

Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, Ciudad de México, México.
ISSN 2707-2207 / ISSN 2707-2215 (en línea), enero-febrero 2026,
Volumen 10, Número 1.

https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v10i1

SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN INTELIGENTE Y MONITOREO EN UN AMBIENTE CONTROLADO SOBRE UN INVERNADERO

**INTELLIGENT AUTOMATION AND MONITORING
SYSTEM IN A CONTROLLED ENVIRONMENT FOR
A GREENHOUSE**

Jesús Angel Peña Ramírez
Tecnológico Nacional de México

Erik López-García
Tecnológico Nacional de México

Socrates Espinoza Salgado
Tecnológico Nacional de México

Carlos Miguel Avila Rodriguez
Tecnológico Nacional de México

Juan Carlos Cabrera Zuñiga
Tecnológico Nacional de México

José Alfredo Cortina Medina
Tecnológico Nacional de México

Sistema de Automatización Inteligente y Monitoreo en un Ambiente Controlado sobre un Invernadero

Jesús Angel Peña Ramírez¹

jesus.pr@zacatepec.tecnm.mx

<https://orcid.org/0009-0007-2985-763X>

Tecnológico Nacional de México
IT de Zacatepec Zacatepec Morelos
México

Erik López García

eriklg@zacatepec.tecnm.mx

<https://orcid.org/0000-0003-2667-6474>

Tecnológico Nacional de México
IT de Zacatepec Zacatepec Morelos
México

Socrates Espinoza Salgado

socrates.es@zacatepec.tecnm.mx

<https://orcid.org/0009-0005-5856-7901>

Tecnológico Nacional de México
IT de Zacatepec Zacatepec Morelos
México

Carlos Miguel Avila Rodriguez

L20090264@zacatepec.tecnm.mx

<https://orcid.org/0009-0009-0750-5013>

Tecnológico Nacional de México
IT de Zacatepec Zacatepec Morelos
México

Juan Carlos Cabrera Zuñiga

juan.cz@zacatepec.tecnm.mx

<https://orcid.org/0009-0004-9296-8699>

Tecnológico Nacional de México
IT de Zacatepec Zacatepec Morelos
México

José Alfredo Cortina Medina

jose.cm@zacatepec.tecnm.mx

<https://orcid.org/0009-0003-3526-302X>

Tecnológico Nacional de México
IT de Zacatepec Zacatepec Morelos
México

RESUMEN

Este trabajo presenta el desarrollo de un sistema de automatización y monitoreo inteligente para un invernadero en ambiente controlado, cuyo propósito es mejorar las condiciones de cultivo mediante el uso de sensores, actuadores y plataformas digitales. El sistema permite medir variables clave como la temperatura, la humedad ambiental, la humedad del suelo, el nivel de agua y la luminosidad, mostrando esta información tanto en una pantalla LCD como en una interfaz web accesible en tiempo real. El proyecto se aborda desde un enfoque aplicado y experimental, utilizando inicialmente una plataforma Arduino, con la proyección de migrar a un microcontrolador ESP32 que permita la conexión vía WiFi y el almacenamiento de datos en Firebase. A partir de los datos obtenidos, el sistema ejecuta acciones automáticas para el riego, la ventilación y la regulación térmica, tomando como referencia las necesidades del cultivo de jitomate. Los avances alcanzados muestran un funcionamiento estable de los componentes electrónicos, una correcta lectura de las variables ambientales y una estructura web operativa, lo que confirma el potencial del sistema para evolucionar hacia una solución autónoma, escalable y eficiente para la gestión inteligente de invernaderos.

Palabras clave: invernadero inteligente, automatización, monitoreo ambiental, sensores, Internet de las cosas

¹ Autor principal

Correspondencia: eriklg@zacatepec.tecnm.mx

Intelligent Automation and Monitoring System in a Controlled Environment for a Greenhouse

ABSTRACT

This paper presents the development of an intelligent automation and monitoring system for a greenhouse operating in a controlled environment, aimed at improving crop conditions through the use of sensors, actuators, and digital platforms. The system measures key variables such as temperature, ambient humidity, soil moisture, water level, and light intensity, displaying this information both on an LCD screen and on a web-based interface in real time. The project follows an applied and experimental approach, initially implemented using an Arduino platform, with a planned migration to an ESP32 microcontroller to enable WiFi connectivity and data storage through Firebase. Based on the collected data, the system automatically controls irrigation, ventilation, and thermal regulation, considering the specific requirements of tomato cultivation. The results obtained to date demonstrate stable operation of the electronic components, accurate environmental data acquisition, and a functional web structure, confirming the system's potential to evolve into an autonomous, scalable, and efficient solution for intelligent greenhouse management.

