

SISTEMA MECATRÓNICO AUTOMATIZADO PARA EL CONTROL DE UN MICROAMBIENTE PARA PLANTINES HORTOFRUTÍCOLAS

MECHATRONIC AUTOMATED SYSTEM FOR THE CONTROL OF A MICROENVIRONMENT FOR HORTOFRUIT SEEDLINGS

Ing. David Diego Huanca Canaza ^{1 * §}

Recibido: Mayo 21, 2023; Aceptado: Agosto 5, 2023

RESUMEN

La presente investigación tiene como objetivo desarrollar un sistema mecatrónico con la principal finalidad de automatizar un invernadero hortofrutícola. El objetivo es mantener un control preciso sobre las condiciones ambientales dentro del invernadero, mitigando así el estrés de las plantas y logrando niveles de producción óptimos con la menor intervención humana posible.

Las capacidades del sistema abarcan una variedad de funciones. En primer lugar, puede controlar las ventanas del invernadero, que pueden estar ubicadas tanto en las paredes como en la parte superior del techo. Este control de ventanas es fundamental para regular el flujo de aire y la temperatura dentro del invernadero. Además, el sistema está equipado para gestionar el techo de malla sombra, regulando eficazmente la cantidad de luz solar que llega a las plantas. Además, supervisa el riego, permitiendo a los usuarios programar horarios de riego que se ejecutan de manera automática.

En el aspecto mecánico del proyecto, se llevó a cabo un análisis minucioso de las dimensiones estructurales del invernadero para determinar el tamaño adecuado de los mecanismos. Esto incluyó un análisis estructural detallado para determinar los requisitos de resistencia mecánica y la potencia necesaria para el funcionamiento de estos componentes.

Para el desarrollo del sistema electrónico, se realizó una cuidadosa selección de componentes en función de las especificaciones de potencia requeridas, incluidos los requisitos de voltaje y corriente. Se eligieron actuadores capaces de un control preciso sobre el sistema mecánico, complementados por sensores expertos en recopilar eficientemente los datos necesarios. También se integró un controlador central para facilitar la comunicación y coordinación sin problemas entre todos los componentes.

El sistema de control se implementó a través de una interfaz gráfica amigable para el usuario. Aquí, los usuarios pueden seleccionar la planta específica que desean monitorear y gestionar. El sistema inicia posteriormente la recopilación de datos para mantener un entorno estable dentro del invernadero, abarcando temperatura, humedad y niveles de radiación.

Como fase final, el proyecto culminó con la implementación práctica de los sistemas en un invernadero en funcionamiento. Esta implementación en el mundo real sirvió para validar el correcto funcionamiento de cada uno de los componentes descritos y su integración sin problemas en el entorno del invernadero.

Palabras claves: Automatizar, condiciones ambientales, monitorear, integración.

ABSTRACT

The present investigation aims to develop a mechatronic system with the primary objective of automating a hortofruit greenhouse. The goal is to maintain precise control over the environmental conditions within the greenhouse, thus mitigating plant stress and achieving optimal production levels with minimal human intervention.

The system's capabilities encompass a range of functions. Firstly, it can control the greenhouse windows, which may be situated either on the walls or at the roof's zenith. This window control is vital for regulating airflow and temperature within the greenhouse. Additionally, the system is equipped to manage the shade mesh roof, efficiently modulating the amount of sunlight that reaches the plants. Furthermore, it oversees irrigation, allowing users to program watering schedules that are executed automatically.

In the mechanical aspect of the project, a meticulous analysis of the greenhouse's structural dimensions was conducted to determine the appropriate sizing of the mechanisms. This included an in-depth structural analysis to ascertain mechanical strength requirements and the necessary power for the operation of these components.

For the electronic system's development, careful consideration was given to component selection based on the requisite power specifications, including voltage and current requirements. Actuators capable of precise control over the mechanical system were chosen, complemented by sensors adept at efficiently gathering the necessary data. A central controller was also integrated to facilitate seamless communication and coordination among all components.

The control system was implemented through a user-friendly graphical interface. Here, users can select the specific plant they wish to monitor and manage. The system subsequently initiates data collection to maintain a stable environment within the greenhouse, encompassing temperature, humidity, and radiation levels.

