

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la
Producción**

“Diseño y construcción de un prototipo de cámara fumigadora de banano
con parámetros de operación reconfigurables”

PROYECTO INTEGRADOR

Previo la obtención del Título de:

INGENIERO MECÁNICO

Presentado por:

Diego Abel Jacho Alvarado

Javier Steven Carriel Pin

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2018

DEDICATORIA

El presente trabajo se lo dedicamos especialmente a Dios, que nos ha dado la vida y la fortaleza para terminar este proyecto y carrera.

A nuestros padres y hermanos, que nos guiaron sabiamente y nos han brindado sustento en todo sentido para culminar nuestros estudios.

A nuestros amigos, sobre todo el grupo de cuatro que conformamos y estudiamos juntos en cada semestre, apoyándonos mutuamente.

AGRADECIMIENTOS

Nuestro más sincero agradecimiento a Dios que siempre ha sido nuestro apoyo fundamental en el desarrollo de nuestra vida y carrera.

Gracias a nuestros padres: Segundo y Luisa; y, Javier y Aracely, por ser los principales promotores de nuestros triunfos universitarios y personales.

A la empresa y a sus supervisores que financiaron este proyecto.

Al Ing. Livingston Castro que ha sido un gran apoyo profesional y personal a lo largo del desarrollo de este proyecto y de nuestra carrera, de manera totalmente incondicional.

DECLARACIÓN EXPRESA

“Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; Javier Carriel y Diego Jacho, damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual”



Javier Carriel

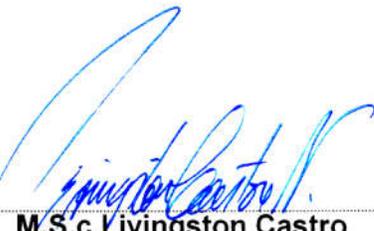


Diego Jacho

EVALUADORES



M.S.c Jorge Marcial
PROFESOR DE LA MATERIA



M.S.c Livingston Castro
PROFESOR TUTOR

RESUMEN

El banano, para llegar a la exportación, atraviesa una serie de procesos como corte, pesado, clasificado, lavado, llegando a la fumigación postcosecha. El proceso mencionado se lo realiza por medio de dos operadores de forma manual y durante toda la jornada laboral. Sin embargo, esta acción se empobrece debido a la propia fatiga humana por acciones repetitivas. Dicho esto, el objetivo del siguiente proyecto es diseñar una máquina prototipo automatizada que ejecute este proceso de manera repetitiva y permita la variación de los parámetros de operación en rangos determinados, dándole facilidad al cliente para encontrar parámetros óptimos de funcionamiento, a fin de obtener un mejor efecto biológico en el banano.

El diseño y construcción de la máquina se dividió en cuatro sistemas: un transportador eléctrico, un sistema de presión hidráulica y aspersión, la estructura de la cámara y un control eléctrico. La selección de equipos y componentes mecánicos se realizó considerando la información disponible en los catálogos de proveedores y siguiendo las especificaciones del cliente; para terminar con la construcción y ensamble de toda la máquina. Se seleccionó una bomba PKm 65 de rodete periférico, además de un tanque hidroneumático de 80 L. Para el transportador eléctrico fue necesario un motor de 1 Hp/ 1750 rpm, y en adición, una reducción para alcanzar una velocidad promedio de 225 mm/s de la bandeja transportada. Finalmente, se realizaron 56 ensayos utilizando la máquina y probando las distintas funciones adecuadas, como modos de fumigación, cobertura, velocidades, presión y volumen de fungicida aplicado, concluyendo que la máquina pudo cumplir su objetivo y dada su versatilidad, podría ser aplicable a otros productos postcosecha, con un estudio previo.

Palabras Clave: banano, transportadora, fungicida, presión hidráulica, patrón de aspersión.

ABSTRACT

The banana goes through a series of processes such as cutting, weighing, sorting, washing, reaching post-harvest fumigation, before exportation. The aforementioned process is carried out by two operators manually and throughout the workday. However, this action is impoverished due to human fatigue itself by repetitive actions. Therefore, this project aims to design an automated prototype machine that carries out this process repeatedly and allows the variation of the operating parameters in certain ranges, in order to the client could find optimal operating parameters, where obtain a better biological effect in bananas would be possible.

The design and construction process of the machine was divided into four systems: an electric conveyor, a hydraulic pressure and spraying system, the supporting frame and an electrical control. The selection of equipment and mechanical components was made considering the information available in the catalogs of suppliers and following the specifications of the client, to finish with the construction and assembly of the whole machine. A PKm 65 peripheral impeller pump was selected, in addition to a hydropneumatic tank of 80 L. For the electric conveyor it was necessary a 1 Hp / 1750 rpm motor, in addition, a mechanical reduction to reach an average speed of 300 mm / s for the transported banana tray. Finally, 56 tests were carried out using the machine, and testing the different suitable functions, such as fumigation modes, coverage, velocities, pressure and applied fungicide volume, concluding that the machine could fulfill its objective, and given its versatility, it could be applicable to others post-harvest products, with a previous study.

Keywords: *banana, conveyor, fungicide, hydraulic pressure, spray pattern.*

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	I
<i>ABSTRACT</i>	II
ÍNDICE GENERAL	III
ABREVIATURAS.....	V
SIMBOLOGÍA.....	VI
ÍNDICE DE FIGURAS	VII
ÍNDICE DE TABLAS.....	IX
ÍNDICE DE PLANOS.....	X
CAPÍTULO 1.....	1
1.Introducción	1
1.1 Descripción del problema	1
1.2 Justificación del proyecto	2
1.3 Objetivos	3
1.3.1 Objetivo General.....	3
1.3.2 Objetivos Específicos.....	3
1.4 Marco teórico.....	4
1.4.1 Proceso de empaçado de banano tipo Cavendish.....	4
1.4.2 Benchmarking.....	7
1.4.3 Factores de Influencia.....	8
CAPÍTULO 2.....	10
2.Metodología.....	10
2.1 Alternativas de Solución	10
2.1.1 Sistema de aspersion	10
2.1.2 Sistemas de Termonebulización.....	12
2.1.3 Sistemas de Rodillos húmedos.....	13
2.2 Selección de las alternativas de solución	14
2.2.1 Decisión por matrices	14
2.3 Diseño conceptual de la cámara de fumigación.....	15

2.3.1	Transportador eléctrico	17
2.3.2	Sistema de presión hidráulica y aspersión.....	24
2.3.3	Control eléctrico	30
2.3.4	Estructura de la cámara	34
CAPÍTULO 3.....		37
3.RESULTADOS Y ANÁLISIS.....		37
3.1	Resultados teóricos	37
3.1.1	Transportador eléctrico	37
3.1.2	Sistema de presión hidráulica y aspersión.....	39
3.1.3	Control eléctrico	44
3.1.4	Estructura de la cámara	48
3.2	Planos generales de la fumigadora	49
3.3	Análisis de costos.....	49
3.3.1	Inversión	49
3.3.2	Estimación de costos adicionales	50
3.4	Construcción y ensamble de la cámara de fumigación	53
CAPÍTULO 4.....		55
4.CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		55
4.1	Conclusiones.....	55
4.2	Recomendaciones.....	57
BIBLIOGRAFÍA		
APÉNDICES		

ABREVIATURAS

AISI	American Iron and Steel Institute
ASBAMA	Asociación de Bananeros del Magdalena y La Guajira
ASME	American Society of Mechanical Engineers
CAE	Computer Aided Engineering
CAD	Computer Aided Design
FSMA	Food Safety Modernization Act
HACCP	Hazard Analysis and Critical Control Points
ISO	International Organization for Standardization
PIB	Producto Interno Bruto
PRI	Periodo de Recuperación de la Inversión

SIMBOLOGÍA

s	segundo
kg	Kilogramo
N	Newton
kN	Kilo newton
hp	horse power
mm	milímetro
kW	kiliovatio
in	pulgada
ml	mililitros
l	litros

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Ingreso de la fruta por medio del cable vía (ASBAMA, 2018)	4
Figura 1.2 Trabajador retirando manos en mal estado (ASBAMA, 2018).....	5
Figura 1.3 Lavado de las manos en la tina con agua a presión (ASBAMA, 2018)	5
Figura 1.4 Proceso de fumigación en las líneas del proceso	6
Figura 1.5 Empacado final de las cajas para la exportación (ASBAMA, 2018)	7
Figura 2.1 Alternativas de solución (Elaboración Propia,2018)	10
Figura 2.2 Cámara de fumigación (Ingenieros Analpes LTDA., 2018)	11
Figura 2.3 Cámara de fumigación por termonebulización (Marco Polo Alta tecnología en preservación, 2018)	12
Figura 2.4 Esquema de sistemas componentes de la cámara de fumigación (Elaboración propia).	16
Figura 2.5 Diseño conceptual del proceso de fumigación de banano (Elaboración propia).	16
Figura 2.6 Proceso de diseño y construcción del transportador eléctrico. (Elaboración propia)	17
Figura 2.7 Bandeja de las manos de banano (Elaboración propia)	18
Figura 2.8 Diseño de forma del soporte de la transportadora. (Elaboración propia)	18
Figura 2.9 Esquema del sistema de transmisión de potencia. (Elaboración propia)	19
Figura 2.10 Configuración del sistema de la cinta transportadora. (Renold, 2018)	20
Figura 2.11 Cargas en cadenas y correas. (NTN Americas, 2018)	21
Figura 2.12 Diagrama de cuerpo libre del eje principal.	23
Figura 2.13 Esquema del proceso de diseño y construcción del sistema hidráulico. (Elaboración propia)	24
Figura 2.14 Diseño de forma para los soportes del sistema hidráulico. (Elaboración propia)	25
Figura 2.15. Diagrama del grupo de presión hidráulica y sus componentes. (Elaboración propia)	30
Figura 2.16 Proceso de diseño y construcción del sistema eléctrico. (Elaboración propia)	31
Figura 2.17 Sistema de aspersores de la condición 1.	31
Figura 2.18 Sistema de aspersores de la condición 2. (Elaboración propia)	32

Figura 2.19: Diagrama de tiempo para el sistema de control. (Elaboración propia)	33
Figura 2.20 Esquema del diseño para la cámara de fumigación. (Elaboración propia).	34
Figura 2.21 Esquema de la cobertura teórica en función de altura (Spraying Systems Co., 2018).....	36
Figura 3.1 Esquema del sistema hidráulico. (Elaboración propia).....	39
Figura 3.2 Parte 1 del análisis del sistema hidráulico: Tanque – Boquillas. (Elaboración propia)	41
Figura 3.3 Parte 2 del análisis del sistema hidráulico: Cisterna – Tanque hidroneumático. (Elaboración propia).....	42
Figura 3.4 Esquema de la programación presente en Logo. (Elaboración propia).....	44
Figura 3.5 Efecto del variador de frecuencia sobre la potencia del motor eléctrico. (WEG, 2018).....	45
Figura 3.6 Velocidad de bandeja vs frecuencia del variador	46
Figura 3.7 Tijeras reguladoras de altura. (Elaboración propia).....	48
Figura 3.8 Esquema del proceso de construcción de la máquina	54
Figura 4.1 Diagrama del sistema de lavado para las tuberías.....	58

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Parámetros y requerimientos de calidad para el clúster (Carrillo, 2017)	5
Tabla 1.2 Comparación de máquinas de fumigación comerciales.....	8
Tabla 2.1 Matriz de decisión de la mejor alternativa.....	15
Tabla 2.2 Detalle técnico de las puntas tipo TG	26
Tabla 2.3 Detalle técnico de puntas de aspersión de línea (flat spray)	27
Tabla 2.4 Dimensionamiento y selección del tanque hidroneumático	29
Tabla 2.5 Tabla de cobertura de la aspersión en función del ángulo y altura.....	35
Tabla 3.1 Cálculo de la fuerza tangencial requerida por el transportador eléctrico	37
Tabla 3.2 Cálculo de velocidad en la cadena cardánica.....	38
Tabla 3.3 Cálculo de potencia final del motor eléctrico usando las eficiencias.....	39
Tabla 3.4 Puntas de aspersión seleccionadas	40
Tabla 3.5 Cálculo de presión del tanque hidroneumático	41
Tabla 3.6 Cálculos de potencia y cabezal de bomba hidráulica	42
Tabla 3.7 Resultados para la selección de la bomba	43
Tabla 3.8 Medición de Velocidad vs frecuencia.....	46
Tabla 3.9 Mediciones de caudal para aspersor tipo TG	47
Tabla 3.10 Mediciones de caudal para aspersores tipo FLAT.....	47
Tabla 3.11 Parámetros (caso específico) de operación para condición 1	47
Tabla 3.12 Parámetros (caso específico) de operación para condición 2	48
Tabla 3.13 Relación geométrica para la regulación de altura.....	49
Tabla 3.14 Descripción del costo para la construcción de la fumigadora	50
Tabla 3.15 Costos mensuales para el mantenimiento de la fumigadora	50
Tabla 3.16 Costo corregido usando acero inoxidable.....	51
Tabla 3.17 Análisis del PRI.....	52

ÍNDICE DE PLANOS

Plano 1 . Planos de dimensiones generales del transportador eléctrico (Elaboración propia)	68
Plano 2.Dimensiones generales de la estructura de la cámara.(Elaboración propia)	69

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

En Ecuador, al ser un país principalmente exportador de productos primarios, existen empresas de índole tanto privada como pública, dedicadas a la producción de productos como banano, flores, camarón, granos de cacao, entre otros, los cuales representan cerca del 70% de las exportaciones a nivel nacional. (Ministerio de Comercio Exterior, Exportaciones, 2013)

La exportación de banano representa el 2% del Producto Interno Bruto (PIB) general del Ecuador, y aproximadamente el 35% del PIB del sector agrícola, siendo el principal producto primario de exportación del país. (Ministerio de Comercio Exterior, INFORME SECTOR BANANERO ECUATORIANO, 2017) En la actualidad, el banano ecuatoriano es líder en el mercado ruso ocupando cerca del 94% del mismo, sin embargo, esto no representa más del 24% de la exportación nacional de este producto, la misma que también está dirigida a países como Estados Unidos, Alemania, Japón, Argentina y otros países de Europa y Asia. (Acorbanec, 2018)

Con la finalidad de lograr una buena competitividad y alcanzar las condiciones que permitan la exportación del producto, las compañías exportadoras buscan apegarse a normas nacionales o internacionales, tales como la certificación orgánica Fair Trade FLO, SKAL y Naturama; además, de estándares internacionales de calidad como las normas HACCP, ISO, GLOBALGAP y Rainforest Alliance. (Ministerio de Comercio Exterior, INFORME SECTOR BANANERO ECUATORIANO, 2017)

Llegados a este punto, el proceso de empaquetado de las cajas de banano consta de varias etapas, dentro de las cuales la fumigación de la fruta representa un factor clave para alcanzar los estándares mencionados anteriormente. Por lo cual, el presente proyecto plantea la aplicación de conocimientos de ingeniería para el diseño y construcción de una máquina fumigadora para banano postcosecha, cuyo desarrollo se detallará en cada capítulo de esta tesis.

1.1 Descripción del problema

Se requiere mejorar el proceso de fumigación de banano en líneas de producción, evitando el contacto con personas para prevenir efectos nocivos de los químicos (Igbedioh, 2010) y disminuir las pérdidas de estos, utilizados en el proceso (Vindas, Ortiz, Ramírez, & Cuenca, 2004). Además, la falta de

control sobre la eficiencia del proceso causa muchas veces el atraso del llenado de contenedores para exportación de este producto.

La cobertura de la fumigación, el tiempo de fumigación y la cantidad de volumen aplicada de fungicida por bandeja, están sujetas a la capacidad humana del trabajador durante su jornada laboral, la cual precisamente no es continua, debido a la fatiga creada por las acciones repetitivas requeridas por parte de los operarios.

Por lo tanto, se requiere un diseño que cumpla las siguientes especificaciones:

- Proceso de fumigación automático.
- Evitar la propagación del químico fuera del área de fumigación.
- Volumen máximo aplicado por bandeja: 100 ml.
- Tiempo máximo de duración del proceso de fumigación: 17 s.
- Parámetros de operación configurables

1.2 Justificación del proyecto

Durante la fase de producción industrial, el lavado se aplica a cada una de las frutas que pasan los debidos controles de calidad, para su posterior fumigación e impedir el brote de hongos en los cortes realizados en la corona y la punta del banano, (International Organization for Standardization, 1977) además de impedir su pronta maduración (International Organization for Standardization, 1980). Sin embargo, los procesos de fumigación de la fruta en las líneas de empaquetado presentan problemas por dos razones principales:

La primera es que el proceso se realiza de forma manual utilizando dos operadores, lo cual implica que la velocidad de producción y eficiencia del fumigado está en base a la capacidad del operario durante toda su jornada.

La segunda es el consumo no controlado del químico, el cual debe llevar una determinada concentración al momento de ser dispensado sobre la bandeja del banano.

Se pretende que la aplicación de la máquina permita identificar los puntos óptimos de operación para el proceso de fumigación, reducir el impacto del

químico utilizado en las otras áreas de trabajo a lo largo de la empacadora y disminución de costos en uso de fungicidas y personal de trabajo.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Diseñar y construir una máquina prototipo de fumigación para banano la cual tenga parámetros de operación configurables con el fin de permitir al operario diferentes rangos de operación.

1.3.2 Objetivos Específicos

1. Crear un diseño de forma de una máquina que permita realizar fumigación de banano y a su vez cambiar los principales parámetros de operación siguientes:
 - Tiempo total del proceso de fumigación.
 - Volumen de fungicida aplicado por bandeja.
 - Cobertura total en la(s) bandeja(s).
2. Diseñar un diagrama de procesos y subsistemas para llevar a cabo la fumigación del banano de forma automática.
3. Diseñar los elementos y componentes mecánicos para realizar transmisión de potencia, control de presión del fluido de trabajo (fungicida) y soporte estructural del equipo.
4. Modelar y simular el comportamiento de componentes del equipo usando software CAD/CAE.
5. Seleccionar materiales y equipos principales para cada subsistema planteado.
6. Realizar análisis de costos de la implementación de la máquina considerando componentes disponibles en Ecuador.
7. Crear los planos de fabricación y ensamble de la máquina.
8. Construir un prototipo para su posterior implementación.