Keywords: smart greenhouse, automation, environmental monitoring, sensors, internet of things

*Artículo recibido 02 enero 2026
Aceptado para publicación: 30 enero 2026*



INTRODUCCIÓN

La incorporación de tecnologías digitales en el ámbito agrícola ha transformado de manera progresiva la forma en que se gestionan los procesos de producción de alimentos. En particular, la automatización y el monitoreo inteligente han demostrado ser herramientas clave para enfrentar problemáticas como el uso ineficiente del agua, la variabilidad climática y la necesidad de mantener condiciones ambientales estables para el desarrollo óptimo de los cultivos (López Orozco et al., 2018). Dentro de este panorama, los invernaderos se presentan como espacios estratégicos, ya que permiten aislar parcialmente el cultivo del entorno externo y ejercer un mayor control sobre variables que influyen directamente en su crecimiento (He & Kang, 2024).

A pesar de estas ventajas, muchos invernaderos de pequeña y mediana escala continúan operando con esquemas de control manual o semiautomático, lo que implica una supervisión constante por parte del usuario y una alta probabilidad de errores humanos (Montecé Mosquera et al., 2020). El control inadecuado de factores como la temperatura, la humedad relativa, la humedad del suelo o la ventilación puede generar estrés en las plantas, favorecer la aparición de enfermedades o reducir la productividad del cultivo. Esta situación se vuelve aún más crítica cuando no se cuenta con registros históricos de datos que permitan analizar el comportamiento del sistema y tomar decisiones informadas a mediano y largo plazo (Alarcón López et al., 2018).

En este contexto, el presente trabajo aborda la necesidad de desarrollar un sistema de automatización inteligente capaz de monitorear de manera continua las principales variables ambientales de un invernadero y ejecutar acciones correctivas de forma automática (Moreno & Cruz, n.d.). El proyecto se enfoca en la integración de sensores, actuadores y plataformas digitales que permitan no solo controlar el entorno del cultivo, sino también visualizar la información en tiempo real mediante una interfaz accesible para el usuario. De esta forma, se busca reducir la dependencia de la intervención humana directa y mejorar la eficiencia en la gestión del invernadero (Guerrero-Ibáñez et al., 2017).

La relevancia de esta investigación radica en su enfoque práctico y progresivo. A diferencia de soluciones comerciales de alto costo, el sistema propuesto se construye a partir de tecnologías ampliamente disponibles y de bajo costo, como microcontroladores, sensores ambientales y herramientas de desarrollo web (Prieto, 2017). Esto permite que el proyecto sea replicable y adaptable



a distintos contextos, especialmente en entornos educativos o productivos donde los recursos son limitados. Además, la posibilidad de escalar el sistema mediante la migración a un microcontrolador con conectividad WiFi y el uso de bases de datos en la nube amplía su potencial de aplicación (Bowen Quiroz & Medranda Cobeña, 2024).

Desde el punto de vista técnico, el desarrollo del sistema se fundamenta en principios de electrónica aplicada, control automático e Internet de las Cosas (IoT). La lectura de variables como temperatura, humedad ambiental, humedad del suelo, nivel de agua y luminosidad permite establecer reglas de control que activan sistemas de riego, ventilación, iluminación y protección térmica (Quiroga Montoya et al., 2017). Estas acciones buscan mantener el ambiente del invernadero dentro de rangos adecuados para el cultivo seleccionado, evitando condiciones extremas que puedan afectar su desarrollo (Guerra et al., n.d.).

El cultivo de jitomate se toma como referencia para el diseño del sistema, debido a su sensibilidad a cambios bruscos de temperatura y humedad, así como a su importancia económica y alimentaria (Quiroz, n.d.). Para definir los rangos de operación del sistema, se consideran recomendaciones técnicas emitidas por organismos especializados como el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias y el Instituto para la Innovación Tecnológica en Agricultura. Estas fuentes aportan criterios confiables sobre las condiciones óptimas de crecimiento, lo que fortalece el sustento técnico del proyecto y orienta la lógica de control implementada (Juárez-Maldonado et al., 2017).

En cuanto a los antecedentes, existen diversos trabajos relacionados con la automatización de invernaderos que emplean sensores y microcontroladores para el control local de variables ambientales (Skripko & Skripko, 2023). No obstante, muchos de estos proyectos se limitan a la visualización directa en dispositivos físicos o no contemplan la integración con plataformas web y sistemas de almacenamiento de datos. El presente estudio busca contribuir a este campo mediante una propuesta integral que combine monitoreo en tiempo real, automatización de procesos y proyección hacia un sistema conectado a la nube, capaz de evolucionar hacia aplicaciones móviles y análisis de datos más avanzados (Galvis, n.d.).

