

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE CUENCA**

CARRERA DE MECATRÓNICA

*Trabajo de titulación previo
a la obtención del título de
Ingeniero en Mecatrónica*

**PROYECTO TÉCNICO:
“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE
SEMBRADO AUTOMÁTICO PARA SEMILLAS DE
TOMATE EN BANDEJAS DE GERMINACIÓN”**

AUTORES:

MARCO SANTIAGO GUERRA ORDOÑEZ
KEVIN AGUSTIN ROMERO MEZA

TUTOR:

ING. PAÚL ANDRÉS CHASI PESANTEZ, MSc

CO-TUTOR:

ING. ÁNGEL EUGENIO CÁRDENAS CADME, MSc

CUENCA – ECUADOR

2022

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Nosotros, Marco Santiago Guerra Ordoñez con documento de identificación N° 0106575145 y Kevin Agustin Romero Meza con documento de identificación N° 0302585864, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de titulación: “**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE SEMBRADO AUTOMÁTICO PARA SEMILLAS DE TOMATE EN BANDEJAS DE GERMINACIÓN**”, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: *Ingeniero en Mecatrónica*, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, febrero de 2022.



Marco Santiago Guerra Ordoñez
C.I 0105816177



Kevin Agustin Romero Meza
C.I 0302585864

CERTIFICACIÓN

Yo, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: “**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DESEMBRADO AUTOMATICO PARA SEMILLAS DETOMATE EN BANDEJAS DE GERMINACIÓN**”, realizado por Marco Santiago Guerra Ordoñez y Kevin Agustin Romero Meza, obteniendo el *Proyecto Técnico*, que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, febrero de 2022.



Ing. Paúl Andrés Chasi Pesantez, MSc
C.I. 0102906971

DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, Marco Santiago Guerra Ordoñez con documento de identificación N° 0106575145 y Kevin Agustin Romero Meza con documento de identificación N° 0302585864, autores del trabajo de titulación: **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DESEM-BRADO AUTOMATICO PARA SEMILLAS DETOMATE EN BANDEJAS DE GERMINACIÓN”**, certificamos que el total contenido del *Proyecto Técnico* es de nuestra exclusiva responsabilidad y autoría.

Cuenca, febrero de 2022.



Marco Santiago Guerra Ordoñez
C.I 0105816177



Kevin Agustin Romero Meza
C.I 0302585864

Dedicatoria

El esfuerzo y la dedicación en una carrera es un ejemplo y consecuencia de las personas que están detrás. Dedico este trabajo principalmente a Dios, por ser el inspirador y permitirme el haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación personal y profesional.

A mis padres Marco y Elizabeth, por demostrarme siempre su cariño, el apoyo a mi educación y por siempre estar conmigo. A mi mejor amigo, mentor y compañero Salvador Rodríguez, quien me enseñó que el mejor conocimiento que se puede tener, es el que se aprende por sí mismo.

A mi hermano Salvador, por regalarme sonrisas en mis momentos más difíciles y ser ese apoyo incondicional.

Y sobre todo dedico este trabajo al sector agropecuario del Ecuador, para que junto con este y muchos proyectos a futuro, los ecuatorianos sepamos encaminar al país hacia una nueva era agrícola.

Marco

Dedicatoria

Esta tesis está dedicada a:

A mis padres Agustín y Glenda quienes con su amor, paciencia y esfuerzo me han permitido llegar a cumplir una de mis metas, ensañándome a no rendirme y ser un pilar fundamental en mi vida personal y académica.

A mis Abuelitos Víctor y Mariana por su cariño y apoyo incondicional, durante todo este largo camino académico, por siempre estar en los momentos que más los necesite. A mis hermanas que también son mi motivo para seguir adelante y ser un ejemplo para ellas.

Agustín

Agradecimientos

Quiero expresar mi gratitud a Dios, que siempre es la luz brillante al final del túnel y guiarme hasta este momento.

A mis, padres porque sin su apoyo no sería posible este logro en mi vida, a mi hermano por siempre estar ahí con sus locuras y ocurrencias, a Taita, por ser la persona que confió en mi hasta el final, me dio el empujón que faltaba para jamás perder la rienda y sobre todo ilumino el camino correcto, el camino de la verdad.

Agradezco a la empresa Agroplantas, que me dio la oportunidad de laborar juntos, confió en los nuevos comienzos para juntos dejar una marca en la historia Agrícola del país.

A mis amigos, Alejo, Andrés y Nimrod que se arriesgaron a no seguir el caudal y imponerse su propio destino, a mi compañera de vida, Dalila, que a pesar de estar en diferentes ramas nuestro destino es el mismo.

Mi profundo agradecimiento a Universidad Politécnica Salesiana, a toda la facultad de Mecatrónica, a mis profesores en especial, al Ing. Paúl Chasi, Ing. Eugenio Cárdenas y al Ing. Marco Amaya. Quienes, con la enseñanza de sus conocimientos adquiridos por la experiencia, nos supieron instruir y preparar para el mundo laboral. Al director de carrera de Mecatrónica, Ing. Eddie Ayala, que cree en nuestra juventud y apuesta todo por ella, por este y muchos proyectos más en bien de la sociedad.

Marco

Agradecimientos

Primeramente, quiero expresar mi gratitud a los pilares fundamentales en mi vida mis padres que si no fuera por ellos este logro no sería posible, ya que gracias a ellos y a su esfuerzo hoy me encuentro en la parte final de mi vida académica cumpliendo un logro más. A mis abuelitos Víctor y Mariana quienes siempre fueron un apoyo no solo en mi vida académica sino en mi vida personal. A mi amigo y compañero de tesis Marco Guerra por su apoyo y su trabajo en conjunto para culminar este proyecto y a todos los docentes de la carrera por siempre brindar su apoyo y ayuda, de manera especial a mi docente tutor Ing. Paul Chasi por ayudarnos con sus conocimientos durante el proyecto final, así como también al Ing. Luis López docente de la materia de Titulación por ser una gran persona, y excelente docente durante la trayectoria académica.

Finalmente quiero agradecer a esa persona que me acompañaron en este camino que quizás ya no se encuentren a mi lado, pero de una u otra forma su apoyo fue fundamental para cumplir mis sueños y metas.

Agustin

Este documento fue realizado enteramente en L^AT_EX

Índice

| | |
|---|----------|
| Cesión de Derechos de Autor | I |
| Certificación | II |
| DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD | III |
| Dedicatoria | IV |
| Dedicatoria | V |
| Agradecimientos | VI |
| Agradecimientos | VII |
| Resumen | XV |
| Abstract | XVI |
| 1. Introducción | 1 |
| 2. Problema | 2 |
| 2.1. Antecedentes | 2 |
| 2.2. Importancia y alcances | 3 |
| 2.3. Delimitación | 3 |
| 2.4. Problema General. | 4 |
| 2.5. Problemas Específicos. | 4 |
| 3. Objetivos | 4 |
| 3.1. Objetivo General | 4 |
| 3.2. Objetivos Específicos | 4 |
| 4. Hipótesis | 5 |
| 4.1. Hipótesis General | 5 |
| 4.2. Hipótesis Específicas | 5 |
| 5. Operacionalización de Variables | 6 |
| 6. Matriz de Consistencia Lógica | 7 |

| | |
|---|-----------|
| 7. Marco Teórico | 9 |
| 7.1. Cultivo en bandejas de germinación. | 9 |
| 7.2. Bandejas de Germinación. | 10 |
| 7.3. Semilla de tomate. | 12 |
| 7.4. Proceso de siembras en Bandejas. | 13 |
| 7.4.1. Desinfección de bandejas. | 14 |
| 7.4.2. Llenado y marcado de las bandejas. | 14 |
| 7.4.3. Siembra, tapado y riego | 14 |
| 7.5. Análisis de maquinaria agrícola de siembra | 15 |
| | |
| 8. Marco metodológico | 19 |
| 8.1. Identificación de parámetros iniciales para el desarrollo de un sistema automático de siembra de semillas de tomate en bandejas germinadoras para aumentar la eficiencia de producción de plántulas. | 20 |
| 8.1.1. Identificación de parámetros iniciales | 20 |
| 8.1.2. Restricciones de diseño | 22 |
| 8.1.3. Condiciones de uso de la propuesta | 23 |
| 8.2. Dimensionamiento de elementos para la propuesta | 23 |
| 8.2.1. Relaciones matemáticas del eje de traslación | 23 |
| 8.2.2. Relaciones matemáticas de la bancada del eje de siembra | 28 |
| 8.3. Diseño modular | 32 |
| 8.3.1. Módulo base | 32 |
| 8.3.2. Módulo guía lineal | 33 |
| 8.4. Dispositivo de siembra | 35 |
| 8.5. Diseño Mecatrónico de la propuesta | 38 |
| 8.5.1. Diseño Mecánico | 38 |
| 8.5.2. Diseño electrónico | 40 |
| 8.5.3. Diseño de control | 42 |
| | |
| 9. Resultados | 43 |
| 9.1. Simulaciones | 43 |
| 9.1.1. Análisis de esfuerzo promedio de los módulos | 43 |
| 9.1.2. Análisis del tren de movimiento | 45 |
| 9.1.3. Análisis del tiempo del proceso de siembra | 47 |
| | |
| 10. Conclusiones | 49 |

| | |
|--------------------|----|
| 11.Recomendaciones | 49 |
| Referencias | 51 |
| ANEXOS | 52 |

Lista de Tablas

| | | |
|-----|---|----|
| 1. | Operacionalización de Variables para diseño mecánico. | 6 |
| 2. | Operacionalización de Variables para el aumento de la eficiencia diseño mecánico. | 6 |
| 3. | Matriz de consistencia lógica. | 8 |
| 4. | Características equipos URBINATI | 19 |
| 5. | Condiciones ambientales de operación | 23 |
| 6. | Propiedades mecánicas del perfil T-slot usado | 24 |
| 7. | Comparativa entre los diferentes mecanismos de transmisión de movimiento lineal | 34 |
| 8. | Ventajas y desventajas que conlleva el uso del sistema de siembra por tambores rotativos. | 36 |
| 9. | Ventajas y desventajas del uso del sistema de siembra por boquillas | 37 |
| 10. | Tiempo de siembra obrero uno | 48 |
| 11. | Tiempo de siembra obrero dos | 48 |
| 12. | Resultados cálculos de eficiencia | 48 |

Lista de Figuras

| | | |
|-----|---|----|
| 1. | Plántula de tomate (Autor). | 10 |
| 2. | Bandeja de Germinación 9x18 cavidades. | 11 |
| 3. | Bandeja de Germinación 8x16 cavidades | 11 |
| 4. | Semillas de Tomate Prieto.Agrizon (2019) | 12 |
| 5. | Proceso de siembra de semillas de tomate Guallichico y Rodríguez (2019) . . | 13 |
| 6. | Máquina propuesta en Acosta (2014) | 15 |
| 7. | Diseño propuesto en Clavijo (2002) | 16 |
| 8. | Diseño propuesto en Clavijo (2002) | 17 |
| 9. | Diseño propuesto en Guallichico y Rodríguez (2019) | 18 |
| 10. | Diseño propuesto en Urbinati (2021) | 19 |
| 11. | Bandejas de germinación de 8x16 agujeros | 21 |
| 12. | Consideraciones de ergonomía para el diseño del tablero de control Melo (2009) | 22 |
| 13. | Sistema de transmisión de movimiento basado en bandas López y colaboradores (2019) | 23 |
| 14. | Propiedades mecánicas del aluminio 6063 | 24 |
| 15. | Diagrama de cuerpo libre de la barra | 25 |
| 16. | Secciones de análisis de la barra de traslación | 26 |
| 17. | Diagrama cortante para la guía de traslación en x | 27 |
| 18. | Diagrama de momento flector para la guía de traslación en x | 28 |
| 19. | Propiedades mecánicas del aluminio 6063 | 29 |
| 20. | Propiedades mecánicas del aluminio 6063 | 29 |
| 21. | Propiedades mecánicas del aluminio 6063 | 30 |
| 22. | Propiedades mecánicas del aluminio 6063 | 31 |
| 23. | Diseño del módulo base Fuente: Autores | 33 |
| 24. | Mecanismos de transmisión de movimiento lineal Fuente: Urbinati (2021) . | 34 |
| 25. | Mecanismo de movimiento lineal para la guía de la mesa del equipo Fuente: Autores | 35 |
| 26. | Sistema de siembra por medio de tambores rotativos | 36 |
| 27. | Sistema de siembra por medio de boquillas AgriEXPO (2019) | 37 |
| 28. | Diseño del módulo base Fuente: Autores | 38 |
| 29. | Modelo mecánico de la propuesta (módulo base + módulo lineal) | 39 |
| 30. | Modelo mecánico de la propuesta (Dispositivo de siembra). | 39 |
| 31. | Diseño del circuito de la propuesta. | 40 |

| | | |
|-----|--|----|
| 32. | Diseño de la tarjeta electrónica de la propuesta. | 41 |
| 33. | Tajeta electrónica impresa de la propuesta. | 42 |
| 34. | Esquema de control de la propuesta. | 43 |
| 35. | Esfuerzo de Von-Mises de los puntos de soporte de la base | 44 |
| 36. | Deformaciones en los elementos del soporte base generado por los esfuerzos . | 45 |
| 37. | Análisis de los esfuerzos de Von mises en el tren de movimiento. | 46 |
| 38. | Análisis de deformación del tren de movimiento. | 47 |

Resumen

Considerando la escasez de equipos relacionados con la producción de plántulas en bandejas de germinación, el siguiente trabajo de titulación propone el diseño y construcción de una máquina automática en la capacidad de realizar la tarea de siembra de semillas de tomate. Para ello, se propuso el análisis de los parámetros iniciales, el diseño mecatrónico y diferentes mecanismos de evaluación.

En cuanto a la construcción de la máquina contempla un diseño basado en perfiles normalizados y con estructura modular a fin de limitar, mejorar y reducir funcionalidades en capacidad de la retroalimentación de los operarios. Con respecto a los mecanismos de evaluación la maquinaria ha sido sometida al análisis mecánico de los módulos de funcionamiento arrojando un factor de seguridad positivo lo cual indica un buen diseño en términos de dimensionamiento. Finalmente, la propuesta incrementa la producción de plántulas de tomate de forma considerable.

Palabras clave: Bandejas de germinación, máquina automática, plántulas, semillas de tomate, cultivos de tomate.

Abstract

Considering the shortage of equipment related to the production of seedlings in germination trays, the following essay proposes the design and construction of an automatic machine capable of performing the task of planting tomato seeds. For this, the analysis of the initial parameters, the mechatronic design and different evaluation mechanisms were proposed.

The construction of the machine contemplates a design based on standardized profiles and with a modular structure in order to limit, improve, and reduce functionalities in terms of operator feedback. Regarding the evaluation mechanisms, the machinery has been subjected to the mechanical analysis of the operating modules, giving a positive safety factor, which indicates a good design in terms of dimensioning. Finally, the proposal increases the production of tomato seedlings considerably.

keywords: Germination trays, automatic machine, seedlings, tomato seeds, tomato crops.

1. Introducción

Actualmente en la provincia del Azuay exclusivamente en la empresa "Constructora Agropantallas" el proceso de siembra se lo realiza de manera manual en la que se recurre a técnicas que no son de los más efectivas, además de no garantizar un buen porcentaje de la germinación de las semillas, debido al error humano, para dar solución a este problema nos hemos planteado realizar un sistema de siembra automático como solución a la problemática de esta empresa y el mercado local.

Otra de las problemáticas principales para seguir utilizando las técnicas tradicionales de sembrado de semillas son los elevados costos de adquisición de estos sistemas de siembras, además de ello la poca facilidad y accesibilidad al mantenimiento de estas maquinas, debido a que los principales distribuidores se encuentran fuera del país, provocando que los tiempos y costos de mantenimiento sean elevados, razón por la cual las empresas de la localidad no cuentan con estos tipos de sistemas.