1.4 Marco teórico

1.4.1 Proceso de empacado de banano tipo Cavendish

- **Recepción del banano:** El proceso de empacado comienza con la recepción de la fruta en un área designada dentro de la empacadora, en la cual llegan los racimos cosechados por medio de cables vía, los cuales atraviesan todas las hectáreas de la plantación. (Agrocalidad & MAGAP ECUADOR, 2017)



Figura 1.1 Ingreso de la fruta por medio del cable vía (ASBAMA, 2018)

- **Inspección y control:** Los operadores se encargan de realizar una inspección de la fruta, mediante la cual se obtienen características del estado de la fruta tales como color, longitud del dedo, consistencia de la pulpa, madurez y defectos físicos. La fruta que no consigue aprobar esta inspección es rechazada y distribuida localmente.



Figura 1.2 Trabajador retirando manos en mal estado (ASBAMA, 2018)

Tabla 1.1 Parámetros y requerimientos de calidad para el clúster (Carrillo, 2017)

Parámetro	Requerimiento
Calibre del dedo	37-48 mm
Largo del dedo	>210 mm
Pulpa	Sin manchas cafés o amarillas

- Desmane del racimo y clasificación de los clústers:** Los racimos entran en una etapa selectiva y relevante en el proceso, para ser más específicos consiste en cortar las manos del raquis dependiendo del lugar al que se vaya a exportar, y clasificarlas por su tamaño para pasarlos a la piscina donde se remueve el látex.



Figura 1.3 Lavado de las manos en la tina con agua a presión (ASBAMA, 2018)

- **Clasificación final de los clústers:** Dependiendo del tamaño de los dedos del clúster y del lugar de exportación, se clasifican y depositan en las bandejas en una transportadora de rodillos empujada manualmente.
- **Fumigación:** Por lo que refiere a la fumigación, se trata de una etapa crítica en el proceso de empaclado, considerando que la buena conservación del producto está ligada a la eficiencia en este proceso. Se aplican de forma manual productos químicos como el imazalil, alumbre o mertec, que previenen que se desarrollen hongos en las puntas y en las coronas del clúster que son las partes más susceptibles a la maduración.

Actualmente el proceso se efectúa utilizando dos operadores que tardan de 15 a 17 segundos por bandeja; el primero utiliza una bomba de mochila con una punta de aspersion de cono lleno para cubrir toda la bandeja, el segundo utiliza una brocha de 1” conectada a una manguera que la mantiene húmeda con el producto fungicida para cubrir específicamente las coronas y puntas de los clústers en la bandeja. (Carrillo, 2017)



Figura 1.4 Proceso de fumigación en las líneas del proceso
(Agrocalidad & MAGAP ECUADOR, 2017)

- **Etiquetado y empaçado:** Para terminar, se procede con la colocación de las etiquetas de la marca respectiva de la empresa a cada clúster de las bandejas para posteriormente colocar cada bandeja en cajas para el posterior embarque y transporte a su destino final.



Figura 1.5 Empacado final de las cajas para la exportación (ASBAMA, 2018)

1.4.2 Benchmarking

Se encontró dos empresas que resuelven la problemática planteada usando sistemas de cámara de aspersion automáticas, en las cuales sus características se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 1.2 Comparación de máquinas de fumigación comerciales

Funcionabilidad	Spraying Systems Co.	Thomas Pump Panamá
Control de dosis aplicada	Cuerpos de puntas de aspersión inteligentes y sistema de control avanzado	Sistema de monitoreo y regulación de caudal
Mecanismo de fumigación	Sistema de aspersores	Sistemas de aspersores
Material de estructura	Acero inoxidable o aluminio	Aluminio o PVC
Mecanismo de encendido	Sistema SCADA	Manual Automático con sensores fotosensibles Palanca de emergencia
Tiempo del proceso	Configurable en cualquier rango	Configurable >1 Segundo

- a. Cámara de fumigación por Spraying Systems Co. (Spraying Systems Co., 2018)
- b. Cámara de fumigación modelo 1215 – Thomas Pump Panamá (Thomas Pump, 2018)

1.4.3 Factores de Influencia

Para el diseño posterior se tomaron en cuenta los siguientes factores de influencia los cuales afectaron directa o indirectamente el diseño del proyecto:

Altura de la línea de rodillos del proceso de empaqueo:

90 a 100 cm

Ancho de la bandeja de banano:

72 cm

- El producto por tratar no será de consumo humano al ser una máquina prototipo.

Políticas:

Norma FSMA

Mantenimiento:

Equipo desmontable y repuestos accesibles

Costo del producto:

Escatimar en gastos mientras sea posible

Vida útil:

Durabilidad mayor a 1 año para permitir hacer todas las pruebas necesarias.

Desempeño:

El equipo solo se usará para pruebas puntuales, no funcionará continuamente.

La máquina solo transportará 3 bandejas como máximo.

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGÍA

En el capítulo uno se definieron los requerimientos del sistema de fumigación, prosiguiendo con el análisis, en el presente capítulo se desarrollará la formulación, y diseño de la solución del problema.

A continuación, se analizarán las distintas alternativas de solución presentadas en el siguiente esquema:



Figura 2.1 Alternativas de solución (Elaboración Propia,2018)

2.1 Alternativas de Solución

2.1.1 Sistema de aspersión

La fumigación se realizará por medio de aspersores con la característica de que son especiales para microaspersión, dentro de una cámara cerrada cuya estructura será de acero inoxidable, mediante el uso de 6 aspersores (Spraying Systems Co., 2018) y una cinta transportadora que funcione de forma automática.



Figura 2.2 Cámara de fumigación (Ingenieros Analpes LTDA., 2018)

Atributos del sistema:

- **Fumigación uniforme**, se obtiene mediante el uso de seis aspersores colocados de tal forma en que se logre la cobertura total de la bandeja con banano.
- **Control de dosis aplicada**, por medio del uso de boquillas con distintas capacidades, además de la posible aplicación de un sistema de control más avanzado.
- **Ambiente cerrado**, utilizando una estructura de acero inoxidable, aluminio u otro material resistente a la corrosión.
- **Regulación de altura**, se logrará mediante un sistema mecánico que permita desplazar el conjunto de aspersores verticalmente, de tal forma que la máquina pueda ajustarse a otro tipo de boquilla con diferente cobertura
- **Control de la velocidad**, a través del uso de un variador de frecuencia conectado al motor principal de la máquina
- **Modos de fumigación**, usando dos configuraciones de aspersion, puede funcionar de manera continua usando aspersores de línea, o interrumpida usando aspersores de cono lleno.
- **Puntas de aspersion intercambiables**, se cuenta con distintas puntas de aspersion, que permiten caudales y presiones de operacion distintos, sin necesidad de cambiar los cuerpos de las puntas de aspersion.

- **Sistema de presión**, la máquina podrá adecuarse a sistemas de presión donde la bomba trabaje de forma continua o por lapsos de tiempo, con la facilidad de regular la presión de operación.
- **Sistema recolector**, útil para reunir todo el producto fungicida sobrante del proceso en un recipiente de almacenamiento para su posterior tratamiento.

2.1.2 Sistemas de Termonebulización

La termonebulización consiste en el proceso de atomización y evaporación parcial de manera simultánea, mediante la exposición del fluido a aire caliente y alta velocidad (Confertil LTDA, 2018). Una vez que el fluido sale por el cañón de la termonebulizadora, comienza a condensarse debido a que la temperatura del exterior es menor, formando así gotas de tamaño menor a 10 micrones, las cuales pueden ser transportadas mayores distancias sin evaporarse. Las soluciones utilizadas para este sistema son acuosas u oleosas, siendo esta última la más eficiente y común.



Figura 2.3 Cámara de fumigación por termonebulización (Marco Polo Alta tecnología en preservación, 2018)

Atributos del sistema

- **Cobertura absoluta de las bandejas**, mediante la aplicación de una neblina de producto fungicida que llena en su totalidad la cámara.
- **Fumigación simultánea de bandejas**, dentro de la cámara se pueden colocar varias bandejas dependiendo de la capacidad de la máquina y de la dosis deseada a aplicar.
- **Ambiente cerrado**, necesario para la contención de la neblina en la cámara evitando su propagación a otras áreas consecuentes.
- **Reducción en la dosificación**, para generar neblina en la máquina se requiere volúmenes de fluidos bastante bajos en comparación a los utilizados en los sistemas de aspersión.
- **Regulación de temperatura**, dado que la máquina genera vapores calientes se requiere un sistema de medición y regulación de temperatura.

2.1.3 Sistemas de Rodillos húmedos

Consiste en un sistema conformado por ejes transversales en la línea de empaquete, equipados con cerdas húmedas con el producto fungicida. Básicamente, la idea de este sistema es pasar las bandejas a través de un tramo cerrado, dispuesto con varios ejes dentro de una carcasa, los cuales aplicarán el fungicida sobre las manos de banano de manera de brochas.

Atributos del sistema

- **Tramo cerrado del proceso**, una carcasa de acero inoxidable o acrílico que encierra la bandeja para la aplicación del fungicida.
- **Fumigación simultánea de bandejas**, dependiendo del número de rodillos en el tramo cerrado, podrán aumentarse las bandejas fumigadas.

- **Control de velocidad**, la dosis aplicada está ligada a la duración del proceso de fumigación, por lo cual se contará con un sistema regulador de velocidad.
- **Regulación de posición de rodillos**, se dispondrá con canales o vías para posicionar los rodillos de forma más conveniente a la aplicación.
- **Sistema recolector**, ubicado en la carcasa inferior, se encargará de recoger todo el fungicida sobrante para su posterior tratamiento y desecho.
- **Diversidad de rodillos**, debido a que los rodillos son desmontables, se puede probar una gama de rodillos dependiendo de la dosis a aplicar.

2.2 Selección de las alternativas de solución

2.2.1 Decisión por matrices

Se usó el método “Weighted Scoring Method” (Anil & Rajendra, 2009) , el cual consiste en usar varias matrices para cada atributo y calificar con un procedimiento desarrollado con más detalle en el APÉNDICE 1.

En la tabla 2.1 se presenta la matriz resultado del método, el cual concluye con las calificaciones finales de las opciones, donde la Opción 1 es la cámara fumigadora, la opción 2 es la termonebulizadora y la tercera es la de rodillos

Tabla 2.1 Matriz de decisión de la mejor alternativa

	Criterios de Selección	Peso	Opcion 1		Opcion 2		Opcion 3	
			Calificacion	Total	Calificacion	Total	Calificacion	Total
1,1	Cobertura de la bendeja	11,6%	10	1,16	10	1,16	6	0,70
1,2	Forma de detección de la bandeja	4,1%	10	0,41	8	0,33	8	0,33
1,3	Mantenimiento sencillo	1,3%	6	0,08	8	0,10	4	0,05
1,4	Parametros de operacion configurables	8,8%	9	0,79	8	0,70	5	0,44
1,5	Modo de fumigacion	3,2%	8	0,26	10	0,32	8	0,26
1,6	Tiempo de fumigacion	17,8%	8	1,43	4	0,71	8	1,43
2,1	Autonomia del sistema	27,7%	8	2,22	6	1,66	8	2,22
2,2	Aislamiento del sistema y el operador	3,1%	8	0,25	10	0,31	10	0,31
3,3	Tamaño optimo	4,1%	8	0,33	9	0,37	9	0,37
3,4	Visibilidad de la bandeja en la operacion	0,5%	10	0,05	6	0,03	10	0,05
4,1	Accesibilidad al producto	5,1%	10	0,51	8	0,41	10	0,51
4,2	Bajo costo de produccion	2,3%	8	0,18	8	0,18	6	0,14
4,3	Bajo costo de adquisición	1,2%	8	0,09	9	0,11	10	0,12
4,4	Accesibilidad a repuestos	8,5%	10	0,85	6	0,51	4	0,34
4,5	Bajo costo de mantenimiento	0,7%	5	0,03	2	0,01	5	0,03
	Total			8,64		6,92		7,28

- Se concluyó que la Opción 1 es la mejor alternativa de solución la cual corresponde a la cámara de fumigación con aspersores.

2.3 Diseño conceptual de la cámara de fumigación

Para realizar el diseño de forma, detallado y la construcción de la cámara de fumigación se procedió a dividir el proceso en componentes principales, los cuales se detallan en el siguiente diagrama:

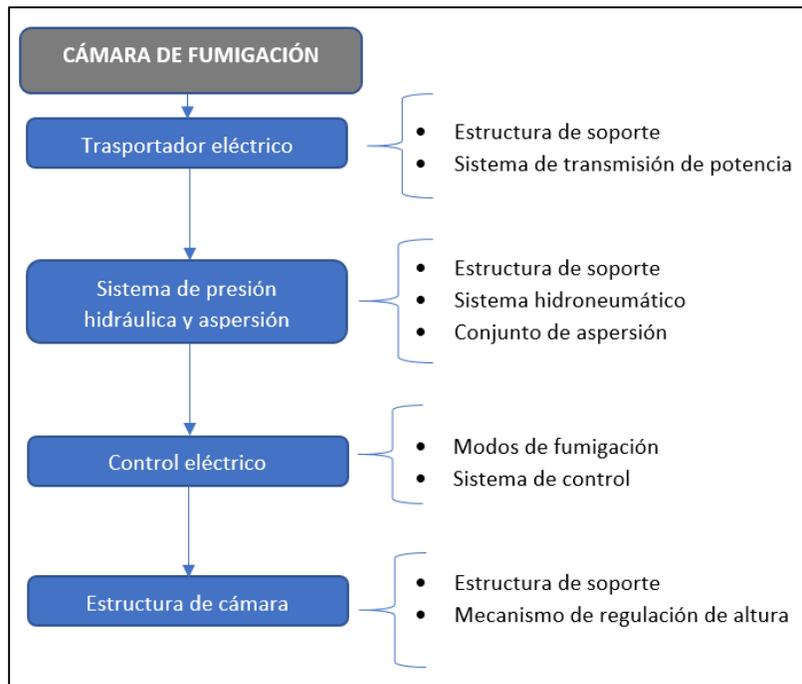


Figura 2.4 Esquema de sistemas componentes de la cámara de fumigación (Elaboración propia).

Cada componente principal descrito en la Figura 2.4 tiene una función dentro del proceso de fumigación realizado por la máquina. De la misma manera, el proceso principal está dividido en etapas esquematizadas en la Figura 2.5.

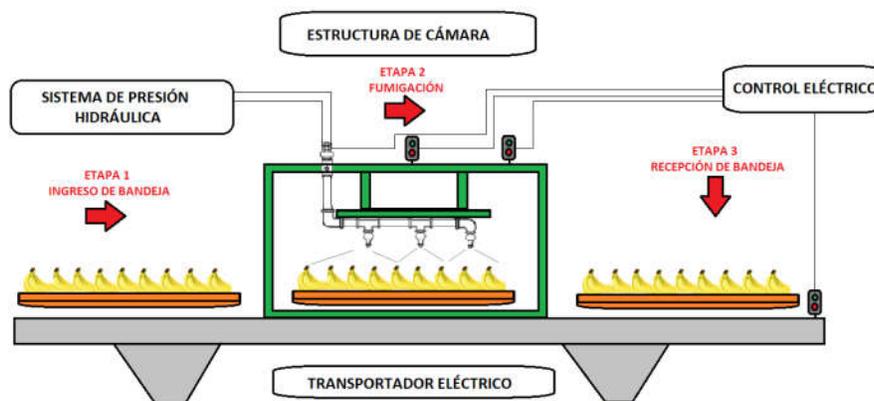


Figura 2.5 Diseño conceptual del proceso de fumigación de banana (Elaboración propia).

2.3.1 Transportador eléctrico

Examinaremos brevemente el proceso de diseño del transportador eléctrico de manera sistemática, teniendo en consideración el diagrama planteado en la Figura 2.6.

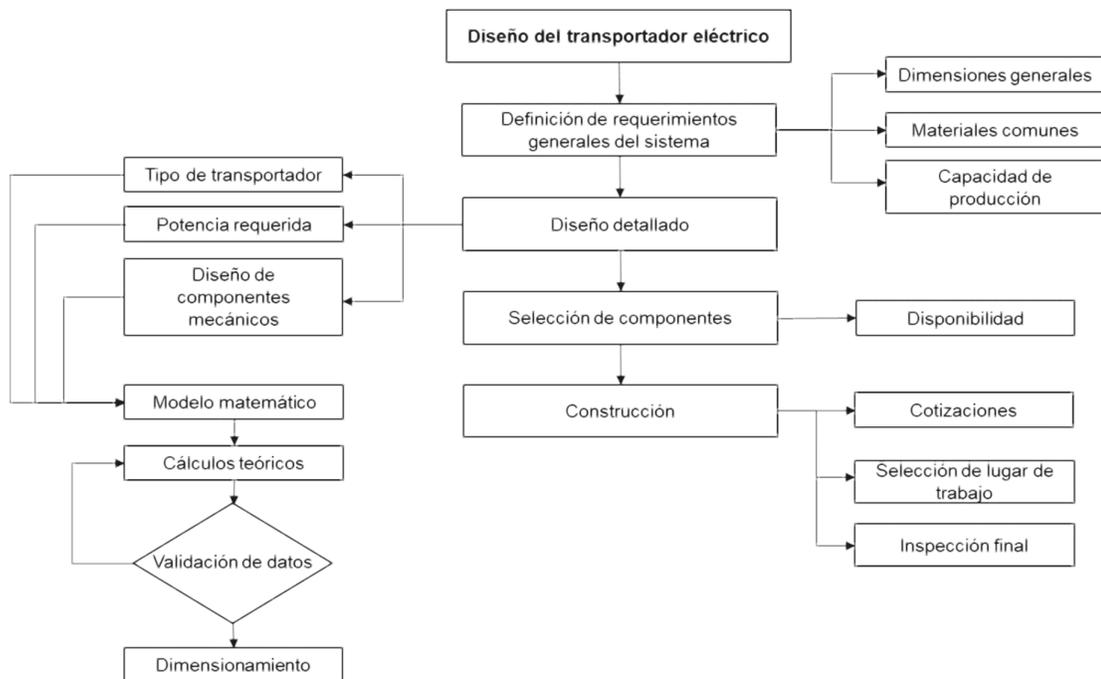


Figura 2.6 Proceso de diseño y construcción del transportador eléctrico. (Elaboración propia)

2.3.1.1 Estructura de soporte

Diseño de forma

La cinta transportadora se diseñó para soportar hasta tres bandejas de 21 kg cada una, además de soportar el peso de los otros componentes mecánicos, tales como reductor, motor, ejes de transmisión, piñones, cadenas y la estructura de la cámara.