La investigación se desarrolla en un contexto académico, dentro del área de Sistemas y Computación, bajo un enfoque aplicado y experimental (Tangarife Escobar et al., 2020). El sistema se implementa

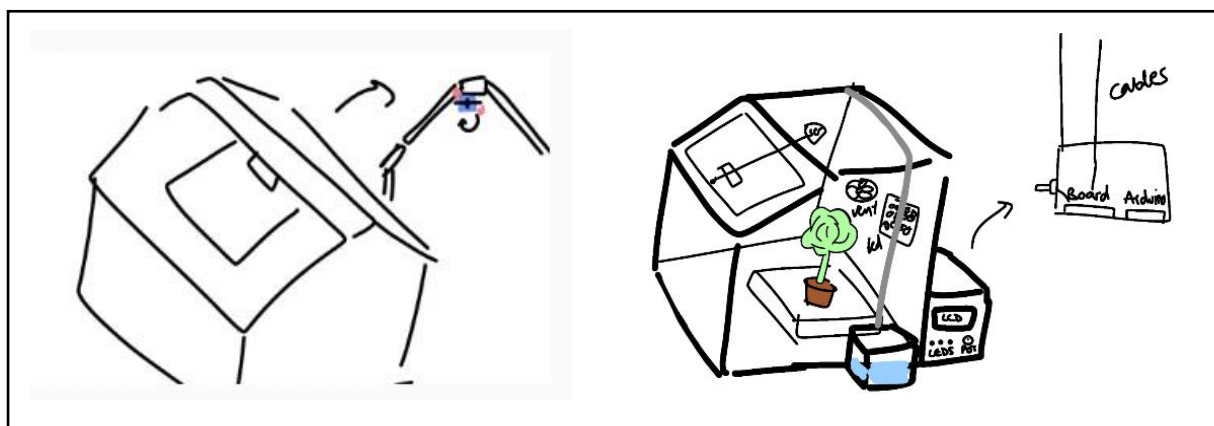


inicialmente sobre una plataforma Arduino como etapa de prueba y validación, con la proyección de migrar a un microcontrolador ESP32 que permita mayor capacidad de procesamiento y conectividad inalámbrica. El objetivo general del estudio es diseñar e implementar un sistema de automatización inteligente para un invernadero que facilite el monitoreo de variables ambientales y el control automático de los procesos internos, sentando las bases para una solución autónoma, escalable y adaptable a distintos escenarios agrícolas (Espinosa et al., n.d.).

METODOLOGÍA

En las siguientes figuras se muestran bocetos de dos diseños propuestos de invernaderos y se decidió elegir uno de ellos.

Figura 1. Diseños de propuestos de invernaderos.



Estas propuestas de diseños se diferencian principalmente en el diseño del techo, el cual puede ser triangular inclinado o sólo una mitad inclinada. Por motivos del peso de la ventana y para mayor facilidad de apertura del invernadero (esto debido a la altura que se solicitó), se consideró más apropiado el segundo diseño.

La estructura en general se solicitó que fuera ligera ya que se deseaba que se pudiera transportar con facilidad. Este requerimiento es más flexible debido al método elegido por el encargado del proyecto quien aclaró que su armado sería efectuado con tornillos y tuercas, lo que facilita el desarmarlo y transportarlo por partes. El resto de requerimientos, fueron el monitoreo de la temperatura dentro del invernadero, la humedad en el mismo, la humedad en la tierra de las macetas y el nivel del agua en el depósito. Estos datos deben ser mostrados en una pantalla LCD, pero también se agregó que los mismos se mostrarán en una página web y en una aplicación para celular para facilitar un monitoreo continuo.

Las plantas elegidas como muestra del funcionamiento son jitomates, para las cuales se procedió a investigar sus condiciones para su apto crecimiento en el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), donde recomendaron usar una tela anti áfidos como cerramiento de las paredes, alguna forma de hacer sombra para evitar la temperatura solar (para lo cual se estableció lados correspondientes a cada punto cardinal y se decidió cubrir el lado más alto, definido como lado norte, con una madera) y un cerramiento de techo con plástico lechoso con una sombra del 60%.

Adicional a esto también las plantas deben ser mantenidas en un rango de temperatura específico que varía de su límite máximo en algunas fases siendo inferior al límite inferior en algunas otras, por lo que a opinión personal podría hacer falta integrar alguna cámara para vigilar cada cierto tiempo (por ejemplo, cada semana) en qué fase del desarrollo se encuentra la planta. Los cuidados de las plantas varían acorde a la etapa de desarrollo, por lo que es importante que se sepa identificar cuáles son y cómo son. En el caso del jitomate, acorde la información difundida por el Instituto para la Innovación Tecnológica en Agricultura (Intagri), éstos son los rangos de temperaturas que deben tener como lo indica la siguiente figura.

Figura 2. Temperaturas cultivo de jitomate.



También en sus redes han compartido que el jitomate prospera mejor en climas secos con temperaturas moderadas, sus necesidades de luz tienen un rango de entre 8 y 16 horas diarias, los rangos de temperatura más comunes son de entre los 28 y los 30 °C durante el día y los 15 a 18 °C durante la noche, siendo las temperaturas menores a los 10 °C y mayores a los 35 °C perjudiciales para la planta, pudiendo provocar la caída de su flor en época de floración y dificultando el desarrollo del fruto.