Motivos por las cuales la adquisición de estos sistemas no son las mejores opciones ya que elevan el costo de producción, representan una fuerte inversión a las empresas locales para la automatización de este proceso. El mantenimiento de estas maquinas no solo implica altos costos sino también largos tiempo de espera, así como la poca disponibilidad de técnicos y piezas en el país, y los costos de aranceles que adquiere al proceder del exterior.

Con la intención de dar solución se planteo el desarrollo de un sistemas de siembra automático de menor costo y con mantenimiento a disposición de las empresas de la localidad. La ventaja que ofrece la implementación de estos sistemas es el aumento en la eficiencia y la reducción de tiempos de sembrado de las semillas, siendo este una ventaja competitiva en el mercado, ya que al reducir casi por completo la intervención de la mano humana se logra minimizar los errores humanos los mismos se con muy comunes debido a la naturaleza del proceso que se lleva acabo, el mismo que al ser un proceso repetitivo provoca fatiga, cansancio y problemas de salud, generando fallas o equivocaciones al momento del sembrado afectando directamente a la producción.

2. Problema

2.1. Antecedentes

Tradicionalmente durante varios años la agricultura y la industria se han considerado como dos campos totalmente independientes, separados tanto por sus características como por su función en el crecimiento económico, Zarco (2017) siendo esta una de las causas principales para el poco desarrollado de la automatización de procesos, en el campo agrícola, siendo este el motivo para que los productores agrícolas sigan recurriendo a métodos y técnicas de sembrado artesanal, poco eficientes siendo estos lentos y limitados, viéndose reflejado en su producción actual la misma que no les permite cumplir la demanda actual y ponerse por encima de los demás productores al no tener una ventaja competitiva.

Las sembradoras son de gran ayuda para el agricultor, pero estas al ser herramientas de costos altos y poca disponibilidad en el mercado nacional las empresas dedicadas a este campo, optan por realizar el trabajo de manera manual, utilizando tan solo el recurso humano que dispone la misma, lo que trae como consecuencia que el proceso sea demorado debido a la alta cantidad de semillas que se producen en las jornadas de trabajo.

Tomando en cuenta la gran cantidad de tiempo que se requiere para este proceso, como punto de partida de la problemática, se procederá a realizar una investigación con el objetivo de dar una solución tentativa, planteando alcances tales como reducir tiempos, reducción de mano de obra y aumento en la confiabilidad y eficiencia en el sembrado de semillas para que de esta manera contribuya al aumento de la productividad. Es por ello que para empezar este trabajo partimos revisando el estado de arte que se relacione con el tema, la problemática y posible solución para este caso de estudio.

CARLOS ANDRÉS ACOSTA JARAMILLO, presenta en su proyecto, el proceso de desarrollo de una maquina automática, con la cual se propone como objetivo principal la siembra automática de semillas de tomate y pimiento en bandejas germinadoras con capacidad de 200 cavidades con el fin de reducir el costo de producción en la mano, aplicando elementos mecánicos y de control, como sensores y actuadores. En el presente documento presentan los resultados mismos que se detallan de manera resumida a continuación con el desarrollo de la maquina lograron incrementar la producción en un 48 % lo que les permito reducir el costo de producción en la mano de obra de 4 trabajadoras que manualmente sembraban 3200 semillas por hora; con la máquina automática se necesita dos personas y se producen 6704 semillas. Acosta (2014)

2.2. Importancia y alcances

- La implementación de sistemas de siembra automatizados en bandejas de germinación permite mejorar los tiempos en la siembra de semillas, además de aumentar la eficiencia en el trabajo garantizando un mayor porcentaje de germinación de plántulas de tomate. Como se muestra a continuación.....
- Estos sistemas no solo beneficiaran en cuanto a la producción de plantulas de tomate en el sector agropecuario sino que también sera un gran aparto ya que al usar estos sistemas, el operario tan solo se encarga de procedimientos básicos como preparación de la maquina y retiro de la producción, evitando que el mismo sufra de fatiga al ser un proceso repetitivo.
- Citar o hacer referencia, si existiesen, documentos oficiales e institucionales. en los cuales se destaca la importancia del problema;
- Destacar cómo se manifiesta el problema actualmente en la organización, en los sectores económicos, empresariales o industriales que la propuesta enfocará; (Anexo 10).

2.3. Delimitación

Los beneficiarios directos del desarrollo del sistema de sembrado automático para semillas de tomate en bandejas de germinación serán la empresa “CONSTRUCTORA AGROPLANTAS”, así también como empresas de la localidad que necesiten estos sistemas para la siembra de semillas de tomate

En efecto, la delimitación se establecerá los límites de la investigación en términos de espacio, tiempo, universo y del contenido. Según el detalle:

- a.- **Delimitación Espacial:** Provincia de Azuay, Ciudad Cuenca, Cantón Guachapala.
- b.- **Delimitación Temporal:** El tiempo establecido para el desarrollo de este proyecto es de 6 meses a partir del 08 de Febrero del 2021.
- c.- **Delimitación del Universo:** Se pretende trabajar principalmente con la empresa “CONSTRUCTORA AGROPLANTAS” y también con las empresas que se encuentren en la localidad y con los mismos problemas de producción.
- d.- **Delimitación del Contenido:** Diseño y construcción de un sistema para la mejora del proceso de sembrado de semillas de tomate, con el que se pretende reducir tiempos de

sembrado así como mejorar la eficiencia del mismo garantizando un mayor porcentaje de germinación de plántulas de tomate.

2.4. Problema General.

¿Es posible **desarrollar** una máquina automatizada de siembra de semillas de tomate en bandejas germinadoras mediante sistemas mecánicos y de control para aumentar la **eficiencia** de producción de plántulas en la empresa agrícola "Constructora Agropplantas"?

2.5. Problemas Específicos.

- ¿Se podrá establecer los parámetros iniciales para el **desarrollo** de una máquina automatizada de siembra de semillas de tomate en bandejas germinadoras para aumentar la **eficiencia** de producción de plántulas de tomate?
- ¿Es posible proponer el diseño mecánico y de control en el **desarrollo** de una máquina automatizada de siembra de semillas de tomate en bandejas germinadoras para aumentar la **eficiencia** de la producción de plántulas de tomate?
- ¿Habrá cómo evaluar el diseño mecánico y de control para el **desarrollo** de una máquina automatizada de siembra de semillas de tomate en bandejas germinadoras para aumentar la **eficiencia** de la producción de plántulas de tomate?

3. Objetivos

3.1. Objetivo General

Desarrollar, un sistema automático de siembra de semillas de tomate en bandejas germinadoras mediante sistemas mecánicos y de control para aumentar **eficiencia** la eficiencia de producción de plántulas en una empresa agrícola.

3.2. Objetivos Específicos

- **Analizar**, el proceso de siembra de semillas de tomate en bandejas germinadoras para obtener los parámetros para el **desarrollo** de un sistema automático mediante sistemas mecánicos y de control para aumentar la **eficiencia** de producción de plántulas.

- **Diseñar**, la parte mecánica y de control para el **desarrollo** un sistema automático de siembra de semillas de tomate en bandejas germinadoras para aumentar la **eficiencia** de producción de plántulas.
- **Simular** el sistema automatizado de siembra de semillas de tomate en bandejas germinadoras.
- **Construir** el sistema de siembra de semillas de tomate en bandejas germinadoras para cumplir con los requerimientos de sembrado propuestos.
- **Validar** la operatividad del sistema de siembra de semillas de tomate en bandejas germinadoras mediante pruebas y experimentación para la verificación de su funcionamiento.

4. Hipótesis

4.1. Hipótesis General

El **Desarrollo** un sistema automático de siembra de semillas de tomate en bandejas germinadoras mediante sistemas mecánicos y de control que **aumentara** la **eficiencia** de producción de plántulas en la empresa agrícola "Constructora Agroplantas".

4.2. Hipótesis Específicas

- **Se establecerá** los parámetros iniciales para el **desarrollo** de un sistema automático mediante sistemas mecánicos y de control para aumentar la **eficiencia** de producción de plántulas
- **Se propondrá** el diseño mecánico y de control para el **desarrollo** de un sistema automático mediante sistemas mecánicos y de control para aumentar la **eficiencia** de producción de plántulas.
- **Se evaluará** el diseño mecánico y de control para el **desarrollo** de un sistema automático mediante sistemas mecánicos y de control para aumentar la **eficiencia** de producción de plántulas

5. Operacionalización de Variables

Las variables de operacionalización para la obtención de probetas de fibra natural se indican en la Tabla 1.

Tabla 1: Operacionalización de Variables para diseño mecánico.

| Variables: Independientes para el Diseño | | | | |
|--|---|------------------------|----------------|-----------------------|
| Dimensiones | Definicion | Indicador | Magnitud | Instrumentos. |
| Medidas de las semillas. | Son las dimensiones fisicas que tiene un objeto | Ancho Largo Peso | mm mm mg | Calibrador Balanza |
| Medidas de la bandejas de germinacion | Son las dimensiones físicas que tiene un objeto | Ancho Largo Alto | mm mm mm | Calibrador |
| Medidas de la bomba de vacio | Son las dimensiones físicas que tiene la bomba | Ancho Largo Alto | mm mm mm | Calibrador |
| Medidas del motor | Son las dimensiones fisicas del motor | Ancho Largo Alto | mm mm mm | Calibrador |

Las variables de operacionalización para mejorar la eficiencia de produccion se indican en la Tabla 2.

Tabla 2: Operacionalización de Variables para el aumento de la eficiencia diseño mecánico.

| Variables: Independientes para el Diseño | | | | |
|--|---|----------------|----------|---------------|
| Dimensiones | Definicion | Indicador | Magnitud | Instrumentos. |
| Produccion | Es un conjunto de actividades en la cual la materia prima se transforman en producto.[2] | Cantidad/Horas | Unidades | Conteo |
| Tiempo de sembrado | El concepto de tiempo (crÓnoj), nos dice que todo tienen su génesis en Lo Indeterminado y también va terminar en él «según el orden del tiempo» [1] (tiempo). | Tiempo | Horas | Cronometro |

6. Matriz de Consistencia Lógica

Tabla 3: Matriz de consistencia lógica.

| MATRIZ DE CONSISTENCIA LÓGICA | | | |
|--|---|---|---|
| PROBLEMA GENERAL | OBJETIVO GENERAL | HIPÓTESIS GENERAL | MARCO TEÓRICO |
| | | VARIABLES | |
| ¿Es posible desarrollar un sistema automático de siembra de semillas de tomate en bandejas germinadoras mediante sistemas mecánicos y de control para aumentar la eficiencia de producción de plántulas en una empresa agrícola? | Desarrollar , un sistema automático de siembra de semillas de tomate en bandejas germinadoras mediante sistemas mecánicos y de control para aumentar la eficiencia de producción de plántulas en una empresa agrícola. | VI: Desarrollar VD: Eficiencia | Proceso de producción de plántulas Máquinas de siembra de semillas |
| ESPECÍFICOS | | | |
| ¿Se podrá alzar el proceso de siembra de semillas de tomate en bandejas germinadoras para obtener los parámetros para el desarrollo de un sistema automático mediante sistemas mecánicos y de control para aumentar la eficiencia de producción de plántulas? | Analizar , el proceso de siembra de semillas de tomate en bandejas germinadoras para obtener los parámetros para el desarrollo de un sistema automático mediante sistemas mecánicos y de control para aumentar la eficiencia de producción de plántulas. | VI: Desarrollar VD: Eficiencia | Estudio sobre proceso de siembra bandejas Información recopilada sobre la problemática |
| ¿Es posible proponer el diseño mecánico y de control para desarrollar un sistema automático de siembra de semillas de tomate en bandejas germinadoras para aumentar la eficiencia de producción de plántulas? | Elaborar , el diseño mecánico y de control para desarrollar un sistema automático de siembra de semillas de tomate en bandejas germinadoras para aumentar la eficiencia de producción de plántulas. | VI: Desarrollar VD: Eficiencia | Tipos de sembrado para la producción de plántulas |
| ¿Habrán como evaluar el diseño mecánico y de control para desarrollar un sistema automático de siembra de semillas de tomate en bandejas germinadoras para aumentar la eficiencia de producción de plántulas? | Evaluar el diseño mecánico y de control para desarrollar un sistema automático de siembra de semillas de tomate en bandejas germinadoras para aumentar la eficiencia de producción de plántulas. | VI: Desarrollar VD: eficiencia | Eficiencia de las máquinas sembradoras automáticas de semillas de tomate |

Fuente: Autor

7. Marco Teórico

Para el desarrollo del presente capítulo se extraer y recopilar la información más relevante y necesaria en cuanto al proceso o etapas que se lleva a cabo en la siembra de las semillas del tomate en bandejas de germinación de plántulas de tomate que en la empresa “CONSTRUCTORA AGROPLANTAS”, así como también los sistemas de siembra automatizados que existen.

Inicialmente se presenta información recopilada del proceso de siembra y germinación del tomate, así como características y procedimientos necesarios para la correcta manipulación de los elementos descritos. Luego se muestra un análisis de maquinaria agrícola de siembra basado en propuestas de desarrollo similares. Finalmente se muestran (señalan) los conceptos y relaciones matemáticas necesarios para el diseño de la propuesta como: análisis mecánico, dimensionamiento de equipos, diseño de subsistemas y mecanismos.

7.1. Cultivo en bandejas de germinación.

Para el cultivo del tomate existen muchas formas entre ellas se encuentra la forma tradicional, misma que se realiza colocando de manera directa la semilla en el suelo, entre todos los métodos que existen, la empresa “CONSTRUCTORA AGROPLANTAS”, utiliza el método por bandejas de germinación, donde se cultivará la semilla en bandejas de celdas independientes hasta que la misma alcance un estado a la cual se denomina plántula, para luego ser trasplantada en el suelo o invernaderos (Lardizabal, 2005).

Según López (2017) la actividad agroproductiva de tomate se caracteriza por presentar cuatro sistemas de producción: a campo abierto en asocio con cultivo de café, a campo abierto en monocultivo, semiprotegido (en bandejas plásticas) y en ambiente protegido. Debido a que la empresa produce únicamente se basa en el sistema de producción semiprotegido, el desarrollo de la propuesta de concentrará específicamente en el procedimiento ya mencionado.

Es importante mencionar los beneficios que conlleva implementar maquinaria basada en energías limpias. El estado actualmente se encuentra a cargo de promover en el sector público y privado el uso de tecnologías ambientalmente limpias y de energías alternativas no contaminantes y de bajo impacto Vaca (2011).

El primer elemento para la siembra en bandejas de germinación son las semillas de calidad, otro de los elementos necesarios para tener éxito en el proceso de siembra es el sustrato, el mismo que es indispensable para que la plántula tenga un medio en el cual desarrollarse como se muestra en la Figura 1. Finalmente, las bandejas de germinación también denominadas

contenedores, almácigos o semilleros, son necesarios debido a que acogerán a la semilla y al sustrato Guallichico y Rodríguez (2019), Guallichico y Rodríguez (2013).



Figura 1: Plántula de tomate (Autor).

Con el fin de garantizar una plántula en óptimas condiciones, la empresa se encuentra en la capacidad de regular ciertas condiciones que garantizan el cultivo ideal. Entre las más importantes se pueden mencionar Acosta (2014):

- La humedad relativa óptima para el desarrollo del tomate varía entre un 60 % y un 80 %.
- La temperatura media mensual óptima para su desarrollo varía entre 21 y 24 grados Celcius aunque se puede producir entre los 18 y 25 grados Celcius.
- Cuando la temperatura media mensual sobrepasa los 27 grados Celcius, las plantas de tomate no prosperan.

7.2. Bandejas de Germinación.

Las bandejas de germinación también son conocidas como semilleros, estas son depósitos los cuales tienen cavidades las cuales se encuentran distribuidas por un número determinado de filas y columnas dependiendo la necesidad y la cantidad que la empresa necesita para cumplir su propósito.