La dimensión general para la longitud del transportador está dada por el largo de las bandejas, especificado en la Figura 2.7, resultando

en una longitud aproximada de 3000 mm. En cuanto al ancho, se definió usando el mismo criterio, concluyendo en 720 mm.

La altura del transportador se definió utilizando como referencia la altura de los transportadores de rodillo de las empacadoras actuales, teniendo 940 mm, como se observa en la Figura 2.8.

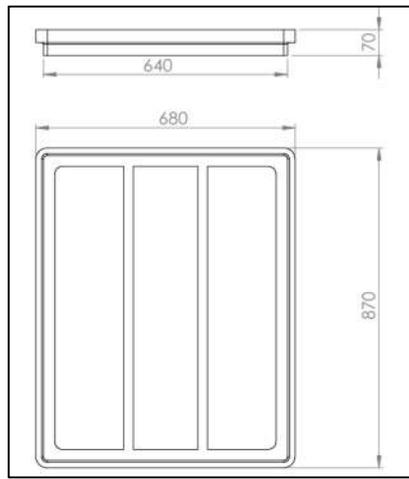


Figura 2.7 Bandeja de las manos de banano (Elaboración propia)

Como se requiere que la transportadora tenga al menos tres bandejas a la vez el largo debe ser de al menos 3 metros.

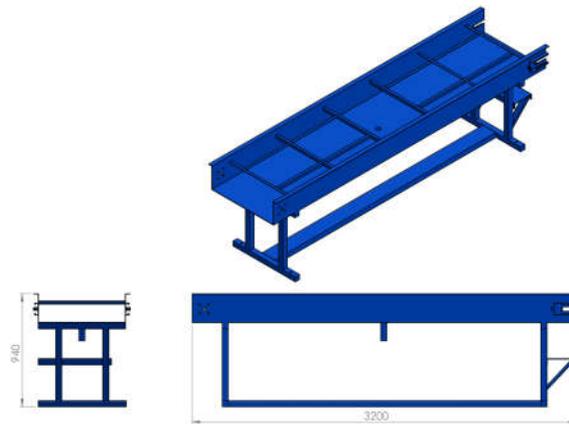


Figura 2.8 Diseño de forma del soporte de la transportadora. (Elaboración propia)

Diseño detallado

Para la estructura general de la máquina se realizó un diseño estático considerando el peso de las bandejas y el peso de la cadena cardánica como una fuerza distribuida a lo largo de esta estructura para un diseño conservador, usando como material acero estructural AISI A36 con límite elástico $S_y = 250$ MPa y resistencia última a la tensión $S_{ut} = 400$ MPa.

2.3.1.2 Sistema de transmisión de potencia

Para la transmisión de potencia que debe llegar teóricamente a este eje se planea transmitirla por medio de cadenas y catalinas con potencia provenientes de un motorreductor, el cual debe ser seleccionado, como se describe en la Figura 2.9.

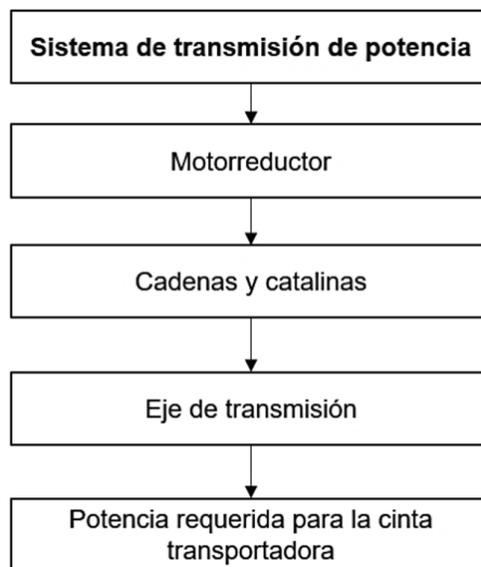


Figura 2.9 Esquema del sistema de transmisión de potencia. (Elaboración propia)

Para la selección de este sistema primero se calculó la fuerza necesaria para jalar las bandejas en la cinta transportadora considerando tres bandejas al mismo tiempo, así que se usó el catálogo de Renold (Renold, 2018), fabricante de todo tipo

de cadenas de transmisión de potencia con aplicación a cintas transportadora. Este catálogo permite identificar y calcular la fuerza tangencial necesaria y por lo tanto la potencia requerida para el mismo.

Este catálogo contiene las diferentes configuraciones posibles para transportar bandejas, la cual la de este proyecto es el caso D, observado en la siguiente figura:

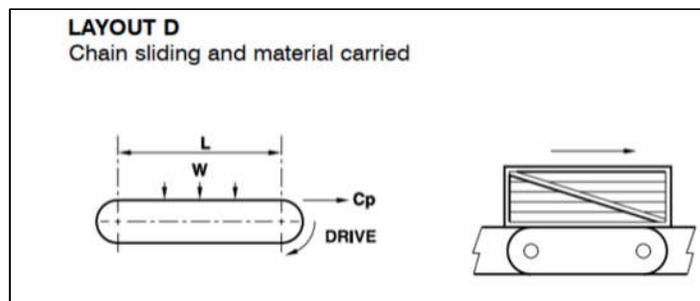


Figura 2.10 Configuración del sistema de la cinta transportadora. (Renold, 2018)

Donde el catálogo otorga las siguientes ecuaciones:

$$Cp = 9.81 * \mu_c * [(2.05 * W_c * L) + W] \quad (2.2)$$

$$K = \frac{Cp * V}{1000} \quad (2.3)$$

Donde Cp es la fuerza tangencial que debe soportar la cadena cardánica en Newton y K es la potencia requerida en kW.

Esta fuerza tangencial producirá un torque en el eje. Sin embargo, también se produce una fuerza radial (tangencial en la rueda dentada) en el eje debido al sistema de cadenas y

catalinas la cual se calculará usando el catálogo NTN (NTN Americas, 2018) la cual se calcula usando la siguiente fórmula:

$$K_t = \frac{19.1 \times 10^6 * H}{D_p * n} \quad (2.4)$$

Donde

K_t : Carga tangencial de la rueda dentada o polea en N

H : Potencia transmitida, kW

D_p : Diámetro de paso de la rueda dentada o polea en mm

n : Velocidad de rotación en rpm

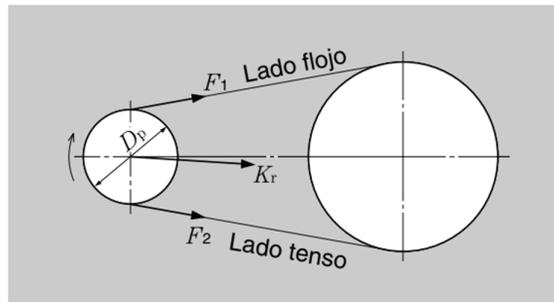


Figura 2.11 Cargas en cadenas y correas. (NTN Americas, 2018)

Teniendo en cuenta lo anteriormente dicho, para transmitir esta potencia al eje se lo diseñó para pueda resistir este esfuerzo variable, para lo cual se hizo un diseño a fatiga, por medio de una ecuación de diseño (NORTON, 2011) la cual se utilizó para obtener el diámetro del eje para cualquier permutación de cargas a torsión o a flexión, suponiendo carga axial nula:

$$d = \left\{ \frac{32N_f}{\pi} \left[\frac{\sqrt{(k_f M_a)^2 + \frac{3}{4} (k_{fs} T_a)^2}}{S_f} + \frac{\sqrt{(k_{fm} M_m)^2 + \frac{3}{4} (k_{fsm} T_m)^2}}{S_{ut}} \right] \right\}^{1/3} \quad (2.5)$$

Donde k_f, k_{fs} son los factores de concentrador de esfuerzos a fatiga

N_f es el factor de seguridad a fatiga

M_a y T_a es el momento y torsor alternante respectivamente

M_m y T_m es el momento y torsor medio respectivamente

S_{ut} es la resistencia última a la tensión

S_f es la resistencia a la fatiga calculado con:

$$S_f = C_{carga} * C_{confiabilidad} * C_{temperatura} * C_{tamaño} * C_{superficie} * (S_{ut}) \quad (2.6)$$

Estos factores de corrección C se calculan de acuerdo con las condiciones del diseño (NORTON, 2011)

Selección de rodamientos

Usando el catálogo NTN, se debe seleccionar los rodamientos apropiados para el eje, como solo se presentan cargas radiales tenemos la siguiente expresión:

$$Cr = \left[\frac{60 * n * L_{10}}{10^6} \right]^{1/p} P_r \quad (2.7)$$

Donde Cr es la capacidad básica de carga dinámica, N

n velocidad de rotación en rpm

L_{10} es la vida nominal básica en 10^6 revoluciones

P_r es la carga dinámica equivalente, N

p es un factor; cuando es rodamiento de bolas es 3 y rodamiento de rodillos 10/3

Al ser un conjunto de dos rodamientos, se debe usar los factores de corrección para la de vida nominal L_{10} usando la siguiente expresión:

$$L_{na} = a_1 a_2 a_3 L_{10} \quad (2.8)$$

L_{na} vida ajustada en millones de revoluciones

a_1 Factor de confiabilidad

a_2 Factor de características del rodamiento

a_3 Factor de condiciones de operación

Entonces calculando C_r y con el diámetro del eje calculado se selecciona un rodamiento que cumpla con las condiciones.

Selección de cadenas, catalinas y motorreductor

Según los requerimientos se desea que la velocidad del transportador sea relativamente baja debido a la aplicación de las bandejas de banano, por lo tanto, al motor se le debe reducir la velocidad con un motorreductor.

Sin embargo, se necesita al menos dos reducciones de velocidad debido a las RPM de los motores nominales, por lo que se usará un sistema de cadena y catalina, usando la relación que existe entre los números de dientes entre las catalinas y la velocidad de rotación.

Entonces según lo que se acaba de describir, el diagrama de cuerpo libre para el eje se modela como lo describe la figura 2.12

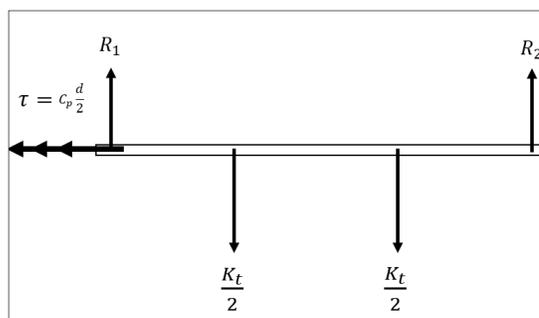


Figura 2.12 Diagrama de cuerpo libre del eje principal.

(Elaboración propia)

2.3.2 Sistema de presión hidráulica y aspersión

Consideremos ahora el sistema de presión hidráulica y el conjunto de aspersión, para los cuales la selección de componentes se realizó siguiendo el proceso descrito en la Figura 2.13.

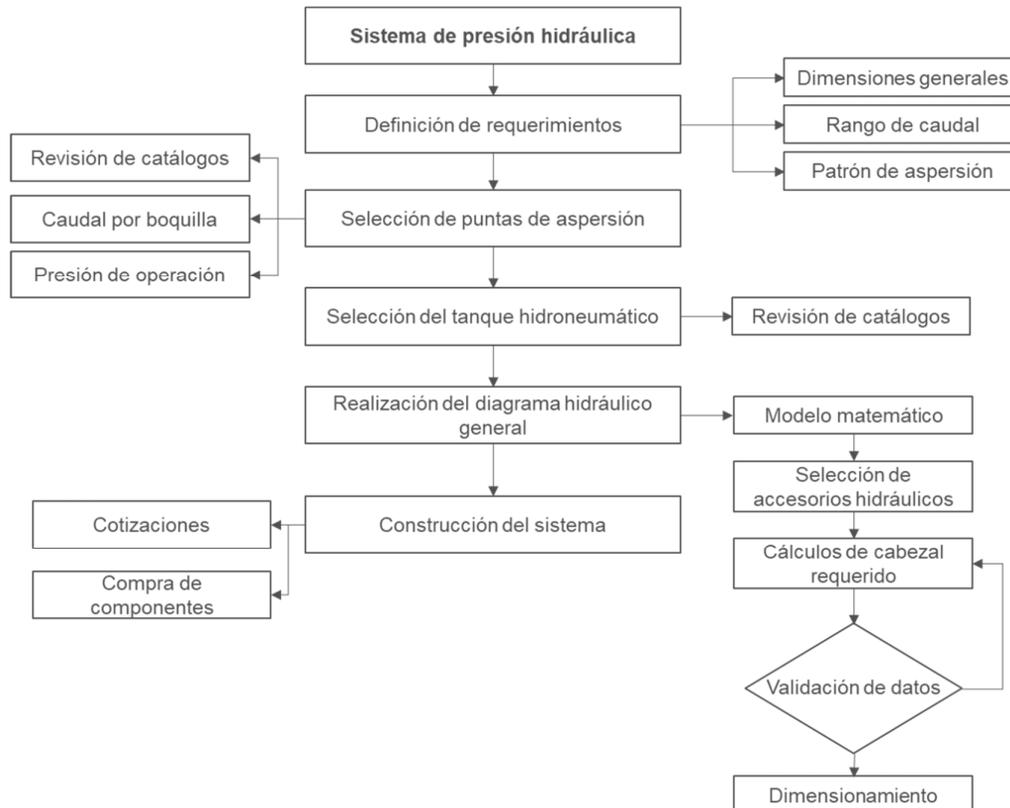


Figura 2.13 Esquema del proceso de diseño y construcción del sistema hidráulico. (Elaboración propia)

2.3.2.1 Estructura de soporte

Para esta estructura se hizo un diseño de forma de acuerdo a las dimensiones de los componentes del sistema hidráulico tales como la altura del tanque hidroneumático, ancho de la cisterna y dimensiones generales de la tubería. Como no hay fuerzas o esfuerzos considerables, simplemente se usó tubo cuadrado de 1" de acero estructural.



Figura 2.14 Diseño de forma para los soportes del sistema hidráulico. (Elaboración propia)

2.3.2.2 Sistema hidroneumático

Este sistema se encarga de suministrar la presión hidráulica necesaria para que los aspersores trabajen en el punto de operación deseado. Se logra mediante una bomba centrífuga de rodete y un tanque hidroneumático de membrana (Spraying Systems Co., 2018). Cuando se enciende el sistema bomba-tanque, la bomba comienza a llenar el tanque hidroneumático, similar al llenado de un globo. Luego de alcanzar la presión de operación calibrada en el presostato, la bomba se apagará hasta alcanzar la presión mínima calibrada.

2.3.2.3 Conjunto de aspersión

Se debe seleccionar el conjunto de aspersión apropiado para el sistema hidráulico de tal manera que cumpla los requerimientos de caudal.

Puntas de aspersión tipo TG – cono lleno

Las puntas de aspersión tipo TG son utilizadas para aspersión fina a presiones medias y caudal bajo (Spraying Systems Co., 2018). Además, son fabricadas en acero inoxidable junto con sus accesorios. Las ventajas de este tipo de puntas de aspersión se resumen en el fácil montaje y desmontaje de la punta utilizando un mismo cuerpo de boquilla, el patrón de aspersión de cono lleno a bajo caudal y que además aún se puede mantener un sistema de microaspersión sin utilizar aire.

El conjunto de aspersión fina contiene los siguientes elementos:

- Cuerpo TeeJet en acero inox. ¼ TT.
- Filtro TeeJet en polipropileno.
- Tuerca TeeJet en acero inox.
- Abrazadera en acero inox. a tubería de ½”.
- Conector orientable en acero inox.

Los caudales y presiones de trabajo están expresados en litros por minuto (lpm) y bares (bar).

Tabla 2.2 Detalle técnico de las puntas tipo TG

TG		*A la presión indicada en bar.														
Conexión Entrada Cuerpo (pulg.)	Tamaño	Diam. Nominal Orificio (mm)	Diam. Máximo Paso Libre (mm)	Capacidad (litros por minuto)*										Ángulo de Aspersión (°)*		
				0.4	0.5	0.7	1.5	2	3	4	6	7	10	0.5	1.5	6
1/4	.3	.51	.41	–	–	–	.16	.19	.22	.25	.31	.33	.39	–	50	61
	.4	.56	.46	–	–	–	.22	.25	.30	.34	.41	.44	.52	–	56	63
	.5	.61	.51	–	–	–	.27	.31	.37	.42	.51	.55	.65	–	56	63
	.6	.69	.51	–	–	–	.32	.37	.45	.51	.61	.66	.78	–	54	62
	.7	.76	.51	–	–	–	.38	.43	.52	.59	.72	.77	.91	–	54	63
	1	.94	.64	–	–	–	.54	.62	.74	.85	1.0	1.1	1.3	–	58	53
	2	1.19	1.0	–	–	.76	1.1	1.2	1.5	1.7	2.0	2.2	2.6	–	50	46
	3	1.57	1.0	–	–	1.1	1.6	1.9	2.2	2.5	3.1	3.3	3.9	–	65	59
	3.5	1.70	1.3	–	–	1.3	1.9	2.2	2.6	3.0	3.6	3.8	4.5	–	50	46
	5	2.08	1.3	–	–	1.9	2.7	3.1	3.7	4.2	5.1	5.5	6.5	–	65	59
	6.5	2.38	1.6	1.9	2.1	2.5	3.5	4.0	4.8	5.5	6.7	7.1	8.4	45	50	46
	10	3.18	1.6	2.9	3.3	3.8	5.4	6.2	7.4	8.5	10.2	11.0	13.0	58	67	61

Tabla 2.3 Detalle técnico de puntas de aspersión de línea (flat spray)

PERFORMANCE DATA: STANDARD ANGLE SPRAY																		
Spray Angle at 40 psi	UniJet Tip Type		Capacity Size	Equiv. Orifice Dia. (in.)	Flow Rate Capacity (gallons per minute)										Spray Angle (°)			
	13802	TPU			5 psi	10 psi	20 psi	40 psi	80 psi	100 psi	200 psi	300 psi	500 psi	20 psi	40 psi	80 psi	200 psi	
73°	•	•	0023	.012	–	–	.016	.023	.032	.036	.051	.063	.081	50	73	89	97	
	•	•	0039	.016	–	.020	.028	.039	.055	.062	.087	.11	.14	53	73	87	93	
	•	•	0077	.023	–	.039	.055	.077	.11	.12	.17	.21	.27	53	73	86	92	
	•	•	0116	.028	.041	.058	.082	.12	.16	.18	.26	.32	.41	54	73	85	90	
	•	•	0154	.032	.054	.077	.11	.15	.22	.24	.34	.42	.54	55	73	84	88	
	•	•	0231	.038	.082	.12	.16	.23	.33	.37	.52	.63	.82	56	73	83	87	
	•	•	0308	.044	.11	.15	.22	.31	.44	.49	.69	.84	1.1	58	73	82	86	
	•	•	0385	.049	.14	.19	.27	.39	.54	.61	.86	1.1	1.4	59	73	81	85	
	•	•	0462	.054	.16	.23	.33	.46	.65	.73	1.0	1.3	1.6	60	73	80	84	
	•	•	0616	.062	.22	.31	.44	.62	.87	.97	1.4	1.7	2.2	63	73	79	83	
	•	•	0770	.069	.27	.39	.54	.77	1.1	1.2	1.7	2.1	2.7	64	73	77	82	
	•	•	0924	.076	.33	.46	.65	.92	1.3	1.5	2.1	2.5	3.3	65	73	77	80	