La humedad relativa es una cosa complicada de controlar y de manejar, el regar durante el día puede ser perjudicial para las plantas si el sol se encuentra muy fuerte, ya que puede generar un efecto “cadena” que pueda evaporar la humedad interna de la planta si ésta se riega en ese momento, por lo que si la humedad se encuentra baja en ese momento se necesitará regar hasta que el sol esté en su ocaso, esto también para evitar la disminución de temperatura por humedad. El Intagri explica que su humedad relativa óptima oscila entre un 65-70% ya que esto favorece la polinización, y su exigencia en cuanto a la humedad del suelo la definen como “media” indicando que “influye sobre todo en el crecimiento de los tejidos, transpiración, fecundación de las flores y desarrollo de las enfermedades criptogámicas, siendo preferibles humedades medias no superiores al 50%, y suelos no encharcados”. Esto nos indica que necesitamos sensores de humedad de suelos (se intentará usar un sensor de agua en lugar del de humedad de suelos y se informará de resultados).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

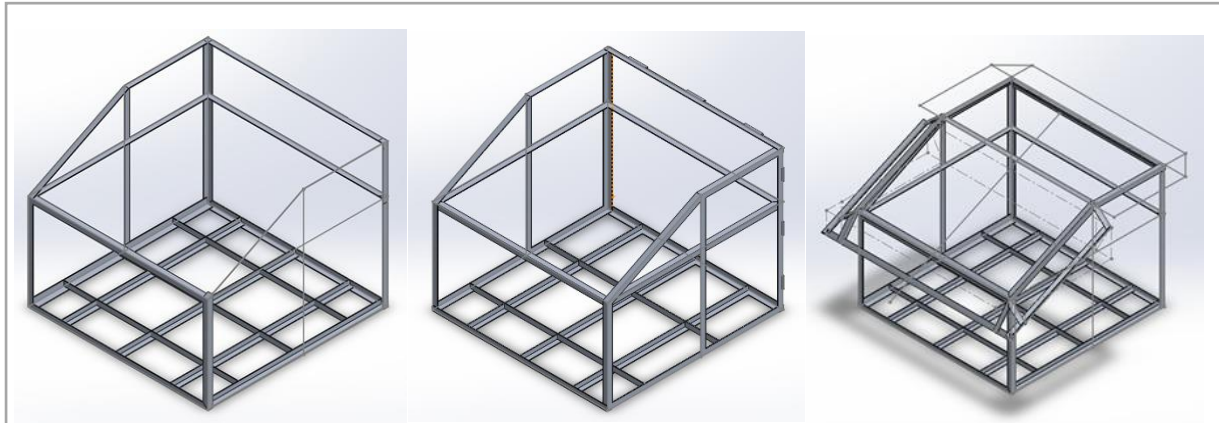
Diseño del Sistema.

La estructura del invernadero se diseñó de forma casi cúbica para una mejor resistencia de los elementos y para un fácil transporte. Se decidió que la parte superior fuera de medio techo inclinado y medio techo “plano” (con una ligera inclinación hacia el techo más inclinado) para favorecer un fácil diseño de la ventana. Se planeó que la bomba y el tanque de agua se ubicaran en el exterior del lado este y que el tablero estuviera en el interior a modo de ambos estar unidos y compensar el peso del tablero, pero posteriormente se decidió que el tablero se pudiera desconectar y quitar fácilmente a fin de poderlo transportar separado del invernadero. Se espera que todas las partes (paredes, techo, tablero y contenedores de agua y abono) se puedan separar fácilmente una vez abierto el invernadero para su transporte. El tablero se ubicó en la parte interior norte, cargado por una viga interior media, pues es posible que el tablero termine teniendo una altura menor a la disponible.



En el modelo original se planeaba que sólo se pudiera abrir el techo pues se contaba con que fuera un invernadero pequeño. Sin embargo, esto se descartó debido a que la parte más baja tendría una altura de 0.8 m de altura, lo que imposibilitaría la entrada del usuario al invernadero, por lo que se planeó la instalación de una puerta.

Figura 3. Planeación de la estructura.



Otro concepto que se descartó fue que la puerta estuviera en la parte norte en lugar de la este, debido a que se quería equilibrar el peso de alguna manera doblando el techo hacia la pared sur. Sin embargo, esto provocaría el efecto contrario, ya que la pared sur no tendría la resistencia para soportar el peso del techo con el mecanismo de la ventana, especialmente si la parte norte fuera una puerta. Se pensó, para resguardo interior de la lluvia en la parte del techo plano, también se decidieron las medidas y ángulos que permitan un mejor rendimiento con el uso de menos recursos. El invernadero es construido usando materiales de aluminio usando piezas tipo “ángulos” en forma de L a fin de soportar mejor las condiciones ambientales. Acorde a mi investigación en páginas comerciales, se recomienda aluminio de serie 6000, específicamente los 6061 y 6063. El aluminio 6061 es un aluminio endurecido en aleación con silicio y magnesio y es el más usado actualmente debido a su resistencia a la corrosión, nula contaminación y facilidad para manipularlo, tiene buenas propiedades mecánicas y se puede soldar; se usa en el sector aeroespacial, en el marítimo para barcos y para empaquetado de comida. El aluminio 6063 es similar al 6061 pero éste se le aplica a su superficie un proceso de anodizado (recubrir su superficie de otro material por medio de electrólisis) y se utiliza específicamente para estructuras arquitectónicas y en la industria automotriz. La geometría de las piezas permite un mejor soporte de la estructura, sin embargo, también supone una complicación en uniones en ángulo si no se planifica bien

las posiciones. El modelo se diseñó sin muchos cálculos debido a que la estructura tiene más anchura y profundidad que altura, teniendo más enfoque en el uso de las piezas para la colocación de mecanismos para el control de temperatura y humedad que en su rigidez estructural.