Debido a la facilidad que proporciona las bandejas de germinación en cuanto al monitoreo de las plántulas en el semillero es fundamental, por ser este el periodo crítico en el cual se

puede combatir con mayor facilidad las primeras plagas y enfermedades. Los problemas más serios que se presentan son las enfermedades virales transmitidas por la mosca blanca, de ahí la importancia de obtener plántulas sanas Norte (2011)

Las dimensiones y tipos de bandeja que se vaya a usar dependen mucho de la producción y cantidad que necesita la empresa cubrir. A continuación, en las imágenes se presentan las bandejas que dispone la empresa y las que se pretende usar para la automatización del mismo. La Figura 2. que tiene unas dimensiones de 29cm de ancho por 54.5cm de largo con capacidad de 9x18 con cavidades mientras que en la Figura 3. se muestra la bandeja la misma que tiene las siguientes dimensiones de 28cm de ancho por 53.5 de largo con capacidad de 8x16 cavidades.



Figura 2: Bandeja de Germinación 9x18 cavidades.



Figura 3: Bandeja de Germinación 8x16 cavidades

Las bandejas de germinación permiten sembrar y cultivar en un espacio más seguro que la manera tradicional; esto permite el cuidado del cultivo en malas condiciones climatológicas y con la presencia de plagas Guallichico y Rodríguez (2019). Las bandejas de germinación son

fabricadas en poliestireno, un material sintético reciclable. La calidad del material y el buen uso permiten que las bandejas se utilicen durante un largo período de tiempo.

7.3. Semilla de tomate.

La semilla de tomate que se utiliza con mayor frecuencia y es uno de los productos principales que la empresa maneja en el mercado es el tomate híbrido prieto Clause Vegetable seeds (2018), como se muestra en la Figura. 4 el mismo que tiene como características que es un fruto con excelente firmeza y color, buen cuaje en condiciones cálidas y frías, además de su forma redonda ligeramente achatado con un cierre, esta y muchas características más le hacen como la favorita en el mercado. A continuación, se presentan las características técnicas de las semillas de tomate híbrido prieto. Tabla 1.



Figura 4: Semillas de Tomate Prieto. Agrizon (2019)

Las semillas de tomate tienen un tamaño promedio de 5x4x2 mm. Son ovoides, comprimidas, lisas o muy velludas, también se encuentran embebidas en una abundante masa mucilaginosa Acosta (2014). Gracias a la correcta caracterización de las semillas se tiene la información necesaria para la implementación de la propuesta en términos de materia prima.

7.4. Proceso de siembras en Bandejas.

Para el proceso de siembras de semillas de tomate en bandejas de germinación, nos guiamos en el “Manual de producción de plántulas en bandejas”, el mismo que plantea que se tienen que cumplir pasos específicos los mismos que se describirán y desarrollaran a continuación.

El proceso de siembra en bandejas de germinación involucra cinco pasos. Inicialmente se llenan las bandejas con el elemento sustrato; posteriormente se elimina el exceso para garantizar una geometría uniforme; luego se realiza la operación denominada punzonado que consiste en hacer un agujero en los alveolos de la bandeja; luego se coloca la semilla y finalmente se cubre con una pequeña capa de sustrato Guallichico y Rodríguez (2019). La Figura 5 muestra las etapas de la siembra manual, donde es posible visualizar cada paso durante el proceso de siembra.

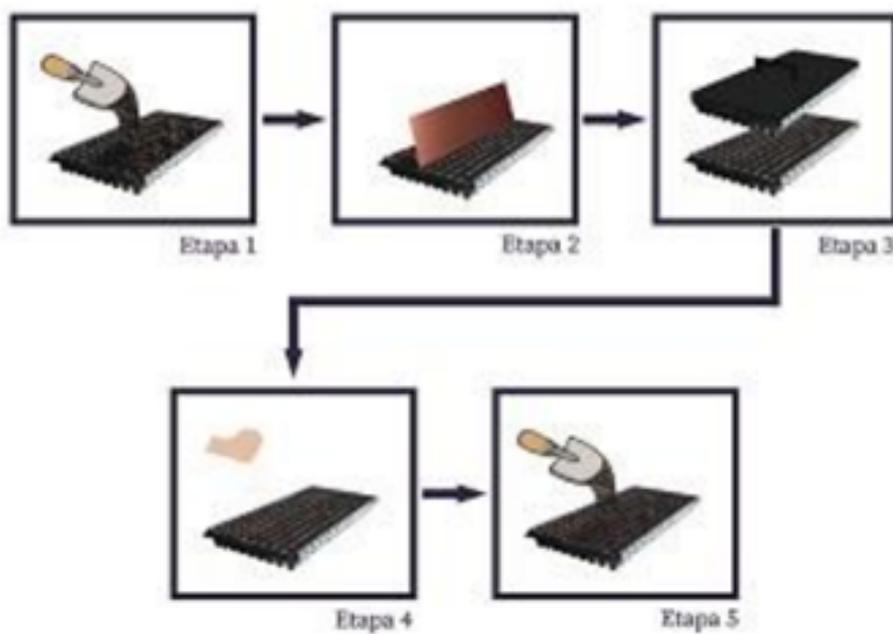


Figura 5: Proceso de siembra de semillas de tomate Guallichico y Rodríguez (2019)

Para eliminar los problemas sanitarios es necesario garantizar que tanto la semilla como el sustrato se encuentren completamente esterilizados, es por ello por lo que los productores de plántulas utilizan semillas aprobadas por un riguroso método de selección. La siembra se puede realizar de manera mecánica o manual.

7.4.1. Desinfección de bandejas.

Según Lardizabal En esta parte del proceso se procede a desinfectar antes de la puesta del medio. Lo primero que se realiza en la desinfección de las bandejas es el lavado para evitar que estas reaccionen con restos de materia orgánica. Una vez lavado se aplica otros métodos de desinfección que aseguran que las bandejas estén sin ningún contaminante externo para garantizar la germinación de las semillas de tomate.

Las bandejas son fabricadas de plástico o poliestireno lo que no permite aplicar temperatura debido a que estas se pueden deformar al incrementar la temperatura es por eso que la desinfección por temperatura no es aplicable para ellos se utiliza métodos como:

- Clorinado (recomendado)
- Vapor
- Agua hirviendo. Lardizabal (2005)

7.4.2. Llenado y marcado de las bandejas.

En esta parte del proceso se realiza el llenado de las bandejas asegurándose de cubrir cada una de las celdas o cavidades de las bandejas de germinación. Es importante asegurarse que no queden espacios de aire, esto evita que se asiente el medio una vez sembrado. Al llenar hay que marcar las celdas para sembrar.

Las razones por las cuales se tienen que marcar son la compactación de la tierra, para así garantizar que la semilla quede centrada en la celda, permitiendo que tenga un mejor desarrollo radicular más distribuido en el medio, además para que la semilla al tajarla quede a la profundidad deseada o ideal del cultivo que estemos sembrando. Esto es primordial ya que una vez germinada la semilla al estar en contacto con el medio y haber alcanzado el estado conocido como plantula la manipulación y tras-plantación sea más fácil Lardizabal (2005).

7.4.3. Siembra, tapado y riego

La siembra de la semilla es en la parte del proceso en donde nos centraremos ya que el objetivo del trabajo es garantizar que la siembra de la semilla se haga de la manera más óptima, disminuyendo los tiempos de sembrados. Este parte del proceso actualmente se realiza de forma manual en donde un obrero pone la semilla una por una en cada una de las celdas de las bandejas, el obrero debe asegurarse que el momento de la siembra la semilla se encuentre en el

centro de la cavidad de cada una de las celdas, también tiene que asegurar que la profundidad de la semilla no sea la demasiada para el óptimo crecimiento de la misma Lardizabal (2005).

Una vez cumplido con los requisitos que se plantea en la siembra se procede al tapado y riego de las bandejas, para esperar su germinación, una vez concluida esta parte y obtenido las plántulas de tomate se procede al despacho de la mercadería

7.5. Análisis de maquinaria agrícola de siembra

Para garantizar una propuesta adecuada y actualizada en términos de tecnología, eficiencia, costos y mantenimiento es necesario analizar máquinas de similares características a fin de incorporar herramientas funcionales para el diseño de la máquina germinadora de tomate.

En Acosta (2014) se muestra una máquina sembradora automática de semillas en bandejas con control de proceso. La Figura 6 muestra la máquina funcionando, el principio de funcionamiento permite realizar el punzonado del sustrato y la colocación de la semilla en una sola operación reduciendo el costo de producción considerablemente.



Figura 6: Máquina propuesta en Acosta (2014)

Una propuesta más robusta de dispositivos de siembra se presenta en Clavijo (2002) donde se presenta una sembradora con la posibilidad de varias especies; sin embargo, la calibración

resulta un problema adicional al no tener pruebas de evaluación para el cálculo de eficiencia de la máquina. La Figura 7 muestra la propuesta de dispositivo de siembra en charolas de germinación.

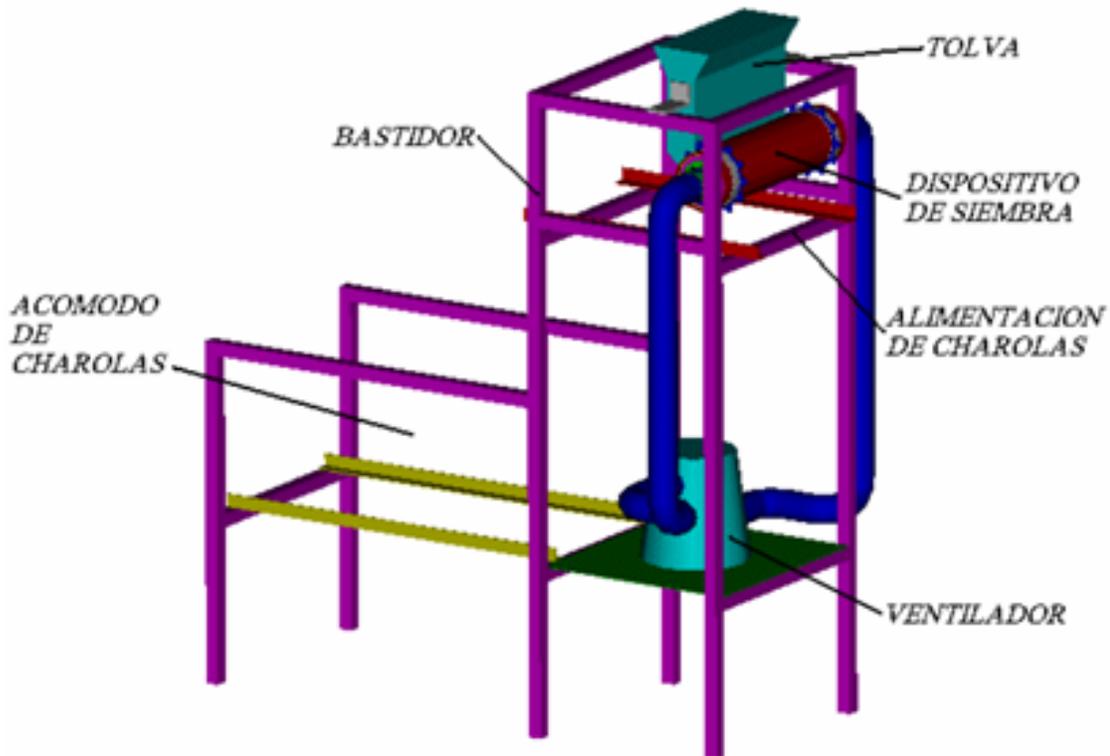


Figura 7: Diseño propuesto en Clavijo (2002)

En Acosta (2014) se presenta el diseño de una máquina automática sembradora de semilla de tomate y pimiento en bandejas de germinación. Al utilizar equipos más complejos para la operación de siembra/germinación como controles lógicos programables (PLC) influyen directamente al costo de la máquina. Adicionalmente, se considera que al elevar la complejidad de operación y el costo elevado se vuelve una herramienta no accesible a establecimientos de pequeña escala. La propuesta logra un 48% de eficiencia según la validación por parte de los autores y reduce el costo de producción suprimiendo varios obreros que realizan la operación de forma manual. La Figura 8 muestra el diseño de la máquina de siembra.

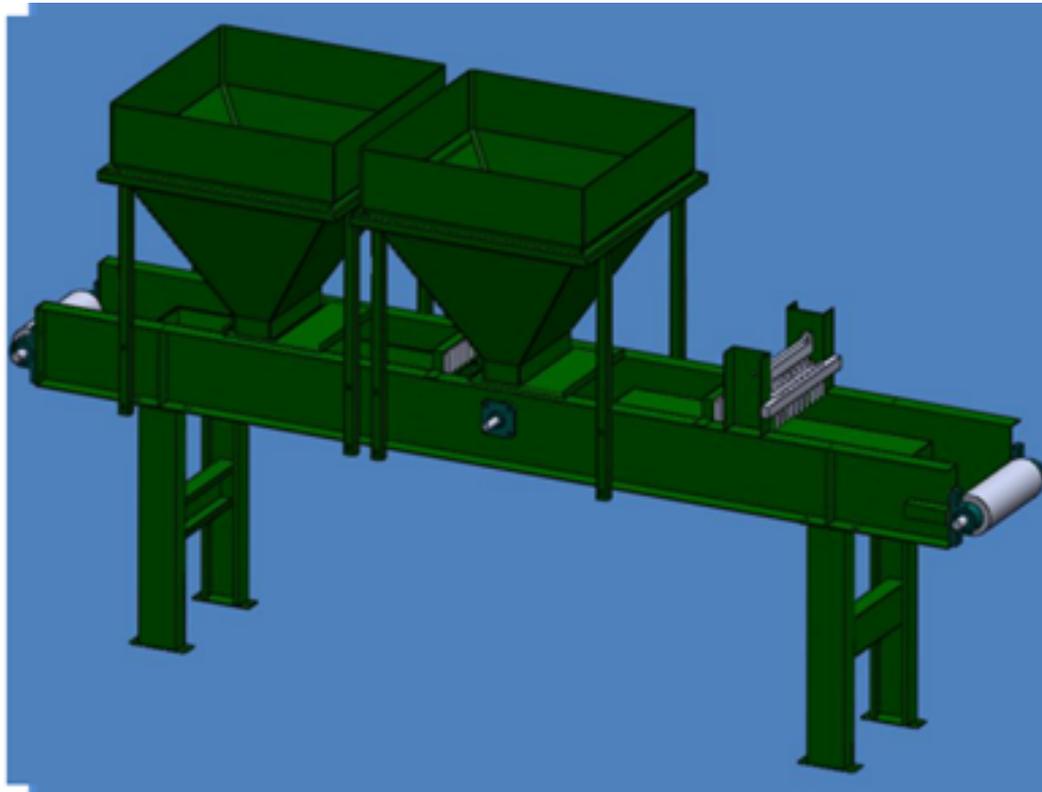


Figura 8: Diseño propuesto en Clavijo (2002)

Dispositivos más compactos como se indica en Guallichico y Rodríguez (2019) se muestra el desarrollo de una máquina sembradora lineal en bandejas de germinación. La propuesta se encuentra automatizada para realiza las operaciones de punzonado, colocación de la semilla y recubrimiento con sustrato con una efectividad del 79.55 % en la colocación de la semilla, 16.1 % de exceso de sustrato y un 4.32 % de cavidades sin semilla. La Figura 9 muestra la construcción de la máquina de siembra, misma que ayudó a reducir el tiempo de siembra del almácigo.