Selección de la bomba

Usando la ecuación de Bernoulli entre los puntos “t” (tanque cisterna) y “a” (tanque hidroneumático) tenemos:

$$\frac{p_T}{\gamma} + \frac{V_T^2}{2g} + z_T + h_B = \frac{p_a}{\gamma} + \frac{V_a^2}{2g} + z_a + h_T + h_m + h_L \quad (2.9)$$

Haciendo cero la velocidad en t debido al estancamiento en el tanque, Z_t debido a que nuestro sistema de referencia es en el tanque y como no hay ni turbina ni bomba se hacen cero obteniendo:

$$\frac{p_T}{\gamma} = \frac{p_a}{\gamma} + \frac{V_a^2}{2g} + z_a + h_m + h_L \quad (2.10)$$

Aplicando perdidas menores por accesorios y le ecuación de Darcy para perdidas, se obtuvo:

$$\frac{p_T}{\gamma} = \frac{p_a}{\gamma} + z_a + \frac{V_a^2}{2g} \left(\frac{fL}{D} + 1 + 3K_c + K_T + K_{in} + K_{out} + K_{VG} \right) \quad (2.11)$$

K_c : Factor de pérdida de codo de 90° roscados

K_T : Factor de pérdida de unión Tee roscada

K_{in} : Factor de pérdida de entrada del fluido

K_{out} : Factor de pérdida de salida del fluido

K_{VG} : Factor de pérdida de válvula de bola roscada completamente abierta

V_a : Velocidad en entrada del tanque hidroneumático

z_a : Altura de boquillas

p_T : Presión del tanque hidroneumático

p_a : Presión en entrada de conjunto de aspersores

$$V_a = \frac{Q_a}{A} \quad (2.12)$$

V_a : Velocidad en entrada del tanque hidroneumático

Q_a : Caudal total del conjunto de aspersores

A : Área transversal de la tubería

$$A = \frac{\pi d^2}{4} \quad (2.13)$$

d : Diámetro de la tubería

Con estas ecuaciones se obtuvo la presión del tanque hidroneumático P_t .

Potencia hidráulica CISTERNA – TANQUE HIDRO

Las siguientes ecuaciones utilizan el valor anteriormente hallado P_t para obtener el cabezal de la bomba y la potencia hidráulica requerida.

$$\frac{p_c}{\gamma} + \frac{V_c^2}{2g} + z_c + h_B = \frac{p_T}{\gamma} + \frac{V_T^2}{2g} + z_T + h_T + h_m + h_L \quad (2.14)$$

$$h_B = \frac{p_T}{\gamma} + \frac{V_T^2}{2g} - z_c + h_m + h_L \quad (2.15)$$

$$h_B = \frac{p_T}{\gamma} - z_c + \frac{V_T^2}{2g} \left(\frac{fL}{D} + 1 + 2K_c + 2K_T + K_{in} + K_{out} + K_{VG} + K_{sc} \right) \quad (2.16)$$

$$P_h = \rho g Q h_b \quad (2.17)$$

Selección del tanque hidroneumático

Se usó el catálogo del fabricante 'Flowmatics' (Flowmatics, 2018) para la selección de este tanque siguiendo los siguientes pasos:

1. Se debe calcular el caudal promedio del sistema hidráulico (**A**) en l/min.
2. Se debe conocer la presión máxima y mínima deseada del tanque hidroneumático.
3. Se debe conocer el tiempo mínimo de encendido de la bomba (**T**) en min.
4. Se multiplica: **T x A**, obteniendo un valor (**V**) en litros.
5. Usando los valores de presión máxima (izquierda de la tabla) y mínima (superior de la tabla) en la Tabla 2.5 del fabricante, se obtiene una constante (**c**)
6. Con el valor calculado en el paso anterior, se divide el valor: **V/c**, obteniendo un valor en litros.
7. Entonces finalmente se selecciona un tanque hidroneumático con capacidad de litros del paso anterior.

Tabla 2.4 Dimensionamiento y selección del tanque hidroneumático

MAXIMUM SYSTEM PRESSURE (CUT-OUT) PSIG/(kPa)/bar	MINIMUM SYSTEM PRESSURE (CUT-IN) PSIG/(kPa)/bar																			
	20 (138)	25 (173)	30 (207)	35 (242)	40 (276)	45 (311)	50 (345)	55 (380)	60 (414)	65 (449)	70 (483)	75 (518)	80 (552)	85 (587)	90 (621)	95 (656)	100 (690)	105 (725)	110 (759)	
30/(207)/2.06	.21																			
35/(242)/2.41	.28	.19																		
40/(276)/2.76	.34	.26	.17																	
45/(311)/3.10	.39	.32	.24	.16																
50/(345)/3.45	.44	.37	.30	.22	.15															
55/(380)/3.80	.47	.41	.34	.28	.21	.14														
60/(414)/4.16	.50	.44	.38	.32	.26	.19	.13													
65/(449)/4.48	.53	.48	.42	.36	.30	.24	.18	.12												
70/(483)/4.83	.56	.50	.45	.40	.34	.29	.23	.17	.11											
75/(518)/5.17		.53	.48	.43	.38	.32	.27	.22	.16	.11										
80/(552)/5.51			.50	.46	.41	.36	.31	.26	.21	.15	.10									
85/(587)/5.86				.48	.43	.39	.34	.29	.24	.20	.15	.10								
90/(621)/6.20					.46	.42	.37	.32	.28	.23	.19	.14	.09							
95/(656)/6.55						.44	.40	.35	.31	.27	.22	.18	.13	.09						
100/(690)/6.89							.42	.38	.34	.30	.26	.21	.17	.13	.09					
105/(725)/7.24								.41	.37	.33	.29	.25	.20	.16	.13	.08				
110/(759)/7.58									.39	.35	.31	.27	.24	.20	.16	.12	.08			
115/(794)/7.92										.38	.34	.30	.26	.23	.19	.15	.11	.08		
120/(828)/8.27											.36	.33	.29	.25	.22	.18	.15	.11	.08	
125/(863)/8.62												.35	.32	.28	.25	.21	.18	.14	.11	.07

Expuesto lo anteriormente dicho, el sistema hidráulico de la cámara de fumigación tendrá la forma del siguiente esquema observado en la Figura 2.15.

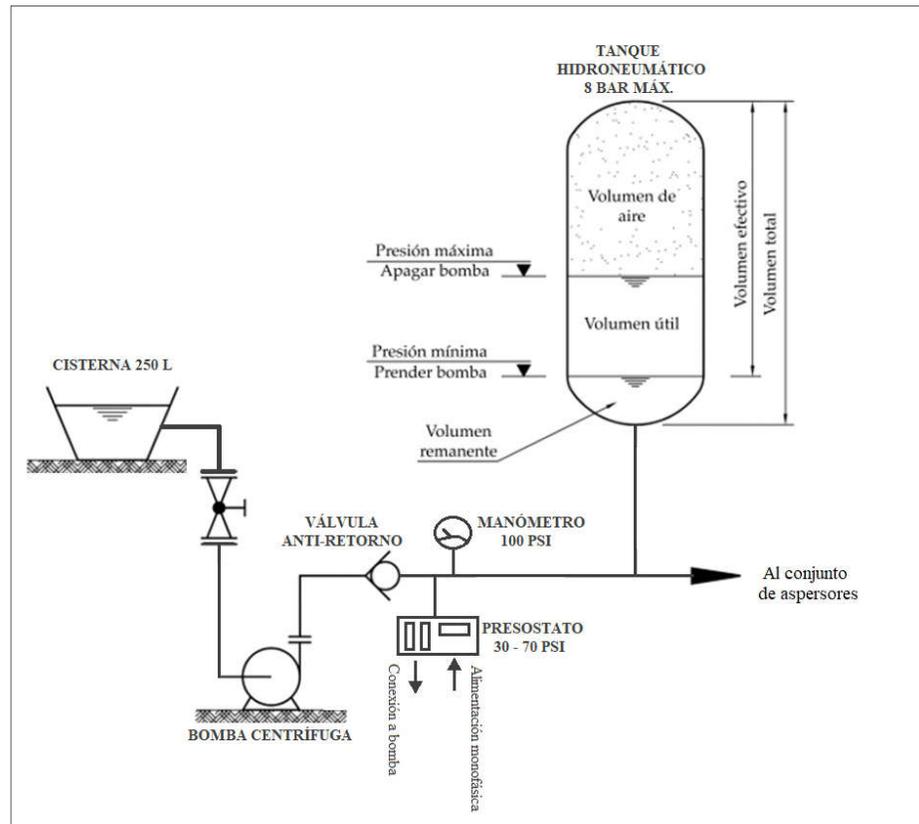


Figura 2.15. Diagrama del grupo de presión hidráulica y sus componentes.
(Elaboración propia)

2.3.3 Control eléctrico

Siguiendo con la metodología planteada, el proceso de diseño del control eléctrico de la máquina se ejecutó de manera sistemática definiendo los términos más relevantes para lograr la construcción del sistema cumpliendo los requerimientos principales, siguiendo la forma de la Figura 2.16.

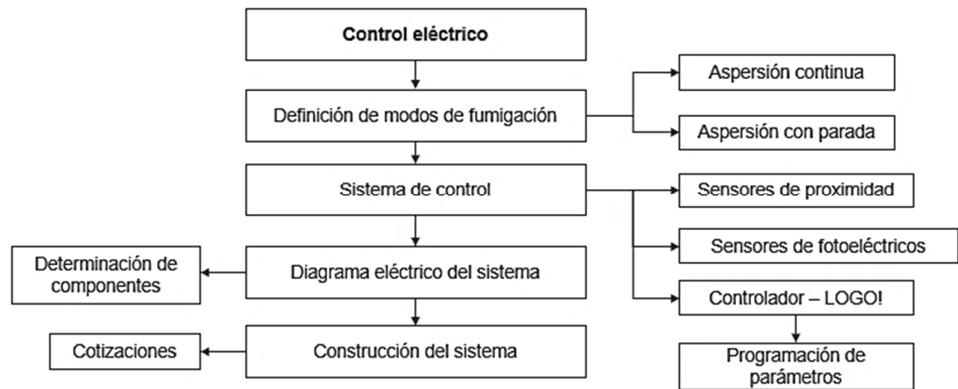


Figura 2.16 Proceso de diseño y construcción del sistema eléctrico. (Elaboración propia)

2.3.3.1 Modos de fumigación

Para la fumigación de las bandejas se diseñó dos condiciones diferentes de aspersión con el fin de tener más variedad en el proceso (siguiendo los requerimientos del cliente):

- **Condición 1:** Se trata de 6 puntas de aspersión de tipo cono lleno, cuyas capacidades están detalladas en la Tabla 2.2. En esta condición, el sistema trabaja de forma discontinua, es decir, que la bandeja que ingresa al sistema y se detiene de forma simultánea a la activación del conjunto de aspersores. Los tiempos de permanencia y aspersión son independientes entre sí, y se pueden regular en cualquier rango.

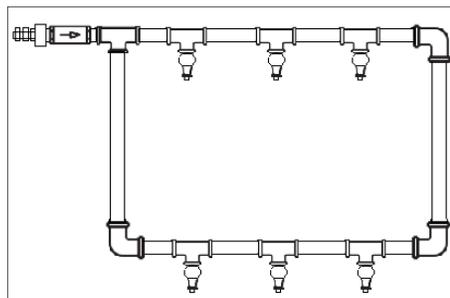


Figura 2.17 Sistema de aspersores de la condición 1. (Elaboración propia)

- **Condición 2:** Es un grupo de aspersores conformado por 2 aspersores de tipo Flat Spray cuyas capacidades se especifican en la Tabla 2.4. En esta condición, las bandejas no se detienen, sino que pasan a través de una cortina del producto fungicida. Un sensor fotoeléctrico activa los aspersores cuando la bandeja entra en la cámara, sin parar las bandejas, permitiendo la fumigación con la bandeja en movimiento.

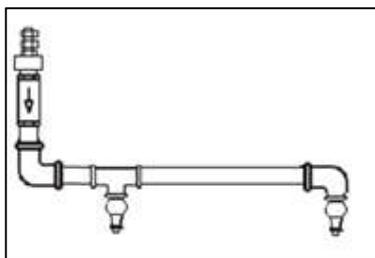


Figura 2.18 Sistema de aspersores de la condición 2. (Elaboración propia)

2.3.3.2 Sistemas de control

Selección de sensores

Se analizó una gama de sensores para detectar la presencia de la bandeja dentro de la cámara, para esto, se detallan dos opciones más comunes en este tipo de máquina (Spraying Systems Co., 2018).

Programación de las condiciones

Condición 1:

- Encendido del transportador eléctrico.
- Detección de la bandeja dentro de la cámara, simultáneamente con la parada del transportador durante un tiempo T1.
- Encendido del sistema de aspersores mediante una electroválvula, durante un tiempo T2.

- Accionamiento del transportador después de tiempo T1. (T1>T2 siempre)
- Detección de la bandeja al final del transportador, simultáneamente con la parada de este.

Condición 2:

- Encendido del transportador eléctrico.
- Detección de la bandeja dentro de la cámara, simultáneamente con el encendido del sistema de aspersores mediante una electroválvula.
- Apagado del sistema de aspersores cuando la bandeja sale de la cámara.
- Detección de la bandeja al final del transportador, simultáneamente con la parada de este.

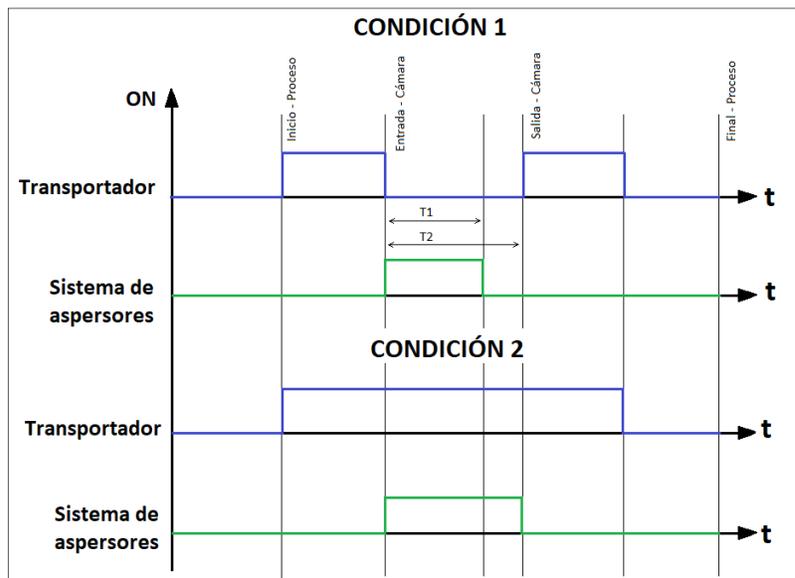


Figura 2.19: Diagrama de tiempo para el sistema de control. (Elaboración propia)

Utilizando el diagrama de tiempo, se procedió a realizar la programación en el software para el control automático del sistema de aspersión.

2.3.4 Estructura de la cámara

Llegados a este punto, la estructura de la cámara de fumigación se ha diseñado para cumplir los requerimientos de otorgar un área cerrada, además de la facilidad de regular la distancia o ubicación del conjunto de aspersores. El proceso de diseño se ha sistematizado en la Figura 2.20.

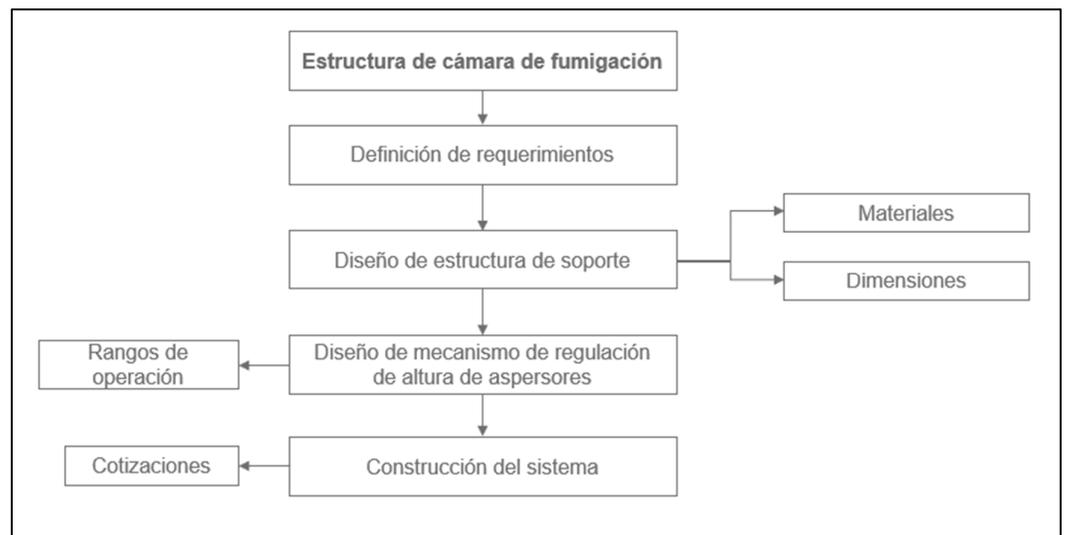


Figura 2.20 Esquema del diseño para la cámara de fumigación.
(Elaboración propia)

2.3.4.1 Estructura de soporte

Esta estructura será dimensionada de acuerdo con la disponibilidad en la empacadora actualmente en largo y ancho.

2.3.4.2 Mecanismo de regulación de altura

En el prototipo de cámara de fumigación se facilitó la posibilidad de regular la distancia de aspersión, es decir, la distancia que existe entre el extremo de la bandeja de banano y las puntas de aspersión; con la finalidad de determinar una distancia de

aplicación que permita una cobertura óptima de la bandeja de banano con la utilización del volumen mínimo de fungicida.