As a concluding phase, the project culminated in the practical deployment of the systems within a functioning greenhouse. This real-world implementation served to validate the correct operation of each of the described components and their seamless integration into the greenhouse environment.

Keywords: Automate, environmental conditions, monitor, integration.

Citación: Huanca Canaza David Diego, SISTEMA MECATRÓNICO AUTOMATIZADO PARA EL CONTROL DE UN MICROAMBIENTE PARA PLANTINES HORTOFRUTÍCOLAS. Revista Científica EMINENTE 2023, 7-2: 61-69.

¹ Ingeniero Mecatrónico – Carrera de Ingeniería Mecatrónica - Unidad Académica La Paz - Escuela Militar de Ingeniería.

* Corresponde al Autor (correo electrónico: daviddhc2000@gmail.com).

[§] Dirección de contacto Investigador primer autor: Obrajes Zona Bella Vista C/4 N24 - Telf.: (+591) 67303272 La Paz – Bolivia.

INTRODUCCIÓN

La producción agrícola en los últimos años y posterior al COVID 19 prácticamente ha dejado en un estado de inseguridad alimentaria en todos los países, con mayor riesgo en países en vías de desarrollo. (Comité de Seguridad Alimentaria Mundial, 2020).

En Bolivia la producción agrícola, no escapa a los embates climáticos actuales, está sumergida y afectada directamente por los fenómenos agrometeorológicos, más la acción antrópica de contaminación que se resume en los impactos de cambio climático. (Universidad de Playa Ancha, 2021).

Según encuestas de El Diario, el 60 a 80 por ciento de la producción de hortalizas llega a tener varias complicaciones, esto por el cambio climático o el suelo en el que se producen, provocando deshidratación, contracción de enfermedades, causando pérdidas en la producción. (El Diario, 2015).

Después de haber identificado minuciosamente los desafíos que presenta la producción de alimentos, se llevó a cabo el desarrollo de un sistema integral capaz de supervisar y gestionar el entorno en el que se desarrollan los plantines hortofrutícolas. Este avance es de suma importancia, ya que permite a los agricultores diversificar sus actividades y no estar exclusivamente centrados en el control ambiental.

El sistema que se propone implementar se compone de múltiples subsistemas automáticos, cada uno encargado de controlar un aspecto fundamental para el óptimo desarrollo de los plantines, tales como la temperatura, la humedad y la radiación solar. Estos parámetros se monitorizan y regulan mediante una variedad de sensores, controladores y actuadores, todo ello integrado en un diseño mecánico versátil y adaptable que puede ser instalado en diferentes tipos de invernaderos. Además, se ha diseñado un sistema eléctrico robusto y resistente, capaz de funcionar de manera fiable en condiciones climáticas adversas, para asegurar el cumplimiento de los objetivos establecidos.

En aras de preservar la salud y el crecimiento óptimo de las plantas, se emplearán diversos materiales agrícolas que han sido cuidadosamente seleccionados para no interferir negativamente en su desarrollo.

Gran parte de la agricultura en Bolivia es una producción a secano y estacional, es decir que la producción se la realiza únicamente con las precipitaciones pluviales para favorecer el riego, mas no se maneja los demás factores como, temperatura, humedad y otros. Por otro lado, la producción hortofrutícola se circunscribe a ciertos espacios donde las condiciones ambientales son favorables, así como las fuentes de agua para el riego, determinándose así una producción intensiva en ciertos cultivos, lo que permite retornos económicos en el menor tiempo posible.

Figura 1. Invernaderos actualmente utilizados en el área rural



Fuente: Elaboración propia

Uno de los factores tecnológicos que ha impulsado el desarrollado hortofrutícola es la implementación de invernaderos para la producción intensiva de cultivos, en ese sentido muchos pases implementaron esta tecnología como factor más de innovación tecnológica para optimizar el tiempo de producción.

En Bolivia la superficie implementada es muy incipiente, peor aún se ve alejada el uso de tecnologías modernas de innovación tecnológica que pueda reducir los costos de la implementación de los invernaderos o la innovación tecnológica para el manejo y reducción de mano de obra. Precisamente la migración de la fuerza laboral de las unidades rurales, de la población económicamente activa (PEA) determina que en las comunidades rurales

se quedan principalmente poblaciones de la tercera edad y niños, lo que reduce la mano de obra para los procesos productivos.