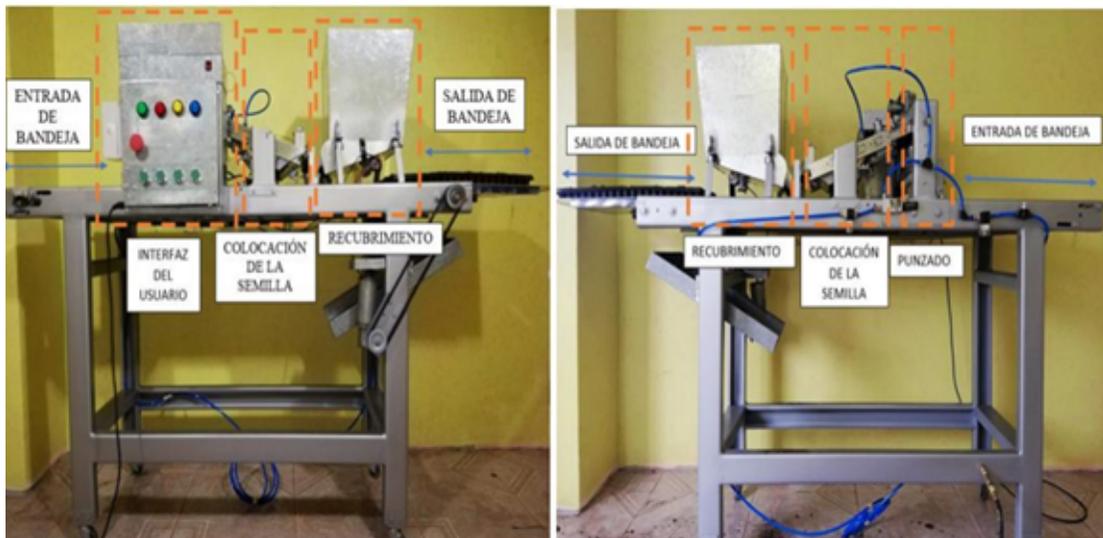


Figura 9: Diseño propuesto en Guallichico y Rodríguez (2019)

Finalmente, se muestran las características especiales de productos industriales disponibles en el mercado como se indica en Urbinati (2021). El dispositivo se encuentra en la capacidad de producir 1700 hileras de semilleros por hora<adicionalmente, la compatibilidad del diseño permite la adaptabilidad del producto a cualquier tipo de bandeja de germinación con un marcador automático incorporado. La Figura 10 muestra el producto mencionado donde es posible observar el tamaño reducido que mantiene; propuestas con características similares tienen un costo elevado. La Tabla 4 muestra las principales características de los equipos de germinación URBINATI.



Figura 10: Diseño propuesto en Urbinati (2021)

Tabla 4: Características equipos URBINATI

| | U.D.M. | SEMSF13 | SEMSF13E | SEMS13 VAR-T |
|--------------------------------|--------------|----------------------------|----------|--------------|
| Producción horaria (máx) | hileras-hora | 1700 | 1700 | 1700 |
| Medidas bandejas (máx) | mm | 600x400 | 750x500 | 400x600 |
| Altura bandejas (máx) | mm | 150 | 150 | 150 |
| Peso | kg | 80 | 85 | 85 |
| Bomba de vacío Sistema Venturi | modelo | M10 | M10 | M20 |
| Consumo aire (máx) | l/min | 190 | 190 | 190 |
| Boquillas incluidas | mm | 0.2 - 0.3 - 0.4 - 0.5 -0.6 | () | () |

8. Marco metodológico

Con respecto al marco metodológico, la descripción y análisis de los diferentes parámetros técnicos, así como consideraciones especiales requeridas por el cliente se muestra en esta sección. Inicialmente se identificarán los parámetros iniciales de diseño mismos que responden a criterios de eficiencia, mantenibilidad, repuestos y funcionalidad. Posteriormente se analizará

el modelo mecánico, electrónico y de control del dispositivo de germinación propuesto el mismo que garantiza el funcionamiento de la operación de siembra de semillas de tomate. Finalmente, diferentes mecanismos de evaluación y el ensamble de la propuesta se muestran al final de la sección, donde es posible observar diversas relaciones matemáticas que permitieron el correcto dimensionado y funcionamiento de la máquina germinadora de semillas de tomate.

8.1. Identificación de parámetros iniciales para el desarrollo de un sistema automático de siembra de semillas de tomate en bandejas germinadoras para aumentar la eficiencia de producción de plántulas.

Para la identificación de los parámetros iniciales considerados dentro de la propuesta de germinación se han seleccionado cuidadosamente aspectos críticos en base a los criterios técnicos y los requerimientos del cliente mismos que se muestran a continuación.

8.1.1. Identificación de parámetros iniciales

Con respecto a los parámetros iniciales, en base a la recopilación bibliográfica en conjunto con la experiencia del propietario se dimensionaron las semillas de tomate adquiridas por parte de la empresa para trabajar con una geometría aproximada dentro de la propuesta; las semillas tienen una medida promedio de $(5x4x2)mm$. Para el espacio de trabajo designado, la propuesta considera realizar la operación de siembra en bandejas de germinación de 8x16 agujeros como se muestran en la Figura 11.



Figura 11: Bandejas de germinación de 8x16 agujeros

Con respecto al funcionamiento eléctrico de la propuesta se considera un sistema de alimentación de energía alámbrico debido a que la operación de germinación se realiza de manera fija; con respecto a la mantenibilidad, la máquina de germinación contempla un diseño basado en módulos normalizados a fin de incorporar, mantener o reducir funcionalidades dentro de la máquina conforma la retroalimentación del usuario.

Con respecto a la protección del equipo, la propuesta ha sido diseñada siguiendo la recomendación de protección IP55 el cual indica que el dispositivo debe ser a prueba de golpes, polvo y salpicaduras de agua durante una operación normal del dispositivo Perez y Javier (2010). Finalmente, para garantizar un mercado amplio de repuestos al momento de realizar un mantenimiento la propuesta contempla elementos de fácil adquisición y disponibles en el mercado local.

Todos los aspectos considerados en la sección buscan garantizar que el equipo de germinación de semillas de tomate realice la operación de punzonado y reduzca así el tiempo de trabajo incrementando la eficiencia de la empresa.

Con respecto al dimensionamiento del tablero de control, la propuesta respeta las recomendaciones de ergonomía basada en la morfología del ser humano al considerar la estatura promedio de las personas en Ecuador. Para la propuesta se estima que el operario se encuentre de pie, lo cual indica la necesidad de dimensionar adecuadamente la altura y el acceso de los

dispositivos de mando tal y como se muestra en la Figura 12 Melo (2009).

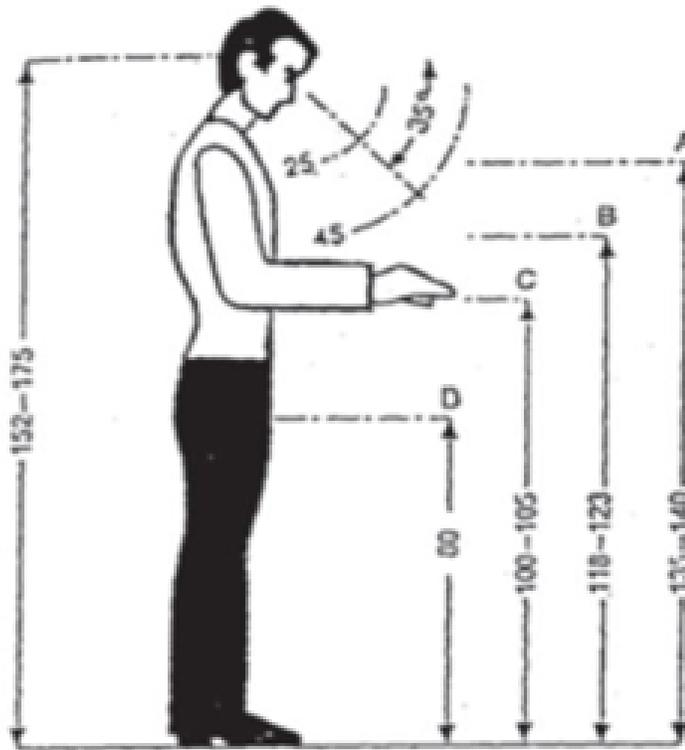


Figura 12: Consideraciones de ergonomía para el diseño del tablero de control Melo (2009)

8.1.2. Restricciones de diseño

Con respecto a las restricciones del diseño la empresa únicamente menciona que desea no basar el diseño del mecanismo de transmisión de movimiento con un sistema de bandas debido a una mala experiencia previa por parte de los operarios. La Figura 13 muestra un sistema de transmisión de movimiento basado en poleas, si bien es una técnica muy utilizada en la industria, requiere varios ajustes de tensión entre las bandas para garantizar un correcto funcionamiento López y colaboradores (2019).

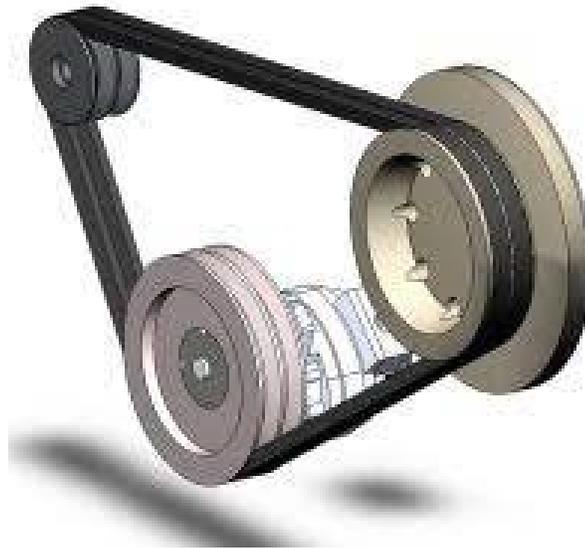


Figura 13: Sistema de transmisión de movimiento basado en bandas López y colaboradores (2019)

8.1.3. Condiciones de uso de la propuesta

Uno de los aspectos más importantes considerados dentro de los parámetros iniciales son las condiciones ambientales de trabajo, la empresa ha proporcionado la información del ambiente de trabajo donde la temperatura no excede los 30 grados celcius y la humedad no excede el 100 %. La Tabla 5 muestra un resumen de las condiciones ambientales de funcionamiento basados en la empresa.

Tabla 5: Condiciones ambientales de operación

| | | | | | |
|--------------------------------------|------|--------------|------|---------------|------|
| Altitud (m.s.n.m.) | | 2228 | | | |
| Temperatura (grados Celcius) | | | | | |
| Mínima | 18.4 | Media | 11.7 | Máxima | 32.2 |
| Humedad relativa (Por ciento) | | | | | |
| Mínima | 52.4 | Media | 78 | Máxima | 91.7 |

8.2. Dimensionamiento de elementos para la propuesta

8.2.1. Relaciones matemáticas del eje de traslación

Para el dimensionamiento del equipo se comienza determinando los esfuerzos generados sobre las rieles de aluminio que esta sometidos a cargas que generan flexión, por lo tanto

considerando la teoría de este tipo de cargas y las propiedades mecánicas del aluminio 6063 mostrados en la Figura 14 se presentan los siguiente cálculos:

| Propiedades Mecánicas | Métrico |
|------------------------------|----------------|
| Dureza | 25 [HBN] |
| Esfuerzo último | 89.6 [Mpa] |
| Esfuerzo de fluencia | 48.6 [Mpa] |
| Módulo de elasticidad | 68.9 [Mpa] |
| Esfuerzo a fatiga | 55.2 [Mpa] |
| Módulo de corte | 25.8 [Gpa] |
| Esfuerzo de corte | 68.9 [Mpa] |

Figura 14: Propiedades mecánicas del aluminio 6063

▪ **Análisis del eje de traslación en X**

En el eje X se utilizó un perfil T-slot de aluminio 4040, el cual tiene las siguientes propiedades mecánicas:

Tabla 6: Propiedades mecánicas del perfil T-slot usado

| Propiedad | Valor |
|-------------------------------|------------------------------|
| Material | Aluminio 6063-T5 |
| Inercia en el eje x (I_x) | $117,760 \times 10^{-9} m^4$ |
| Inercia en el eje y (I_y) | $565,646 \times 10^{-9} m^4$ |
| Longitud | 600 mm |
| Masa | 2.65kg/m |

Para considerar todas las fuerzas involucradas dentro del elemento, en la Figura 15 se muestra el diagrama de cuerpo libre referente a la guía de traslación en el eje x.

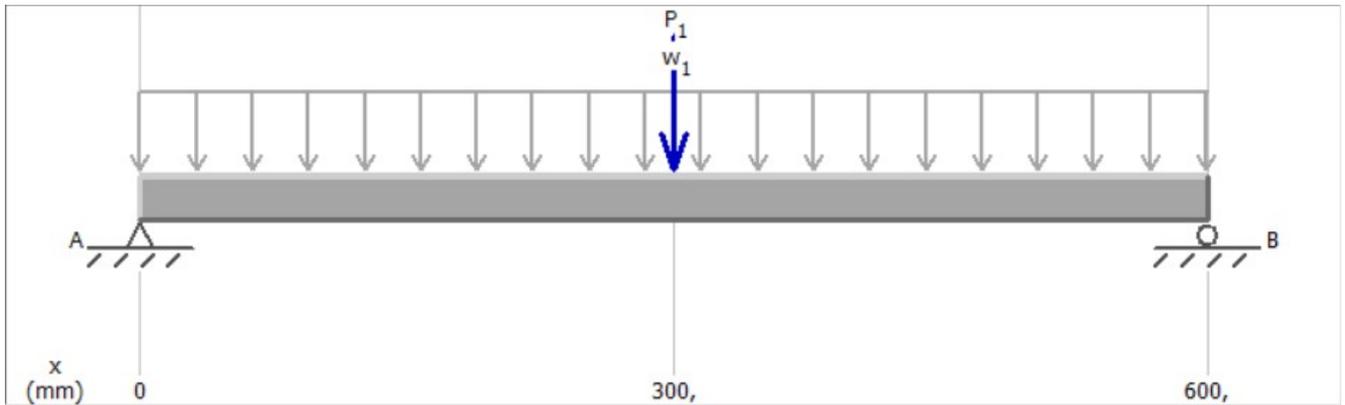


Figura 15: Diagrama de cuerpo libre de la barra

$$\sum F_y = 0$$

$$-F - W + R_B + R_A = 0$$

Para ello se debe considerar que:

$$F = F_{carro} + F_{bandeja} \quad w = w_{guia}$$

$$-(F_{carro} + F_{bandeja}) - w_{guia} + R_A + R_B = 0$$

$$-9,81 \cdot (0,6kg + 1,28kg) - 9,81 \cdot 2,65kg/m \cdot 0,6m + R_A + R_B = 0$$

$$R_A + R_B = 18,4428 + 15,5979$$

$$\sum M_B = 0$$

$$F \cdot (0,3) + w \cdot (0,3) + R_A \cdot (0,6) = 0$$

$$-18,4428 \cdot 0,3 - 15,5979 \cdot 0,3 + R_A \cdot 0,6 = 0$$

$$R_A = 17,02035N$$

$$R_A = R_B$$

Diagrama cortante Para continuar con el análisis es necesario identificar las secciones de la barra, de forma que se pueda plantear las ecuaciones que definen el diagrama cortante; consecuentemente se tiene la Figura 16:

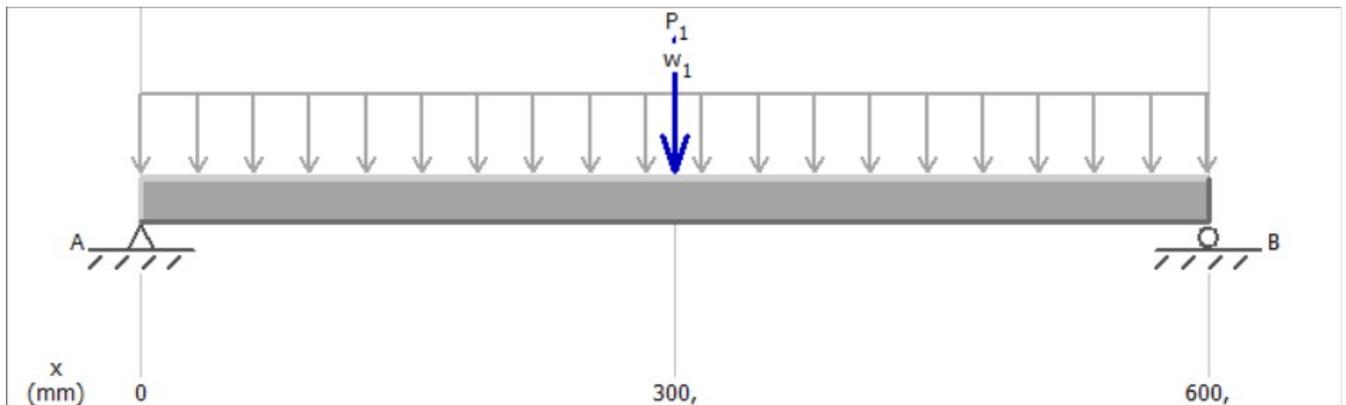


Figura 16: Secciones de análisis de la barra de traslación

Sección A-B

$$V_A = 17,02N$$

$$V_B = 17,02 - 25,5929 \cdot 0,3$$

$$V_B = 9,39N$$

Sección B-C

$$-V_C = -9,34 - 25,5979 \cdot 0,3N$$

$$V_C = -17,02N$$

$$V_B = -17,02 + 17,02$$

$$V_B = 0N$$

Con todas las fuerzas cortantes determinadas en cada una de las diferentes secciones de la barra, se verificò los càculos realizados mediante el software "MDSolids", obteniendo así el diagrama cortante de la Figura 17:

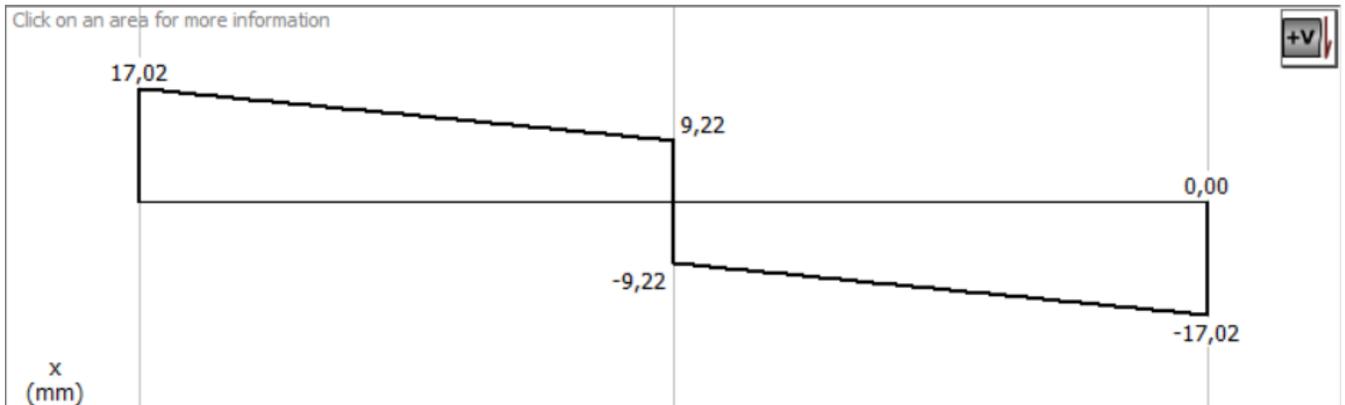


Figura 17: Diagrama cortante para la guía de traslación en x

De manera similar, se procede con el diagrama del momento flector.

Area A-B

$$A_1 = \int V \cdot dx = 9,39 \cdot 0,3 = 1,401 N \cdot m$$

$$A_2 = \int V \cdot dx = -17,02 \cdot 0,3 = 2,555 N \cdot m$$

Area B-C

$$A_3 = \int V \cdot dx = -9,34 \cdot 0,3 = -1,401 N \cdot m$$

$$A_4 = \int V \cdot dx = -17,02 \cdot 0,3 = -2,555 N \cdot m$$

Momentos

$$M_A = 0 \quad N \cdot m$$

$$M_B = 0 + 1,401 + 2,553 = 3,954 \quad N \cdot m$$

$$M_C = 3,454 - 1,4 - 2,553 = 0 \quad N \cdot m$$

De manera similar, se verifica los resultados obtenidos mediante software teniendo así la Figura 18:

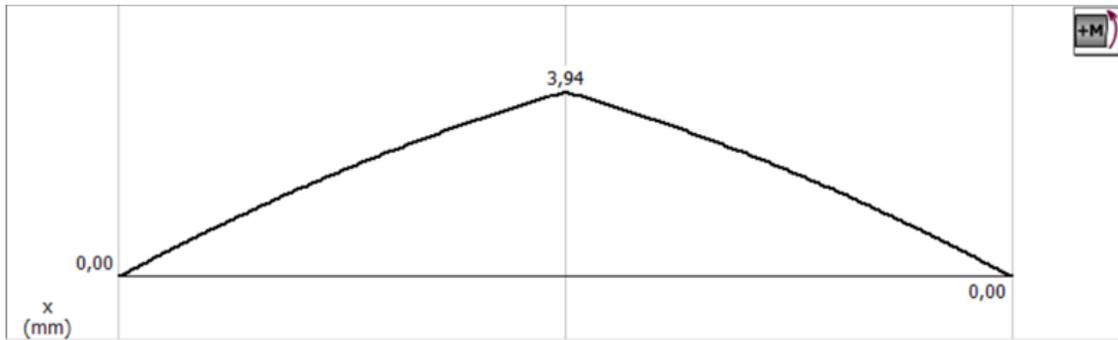


Figura 18: Diagrama de momento flector para la guía de traslación en x

Esfuerzo Máximo

$$\theta_m = \frac{|M| \cdot c}{I}$$

$$\theta_m = \frac{|3,954| \cdot 0,015}{565,646 \times 10^{-9}} = 0,095 MPa$$

Esfuerzo último

$$FS = \frac{\theta_m}{\theta_u}$$

$$\theta_u = 4 \cdot 0,095 = 0,38 MPa$$

Deflexión

$$Y_{max} = -\frac{P \cdot L^3}{48 \cdot E \cdot I}$$

$$Y_{max} = -\frac{(-18,4428) \cdot (0,6)^3}{48 \cdot 68,9 \cdot 565,646 \times 10^{-4}} = 0,0021 mm$$

8.2.2. Relaciones matemáticas de la bancada del eje de siembra

Con respecto al dimensionamiento de la bancada del eje de siembra se procede a analizar los datos generados sobre los rieles de aluminio, mismos que son sometidos a cargas de flexión, respetando las propiedades presentadas en 14 se muestran los cálculos que determinan el esfuerzo generado en el eje. La Figura 19 muestra un esquema del perfil, en términos de distancias, geometrías y perfiles.

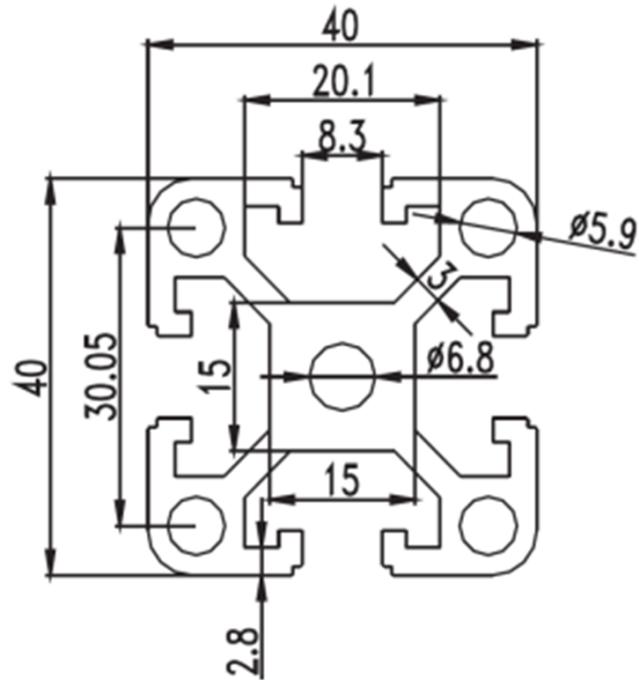


Figura 19: Propiedades mecánicas del aluminio 6063

Análisis estático: Con respecto al análisis estático, la Figura 20 muestra el diagrama de cargas al cual se encuentra sometida la bancada del eje de siembra.

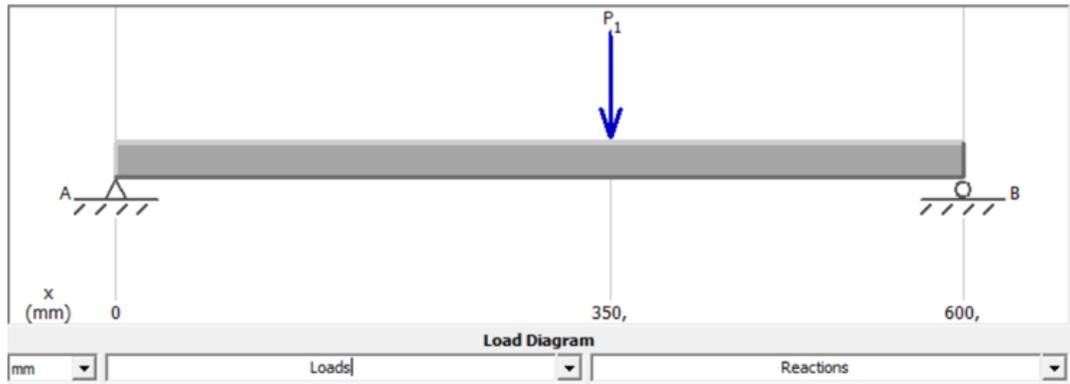


Figura 20: Propiedades mecánicas del aluminio 6063

$$\sum F_y$$

$$-P_1 + R_A + R_B = 0$$

$$R_A + R_B = 19,1295N$$

Adicionalmente:

$$R_B = P_1 - R_A$$

$$R_B = 19,1295 - 7,97$$

$$R_B = 11,16$$

Sumatoria de momentos

$$-R_A(0,6m) + 19,1295(0,25m) = 0$$

$$-R_A(0,6m) = -19,1295N(0,25m)$$

$$R_A = \frac{19,1295N(0,25m)}{0,6m}$$

$$R_A = 7,97N$$

Diagrama cortante

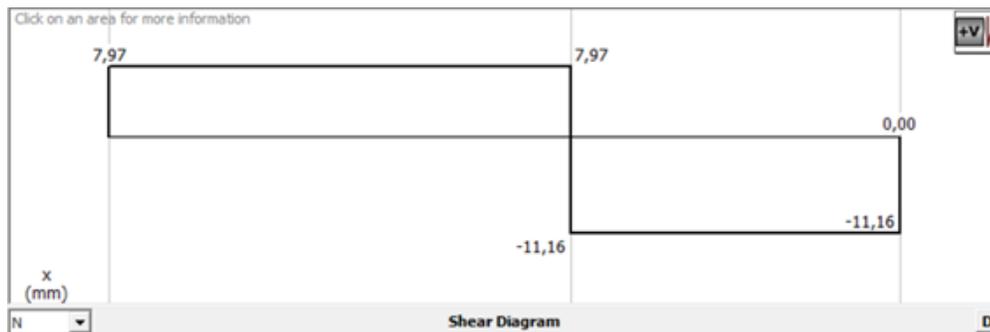


Figura 21: Propiedades mecánicas del aluminio 6063

Sección A-B

$$V_A = 7,97$$

$$V_B = 7,97N - 19,3N$$

$$V_B = -11,16N$$

Sección B-C

$$V_C = -11,16 + 11,16$$

$$V_C = 0N$$

Diagrama flector

Áreas A-B

$$A_1 = \int V dx = 7,97(0,35)$$

$$A_1 = 2,7895 Nm$$

Áreas B-C

$$A_1 = \int V dx = 11,16(0,25)$$

$$A_1 = 1,9925 Nm$$

Momentos

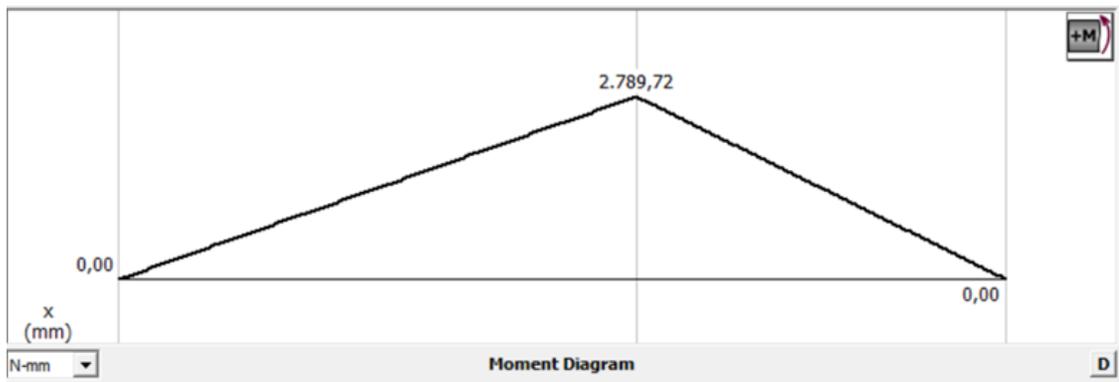


Figura 22: Propiedades mecánicas del aluminio 6063

$$M_A = 0 Nm$$

$$M_B = 0 Nm + 2,7895 Nm - 4,782 Nm$$

$$M_C = -2,7895 Nm$$

Esfuerzo máximo

$$\Theta_m = \frac{|M_C|}{I}$$

$$\Theta_m = \frac{|2,7895|0,020}{81,407 * 10^{-4}}$$

$$\Theta_m = 0,685 MPa$$

Factor de seguridad de la bancada del eje de siembra

$$FS = \frac{\theta_u}{\Theta_m}$$

$$FS = 3$$

Deflexión

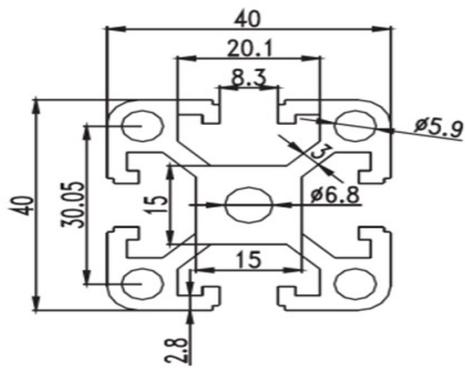
$$Y_{max} = -\frac{PL^3}{48EI}$$
$$Y_{max} = -\frac{19,1295(0,6m)^3}{4868,981,407x * 10^{-9}}$$
$$Y_{max} = 0,015$$

8.3. Diseño modular

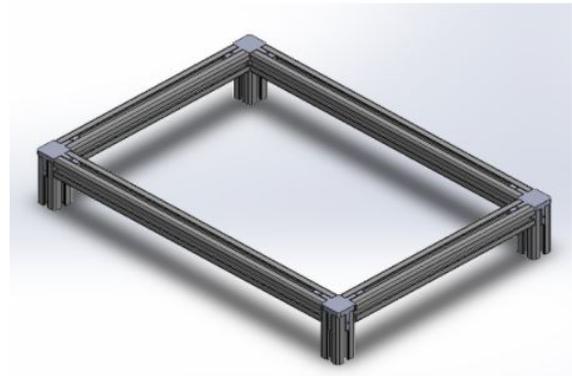
Con respecto al diseño modular, la propuesta de una máquina sembradora de semillas de tomate contempla un diseño basado en el criterio de módulos. Un módulo base, así como un módulo de guía lineal han sido incorporados; con respecto al mecanismo de siembra, se contempla un equipo basado en el principio de succión en vacío para realizar la operación mencionada. Esta sección detalla a profundidad las características y funcionalidades de cada uno de los módulos establecidos, así como del diseño del dispositivo de siembra y sus métodos de evaluación.

8.3.1. Módulo base

El módulo base es el encargado de dar soporte a todos los componentes de la estructura y los módulos restantes, también tiene la capacidad de poder ser calibrada a nivel para que el operario pueda adaptar su funcionamiento a diferentes tamaños de bandejas. Adicionalmente el módulo está construido con perfiles de aluminio 6063 T5 de 40x40 mm, ver Figura 23a, unidos por medio de 4 acoples de equina de 40x40 y 8 ángulos, principalmente por su alta resistencia mecánica y conformabilidad, que generalmente son usados en máquinas industriales de precisión. En la Figura 23b, se puede ver el módulo base diseñado.