Esta función se realizó mediante un mecanismo de tijeras el cual se ajustó con el uso de pernos en sus rieles. El rango teórico de regulación de la distancia de aplicación será de 200 mm a 600 mm medidos desde la base de la bandeja de banano hasta la punta de los aspersores.

Finalmente, la regulación de la distancia de aplicación del fungicida influye en el diámetro de cobertura por boquilla.

Tabla 2.5 Tabla de cobertura de la aspersión en función del angulo y altura

THEORETICAL SPRAY COVERAGE AT VARIOUS DISTANCES IN INCHES (CM) FROM NOZZLE ORIFICE																		
Spray Angle	2 in.	5 cm	4 in.	10 cm	6 in.	15 cm	8 in.	20 cm	10 in.	25 cm	12 in.	30 cm	15 in.	40 cm	18 in.	50 cm	24 in.	60 cm
5°	.2	.4	.4	.9	.5	1.3	.7	1.8	.9	2.2	1.1	2.6	1.3	3.5	1.6	4.4	2.1	5.2
10°	.4	.9	.7	1.8	1.1	2.6	1.4	3.5	1.8	4.4	2.1	5.3	2.6	7.0	3.1	8.8	4.2	10.5
15°	.5	1.3	1.1	2.6	1.6	4.0	2.1	5.3	2.6	6.6	3.2	7.9	3.9	10.5	4.7	13.2	6.3	15.8
20°	.7	1.8	1.4	3.5	2.1	5.3	2.8	7.1	3.5	8.8	4.2	10.6	5.3	14.1	6.4	17.6	8.5	21.2
25°	.9	2.2	1.8	4.4	2.7	6.7	3.5	8.9	4.4	11.1	5.3	13.3	6.6	17.7	8.0	22.2	10.6	26.6
30°	1.1	2.7	2.1	5.4	3.2	8.0	4.3	10.7	5.4	13.4	6.4	16.1	8.1	21.4	9.7	26.8	12.8	32.2
35°	1.3	3.2	2.5	6.3	3.8	9.5	5.0	12.6	6.3	15.8	7.6	18.9	9.5	25.2	11.3	31.5	15.5	37.8
40°	1.5	3.6	2.9	7.3	4.4	10.9	5.8	14.6	7.3	18.2	8.7	21.8	10.9	29.1	13.1	36.4	17.5	43.7
45°	1.7	4.1	3.3	8.3	5.0	12.4	6.6	16.6	8.3	20.7	9.9	24.9	12.4	33.1	14.9	41.4	19.9	49.7
50°	1.9	4.7	3.7	9.3	5.6	14.0	7.5	18.7	9.3	23.3	11.2	28.0	14.0	37.3	16.8	46.6	22.4	56.0
55°	2.1	5.2	4.2	10.4	6.3	15.6	8.3	20.8	10.3	26.0	12.5	31.2	15.6	41.7	18.7	52.1	25.0	62.5
60°	2.3	5.8	4.6	11.6	6.9	17.3	9.2	23.1	11.5	28.9	13.8	34.6	17.3	46.2	20.6	57.7	27.7	69.3
65°	2.5	6.4	5.1	12.7	7.6	19.1	10.2	25.5	12.7	31.9	15.3	38.2	19.2	51.0	22.9	63.7	30.5	76.5
70°	2.8	7.0	5.6	14.0	8.4	21.0	11.2	28.0	14.0	35.0	16.8	42.0	21.0	56.0	25.2	70.0	33.6	84.0
75°	3.1	7.7	6.1	15.4	9.2	23.0	12.3	30.7	15.3	38.4	18.4	46.0	23.0	61.4	27.6	76.7	36.8	92.1

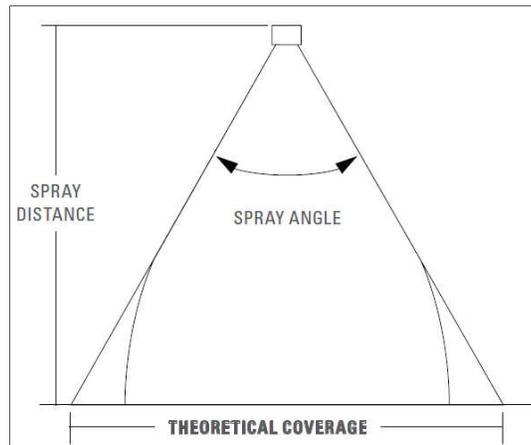


Figura 2.21 Esquema de la cobertura teórica en función de altura (Spraying Systems Co., 2018)

El mecanismo de regulación de altura permite ubicar los aspersores en un rango teórico de 200 mm a 600 mm. La distancia de aplicación afectará directamente el diámetro de cobertura.

La regulación de altura permite definir la distancia de aplicación experimental óptima para el proceso.

CAPÍTULO 3

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

3.1 Resultados teóricos

3.1.1 Transportador eléctrico

3.1.1.1 Selección de cadena cardánica

Mediante la ecuación 2.2 se determinó la fuerza axial requerida para mover la cadena cardánica y la carga a transportar por el sistema. Los datos y cálculos relevantes se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 3.1 Cálculo de la fuerza tangencial requerida por el transportador eléctrico

CÁLCULOS DE FUERZA Y POTENCIA EN TRANSPORTADOR	
Peso unitario de la cadena W_c (kg/m)	1.5
Coefficiente de fricción bandeja cadena μ_c	0.6
Longitud efectiva de la cadena L (m)	6
Peso de las bandejas W (kg)	75
Fuerza tangencial en el eje C_p (N)	550
Velocidad de la cadena V (mm/s)	0.6
Potencia en el eje K (kW)	0.33
Potencia en el eje K (hp)	0.44

Se obtuvo una fuerza de 550 N, para lo cual se utilizará una cadena cardánica UNI 1701 de material POM-D (31D1701W), detallada en el Anexo 2.

El cálculo del diámetro ASME resultó dar valores de mm excesivamente pequeños debido a que las cargas son muy pequeñas (solo debe soportar cajas de 75 kg y jalar la cadena de 4.5 kg), por lo cual el diámetro del eje será en función del sproket seleccionado para jalar la cadena. De manera similar ocurre con los rodamientos, los cuales serán seleccionados simplemente en función del diámetro del eje y no de las cargas.

3.1.1.2 Dimensionamiento del sistema de transmisión de potencia

Por requerimientos otorgados por el cliente se requiere que la velocidad lineal de la cinta transportadora sea de 120 a 330 mm/s, por lo cual se necesita un variador de frecuencia que trabaje de 40 a 80 Hz, debido a que la relación entre la velocidad de avance y la frecuencia es lineal (Siemens Energy & Automation, 2001).

Como el motor seleccionado tiene 1750 rpm nominales hay que hacer una reducción, por lo que se usó un sistema de cadena y catalina con relación de transmisión de 3:1 y un reductor de 26.6:1, lo cual permite que finalmente le lleguen 22 rpm a la cadena cardánica como lo especifica la Tabla 3.2.

Tabla 3.2 Cálculo de velocidad en la cadena cardánica

RPM MOTOR NOMINAL	1750
Relacion de velocidad catalina piñon 1:3	3
Relacion de velocidad de motoreductor 1:26,6	27
RPM FINAL A LA CADENA CARDÁNICA	22

3.1.1.1 Selección de motor – reductor

Utilizando la ecuación 2.3 se calculó la potencia necesaria en el eje principal del transportador eléctrico, y se dimensionó el motor a utilizarse considerando la eficiencia del motor seleccionado, el efecto del variador de frecuencia (Véase la sección 3.1.3.3) sobre la potencia del motor, la eficiencia del sistema de transmisión por cadena y la caja reductora, mostrado en los resultados de los cálculos de la Tabla 3.2.

Tabla 3.3 Cálculo de potencia final del motor eléctrico usando las eficiencias

Eficiencias	Catalina	0.98
	Reductor	0.96
	Motor	0.77
	Variador	0.70
	Potencia final	0.9 hp

Por lo cual se seleccionó un motor trifásico marca WEG modelo W22-1E1 con potencia de 1 hp y 1750 rpm nominales y 60 Hz de frecuencia.

3.1.2 Sistema de presión hidráulica y aspersión

De acuerdo con lo factores de forma se diseñó el siguiente esquema del sistema hidráulico, adjuntado en la siguiente figura, conformando el tanque hidroneumático, bomba, cisterna, presostato y electroválvula.

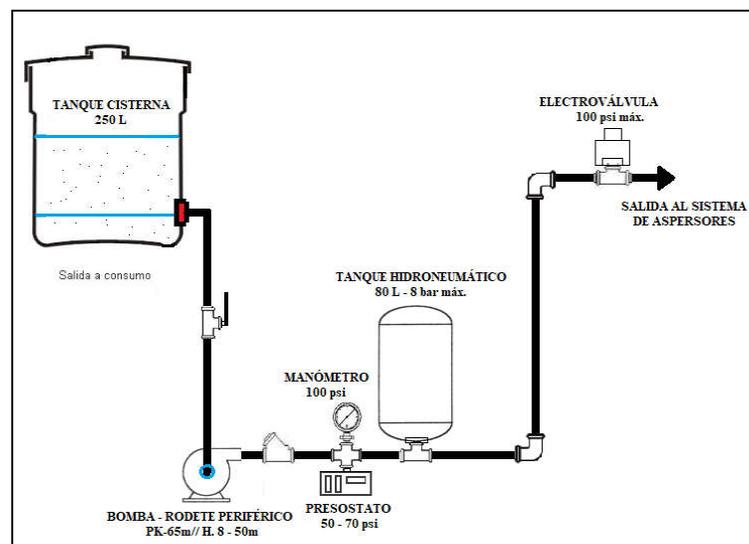


Figura 3.1 Esquema del sistema hidráulico. (Elaboración propia)

3.1.2.1 Selección de puntas de aspersión

Como el requerimiento era que la aspersión dispense de 20 a 100 ml, asumiendo un tiempo de aspersión de 2 segundos (debido a que el tiempo total del proceso debe durar 17s y la aspersión deben ser la mínima posible), obtenemos que tenemos un rango de caudal de 10 a 50 ml/s, por lo cual se eligió 4 diferentes puntas de aspersión que cumplieran con ese rango de caudal a distintas presiones de trabajo, por lo cual se eligió las siguientes puntas de aspersión, para las diferentes condiciones, las cuales se describen en la siguiente tabla.

Tabla 3.4 Puntas de aspersión seleccionadas

Condición 1	Condición 2
Punta Conespray en bronce TG - Cono lleno/ Tamaño 0.3 - conexión 1/4	Punta Flat Spray Unijet - Code: TPU 73 0116 BRASS
Punta Conespray en bronce TG - Cono lleno/ Tamaño 0.4 - conexión 1/4	Punta Flat Spray Unijet - Code:TPU 73 0154 BRASS
Punta Conespray en bronce TG - Cono lleno/ Tamaño 0.5 - conexión 1/4	Punta Flat Spray Unijet - Code:TPU 73 0231 BRASS
Punta Conespray en bronce TG - Cono lleno/ Tamaño 0.6 - conexión 1/4	Punta Flat Spray Unijet - Code:TPU 73 0308 BRASS

3.1.2.1 Selección de bomba hidráulica

Para la selección de la bomba se hizo un diseño de forma para el sistema hidráulico expuesto en el diagrama de la Figura 3.1, asumiendo un caudal de $0.5 \text{ m}^3/h$ y tuberías de media pulgada, además, se dividió el análisis en dos partes presentadas en las Figuras 3.2 y 3.3.

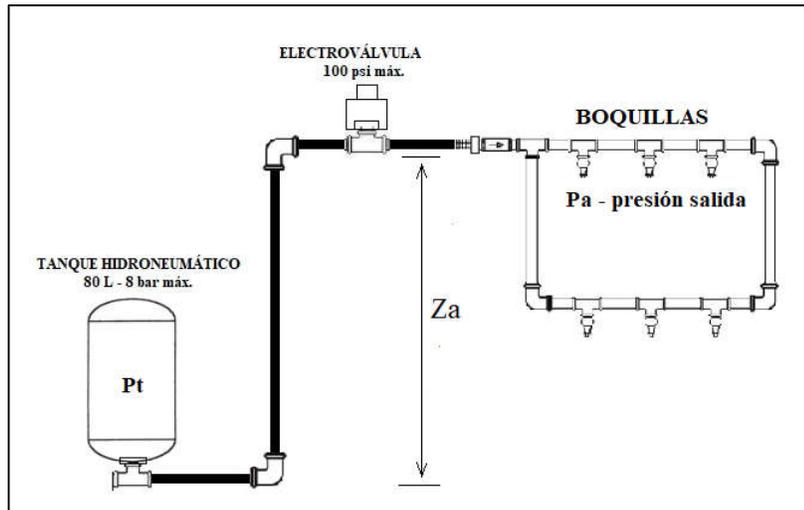


Figura 3.2 Parte 1 del análisis del sistema hidráulico: Tanque – Boquillas. (Elaboración propia)

Se calculó la presión P_t requerida por el tanque hidroneumático para abastecer a las boquillas a ser instaladas, en la Tabla 3.5.

Tabla 3.5 Cálculo de presión del tanque hidroneumático

CÁLCULO DE PRESIÓN EN TANQUE HIDRONEUMÁTICO					
SELECCIÓN DE BOQUILLAS					
Tipo	TG	-	Presión P_a	4,00E+05	[Pa]
Tamaño	0,6		Caudal Q_a / boquilla	0,51	[lpm]
			Cantidad	6	
DETALLES DEL CIRCUITO					
Longitud de tubería L	3	[m]	Diámetro D	0,0127	[m]
Altura de boquillas Z_a	1,8	[m]	Viscosidad cinemática ν	8,98E-07	[m ² /s]
Área A	0,000127	[m ²]	Reynolds Re	5,69E+03	-
Rugosidad e	0,002	[mm]	Factor fricción f	0,036409	-
Velocidad V_a total	0,402599	[m/s]	Densidad	1050	[kg/m ³]
FACTORES DE PÉRDIDA (1/2 in)					
Codo 90° roscado	2				
Unión T roscada	0,9				
Válvula de bola abierta roscada	14				
Entrada	0,5				
Salida	1				
RESULTADOS					
Presión del tanque P_t	421245,1	[Pa]			
	61,08	[psi]			

Posteriormente, se continuó el análisis en la parte dos, como se ve en la Figura 3.3.

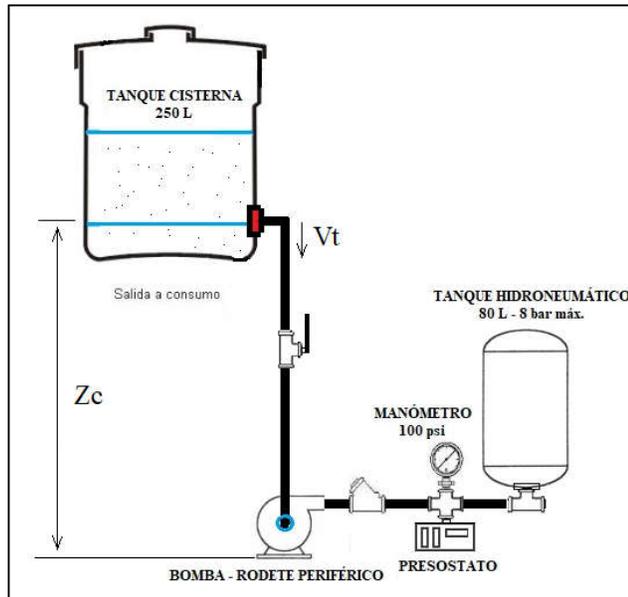


Figura 3.3 Parte 2 del análisis del sistema hidráulico: Cisterna – Tanque hidroneumático. (Elaboración propia)

En la Tabla 3.6 se muestra el resultado del cabezal y potencia hidráulicas necesarias.

Tabla 3.6 Cálculos de potencia y cabezal de bomba hidráulica

CÁLCULOS DE CABEZAL Y POTENCIA DE BOMBA				
Caudal Qb	0,5	[m ³ /h]	Presión de Tanque Pt	421245,095 [Pa]
Longitud de tubería L	2,5	[m]	Codo 90° roscado	2
Altura de cisterna Zc	1,8	[m]	Unión T roscada	0,9
Diámetro D	0,0127	[m]	Válvula de bola abierta roscada	14
Área	0,00012668	[m ²]	Entrada	0,5
Velocidad Vt	1,09640291	[m/s]	Salida	1
Densidad	1050	[kg/m ³]	Válvula Check	5,1
Viscosidad cinemática v	8,98E-07	[m ² /s]	Rugosidad e	0,002 [mm]
Reynolds	1,55E+04	-		
Factor fricción	0,13439962	-		
RESULTADOS				
Cabezal de bomba	42,4404395	[m]		
Potencia hidráulica	60,6544615	[W]	0,081306249	

En la Tabla 3.7 se resume el resultado del cabezal y potencia hidráulicas necesarias, como las curvas de la bomba se eligen por caudal y cabezal, usando el catálogo de bombas pedrollo especificado en el Apéndice 3, se eligió una bomba PKm65, con potencia de 1 hp que cuenta con el cabezal, caudal y potencia mínima requerida.

Tabla 3.7 Resultados para la selección de la bomba

Descripción	Resultado	
Cabezal de bomba	42.44	[m]
Potencia hidráulica	60.65	[W]
	0.08	[Hp]

3.1.2.2 Selección del tanque hidroneumático

Usando el procedimiento especificado en la sección 2.3.2.3, tenemos que:

1. El caudal promedio A según el Apéndice 3 es 27 l/min.
2. Las presiones de trabajo son de 2 a 4 bares (29 a 58 psi)
3. El tiempo mínimo T de encendido para la bomba es 1 minuto aproximadamente
4. El volumen de aspersion V es $A \times T = 27$ litros.
5. Se divide por el factor de reducción de la Tabla 2.5, por medio de las presiones mínimas y máximas

$$\frac{27}{0.38} = 71.05 \text{ litros}$$

Entonces se necesita un tanque de 72 litros, para ello se compró un tanque hidroneumático de 80 litros de marca Pearl.