Figura 4. Maqueta de madera.



Para la primera maqueta se utilizó madera al ser lo que tenía mayor disponibilidad. Sin embargo, trabajar éste material incluye problemas y ventajas con los que no se cuenta al trabajar un metal como el aluminio, como el tener que moldear la madera para que las piezas puedan ser unidas apropiadamente, así como la fragilidad de la madera al no trabajarla correctamente, pero ofrece una aislación térmica superior; y el uso de la madera carece de los problemas y ventajas de trabajar con aluminio, como la transferencia de calor del metal pero una mejor dureza y elasticidad, por lo que se está considerando el rehacer la maqueta con piezas de aluminio que se puedan conseguir con algún aluminio local a fin de poder prever problemas que puedan surgir en el armado de la estructura final y la primera se usará para pruebas de resistencia. En cuanto al el programa debe activar diferentes sistemas para el control de la temperatura, la humedad general dentro del invernadero y la humedad en la tierra de las plantas. Estos sistemas consisten en un sistema de riego por manguera directo en la tierra en contraposición a un sistema por aspersión (esto para evitar la aparición de hongos u otras pestes en las plantas), un sistema de apertura de una ventana (en la cual nos recomendaron tuviera algún tipo de extractor), y posiblemente un sistema de cortinas automáticas si podíamos conseguir hacerlo funcionar en paralelo con el resto del invernadero.

El sistema de riego se activará solamente si la humedad en la tierra es menor a la que necesita la planta, en caso extraordinario de falta de humedad general también se puede activar sólo por unos segundos.

El sistema de la ventana se activará para disminuir la humedad y temperatura en el invernadero a fin de forzar la circulación del aire más caliente fuera del invernadero, esto junto a un extractor para acelerar este proceso.

El sistema de cortinas se activará en las madrugadas en que la temperatura se detecte demasiado baja para las plantas. Sin embargo, el aire estancado puede provocar un aumento en la humedad del aire, por lo que se planea que se active el servomotor de la ventana sólo a la mitad de grados de lo habitual si la humedad se encuentra dentro de los parámetros aceptados, activando el extractor por cortos periodos de tiempo a fin de no enfriar el aire por forzar demasiado su circulación.

En el caso de tener humedad y temperatura por debajo del rango ideal, sólo se abrirán las cortinas y se cerrarán hasta que la temperatura llegue por encima del límite superior. Se planea ubicar un conjunto de focos en la parte superior de las paredes para auxiliar en el aumento de temperatura.

El problema que presentan estos focos es que pueden evaporar el agua en las plantas, generando humedades, por lo que tendrán las mismas condiciones que las cortinas y se desactivarán en cuanto la temperatura alcance un par de grados por encima del límite inferior de temperatura, manteniendo las cortinas cerradas para mantener dicha temperatura.

A fin de detectar cambios predecibles en el sistema, se incluirá un sensor de luminosidad, el cual, por medio de un rango de lúmenes, nos indicará si es de día, de noche o si está muy nublado (debe haber una sombra considerable por condiciones climatológicas para que esto último entre en consideración).

Figura 5. Invernadero.



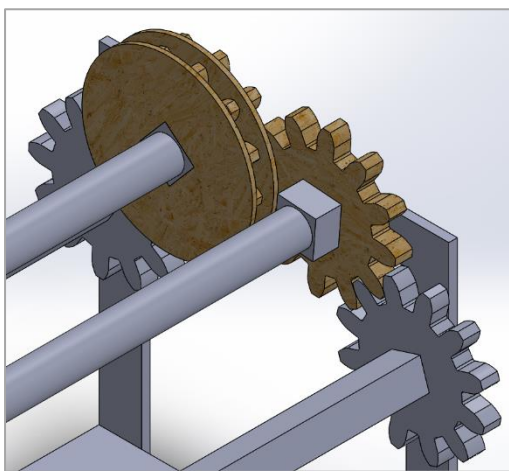
Diseño de mecanismos. Ventana. La planeación de este mecanismo se ideó para un armado simple que requiriera pocos materiales y que fuera posible armarlo con tornillos. Para la construcción del mecanismo se decidió por hacerlo con bielas las cuales serán controladas por el servomotor.

Se hizo una prueba del sistema con medidas para una ventana de unos 60 centímetros de longitud para una abertura completa para facilitar la salida de aire caliente.

La ventana estará en su estado desactivado en un ángulo de 26.5650° respecto a la horizontal y se abrirá hasta que su extremo sobrepase la horizontal, esto con un sistema de poleas y cadenas simple. Las piezas serán las mismas usadas para las persianas.