(a) Perfil de aluminio 6063 T5



(b) Perspectiva del módulo base diseñado

Figura 23: Diseño del módulo base

Fuente: Autores

8.3.2. Módulo guía lineal

Para el movimiento lineal del dispositivo de siembra se consideran como opción 3 mecanismos que utilizan diferentes métodos de transmisión y son: tuerca-husillo, piñón-remallera y bandas transportadoras, cada uno se puede visualizar en la Figura 25.

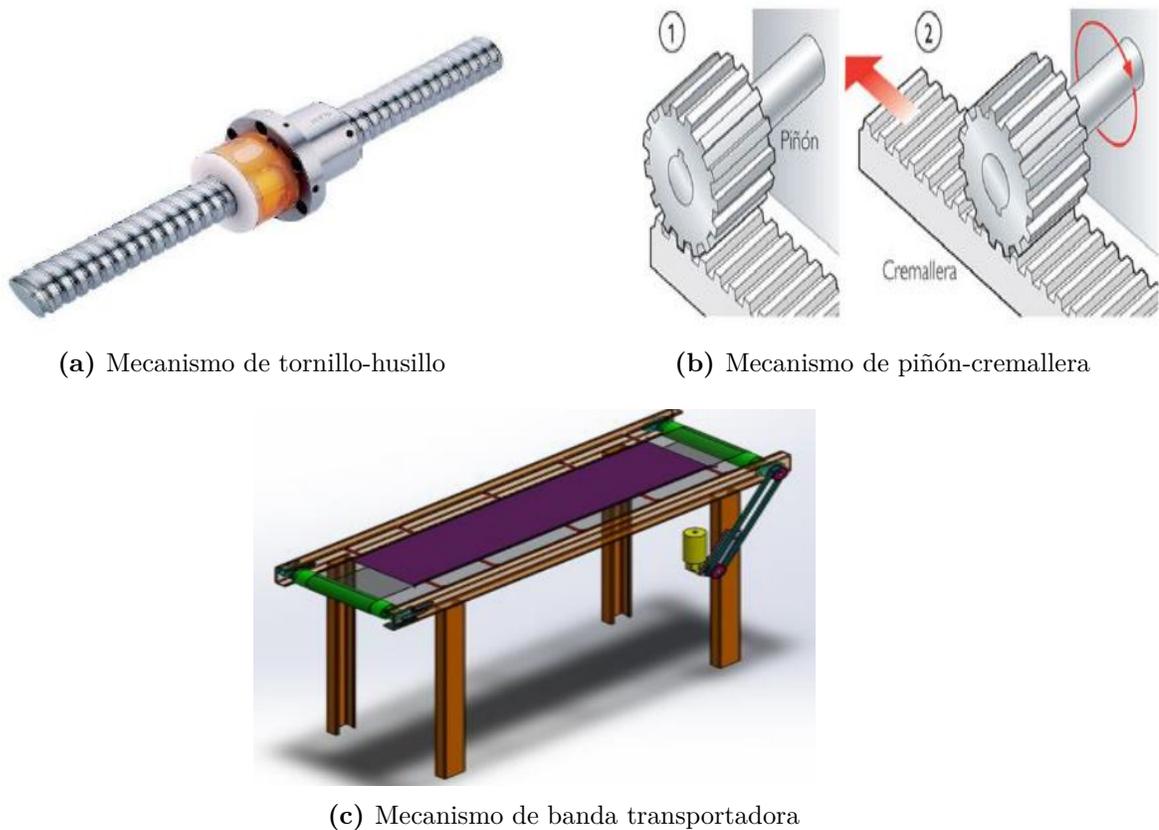


Figura 24: Mecanismos de transmisión de movimiento lineal

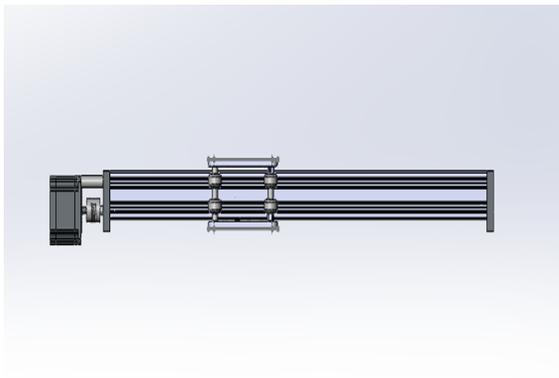
Fuente: Urbinati (2021)

A continuación en la Tabla 7, se indican las ventajas y desventajas de cada uno de estos con el fin de seleccionar una opción pertinente:

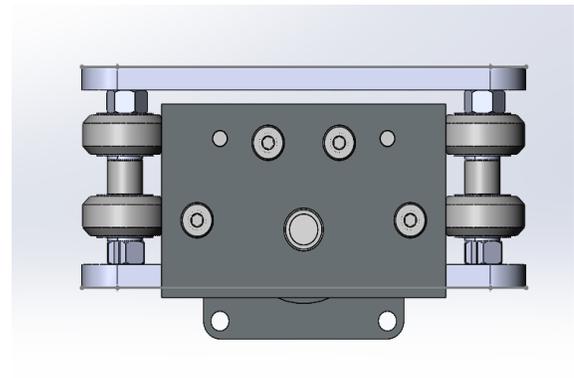
Tabla 7: Comparativa entre los diferentes mecanismos de transmisión de movimiento lineal

| Tipo de mecanismos para movimiento lineal | | | |
|---|---|--|--|
| Mecanismo | Principio de funcionamiento | Ventajas | Desventaja |
| Tuerca-husillo | Transforma el movimiento rotacional del tornillo en movimiento lineal por medio de una tuerca que se desplaza longitudinalmente a lo largo de este. | <ul style="list-style-type: none"> Tornillos con roscas cuadradas tienen un mayor rendimiento y eficiencia. Tornillos con roscas trapezoidales son de fácil fabricación y presentan mayor resistencia. | <ul style="list-style-type: none"> Costos elevados de fabricación existen juegos mínimos entre el tornillo y la tuerca |
| Piñón-cremallera | Consiste en un eje acoplado con un piñón el mismo que se engrana con los dientes de una barra prismática que se desplaza longitudinalmente. | <ul style="list-style-type: none"> Transmisión suave y con precisión con potencias elevadas. además de tener una alta relación de transmisión | <ul style="list-style-type: none"> Su costo es mucho mas elevado que otros sistemas de transmisión |
| Banda transportadora | Movimiento de una cinta por medio de rodillos accionados por un motor eléctrico. | <ul style="list-style-type: none"> Permite el transporte a mayores distancias. | <ul style="list-style-type: none"> Son de gran tamaño Mayor dificultad de construcción y costos mas elevados |

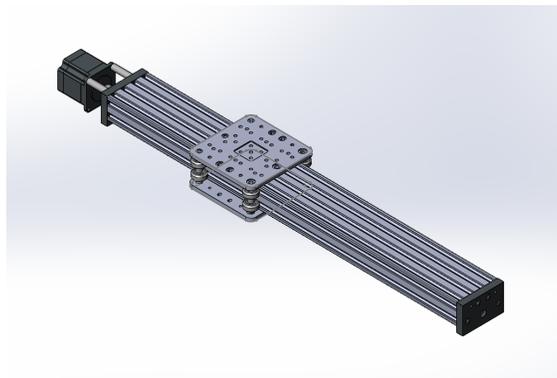
Considerando que el proceso requiere una precisión elevada y el cliente descartó por completo el uso de bandas transportadoras por motivos de calibración, el mecanismo de movimiento a implementar será por medio de un tornillo sinfin. Al igual que el módulo de soporte estructural, las guías de movimiento de la mesa se realizarán en perfiles V slot, que están fabricados de aluminio 6063-T5 debido a que su superficie permite el uso de una rueda que reduce la fricción teniendo un movimiento mas suave. De este modo, en la figura 25 se puede ver el sistema de guias lineales diseñado para el movimiento de la mesa:



(a) Vista lateral de la guía de movimiento de la mesa



(b) Vista frontal de la guía



(c) Perspectiva de la guía de movimiento de la mesa

Figura 25: Mecanismo de movimiento lineal para la guía de la mesa del equipo

Fuente: Autores

8.4. Dispositivo de siembra

El mecanismo de siembra debe cumplir con dos funciones principales: el punzonado del sustrato y la colocación de la semilla en cada cavidad de manera precisa, para ello se pueden considerar dos opciones principales, que son:

- **Sistema de siembra por tambores rotativos:** Como se puede ver en la figura 26, este sistema esta conformado por dos tambores, uno que se encarga del punzonado al alinear las cavidades de la bandeja con las almohadillas de aluminio ubicados al contorno del tambor y el segundo que coloca la semilla utilizando un sistema neumático que absorbe la semilla hacia orificios marcados en el tambor, de modo que a medida que este gira deja caer las semillas hacia la cavidades de la bandeja.

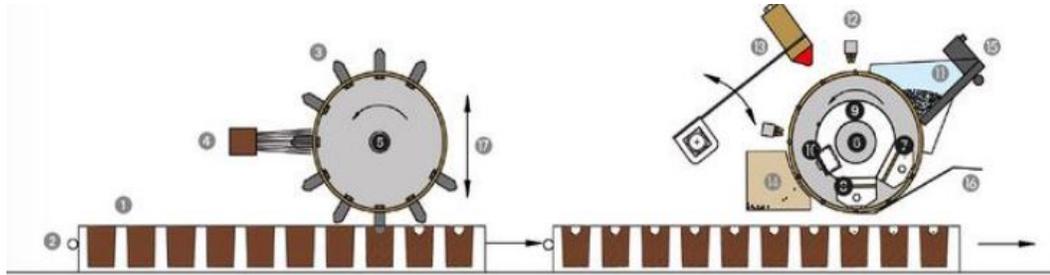


Figura 26: Sistema de siembra por medio de tambores rotativos

Por otro lado, en la Tabla 8 se puede observar las ventajas y desventajas que conlleva el uso de este tipo de mecanismo:

Tabla 8: Ventajas y desventajas que conlleva el uso del sistema de siembra por tambores rotativos.

| Sistema de sembrado por medio de tambores rotativos AgriEXPO (2020) | |
|---|--|
| Ventajas | Desventaja |
| <ul style="list-style-type: none"> • Sistema robusto y fiable con un alto índice de siembra efectiva por bandeja ingresada | <ul style="list-style-type: none"> • Costos de funcionamiento elevado por la cantidad de mecanismos que integra |
| <ul style="list-style-type: none"> • Optimiza el tiempo de trabajo de la máquina | <ul style="list-style-type: none"> • El volumen de trabajo ocupado es grande |
| <ul style="list-style-type: none"> • Permite usar bandejas de diferentes tamaños, con distancias entre cavidades similares | <ul style="list-style-type: none"> • Requieren mayor número de actuadores y sensores |
| <ul style="list-style-type: none"> • Nulo desperdicio de semillas, debido al sistema de recolección de excesos | <ul style="list-style-type: none"> • El sistema de transporte de bandejas continuo obliga a utilizar cintas transportadoras |
| <ul style="list-style-type: none"> • Bajo nivel de mantenimiento preventivo | |

- **Sistema de siembra por boquillas:** como se ve en la Figura 27 consiste en un conjunto

de boquillas acopladas a un tubo de dosificación, el mismo que sujeta las semillas del plato de almacenamiento mediante succión; adicional a ello, el kit de boquillas están complementadas con una barra de punzonado que perfora el sustrato en la cavidades de la bandeja, permitiéndole a este sistema realizar las dos operaciones de forma simultánea.

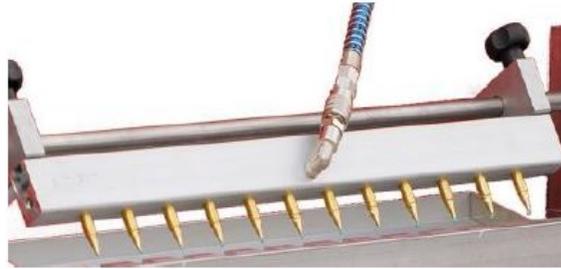


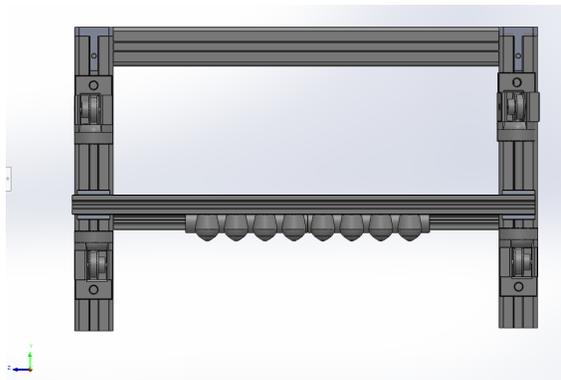
Figura 27: Sistema de siembra por medio de boquillas AgriEXPO (2019)

De la misma manera, en la Tabla 9 se pueden apreciar las ventajas y desventajas que conllevan la implementación de este sistema:

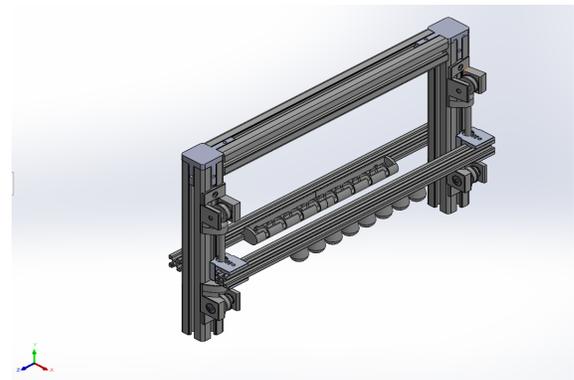
Tabla 9: Ventajas y desventajas del uso del sistema de siembra por boquillas

| Sistema de sembrado por medio de boquillas | |
|--|--|
| Ventajas | Desventaja |
| <ul style="list-style-type: none"> • Sistema compacto y liviano, que no requiere de grandes componentes para su fabricación | <ul style="list-style-type: none"> • Tiempo de siembra es mayor por unidad de bandeja |
| <ul style="list-style-type: none"> • Configuración personalizada de acuerdo a los requerimientos del usuario | <ul style="list-style-type: none"> • Pueden existir pérdidas de semillas en el proceso de succión con boquillas |
| <ul style="list-style-type: none"> • Bajo costo de fabricación y rápida implementación. | |

Con estas consideraciones y por temas de facilidad de fabricación y costo beneficio, se escoge el sistema de boquillas. De tal modo, que el módulo se encarga del manejo y colocación de las semillas, siendo conformado por un recipiente donde se colocaran las semillas a ser sembradas, una sección de punzonado donde se realiza una pequeña cavidad, y finalmente tenemos las cámaras de vacío las cuales sujetaran las semillas desde el recipiente y colocaran en la bandeja germinadora. Teniendo como resultado el diseño de la Figura 28:



(a) Vista frontal del módulo de siembra diseñado



(b) Perspectiva del módulo de siembra diseñado

Figura 28: Diseño del módulo base

Fuente: Autores

8.5. Diseño Mecatrónico de la propuesta

8.5.1. Diseño Mecánico

El diseño mecatrónico de la maquinaria de siembra de semillas de tomate incorpora tecnología modular, misma que se muestra en la Figura 29, donde en conjunto con los criterios emitidos en las secciones anteriores, es posible visualizar la interacción de los diferentes componentes de la maquinaria. En este caso, la vista en perspectiva permite visualizar el módulo base, el módulo guía y el dispositivo de siembra.