En muchos casos horticultores que implementaron invernaderos como su factor tecnológico de producción en la actualidad sopesan en encontrar mano de obra para el manejo mismo en los ambientes protegidos, apertura diaria de las ventanas, cobertura de sombra en días calurosos, largas jornadas de riego, entre otros.

OBJETIVO GENERAL

Desarrollar un sistema mecatrónico automatizado para controlar un microambiente capaz de garantizar las características climáticas internas y externas del ambiente protegido mejorando las condiciones de crecimiento de los plantines hortofrutícolas.

METODOLOGÍA

Para la realización del estudio, se utilizó el método inductivo, de esta manera poder analizar las variables controlables, y experimentar con los sistemas para llegar a una conclusión que pueda ser implementada.

Desarrollo

1. Análisis de variables ambientales

Los factores ambientales que controlara el sistema serán determinados por las condiciones requeridas para cada tipo de planta que se llegue a sembrar en el invernadero.

Dado que el ambiente que se desea controlar únicamente será apto para plantines en la etapa de germinación, por este motivo es posible tener diversas especies de alimentos, las plantas seleccionadas para la producción en este invernadero son presentadas en la tabla 3.

Los alimentos mostrados en la tabla son seleccionados por las características en la etapa de germinación. El semillero que se utiliza en los invernaderos tiene dimensiones específicas, por este motivo, las plantas deben ser las adecuadas para que puedan ser producidas en espacios que tengan dimensiones reducidas.

Las variables que se controlaran en el proyecto son: Temperatura, Humedad, Radiación Solar y Riego.

Las mismas que son críticas y necesarias para una germinación efectiva de las plantas, este proceso se realizó tomando en cuenta el viento como variable indirecta, que ayuda a controlar la temperatura y humedad, no es controlado de manera directa con datos específicos ya que el invernadero tiene aperturas de ventilación que son más efectivas en espacios con grandes dimensiones.

Tabla 1. Selección de plantas

Vegetales	Plantas Aromáticas	Frutos
Tomate	Hierba Buena	Cítricos
Lechuga	Albahaca	Mora
Cebolla	Eneldo	Frambuesa
Ajo	Hinojo	Frutilla
Acelga	Menta	Melón
Rúcula	Perejil	Sandia
Brócoli	Orégano	
	Romero	
	Tomillo	

Fuente: Elaboración propia

2. Dimensionamiento de la estructura

El diseño de la estructura se realizó de acuerdo con las medidas del invernadero, estas dimensiones son las requeridas por la institución con la que se elaborando este proyecto, la base de este diseño cuenta con las dimensiones de base que son de 6 metro de largo y 3.4 metros de ancho, a altura de este se despliega por los 2.8 metros.

Figura 2. Estructura del invernadero



Fuente: Elaboración propia

El material utilizado para la estructura está conformado por perfiles costanera de acero AISI ASTM A36 (acero estructural) de dimensiones 50x20x5 con un espesor de 2mm, que fueron requeridos por la institución.

Figura 3. Estructura del invernadero



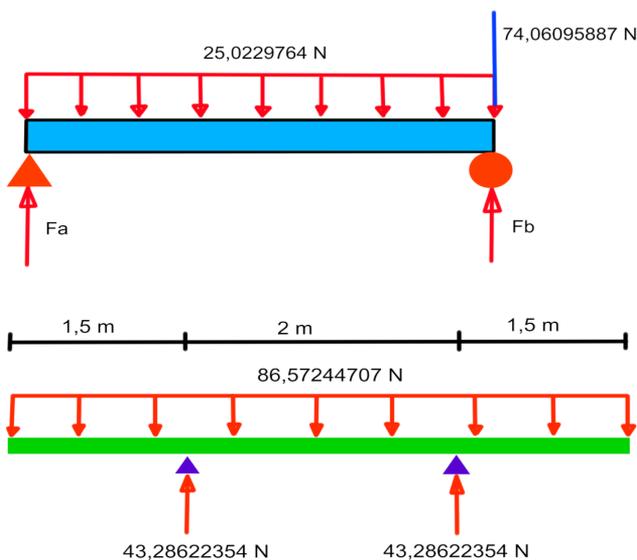
Fuente: (Punto Maestro, 2022)

3. Análisis y diseño mecánico

El análisis realizado muestra el comportamiento que tienen las piezas de acuerdo con las características del material utilizado, obteniendo la potencia que se requiere para el movimiento de los mecanismos, de esta manera se obtiene los datos necesarios con mayor detalle para determinar los motores a utilizar, así realizar los movimientos mecánicos de manera eficaz.