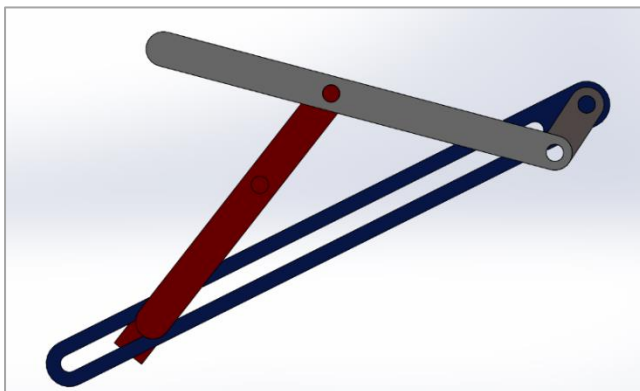
El mecanismo es mostrado con sólo bielas para que el trabajo de la máquina dónde se está trabajando sea ligero, pero en el diseño también se puede usar cadena para la biela color rojo.

Figura 6. Diseño de la cerradura de la ventana



Sistema De Cerrado. Este sistema está pensado que fuera influyente en la colocación del sistema de riego por medio de un conjunto de poleas, cadenas y engranes que transmitieran el movimiento de apertura a un sistema para apartar el sistema de riego. Sin embargo, esto podría disparar el presupuesto o desaprovechar los recursos que podrían usarse de mejor manera, así que este sistema puede ser descartado.

Figura 7. Diseño de sistema de cerrado.



El sistema consiste en una simple unión de un punto de la cadena que la arrastrara para transmitir ese movimiento a una polea que moviera el sistema de riego. Esto supone también una mayor cantidad de fuerza requerida para abrir el techo del invernadero, el cual ya tendría el peso del servomotor y del mecanismo de la ventana como desventajas, sin mencionar que los aleros (necesarios en el techo para apartar la lluvia de la parte baja del invernadero) supone otro reto para su conexión al sistema de riego. El concepto de la rueda y el canal para su dirección está contemplado para una fácil apertura, sólo se descartarán el rodamiento y la cadena.

Sistema de Riego. El sistema de riego consta de un esquema de mangueras con salidas directas por donde saldrá el agua sin mucha presión y debe caer directamente en la tierra de la planta a fin de no generar humedades innecesarias. Éstas salidas necesitan ubicarse individualmente en puntos específicos de cada planta para cumplir su objetivo, lo que representa un esfuerzo extra por cada planta a regar.

Debido a que las plantas deben tener una separación específica entre sí, se consideró un mecanismo para una rápida instalación de las salidas. Sin embargo, para mediados de octubre se hizo evidente que el sistema podría generar daños en las plantas y el cultivo si no se ubicaba cuidadosamente y evitando un contacto perjudicial con la planta en etapa de germinación, brote, floración, etc. Este mecanismo también presenta un problema si la cantidad de macetas es menor a las que permite el invernadero y la dificultad en manipular cada una de las salidas, o incluso la manipulación con los cultivos, con el mecanismo armado. En las flechas cuadradas se planea instalar unas varillas con la manguera que girara en cuanto la polea (el engrane tapado) fuera movido por la cadena. Se planeaba usar sólo dos engranes, pero rápidamente fue evidente que será necesario que sean engranes excesivamente grandes, por lo que se ubicaron engranes intermedios. Por cómo puede apreciarse, el sistema requiere unas flechas que necesitan un mayor presupuesto y unos pilares en medio. A pesar de esto, se puede hacer un mecanismo de instalación del sistema de riego más simple.

Diseño de Código y Circuito eléctrico y electrónico. Este apartado se dejó al último para definir los tiempos en que se deben activar los sistemas, enfocándolo en qué medios y procesos se activarán para empezar. Están definidas las funciones de los LEDs, el control de la cortina, el control de la bomba, los focos, el servomotor y la definición inicial de la pantalla LCD.