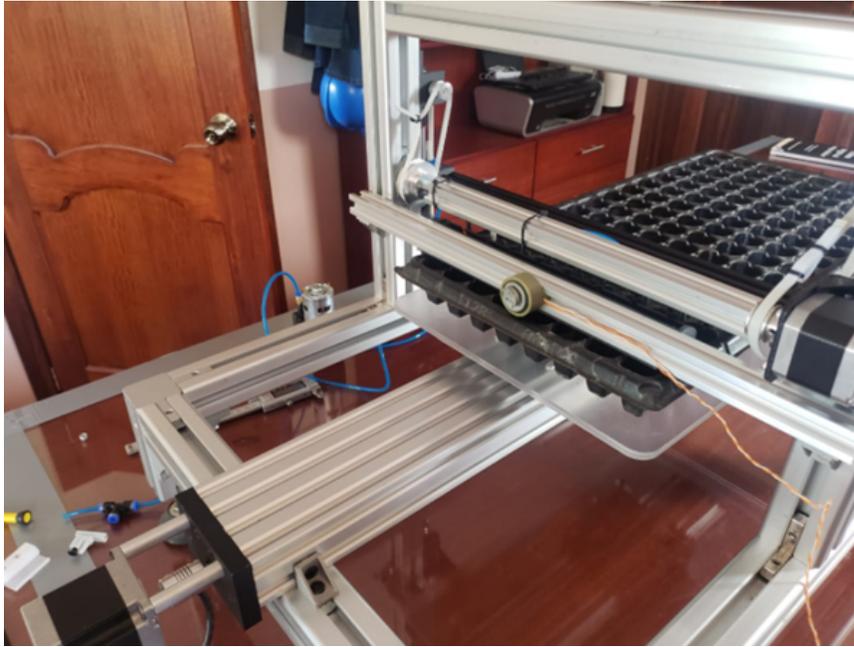


Figura 29: Modelo mecánico de la propuesta (módulo base + módulo lineal)

Por otro lado, la Figura 30 muestra la vista posterior de la maquinaria propuesta, en la imagen es posible observar el dispositivo de siembra en modo de operación, donde realiza la tarea de siembra automática en la bandeja seleccionada por el operario.



Figura 30: Modelo mecánico de la propuesta (Dispositivo de siembra).

8.5.2. Diseño electrónico

El diseño electrónico de la propuesta contempla la interacción entre sensores, actuadores, así como de elementos de mando y señalización. La propuesta considera cinco diferentes tipos de entradas como: botón de inicio de operación, botón de paro de operación, botón para habilitar el sensor de reconocimiento de posición del motor, 3 fin carrera a fin de detener los motores en caso de un desarrilamiento y una entrada adicional para la señal de la posición del motor.

Entre las salidas consideradas para la propuesta es posible destacar: dos salidas para los driver del motor de pasos, una electroválvula 3/2 NC para la activación de la bomba de vacío, dos motores de vibración para el alimentador de las semillas, un display LCD para visualizar el estado de las operaciones de la máquina y un buzzer con la finalidad de alertar el operario por posibles eventualidades durante el proceso de siembra de semillas de tomate. La Figura 34 muestra el circuito de la propuesta donde es posible visualizar la interacción de las diferentes entradas/salidas del microcontrolador así como los pines disponibles para los actuadores y el sistema de alimentación de la máquina.

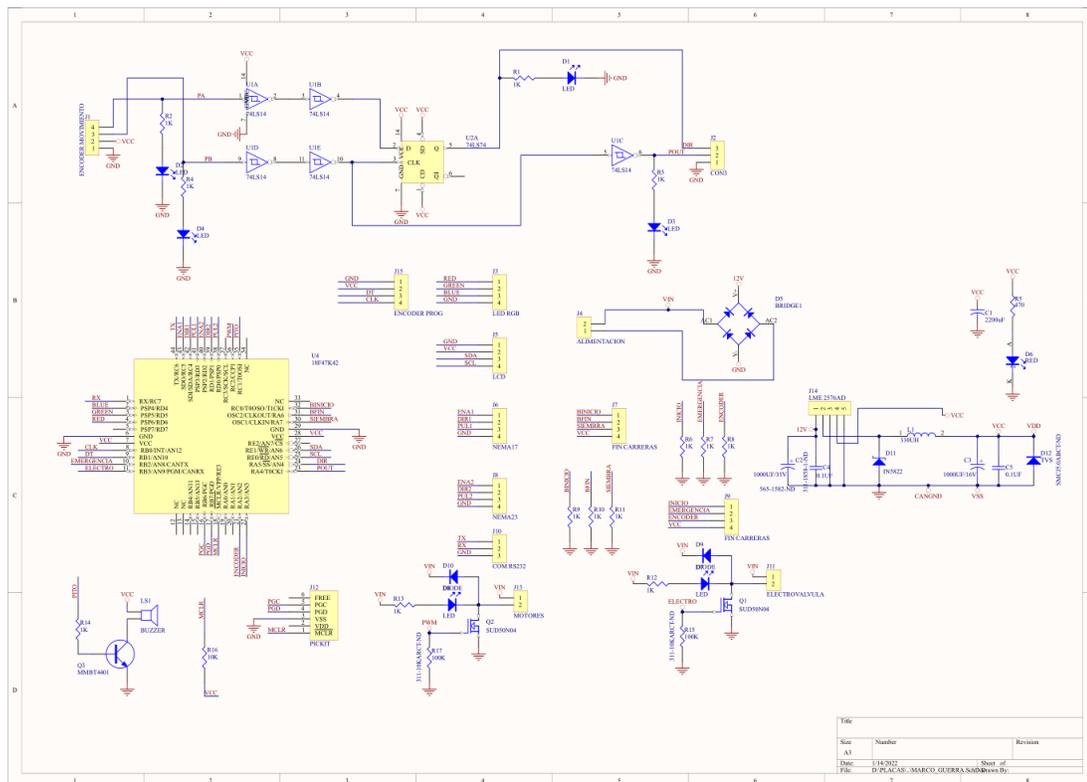


Figura 31: Diseño del circuito de la propuesta.

La tarjeta electrónica de la máquina propuesta incorpora una fuente de alimentación de 12 voltios para el área de potencia complementado por un rectificador de 5 voltios para el sistema de control, mismo que se compone por un microcontrolador PIC 18F47K42, siete entradas digitales activas, un encoder, tres pulsantes y tres fin carrera configurados como pull-up, a fin de reconocer un desarrilamiento. Las salidas del sistema necesarias para el funcionamiento de la propuesta son 15, entre ellas es posible destacar 6 salidas de datos para los controladores de los motores paso a paso; una salida digital compuesto de una configuración de un transistor como colector común para asegurar el voltaje de alimentación hacia la electroválvula sea el adecuado; finalmente, una salida para los motores de vibración, seis salidas para la comunicación de la pantalla LCD y una salida digital con transistor común para activar el buzzer ha sido seleccionada. La Figura 32 muestra el diseño de la tarjeta electrónica, donde es posible visualizar los elementos de conexión, mismas que permiten un acceso fácil para la persona encargada del posterior mantenimiento de la maquinaria.

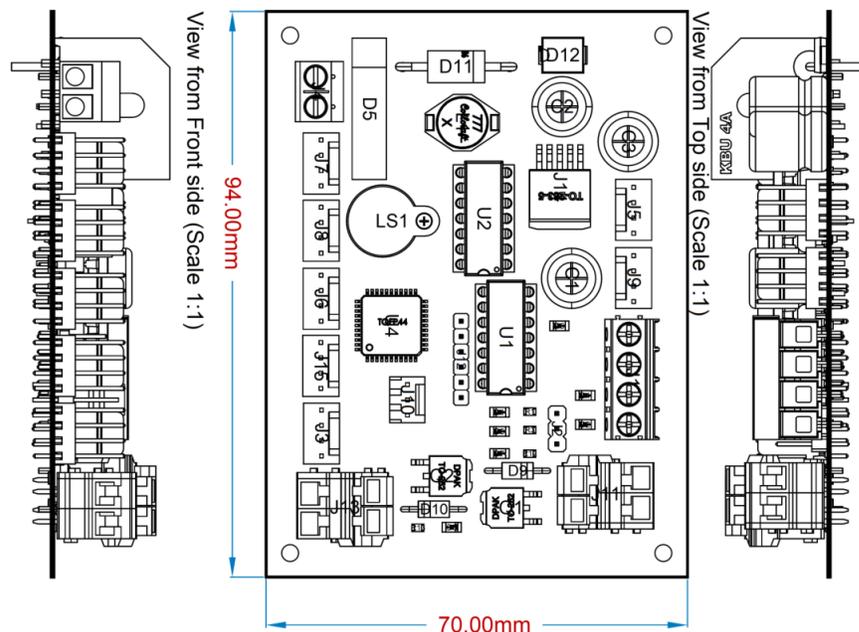


Figura 32: Diseño de la tarjeta electrónica de la propuesta.

Finalmente, la vista 3D de la tarjeta electrónica impresa se la propuesta se muestra en la Figura 33, donde es posible apreciar una vista real de la placa PCB.

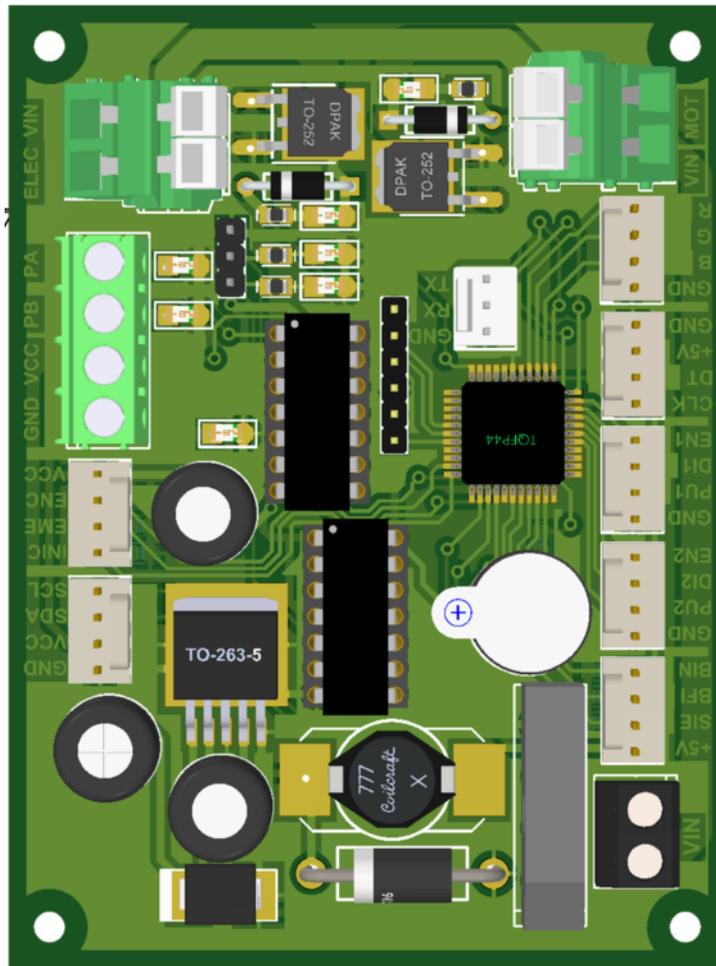


Figura 33: Tajeta electrónica impresa de la propuesta.

8.5.3. Diseño de control

El diseño de control de la máquina sembradora de semillas de tomate se fundamenta en la teoría de control descrita en Dorf (2005) y Kuo (1996). LA teoría de control al ser un campo multidisciplinario permite modelar el comportamiento de sistemas dinámicos con la finalidad de regular su salida, es decir, amplificar o reducir su capacidad de respuesta en función de un parámetro de referencia.

La Figura 34 muestra el esquema de regulación propuesto para los motores, mismo que se encargan de controlar la posición de los ejes, en este caso, del dispositivo de siembra mismo que incorpora esta funcionalidad como mecanismo de desplazamiento.

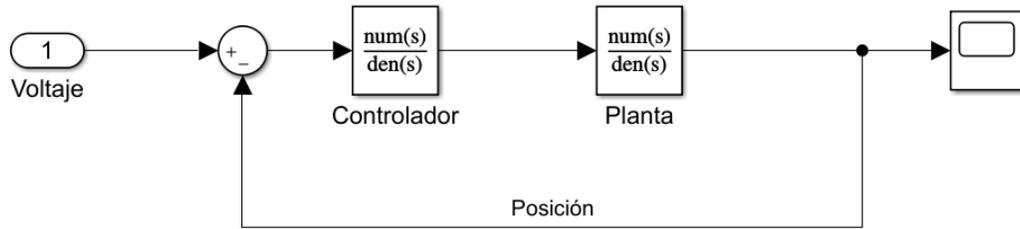


Figura 34: Esquema de control de la propuesta.

9. Resultados

9.1. Simulaciones

En siguiente apartado se mostrarán las simulaciones referentes al sistema mecánico para verificar el esfuerzo promedio y las deformaciones de la estructura bajo la acción de las diferentes cargas.

9.1.1. Análisis de esfuerzo promedio de los módulos

En la Figura 35 se puede apreciar el esfuerzo de Von Mises a lo largo de toda la estructura bajo la acción de las cargas aplicadas; como se observa el esfuerzo generado es mínimo en gran parte del cuerpo y alcanza una magnitud de 32 Pa, por otro lado, las zonas más críticas son las uniones soldadas de las vigas verticales donde el esfuerzo alcanza valor de 259.5 kPa: sin embargo, comparado con el de fluencia del aluminio 6063 T5, que es de 165 MPa, no representa mayor peligro para el funcionamiento de la máquina.

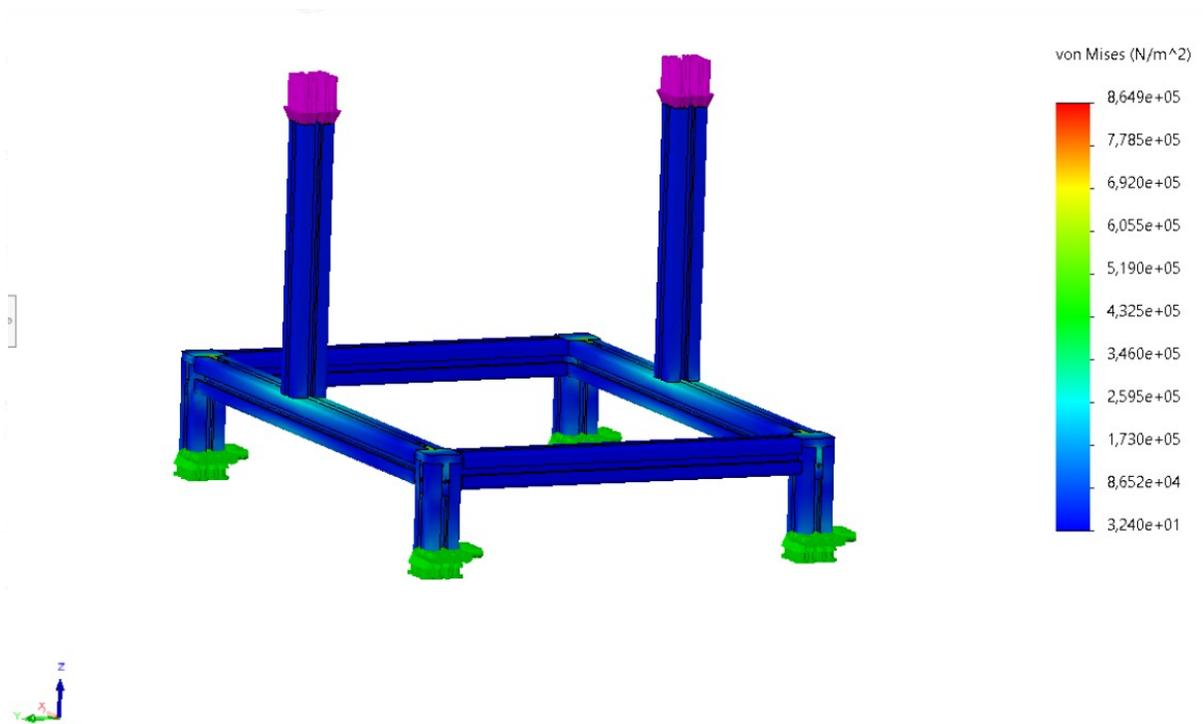


Figura 35: Esfuerzo de Von-Mises de los puntos de soporte de la base

De manera similar sucede con la deformación total de los elementos, como los esfuerzos generados son bastante pequeños no generan una deformación considerable o que puede representar un riesgo que comprometa el funcionamiento de la máquina, como se puede notar la deformación mas grande que presenta el equipo es de 6 micras, deformación que puede permitirse dentro de este proceso.