3.1 Sistema de ventana superior

Figura 4. Diagrama de fuerzas de ventana superior



Fuente: Elaboración propia

Este mecanismo cuenta con un perfil costanera de acero AISI ASTM A36 (acero estructural) el mismo que se utilizó en la estructura, mostrado en la figura 3.

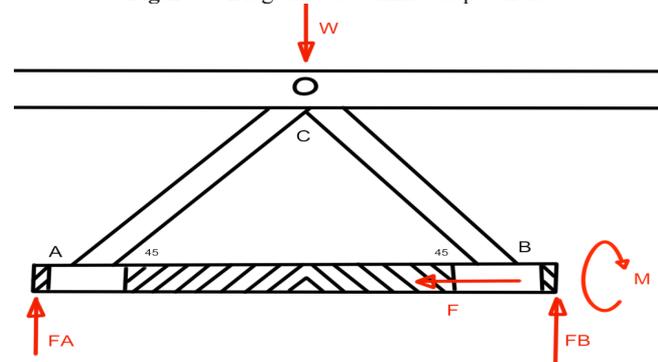
Este perfil se desplaza por 5m con las dimensiones descritas en la estructura, con estas características podemos describir la fuerza necesaria para elevar este perfil.

Este movimiento esta efectuado por un motor adjunto a un tornillo sin fin, de esta manera se puede realizar menos fuerza para poder levantar una ventana de 5 metros de largo y 1 metro de ancho aproximadamente.

Una vez analizado las fuerzas que ejerce la ventana para que pueda ser levantada se analiza el mecanismo de tornillo sin fin.

Utilizando el método de nodos se calcula la fuerza que horizontal que ejerce el tornillo.

Figura 5. Diagrama de tornillo de potencia



Fuente: Elaboración propia

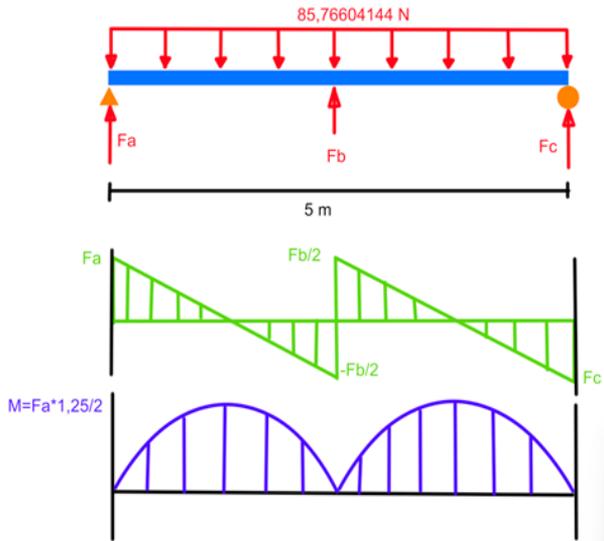
Con los datos obtenidos es posible determinar el tipo de actuadores que se requieren para el funcionamiento eficaz de este mecanismo.

3.2. Sistema de ventana lateral

Este mecanismo utiliza principalmente el Agro-film, este será desenrollado cuando exista mucha humedad y/o temperatura en el ambiente, cuando el clima llegue a temperaturas bajas, este se deslizará hasta cerrar la ventana por completo.

Este mecanismo está conformado por un alambre de acero que se encuentra en la parte inferior de la ventana, de esta manera la arista móvil permanece rígida y con un peso para que el Agro-film no se doble mientras realiza los movimientos requeridos.