Figura 8. Diseño de Código.

```

TECNOLÓGICO NACIONAL DE MEXICO
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE ZACATEPEC

Proyecto: SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN INTELIGENTE PARA UN INVERNADERO
Área del proyecto: Sistemas y Computación

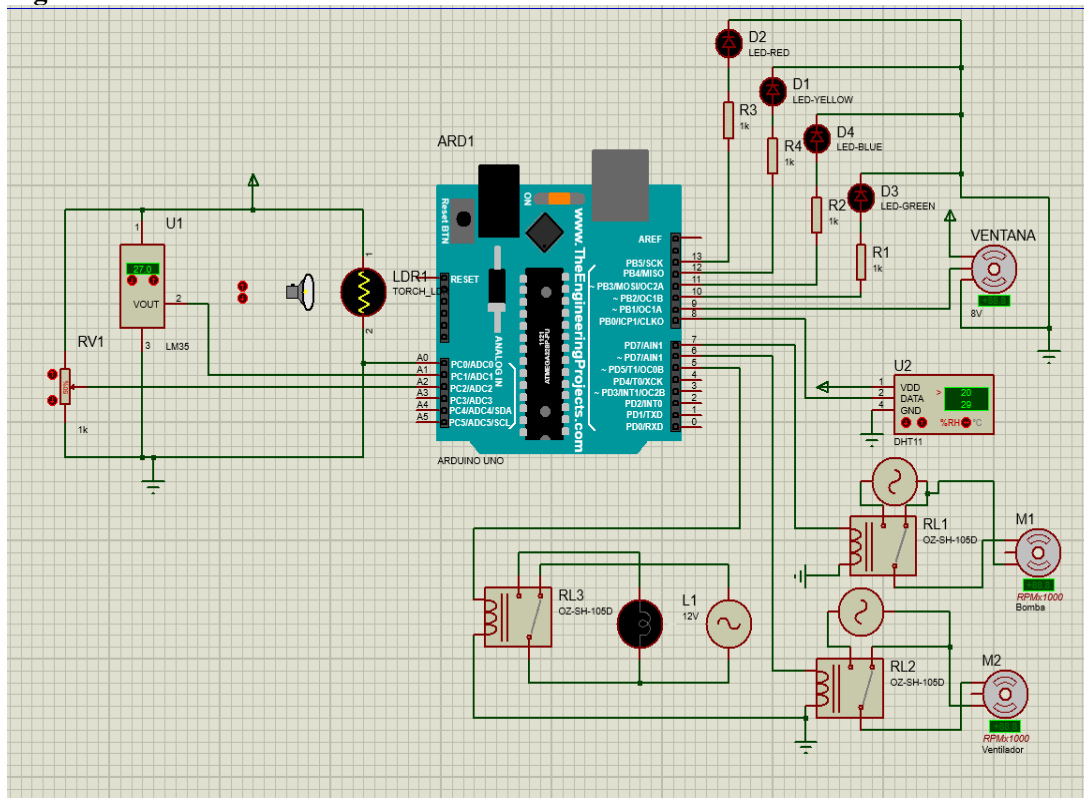
Nombre de estudiante: María Fernanda Manzano Pérez
No. de Control: 19090191
Carrera: Ingeniería Electromecánica
////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////
//Librerías: servomotor, sensor DHT11, LCD, módulo I2C

#include <Servo.h>
#include <DHT.h>
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal.h>

// Pines
//Pines de los leds:
#define LedRojo 13 //Led de la Temperatura
#define LedAmarillo 12 //Led de Tanque
#define LedAzul 11 //Led de Riego
#define LedVerde 10 //Led de OK
    
```

El circuito está ahora como en la siguiente Figura.

Figura 9. Diseño del Circuito



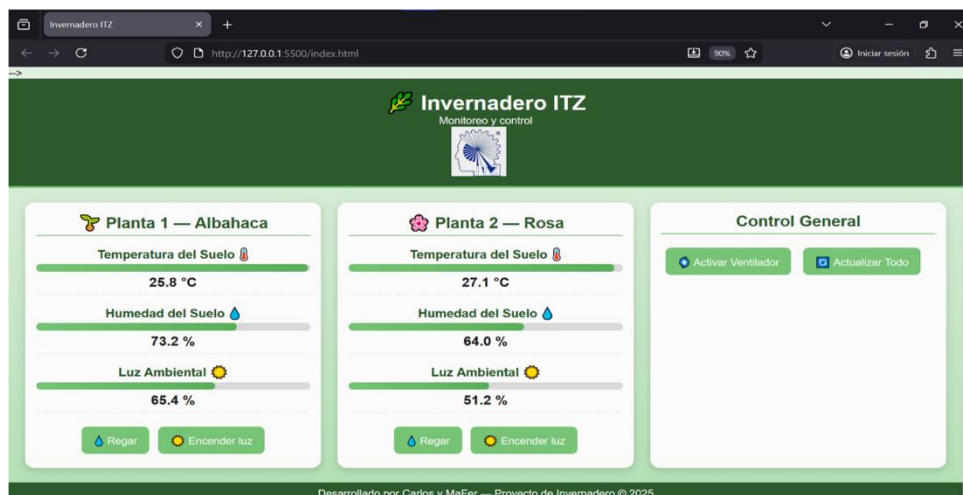
Lista de variables para controlar el invernadero, véase la siguiente figura.

Tabla 1. Lista de variables.

Condición ambiental	Acción deseada	Estado actual
Humedad del suelo baja	Activar bomba automáticamente	Falta integración final
Temperatura alta	Encender ventilador	Funciona en Arduino, falta web y Firebase
Luz baja	Determinar “noche”	OK, pero sin almacenamiento en DB
Nivel de Agua bajo	Alertar y bloquear riego	Falta en la web y Firebase
Control manual (botones/IR)	Encender/Apagar sistemas	Aún sin implementación web (botones/IR)

Esta es la visualización de la interfaz del invernadero, véase la siguiente figura.

Figura 10. Interfaz del invernadero.



CONCLUSIONES

El desarrollo del sistema de invernadero inteligente ha avanzado de manera sólida, sentando una base funcional tanto en la parte electrónica como en la interfaz web. Actualmente, el proyecto ya permite la lectura simulada de variables ambientales y cuenta con un diseño estructural que facilita su futura expansión. A pesar de que aún faltan integraciones clave —como la migración al ESP32, la conexión con Firebase y la automatización totalmente operativa desde la web— los pilares esenciales ya están definidos y probados.