3.1.3.3 Selección del variador de frecuencia

Se seleccionó un variador de frecuencia comercial de marca INVT de 1 hp, el cual puede variar de 0 a 80 Hz la frecuencia del motor, cumpliendo con lo especificado. Sin embargo, el variador de frecuencia produce un efecto en la potencia del motor dependiendo de la frecuencia nominal y la frecuencia de operación del variador. Esto fue considerado para la selección del motor

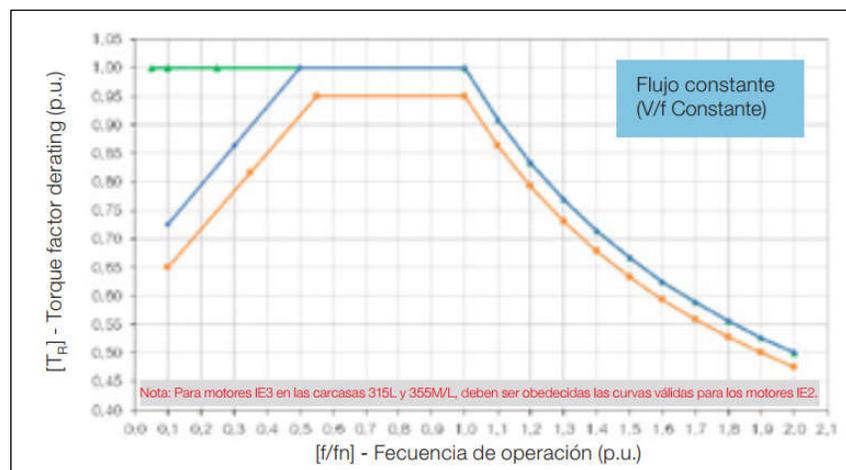


Figura 3.5 Efecto del variador de frecuencia sobre la potencia del motor eléctrico. (WEG, 2018)

- ✓ En el Apéndice 4 se detalla el esquema del sistema eléctrico de la cámara de fumigación.

3.1.3.4 Pruebas de funcionamiento

3.1.3.4.1 Pruebas de velocidad en el transportador eléctrico

Se procedió a medir la velocidad lineal de la bandeja a distintas frecuencias de trabajo del motor eléctrico, midiendo el tiempo t en que se demora en recorrer una

distancia d , a una frecuencia f , cuyos resultados se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 3.8 Medición de Velocidad vs frecuencia

Frecuencia (Hz)	t(s)	d(mm)	V(mm/s)
30	13.63	1700	124.45
	13.69		
40	10.32	1700	164.89
	10.30		
60	6.72	1700	251.48
	6.80		
80	5.16	1700	329.46
	5.17		

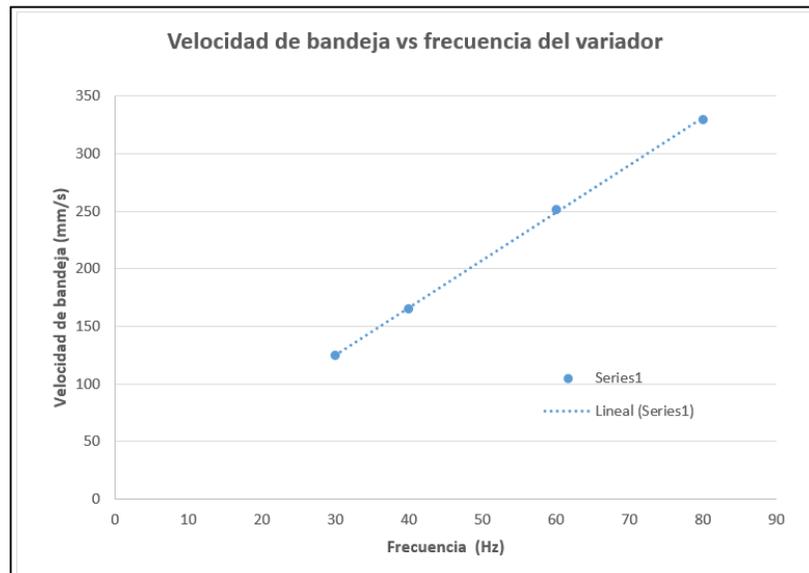


Figura 3.6 Velocidad de bandeja vs frecuencia del variador (Elaboración propia)

3.1.3.4.2 Pruebas de caudal en puntas de aspersión

Se verificó el caudal en las puntas de aspersión de la máquina, comparándolos con la tabla del fabricante (Véase

Tabla 2.2 y 2.3), cuyos resultados se muestran a continuación:

Tabla 3.9 Mediciones de caudal para aspersor tipo TG

Tipo	Tamaño	V(ml)	t(s)	Presión (psi)	Q_{real} (lpm)	$Q_{teórico}$ (lpm)	error
TG	0.30	48	11	60	0.26	0.25	4%
	0.30	50	11	60	0.27	0.25	8%
	0.30	43	10	60	0.25	0.25	0%
	0.30	40	9	60	0.26	0.25	4%
	0.30	40	10	60	0.24	0.25	4%
	0.30	46	12	60	0.23	0.25	8%

Tabla 3.10 Mediciones de caudal para aspersores tipo FLAT

Tipo	Tamaño	V(ml)	t(s)	Presión (psi)	Q_{real} (gpm)	$Q_{teórico}$ (gpm)	error
TPU	0308	100	5	40	0.3	0.31	3.2%
	0308	150	7	40	0.32	0.31	3.2%

A continuación, se presenta una tabla con los parámetros seteados y medidos en una prueba para cada modo de fumigación

Tabla 3.11 Parámetros (caso específico) de operación para condición 1

Parámetro	Valor
Presión(psi)	60
Altura (mm)	500
Boquilla	TG- 0.3
Velocidad (mm/s)	165 (40 Hz)
Tiempo de aspersión (s)	2
Tiempo de permanencia (s)	2
Volumen dispensado (ml)	18.5 / por bandeja

Tabla 3.12 Parámetros (caso específico) de operación para condición 2

Parámetro	Valor
Presión(psi)	60
Altura (mm)	500
Boquilla	TPU- 0116
Velocidad (mm/s)	330(80 Hz)
Volumen dispensado (ml)	62 / por bandeja

3.1.4 Estructura de la cámara

3.1.4.1 Mecanismo regulador de altura

Se diseñó las tijeras para el mecanismo regulador de altura expuesto en la Figura 3.6, las cuales relacionan la altura h a la que va a ser expuesta la aspersion para la bandeja de banano.

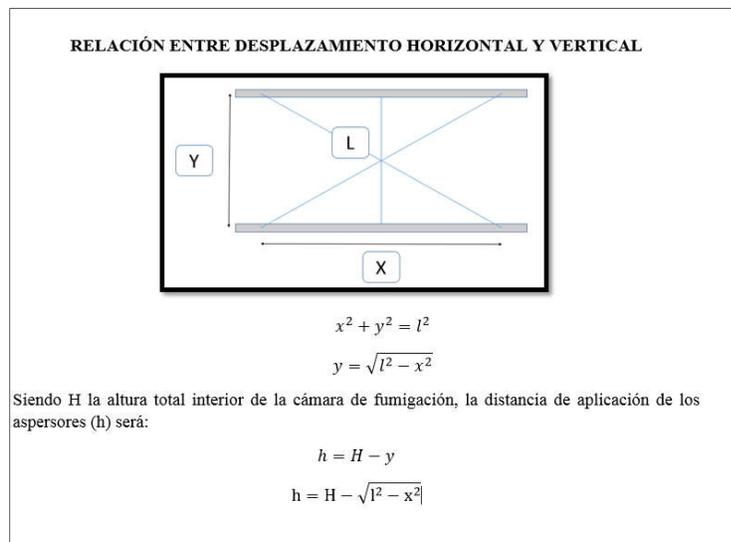


Figura 3.7 Tijeras reguladoras de altura. (Elaboración propia)

Tabla 3.13 Relación geométrica para la regulación de altura

RELACIÓN GEOMÉTRICA PARA GRADUAR ALTURA EN LAS TIJERAS				
Y (mm)	L (mm)	X (mm)	H (mm)	h (mm)
50	500	497	650	600
100		490		550
150		477		500
200		458		450
250		433		400
300		400		350
350		357		300
400		300		250
450		218		200

3.2 Planos generales de la fumigadora

Para los planos de fabricación, en la sección de Apéndice 5 se ilustran las dimensiones principales del transportador eléctrico. En el presente documento no se mostrará los planos detallados debido a requerimientos del cliente.

3.3 Análisis de costos

3.3.1 Inversión

Para la construcción del proyecto se gastó \$6193.51 sin mayor detalle en la Tabla 3.9 debido a la discreción del proyecto por requerimientos del cliente.

Tabla 3.14 Descripción del costo para la construcción de la fumigadora

N°	Descripción	Valor total
1	Fabricación de cámara de fumigación, chasis: Tubo Cuadrado de 1"x1.5 mm 2 puertas laterales Tijera para calibración Cubierta de acrílico de 6 mm	\$850
3	Accesorios hidráulicos, tanque hidroneumático, cisterna, bomba, tuberías.	\$700
6	Fabricación de transportador eléctrico con banda cardánica según los planos y elementos seleccionados	\$3850
3	Conjunto de aspersion (boquillas, puntas de aspersion)	\$129.92
	Subtotal	\$5529.92
	IVA 12%	\$663.59
	Total	\$6193.51

A pesar de que la máquina tiene fines alimenticios, el cliente especificó que se debía economizar en la medida de lo posible, por lo tanto, se debe recalcar que se compró una bomba de hierro fundido y boquillas de aspersion de bronce, mientras que la estructura de la cámara de fumigación principal si se la mandó a fabricar de acero inoxidable.

3.3.2 Estimación de costos adicionales

Para un análisis posterior se asumen costo para mantener en operación la máquina, debido a que la misma consume electricidad, agua e implementos para su mantenimiento mensual

Tabla 3.15 Costos mensuales para el mantenimiento de la fumigadora

Costos por mantenimiento	
Luz	\$100
Agua	\$200
Implementos	\$50
Total	\$350

3.3.2.1 Análisis del PRI

El proyecto actual según la tipología de proyectos (Sapag Chain, 2011) es un proyecto de modernización, de tipo de remplazo, debido a que se plantea sustituir la operación de dos trabajadores en la planta por medio de la implementación de la cinta transportadora. Como por el momento no es posible medir las ganancias que podría generar la cinta transportadora en el flujo anual de la empresa debido a que eso depende de la efectividad biológica de la misma, se usó el criterio del periodo de recuperación de la inversión (PRI).

Este criterio consiste en medir aproximadamente en cuanto tiempo se demora recuperar la inversión del proyecto, incluyendo los costos y las rentabilidades involucradas.

De forma básica para nuestra rentabilidad se usará el sueldo de los operadores sustituidos, de esta manera, obtenemos en cuanto tiempo se recupera el costo de la máquina con el 'ahorro' de estos sueldos.

En este caso para implementar la máquina se debe considerar los aspectos reales para la instalar la misma, es decir consideraremos la adicción de la bomba y las boquillas con acero inoxidable, corrigiendo el cálculo en la tabla

Tabla 3.16 Costo corregido usando acero inoxidable

Descripción	Valor
Subtotal anterior	\$5528.92
Bomba de hierro fundido	-\$147.84
Conjunto de aspersión de bronce (boquillas, puntas de aspersión)	-\$129.92
Bomba de acero inoxidable	\$1271.59
Conjunto de aspersión de acero inoxidable (boquillas, puntas de aspersión)	\$288.32
Subtotal	\$6811.07
IVA %12	\$817.33
Total	\$7628.39

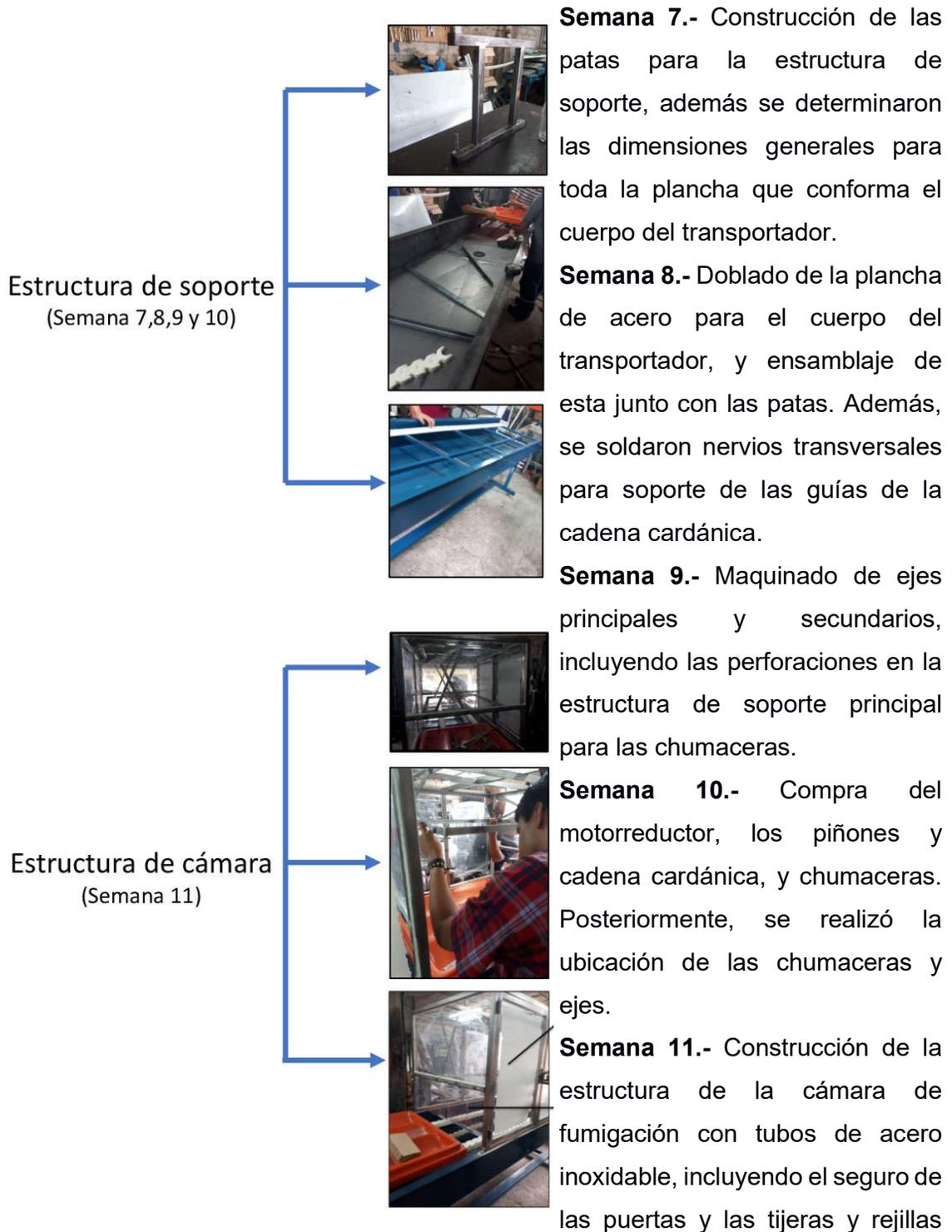
Para los equipos de fumigación según la ley orgánica tributaria del régimen interno, se deprecian 10% anualmente. (SRI, 2018). Usando toda la información dada se hace un análisis del PRI para observar en cuantos meses se recupera la inversión de implementar la máquina fumigadora.

Usando el sueldo de los dos trabajadores, se obtiene que en aproximadamente 17 meses se recupera la inversión de esta.

Tabla 3.17 Análisis del PRI

Meses	Saldo invertido	Ahorros por sueldos	Depreciación	Costos por mantenimiento	Flujo neto
1	\$ -7,628.39	\$ 788.00	\$ 63.57	\$ -350.00	\$ -7,126.82
2	\$ -7,126.82	\$ 788.00	\$ 63.57	\$ -350.00	\$ -6,625.25
3	\$ -6,625.25	\$ 788.00	\$ 63.57	\$ -350.00	\$ -6,123.68
4	\$ -6,123.68	\$ 788.00	\$ 63.57	\$ -350.00	\$ -5,622.11
5	\$ -5,622.11	\$ 788.00	\$ 63.57	\$ -350.00	\$ -5,120.54
6	\$ -5,120.54	\$ 788.00	\$ 63.57	\$ -350.00	\$ -4,618.97
7	\$ -4,618.97	\$ 788.00	\$ 63.57	\$ -350.00	\$ -4,117.40
8	\$ -4,117.40	\$ 788.00	\$ 63.57	\$ -350.00	\$ -3,615.83
9	\$ -3,615.83	\$ 788.00	\$ 63.57	\$ -350.00	\$ -3,114.26
10	\$ -3,114.26	\$ 788.00	\$ 63.57	\$ -350.00	\$ -2,612.69
11	\$ -2,612.69	\$ 788.00	\$ 63.57	\$ -350.00	\$ -2,111.12
12	\$ -2,111.12	\$ 788.00	\$ 63.57	\$ -350.00	\$ -1,609.55
13	\$ -1,609.55	\$ 788.00	\$ 63.57	\$ -350.00	\$ -1,107.98
14	\$ -1,107.98	\$ 788.00	\$ 63.57	\$ -350.00	\$ -606.41
15	\$ -606.41	\$ 788.00	\$ 63.57	\$ -350.00	\$ -104.84
16	\$ -104.84	\$ 788.00	\$ 63.57	\$ -350.00	\$ 396.73
17	\$ 396.73	\$ 788.00	\$ 63.57	\$ -350.00	\$ 898.30