Figura 6. Cálculo de soporte para eje enrollable

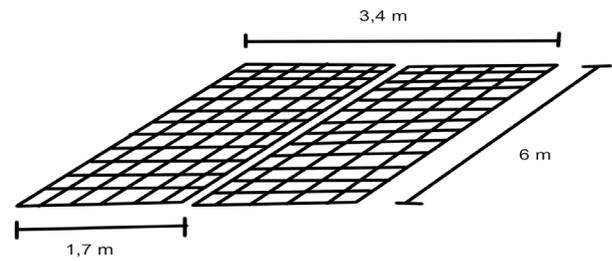


Fuente: Elaboración propia

3.3. Sistema de malla sombra

El sistema de malla sombra consta de un mecanismo que reduce la cantidad de luz solar que llega a los plantines, de esta manera las plantas no se dañan en el periodo de germinación, siendo esta la etapa la más frágil si se trata de exceso de luz.

Figura 7. Dimensión de malla sombra



Fuente: Elaboración propia

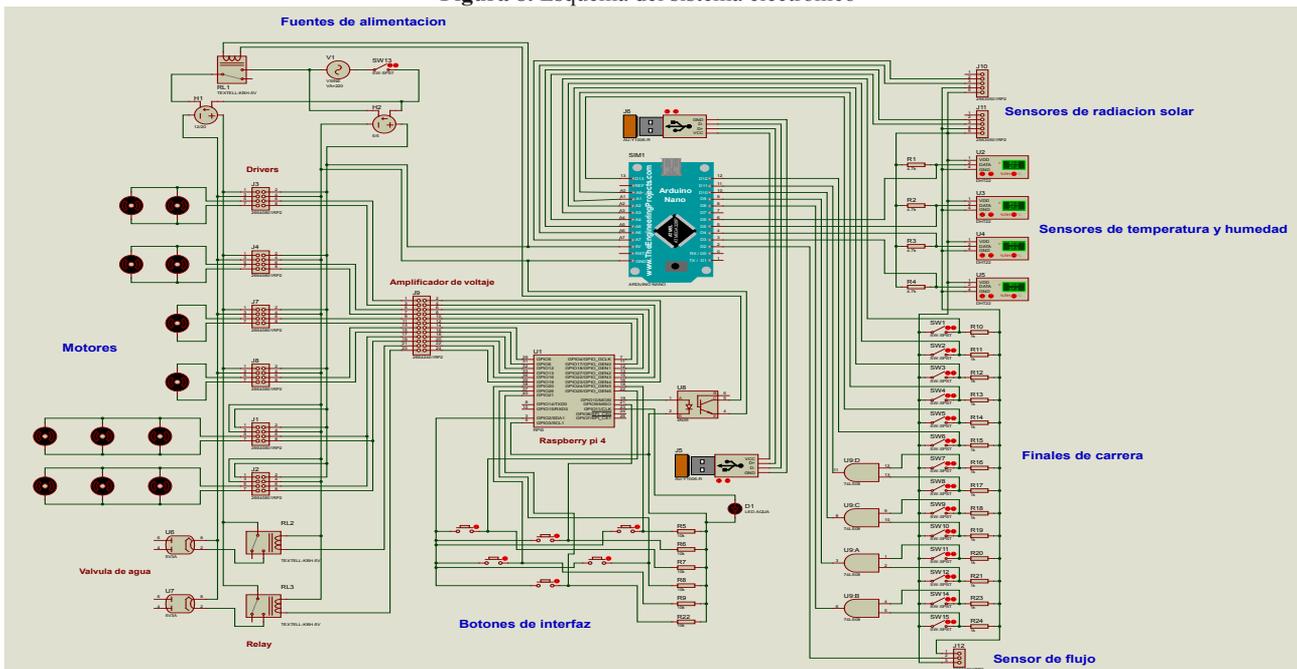
4. Sistema electrónico

El sistema electrónico que se utiliza en este proyecto está basado en actuadores electrónicos, que mueven cada uno de los subsistemas mecánicos, de esta manera controlar la estructura.

De igual manera se implementaron sensores que pueden medir el rango de temperatura que se busca. Cada sensor tiene su propio tipo de señal con la que se comunica con el controlador, por lo que se requiere utilizar un controlador compatible con el tipo de comunicación de todos los sensores.

El sistema incluye una interfaz gráfica que interactúa con el usuario para mostrar información y recibir órdenes de este, convirtiendo las señales eléctricas en gráficos y las acciones en señales eléctricas.