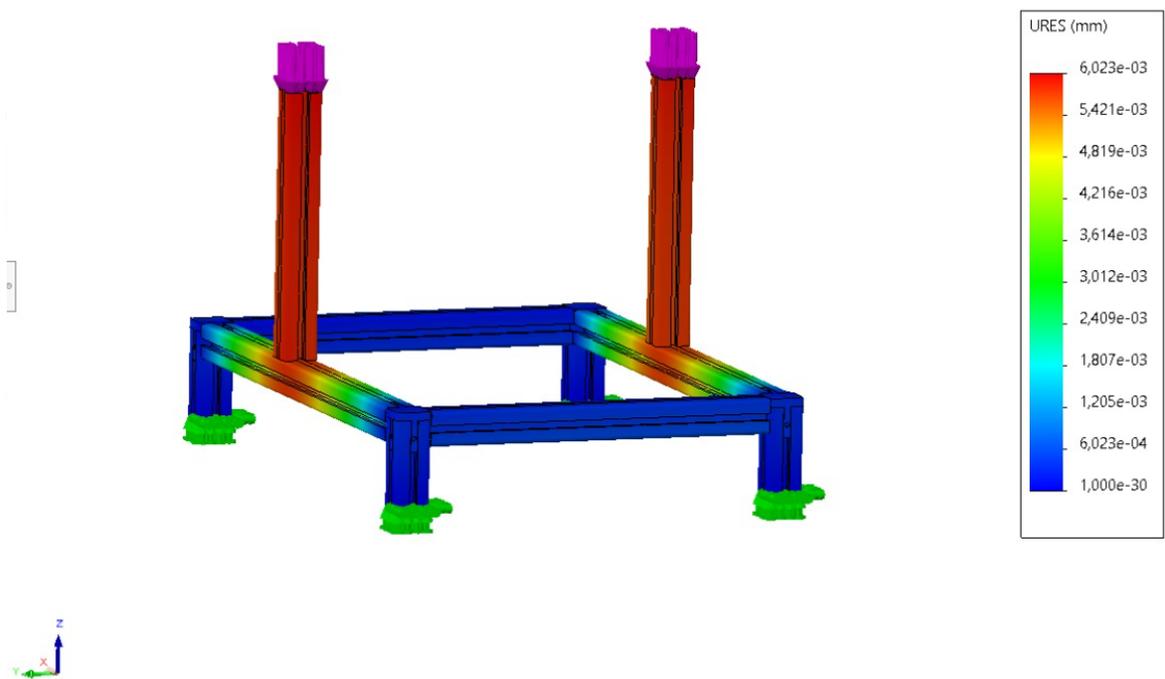


Figura 36: Deformaciones en los elementos del soporte base generado por los esfuerzos

9.1.2. Análisis del tren de movimiento

De igual forma, en la Figura 37 se puede apreciar el esfuerzo de Von Mises a lo largo de la estructura; en gran parte de esta los esfuerzos no sobrepasan los 45 Pa, sin embargo, en la zona central de la riel, donde existe la mayor flexión mas las uniones esquineras de la estructura los esfuerzos son mas elevados alcanzando valores entre 157.4 y 236.1 kPa, pero al igual que el caso anterior, no son esfuerzos que representen mayor riesgo para el conjunto, puesto que el esfuerzo de fluencia del aluminio es de 165 MPa.

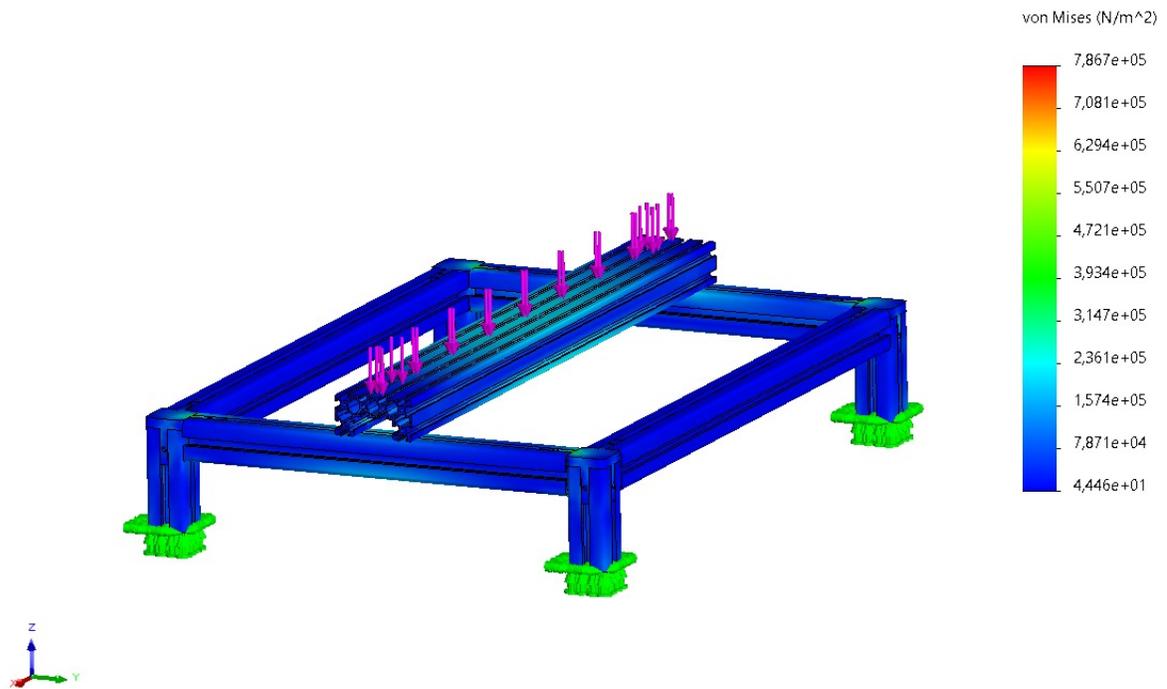


Figura 37: Análisis de los esfuerzos de Von mises en el tren de movimiento.

Para las deformaciones se tiene un caso similar, como se puede ver la Figura 38 los esfuerzos no generan valores que representen deformaciones críticas para el tren de movimiento, el máximo valor alcanzado es de 9 micras, que para este caso se puede considerar despreciable y que no interviendra de ninguna manera en particular dentro del conjunto de movimiento de la máquina.

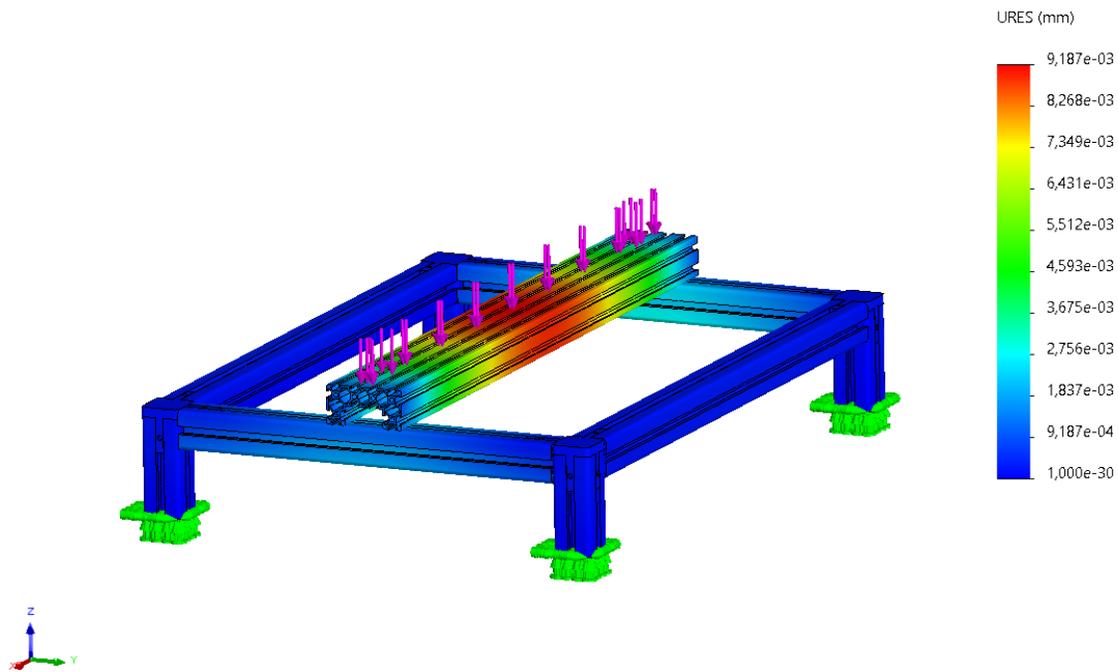


Figura 38: Análisis de deformación del tren de movimiento.

De manera global, se puede decir que los esfuerzos generados en toda la máquina no son puntos que condicionen de manera particular el funcionamiento de la misma, incluso se podría considerar que existe un sobredimensionamiento, por lo tanto con el motivo de reducir costos, optimizar equipos y materiales, se puede pensar en la posibilidad de utilizar perfiles de menor tamaño.

9.1.3. Análisis del tiempo del proceso de siembra

En la Tabla 10 y Tabla 11 es posible apreciar el tiempo de siembra de dos operarios, en diferentes horas del día, bajo condiciones de trabajo normales, es posible observar el tiempo de siembra promedio en la mañana es de 84.2 segundos, siendo el mismo resultado para los dos obreros, conforme pasa el día se puede distinguir que, a las 2 de la tarde, el obrero uno aumenta el tiempo de siembra a 87.12 segundos, al igual que el obrero dos su tiempo incremento a 87.88. Finalmente, a las cuatro de la tarde vuelve a subir el tiempo del proceso de siembra de ambos operarios; es posible observar el tiempo se siembra de los obreros conforme pasa el día aumenta, disminuyendo la eficiencia, del proceso, generando problemas en los operarios como, estrés y la fatiga al realizar trabajos repetitivos, durante largas sesiones de trabajo. El tiempo del proceso de siembra de la máquina se aproxima a 70 segundos, por

cada bandeja, y se mantiene no importa las condiciones que se encuentre, en base a los datos recopilados se ha realizado un análisis de eficiencia del sistema con respecto a los operarios en cada hora, como se puede observar en la Tabla 12, donde se ha podido determinar la eficiencia mínima es de 120 %.

Tabla 10: Tiempo de siembra obrero uno

| Hora/Tiempo de Siembra [s] | 9:00 AM | 2:00 PM | 4:00 PM |
|-----------------------------------|----------------|----------------|----------------|
| 1 | 85,33 | 86,24 | 87,04 |
| 2 | 84,4 | 87,92 | 87,92 |
| 3 | 85,44 | 86,24 | 89,44 |
| 4 | 83,84 | 87,84 | 87,84 |
| 5 | 81,96 | 88 | 88 |
| 6 | 84 | 86,4 | 87,04 |
| Promedio | 84,2 | 87,12 | 87,88 |

Tabla 11: Tiempo de siembra obrero dos

| Hora/Tiempo de Siembra [s] | 9:00 AM | 2:00 PM | 4:00 PM |
|-----------------------------------|----------------|----------------|----------------|
| 1 | 85,39 | 87,04 | 91,2 |
| 2 | 84,54 | 87,92 | 90,4 |
| 3 | 85,58 | 89,44 | 88,4 |
| 4 | 84,34 | 87,84 | 91,04 |
| 5 | 85,66 | 88 | 92 |
| 6 | 84,2 | 87,04 | 91,84 |
| Promedio | 84,96 | 87,88 | 91,12 |

Tabla 12: Resultados cálculos de eficiencia

| | | | |
|---------------------|--------|--------|--------|
| Eficiencia 1 | 120,28 | 124,45 | 125,54 |
| Eficiencia 2 | 121,37 | 125,54 | 130,17 |

10. Conclusiones

Con respecto al diseño y construcción de un sistema de sembrado automático para semillas de tomate en bandejas de germinación es posible definir un funcionamiento adecuado en términos de eficiencia; además, gracias al correcto dimensionamiento de la propuesta basada en criterios técnicos ha sido posible reducir la operación manual de siembra, mismo que se refleja en un incremento de la producción del área operativa de la empresa.

Conclusión 1

En cuanto a la operación de siembra, la empresa beneficiaria ha podido identificar un incremento en el ratio de éxito de siembra de semillas de tomate, esto debido a la flexibilidad de la propuesta al momento de incorporar las semillas en diferentes tipos de bandejas comerciales; adicionalmente, el diseño utilizado para realizar la sujeción de la semilla aumenta la cantidad de semillas sembradas.

Conclusión 2

Con respecto al diseño mecatrónico de la propuesta, la máquina ha sido configurada y dimensionada en función de elementos normalizados y comerciales dentro del entorno lo cual garantiza la posibilidad de adquirir refacciones en el caso de la falla de cualquiera de los mecanismos considerados.

Conclusión 3

En cuanto a la capacidad operativa del sistema de semillas de tomate en bandejas de germinación, la propuesta disminuye el tiempo de producción de plántulas, aumentando la eficiencia 120 %, lo cual es un indicativo de eficacia dentro de la empresa.

11. Recomendaciones

- Considerar los tiempos de importación de tecnología, debido al tiempo de desarrollo de la propuesta la entrega dentro de los tiempos puede verse comprometida.
- Recopilar información de datos históricos de la empresa en términos de producción a fin de proponer nuevos mecanismos que agilicen la operación de siembra.

Referencias

- Acosta, C. (2014). *Diseño y construcción de una máquina automática sembradora de semillas de tomate y pimiento en bandejas de 50x28.2 cm en el proceso de producción de plántulas*. Universidad Técnica del Norte.
- AgriEXPO (2019). Sembradora para bandejas automática ggscx-750. <https://www.agriexpo.online/es/prod/jiangsu-grow-green-agriculture-co-ltd/product-188736-131720.html>. Accedido 09-01-2021.
- AgriEXPO (2020). Sembradora para bandejas semiautomática sa-10. <https://www.agriexpo.online/es/prod/visser-horti-systems/product-177311-31444.html>. Accedido 10-01-2021.
- Agrizon (2019). Semilla de tomate prieto. <https://www.e-agrizon.com/producto/tomate-hibrido-pietro-1000s/>. Accedido 06-01-2021.
- Clause Vegetable seeds (2018). Pietro F1 tomate redondo indeterminado. pp. 1–2. Santiago, CHILE.
- Clavijo, E. (2002). *Diseño del dispositivo de siembra en charolas de germinación*. Instituto Politécnico Nacional.
- Dorf, R. (2005). *Sistemas de Control Moderno*. Pearson.
- Guallichico, M. y Rodríguez, W. (2013). *Producción de plantines*. Voces y Ecos.
- Guallichico, M. y Rodríguez, W. (2019). *Desarrollo de una máquina sembradora lineal en bandejas de germinación para la fundación CAMBUGÁN*. Universidad Politécnica Salesiana.
- Kuo, B. (1996). *Sistemas de control automático*. Prentice Hall Hispanoamericana.
- Lardizabal, R. (2005). *Produccion de plantulas en vivero*. Cortes, Honduras.
- López, J., López, M., y Fernández, N. (2019). *Tecnología 1: Proyecto arroba*. Everest.
- López, L. (2017). *Manual técnico del cultivo de tomate*. INTA.
- Melo, J. (2009). *Ergonomía práctica: Guía para la evaluación ergonómica de un puesto de trabajo*. Fundación Mapfre.
- Norte, C. (2011). Manejo de mosca blanca (Bemisia). 11:5–13.

Perez, M. y Javier, J. (2010). *Apuntes de electricidad aplicada a los buques*. Editorial Club universitario.

Urbinati (2021). Sembradora en hileras semsf13: de hasta 1.700 hileras/hora.

Vaca, H. (2011). *Estudio de métodos tecnológicos alternativos para la siembra de semillas de tomate en bandejas y su incidencia en el tiempo de siembra en los viveros de la pilonera Çunchibamba"de la ciudad de Ambato*. Universidad Técnica de Ambato.

Zarco, D. (2017). Geografía de la Agroindustria:Museo Vivo. Comarca La Sierra de la Demanda. *Museo Vivo*, pp. 1.

ANEXOS