3.4 Construcción y ensamble de la cámara de fumigación



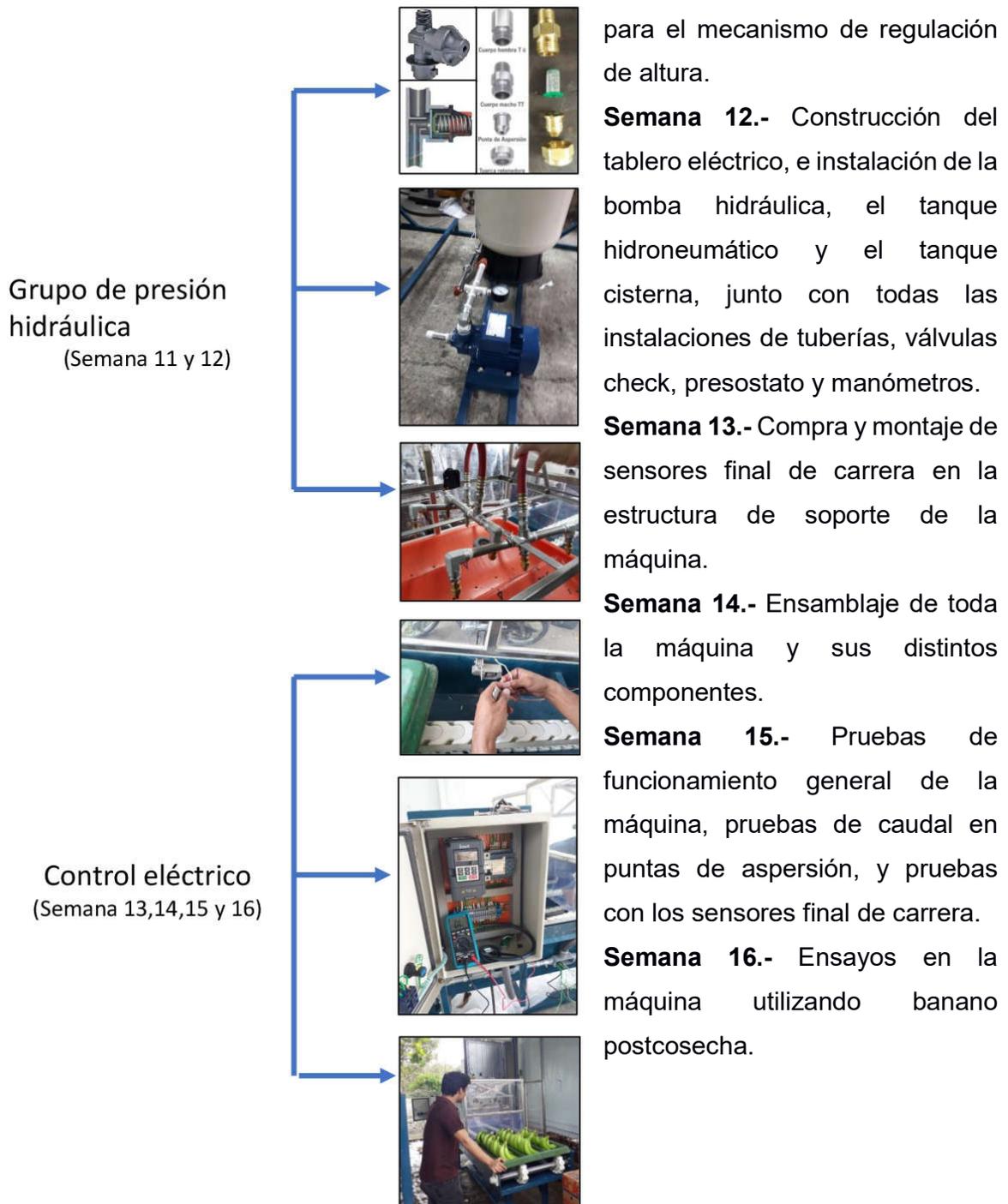


Figura 3.8 Esquema del proceso de construcción de la máquina

CAPÍTULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- Se realizó el diseño y construcción de un prototipo de cámara de fumigación de banano post cosecha, cuyos procesos de diseño y construcción estuvieron sujetos a cambios a medida que se desarrollaban. A pesar del ajuste de parámetros, se logró la funcionalidad deseada y, además, realizar las pruebas en el producto para validar el efecto biológico del producto fungicida aplicado desde la máquina.
- Lo relevante del proyecto radica en la determinación de parámetros de operación de la máquina, una vez realizada las pruebas respectivas con el producto fungicida, como lo son la presión hidráulica, la distancia de aplicación, la velocidad del proceso, volumen aplicado y la modalidad de fumigación (continua o discontinua), sin embargo, dado que es una máquina prototipo, se ha evitado el uso de materiales y sistemas más complejos para disminuir costos tanto de manufactura como de compra, restándole vida útil a la máquina manteniendo su funcionalidad. Esto se justifica, dado que la máquina en cuestión se pretende utilizar sólo para pruebas con los distintos parámetros mencionados, los cuales, una vez hallados, servirán para el diseño y la construcción de una máquina más adecuada a los requerimientos exigidos dentro de una empacadora.
- Para la selección de componentes mecánicos de la máquina fue necesario determinar los parámetros a los cuales estaban sometidos cada uno de ellos. En el caso de la selección de cadenas, rodamientos y tubería estructural para el soporte, las fuerzas aplicadas al sistema no representaban mayor carga para estos elementos, como se observa en la Tabla 3.1, por lo que se procedió a su selección únicamente por forma. De igual forma, para la selección de los engranes y diseño de ejes se

ajustaron las dimensiones para acoplar todo, dado que las fuerzas y torques inmiscuidos representaban efectos casi irrelevantes.

- Se realizaron pruebas con los dos sensores (fotoeléctrico y final de carrera), concluyendo que los sensores fotoeléctricos son más sensibles a cambios de iluminación en el medio donde se encuentran, los mismos que pueden resultar en descalibración del dispositivo. Además, estos dispositivos son más susceptibles a fallar debido a las condiciones agresivas del entorno, por esta razón no fueron los óptimos para esta aplicación debido a que el lugar donde se instaló la máquina presentaba condiciones hostiles en cuanto al polvo y la lluvia. Por otro lado, los sensores finales de carrera poseen un cuerpo hermético y su activación es mecánica en su totalidad, lo cual lo hace más apto para soportar las condiciones del entorno mencionado, dado que no necesita calibración y además es resistente al polvo y al agua.
- Cuando el diseño fue construido, se encontró varias situaciones que no se había considerado en el diseño principal, como por ejemplo un goteo residual. Este goteo se produce debido a que en el momento que la fumigadora dispensa automáticamente, esta se controla por medio de una electroválvula. Posterior a el tiempo de aspersión esta electroválvula se cierra cortando la alimentación de fungicida del sistema. Sin embargo, quedaba agua residual en las mangueras, vaciándose esta agua en la única salida presente, en las boquillas produciendo una aspersión adicional. Esta aspersión adicional resultaba un desperdicio para la cámara, lo cual se pudo controlar válvulas adicionales llamadas válvulas antigoteo, las cuales cierran las aspersiones de la boquilla por medio de una membrana que se estira a determinada presión.
- En cuanto a los costos de la máquina, se obtuvo que la inversión de esta puede recuperarse en aproximadamente 17 meses, lo cual resulta relativamente viable para la empresa que planea su implementación en alguna de sus empacadoras. Adicional a este documento se pudo entregar los planos detallados de fabricación y un plan de mantenimiento y operación de la máquina, lo cual resulta recomendable debido a que va

a tener que ser operada por personas ajenas a la universidad y a conocimientos técnicos.

- Por lo que se refiere a la validación y calibración biológica de esta máquina prototipo la empresa planea hacer pruebas variando los parámetros de funcionamiento de la máquina para hallar los valores óptimos de operación de esta. Por consiguiente, se planea instalar la máquina en una de las empacadoras para observar y evaluar su funcionamiento ya en el proceso completo de limpieza, fumigación y empacado de las cajas de banano.

4.2 Recomendaciones

- La selección del tanque hidroneumático se realizó siguiendo el catálogo del fabricante 'Flowmatics' (Flowmatics, 2018), teniendo como resultado la selección de un tanque de 80 L, sin embargo, una vez realizada las pruebas de funcionamiento en la máquina se observó que se puede reducir el volumen remanente en el sistema mediante la colocación de un tanque hidroneumático más pequeño, de tal forma que se asegure que el vaciado del tanque sea completo y no parcial. En adición, el uso de menos tramos de tubería a lo largo de todo el sistema hidráulico se podría considerar para reducir el volumen remanente en el sistema, dado que actualmente el sistema cuenta con una longitud de tubería total de aproximadamente 5 m.
- Considerando el sistema hidroneumático utilizado en bancos de prueba para aspersores (Spraying Systems Co., 2018), se puede también reducir la cantidad remanente en el tanque hidroneumático mediante el incremento de presión de aire dentro del mismo. Esto ocasionará que el fluido entrará al tanque en un intervalo de presión más pequeño, lo cual es sinónimo de reducción de fluido al tanque.
- Posterior a las pruebas de funcionamiento de la máquina, se observó la necesidad de un filtro para la sección de llenado de la cisterna, debido a que el agua del lugar donde se instaló la máquina posee bastante material particulado. Sin embargo, no puede existir un filtro dentro del sistema de presión de agua debido a que el producto fungicida (alumbre) podría

también ser filtrado, dejando desproporcionada la mezcla aplicada. Cabe destacar que, en la práctica, las puntas de aspersión se podrían tapar debido al material particulado del agua contaminada.

- La máquina construida se ha diseñado utilizando el tipo de bandeja actualizado con sus dimensiones específicas (Figura 2.7), por otro lado, existen aún un pequeño porcentaje de bandejas de años atrás cuyas dimensiones son mayores que las actuales, tanto en ancho como en largo y alto. Esto representaría una limitación al prototipo al no poder operar con cualquier tipo de bandeja, sin embargo, no es el caso, ya que la máquina puede transportar estas bandejas más grandes sin dificultad, aunque con una pequeña traba en la parte de fumigación. Cabe recalcar que la versatilidad de la máquina le permitiría no solamente realizar la fumigación para banano, sino también adecuarse a otros productos post cosecha, dada la regulación de distancia entre los aspersores y la bandeja, y además la regulación de presión y tipos de boquilla. Aunque, si será necesario cambiar ciertos aspectos de la máquina en tal caso.
- Finalmente, se recomienda agregar un sistema para lavar las tuberías de la máquina posterior a su uso, el cual se expresa en la Figura 4.1, donde se trate el producto fungicida y el agua de lavado en dos contenedores distintos, a fin de ahorrar tiempo en el lavado de la máquina.

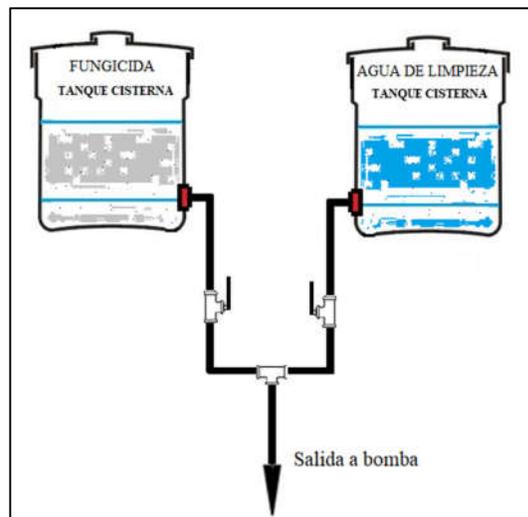


Figura 4.1 Diagrama del sistema de lavado para las tuberías

BIBLIOGRAFÍA

- Acorbanec. (11 de Septiembre de 2018). *Asociación de Comercialización y Exportación de Banano*. Obtenido de <http://www.acorbanec.com/>
- Agrocalidad, & MAGAP ECUADOR. (01 de 01 de 2017). Manual de Aplicabilidad de Buenas Prácticas Agrícolas de Banano. *MANUAL DE COSECHA POST COSECHA Y TRANSPORTE*. Quito.
- Anil , J., & Rajendra, S. (2009). Analytic Hierarchy Process (AHP), Weighted Scoring Method (WSM), and Hybrid. *Second International Conference on Emerging Trends in Engineering and Technology, ICETET-09*, (pág. 7). Mumbai.
- ASBAMA. (25 de 10 de 2018). *Asociación de Bananeros del Magdalena y la Guajira*. Obtenido de Asociación de Bananeros del Magdalena y la Guajira: <http://asbama.com/wp-content/uploads/2013/05/COSECHA-CORTE-Y-EMPAQUE-DEL-BANANO.pdf>
- Carrillo, M. J. (2017). Caracterización del manejo poscosecha y cuantificación de las pérdidas de banano Orgánico en los Rios. *Determinación del flujo de comercialización de banano orgánico*. Los Rios: Facultad de Ingeniería y Ciencias Agropecuarias.
- Confertil LTDA. (2018). *Termonebulizadora para aspersiones agricolas*. Confertil LTDA.
- Datacomex. (Junio de 2018). *Asociación de Exportadores de Banano del Ecuador*. Obtenido de AEBE: <http://www.aebe.com.ec/estadisticas/>
- Flowmatics. (2018). *Hydro-pneumatic Membrane Tanks*. Obtenido de <http://www.shah-pneumatics.com/Downloads/Installation,%20Operating%20&%20Maintenance%20Instruction%20Manuals/Flowmatics%20IOM/Zilmet%20Installation/INSTALLATION%20AND%20TANK%20SIZING%20-%20HYDROPNEUMATIC%20MEMBRANE%20TANKS.pdf>
- Igbedioh, S. (2010). Effects of Agricultural Pesticides on Humans,. *Archives of Environmental Health: An*, 8.
- Ingenieros Analpes LTDA. (2018). *Analpes*. Obtenido de <http://www.analpes.com/>
- International Organization for Standardization. (July de 1980). ISO 931:1980 . *Green bananas -- Guide to storage and transport*.
- International Organization for Standardization. (June de 1977). ISO 3959:1977. *Green bananas - Ripening conditions*.

- Marco Polo Alta tecnología en preservación. (2018). *Bóvedas climatizadas*. Ciudad de Puebla.
- Ministerio de Comercio Exterior. (diciembre de 2013). *Exportaciones*. Obtenido de Ministerio de Comercio Exterior e Inversiones: <https://www.comercioexterior.gob.ec/exportaciones-1/>
- Ministerio de Comercio Exterior. (2017). *INFORME SECTOR BANANERO ECUATORIANO*. Quito.
- NORTON, R. L. (2011). *DISEÑO DE MÁQUINAS Un enfoque integrado*. Pearson Educación.
- NTN Americas. (20 de 11 de 2018). *NTN Folletos y material informativo*. Obtenido de <http://www.ntnamericas.com/es/folletos-y-material-informativo/catalogos>
- Renold. (2018). *Conveyor Chain Designer guide*. Obtenido de Conveyor Chain Designer guide: https://www.renold.com/upload/renoldswitzerland/conveyor_chain_-_designer_guide.pdf
- Sapag Chain, N. (2011). *PROYECTOS DE INVERSIÓN Formulación y evaluación*. Chile.
- Siemens Energy & Automation. (2001). *NEMA Application Guide for AC Adjustable Speed Drive Systems* .
- Spraying Systems Co. (2018). *Spraying Systems Co*. Obtenido de https://www.spray.com.ec/automated_systems/camara_de_fumigacion.aspx
- SRI. (2018). *LEY ORGANICA DE REGIMEN TRIBUTARIO INTERNO* . Obtenido de <http://www.sri.gob.ec/BibliotecaPortlet/descargar/cbac1cfa-7546-4bf4-ad32-c5686b487ccc/20151228+LRTI.pdf>
- Thomas Pump. (2018). Obtenido de <https://www.thomaspump.com/>
- Vindas, R., Ortiz, F., Ramírez , V., & Cuenca, P. (2004). Genotoxicidad de tres plaguicidas utilizados en la actividad bananera de Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*.
- WEG. (2018). *Motor electrico trifásico*. Obtenido de Catálogo técnico.

APÉNDICES

APÉNDICE 1

Selección de la mejor alternativa usando el método de matriz de decisión

Se usó el método “Weighted Scoring Method” (Anil & Rajendra, 2009) el cual se deben especificar cada criterio de selección, clasificándolos por desempeño, seguridad, apariencia y el aparente costo para el proyecto, sin ningún orden en específico.

Criterios de Selección

- 1 **Desempeño**
- 1.1 Cobertura de la bandeja
- 1.2 Forma de detección de la bandeja
- 1.3 Mantenimiento sencillo
- 1.4 Parámetros de operación configurables
- 1.5 Modo de fumigación
- 1.6 Tiempo de fumigación
- 2 **Seguridad**
- 2.1 Autonomía del sistema
- 2.2 Aislamiento del sistema y el operador
- 3 **Apariencia**
- 3,1 Tamaño optimo
- 3,2 Visibilidad de la bandeja en operación
- 4 **Costo**
- 4,1 Accesibilidad al producto
- 4,2 Bajo costo de producción
- 4,3 Bajo costo de adquisición
- 4,4 Accesibilidad a repuestos
- 4,5 Bajo costo de mantenimiento

Para elegir la mejor alternativa de solución empleando este método debemos considerar m alternativas de solución (A_1, A_2, \dots, A_m) relevantes para el proceso de diseño, desarrollando n criterios determinados (C_1, C_2, \dots, C_n)

Estas alternativas se desarrollan completamente usando una matriz que servirá como matriz de decisión, donde los n criterios son pesados de acuerdo con la importancia o a la influencia de estos sobre el proyecto de diseño.

Para aquello primero debemos determinar el peso de las categorías de criterios de selección entre sí, para luego determinar el peso de los criterios (w_1, w_2, \dots, w_n) .

