EN TABASCO

- 🌐 www.atenaeditora.com.br
- ✉ contato@atenaeditora.com.br
- 📷 [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)
- FACEBOOK www.facebook.com/atenaeditora.com.br