Figura 8. Esquema del sistema electrónico



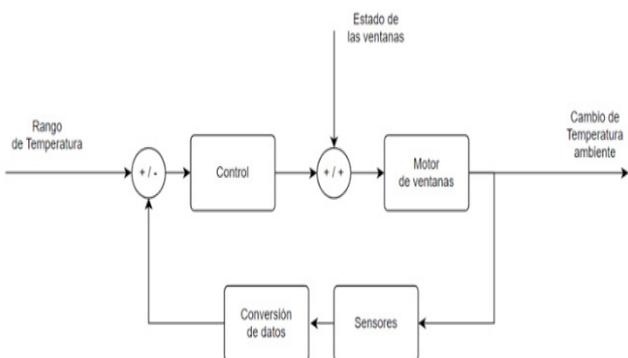
Fuente: Elaboración propia.

5. Sistema de control

El sistema de control consta de un control concurrente que realizara diferentes acciones al mismo tiempo que va recolectando datos sobre las variables que se desea controlar de esta manera tener una automatización eficaz.

Dado que el proyecto permanecerá en funcionamiento durante días de manera consecutiva, el proceso de control debe tener un rango elevado de variables, esto quiere decir que no requiere de un control exacto, ya que el producto que se desea obtener de este soporta un rango de valores con una baja resolución en el ingreso de datos, de esta manera se tendrá no requiere de un proceso complejo para mantener el sistema dentro de un único valor.

Figura 9. Diagrama de control de variables



Fuente: Elaboración propia

6. Interfaz de usuario

La interfaz de usuario es de gran ayuda cuando se quiere mostrar o recibir alguna orden por parte del operador que está a cargo de la máquina, por esta razón realizar una interfaz de usuario es lo más eficiente para el control efectivo, de esta manera en posible tener una comunicación entre el sistema y el usuario.

La interfaz consta de diferentes pantallas las cuales se puede visualizar el estado en el que se encuentra el sistema, de esta manera verificar que todo esté en correcto funcionamiento.

En esta pantalla se puede ver las plantas que se pueden elegir para realizar el control, de la misma forma se puede seleccionar uno en específico para realizar el

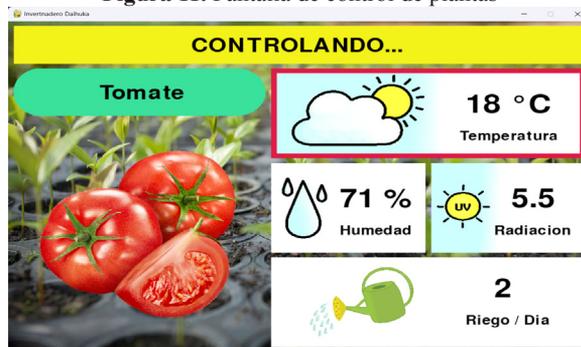
control, de esta manera mantener el sistema en función del rango de valores de cada planta.

Figura 10. Pantalla de selección de plantas



Fuente: Elaboración propia

Figura 11. Pantalla de control de plantas



Fuente: Elaboración propia

En esta pantalla se puede ver con mayor detalle los datos de ingreso, tanto la temperatura, humedad y radiación, de igual manera se puede visualizar la cantidad de veces que hace falta regar en el día.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El proyecto determina los procesos adecuados y necesarios para la elaboración del sistema mecatrónico automatizado para invernaderos para plantines hortofrutícolas, este cuenta con diferentes subsistemas que abarcan todas las áreas aprendidas en la carrera de ingeniería mecatrónica, tales como: mecánica, electrónica, sistemas y control.

Para obtener los datos de control se realizó la investigación de las características climáticas que requiere cada una de las plantas seleccionadas para la producción en el invernadero automatizado, se realizó la selección de los plantines que son aptos para sembrar en almacigueras.

Con el resultado de esta investigación se determinó el rango de control de la temperatura, humedad, radiación solar, riego y tiempo de crecimiento.

Una vez obtenidos los datos necesarios se procede a realizar el diseño del sistema mecánico que será acoplado al invernadero, para esto se realizó la medición de las dimensiones del invernadero en el que se implementó el mecanismo, para luego realizar los cálculos necesarios y obtener la potencia que requieren los actuadores.

De igual manera se utilizaron sensores para obtener datos en tiempo real de las diferentes variables que mantienen el ambiente en buenas condiciones para los plantines, estos datos son convertidos y enviados al controlador.