Con estos cimientos, el proyecto se encuentra en una etapa ideal para evolucionar hacia un sistema completo, autónomo y escalable, capaz de gestionar las condiciones del invernadero en tiempo real y de manera eficiente.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Alarcón López, Á. H., Arias Vargas, G., Díaz Ortiz, C. J., & Sotto Vergara, J. D. (2018). Sistema de control automático de variables climáticas para optimizar el rendimiento de cultivos bajo cubierta. *Journal of Engineering Education*, 14(24), 1–11.
<https://doi.org/10.16925/TN.V14I24.2158>
- Bowen Quiroz, G. A., & Medranda Cobeña, G. I. (2024). Impacto de los sistemas de información en la agricultura inteligente: Una revision general. *InGenio Journal*, 7(2), 117–136.
<https://doi.org/10.18779/ingenio.v7i2.824>
- Espinosa, A., Ponte, D., & Gibeaux, S. (n.d.). Estudio de sistemas iot aplicados a la agricultura inteligente. <https://revistas.unachi.ac.pa/index.php/pluseconomia/article/view/479>
- Galvis, E. (n.d.). Utilización de las TICs para la optimización del crecimiento de hortalizas en invernaderos urbanos. <https://repository.universidadean.edu.co/bitstreams/4b11525b-eba3-44eb-a5fe-75eb246938da/download>
- Guerra, G., Franco, I., & García, D. (n.d.). SIG, características, relación con las bases de datos espaciales y su uso en la agricultura. <https://revistas.unah.edu.cu/index.php/cu/article/download/1652/3243>
- Guerrero-Ibáñez, J. A., Estrada-González, F. P., Medina-Tejeda, M. A., Rivera-Gutiérrez, Ma. G., Alcaraz-Aguirre, J. M., Maldonado-Mendoza, C. A., Toledo-Zúñiga, D., & López-González, V. I. (2017). SgreenH-IoT: Plataforma IoT para agricultura de precisión. <https://www.iiisci.org/journal/pdv/risci/pdfs/ca544si17.pdf>
- He, C., & Kang, L. (2024). The Application of IoT Technology and Deep Learning in Automated Intelligent Control Systems. *Scalable Computing: Practice and Experience*, 25(4), 2274–2281.
<https://doi.org/10.12694/scpe.v25i4.2963>



- Juárez-Maldonado, A., de Alba Romenus, K., Zermeño González, A., Ramírez, H., & Benavides Mendoza, A. (2017). Análisis de crecimiento del cultivo de tomate en invernadero. 6(5), 943–954. <https://doi.org/10.29312/REMEXCA.V6I5.589>
- López Orozco, O. J., Gozález Mendoza, M., Olvera Santoyo, J. M., & Garcia Gamboa, A. (2018). Modelo de datos para el monitoreo de variables agro-climatológicas de huertos urbanos utilizando internet de las cosas y cómputo en la nube. *Research on Computing Science*. <https://doi.org/10.13053/RCS-147-8-18>
- Montecé Mosquera, F. W., Cadena Piedrahita, D., Alcívar Torres, A., Caicedo Camposano, Ó. G., & Ruiz Parrales, I. (2020). Actualidad de las tecnologías de la información y comunicación tic's en la producción agropecuaria. 5(3), 134–144. <https://doi.org/10.5281/ZENODO.3927015>
- Moreno, R., & Cruz, I. (n.d.). Modelo de simulación de la temperatura para un invernadero con cultivo de tomate. <https://dicea.chapingo.mx/wp-content/uploads/2019/09/Biodiversiadad-Sustentabilidad.pdf#page=76>
- Prieto, J. P. (2017). Prototipo de un sistema de automatización de invernadero basado en arduino y sensores con control de comando web. 3(1). <https://www.unae.edu.py/ojs/index.php/facat/article/view/52/53>
- Quiroga Montoya, E. A., Jaramillo Colorado, S. F., Campo Muñoz, W. Y., & Chanchí Golondrino, G. E. (2017). Propuesta de una Arquitectura para Agricultura de Precisión Soportada en IoT. *RISTI: Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação*, 24(24), 39–56. <https://doi.org/10.17013/RISTI.24.39-56>
- Quiroz, A. (n.d.). Agricultura 4.0: uso de tecnologías de precisión y aplicación para pequeños productores. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9662987>
- Skripko, L. P., & Skripko, A. (2023). Automated Control Systems in Greenhouses. *Herald of Dagestan State Technical University. Technical Sciences*. <https://doi.org/10.21822/2073-6185-2023-50-3-150-155>
- Tangarife Escobar, H. I., Toro Meléndez, S. X., & Carmona Cadavid, C. V. (2020). Sistemas automatizados para el control del recurso hídrico y variables ambientales bajo invernadero: aplicaciones y tendencias. 14(27), 91–98. <https://doi.org/10.31908/19098367.1796>