Esto se realiza mediante el método “Analytic Hierarchy Process” (AHP), la cual califica los criterios entre sí para obtener el peso propuesto usando el criterio de la Tabla 2.1

Juicios comparativos por pares

Judgment	Values
X is equally preferred to Y	1
X is moderately preferred over Y	3
X is strongly preferred over Y	5
X is very strongly preferred over Y	7
X is extremely preferred over Y	9
Intermediate values	2,4,6,8
Preference of Y compared to X	1/2, 1/3, 1/4, 1/5, 1/6, 1/7, 1/8, 1/9

Pesos de las categorías de los criterios

Categorías	1	2	3	4	Total	Peso del atributo (Total relativo)
1	1,00	5,00	8,00	3,00	17,00	0,47
2	0,20	1,00	3,00	7,00	11,20	0,31
3	0,13	0,33	1,00	0,20	1,66	0,05
4	0,33	0,14	5,00	1,00	6,48	0,18
				Total general	36	1

Posteriormente se comparan los criterios entre sí, teniendo como referencia la tabla anterior, pesando así los criterios de desempeño, seguridad, apariencia y costo (Tablas 2.3, 2.4, 2.5 y 2.6)

Pesos de la categoría de desempeño

Criterio	1,10	1,20	1,30	1,40	1,50	1,60	Total	Peso relativo	Peso absoluto
1,1	1,00	4,00	9,00	1,00	5,00	0,20	20,20	0,25	0,12
1,2	0,25	1,00	5,00	0,20	0,50	0,17	7,12	0,09	0,04
1,3	0,11	0,20	1,00	0,33	0,50	0,11	2,25	0,03	0,01
1,4	1,00	5,00	3,03	1,00	5,00	0,20	15,23	0,19	0,09
1,5	0,20	2,00	2,00	0,20	1,00	0,20	5,60	0,07	0,03
1,6	5,00	6,00	9,00	5,00	5,00	1,00	31,00	0,38	0,18
						Total general	81,40	1,00	0,47

Pesos de la categoría de seguridad

Criterio	2,1	2,2	Total	Peso relativo	Peso absoluto
2,1	1,00	9,00	10,00	0,90	0,28
2,2	0,11	1,00	1,11	0,10	0,03
		Total general	11,11	1,00	0,31

Pesos de la categoría de apariencia

Criterio	3,1	3,2	Total	Peso relativo	Peso absoluto
3,1	1,00	9,00	10,00	0,90	0,04
3,2	0,11	1,00	1,11	0,10	0,00
		Total general	11,11	1,00	0,05

Pesos de la categoría de costo

Criterio	4,1	4,2	4,3	4,4	4,5	Total	Peso relativo	Peso absoluto
4,1	1,00	5,00	5,00	0,20	5,00	16,20	0,29	0,05
4,2	0,20	1,00	3,00	0,11	3,00	7,31	0,13	0,02
4,3	0,20	0,33	1,00	0,20	2,00	3,73	0,07	0,01
4,4	5,00	9,09	5,00	1,00	7,00	27,09	0,48	0,09
4,5	0,20	0,33	0,50	0,14	1,00	2,18	0,04	0,01
					Total general	56,51	1,00	0,18

Obteniendo los pesos absolutos de cada criterio en forma de porcentaje, calificamos cada alternativa con respecto a los mismos (r_1, r_2, \dots, r_n) en un rango del 1 al 9 de manera similar a la tabla 2.1, para posteriormente eligiendo la mejor selección con la siguiente sumatoria: (2.1)

$$S = \sum_{i=0}^n w_i * r_i$$

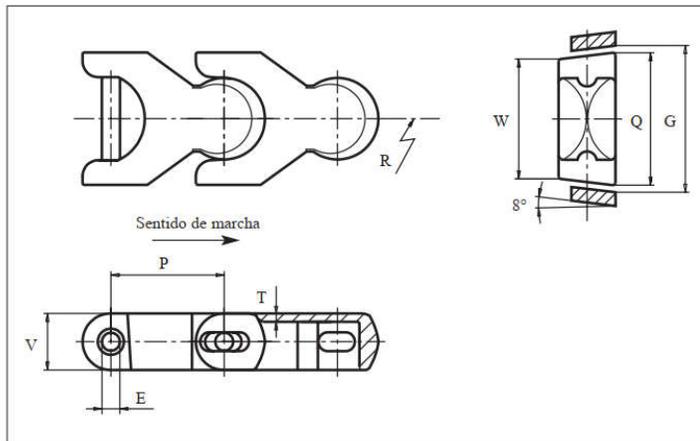
El total S más grande será la mejor alternativa de solución. La tabla siguiente es la matriz de decisión del proyecto, sabiendo que la opción 1 es la cámara de fumigación, la opción 2 es la termo nebulizadora y la opción 3 es del sistema de rodillos.

APÉNDICE 2

Catálogo de la cadena cardánica seleccionada



La cadena uni 1701 se suministra con una inclinación lateral de 8°. Esto hace posible diseñar curvas que sujeten la cadena mientras trabaja y al mismo tiempo que la cadena pueda separarse fácilmente del tramo curvo para su limpieza. La cadena es idónea para transporte de botellas de plástico, latas y cartones p.ej. en centrales lecheras y cerveceras.



	mm	pul.		mm	pul.
E	8.0	0.31	Q	58.4	2.30
G (curva)	60.3	2.37	T	3.9	0.15
G (recta)	62.0	2.44	V	25.0	0.98
P	50.0	1.97	-	-	-

Todas las dimensiones son para cadenas en acetal (POM).

Los artículos con referencia uni en **negrita** son estándar.
Los artículos con referencia uni en *cursiva* se suministran bajo pedido.

	referencia uni			ancho W		peso		radio min. R	
	POM-D	POM-D	POM-LF	mm	pul.	kg/m	lb/ft	mm	pul.
uni 1701	31D1701W	31D1701G	31LF1701	52.4	2.06	1.5	1.01	150	5.91

uni 1701

Cadenas uni Flex • Plástico

- Giro lateral
- 50.0 mm (1.97 pulgadas)
- Materiales Ver pág. 14
- SS304** Ver pág. 13
- 75 mm (3.0 pulgadas)
- Ver pág. 112
- Ver pág. 120
- Ver pág. 101
- 6.1 m = 20 ft
N° eslabones/caja: 122
- POM: 4000 N (899 lbf)

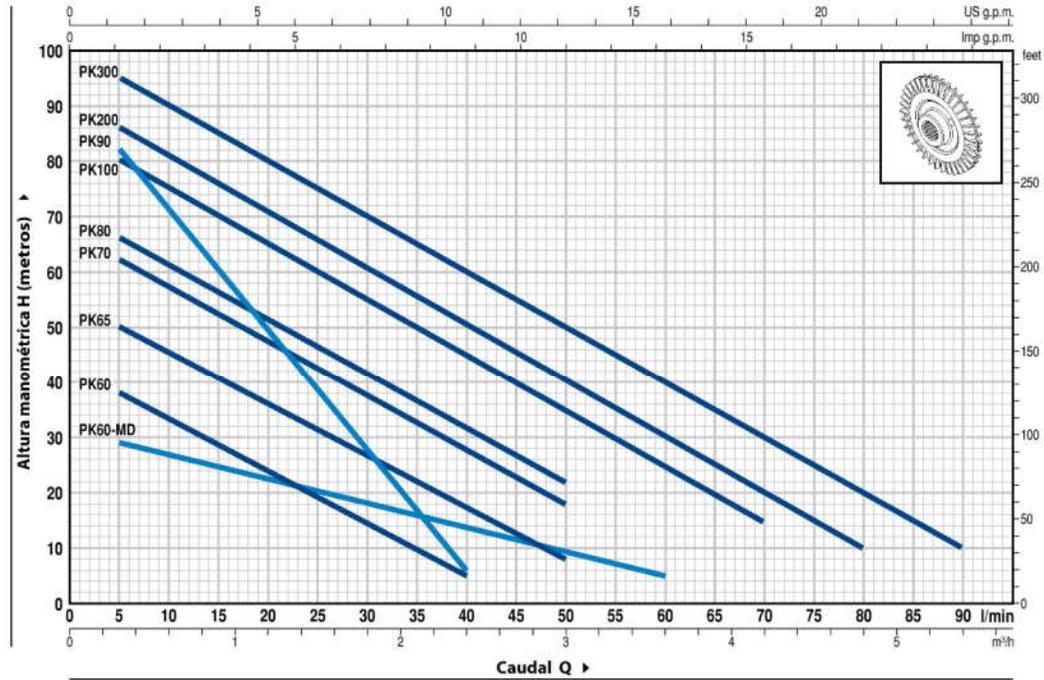
APÉNDICE 3

Catálogo de la bomba seleccionada PKm65



CURVAS Y DATOS DE PRESTACIONES

60 Hz n= 3450 min⁻¹ HS= 0 m



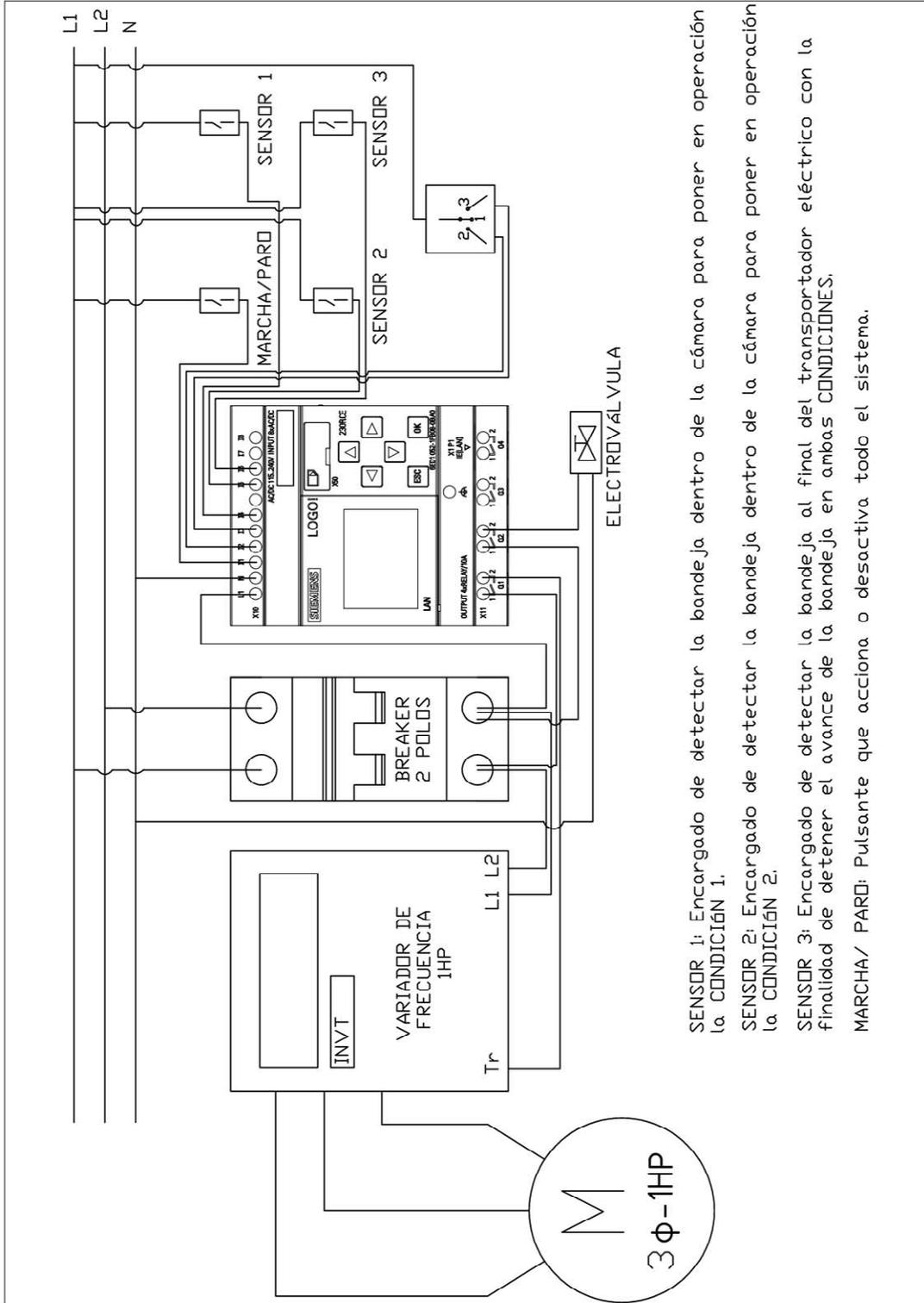
MODELO		POTENCIA (P ₂)		▲	Q	m ³ /h															
Monofásica	Trifásica	kW	HP			0	0.3	0.6	0.9	1.2	1.5	1.8	2.1	2.4	3.0	3.6	4.2	4.8	5.4		
					l/min	0	5	10	15	20	25	30	35	40	50	60	70	80	90		
PKm 60 [®]	PK 60 [®]	0.37	0.50	IE2	H metros	40	38	33.5	29	24	19.5	15	10	5							
PKm 60 [®] -MD	PK 60 [®] -MD	0.37	0.50			30	29	26.5	24.5	22.5	20.5	18	16	13.5	9.5	5					
PKm 65	PK 65	0.50	0.70	IE3	H metros	55	50	45.5	40.5	36	31	27	22	17	8						
PKm 70	PK 70	0.60	0.85			65	62	57	52	47	42	37	32	27	18						
PKm 80	PK 80	0.75	1	IE3	H metros	70	66	61	56	51	46	41	36.5	31	22						
PKm 90	PK 90	0.75	1			90	82	71	60	49	38	27	17	5							
PKm 100	PK 100	1.1	1.5	IE3	H metros	85	80	75	70	65	60	55	50	45	35	25	15				
PKm 200	PK 200	1.5	2			90	86	81	76	71	65.5	60	55	50	40	30	20	10			
-	PK 300	2.2	3			100	95	90	85	80	75	70	65	60	50	40	30	20	10		

Q = Caudal H = Altura manométrica total HS = Altura de aspiración

Tolerancia de las curvas de prestación según EN ISO9906 Grado 3B.

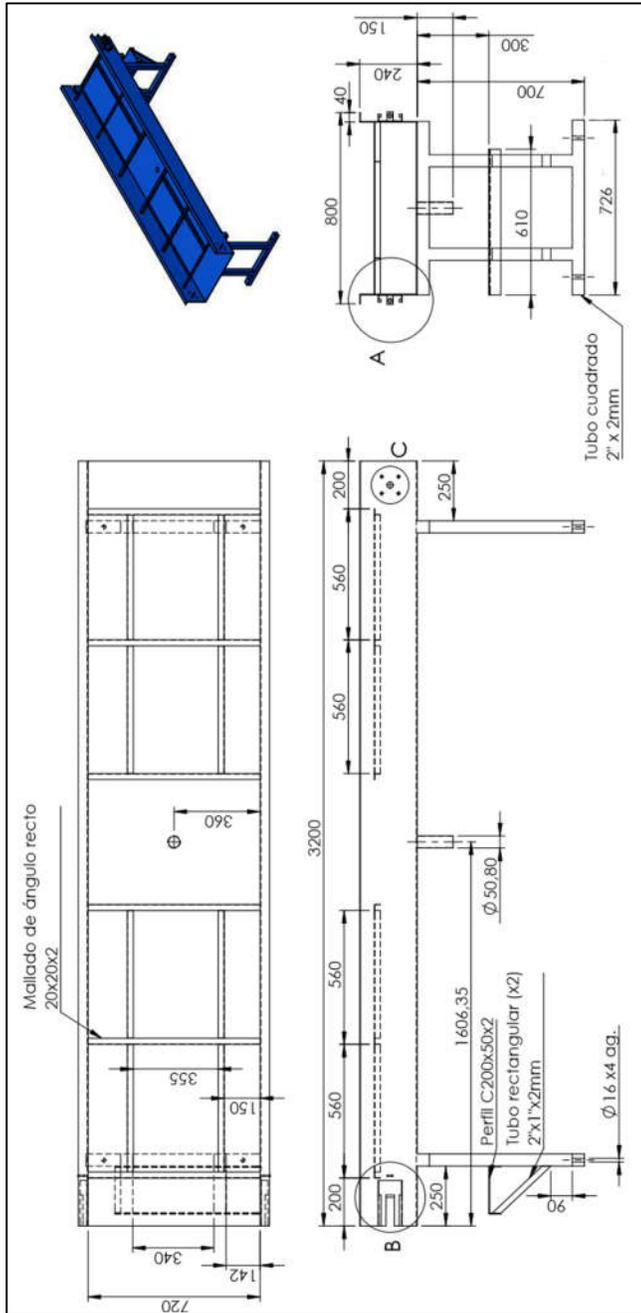
APÉNDICE 4

Esquema eléctrico del sistema

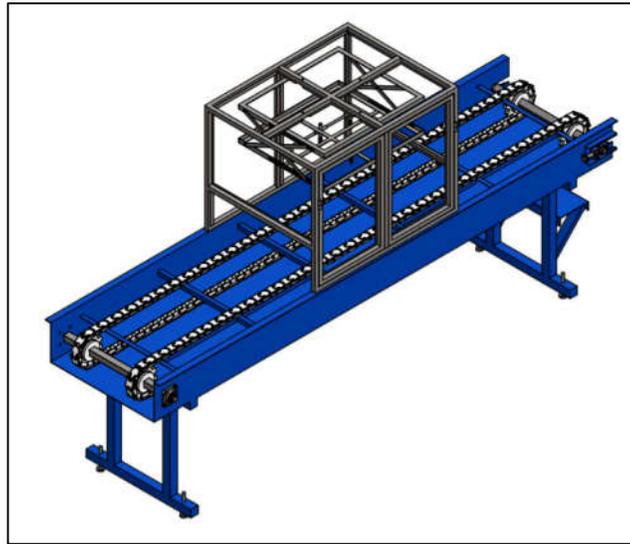


APÉNDICE 5

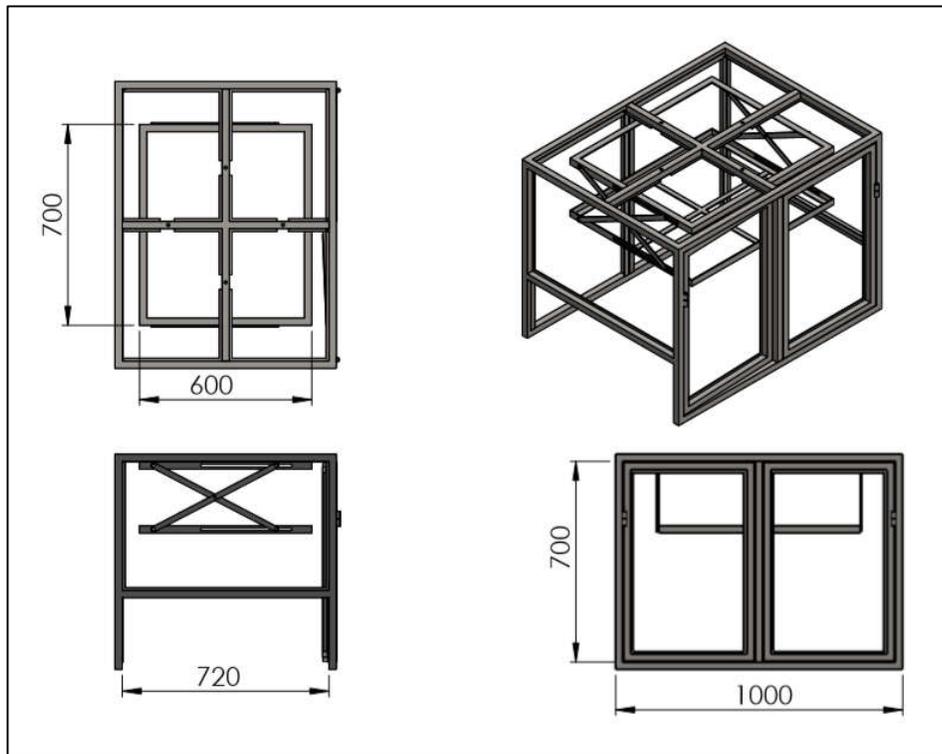
Planos generales de la máquina



Planos de dimensiones generales del transportador eléctrico (Elaboración propia)



Vista isométrica de la máquina. (Elaboración propia)



Dimensiones generales de la estructura de la cámara. (Elaboración propia)