El sistema de control consta de la programación de los diferentes modelos matemáticos que se calcularon, tanto de la temperatura, humedad y radiación. Para seleccionar el rango de datos óptimos de control se diseñó una interfaz de control que podrá ser visible mediante una pantalla o un dispositivo móvil, de esta manera seleccionar el tipo de planta que se desea sembrar con sus correspondientes características, en esta interfaz de usuario también es posible verificar el comportamiento del ambiente dentro del invernadero mediante datos familiares para el usuario.

El proyecto está planteado para una estructura con dimensiones y cálculos que requiere una maquina con grandes dimensiones capaz de utilizarse para la producción en masa de plantines. Ya planteado esta situación, se elaboró un prototipo a escala capaz de funcionar de la misma manera que la maquina planteada para una escala real.

Figura 12. Invernadero a escala 1:5



Fuente: Elaboración propia

La implementación de este proyecto a escala real consta de la estructura, sistema mecánico, sistema electrónico e interfaz de usuario. Demostrando de esta manera el armado de la estructura, que está hecho principalmente de acero tal como se muestra en el diseño inicial del proyecto.

Figura 13. Pantalla de control de plantas



Fuente: Elaboración propia

Como parte electrónica se tiene el panel de control que ya incluye con los diferentes componentes electrónicos necesarios para la implementación real del proyecto.

El proyecto presentado consta de características aptas para ser utilizado en el ambiente destinado para su uso, por este motivo se implementó directamente en un ambiente abierto, donde se podrá realizar una producción de plantines en grandes cantidades y favorecer al usuario que se dedica a la producción de alimentos hortofrutícolas.

Figura 14. Pantalla de control de plantas



Fuente: Elaboración propia

RECOMENDACIONES

En caso de realizar el proyecto a mayor escala se recomienda el uso de componentes electrónicos industriales para evitar cualquier tipo de inconvenientes en el tiempo que este llegue a funcionar.

Se recomienda también hacer uso de los conectores correctos para el tipo de corriente eléctrica que utiliza el sistema electrónico para evitar problemas de conexión en un futuro

Para que el sistema electrónico funcione de manera correcta y eficaz se recomienda hacer uso de protectores externos y refrigerantes, ya sean ventiladores o algún otro material o sustancia dado que el proyecto permanecerá en la intemperie y será golpeado por diferentes condiciones climáticas.

Se recomienda seguir con la línea base de la investigación en el área tecnológica implementada en la agricultura para la producción de alimentos.

CONFLICTO DE INTERÉS

El autor declara que no tiene conflictos de interés con la presente investigación.

AGRADECIMIENTOS

El agradecimiento a la Dirección Nacional de Investigación Ciencia y Tecnología de la Escuela Militar

de Ingeniería, a la Carrera de Ingeniería Mecatrónica y a las personas que constantemente brindaron su apoyo en la realización de esta investigación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] AUTODESK. (2022). Análisis de elementos finitos
- [2] CASTILLA, N. (2007). Invernaderos de plástico: Tecnología y manejo.
- [3] COMITÉ DE SEGURIDAD ALIMENTARIA MUNDIAL. (septiembre de 2020)
- [4] EL DIARIO. (28 de diciembre de 2015). reliefweb. Obtenido de Campesinos reportan pérdidas de 80% en producción agrícola.
- [5] HABITISSIMO. (18 de febrero de 2020). habitissimo.
- [6] INFOAGRO. (2018). Riego en los semilleros.
- [7] INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS. (2020). Obtenido de Importancia del control de variables ambientales en invernaderos para la producción de hortalizas.
- [8] LUIS RICARDO SOTO AYMAR. (2008). Esfuerzos de transmisiones de engrane.
- [9] METEOROLOGÍA Y CLIMATOLOGÍA DE NAVARRA. (2022). Obtenido de Meteorología y climatología de Navarra.
- [10] ROBERT L. MOTT. (2006). Diseño de elementos de máquinas.
- [12] INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL DE MÉXICO. (mayo de 2014). Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica



David Diego Huanca Canaza. Nació en La Paz - Bolivia, es Ingeniero Mecatronico de la Escuela Militar de Ingenieria – Unidad Academica La Paz.